

## **Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique (TSM)**

### **Informations**

---

#### Introduction

Les systèmes techniques sont développés, réalisés, approuvés et mis en service sur la base des règles techniques généralement reconnues. Jusqu'à présent, il n'existait pas de réglementation complète pour les trains rapides à sustentation magnétique. C'est pourquoi les principes valables de manière générale et découlant du développement, des essais, de l'homologation et du fonctionnement des systèmes de train rapide à sustentation magnétique ont été réunis au sein d'un texte complet.

À cet égard, des principes d'exécution indépendants de tout projet ont été élaborés pour les trains rapides à sustentation magnétiques et leurs différents systèmes. L'Office fédéral allemand des Chemins de fer envisage d'appliquer cette documentation en tant que « règle technique » au sens du § 3, alinéa premier, du Règlement sur la construction et l'exploitation des trains à sustentation magnétique (MbBO).

#### Champ d'application

La présente documentation s'applique aux trains à sustentation magnétique en République fédérale d'Allemagne conformément à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique (AMbG).

#### Structure de la documentation

La présente documentation, de façon comparable à une norme de base, fixe les exigences techniques et opérationnelles généralement reconnues applicables à un système de train à sustentation magnétique, indépendamment de tout projet. Ces exigences constituent les principes de conception, de planification, de réalisation et de mise en service des projets de train rapide à sustentation magnétique. En complément, il est fait référence aux règles techniques existantes générales et applicables aux trains rapides à sustentation magnétique.

Les règles conformes à la norme DIN 820 ont été appliquées par analogie lors de la rédaction de la présente documentation. Le niveau d'obligation des exigences a été fixé sur la base de la norme DIN 820, partie 2 E, et pris en compte de façon correspondante dans la formulation des exigences.

La documentation inclut les principes d'exécution des TSM figurant dans les tableaux suivants.

## **Systeme complet**

Doc n°

<a href="#">50630</a>	Systeme complet (SC)	
<a href="#">67536</a>	SC – Annexe 1	Abréviations et définitions
<a href="#">67539</a>	SC – Annexe 2	Lois, décrets, normes et directives
<a href="#">67285</a>	SC – Annexe 3	Conditions environnementales
<a href="#">69061</a>	SC – Annexe 4	Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance)
<a href="#">72963</a>	SC – Annexe 5	Bruit

## **Rame**

Doc n°

<a href="#">67698</a>	Rame Partie I	Exigences générales
<a href="#">67694</a>	Rame Partie II	Dimensionnement
<a href="#">67650</a>	Rame Partie III	Gabarit cinématique
<a href="#">73388</a>	Rame Partie IV	Technique de levage / de guidage
<a href="#">73389</a>	Rame Partie V	Technique de freinage

## **Propulsion et approvisionnement en énergie**

Doc n°

<a href="#">50998</a>	Propulsion et approvisionnement en énergie
-----------------------	--

## **Installation technique de commande**

Doc n°

<a href="#">53328</a>	Installation technique de commande
-----------------------	------------------------------------

## Voie

Doc n°

<a href="#">57284</a>	Voie Partie I	Exigences de niveau supérieur
<a href="#">57288</a>	Voie Partie II	Dimensionnement
<a href="#">41727</a>	Voie Partie III	Géométrie
<a href="#">60640</a>	Voie Partie IV	Tracé
<a href="#">60641</a>	Voie Partie V	Levé
<a href="#">63842</a>	Voie Partie VI	Maintenance

Tableau : Principes d'exécution du TSM

### Droits d'auteur

Les droits sur la documentation publiée et toutes les annexes demeurent la propriété de leur auteur conformément aux réglementations en vigueur. Tous droits réservés.

### Statut de la procédure

Avec l'adoption de la documentation par les différentes commissions spéciales le 15 février 2007, la procédure d'approbation nationale est achevée.

### Procédure d'information conforme à la directive 98/34/CE

Les obligations découlant de la directive 98/34 ont été respectées après la clôture de la procédure nationale d'approbation.

### Publication par l'Office fédéral des Chemins de fer

L'Office fédéral allemand des Chemins de fer publie la documentation au titre de sa fonction de direction des commissions spéciales sur le train rapide à sustentation magnétique. La responsabilité du contenu de la documentation incombe exclusivement aux commissions spéciales.

### Clause d'équivalence

Les rames et les installations de service provenant des autres États membres de la Communauté européenne ou de Turquie ou d'un pays de l'AELE, partie contractante de l'accord sur l'EEE, sont également autorisées, à condition qu'elles permettent de garantir le même niveau de sécurité du trafic que celui que préconisent les Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique.

### Remarque

Les obligations issues de la directive 98/34/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et réglementations techniques relatives aux services de la société de l'information (JO CE n° L 204 p. 37), modifiée par la directive 98/48/CE du Parlement

européen et du Conseil du 20 juillet 1998 (JO CE n° L 217 p. 18), ont été prises en compte.

Statut de rédaction de l'ensemble du document

Version : 20 juin 2007

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principe d'exécution**

### **Système complet**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
            Système complet

Doc. n° : 50630

Version    finale

Date de      15.02.2007  
publication

Page 5

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Système complet à des fins de publication.

## **Historique des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Systeme complet

**Table des matières**

Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique (TSM).....	1
Informations.....	1
<b>Destinataires</b> .....	<b>6</b>
<b>Historique des modifications</b> .....	<b>7</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>8</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>16</b>
Objet du document et champ d'application.....	16
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique.....	16
Abréviations et définitions.....	17
Lois, décrets, normes et directives.....	17
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	18
<b>Propriétés du système</b> .....	<b>19</b>
Fonction.....	19
Transport.....	19
Vitesse.....	19
Accélération.....	20
Tracé.....	20
Données de tracé.....	21
Limites d'accélération pour le dimensionnement.....	24
Délimitation du gabarit et profil transversal de ligne.....	24
Structure du système.....	24
Disponibilité.....	25
Fiabilité.....	26
Comportement en cas de panne / fréquence des pannes des modules actifs.....	26
Comportement en cas de panne / fréquence des pannes des éléments de structure et de panneau-tage.....	26
Maintenabilité.....	26
Exigences relatives aux modules et au câblage.....	27
Aptitude à l'inspection des modules.....	27
Maintenance.....	27
Procédures essentielles.....	27
Réparation.....	28

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
               Système complet

Durée d'exploitation .....	28
Dimensionnement des différentes pièces et des modules .....	28
Sécurité.....	29
Plan de sécurité.....	29
Exigences de sécurité spécifiques au projet .....	29
Exigences de sécurité indépendantes du projet .....	29
Protection des personnes.....	30
Protection contre les incendies .....	30
Protection contre les incendies dans les rames.....	31
Protection contre les incendies dans les installations de service.....	31
Collisions .....	31
Prévention des collisions .....	31
Comportement en cas de collision .....	32
Sortie de la voie.....	33
Arrêt non prévu.....	34
Zones de voie reliées à une zone de quai dans les stations.....	34
Zones d'arrêt de service (BHPL) .....	34
Fonctions de propulsion défaillantes .....	35
Plan de sauvetage.....	37
Certification de sécurité.....	37
Environnement .....	37
Effets sur l'environnement .....	37
Vent .....	37
Hiver .....	38
Perturbations électromagnétiques.....	38
Impacts sur l'environnement .....	38
Bruit .....	38
Perturbations magnétiques, électriques et électromagnétiques .....	38
Confort de roulage.....	38
Aspects du tracé importants pour le confort.....	39
Vibrations affectant le confort (valeurs RMS).....	39
Variations de pression lors des passages dans les tunnels.....	39
<b>Conception / configuration du système.....</b>	<b>40</b>
Parties du système .....	40
Rame de TSM .....	40

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

---

Structure .....	40
Délimitation de la rame .....	40
Caisse de wagon .....	40
Fonctions .....	40
Levage et guidage .....	40
Freins de sécurité .....	41
Approvisionnement en énergie de bord .....	42
Paramètres de configuration .....	42
Configuration de la rame .....	42
Traînée .....	43
Aérodynamique .....	45
Propulsion et approvisionnement en énergie .....	47
Structure .....	47
Fonctions .....	47
Paramètres de configuration .....	50
Installation technique de commande .....	51
Structure .....	51
Fonctions .....	51
Paramètres de configuration .....	53
Voie .....	54
Structure .....	54
Fonctions .....	55
Paramètres de configuration .....	55
Superstructures de la voie .....	55
Infrastructures de la voie .....	57
Installations de changement de voie .....	57
Ouvrages spéciaux .....	58
Périphérie de la ligne .....	59
Équipement de la voie .....	59
Limites et dimensions pour les ouvrages fixes et les rames .....	63
Tolérances, écarts de positionnement .....	63
Autres installations de service .....	63
Stations .....	64
Postes .....	65
Services centralisés .....	65

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
               Système complet

---

Zones d'arrêt.....	65
Installations de maintenance.....	65
Rame spéciale.....	66
Interfaces et fonctions concernant plusieurs parties du système.....	67
Charges et effets.....	67
Localisation.....	69
Objectif et structure.....	69
Exigences fonctionnelles.....	69
Exigences relatives à la construction.....	71
Certification.....	71
Service.....	71
Définition Service / Modes de fonctionnement.....	71
Définition du service.....	71
Définition des modes de fonctionnement.....	72
Principes d'application des modes de fonctionnement.....	73
Fonctions et procédures de service.....	73
Indications de trajet et contrôle du service.....	73
Départ d'une station en service normal.....	73
Arrivée dans une station en service normal.....	73
Montage et démontage des équipements dans les rames de TSM.....	73
Déroulement des arrêts d'urgence des rames de TSM.....	74
Conditions générales de déplacement des rames spéciales.....	74
<b>Gestion de la qualité.....</b>	<b>75</b>
<b>Illustrations.....</b>	<b>76</b>
Structure des documents.....	76
Structure du système et système de coordonnées.....	77
Voitures de rames de TSM pour le transport de personnes.....	81
Système de levage / de guidage.....	86
Courbe caractéristique de freinage des freins de sécurité.....	87
Traînée.....	88
Effet de la pression (en dehors des tunnels).....	89
Structure de l'approvisionnement en énergie.....	90
Structure et fonctions de la propulsion.....	91
Structure et fonctions de l'installation technique de commande.....	92

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
                   Système complet

---

Structure de la localisation .....	94
Voie surélevée .....	94
Voie de niveau .....	95
Dimensions des supports .....	95
Équipement de la voie et plans fonctionnels .....	96
Agencement des paquets de tôles statoriques .....	97
Enroulement de stator long .....	98
Installations de changement de voie .....	99
Ouvrages de protection .....	102
Périphérie de la ligne .....	104
<b>Annexe : Données système d'un train rapide à sustentation magnétique.....</b>	<b>106</b>

## Index des illustrations

Figure 1 : Structure des documents pour les Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	76
Figure 2 : Structure du système .....	77
Figure 3 : Système de coordonnées .....	78
Figure 4 : Système de coordonnées et sens de circulation.....	79
Figure 5 : Agencement des phases d'enroulement, points de référence et pôles d'excitation .....	80
Figure 6 : Voitures de rame pour le transport de personnes dans le trafic grandes lignes (exemple).....	81
Figure 7 : Voitures d'extrémité de rame pour le transport de personnes pour les navettes des aéroports (exemple).....	84
Figure 8 : Voitures intermédiaire de rame pour le transport de personnes pour les navettes des aéroports (exemple).....	86
Figure 9 : Système de levage / de guidage (exemple).....	86
Figure 10 : Courbe caractéristique de freinage des freins de sécurité pour une voiture de rame de TSM .....	87
Figure 11 : Traînée (navette d'aéroport - version de planification 2006).....	88
Figure 12 : Effet de la pression lors du passage d'une rame de TSM (en dehors des tunnels) (navette d'aéroport - version de planification 2006).....	89
Figure 13 : Structure de l'approvisionnement en énergie (exemple).....	90
Figure 14 : Structure de la propulsion (exemple) .....	91
Figure 15 : Fonctions de propulsion .....	92
Figure 16 : Configuration et interfaces de la BLT .....	92
Figure 17 : Fonctions et flux de données de l'installation technique de commande .....	93
Figure 18 : Structure de la localisation (exemple).....	94
Figure 19 : Voie surélevée (exemple) .....	94
Figure 20 : Voie de niveau (exemple) .....	95
Figure 21 : Dimensions des supports - rapport entre la longueur des éléments de construction et la longueur du système.....	95
Figure 22 : Éléments et plans fonctionnels et espaces d'installation sur la voie, dimensions (dimensions nominales).....	96
Figure 23 : Agencement des paquets de tôles statoriques (exemple) .....	97
Figure 24 : Enroulement de stator long (exemple).....	98
Figure 25 : Aiguillage (exemple).....	99
Figure 26 : Plate-forme roulante (exemple).....	100
Figure 27 : Plate-forme pivotante (exemple) .....	102

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

Figure 28 : Mur d'isolation phonique et clôture de protection sur une voie de niveau (exemple).....	102
Figure 29 : Mur d'isolation phonique sur une voie surélevée (exemple) .....	103
Figure 30 : Périphérie de la ligne avec une voie de niveau.....	104
Figure 31 : Périphérie de la ligne avec une voie surélevée (exemple).....	105

**Index des tableaux**

Tableau 1 : Données de tracé pour les zones d'arrêt.....	21
Tableau 2 : Données de tracé générales .....	22
Tableau 3 : Relation entre $R_{xz \min}$ et le gauchissement $\alpha'$ .....	22
Tableau 4 : Aperçu des rayons verticaux minimums $R_{V\min}$ et des rayons horizontaux $R_H$ .....	23
Tableau 5 : Distance moyenne d'écartement en fonction de la vitesse .....	24
Tableau 6 : Définition des conditions d'effets A / B .....	68
Tableau 7 : Effets au niveau des interfaces rame - voie .....	69

## Généralités

### Objet du document et champ d'application

Le présent document établit les exigences minimales techniques et d'exploitation applicables aux systèmes de train rapide à sustentation magnétique (système de TSM), indépendamment de tout projet. Ces exigences constituent les principes de conception, de planification, de réalisation et de mise en service des projets de train rapide à sustentation magnétique. En complément, il est fait référence aux normes et directives existantes générales et applicables aux trains rapides à sustentation magnétique.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

### Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la Figure 1. Le présent principe d'exécution de niveau supérieur, intitulé Système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation.

La documentation se compose des documents suivants :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

ainsi que les documents secondaires également applicables :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie I : Exigences générales, document n° : 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie II : Dimensionnement, document n° : 67694, /MSB AG-FZ BEM/

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
            Système complet

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie III : Gabarit cinématique, document n° : 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie IV : Technique de levage / de guidage, document n° : 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie V : Technique de freinage, document n° : 73389, /MSB AG-FZ BREMS/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Propulsion et approvisionnement en énergie, document n° : 50998, /MSB AG-ANT/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Installation technique de commande, document n° : 53328, /MSB AG-BLT/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie I : Exigences de niveau supérieur, document n° : 57284, /MSB AG-FW ÜBG/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie II : Dimensionnement, document n° : 57288, /MSB AG-FW BEM/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie III : Géométrie, document n° : 41727, /MSB AG-FW GEO/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie IV : Tracé, document n° : 60640, /MSB AG-FW TRAS/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie V : Levé, document n° : 60641, /MSB AG-FW VERM/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie VI : Maintenance, document n° : 63842, /MSB AG-FW IH/

## Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique* à des fins d'identification.

Le niveau d'obligation des exigences a été fixé sur la base de la norme /DIN 820/, partie 2, annexe G, et pris en compte de façon correspondante dans la formulation des exigences.

## Propriétés du système

*Le système de coordonnées, le sens de circulation et l'agencement entre les points de référence, les phases d'enroulement et les pôles d'excitation sont représentés dans les figures Figure 3, Figure 4 et Figure 5.*

## Fonction

Le train rapide à sustentation magnétique est réalisé en tant que système de transport guidé destiné au transport de personnes et / ou de marchandises, et doit présenter les caractéristiques suivantes :

- fonction de levage / de guidage sans contact par électroaimants régulés (technique de sustentation électromagnétique, TSEM), chap. 0,
- fonction de propulsion et de freinage sans contact avec entraînement par stator long synchrone, conversion de l'énergie de traction ferroviaire régulée dans des installations stationnaires, chap. 0,
- approvisionnement sans contact en énergie de bord des rames de TSM au-dessus d'une vitesse à fixer en fonction du projet, à laquelle les besoins en énergie de bord sont entièrement couverts, chap. 0,
- opérations de roulage commandées entièrement automatisées et techniquement fiables, chap. 0,
- voie surélevée ou au niveau du sol, chap. 0.

La géométrie de la voie et la géométrie des installations pour le levage et le guidage des rames doivent concorder de telle sorte que, aux vitesses respectivement autorisées et avec les paramètres de tracé admis, le système de guidage soit garanti même si les tolérances admissibles des éléments de construction sont atteintes.

Au niveau de l'interface entre la voie et les installations de levage et de guidage, les systèmes de propulsion et de freinage dans les rames doivent absorber et transmettre de manière fiable les forces générées, y compris en cas de dysfonctionnement.

## Transport

### Vitesse

La vitesse maximale des rames, la vitesse maximale sur la voie et la vitesse maximale dans les tunnels doivent être fixées en fonction du projet. (cf. chap. 0).

*Valeurs typiques de vitesses maximales pour les rames et sur la voie :*

- *pour le trafic grandes lignes 400-500 km/h*
- *pour les navettes des aéroports 300-400 km/h.*

La vitesse maximale sur la ligne doit être déduite à partir de la vitesse maximale des rames, de la vitesse maximale sur la voie et de la vitesse maximale dans les tunnels.

La vitesse maximale des rames doit être utilisée comme base pour le dimensionnement des rames de TSM.

La vitesse maximale sur la voie doit être utilisée comme base pour le dimensionnement des voies.

La vitesse technique maximale peut être fixée en fonction du projet.

Les trajets dans une plage de vitesse supérieure à la vitesse maximale de la ligne jusqu'à la vitesse technique maximale avec utilisation des réserves de dimensionnement peuvent être réalisés uniquement après vérification et autorisation au cas par cas.

*Lors de l'élaboration des projets, la vitesse théorique nécessaire pour le roulage en fonction du lieu est calculée en tenant compte des aspects opérationnels et économiques et concrétisée par la configuration du système.*

*Concernant les définitions et les rapports des vitesses entre elles, voir également le document /MSB AG-ABK&DEF/, chap. 5.*

### **Accélération**

Le § 13 (5) du règlement /MbBO/ doit être pris en compte.

*Cette exigence est appliquée comme suit :*

L'accélération en fonction du démarrage et du freinage d'une rame ne doit pas excéder 1,5 m/s<sup>2</sup>.

*La prise en compte des effets exceptionnels se fait selon les exigences du chapitre 0.*

L'accélération de propulsion moyenne et maximale est déterminée en fonction du projet et du lieu et en tenant compte des aspects opérationnels et économiques.

*La décélération de freinage utile opérationnelle est limitée par la capacité de freinage des freins de sécurité, par la traînée et par le profil de roulage maximal contrôlé par l'installation technique de commande (BLT).*

*Exigences relatives à l'accélération dans le sens y et dans le sens z, cf. chap. 0.*

### **Tracé**

Le § 13 (1) et le § 13 (7) du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte.

**Données de tracé**

Le § 13 (2), le § 13 (3), le § 13 (4) et le § 13 (6) du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte.

En outre, les valeurs suivantes doivent être respectées :

	<b>Valeurs</b>	<b>Critère</b>
<b>Zone de quai</b>		<b>Arrêt prévu</b>
Inclinaison latérale *	$\leq 3,0^\circ$	Utilisateurs de fauteuils roulants, risque de chute lors de la montée et de la descente
Inclinaison longitudinale	$\leq 5\text{ ‰}$	
<b>Zone d'arrêt de service pour les arrêts dus au service</b>		<b>Arrêt non prévu</b> , par exemple en cas de perturbations du service ou techniques
Inclinaison latérale	$\leq 6^\circ$	Utilisateurs de fauteuils roulants, risque de chute
Inclinaison longitudinale	$\leq 100\text{ ‰}$ selon la justification de la fonction de l'arrêt	Fonction de l'arrêt
<b>Autres zones d'arrêt de service</b>		<b>Arrêt rare non prévu</b> , surtout en cas de perturbations techniques
Inclinaison latérale	$\leq 12^\circ$	
Inclinaison longitudinale	$\leq 100\text{ ‰}$ selon la justification de la fonction de l'arrêt	Fonction de l'arrêt
<b>Zones d'arrêt d'évacuation</b>		<b>Arrêt rare non prévu</b> , en cas d'urgence
Inclinaison latérale (**)	$\leq 6^\circ$	Possibilité d'évacuation
Inclinaison longitudinale (**)	$\leq 5\text{ ‰}$	
<b>Voie libre, en dehors des zones d'arrêt</b>		<b>Arrêt non prévu dans les situations de perturbations exceptionnelles et très rares</b>
Inclinaison latérale	$\leq 12^\circ$ dans des cas particuliers jusqu'à $16^\circ$	Aptitude à l'utilisation pour le tracé
Inclinaison longitudinale	$\leq 100\text{ ‰}$	Aptitude à l'utilisation pour le tracé

\*) dans le § 13 (3) du règlement /MbBO/, l'inclinaison latérale autorisée dans une rame à l'arrêt dans la zone de quai est limitée à  $3,4^\circ$ . On en déduit une inclinaison latérale maximale autorisée de  $3,0^\circ$  pour le tracé.

\*\*) Les valeurs s'appliquent pour la zone de quai ou de passerelle au sein des zones d'arrêt pour l'évacuation ; en dehors de ces zones, les valeurs s'appliquent aux autres zones d'arrêt de service.

Tableau 1 : Données de tracé pour les zones d'arrêt

Propriété	Zone	Critère pour la valeur maximale
Gauchissement	$\leq 0,10$ °/m, dans les cas particuliers jusqu'à $0,15$ °/m *)	Cinématique de la rame de TSM
<b>Choc latéral et vertical</b>		
• En général	$\leq 0,5$ m/s <sup>3</sup>	Confort
• Exceptions par exemple à proximité des gares	$\leq 1$ m/s <sup>3</sup>	Confort
• Au niveau des aiguillages, en cas de bifurcation	$\leq 2$ m/s <sup>3</sup>	Confort
<b>Choc omnidirectionnel (hors aiguillages)</b>	$\leq 1$ m/s <sup>3</sup>	Confort

\*) Inclinaison latérale  $> 12$  ° et gauchissement  $> 0,10$  °/m uniquement au niveau des points de passage obligatoires du tracé après contrôle et autorisation au cas par cas.

Tableau 2 : Données de tracé générales

Par ailleurs, les valeurs suivantes doivent être respectées en tant que rayon minimal en cas de superposition des rayons horizontaux et verticaux :

$$R_{x,z} = \frac{1}{\frac{\cos \alpha}{R_v} - \frac{\sin \alpha * \cos^2 \beta}{R_H}}$$

$\beta$  Angle d'inclinaison longitudinale, positif en montée, négatif en descente

$\alpha$  Inclinaison latérale, positive en tournant à droite, négative en tournant à gauche (dans le sens de kilométrage croissant)

$R_H$  Rayon horizontal

$R_v$  Rayon vertical, positif dans les sommets, négatif aux points bas

$\alpha'$ [°/m]	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
$R_{x,z \text{ min}}$ [m]	530	550	590	630	670	710	770	830	900	990	1.100	1.230	1.410	1.640	1.950	2.430

Tableau 3 : Relation entre  $R_{x,z \text{ min}}$  et le gauchissement  $\alpha'$

*En tenant compte du critère  $R_{x,z}$ , il en découle un rayon vertical minimal  $R_{v \text{ min}}$  en inclinaison latérale  $\alpha$  de la voie et un rayon horizontal  $R_H$  conformément au tableau suivant :*

$R_{Vmin}$ [m] pour	$R_H=350$	$R_H=400$	$R_H=500$	$R_H=600$	$R_H=700$	$R_H=800$	$R_H=1.000$	$R_H=2.000$
$\alpha = 0^\circ$	±1300	±1020	±780	±670	±620	±580	±530	±530
$\alpha = 4^\circ$	-1760/ 1040	-1230/ 860	-870/ 700	-730/ 620	-650/ 580	-610/ 550	-550/ 530	-540/ 530
$\alpha = 8^\circ$	-2590/ 840	-1530/ 740	-970/ 630	-780/ 580	-690/ 530	-630/ 530	-570/ 530	-550/ 530
$\alpha = 12^\circ$	-4710/ 700	-1980/ 640	-1090/ 570	-840/ 530	-720/ 530	-660/ 530	-580/ 530	-550/ 530
$\alpha = 16^\circ(*)$	-21900/ 600	-2740/ 560	-1230/ 530	-900/ 530	-760/ 530	-680/ 530	-590/ 530	-550/ 530

(\*) Autorisation des autorités de surveillance compétentes requise au cas par cas

Tableau 4 : Aperçu des rayons verticaux minimums  $R_{Vmin}$  et des rayons horizontaux  $R_H$

Dans les zones de lignes pour le trafic voyageurs, les arcs de transition doivent être réalisés comme suit :

- Horizontal : Sinusoïdes
- Aiguillage en position de bifurcation : Clothoïdes (approximativement)

Dans les zones de lignes sans trafic voyageurs, il est également possible de fixer des arcs de transition divergents, par exemple pour les aiguillages dans les installations de maintenance.

- Vertical : Clothoïdes

Les consignes concernant les variations d'accélération peu fréquentes par ordre d'éléments de tracé figurent dans le document /MSB AG-FW TRAS/.

Lors du tracé et de la détermination de la répartition des supports, les exigences applicables à l'entraînement par stator long concernant la longueur dans la courbe spatiale doivent être prises en compte.

Les exigences applicables à l'entraînement par stator long synchrone découlent par exemple de la répartition des pôles.

Le système de coordonnées et les parties de lignes du tracé, ainsi que le placement dans l'espace de l'enroulement du stator long sont représentés de façon générale dans les figures 4 et 5.

Les exigences relatives au tracé sont plus amplement détaillées dans le document /MSB AG-FW TRAS/. La séquence des éléments de tracé (courbes, sommets, points bas) y est également réglementée.

**Limites d'accélération pour le dimensionnement**

L'accélération latérale libre (latérale par rapport à la table de la voie ferrée) ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- Voie normale 1,5 m/s<sup>2</sup>
- Aiguillage 2,0 m/s<sup>2</sup>.

L'accélération normale libre dynamique de roulement (normale par rapport à la table de la voie ferrée)

ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- Sommet 0,6 m/s<sup>2</sup>
- Point bas 1,2 m/s<sup>2</sup>.

Les accélérations latérales et verticales à respecter en service normal du point de vue du confort sont déterminées en fonction du projet.

**Délimitation du gabarit et profil transversal de ligne**

Le profil transversal normal doit être déterminé en fonction du projet. À cet égard, en plus de la délimitation du gabarit conformément au règlement /MbBO/, il convient également de prendre en compte plus particulièrement les aspects liés à la maintenance et à la sécurité.

**Gabarit, distance moyenne d'écartement**

*Pour les délimitations du gabarit d'une voie monorail et d'une voie à deux rails, voir le document /MSB AG-FW TRAS/.*

Les valeurs conformes au Tableau 5 doivent être respectées.

	Abr.	Unité [km/h]	Vitesse de conception $v_e$			
			$\leq 300$	$\leq 300^{*)}$	$300 < v_e \leq 400$	$400 < v_e \leq 500$
Distance moyenne d'écartement	S	[m]	4,40	4,50	4,80	5,10
Largeur du profil transversal de la ligne <sup>**)</sup>	b	[m]	10,10	10,20	10,50	11,40

\*) pour les conditions particulières :  $10^\circ < \alpha$  ou

$$5^\circ < \alpha \leq 10^\circ \text{ et } RH \leq 3.500 \text{ m}$$

\*\*) Indications pour  $\alpha = 0^\circ$ . Les valeurs indiquées tiennent compte des conditions de dégagement pour les rayons de courbe et l'inclinaison latérale de la voie avec les valeurs limites susmentionnées, c'est-à-dire pas d'augmentation de la distance moyenne d'écartement dans les courbes.

Tableau 5 : Distance moyenne d'écartement en fonction de la vitesse

**Structure du système**

Le § 2 (2) et le § 2 (3) du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte.

*Dans le cadre des présents principes d'exécution, indépendamment des désignations du règlement /MbBO/, le système de TSM est divisé en parties de système (cf. Structure du système selon le règlement MbBO)*

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

Doc. n° : 50630

Version finale

Date de publication 15.02.2007

Page 24

*Système complet*  
*Rame*  
*Installations de service*

*Structure du système selon les Principes d'exécution du TSM*  
*Rame de TSM*  
*Rame spéciale*

*Propulsion et approvisionnement en énergie*  
*Installation technique de commande*  
*Voie*  
*Autres installations de service*

Figure 2) :

- *Rame de TSM*
- *Propulsion et approvisionnement en énergie*
- *Installation technique de commande*
- *Voie*
- *Autres installations de service*
- *Rame spéciale.*

## **Disponibilité**

Afin d'obtenir une disponibilité optimale du système, le système complet doit présenter les caractéristiques suivantes :

- Voie dimensionnée pour la stabilité du service, pas de modifications résiduelles de la géométrie ou de la surface des supports de voie dues à un effet opérationnel et environnemental défini, possibilité d'ajustement ultérieur de la position des supports de voie pour compenser les déformations plastiques du terrain de fondation.
- Réalisation des fonctions actives nécessaires au service de façon largement modulaire par le biais de modules autonomes et redondants,
- Poursuite du service selon l'indicateur horaire après un dysfonctionnement isolé dans un module quelconque mobile ou stationnaire,
- Maintenance majoritairement en fonction de l'état, sur la base des annonces d'incidents automatiques pour les modules électriques / électroniques,
- Reconnaissance automatisée des écarts de positionnement significatifs au niveau des surfaces de fonction de la voie, et déclenchement largement automatisé des mesures de maintenance,

- Exécution des travaux de maintenance avec un impact aussi réduit que possible sur les opérations de roulage.

Les exigences quantitatives sur la disponibilité du système doivent être fixées en fonction du projet.

La disponibilité du système doit être déterminée pour chaque projet.

À cet effet, il est possible d'utiliser une analyse d'arbre de défaillance, par exemple.

La configuration du système doit se faire de telle manière que :

- les opérations de roulage conformes au chap. 0 sont assurées,
- la disponibilité exigée est atteinte grâce à une haute fiabilité des modules ou une redondance de ces modules, ou bien les deux,
- les rames de TSM ne sont pas obligées de s'arrêter entre deux stations à la suite de dysfonctionnements techniques isolés,
- en cas de perturbation affectant la disponibilité, le train peut encore être conduit jusqu'à l'installation de maintenance.

Il convient de tenir compte du fait que les rames de TSM ne peuvent être pas être remorquées.

## Fiabilité

### Comportement en cas de panne / fréquence des pannes des modules actifs

En cas de panne d'un module actif affectant le service,

- un module redondant doit prendre le relais,
- une annonce d'incident automatique doit se déclencher,
- un contrôle et une réactivation automatiques peuvent avoir lieu avec maintien de l'état de sécurité pendant et après la réactivation, dès lors que la cause de l'incident est éliminée.

Pour les modules actifs importants pour le service, les valeurs MTBF doivent être calculées.

### Comportement en cas de panne / fréquence des pannes des éléments de structure et de panneautage

Les éléments de structure de la rame et de la voie, ainsi que les éléments de panneautage de la rame, doivent être résistants, stables et aptes à l'utilisation.

*Les principes d'exécution relatifs aux rames et aux voies contiennent les exigences qui en résultent concernant l'exécution / le choix des matériaux et les justifications afférentes.*

*Les effets à prendre en compte lors du dimensionnement sont mentionnés dans les documents /MSB AG-FZ BEM/ et /MSB AG-FW BEM/.*

## Maintenabilité

*Les consignes relatives à la maintenabilité figurent dans les principes d'exécution des différentes parties du système. Les exigences essentielles figurent ci-après.*

**Exigences relatives aux modules et au câblage**

La durée de vie des modules électriques et mécaniques doit, si cela est judicieux du point de vue de la rentabilité, être calquée sur la durée d'exploitation de la partie de système concernée. Les modules dont la durée de vie est inférieure à la durée d'exploitation des parties de système doivent être faciles d'accès et aisés à remplacer.

En cas de remplacement de modules, aucune mesure d'adaptation ni travaux ultérieurs ne doivent être nécessaires.

*Les mesures de contrôle et d'ajustement après le processus de remplacement doivent être évitées dans la mesure du possible grâce à une configuration adéquate des modules (par exemple étalonnage automatique, test automatique, etc.).*

Des mesures structurelles doivent permettre d'exclure au maximum la possibilité de survenue d'erreurs de montage. Concernant les connexions qui transmettent des signaux importants pour la sécurité, des mesures techniques adaptées (par exemple codage des emplacements de connexion) doivent permettre de garantir que ces connexions peuvent être branchées uniquement au niveau du lieu / de l'appareil / du module prévu.

Les modules, les câbles et les fils doivent être identifiés de manière claire, durable, facilement reconnaissable et systématique. Le modèle et le cas échéant la version du logiciel installé d'un module doivent pouvoir être déduits facilement à partir de leur désignation.

Un système d'identification systématique doit être établi pour les emplacements d'installation des modules.

Les incidents doivent pouvoir être détectés au moyen de systèmes de diagnostic automatiques et / ou d'inspections planifiées.

**Aptitude à l'inspection des modules**

Les modules qui doivent être inspectés conformément au programme de maintenance doivent être accessibles en vue d'une inspection.

**Maintenance**

Le § 8 (1), le § 8 (2) et le § 8 (3) du règlement /MbBO/ doivent être respectés.

*Les exigences applicables aux règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance) sont définies dans le document /MSB AG-BTR/.*

La maintenance doit être effectuée conformément à la norme /DIN 31051/.

L'intégration de la maintenance dans le service et l'interconnexion de la maintenance avec les opérations de roulage doivent être déterminées en fonction du projet.

Un plan de maintenance doit être élaboré en fonction du projet.

**Procédures essentielles**

Concernant les mesures de maintenance spécifiées, des instructions d'exécution doivent être présentées, avec les protocoles de contrôle / listes de contrôle pour la documentation des événements survenus.

La maintenance des parties du système doit être intégrée dans la maintenance du système complet. Dans ce cadre, un manuel de maintenance (IHB) doit être rédigé.

Les parties du système de TSM peuvent être divisées en unités d'observation adéquates, dans lesquelles des procédures de maintenance normalisées peuvent être respectivement appliquées.

L'efficacité et le caractère raisonnable des mesures doivent être vérifiés à intervalles réguliers sur la base des événements documentés.

À cette fin et à des fins d'assistance au service de gestion de la maintenance, des systèmes d'information adaptés doivent être mis en place.

La maintenance doit faire l'objet d'une procédure d'assurance qualité comparable à la norme /DIN EN ISO 9000/.

### **Réparation**

La réparation doit être réalisée par le biais du remplacement des modules ou sur la base d'unités plus petites substituables à définir en fonction du projet.

Chaque module ou unité plus petite substituable doit pouvoir être remplacé(e) et contrôlé(e) de façon individuelle.

Le fonctionnement des modules / unités plus petites substituables remplacé(e)s / réparé(e)s doit être documenté de façon claire et compréhensible, avec mention de la description des dysfonctionnements, de leur cause et des mesures de réparation (par ex. remplacement par des pièces neuves).

### **Durée d'exploitation**

Les durées d'exploitation des parties du système et des composants doivent être fixées en fonction du projet.

Le système complet doit remplir les exigences spécifiées pendant la durée d'exploitation dans le cadre de l'exploitation conforme aux spécifications (opérations de roulage et maintenance).

### **Dimensionnement des différentes pièces et des modules**

Les pièces / modules mécaniques / structurel(le)s doivent être dimensionné(e)s

- selon les critères de stabilité / de capacité d'absorption des charges et
  - l'aptitude à l'emploi
- et certifiés sur la base
- des influences maximales découlant du service et de l'environnement, conformément au document /MSB AG-UMWELT/ et
  - des paramètres spécifiés dans le présent document et du comportement en cas de panne.

*Les combinaisons d'effets et les contraintes relatives au dimensionnement sont mentionnées dans les documents /MSB AG-FZ BEM/ et /MSB AG-FW BEM/.*

*Concernant la détermination de la stabilité de service et les prévisions en matière de durée de vie des différentes pièces / des modules, les effets à prendre en compte découlant du service et de l'environnement sont mentionnés dans les documents /MSB AG-FZ BEM/ et /MSB AG-FW BEM/.*

*Les valeurs limites concernant toutes les parties du système, qui doivent être prises comme base pour le dimensionnement, figurent au chapitre 0.*

## Sécurité

### Plan de sécurité

#### Exigences de sécurité spécifiques au projet

Le § 23 (1) et le § 23 (2) du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte.

*Les mentions relatives à la conception découlent de l'exposé des motifs du § 23 du règlement /MbBO/.*

En fonction du projet, un plan de sécurité doit être élaboré sur la base de la norme /EN 50126/.

Le plan de sécurité doit analyser et évaluer les risques spécifiques au projet sur la base des exigences et des propriétés du système de TSM importantes pour la sécurité et spécifiées dans les principes d'exécution (cf. Figure 1), et déterminer les mesures de réduction des risques (techniques, structurelles, opérationnelles et organisationnelles).

Des objectifs de sécurité spécifiques au projet et un critère d'acceptation des risques doivent être fixés dans le plan de sécurité.

L'analyse et l'évaluation des risques spécifiques au projet peuvent se faire dans le cadre d'une analyse des risques conforme à la norme /EN 50126/.

*Les mentions relatives à la méthode figurent dans les normes /prEN 50126-2/ et /prR009-004/.*

Les mesures de réduction des risques peuvent être décrites dans un catalogue ou une liste de mesures.

Les consignes relatives au plan de sauvetage, notamment les procédures à suivre, les critères de décision et les compétences, doivent être fixées dans le plan de sécurité en fonction du projet.

L'analyse des risques, la liste des risques, le catalogue de mesures et le plan de sauvetage peuvent être des éléments du plan de sécurité spécifique au projet.

L'analyse des risques, la liste des risques, le catalogue de mesures et le plan de sauvetage doivent être concordants les uns avec les autres en fonction du projet.

Le respect du nombre maximal de personnes autorisé dans la rame de TSM doit être mentionné dans le plan de sécurité.

Le risque résiduel ne doit pas être supérieur au critère d'acceptation des risques fixé.

#### Exigences de sécurité indépendantes du projet

*Les exigences citées dans les sections suivantes sont des exigences spéciales concernant les différents aspects des risques, qui ne font pas partie des déterminations spécifiques à un projet.*

*Elles ne remplacent pas l'analyse et l'évaluation systématiques et spécifiques au projet de tous les risques.*

Les exigences de sécurité applicables aux fonctions doivent découler de l'analyse des risques.

Les fonctions importantes pour la sécurité doivent être certifiées selon les normes CENELEC (/DIN EN 50126/, /DIN EN 50128/ et /DIN EN 50129/).

Les composants et les modules qui sont utilisés pour remplir ces fonctions doivent être certifiés selon les normes spécifiques aux produits (par exemple norme générique /DIN EN 61508-1/).

*D'autres exigences relatives aux fonctions importantes pour la sécurité sont décrites*

- *au chap. 0, ainsi que dans les principes d'exécution des parties du système, cf. Figure 1, et*
- *au chap. 0 sur la sécurité des opérations de roulage.*

### **Protection des personnes**

*Les caractéristiques d'exécution figurent*

- *au chap. 0 pour la protection contre les incendies,*
- *dans le document /MSB AG-FZ GEN/ pour la protection des personnes à l'intérieur des rames de TSM,*
- *au chap. 0 pour la protection des personnes sur le quai.*

L'effet protecteur de l'enveloppe extérieure de la rame de TSM contre la mise en danger des personnes par exposition à une charge électrostatique doit être certifié conformément au § 17 (4) du règlement /MbBO/.

Les mesures spécifiques de protection du personnel de maintenance sur le lieu de travail doivent être fixées en fonction du projet.

Pour les travaux dans les zones à risque de la voie (depuis une rame spéciale ou indépendamment d'une telle rame), par exemple entretien ou contrôle de la végétation, la sécurité des personnes concernées doit être déterminée en fonction du projet. La zone à risque doit être déterminée en fonction du projet.

La sécurité dans le cadre des travaux dans la zone à risque de la voie doit être assurée de telle manière que toute circulation pouvant mettre en danger les personnes concernées soit exclue.

Le tronçon de ligne concerné doit être bloqué avant le début des travaux et peut être rouvert seulement après la fin des travaux. Cette réouverture représente une condition préalable à la délivrance d'une autorisation de circulation pour le tronçon de ligne correspondant.

Si, pendant l'exécution des travaux, une opération de roulage doit avoir lieu avec des rames de TSM, il doit être possible de bloquer et de rouvrir à nouveau les tronçons de ligne au moyen d'équipements techniques actionnés par les personnes responsables des travaux.

En cas de travaux sur la voie, une sécurité antichute collective doit être prévue.

D'autres mesures de sécurité pour la protection des personnes peuvent être définies en fonction du projet.

### **Protection contre les incendies**

Des plans de protection contre les incendies doivent être élaborés en fonction du projet.

Les alarmes d'incendie doivent être diffusées dans les services centralisés.

Les exigences relatives à la diffusion des alarmes d'incendie doivent découler du plan de sécurité spécifique au projet.

*Des restrictions concernant le transport de bagages et de marchandises peuvent découler du plan de protection contre les incendies.*

### **Protection contre les incendies dans les rames**

Les exigences techniques de protection contre les incendies à l'intérieur des rames de TSM figurent dans le document /MSB AG-FZ GEN/.

Les exigences techniques de protection contre les incendies au niveau des équipements de la BLT dans les rames de TSM doivent être déterminées en fonction du projet en tenant compte du plan de protection contre les incendies de la rame.

Les exigences de protection contre les incendies applicables aux rames spéciales doivent être définies en fonction du projet.

### **Protection contre les incendies dans les installations de service**

Dans le cadre de la configuration des tunnels, les exigences relatives à la protection contre les incendies doivent être prises en compte conformément au document /EBA-RL MSB Tunnel/.

Dans le cadre de la configuration des stations, les exigences relatives à la protection contre les incendies doivent être prises en compte conformément au document /EBA-Lf Station/.

Les décisions concernant la prescription et l'organisation des plans de protection contre les incendies pour les autres installations de service doivent être prises en fonction du projet.

## **Collisions**

### **Prévention des collisions**

Toute possibilité de collision entre rames doit être exclue avec certitude (valeur indicative pour une probabilité d'occurrence correspondant à SIL 4, conformément à la norme /DIN EN 61508-1/).

Tout franchissement d'un point de danger doit être exclu avec certitude (valeur indicative pour une probabilité d'occurrence correspondant à SIL 4, conformément à la norme /DIN EN 61508-1/).

Afin d'éviter les collisions, les empiètements sur la zone de dégagement dus à une défaillance d'un module de la voie doivent être exclus.

Les pannes dans les circuits de régulation magnétique, qui peuvent entraîner des contacts entre les aimants et le stator ou les rails de guidage latéraux avec une incidence de forces inadmissible dans la structure de la rame de TSM et de la voie, doivent être exclues.

Lors du dimensionnement de la voie, les effets doivent être pris en compte en fonction de l'intensité locale probable des séismes, conformément au document /MSB AG-UMWELT/.

Les ouvrages et équipements de protection doivent être prévus en fonction du plan de sécurité, en tenant compte de la norme /EN 1317/ et des /RPS/.

À cet effet, les principes suivants doivent être observés :

- pour les voies de circulation situées sous la voie de TSM :  
Le dimensionnement des piliers et des appuis de supports de voie doit se faire en tenant compte de l'impact des véhicules routiers (cf. /MSB AG-FW BEM/).

Une protection contre les collisions doit être prévue pour la voie sur la base d'une prise en compte des risques ;

- pour les voies de circulation situées au-dessus la voie de TSM :  
Une protection contre la chute des véhicules et des objets sur la voie doit être prévue sur la base d'une prise en compte des risques ;
- pour les voies de circulation parallèles à la voie de TSM :  
Une protection contre les collisions doit être prévue pour les appuis de la voie surélevée et la voie de niveau sur la base d'une prise en compte des risques.

Les mesures d'organisation et de service suivantes doivent être prises :

- les forêts situées le long du tracé de la voie de train rapide à sustentation magnétique doivent bénéficier d'un entretien particulier, de manière à ce que la délimitation du gabarit du TSM reste dégagée conformément au règlement /MbBO/, y compris par exemple en cas de chutes d'arbres,
- des mesures dans le cadre du service hivernal conformément au chap. 0,
- d'autres mesures à déterminer dans le plan de sécurité en fonction du projet (cf. chap. 0).

### **Comportement en cas de collision**

Les cas de collision représentatifs suivants doivent être pris en compte :

- Pierre de 15 kg sur glissière,
- Pierre ronde de 50 kg au centre de la table de la voie ou sur le côté à proximité du support de voie à la hauteur des aimants de levage de la rame de TSM,
- Arbre (longueur 18 m, diamètre du tronc à l'emplacement de la collision 20 cm), couché selon un angle de moins de 45° au niveau de la voie surélevée ou couché à l'horizontale en travers de la table de la voie de niveau,
- Corps de 75 kg contenant de l'eau sur la table de la voie.

À cet égard, il convient de tenir compte de la vitesse maximale à définir en fonction du projet. Pour ces exemples de collisions représentatifs, les accélérations dans l'espace réservé aux voyageurs doivent être limitées de telle sorte que le risque reste au moins tolérable (critère d'appréciation : Head Injury Criterion (HIC)).

Pour ces exemples de collisions représentatifs, les accélérations ne doivent pas menacer le système de guidage ou la stabilité de la voie.

Pour ces exemples de collisions représentatifs, les déformations de l'habitacle doivent rester aussi limitées que possible, de manière à ce que les personnes présentes dans l'espace réservé aux voyageurs ne restent pas coincées.

La résistance à la pénétration de la structure de la caisse du wagon en cas de collision frontale avec un obstacle doit être planifiée en fonction de la résistance à la pénétration des fenêtres (contre les tirs de projectiles normalisés, d'une masse de 1 kg, vitesse d'impact 600 km/h), conformément à la fiche /UIC 651/.

En fonction du projet, il convient de régler de quelle manière les cas de collisions susmentionnés doivent être diagnostiqués et quelles mesures consécutives doivent être prises.

**Sortie de la voie**

Une rame ne doit pas pouvoir quitter la voie involontairement.

*Une sortie de la voie peut être imaginée au niveau des fins de voie ou au niveau des fins ouvertes d'installations de changement de voie.*

À cette fin, il convient de définir en fonction du projet :

- les points de danger avant les fins de voie et
- les points de danger avant les fins ouvertes d'installations de changement de voie.

**Arrêt non prévu**

L'arrêt non prévu d'un train en dehors de la zone de quai des stations doit se faire soit à l'intérieur d'une zone de voie définie reliée à la zone de quai, soit au niveau d'une zone d'arrêt de service.

L'arrêt non prévu d'une rame de TSM en dehors d'une zone d'arrêt peut ainsi avoir lieu uniquement si des situations de perturbations définies et d'autres pannes surviennent en même temps. Les situations qui en découlent doivent être prises en compte dans le plan de sécurité. *Exemple : Si, lors de l'accélération immédiatement après un arrêt non prévu au niveau d'une zone d'arrêt de service, l'approvisionnement en énergie de la propulsion tombe en panne avant d'atteindre la vitesse nécessaire pour se rendre dans la prochaine zone d'arrêt.*

**Zones de voie reliées à une zone de quai dans les stations**

Les zones de voie reliées à une zone de quai des stations doivent présenter les caractéristiques d'une zone d'arrêt de service (cf. chap. 0) et être équipées en continu d'un approvisionnement externe en énergie de bord. Ces zones peuvent être interrompues par quelques tronçons courts, pour lesquels

- l'inclinaison longitudinale et latérale autorisée pour les zones d'arrêt de service conformément au chap. 0 est dépassée, ou
- l'évacuation d'une rame de TSM est possible mais uniquement avec difficulté, par exemple en présence d'un croisement de voies de circulation.

Les arrêts non prévus doivent avoir lieu en dehors de ces tronçons.

*Valeur indicative pour la longueur des zones de voies reliées à un quai : 1 à 2 km.*

**Zones d'arrêt de service (BHPL)**

Les zones d'arrêt de service doivent être configurées en fonction du projet.

Lors de la configuration spécifique au projet, les principes suivants doivent être observés :

- Au moins une zone d'arrêt de service doit toujours pouvoir être atteinte avec utilisation contrôlée de l'énergie cinétique de la rame de TSM.
- Pour atteindre une zone d'arrêt de service, des profils de roulage, de freinage et de sustentation doivent être déterminés, qui tiennent compte des conditions spécifiques locales.
- Les profils de freinage doivent au moins pouvoir être maintenus aussi bien à partir de l'entraînement par stator long qu'à partir des freins de sécurité, pour toutes les zones d'arrêt de service au niveau desquelles un arrêt est prévu pour des raisons liées au service.

*Les profils de freinage vers d'autres zones d'arrêt de service peuvent être configurés de manière à être maintenus avec les freins de sécurité, mais pas à partir de l'entraînement par stator long.*

- Le contrôle de surveillance de franchissement d'un point de danger assuré par la BLT doit être réalisé avec une probabilité de défaillance à déduire en fonction du projet.

*La probabilité de défaillance correspondant à SIL 4 conformément à la norme /DIN EN 61508-1/ est donnée comme valeur indicative.*

- Le contrôle de surveillance d'atteinte d'un point d'accessibilité assuré par la BLT doit être réalisé avec une probabilité de défaillance à déduire en fonction du projet.

*La probabilité de défaillance correspondant à SIL 3 conformément à la norme /DIN EN 61508-1/ est donnée comme valeur indicative.*

Les probabilités d'occurrence admises pour le franchissement d'un point de danger et l'absence d'atteinte d'un point d'accessibilité doivent être déterminées au moyen de l'analyse des risques à réaliser en fonction du projet (chap. 0).

*Une zone d'arrêt de service est caractérisée par un point d'accessibilité et un point de danger. En cas de menace de non-observation des profils de freinage et de sustentation, une coupure de propulsion de sécurité est déclenchée. La rame de TSM ralentit au moyen des freins de sécurité de manière contrôlée jusqu'à la BHPL actuelle.*

Les zones d'arrêt de service au niveau desquelles un arrêt est prévu pour des raisons liées au service doivent être équipées d'un approvisionnement externe en énergie de bord.

Dans les zones de voies présentant une montée exceptionnellement longue et élevée, une zone d'arrêt de service doit être aménagée au début de la zone de montée.

Il convient de veiller à ce que, en cas de sustentation arrière jusqu'à la zone d'arrêt de service au début de la zone de montée, cette zone de voie soit sécurisée par la BLT.

*La probabilité de défaillance correspondant à SIL 4 conformément à la norme /DIN EN 61508-1/ est donnée comme valeur indicative.*

*En cas de freinage automatique d'urgence dans une telle zone de montée (par ex. 5 % sur 10 km), il est possible de reculer jusqu'à la zone d'arrêt de service située au début de la zone de montée, conformément au document /MSB AG-BLT/.*

*Valeur indicative pour la longueur minimale des zones d'arrêt de service : longueur du train + 350 m.*

*Exigences relatives au tracé dans le secteur des zones d'arrêt de service conformément au chap. 0.*

*Exécution et équipement conformément au chap. 0.*

### **Fonctions de propulsion défaillantes**

En cas de défaillance de la propulsion, il convient de tenir compte

- des courants de fuite synchrones avec des durées d'impact significatives et un effet générant une force de poussée du point de vue des forces et des accélérations dans le sens x, et
- des courants de fuite synchrones avec des durées d'impact significatives et un effet affaiblissant ou renforçant le champ magnétique de levage

L'intensité du courant de fuite ne doit pas

- générer une force inadmissible au sens du dimensionnement de la rame de TSM et de la voie, ou

- entraîner une accélération inadmissible (avec non-observation des profils de roulage limites ou mise en danger des personnes dans la rame).

À cet effet, l'intensité de courant de fuite doit être surveillée et limitée.

**Effet générant une force de poussée :**

- **Force de propulsion défaillante**

La force de propulsion défaillante doit être limitée de manière à ce que la force servant de base au dimensionnement de la rame de TSM et de la voie (selon les effets exceptionnels, cf. chap. 0, n° 7. (2)) dans le sens x soit excédée au maximum avec une probabilité d'occurrence correspondant à SIL 4 (valeur indicative).

*Stabilité de la voie et dimensionnement de la rame de TSM, classification conforme à la norme /DIN EN 61508-1/.*

- **Accélération de propulsion défaillante**

L'accélération de propulsion positive défaillante dans le sens de circulation doit être limitée de manière à ce que l'accélération maximale servant de base au profil de roulage maximal soit excédée au maximum avec la probabilité d'occurrence indiquée à cet effet par la BLT.

*La limite de probabilité d'occurrence pour l'événement « Franchissement du point de danger » s'applique (cf. chap. 0). L'accélération de propulsion défaillante doit à cet effet être prise en compte proportionnellement. La classification se fait conformément à la norme /DIN EN 61508-1/.*

L'accélération de propulsion négative défaillante (décélération) dans le sens de circulation doit être limitée de manière à ce que l'accélération maximale servant de base au profil de roulage minimal soit excédée au maximum avec la probabilité d'occurrence indiquée à cet effet par la BLT.

*La limite de probabilité d'occurrence pour l'événement « Absence d'atteinte du point d'accessibilité » s'applique (cf. chap. 0). L'accélération de propulsion défaillante doit à cet effet être prise en compte proportionnellement.*

**Effet affaiblissant ou renforçant le champ magnétique de levage :**

Un courant de propulsion défaillant avec un effet affaiblissant le champ magnétique de levage sur un côté du moteur / de la voie peut se produire.

*Stabilité de la voie et dimensionnement de la rame de TSM, classification selon la probabilité d'occurrence conforme à la norme /DIN EN 61508-1/, l'abaissement d'un côté est pris en compte comme cas de charge particulier.*

Un courant de propulsion défaillant avec un effet affaiblissant le champ magnétique de levage sur les deux côtés du moteur / de la voie peut se produire avec une probabilité d'occurrence maximale correspondant à SIL 4 (valeur indicative).

Un courant de propulsion défaillant avec effet renforçant le champ magnétique de levage doit être limité de manière à ce que la force qui en résulte et sert de base au dimensionnement de la rame de TSM et de la voie (selon les effets exceptionnels, cf. chap. 0, n° 7) dans le sens x soit excédée au maximum avec une probabilité d'occurrence correspondant à SIL 4 (valeur indicative).

*Stabilité de la voie et dimensionnement de la rame de TSM, classification conforme à la norme /DIN EN 61508-1/.*

**Détection des défauts à la terre et coupure :**

La détection des défauts à la terre et la coupure doivent être exécutées selon une disponibilité à déterminer en fonction du projet.

*Aucun effet de force défailant ou mise en danger immédiats ne surviennent dans ce cas.*

**Plan de sauvetage**

Les exigences relatives au sauvetage doivent être fixées en fonction du projet dans un plan de sauvetage.

Le plan de sauvetage doit faire partie du plan de sécurité spécifique au projet.

*Le plan de sauvetage tient compte notamment de la protection des personnes en cas d'incendie dans la rame de TSM.*

Le plan de sauvetage doit se baser sur le principe d'autosauvetage.

Les mesures de sauvetage par une équipe extérieure doivent être incluses en complément.

Le plan de sauvetage doit décrire le déroulement d'une évacuation d'urgence selon les conditions spécifiques au projet et l'interaction entre toutes les mesures de sécurité (techniques, structurelles, opérationnelles et organisationnelles) pour les cas d'évacuation.

*Sur la base des consignes de sauvetage, l'analyse des risques (cf. chap. 0) évalue si le risque résiduel est acceptable en cas d'évacuation.*

**Certification de sécurité**

La certification de la sécurité du système conformément au § 4 (2) du règlement /MbBO/ doit être réalisée comme une certification de sécurité spécifique au projet sur la base de la norme /DIN EN 50129/.

## Environnement

**Effets sur l'environnement**

Lors du dimensionnement et de la qualification des modules et des parties du système de TSM, les données relatives à l'environnement primaire doivent être prises comme base, document /MSB AG-UMWELT/.

Dans la mesure où des données environnementales allant au-delà doivent être prises comme base sur un site de projet, elles doivent être prises en compte dans le cadre d'une configuration spéciale.

En cas de menace de dépassement des données environnementales spécifiées, le service doit être restreint selon les prescriptions de services à établir en fonction du projet, voire interrompu.

**Vent**

L'influence du vent latéral, y compris les remous atmosphériques (conformément au document /MSB AG-UMWELT/) et les passages sous le vent, doit être régulée par le système de guidage électromagnétique.

En cas de cumul de rafales de vent latéral inhabituelles, le système de guidage électromagnétique peut être assisté brièvement par le système de guidage latéral mécanique, sans que cela n'affecte les opérations de roulage.

Le vent arrière et le vent contraire doivent être pris en compte pour le dimensionnement des voies de freinage et les distances entre les zones d'arrêt.

### **Hiver**

Les installations de service et les rames doivent être conçues de manière à éviter la mise en danger d'autrui par la neige, l'eau ou le verglas.

Lors du tracé de la voie de niveau, la hauteur de pente doit être déterminée en tenant compte des influences climatiques prévues (par exemple accumulations de neige) en fonction du projet.

La table de la voie doit être réalisée de manière à ce que les eaux de pluie et la neige fondue puissent s'écouler sans entrave.

Les fonctions magnétiques de levage, de guidage et de propulsion ne doivent pas non plus être entravées par le verglas sur la rame de TSM et la voie, conformément au document /MSB AG-UMWELT/.

Concernant la fonction et la voie de freinage des freins de sécurité conformément au chap. 0, la présence de verglas sur la voie doit être pris en compte, lorsque cela ne peut être exclu par des mesures structurelles par exemple.

Les mesures relatives au service d'hiver doivent être déterminées en fonction du projet.

Les équipements de sauvetage doivent être inclus dans le service d'hiver.

### **Perturbations électromagnétiques**

L'immunité du système de TSM face aux perturbations électromagnétiques de l'extérieur doit répondre aux exigences définies dans la norme /DIN EN 50121/.

La protection contre les effets de la foudre doit répondre à la norme /DIN V VDE V 0185-3/.

## **Impacts sur l'environnement**

### **Bruit**

Le document /MSB-LSchV/ s'applique.

La procédure de calcul des facteurs de correction DFz et DFb est réglementée dans l'annexe 5 du document sur le système complet.

### **Perturbations magnétiques, électriques et électromagnétiques**

Les normes /DIN EN 50121-2/ et /DIN EN 50121-5/, ainsi que le 26e décret allemand relatif à la protection contre les immissions (/26. BImSchV/), s'appliquent.

## **Confort de roulage**

Les exigences relatives au confort doivent être déterminées en fonction du projet.

**Aspects du tracé importants pour le confort**

*Les exigences relatives à l'accélération et aux chocs figurent au chap. 0.*

*Les exigences concernant les variations d'accélération et les chocs peu fréquents par ordre d'éléments de tracé figurent dans le document /MSB AG-FW TRAS/, chap. 6.2.*

**Vibrations affectant le confort (valeurs RMS)**

L'accélération doit respecter les valeurs indicatives suivantes pour les valeurs RMS :

0,2 m/s<sup>2</sup> dans le sens x, y et z dans 95 % de toutes les sections d'analyse

(avec filtre d'évaluation conforme à la norme /ISO 2631, ORE B 153/, sections d'analyse de 5 s ou 500 m respectivement).

**Variations de pression lors des passages dans les tunnels**

Sur la base de la charge de pression maximale indiquée au chap. 6.1.1.3.3 lors des passages dans les tunnels, l'étanchéité et la résistance à la pression de la rame de TSM doivent être conçues de manière à respecter les exigences en matière de confort.

Les variations de pression admises agissant sur les passagers présents dans la rame de TSM sont définies en fonction du projet.

*Valeur indicative pour la variation de pression maximale dans l'espace réservé aux voyageurs lors des passages dans les tunnels*

*500 Pa en 1 s*

*800 Pa en 3 s*

*1 000 Pa en 10 s.*

*Concernant les exigences aérodynamiques découlant du dimensionnement de la rame, voir chap. 0.*

*Concernant les exigences techniques de construction applicables aux tunnels, voir chap. 0.*

## Conception / configuration du système

# Parties du système

## Rame de TSM

### Structure

*La structure de la rame de TSM est représentée dans la Figure 9.*

### Délimitation de la rame

*Certification du gabarit cinématique conforme au document /MSB AG-FZ KIN/.*

### Caisse de wagon

Le § 18 (1) et le § 18 (3) du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte.

*Contraintes de pression sur la caisse de wagon, cf. chap. 0.*

## Fonctions

### Levage et guidage

Le § 19 du règlement /MbBO/ doit être pris en compte. Cette exigence doit être appliquée comme suit :

#### Structure / Fonction

La suspension magnétique doit diriger les forces de levage / guidage / propulsion dans la voie sous forme de charges de surface.

*Les rames de TSM sont munies d'une suspension magnétique courant sur l'ensemble de la longueur de la rame, composée d'une chaîne de châssis de sustentation et d'aimants de levage et de guidage.*

Le § 17 (4) et le § 20 (1) du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte. Ces exigences doivent être appliquées comme suit.

Exigences relatives à la fonction de levage mécanique :

- Le patin de levage doit accomplir la fonction de support mécanique et de frein d'arrêt de la rame de TSM abaissée puis à l'arrêt dans les zones dans lesquelles les rames à l'arrêt doivent être protégées contre tout mouvement involontaire.
- Les patins de levage doivent être conçus pour freiner la rame de TSM afin d'atteindre une vitesse inférieure à la vitesse d'abaissement jusqu'à l'immobilisation totale.
- En cas de défaillance des deux circuits de régulation du levage sur un cadre de sustentation, les patins de levage doivent prendre en charge la fonction de levage lorsque le train avance.

- Le glissement entre la glissière et le patin de levage doit être adapté de manière à ce que les charges statiques et dynamiques servant de base au dimensionnement de la voie et de la rame de TSM soient respectées.
- La défaillance des fonctions de levage magnétiques au niveau d'un circuit de régulation du levage doit être détectée et déclencher une réaction automatique du système en vue de limiter la distance de glissement selon une mesure à déterminer en fonction du projet.

*cf. Figure 10: Courbe caractéristique de freinage des freins de sécurité pour une voiture de rame de TSM.*

*Valeur d'orientation pour la distance de glissement d'un cadre de sustentation abaissé sur patins de levage :*

*100 à 200 km*

Exigences relatives à la fonction de guidage mécanique :

- En cas de défaillance des deux circuits de régulation du guidage sur un cadre de sustentation, la fonction mécanique de guidage doit être assurée par le glissement des éléments de guidage mécaniques sur les rails de guidage latéraux.
- Le glissement entre les rails de guidage latéraux et l'élément de guidage mécanique doit être adapté de manière à ce que les charges statiques et dynamiques servant de base au dimensionnement de la voie et de la rame de TSM soient respectées.

## **Freins de sécurité**

### **Caractéristiques de fonctionnement**

La capacité de freinage de la rame de TSM doit être disponible pour respecter le profil de roulage maximal contrôlé par la BLT.

Si des freins de sécurité différents du principe de propulsion sont utilisés à cet effet, il convient de veiller à ce que le fonctionnement des freins de sécurité ne subisse pas d'influence inadmissible (due par exemple à la propulsion).

Si une perturbation ou une panne survient au sein des équipements de commande du système de freinage, ces freins doivent produire au moins le même effet de freinage qu'une commande opérationnelle.

La valeur maximale de force de freinage doit être compatible avec les charges de dimensionnement pour la voie et la rame de TSM.

La valeur minimale de force de freinage pouvant être atteinte avec certitude doit correspondre aux profils de roulage contrôlés du point de vue technique de sécurité dans des conditions défavorables (comme par exemple un fort vent arrière).

Les freins de sécurité de la rame doivent être conçus de manière telle que la rame de TSM peut appliquer de façon autonome un freinage vers une zone d'arrêt avec les équipements de l'installation technique de commande incorporés dans la rame.

*En fonction du projet, il est possible de s'appuyer sur l'action de freinage des enroulements en court-circuit en complément de l'action de freinage lors de la projection du profil de freinage de sécurité, voir également le document /MSB AG-ANT/, chap. 5.3.*

Il convient d'exclure tout dépassement de la force de freinage soumise aux charges de dimensionnement. Dans la mesure où cela n'apparaît pas dans la conception, l'absence de toute ac-

tion simultanée de la force de freinage de l'entraînement par stator long et des freins de sécurité propres à la rame doit être vérifiée par le biais de l'installation technique de commande, avec une probabilité d'occurrence correspondant à SIL 4 (valeur indicative) (cf. chap. 0).

Une rame de TSM abaissée ne doit pas subir l'influence de l'entraînement par stator long.

*Ceci est possible s'il n'y a pas d'excitation de l'entraînement du stator long à l'état abaissé.*

Le fonctionnement du frein d'arrêt doit être vérifié pour les zones de voie dans lesquelles les rames de TSM doivent être protégées contre tout déplacement involontaire.

*Dans ces zones, une inclinaison longitudinale de 5 ‰ ne doit pas être dépassée, conformément au règlement MbBO, § 13 (2). À titre exceptionnel, cela peut être admis au cas par cas pour des raisons particulières, à condition que la sécurité soit assurée par un autre biais.*

Si, dans des cas particuliers, des rames de TSM à l'arrêt dans des zones avec une inclinaison longitudinale  $> 5 ‰$  doivent être protégées contre tout déplacement involontaire, le fonctionnement du frein d'arrêt doit être vérifié.

Le fonctionnement des freins de sécurité doit être adapté à l'application d'un freinage automatique d'urgence conformément au document /MSB AG-BLT/.

### **Approvisionnement en énergie de bord**

Le fonctionnement de l'approvisionnement en énergie de bord doit être contrôlé (cf. chap. 0).

Il convient de veiller à ce qu'une énergie de bord suffisante soit disponible pour l'exécution d'un trajet, y compris avec un arrêt avec les freins de sécurité.

### **Paramètres de configuration**

Le § 3 (3), le § 17 (1), le § 17 (6), le § 18 (2) et le § 21 (1) du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte.

*Pour les exigences relatives à la protection contre les incendies dans les rames de TSM, cf. chap. : 0.*

### **Configuration de la rame**

Le § 20 (2) du règlement /MbBO/ doit être pris en compte. Ces exigences doivent être appliquées comme suit.

Les rames de TSM doivent être composées de voitures de rames autonomes du point de vue de la fonction de levage et de guidage, du système de freinage, de l'approvisionnement en énergie de bord et de la caisse de wagon.

La longueur de système des voitures d'une rame de TSM doit être de 24,768 m.

*(Longueur de la rame équipée d'aimants de levage, cf. également chap. : 0, n° 6.1.1. (3)).*

*Les dimensions en longueur des voitures de rames de TSM peuvent être déduites à partir de ces valeurs.*

Une rame de TSM doit présenter deux voitures d'extrémité.

En outre, une rame de TSM peut compter jusqu'à 8 voitures intermédiaires.

*La détermination du nombre de voitures se fait en fonction du projet, sur la base de la mission de transport prévue (par exemple importance du trafic).*

Les différentes voitures doivent pouvoir être aménagées librement dans le cadre de la configuration des rames destinées au transport de personnes et de marchandises.

*Dans le cadre du service, il est possible de réagir aux variations quotidiennes de l'importance du trafic en utilisant des rames de TSM présentant un nombre supérieur ou inférieur de voitures intermédiaires et / ou en adaptant l'indicateur horaire.*

*Pour s'adapter à l'évolution à long terme de la demande de transport, il est possible d'augmenter la capacité des rames de TSM en ajoutant des voitures intermédiaires supplémentaires.*

*On désigne sous le terme de train une rame de TSM équipée des installations mobiles de BLT, contrôlée et fiable du point de vue opérationnel (cf. /MSB AG-ABK&DEF/).*

*Des exemples de dimensions des voitures de rames de TSM sont représentés dans les figures suivantes :*

*Voiture d'extrémité / intermédiaire pour le transport de personnes dans le trafic grandes lignes : Toilettes handicapés  
Casiers*

*RS : Système de sauvetage  
Emplacement pour fauteuil roulant  
Surface utile  
Largeur libre*

- Figure 6

*Voiture d'extrémité / intermédiaire pour le transport de personnes pour les navettes des aéroports :*

*1300 (Largeur libre de la porte non symétrique par rapport au centre de la zone d'accès)*

*1600 Structure de l'ouverture (espace d'installation de la porte d'accès)*

*Centre de la zone d'accès = séparateur de porte 12384 mm*

*Ouverture de la structure*

*Figure 7 et 1300 (Largeur libre de la porte non symétrique par rapport au centre de la zone d'accès)*

*1600 (Structure de l'ouverture, espace d'installation de la porte d'accès)*

- Figure 8
- *Caisses de wagon et système de levage / guidage : Figure 9*

### **Trainée**

Définition du terme « trainée », voir document /MSB AG-NORM&RILI/.

La trainée se compose des éléments suivants :

- Aérodynamique,
- Magnétisation,
- Production d'énergie de bord.

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

Doc. n° : 50630

Version finale

Date de publication 15.02.2007

Page 43

Lors de la détermination des profils de roulage avec définition des voies de sustentation et des distances de freinage, la force descensionnelle locale doit être prise en compte en plus de la traînée.

*Valeurs indicatives pour l'importance de la traînée pour les rames de TSM avec 2 à 10 voitures de 0 à 400 km/h, ainsi que de ses différents éléments : Figure 11*

La traînée doit être déterminée en fonction du projet et prise en compte lors de la configuration (voir Figure 11) :

**Traînée totale :**

$$F_W = F_A + F_M + F_B$$

**Aérodynamique :**

$$F_A = 2,8 \text{ kN} * (v/[m/s])^2 * (0,53 * N/2 + 0,30) * 10^{-3}$$

Les augmentations aérodynamiques de la traînée lors du passage dans un tunnel doivent également être prises en compte en fonction du projet.

*L'élément aérodynamique est largement proportionnel à  $v^2$ , mais inclut également une faible part proportionnelle à  $v$  afin de tenir compte du prélèvement d'air pour la ventilation et la climatisation. Cette part proportionnelle à  $v$  peut être considérée comme étant incluse dans la part proportionnelle à  $v^2$ .*

**Magnétisation :**

$$F_M = N * (0,1 \text{ kN} * (v/[m/s])^{0,5} + 0,02 \text{ kN} * (v/[m/s])^{0,7})$$

s'applique en cas d'utilisation du matériau recommandé pour les rails de guidage latéraux conformément au chap. 0.

**Production d'énergie de bord :**

$F_B = 0$	pour 0 à 20 km/h
$F_B = N * 7,3 \text{ kN}$	pour 20 à 70 km/h
$F_B = N * (146 \text{ kN} / v/[m/s] - 0,2 \text{ kN})$	pour 70 à 500 km/h

où

v - vitesse de la rame de TSM

N - nombre de voitures de la rame

en service stationnaire

- sans alimentation par approvisionnement externe en énergie de bord (en cas de fonctionnement avec approvisionnement externe en énergie de bord jusqu'à 100 km/h,  $F_B = 0$ ),
- sans rechargement des batteries du circuit de bord,
- sans influence du vent, et
- pour une température ambiante moyenne en climat tempéré (conformément au document /MSB AG-UMWELT/) avec puissance de climatisation correspondante.

**Aérodynamique**

Le comportement aérodynamique en cas de trafic en sens inverse et de passage dans un tunnel est basé sur les normes /EN 14067-2/ et /EN 14067-3/.

La différence de pression maximale autorisée (intérieur / extérieur) lors du passage dans un tunnel et l'effet de la pression en cas de trafic en sens inverse doivent être utilisés comme base pour le dimensionnement de la rame.

*La différence de pression (intérieur / extérieur) lors du passage dans un tunnel découle de la variation de la pression extérieure en fonction de la longueur et de la section transversale du tunnel et de la variation retardée de la pression intérieure. La variation de la pression intérieure est déterminée par l'étanchéité à la pression et la résistance à la pression de la caisse de wagon. La détermination de la section transversale de tunnel, des exigences en matière de confort et des propriétés de la rame doivent donc concorder. Voir également 0 et 0.*

La différence de pression maximale (intérieur / extérieur) ne doit pas être supérieure à 5 500 Pa (valeur limite).

La valeur maximale de différence de pression (intérieur / extérieur) intervenant lors du passage dans un tunnel doit être déterminée en fonction du projet.

*La Évolution de la pression*

*Pression                  Temps  
correspond à 4 m*

*Pour le rapport de dépendance à la vitesse :*

*Distance en m*

*Effet de la pression sur une surface plane parallèle au sens de circulation, fixe ou se déplaçant en parallèle.*

*Distance entre les parois latérales des rames en cas de croisement de deux trains :*

*où  $S$  – distance moyenne d'écartement selon le tab. 5*

*$\alpha$  – inclinaison latérale*

*$B_{wk-A}$  – largeur extérieure de la caisse de wagon selon l'annexe n° 4.2 (4)*

*Inclinaison latérale de la voie*

*Distance moyenne d'écartement*

*Distance entre les parois latérales des rames en cas de croisement de deux trains*

Figure 12 illustre l'effet de la pression en cas de croisement de deux trains en dehors des tunnels.

*La Évolution de la pression*

*Pression          Temps*

*correspond à 4 m*

*Pour le rapport de dépendance à la vitesse :*

*Distance en m*

*Effet de la pression sur une surface plane parallèle au sens de circulation, fixe ou se déplaçant en parallèle.*

*Distance entre les parois latérales des rames en cas de croisement de deux trains :*

*où  $S$  – distance moyenne d'écartement selon le tab. 5*

*$\alpha$  – inclinaison latérale*

*$B_{wk-A}$  – largeur extérieure de la caisse de wagon selon l'annexe n° 4.2 (4)*

*Inclinaison latérale de la voie*

*Distance moyenne d'écartement*

*Distance entre les parois latérales des rames en cas de croisement de deux trains*

Figure 12 illustre également l'effet de la pression sur les équipements stationnaires le long de la voie en dehors des tunnels lors du passage d'une rame.

## Propulsion et approvisionnement en énergie

La partie de système Propulsion et approvisionnement en énergie doit alimenter les autres parties du système de TSM en énergie nécessaire et propulser les rames de TSM selon les indications de l'installation technique de commande.

La partie de système Propulsion et approvisionnement en énergie doit tenir compte des interfaces suivantes par rapport aux autres parties du système :

- Voie (stator du moteur à stator long synchrone, installations de changement de voie, points de référence),
- Rames de TSM (aimant de levage comme système d'excitation du moteur à stator long synchrone, informations absolues et relatives de localisation, approvisionnement externe en énergie de bord),
- Installation technique de commande (indications de roulage, coupure de propulsion de sécurité),
- Autres composants du système de TSM (approvisionnement en énergie auxiliaire).

## Structure

En fonction du lieu, la partie de système Propulsion et approvisionnement en énergie comprend les composants suivants :

- Équipements centralisés à des fins **de service et d'observation** et **de diagnostic**,
- **Approvisionnement en énergie** (structure Figure 13) avec
  - **Équipements dans les postes** d'approvisionnement en énergie auxiliaire et de traction, le cas échéant également pour l'alimentation externe en énergie de bord, et
  - **Équipements sur les voies** pour l'approvisionnement en énergie auxiliaire des équipements présents sur les voies du système de TSM, et le cas échéant pour l'alimentation externe en énergie de bord,
- **Propulsion** (Figure 14) avec
  - **Équipements dans les postes** de transformation de l'énergie électrique et de régulation / commande, et
  - **Voies de propulsion** situées le long de la voie pour la distribution de l'énergie électrique le long de la voie et pour la commande, composées de câbles de voie, de relais et de sections de stator.

## Fonctions

Au niveau des **consoles de commande**, le statut de l'ensemble de la partie du système doit pouvoir être observé et les interventions requises doivent pouvoir être réalisées par l'opérateur. Dans le cadre d'un service normal conforme à l'indicateur horaire, aucune intervention manuelle ne doit être requise.

L'**approvisionnement en énergie** doit inclure les fonctions partielles d'adaptation et de distribution de l'énergie, d'approvisionnement en énergie auxiliaire, d'alimentation externe en énergie de bord, d'approvisionnement en énergie de traction, de compensation de la puissance apparente et de commande de l'approvisionnement en énergie.

L'**adaptation et la distribution de l'énergie** doit, si nécessaire, adapter la valeur de la tension disponible au niveau de l'interface vers le réseau public à la configuration de réseau utilisée pour la propulsion interne et la distribuer aux unités de fonctionnement de l'approvisionnement en énergie décrites ci-après.

L'**approvisionnement en énergie auxiliaire** doit respectivement alimenter en énergie nécessaire la régulation / commande de la propulsion, l'installation technique de commande, les aiguillages et le cas échéant les autres composants du système de TSM. Pour une sélection de composants, l'approvisionnement en énergie doit être assuré sans interruption.

L'**alimentation externe en énergie de bord** doit mettre à disposition l'énergie correspondant à la puissance requise par les rames de TSM dans des lieux à déterminer. Elle doit convertir l'énergie en fonction de la configuration de l'approvisionnement externe en énergie de bord et la diriger vers les composants situés au niveau de la voie.

L'**approvisionnement en énergie de traction** doit diriger l'énergie nécessaire à la traction vers la propulsion.

Si nécessaire, la **compensation de la puissance apparente** doit assurer le respect des conditions de connexion exigées à l'interface vers le réseau public d'alimentation en énergie.

L'**approvisionnement en énergie de commande** doit contrôler tous les équipements d'approvisionnement en énergie et, en cas de dysfonctionnement, déclencher les réactions de protection et, si nécessaire, les commutateurs de redondance automatiques. En outre, il doit vérifier la plausibilité des manœuvres effectuées au niveau de la console de commande par rapport aux conditions de blocage actuelles et lancer les manœuvres requises.

La **propulsion** doit inclure les fonctions partielles suivantes, conformément à la Figure 15 : Les convertisseurs doivent transformer l'énergie disponible en fonction de la localisation de la rame, de la vitesse de la rame et de l'accélération requise.

Les convertisseurs doivent pouvoir être conçus de manière à ce que l'énergie de freinage puisse être réinjectée dans le réseau public.

La ligne doit être divisée en **zones de propulsion** dans lesquelles une rame de TSM peut être propulsée selon les indications de l'installation technique de commande.

*Les composants de la voie de propulsion sont respectivement associés à une zone de propulsion à un moment donné.*

*En règle générale, les zones de propulsion concordent avec les zones de sécurité de l'installation technique de commande.*

À l'intérieur des zones de propulsion, la puissance électrique de traction dans les moteurs à stator long synchrones doit être transformée en puissance mécanique.

*L'excitation est produite par les aimants de levage qui se trouvent dans la rame de TSM.*

La **régulation / commande de propulsion** doit coordonner tous les processus qui concernent la zone de propulsion et au-delà :

- formation et déclenchement des unités de propulsion et synchronisation des unités de propulsion voisines jusqu'à la transmission du guidage de la rame d'une unité de propulsion vers la suivante,

- coordination de l'intervention des convertisseurs, des sections de stator et des redondances,
- pilotage des modes de service pour tous les équipements de propulsion en fonction de leur statut et des indications actuelles de l'installation technique de commande.

Le **système de guidage de la rame** doit guider la rame de TSM selon un profil de roulage donné par la BLT en tenant compte des conditions de confort sur une voie de propulsion. À cet effet, il faut prévoir :

- la communication avec l'installation technique de commande pour la réception des indications concernant le lieu ciblé, le sens de circulation et la vitesse,
- la communication avec la rame de TSM pour la réception des informations relatives et absolues de localisation,
- le calcul des courbes de freinage ciblées,
- la régulation de la trajectoire et de la vitesse,
- la régulation des phases (calcul de la position relative de la rame par rapport au stator long).

La **commande de la voie** doit coordonner, en fonction de la procédure de changement de section de stator, de la localisation de la rame et de la vitesse de la rame, le pilotage et le contrôle des différents postes de commutation de la voie de propulsion, avec les fonctions suivantes :

- émission de signaux de commande pour l'enclenchement et la désactivation des commutateurs de section de stator et de voie,
- contrôle des signaux de commutation,
- protection des câbles de voie et des stators longs.

La **régulation du courant** doit réguler le courant du stator selon la fréquence, la grandeur et la relation de phase, avec :

- calcul de la force électromotrice synchrone induite par la rame de TSM dans le stator long,
- conversion des indications du système de guidage de la rame et de la commande de propulsion en grandeurs de commande pour la régulation / commande des convertisseurs.

La **régulation / commande des convertisseurs** doit piloter et réguler tous les composants d'un convertisseur en fonction des indications de la régulation du courant et de la commande de propulsion, avec :

- calcul des valeurs réelles au niveau du réseau et du moteur et dans la baie de commande du convertisseur,
- pilotage et contrôle de la baie de commande du convertisseur,
- pilotage et contrôle des composants périphériques associés tels que les postes de commutation, les transformateurs et les installations de refroidissement.

### Paramètres de configuration

Les conditions générales et paramètres suivants doivent être déduits des exigences spécifiques au système, spécifiques au projet ou opérationnelles pour la configuration de la propulsion :

Généralités :

- La totalité de la ligne doit être divisée en zones de propulsion conformément aux exigences opérationnelles.
- Des ramifications peuvent être aménagées à l'intérieur ou à la périphérie d'une zone de propulsion.
- Afin de répondre aux exigences de disponibilité, les sections de stator situées des deux côtés de la voie doivent être associées à des systèmes de moteur indépendants les uns des autres et placées les unes en face des autres en règle générale.

Interface vers l'installation technique de commande (coupure de propulsion) :

- La propulsion doit disposer d'équipements de mise hors circuit pour une coupure de propulsion de sécurité.

*Le déclenchement de la coupure de propulsion de sécurité se fait par l'intermédiaire de la BLT.*

- La propulsion doit permettre de veiller à ce que, en cas de coupure de propulsion dans une zone de propulsion, la répercussion sur les autres zones de propulsion reste limitée à une perte de redondance ou à une réduction de la puissance.

Service :

- Les combinaisons de pannes de propulsion déterminées en fonction du projet doivent être prises en compte lors de la configuration des zones d'arrêt.

Grandeurs caractéristiques du moteur :

Les grandeurs caractéristiques du moteur suivantes doivent être déterminées en fonction du projet :

- Résistance ohmique linéique,
- Inductance linéique,
- Capacité linéique,
- Constante moteur,
- Inductance principale et inductance de fuite,
- Température maximale autorisée des conducteurs et comportement thermique,
- force électromotrice synchrone.

*Caractéristiques du moteur, voir chap. 0, annexe : n° 8.*

Les propriétés des équipements de protection et de l'enroulement du stator long doivent correspondre les unes aux autres pour atteindre une fonction de protection fiable.

Les mesures suivantes de réduction du tronçon de liaison doivent être prévues en fonction des besoins :

- Bobinage partiel d'une ou de plusieurs sections de stator avec les modifications des données moteur qui en découlent,
- Câblage temporaire ou permanent d'une ou de plusieurs sections du stator ou de parties de section de stator des deux côtés au niveau du point neutre (court-circuit).

## Installation technique de commande

Le § 15 (3) et le § 15 (4) du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte. Ces exigences doivent être appliquées conformément au document /MSB AG-BLT/.

### Structure

L'installation technique de commande doit inclure les composants et les fonctions de sécurité, de contrôle et de commande du roulage.

L'installation technique de commande doit relier les parties du système de train rapide à sustentation magnétique de façon fonctionnelle pour former un système complet opérationnel.

*Les parties de système voisines et les niveaux opérationnels de la BLT sont les suivants (voir Figure 16) :*

- *Service de roulage,*
- *Voie et stations (y compris les installations de changement de voie et les points de référence pour la localisation),*
- *Rame (toutes les rames de TSM et les rames spéciales techniquement fiables spécifiques au projet),*
- *Propulsion et approvisionnement en énergie (postes avec unités de propulsion),*
- *Maintenance.*

Les composants de l'installation technique de commande peuvent être mobiles (par exemple compteur de sécurité pour une rame) ou stationnaires (par exemple compteur de sécurité pour une zone de voie).

Les composants stationnaires peuvent être divisés en composants centralisés et en composants décentralisés.

La configuration doit se faire dans le cadre de la projection selon les indications de l'opérateur.

### Fonctions

L'installation technique de commande doit inclure les fonctions suivantes :

- Commande du déroulement du roulage,
- Sécurité de la voie,
- Contrôle du profil de roulage,
- Sécurité de la rame,
- Coupure de propulsion,
- Localisation de sécurité,

- Transmission de données.

La **fonction de commande du déroulement du roulage** doit inclure les fonctions partielles suivantes :

- la fonction de commande et d'affichage (affichage du statut actuel de la voie et de toutes les rames reconnues par la BLT, traitement des indications de commande),
- la génération d'indications de trajet (à partir des manœuvres et automatiquement à partir des indicateurs horaires),
- le réglage de la voie (réglage des éléments mobiles de la voie),
- la génération et la transmission des données de commande pour les rames.

La **sécurité de la rame** doit contrôler et piloter le statut des rames. À cet effet, elle doit réguler au niveau de la rame de TSM le levage, l'abaissement, le contrôle de la fonction d'approvisionnement en énergie de bord et la commande des freins de sécurité par le biais de la commande de la rame, entre autres.

La **sécurité de la voie** doit assurer le positionnement et le contrôle des itinéraires en fonction des paramètres de voie, y compris des éléments mobiles de la voie. Le suivi de l'occupation des voies et la destruction d'un itinéraire doivent tenir compte des informations relatives aux mouvements des rames.

La **localisation de sécurité** doit permettre de calculer la localisation actuelle et la vitesse de la rame sur la base des points de référence déterminés et de la localisation relative qui en découle. Ces informations doivent permettre la localisation en toute sécurité du contrôle du profil de roulage (voir également chapitre 0).

Le **contrôle du profil de roulage** doit calculer le profil de roulage autorisé à partir des données de la rame et de la voie. Le contrôle du profil de roulage doit contrôler ce profil au moyen des informations de localisation de sécurité de la rame. Le contrôle du profil de roulage doit signaler la non-observation du profil à la coupure de propulsion et à la sécurité de la rame.

La **coupure de propulsion** doit couper la propulsion de manière à ce que l'action des freins de sécurité ne puisse être influencée de manière inadmissible par la propulsion.

En cas de non-observation du profil de roulage maximal, les freins de sécurité de la rame doivent être déclenchés en plus.

*En cas de non-observation du profil de roulage minimal, l'atterrissage sans propulsion a lieu après la coupure de propulsion.*

La **transmission des données** doit assurer l'échange des données / informations suivantes entre les parties du système de train rapide à sustentation magnétique et au sein de l'installation technique de commande :

- données de sécurité,
- données de propulsion,
- données de diagnostic,
- appel d'urgence de voyageur,
- alarme incendie,

- transmission vocale de service.

### **Paramètres de configuration**

Au minimum, les conditions générales et paramètres suivants doivent être déduits des exigences spécifiques au système, spécifiques au projet ou opérationnelles pour la configuration de l'installation technique de commande :

- La totalité de la ligne doit être divisée en zones de sécurité conformément aux exigences opérationnelles et à la configuration de la propulsion.
- Paramètres de voie :
  - Schéma de voie (enchaînement d'éléments),
  - Points de danger,
  - Installations de changement de voie,
  - Inclinaison longitudinale de la voie,
  - Précision de localisation, le cas échéant en fonction du lieu (emplacement des points de référence),
  - Zones d'arrêt (emplacement, longueur, points ciblés, ouverture de porte pour les rames de TSM),
  - Arrêt d'urgence vers une zone d'arrêt ou arrêt immédiat,
  - Limitations de vitesse en fonction du lieu,
  - Configuration de propulsion en fonction du lieu,
  - Accélération de propulsion défaillante en fonction du lieu,
  - Superposition autorisée en fonction du lieu de la propulsion et des freins de sécurité.
- Paramètres de rame :
  - Caractéristiques pour les freins de sécurité et sustentation sans propulsion des rames de TSM,
  - Limitations de vitesse en fonction de la rame,
  - Longueur de rame,
  - Vitesse d'abaissement des rames de TSM.
- Autres paramètres, si ces paramètres doivent être commandés par l'installation technique de commande :
  - Zones avec approvisionnement externe en énergie de bord,
  - Ouverture de porte sur le quai.

## Voie

### Structure

Le § 12 (1), le § 12 (2), le § 12 (3) et le § 14 du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte.

La voie fait partie des installations de service et se divise en :

- Superstructures de la voie,
- Infrastructures de la voie,
- Installations de changement de voie,
- Ouvrages spéciaux,
- Périphérie de la ligne,
- Équipement de la voie.

Les limites et les zones de dégagement définies dans la Figure 22 doivent être respectées, mais elles peuvent être adaptées en fonction du type de construction et après examen spécifique au projet.

La maintenance de la voie doit être effectuée depuis les supports de voie. Il est possible de déroger à cette règle notamment dans le cas des travaux de remise en état des infrastructures de la voie.

Les supports de voie et les composants de l'équipement peuvent être mis en service dans le cadre d'un projet d'application uniquement après une qualification.

Avant une utilisation comme type de construction standard dans le cadre d'un projet d'application, les supports de voie et les composants d'équipement doivent en outre être testés dans des conditions générales les plus proches possibles des conditions réelles d'utilisation.

Les répercussions des différents modules de la voie les uns sur les autres, notamment sous l'effet de charge dynamique des rames et des effets provenant de l'environnement, doivent être prises en compte en fonction du type de construction.

Les modules de la voie doivent être définis clairement en fonction du projet dans une liste des ouvrages.

La liste des ouvrages doit au moins contenir les informations suivantes :

- Paramètres de tracé (positionnement spatial, inclinaison latérale, inclinaison longitudinale, rayon horizontal, rayon vertical, coordonnées de la voie, hauteur de la voie, niveau du terrain),
- Nombre de piliers,
- Nombre et longueur des supports,
- Ouvrages spéciaux,
- Infrastructure longitudinale et transversale (y compris hauteurs de passage),
- Agencement des paquets de tôles statoriques (avec indication de l'entrefer),
- Position et codification des butées de référence,

- Zones avec approvisionnement externe en énergie de bord,
- Zones d'arrêt,
- Position et agencement de l'enroulement du moteur par rapport à l'agencement du paquet de tôles statoriques,
- Placement des câbles au niveau des infrastructures.

*D'autres exigences concernant la voie sont définies dans les principes d'exécution, Voie, Parties I à VI.*

*Les exigences qui y figurent se rapportent à tous les modules directement placés au niveau de la voie ou dans l'environnement direct de tracé.*

### **Fonctions**

Les charges résultant du roulage et de l'environnement et agissant sur la voie doivent être définies en fonction du projet.

La voie doit absorber ces charges et les transmettre au terrain de fondation.

*Les charges résultant de la propulsion et de la rame sont transmises à la voie par l'intermédiaire des plans fonctionnels du support de voie.*

Les ouvrages de construction de la voie et ses éléments doivent être conçus de manière à être tolérants en cas de dysfonctionnement, à détecter et signaler les dysfonctionnements et / ou à être redondants.

Les supports de voie doivent inclure les modules situés sur la voie pour l'équipement de voie spécifique de TSM.

Les ouvrages de construction doivent être conçus de manière à ce que les plans fonctionnels présentent au maximum les écarts par rapport aux indications de courbe spatiale conformes aux documents /MSB-FW GEO/ et /MSB-FW BEM/, sous l'influence simultanée du poids propre de la voie et des charges provenant du roulage et de l'environnement.

### **Paramètres de configuration**

#### **Superstructures de la voie**

Les superstructures de la voie constituent les rails de circulation de la voie.

Les superstructures de la voie doivent inclure l'équipement de la voie (conformément au chap. 0).

Les superstructures de la voie doivent transmettre les charges effectives (le cas échéant par le biais des appuis) aux infrastructures de la voie.

Lors de la planification des lignes de TSM, il convient de travailler avec les types de voie standard suivants, dont il est possible de s'écarter en fonction du projet :

- Type de voie I : Poutres à travée(s) simple / multiples avec des longueurs de système > 16 m  
(valeur indicative : 24,768 m),
- Type de voie II : Poutres à travée(s) simple / multiples avec des longueurs de système de  $\leq 16$  m  
(valeur indicative : 12,384 m),

- Type de voie III : Dalles à travées multiples avec des longueurs de système de 6 m par exemple (valeur indicative : 6,192 m).

*Les types de voie I et II sont généralement posés à discrétion sur des piliers avec des semelles individuelles. Les forces d'appui du type de voie III sont généralement redirigées dans le terrain de fondation par l'intermédiaire des semelles continues.*

La détermination du type de voie et des longueurs de système correspondants doit se faire en fonction du projet.

Indépendamment des valeurs indicatives susmentionnées pour les longueurs de système, des supports avec des longueurs de système plus courtes peuvent être utilisés :

Afin de compenser le déport radial des axes du système sur une voie à deux rails ou au niveau de points de passage obligatoires du tracé, des superstructures de voie placées sur le rail situé sur le bord intérieur de l'arc de cercle peuvent être utilisées, dont la longueur de système peut être réduite selon une trame de 86 mm jusqu'à 4\*86 mm.

Dans le cas de longueurs de système supérieures (env. > 31 m), soit des supports spéciaux, soit des structures porteuses primaires doivent être utilisées avec une voie standard posée dessus.

*Pour les superstructures de voie, les « modes de construction » suivants sont entre autres utilisables :*

- *Support / dalle en béton avec bras en porte-à-faux (en béton) intégré,*
- *Support / dalle en acier avec bras en porte-à-faux (en acier) intégré,*
- *Support / dalle hybride comme support / dalle en béton avec modules en acier fixés dessus pour loger l'équipement de la voie,*
- *Dalle en béton sur support en acier ou dalle en acier sur support en béton.*

*Selon la position de la pente par rapport au bord supérieur du terrain (hauteur de voie), on établit une distinction entre voie de niveau et voie surélevée.*

#### **Voie surélevée**

*Les voies dont la hauteur se situe entre 3,5 m et 20 m (dans des cas particuliers > 20 m) sont appelées voies surélevées.*

*La voie surélevée (voir Figure 19) est généralement réalisée selon le mode de construction à supports avec infrastructures discrètes, sous forme de :*

- *Poutres à travée simple avec butée unilatérale,*
- *Poutres à deux travées avec butée sur le pilier central.*

#### **Voie de niveau**

*Les voies dont la hauteur peut aller jusqu'à 3,5 m (hauteur minimale dans les cas particuliers : 1,25 m) sont appelées voies de niveau.*

*La voie de niveau peut être réalisée selon les modes de construction suivants :*

- *dalles avec infrastructures continues (voir Figure 20),*
- *supports avec infrastructures discrètes correspondant à la voie surélevée.*

**Infrastructures de la voie**

Les infrastructures de la voie doivent :

- transmettre les charges agissant sur les superstructures de la voie vers le sous-sol, et
- rendre possible la fixation des conduites d'alimentation de l'équipement de la voie.

Les infrastructures de la voie incluent :

- la fondation de la voie,
- les piliers de la voie,
- les autres infrastructures de la voie (y compris le système masse - suspension).

Les écarts des points d'appui de la voie dans le sens x suite à une déformation élastique des infrastructures doivent être limités aux valeurs suivantes :

- 10 mm par des effets variables,
- 20 mm par des effets exceptionnels.

**Installations de changement de voie**

Les exigences du § 12 (2) du règlement /MbBO/ doivent être prises en compte.

Les installations de changement de voie doivent permettre aux rames de TSM et aux rames spéciales de passer d'une voie à une autre.

*De manière générale, on établit une distinction entre les installations de changement de voie qui ne nécessitent aucune interruption de circulation (aiguillages) (voir Figure 25 : Aiguillage (exemple)) et les installations de changement de voie qui nécessitent une interruption de circulation (plates-formes pivotantes et roulantes).*

Les installations de changement de voie doivent être munies d'équipements qui bloquent la position de fin de course atteinte respectivement après le processus de changement de position et protègent contre les changements de position à un moment inopportun.

*La position de fin de course et le blocage en position de fin de course sont contrôlés de façon techniquement fiable par la BLT.*

La position de fin de course de l'installation de changement de voie doit être maintenue indépendamment des pannes affectant la commande, le contrôle ou l'approvisionnement en énergie.

Une panne affectant un module électrique, électronique ou électromagnétique isolé dans les installations de positionnement et de blocage, la commande, le contrôle ou l'approvisionnement en énergie, doit rester sans effet sur la fonction de changement de position.

Le changement de position de l'installation de changement de voie peut exclusivement intervenir

- sur ordre de la BLT ou
- sous la responsabilité du personnel, dans le cadre d'une consigne de service spéciale.

Les conditions générales suivantes doivent être fixées en fonction du projet :

- fréquences des changements de position,

- moments de changement de position requis,
- MTBF et
- puissance électrique requise.

**Ouvrages spéciaux****Tunnel**

La planification et l'exécution doivent se faire en fonction du projet.

Les tunnels doivent respecter les exigences suivantes :

- intégration de la voie,
- intégration de la périphérie de la ligne,
- exigences conformes au plan de sécurité spécifique au projet,
- respect des zones de dégagement et des limites définies.

Le tunnel doit être réalisé de manière à ce que la contrainte de pression de la rame de TSM conforme au chapitre 0 ne soit pas dépassée.

Le tunnel doit être réalisé de manière à ce que les variations de pression à définir en fonction du projet et agissant sur les passagers à l'intérieur de la rame de TSM, conformes au chap. 0, ne soient pas dépassées.

Lors de l'exécution de l'ensemble de l'ouvrage de tunnel, les éléments suivants doivent être pris en compte en fonction du projet :

- la longueur du tunnel, le nombre de rails et la longueur de la rame,
- les exigences en termes d'espace au-delà du gabarit (par exemple périphérie de la ligne),
- les déclenchements de secousses,
- les effets détonants dans le tunnel,
- les émissions de rejets thermiques (par exemple câble),
- le cas échéant, les émissions de gaz d'échappement des rames spéciales.

En outre, les dispositions afférentes concernant les ouvrages de tunnels doivent servir de base pour la planification et la construction de l'ensemble de l'ouvrage de tunnel.

Le respect des exigences géométriques au niveau de la voie doit être certifié séparément pour la jonction entre la voie reposant sur la semelle du tunnel et la voie limitrophe reposant directement sur le terrain de fondation.

**Structures porteuses primaires**

La planification et l'exécution doivent se faire en fonction du projet.

Le respect des exigences géométriques au niveau de la voie doit être certifié séparément pour la jonction entre la voie reposant sur la structure porteuse primaire et la voie limitrophe reposant directement sur le terrain de fondation. Le cas échéant, une construction de jonction doit être prévue.

Le stator long situé dans la construction de jonction doit être réalisé sans fonction de propulsion.

La fonction de localisation doit être vérifiée séparément pour la zone de la construction de jonction.

### **Périphérie de la ligne**

La périphérie de la ligne inclut les modules suivants :

- les petites installations requises pour des raisons fonctionnelles, qui doivent être implantées à proximité du tracé de la voie (par exemple mâts radioélectriques, relais),
- les ouvrages spécifiques au projet, nécessaires localement, avec un agencement proche du tracé (par exemple mur d'isolation phonique, protection visuelle).

Des répercussions inadmissibles des ouvrages de la périphérie de la ligne sur le système doivent être exclues.

La planification et l'exécution doivent se faire en fonction du projet.

### **Équipement de la voie**

L'équipement de la voie se divise en :

- équipement de voie spécifique au TSM (y compris les fixations correspondantes), avec
  - stator long avec paquet de tôles statoriques et enroulement de stator long,
  - glissière,
  - rails de guidage latéraux,
  - modules de localisation situés sur la voie,
  - modules d'approvisionnement externe en énergie de bord situés sur la voie,
- équipement de voie spécifique au type de construction, avec
  - appuis de supports,
  - recouvrements des écartements entre les supports,
  - mise à la terre et protection contre la foudre,
- et autres ouvrages avec
  - ouvrages temporaires et / ou spécifiques au projet, y compris leurs fixations respectives, et
  - dispositifs de maintenance sur la voie.

### **Paquet de tôles statoriques**

Les paquets de tôles statoriques forment le plan du stator avec leur face inférieure et doivent respecter les exigences suivantes :

- Guidage du flux magnétique produit par les aimants de levage avec absorption et redirection des forces produites par le flux magnétique (forces de levage),
- Absorption et redirection des forces d'accélération et de freinage issues de l'enroulement du moteur (forces de propulsion),

- Formation de la surface de référence (plan du stator) pour la mesure de l'entrefer entre le paquet de tôles statoriques et l'aimant de levage,
- Formation de la surface de référence pour l'inspection de la voie,
- Formation de la suite dents / encoches pour la localisation,
- Formation de la géométrie dents / encoches pour la modulation du flux pour la transmission d'énergie inductive à la rame de TSM (approvisionnement en énergie de bord).

La qualité de tôle doit être conforme à M 800-50 A, selon la norme /EN 10106/ ; après examen fonctionnel, des dispositions divergentes peuvent être prises en fonction du projet.

La géométrie dents / encoches doit respecter la trame de système de 86 mm.

La division en paquets de tôles statoriques doit être de 1 032 mm, par rapport à la courbe spatiale.

Les dimensions définies dans le document /MSB AG-FW GEO/ pour les décalages, les entrefers et le critère de variation d'inclinaison du plan du stator doivent être respectées à l'état monté non chargé à la température de référence.

#### **Enroulement de stator long**

La redirection des forces de poussée issues de la propulsion et des autres forces (par exemple poids propre, issues de l'excitation dynamique) dans les paquets de tôles statoriques doit se faire par l'intermédiaire de la fixation de l'enroulement du stator long dans les encoches du paquet de tôles statoriques.

L'enroulement du stator long doit être exécuté sous la forme d'un enroulement à 3 phases (voir *Période d'enroulement corresp. à 6 parties d'encoches de stator = 516 mm*

Figure 24 et Figure 5).

La longueur nominale d'une période d'enroulement doit être de 516 mm, en fonction de la longueur d'ondes du champ magnétique progressif (6 périodes dents / encoches).

*La valeur indicative pour la longueur des câbles d'un seul conducteur est de 2,35 m par mètre linéaire de voie.*

Les exigences suivantes doivent être respectées :

- les données et propriétés électriques de l'enroulement du moteur conformément au chap. 0 Propulsion,
- les exigences relatives à la protection du stator long conformément au document /MSB AG-ANT/,
- le raccordement de la mise à la terre de l'enroulement à la mise à la terre de la voie, conformément au document /MSB AG-FW ÜBG/,
- le raccordement de l'enroulement du moteur doit être réalisé aux endroits adaptés (par exemple dans la zone des piliers), dans le respect des zones de dégagement conformément à la Figure 22 et au document /MSB AG-FW ÜBG/,

- lors de la pose de l'enroulement du moteur, les entrefers minimum et maximum en fonction de la température et de la charge doivent être pris en compte dans le plan du stator.

Les fins de sections du moteur doivent être placées au niveau des extrémités des supports de voie.

### **Glissières / Plan de glissement**

Le plan de glissement peut être un élément intégré du support de voie ou être exécuté sous forme de glissière.

Le plan de glissement doit respecter les exigences suivantes :

- absorber les effets induits par les rames spéciales en tenant compte des effets de l'environnement,
- prendre en compte les forces statiques et dynamiques générées en tenant compte des effets de l'environnement sur l'interface entre patin de levage et plan de glissement,
- supporter une force longitudinale maximale de 250 kN par voiture de rame de TSM et la rediriger dans les supports de voie,
- la force longitudinale résultant du frottement par adhérence entre le patin de glissement de la rame de TSM et le plan de glissement de la voie doit, dans les conditions environnementales à déterminer en fonction du projet et des inclinaisons longitudinales dans les zones dans lesquelles les rames doivent être protégées contre les mouvements involontaires, être supérieure à la force descensionnelle et à la force du vent dans le sens x (cf. chap. 0),
- respecter les dimensions définies dans le document /MSB AG-FW GEO/ pour les décalages, les entrefers et le critère de variation d'inclinaison de la glissière à l'état monté non chargé à la température de référence,
- respecter les valeurs minimales et maximales de l'entrefer et des décalages définies sous l'effet de la charge de circulation, aussi bien dans la phase de planification qu'après l'achèvement de la voie avec certification spécifique au projet,
- être exécuté à intervalles équidistants parallèlement à la courbe spatiale.

Les glissières doivent être exécutées le long des supports.

### **Rails de guidage latéraux / Plan de guidage latéral**

La surface des rails de guidage latéraux constitue le plan de guidage latéral ; les rails de guidage latéraux doivent respecter les exigences suivantes :

- respecter les exigences applicables à un rail de réaction pour les aimants de guidage et les aimants de freinage,
- absorber tous les effets statiques et dynamiques au niveau de l'interface aimant de guidage / plan de guidage latéral et aimant de freinage / plan de guidage latéral, issus du service et de l'environnement,
- absorber les effets induits par les rames spéciales,

- respecter les dimensions définies dans le document /MSB AG-FW GEO/ pour les décalages, les entrefers et le critère de variation d'inclinaison du plan de guidage latéral à l'état monté non chargé à la température de référence.

Les rails de guidage latéraux doivent être exécutés le long des supports et à intervalles équidistants de la courbe spatiale.

Les rails de guidage latéraux doivent être réalisés en acier spécial avec une conductivité électrique réduite du facteur 3 par rapport à S235 (ST37-2), ou dans un autre matériau équivalent. Pour un choix de matériau divergent, il convient de tenir compte d'une modification des propriétés de freinage et de traînée dans la configuration du système.

#### **Modules d'approvisionnement en énergie de bord des rames de TSM situés sur la voie**

*Les modules d'approvisionnement en énergie de bord situés sur la voie servent à la transmission d'énergie électrique vers les modules d'approvisionnement externe en énergie de bord situés sur la rame dans les zones de faible vitesse, et doivent être configurés en fonction du projet.*

#### **Modules de localisation situés sur la voie**

*Les modules de localisation situés sur la voie servent de points de référence. Les exigences applicables à leur positionnement le long de la voie doivent être définies en fonction du projet.*

#### **Appuis de supports**

Les appuis de supports doivent permettre un ajustement pour la compensation des déformations plastiques du terrain de fondation.

Les appuis de supports doivent assurer l'évacuation de toutes les forces issues des supports de voie.

#### **Recouvrements des écartements entre les supports**

Les écartements entre des supports de voie situés l'un à côté de l'autre doivent être fermés, si :

- ils peuvent être supérieurs à 20 mm, et
- ils se trouvent dans des tronçons de ligne dont la vitesse maximale est supérieure à 150 km/h.

#### **Mise à la terre et protection contre la foudre**

Pour la protection des personnes et contre les effets des charges électrostatiques, ainsi que dans un souci de compatibilité électromagnétique (CEM), les effets électriques provenant :

- des coups de foudre,
- des différences de potentiel et
- des courants vagabonds et des courants de fuite

de la rame et de tous les modules de la voie doivent être pris en compte lors du dimensionnement d'une installation de mise à la terre et de protection contre la foudre.

À cette fin, un plan de mise à la terre et de protection contre la foudre spécifique au projet doit être élaboré.

#### **Autres ouvrages**

Les autres ouvrages situés sur la voie (dus par exemple à la qualification de nouveaux modules, aux mesures ou à des exigences spécifiques au projet) doivent être conçus de manière à :

- résister de façon fiable à toutes les contraintes spécifiées pour eux dans les conditions environnementales spécifiques au projet pendant la durée d'exploitation définie en fonction du projet, et
- ne pas avoir de répercussion involontaire sur le système.

**Limites et dimensions pour les ouvrages fixes et les rames**

Les limites suivantes doivent être respectées lors de la construction des modules de la voie :

- Gabarit pour l'espace cinématique nécessaire de la rame,
- Délimitation pour les installations de maintenance (par exemple installation de lavage),
- Limite pour les installations fixes,
- Limites pour les quais et les portes de quai.

*L'emplacement des différents éléments d'équipement de la voie par rapport à la courbe spatiale, ainsi que les espaces d'installation disponibles pour les équipements, sont représentés dans la Figure 22.*

L'espace disponible entre les espaces d'installation et les limites peut être utilisé pour les conduites locales d'alimentation et d'évacuation et comme espace de montage. Afin d'exclure toute occupation multiple de cet espace, son utilisation doit être définie en fonction du projet.

**Tolérances, écarts de positionnement**

Le positionnement (position sur l'axe des z) des surfaces de fonction ainsi que les espaces d'installation définis à cet effet doivent être respectés comme indiqué dans la Figure 22.

*Toutes les indications concernant la géométrie de la voie se rapportent aux plans fonctionnels à l'état installé et revêtu (dimensions mécaniques, dimensions non efficaces électriquement).*

*Les dimensions définies s'appliquent à l'état non chargé (voie sans charge de trafic et uniquement chargée de son poids propre) à la température de référence à déterminer en fonction du projet.*

L'entrefer maximal et l'entrefer minimal doivent en outre être respectés en tenant compte de la variation de longueur de la voie sous l'effet de la température, de la déformation élastique des infrastructures sous l'effet des charges, ainsi que des tolérances de montage.

*Les exigences géométriques et les tolérances des plans fonctionnels figurent dans le document /MSB AG-FW GEO/.*

**Autres installations de service**

L'agencement des ouvrages proches du tracé, ainsi que des autres installations de service, doit être déterminé en fonction du projet.

À cet égard, les exigences relatives au système doivent être prises en compte en ce qui concerne :

- Gabarit,
- Limites,
- Influences aérodynamiques,

- Influences sur le système de radiocommunication du TSM,
- Dimensionnement,
- Maintenance et
- Autres exigences spécifiques au projet.

### **Stations**

Le § 3 (3) et le § 15 (1) à § 15 (6) du règlement /MbBO/ doivent être pris en compte. Ces exigences doivent être appliquées comme suit :

#### **Stations**

Les stations doivent être configurées pour une vitesse de passage à déterminer en fonction du projet, laquelle ne doit pas dépasser la vitesse maximale de tronçon locale.

Les exigences applicables à une protection contre les intempéries doivent être définies en fonction du projet.

La réalisation avec portes et cloisons vitrées doit se faire conformément à la norme /DIN EN ISO 12543/ à l'aide de verre de sécurité.

La réalisation de l'éclairage, de la protection contre la foudre / les incendies, du revêtement du sol, des entrées et des sorties et des possibilités d'accès pour les services de secours doit se faire en fonction du projet, en tenant compte des dispositions en vigueur sur le site.

La voie située dans la zone des stations (quais et zone de tronçon de liaison conformément au chap. 5.4.4) doit être équipée d'un approvisionnement externe en énergie de bord.

Les zones de dégagement et les distances entre la rame et le quai doivent être déterminées en tenant compte du gabarit des rames de TSM, en fonction du projet.

L'exécution / l'équipement des stations doivent se faire en fonction du projet.

#### **Installations de portes de quai**

*Les installations de portes de quai servent à éviter la mise en danger des personnes lors de la montée et de la descente et par les trains de passage en roulage automatique (par analogie au § 31 (5) BOStrab).*

Il convient de s'assurer que, indépendamment des mouvements du train,

- les personnes ne se retrouvent pas dans le gabarit du train qui avance ou ne peuvent pas atterrir sur la voie si elles tombent ou sautent du quai,
- aucun objet tombant du quai ne peut se retrouver dans le gabarit du train, et
- les personnes présentes sur le quai ne peuvent pas être mises en danger par les effets induits par les trains qui passent.

En fonction du projet, la précision de la localisation, la largeur et l'écartement des portes extérieures des rames de TSM et l'agencement des portes de quai doivent concorder de manière à ce qu'une largeur de passage libre définie soit disponible à l'arrêt du train et avec les portes de la rame et les portes de quai ouvertes selon une probabilité donnée.

*Ceci permet d'éviter les risques lors de la montée et de la descente en raison d'un passage trop étroit. Les moyens de localisation sont par exemple la localisation de sécurité, la localisation pertinente du point de vue de la technique de commande, ou les propres moyens de localisation de l'installation de portes de quai.*

La conception des portes de quai doit permettre d'assurer qu'une sortie automatique de la position de fin de course de sécurité ne puisse pas être possible sans un signal de l'équipement de sécurité.

Il doit être possible de mettre en place de façon temporaire un actionnement sur place (par exemple pour les travaux de maintenance).

Réservation de la voie et actionnement sur place doivent s'exclure mutuellement.

Au niveau de l'installation de portes de quai, il doit être possible de bloquer manuellement les portes de quai hors service, de les protéger contre tout changement de position, et ainsi de les déconnecter de la commande technique et du contrôle.

*La commande et le contrôle de la porte de quai concernée sont ainsi shuntés.*

Le shuntage du signal de position de fin de course de sécurité (fermé, bloqué et protégé contre l'ouverture) peut uniquement se faire après un blocage manuel de la porte en position fermée.

Les portes de quai bloquées manuellement et protégées contre tout changement de position peuvent uniquement être débloquées sous la responsabilité du personnel pour en changer la position.

Les portes de quai doivent posséder des dispositifs de déblocage d'urgence, qui doivent pouvoir être actionnés depuis la voie par les voyageurs et permettre une évacuation du train indépendamment du positionnement de la rame de TSM.

## **Postes**

La planification et la construction des postes doivent se faire en fonction du projet.

## **Services centralisés**

La planification et la construction des services centralisés doivent se faire en fonction du projet.

## **Zones d'arrêt**

### **Zones d'arrêt de service**

L'agencement et l'équipement des zones d'arrêt de service se font en fonction du projet en tenant compte des indications du chapitre 0.

Les zones d'arrêt de service doivent garantir une possibilité de descente des passagers et du personnel en cas de perturbation du service.

*La descente s'effectue généralement au moyen des systèmes auxiliaires de descente présents à bord de la rame de TSM.*

*Pour les autres exigences, voir chapitre 0.*

## **Installations de maintenance**

Les installations de maintenance se divisent en :

- Installations de maintenance centralisées,
- Installations de maintenance décentralisées et
- Sites de base pour les rames spéciales.

Les installations de maintenance doivent être configurées en fonction du projet.

## Rame spéciale

Les rames spéciales peuvent être propulsées par leur propre force.

En fonction du projet, il convient de déterminer de quel équipement technique les rames spéciales doivent disposer.

À cet effet, les opérations à effectuer avec les rames spéciales (par exemple opérations de maintenance) doivent être prises en compte.

*Les règles concernant les rames spéciales s'appliquent aux remorques des rames spéciales qui doivent être utilisées indépendamment de ces rames spéciales.*

Les dispositions suivantes s'appliquent concernant la sécurité des rames spéciales :

- Dans la mesure où le programme d'exploitation prévoit un roulage simultané de rames de TSM et de rames spéciales, les rames spéciales doivent être incluses dans la sécurité technique.  
Dans ce cas, les rames spéciales doivent renfermer des équipements techniques pour le calcul de la position de la rame et un système de commande / contrôle des freins de la rame (freins de service et freins de stationnement) et de la propulsion de la rame.
- S'il ne doit pas y avoir de roulage simultané de rames de TSM et de rames spéciales, ceci doit être assuré au moyen de mesures appropriées.

*Il n'y a donc pas de roulage simultané de rames de TSM et de rames spéciales si toutes les rames spéciales se trouvent dans leur position de stationnement réglementaire ou dans des tronçons de voies bloqués pendant le roulage des rames de TSM, ou si toutes les rames de TSM se trouvent dans leur position de stationnement réglementaire pendant le roulage des rames spéciales.*

Les règles d'exception, par exemple pour la phase de mise en service, pour une opération de maintenance exceptionnelle ou en relation avec le plan de sauvetage, restent inchangées.

Les rames spéciales sont guidées par des dispositifs techniques. Ces derniers doivent être conçus de manière à éviter tout basculement de la rame hors de la voie (y compris d'une voie inclinée latéralement).

Les charges induites par les rames spéciales ne doivent pas entraîner des contraintes importantes pour le dimensionnement de la voie.

Les propriétés mécaniques de la rame spéciale, y compris les installations sur et dans les rames servant à accomplir les tâches prévues (par exemple plates-formes de travail, grues, chas-se-neige), doivent correspondre, du point de vue

- de la géométrie (dimensions des caisses de wagon et du châssis, par exemple largeur de voie),
- du poids et de la répartition du poids,

aux valeurs de dimensionnement indiquées dans le document /MSB AG-FW BEM/ pour les effets des forces et des accélérations en fonction des conditions locales et de temps, ainsi qu'aux indications concernant la zone de dégagement conformément au document /MSB AG-FW GEO/.

# Interfaces et fonctions concernant plusieurs parties du système

## Charges et effets

Critères de dimensionnement de la structure de la rame et de la voie :

- a) La nature et l'ordre de grandeur des effets pertinents (permanents, variables et exceptionnels) doivent être connus.
- b) La fréquence d'occurrence des effets pertinents doit être connue (les hypothèses sont admises).
- c) Les combinaisons d'effets et les contraintes qui en résultent pour les modules doivent être connues.
- d) Les charges résultant des combinaisons d'effets avec une probabilité d'occurrence inférieure à SIL 4 (conformément à la norme /DIN EN 61508-1/) doivent être prises en compte lors du dimensionnement.
- e) Pour les dangers résultant des combinaisons d'effets selon d), une analyse des risques conforme à la norme EN 50126 doit être réalisée.

*Lors du calcul de la probabilité d'occurrence conformément à d), il est possible de se baser sur des données statistiques et des valeurs empiriques issues d'une utilisation pratique de systèmes / modules / matériaux comparables.*

### Poids de la rame

Le poids des rames de TSM doit être déterminé conformément à l'annexe 0, point 4.3.

*Les états de charge suivants doivent être pris en compte conformément à l'annexe 0 :*

- *Poids propre de la rame (sans charge d'exploitation),*
- *Poids moyen de la rame (par exemple 80 % de la charge d'exploitation autorisée pour les rames de voyageurs),*
- *Poids de la rame autorisé (100 % de la charge d'exploitation autorisée pour les rames de voyageurs et de marchandises),*
- *Poids de la rame maximal (par exemple situations de service exceptionnelles comme une évacuation dans les voitures voisines pour les rames de voyageurs).*

*La charge d'exploitation est définie comme :*

- *le poids des passagers avec bagages (rames de voyageurs),*
- *le poids de la cargaison (rames de marchandises).*

*Les fréquences d'occurrence des états de charge doivent être déterminées en fonction du projet.*

Exceptionnellement, les états de charge à prendre en compte pour le dimensionnement peuvent être déterminés sur la base des fréquences d'occurrence.

### Effets :

Sur la base du poids des rames déterminé en fonction du projet et des conditions générales, telles que

- *accélérations admises dans le sens x, y et z,*

- vitesses de circulation de service et maximale,
- conditions environnementales (par exemple vent latéral, température),
- situations de service admises,

les ordres de grandeur d'effets appliqués aux interfaces de transmission des forces rame / voie doivent être calculés en tenant compte des exigences des documents /MSB AG-FW BEM/ et /MSB AG-ANT/.

Le courant de propulsion doit être limité de manière à ce que la force maximale admise conformément au chap. 0, n° 7. (1) ne soit pas dépassée.

Le courant de propulsion doit être limité de manière à ce que l'accélération / le ralentissement maximal(e) admis(e) conforme au § 13, alinéa 5, du règlement /MbBO/ ne soit pas dépassé(e).

*La limitation du courant de propulsion en cas de dysfonctionnement est réglementée au chap. 0.*

Conditions d'effets	Fréquence d'occurrence
A : État du système sans pannes ni perturbations des modules.	Effets variables fréquents.
B : État du système avec pannes ou perturbations des modules.	Effets variables rares et exceptionnels.

Tableau 6 : Définition des conditions d'effets A / B

Il convient de tenir compte des effets suivants.

Interface	Conditions d'effets A	Conditions d'effets B
Aimant de levage / Stator long	<p>Forces dans le sens z provenant</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- du poids propre de la rame</li> <li>- de la charge d'exploitation</li> </ul> <p>en tenant compte des forces massiques supplémentaires résultant de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la vitesse et</li> <li>- du système de guidage de la voie (rayons, inclinaison latérale et longitudinale)</li> </ul> <p>Effets sur la rame (notamment aérodynamique)</p> <p>Forces dans le sens x provenant de l'entraînement par stator long</p> <p>Influence du champ de portance par les courants de propulsion (hauteur et durée doivent être déterminées en fonction du projet)</p>	<p>Force accrue des aimants de levage limitrophes en cas de panne du circuit de régulation magnétique pour le levage</p> <p>Forces accrues suite à des problèmes de propulsion</p> <p>Poids accru de la charge d'exploitation en cas de situations de service exceptionnelles</p>

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

<b>Interface</b>	<b>Conditions d'effets A</b>	<b>Conditions d'effets B</b>
Aimant de guidage / Rails de guidage latéraux	Forces dans le sens y sur une voie inclinée latéralement, provenant <ul style="list-style-type: none"> <li>- du poids propre de la rame</li> <li>- de la charge d'exploitation en tenant compte des forces massiques supplémentaires résultant de <ul style="list-style-type: none"> <li>- la vitesse et</li> <li>- du système de guidage de la voie (rayons, inclinaison latérale et longitudinale)</li> </ul> </li> </ul> <p>Effets aérodynamiques sur la rame</p>	Force accrue des aimants de guidage limitrophes en cas de panne isolée du circuit de régulation magnétique pour le guidage <p>Fonction de guidage mécanique en cas de panne de deux circuits de régulation magnétique limitrophes pour le guidage</p>
Patin de levage / Glissière	Forces dans le sens x, y et z provenant <ul style="list-style-type: none"> <li>- du poids propre de la rame</li> <li>- de la charge d'exploitation en tenant compte de l'emplacement de la voie (rayons, inclinaison latérale et longitudinale) et du coefficient de frottement dans le sens x et y.</li> </ul>	Fonction de levage mécanique en cas de panne de deux circuits de régulation magnétique limitrophes pour le levage <p>Abaissement de la rame de TSM à <math>v &gt; 0</math> km/h suite à des problèmes de propulsion</p>
Freins de la rame / Rails de guidage latéraux		Forces mécaniques et / ou magnétiques dans le sens x et y lors du freinage avec les freins de sécurité

Tableau 7 : Effets au niveau des interfaces rame - voie

Les effets influant sur le dimensionnement doivent être déterminés sur la base des documents /MSB AG-FZ BEM/ et /MSB AG-FW BEM/ et documentés dans une spécification en fonction du projet.

## Localisation

### Objectif et structure

*La localisation est un dispositif de détermination du lieu et de la vitesse des rames techniquement fiables.*

*La fonction globale de localisation se divise en dispositifs et fonctions au sein des parties du système de la rame (dans la mesure où il s'agit de rames techniquement fiables), de la voie, de l'installation technique de commande et de la propulsion (Figure 18).*

### Exigences fonctionnelles

Les exigences applicables à la localisation (dispositifs de calcul des informations concernant le lieu et la vitesse) doivent être établies pour toutes les parties du système.

*Les dispositifs de calcul des informations concernant le lieu et la vitesse sont désignés par la notion de « localisation pertinente pour la technique de commande » (cf. Figure 18).*

Des composants pour la détermination des points de référence et des points relatifs doivent être disponibles de façon stationnaire.

*Le calcul des informations concernant le lieu et la vitesse des rames techniquement fiables est obtenu par analyse des caractéristiques de la voie, par exemple points de référence de position installés sur la voie (butées de référence, LRL), et des paquets de tôles statoriques (périodicité encoches / dents).*

Les informations relatives au lieu au niveau de la voie doivent être calculées par les dispositifs situés sur la voie et traitées :

- Pour la propulsion, les informations suivantes doivent être disponibles (voir également le document /MSB AG-ANT/) :
  - Emplacement de la rame,
  - Signal de position de la rame (angle de déphasage interne),
  - Reconnaissance de la rame.
- Pour la fonction « Localisation de sécurité » de l'installation technique de commande, les informations suivantes doivent être disponibles (cf. /MSB AG-BLT/) :
  - Emplacement de la rame,
  - Vitesse de la rame,
  - Sens de circulation.
- Par ailleurs, des informations relatives au lieu doivent être disponibles à des fins de diagnostic.

La précision, l'actualité et la procédure de sécurité sur les voies de transmission de toutes les informations relatives au lieu doivent être déterminées en fonction du projet, et le cas échéant en fonction du lieu et de la vitesse.

Le système de coordonnées (positionnement / points kilométriques) et son rapport à la rame doivent être déterminés en fonction du projet, en tenant compte de la longueur de la rame. Les spécifications complémentaires des interfaces entre les parties de système concernées doivent être déterminées en fonction du projet.

La détermination des points de référence le long de la voie, ainsi qu'au niveau de l'approche dans les

- Stations,
- Zones d'arrêt,
- Zones de stationnement et
- Installations de changement de voie

doit se faire en fonction du projet.

### **Exigences relatives à la construction**

Les emplacements d'installation des dispositifs sur la voie (par exemple capteurs pour l'analyse de la périodicité encoches / dents du stator long et des informations du point de référence, ainsi que modules électroniques d'analyse) doivent être déterminés en fonction du projet.

Concernant les dispositifs sur la voie, il convient notamment de prendre en compte :

- l'espace nécessaire aux composants situés sur la voie (cf. Figure 22), en tenant compte des mouvements dynamiques de la rame en circulation,
- les conditions environnementales et les exigences mécaniques conformes au document /MSB AG-UMWELT/ et aux normes /EN 50125-1/ et /EN 61373/.

*Le document /MSB AG-FW ÜBG/ contient les détails relatifs aux exigences applicables aux dispositifs situés sur la voie.*

Les spécifications complémentaires des interfaces entre les parties de système concernées doivent être déterminées en fonction du projet.

### **Certification**

Les exigences de sécurité applicables à la localisation, y compris les responsabilités concernant la certification, doivent être déterminées en fonction du projet dans des documents d'interfaces.

Leur respect doit être certifié dans toutes les parties du système pour l'ensemble de la fonctionnalité.

*Ces exigences peuvent par exemple être les suivantes :*

- *Diversité et indépendance aussi bien lors de la détection que lors du traitement des données,*
- *Signalement des dysfonctionnements (durée autorisée de signalement d'une panne, réactions du système),*
- *Absence de danger en cas de pannes isolées.*

## **Service**

### **Définition Service / Modes de fonctionnement**

#### **Définition du service**

« Service » désigne l'ensemble de toutes les mesures servant au transport des personnes et des marchandises (§ 2 du règlement /MbBO/).

Ceci englobe aussi bien la disponibilité de l'ensemble de l'installation de TSM, la préparation et l'exécution des plans de circulation (roulage), que l'exécution des opérations de maintenance.

Les consignes applicables au service doivent être réglementées de façon plus détaillée dans le manuel de service que doivent élaborer les compagnies de TSM (§ 24 du règlement /MbBO/). À cet égard, en fonction du projet, les propriétés du système de TSM, ainsi que les conditions

générales de service / d'organisation de la compagnie de TSM et les dispositions légales en vigueur, doivent être prises en compte.

Des travaux de construction ou de maintenance (y compris les plans de circulation associés) peuvent avoir lieu en même temps que le roulage. À cet effet, des règles spécifiques au projet doivent être établies.

Pour les trajets de première mise en service du système et pour les trajets de démonstration lors de la phase de mise en service, des règles spéciales spécifiques au projet doivent être établies, et des dispositifs de sécurité supplémentaires doivent être prévus le cas échéant.

*Les exigences applicables aux règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance) sont définies dans le document /MSB AG-BTR/.*

### **Définition des modes de fonctionnement**

Les modes de fonctionnement sont des modes définis et clairement délimités les uns par rapport aux autres, qui se distinguent de par les mesures techniques et non-techniques qu'ils utilisent pour la réalisation des trajets.

Les modes de fonctionnement concernent la rame, c'est-à-dire que pour chaque rame participant au service, un mode de fonctionnement est défini.

Le roulage doit s'effectuer selon l'un des deux modes de fonctionnement suivants :

- **« Service normal » :**  
Trajets en conditions de sécurité technique totale.
- **« Service anormal » :**  
Trajets en conditions de sécurité technique incomplète.  
Pour le roulage avec des rames de TSM en mode de fonctionnement « Service anormal », la sécurité technique totale de la voie doit être assurée. À cet effet, les fonctions de la BLT Commande de déroulement du roulage, Sécurité de la voie, Contrôle du profil de roulage, Coupure de la propulsion et Localisation de sécurité ne doivent pas être perturbées. On admet que le contrôle des signaux de statut situés sur la rame et importants pour la sécurité (contrôlés par la fonction de la BLT Sécurité de la rame) ne soit pas disponible en totalité.

*Ce mode de fonctionnement peut par exemple être nécessaire pour les trajets de convoi vers une installation de maintenance.*

Pour la réalisation des trajets en mode de fonctionnement « Service anormal », des spécifications en fonction du projet doivent être établies concernant les règles d'exploitation à appliquer.

Pour les rames spéciales, les conditions générales de roulage doivent être fixées en fonction du projet et de leur équipement technique.

Les exceptions, comme par exemple la sécurisation du roulage à l'intérieur des installations de maintenance, doivent être déterminées en fonction du projet.

*Pour le roulage simultané de rames de TSM et de rames spéciales, voir également le chapitre 0.*

**Principes d'application des modes de fonctionnement**

Le roulage avec des passagers et des rames de TSM doit en principe se faire dans le mode de fonctionnement Service normal. Les exceptions ne sont autorisées que dans les cas de perturbations ou d'urgence à définir spécifiquement.

Pour le roulage en mode de fonctionnement « Service anormal », les mesures de contrôle non-technique du statut de la rame doivent être déterminées dans le cadre réglementaire de service. L'utilisation simultanée de rames dans des modes de fonctionnement différents doit être réglementée en fonction du projet.

**Fonctions et procédures de service****Indications de trajet et contrôle du service**

Pour les trajets dans les modes de fonctionnement conformes au chap. 0, des indications de trajet générées manuellement et automatiquement doivent être possibles.

Le personnel roulant doit avoir la possibilité de recevoir les ordres de contrôle et de commande.

Le personnel roulant doit avoir la possibilité de changer de mode de fonctionnement.

*Pour les autres spécifications, voir le document /MSB AG-BLT/.*

**Départ d'une station en service normal**

*Sécurité des portes extérieures de la rame de TSM : voir document /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.3.5.*

*Sécurité des portes de quai : voir document /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.2.7.*

Des signaux visuels et acoustiques destinés à signaler au passager le temps restant avant le départ doivent être prévus dans les stations.

**Arrivée dans une station en service normal**

Les rames de TSM doivent approcher des stations avec précision et s'abaisser automatiquement.

*Sécurité des portes extérieures de la rame de TSM : voir document /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.3.5.*

*Sécurité des portes de quai : voir document /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.2.7.*

Les passages par les stations avec portes de quai verrouillées doivent être possibles, et la vitesse maximale de passage doit être déterminée en fonction du projet.

**Montage et démontage des équipements dans les rames de TSM**

*Manœuvre des freins de sécurité (essai de freinage) : voir document /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.3.2.*

*Commande / contrôle de l'approvisionnement en énergie de bord : voir document /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.3.3.*

Un démontage et une coupure des réseaux de bord avec effet immédiat pour une raison particulière, qui ont lieu sans contrôle d'approbation technique, doivent être réglementés en tant

qu'opérations de service spéciales spécifiques au projet (réalisation sous la responsabilité du personnel).

Concernant les rames en stationnement avec équipement monté, il convient également

- de signaler le statut des installations de détection des incendies, et
- de transmettre les données de diagnostic et de les inclure dans la disposition de service.

### **Déroulement des arrêts d'urgence des rames de TSM**

*L'approche concernant les arrêts d'urgence est réglementée dans le document /MSB AG-BLT/, entre autres dans les chapitres 6.3.3.7 (« Arrêt d'urgence ») et 6.3.4 (« Contrôle du profil de roulage »).*

Le freinage d'urgence doit en général se faire par l'intermédiaire de la propulsion.

*Les cas exigeant un déclenchement immédiat des freins de sécurité figurent dans le document /MSB AG-BLT/.*

*Le déroulement séquentiel d'un freinage d'urgence avec les freins de sécurité est réglementé dans le document /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.3.4, et son relâchement dans le document /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.3.7.*

### **Conditions générales de déplacement des rames spéciales**

Les rames spéciales doivent également pouvoir être utilisées en dehors des conditions environnementales décrites dans le document /MSB AG-UMWELT/ (par exemple pour la réalisation de travaux en service d'hiver). Les limites à respecter à cet égard doivent être fixées en fonction du projet.

Si les rames spéciales ne peuvent pas circuler sur toute la voie de TSM en raison de leur conception, les restrictions et exclusions afférentes doivent être réglementées en fonction du projet.

*Des exigences supplémentaires concernant l'utilisation des rames spéciales dans le déroulement du service figurent dans le document /MSB AG-BTR /.*

## **Gestion de la qualité**

Dans toutes les phases de planification, d'exécution et de service du système de TSM, les exigences de la norme /DIN EN ISO 9001/ doivent être respectées grâce à la mise en place et au maintien d'un système de gestion de la qualité.

*La norme /DIN EN ISO 9004/ donne des lignes directrices supplémentaires pour l'amélioration de l'efficacité et de l'efficacité du système de gestion de la qualité à réaliser.*

En fonction du projet, un plan de gestion de la qualité doit être établi pour chaque partie du système.

## Illustrations

## Structure des documents

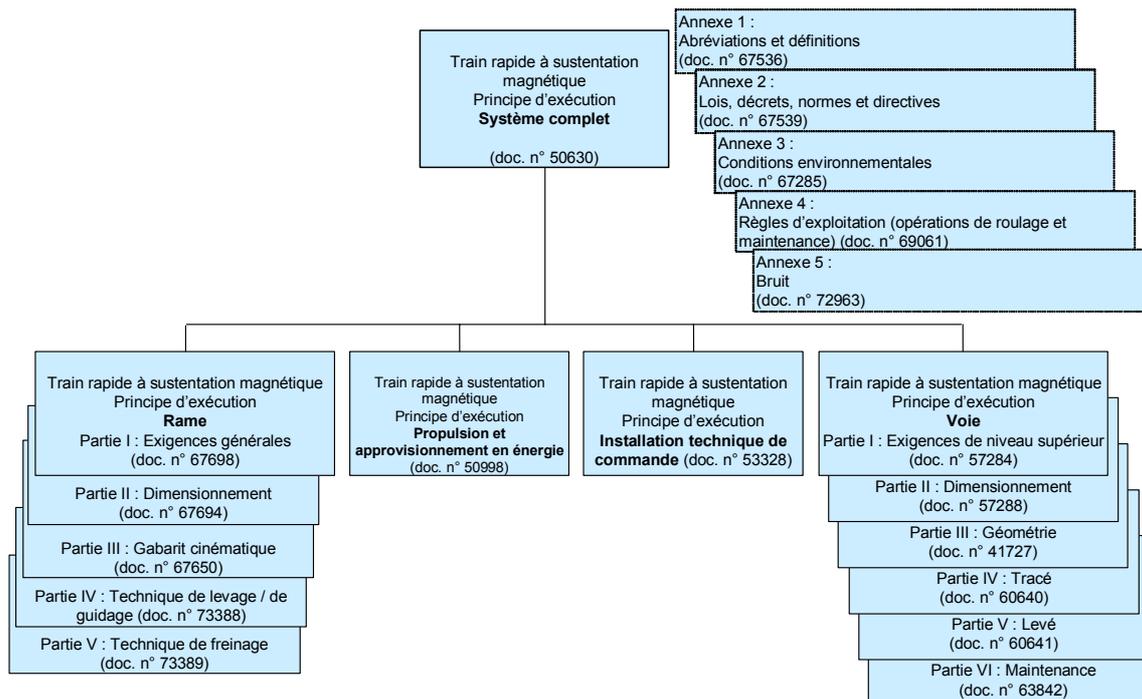
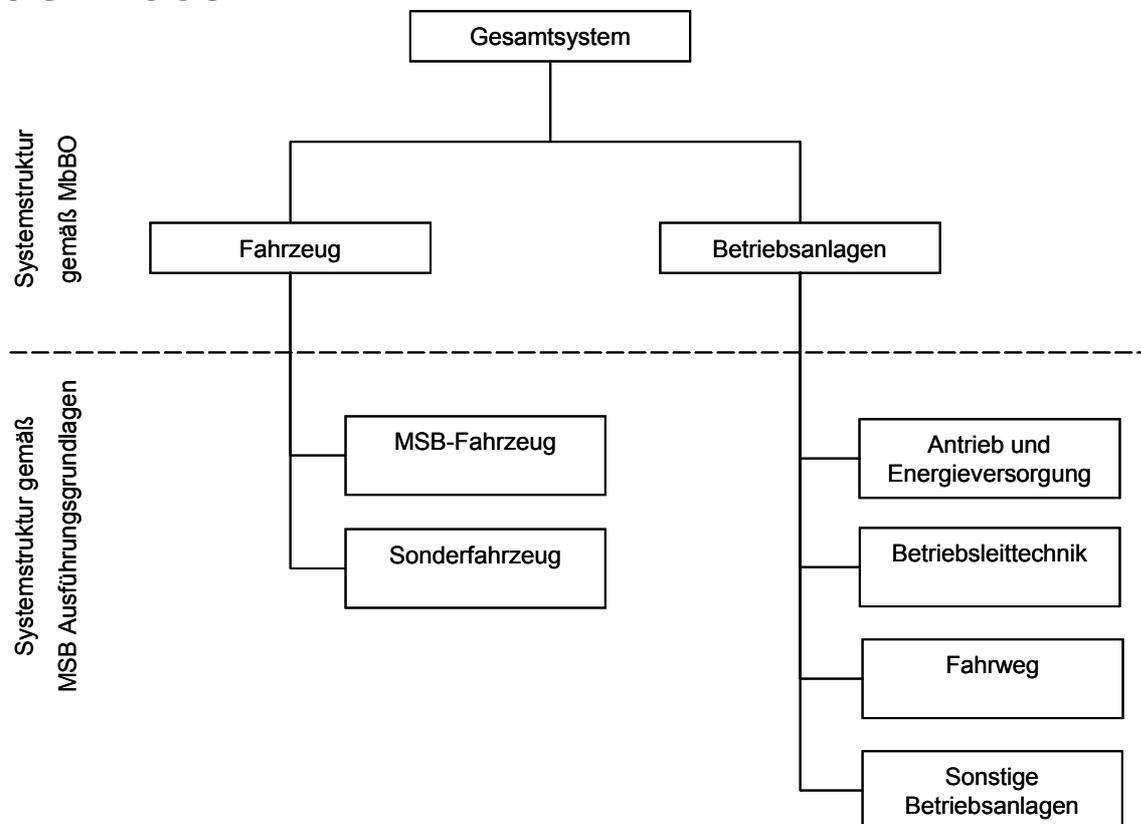


Figure 1 : Structure des documents pour les Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

## Structure du système et système de coordonnées



Structure du système selon le règlement MbBO

Système complet

Rame

Installations de service

Structure du système selon les Principes d'exécution du TSM

Rame de TSM

Rame spéciale

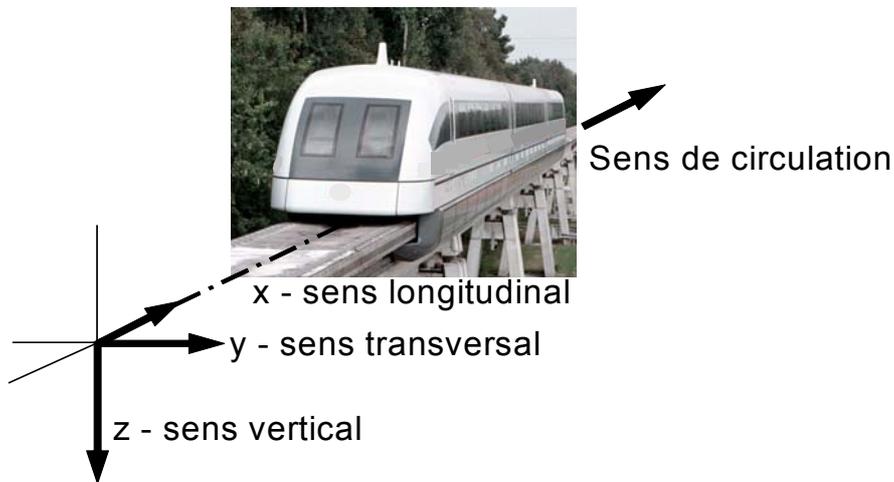
Propulsion et approvisionnement en énergie

Installation technique de commande

Voie

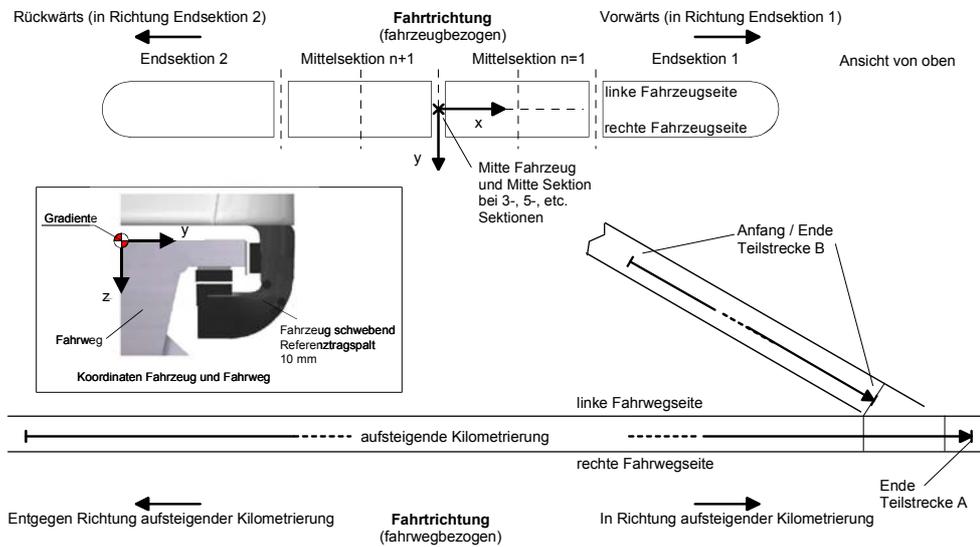
Autres installations de service

Figure 2 : Structure du système



Pour la représentation de données particulières, d'autres systèmes de coordonnées sont définis dans les différentes parties du système.

Figure 3 : Système de coordonnées



Arrière (vers voiture d'extrémité 2)  
 Voiture d'extrémité 2

**Sens de circulation**  
 (par rapport à la rame)  
 Voiture in- Voiture intermédiaire n=1

Avant (vers voiture d'extrémité 1)  
 Voiture d'extrémité 1  
 Vue du

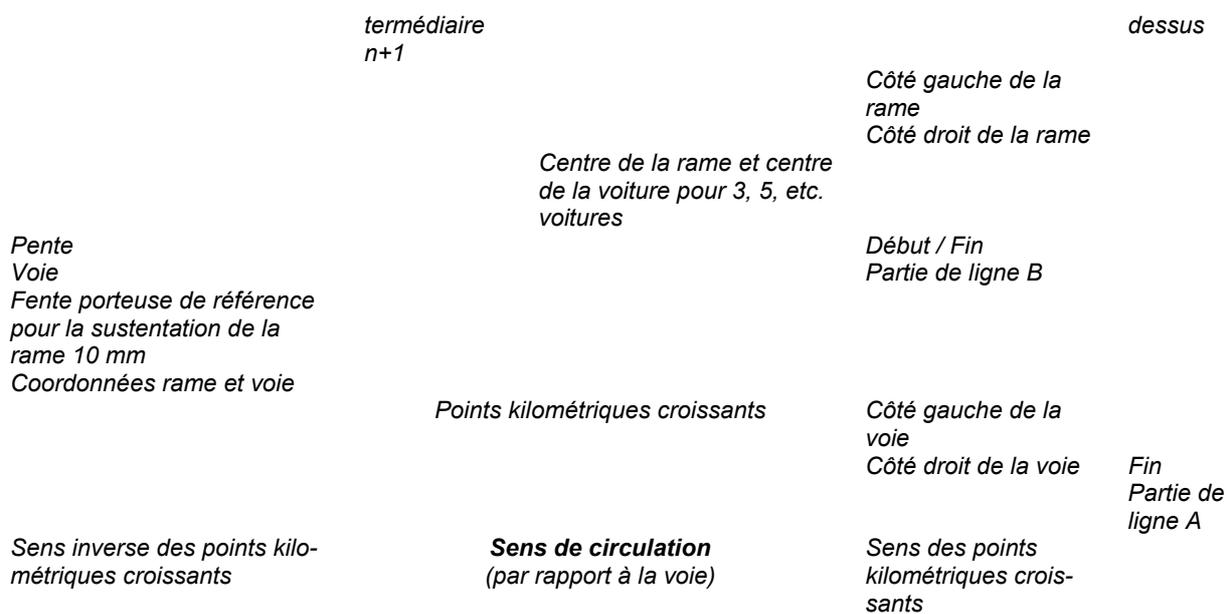
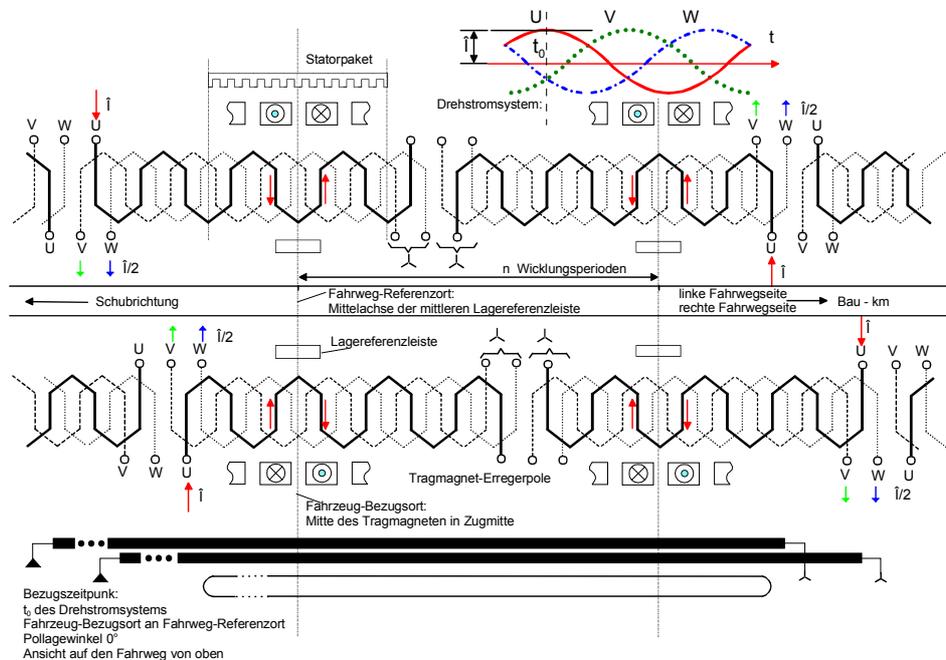


Figure 4 : Système de coordonnées et sens de circulation



*Paquet de tôles statoriques  
 Système de courant triphasé*

*n périodes d'enroulement*

*Sens de poussée*

*Point de référence de la voie : axe central de la butée de référence centrale*

*Côté gauche de la voie Côté droit de la voie*

*Km de construction*

*Butée de référence*

*Pôle d'excitation de l'aimant de levage*

*Point de référence de la rame : centre des aimants de levage au centre du train*

*Moment de référence :*

*$t_0$  du système de courant triphasé*

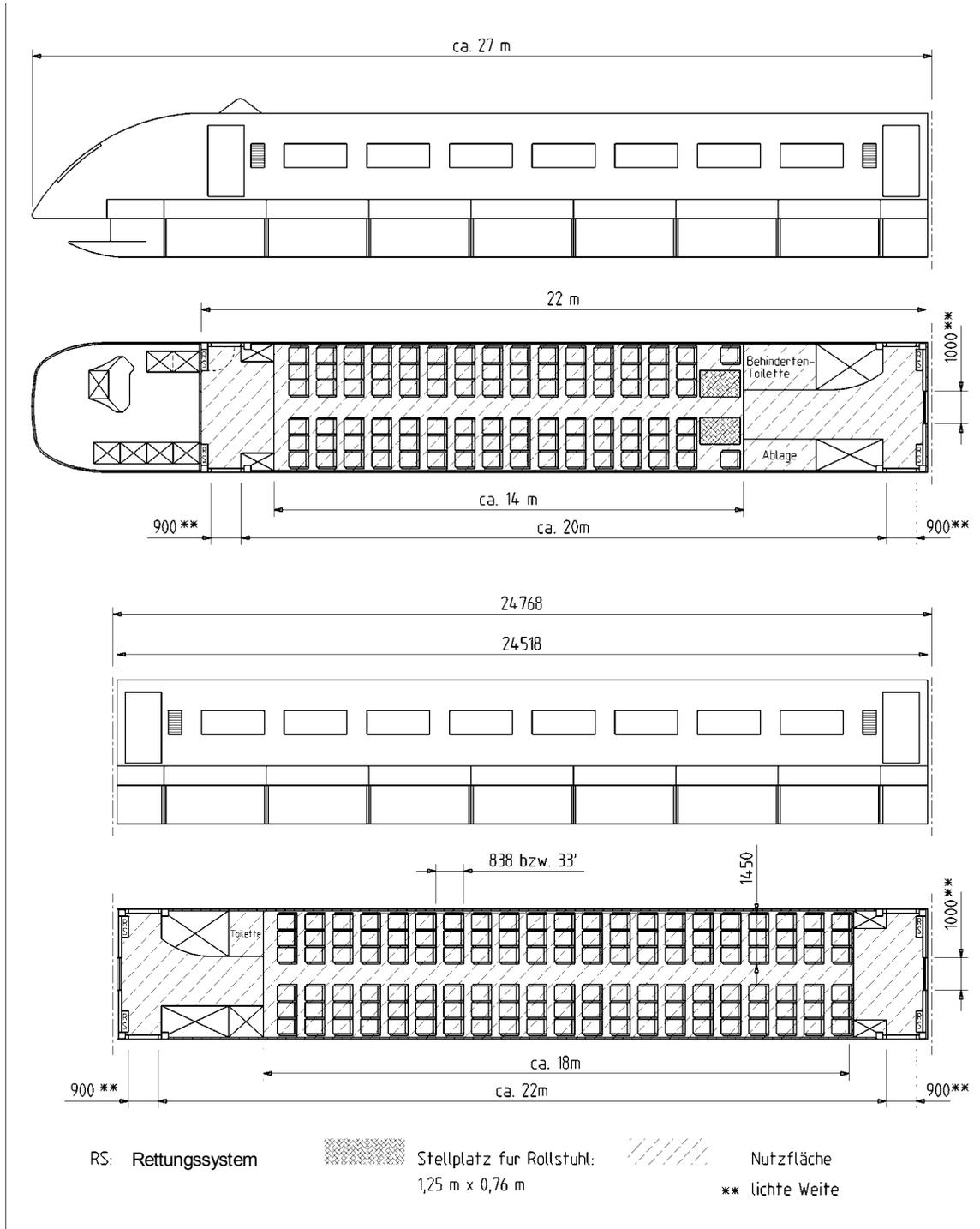
*Point de référence de la rame au niveau du point de référence de la voie*

*Lieu des pôles (angle)  $0^\circ$*

*Vue du dessus de la voie*

Figure 5 : Agencement des phases d'enroulement, points de référence et pôles d'excitation

# Voitures de rames de TSM pour le transport de personnes



## Toilettes handicapés

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

*Casiers*

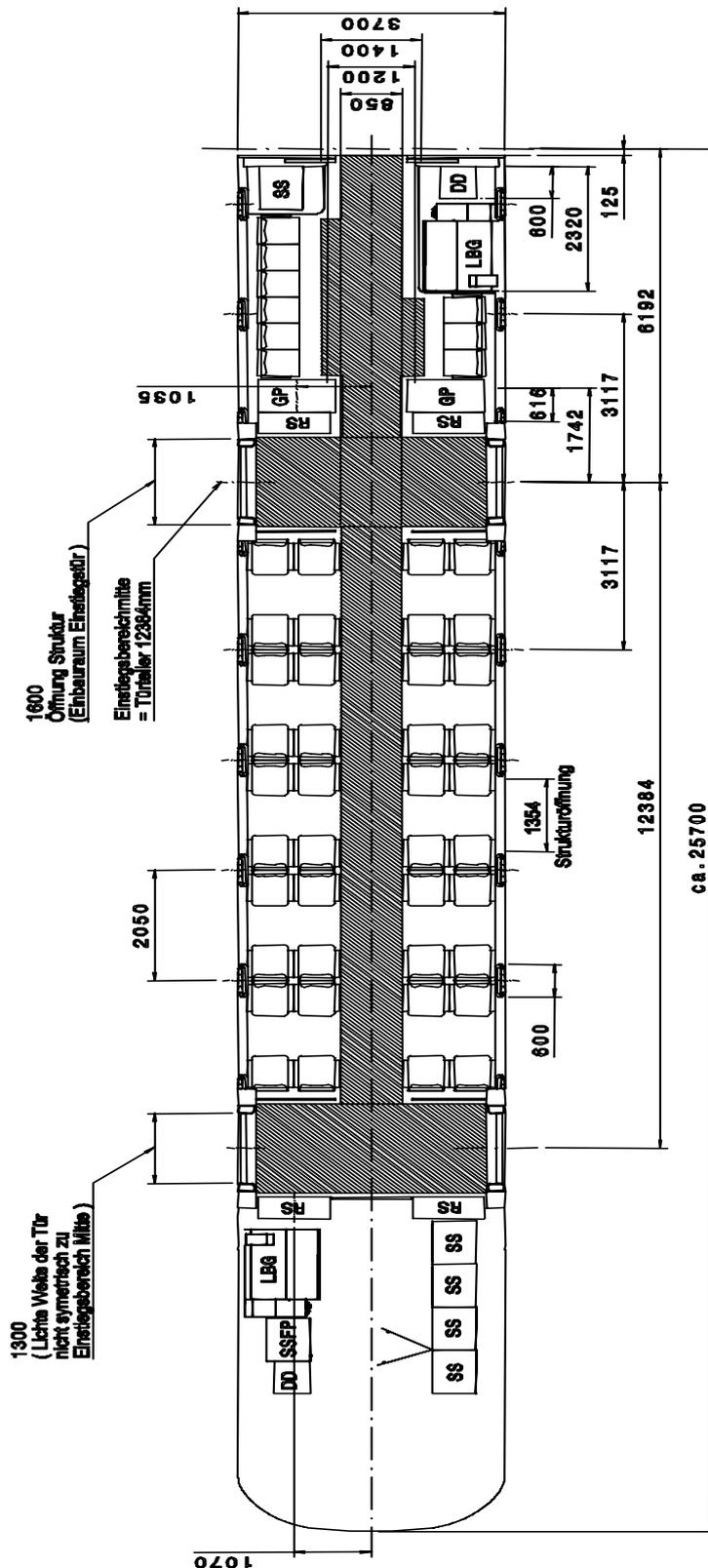
*RS : Système de sauvetage*

*Emplacement pour fauteuil roulant*

*Surface utile*

*Largeur libre*

Figure 6 : Voitures de rame pour le transport de personnes dans le trafic grandes lignes (exemple)



- LBG Systeme d'air conditionné
- SS Armoire de commande
- RS Systeme de sauvetage
- GP Compartiment à bagages
- DD Sas étanche

*1300 (Largeur libre de la porte non symétrique par rapport au centre de la zone d'accès)*

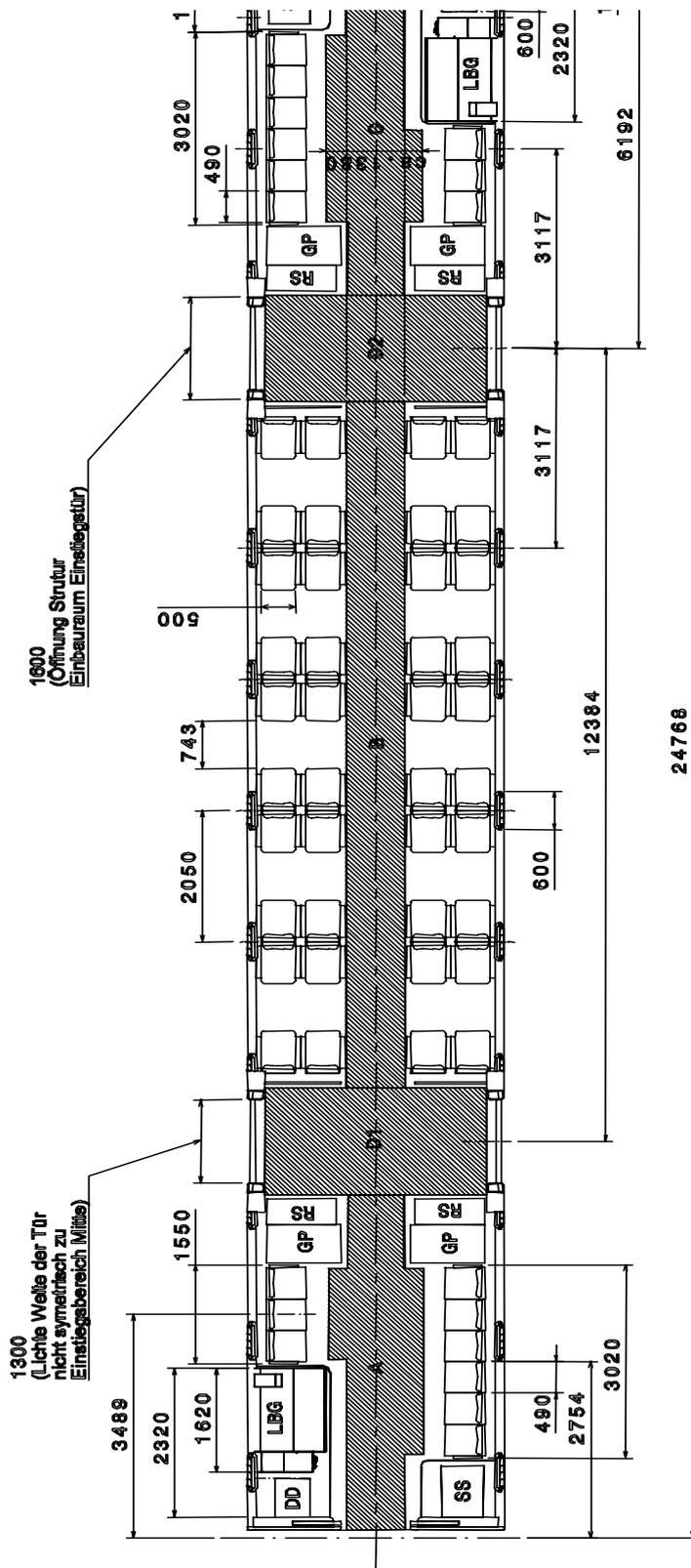
*1600 Structure de l'ouverture (espace d'installation de la porte d'accès)*

*Centre de la zone d'accès = séparateur de porte 12384 mm*

*Ouverture de la structure*

Figure 7 : Voitures d'extrémité de rame pour le transport de personnes pour les navettes des aéroports (exemple)

Principes d'exécution



- LBG Système d'air conditionné
- SS Armoire de commande
- RS Système de sauvetage
- GP Compartiment à bagages
- DD Sas étanche
- Zones de places debout A, B, C, D1, D2

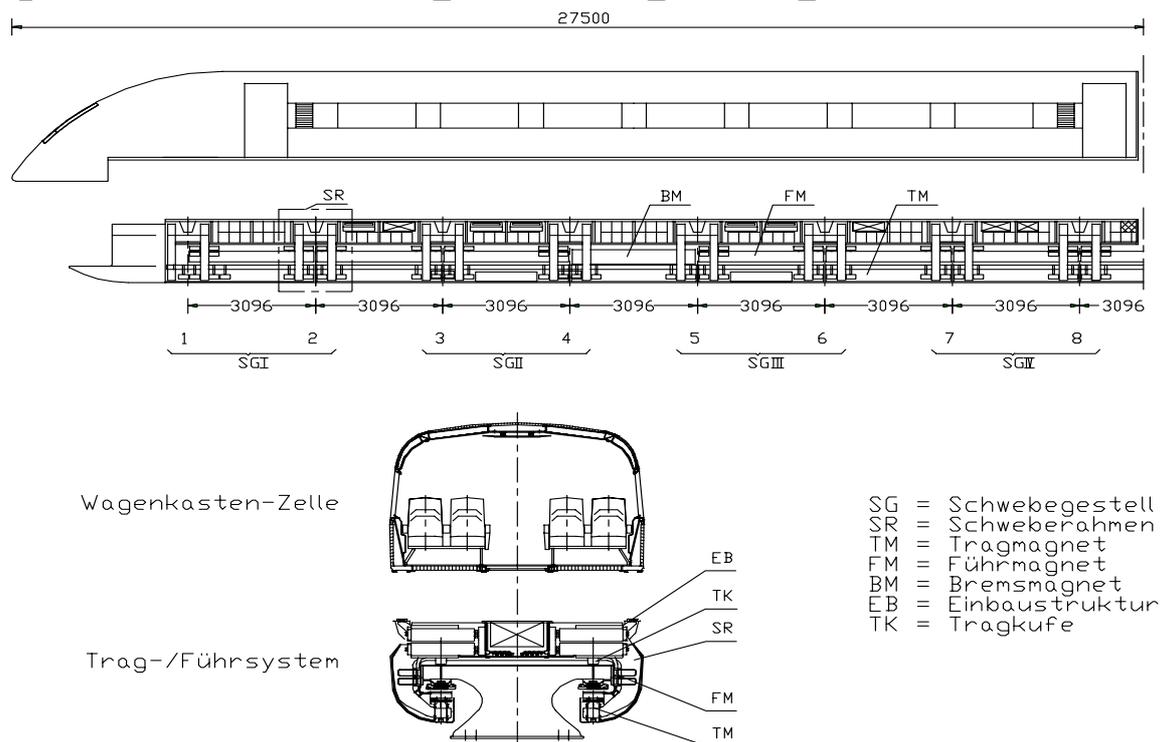
Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

1300 (Largeur libre de la porte non symétrique par rapport au centre de la zone d'accès)

1600 (Structure de l'ouverture, espace d'installation de la porte d'accès)

Figure 8 : Voitures intermédiaire de rame pour le transport de personnes pour les navettes des aéroports  
(exemple)

## Système de levage / de guidage



Habitacle de la caisse de wagon  
Système de levage / de guidage

SG = Châssis de sustentation  
SR = Cadre de sustentation  
TM = Aimant de levage  
FM = Aimant de guidage  
BM = Aimant de freinage  
EB = Structure d'installation  
TK = Patin de levage

Figure 9 : Système de levage / de guidage (exemple)

# Courbe caractéristique de freinage des freins de sécurité

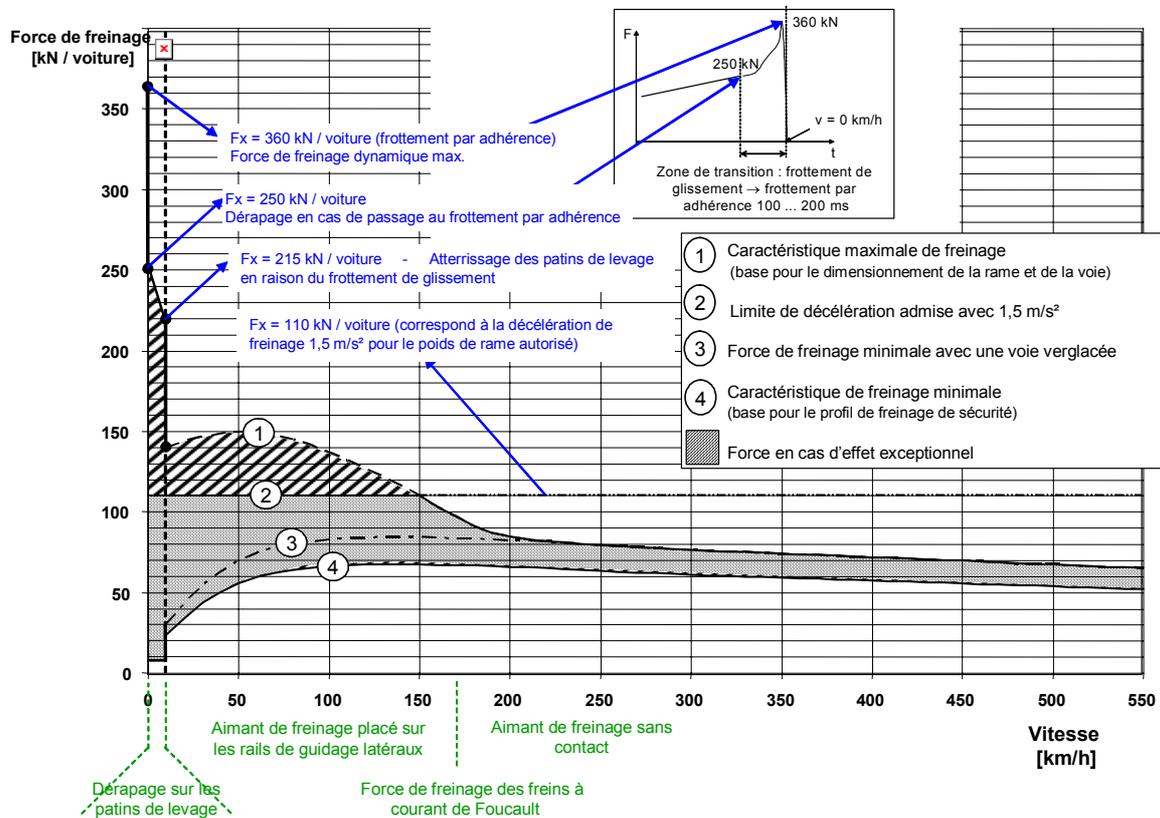
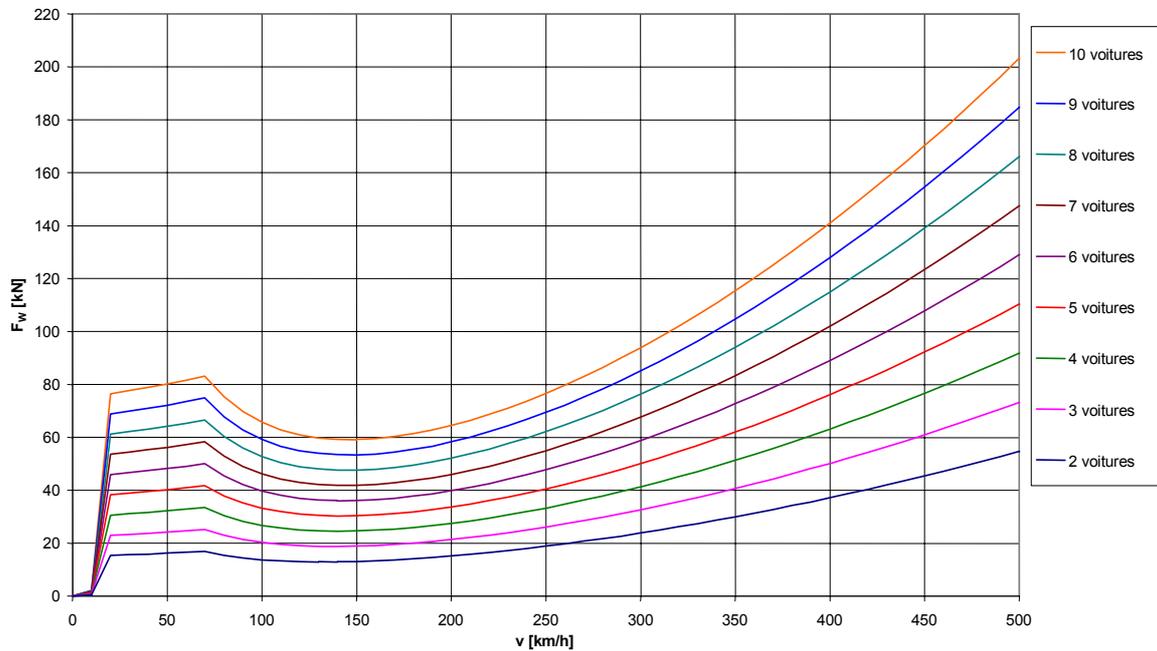


Figure 10 : Courbe caractéristique de freinage des freins de sécurité pour une voiture de rame de TSM

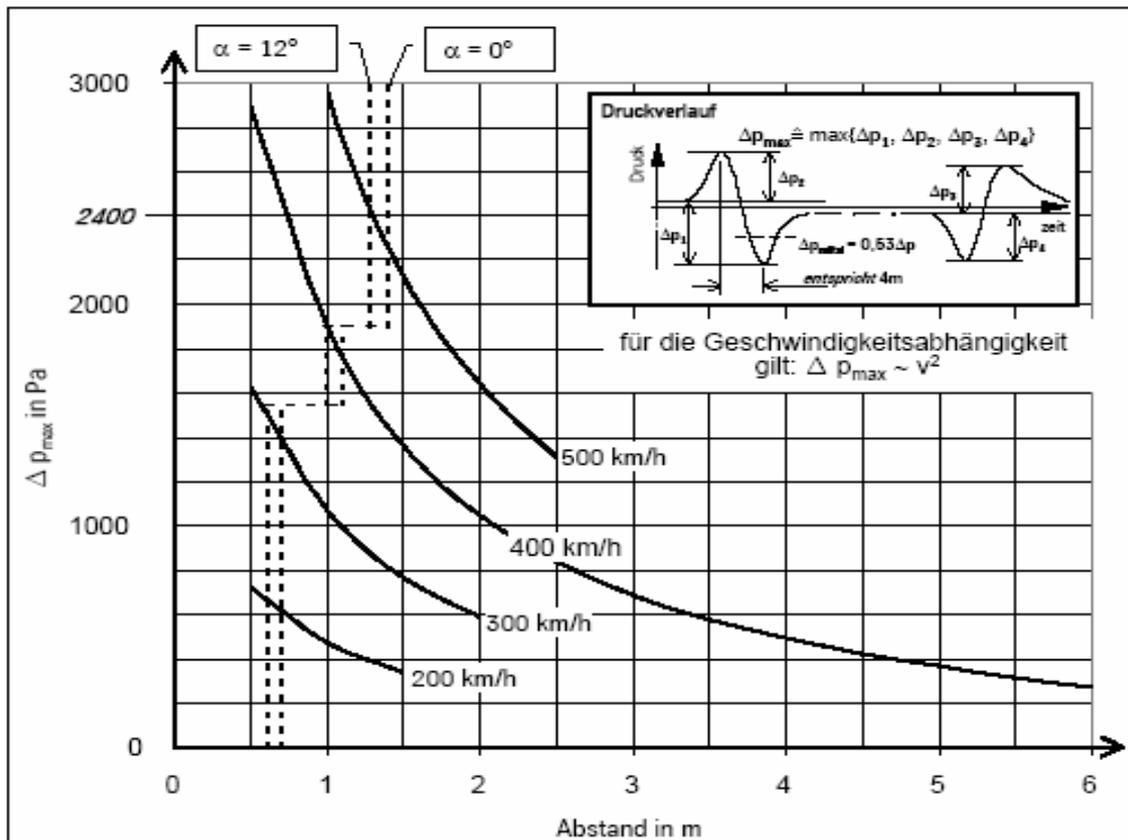
## Trainée



*Explication, voir chap. 0*

Figure 11 : Trainée (navette d'aéroport - version de planification 2006)

## Effet de la pression (en dehors des tunnels)



Druckeinwirkung auf ebenen Flächen parallel zur Fahrtrichtung, ortsfest oder parallel bewegt.

----- Abstand der Fahrzeug-Seitenwände bei Zugbegegnung:

$D_m = S \cdot \cos(\alpha) - B_{WK-A}$  mit S-Spurmittenabstand gem. Tab. 5

$\alpha$  - Querneigung

$B_{WK-A}$  - Äußere Wagenkastenbreite gemäß Anhang Nr. 4.2 (4)

Fahrwegquerneigung	$\alpha / ^\circ$	0			12		
Spurmittenabstand	S / m	4,4	4,8	5,1	4,4	4,8	5,1
Abstand der Fahrzeugseitenwände bei Zugbegegnung	$D_m / m$	0,70	1,10	1,40	0,60	1,00	1,29

Évolution de la pression

Pression Temps

correspond à 4 m

Pour le rapport de dépendance à la vitesse :

Distance en m

Effet de la pression sur une surface plane parallèle au sens de circulation, fixe ou se déplaçant en parallèle.

Distance entre les parois latérales des rames en cas de croisement de deux trains :  
où  $S$  – distance moyenne d'écartement selon le tab. 5

$\alpha$  – inclinaison latérale

$B_{wk-A}$  – largeur extérieure de la caisse de wagon selon l'annexe n° 4.2 (4)

Inclinaison latérale de la voie

Distance moyenne d'écartement

Distance entre les parois latérales des rames en cas de croisement de deux trains

Figure 12 : Effet de la pression lors du passage d'une rame de TSM (en dehors des tunnels)  
(navette d'aéroport - version de planification 2006)

## Structure de l'alimentation en énergie

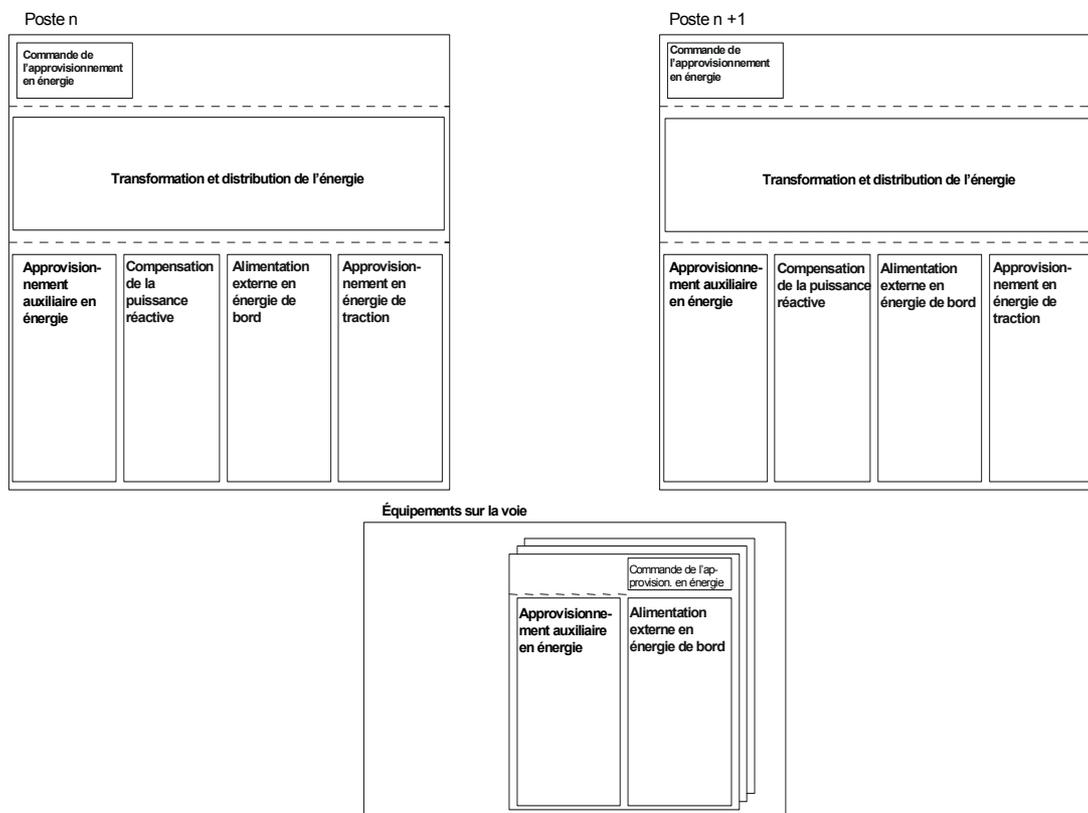


Figure 13 : Structure de l'alimentation en énergie (exemple)

## Structure et fonctions de la propulsion

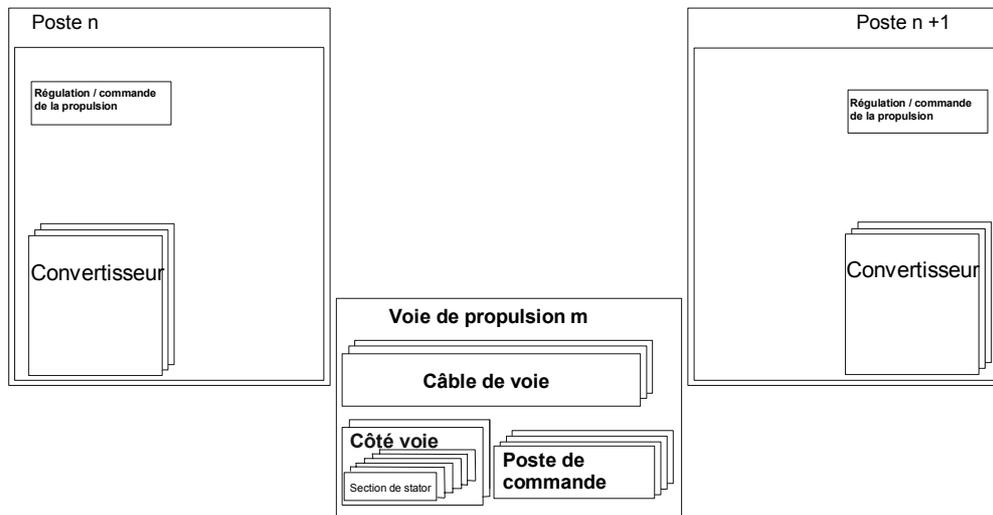
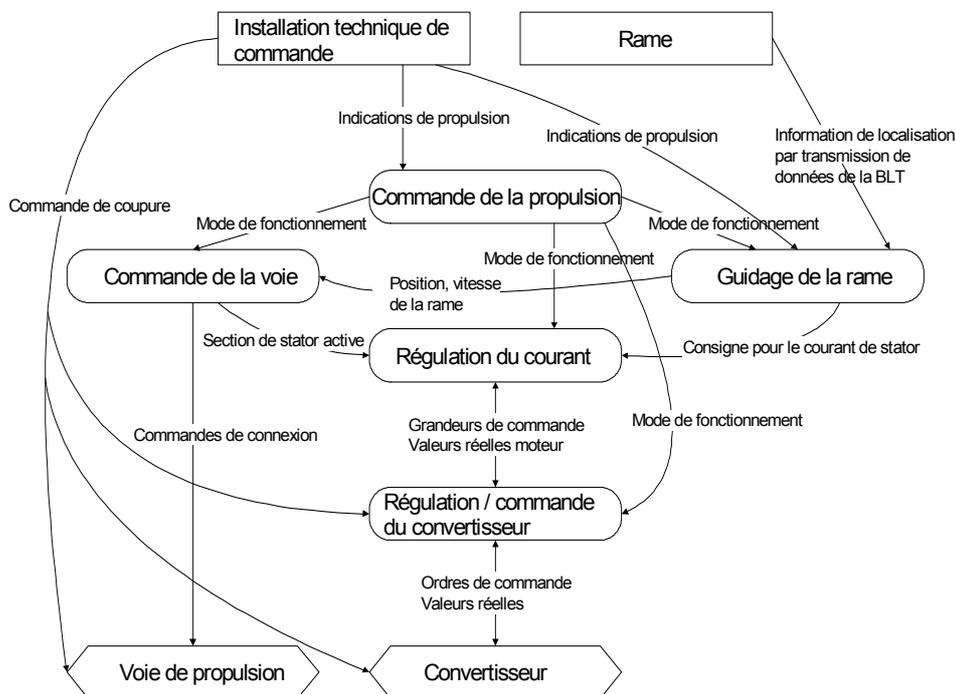


Figure 14 : Structure de la propulsion (exemple)



*Les fonctions de propulsion sont représentées par des encadrés de forme ovale et les composants externes par des encadrés de forme rectangulaire.*

Figure 15 : Fonctions de propulsion

## Structure et fonctions de l'installation technique de commande

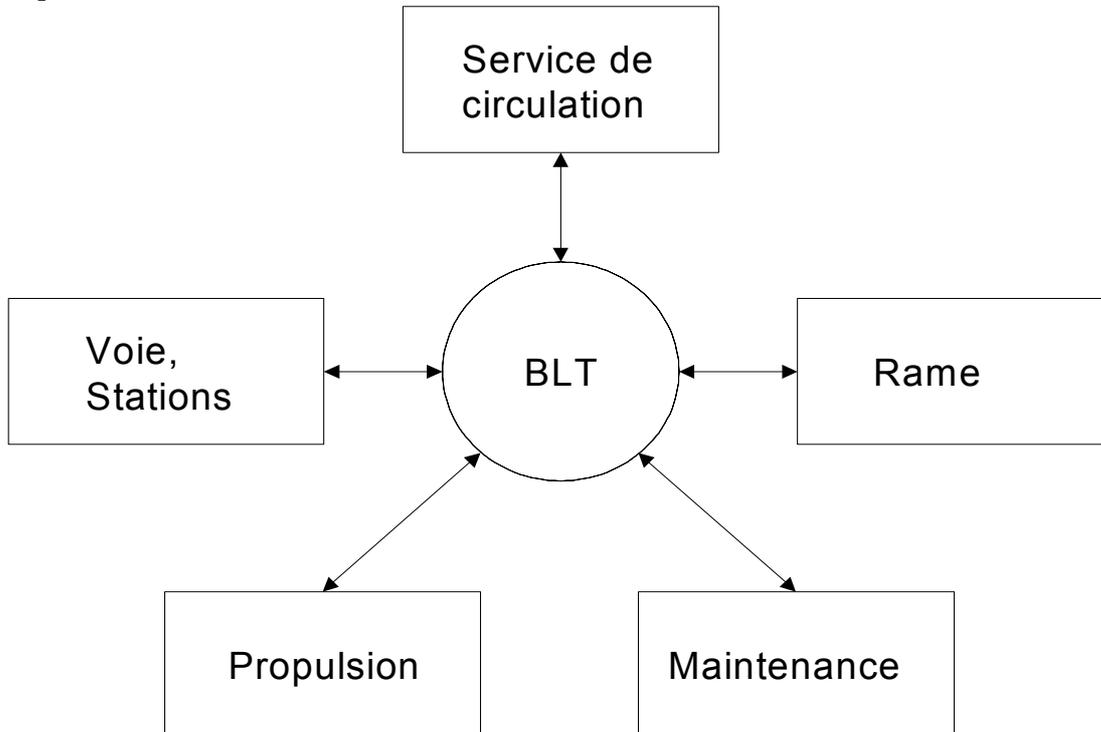
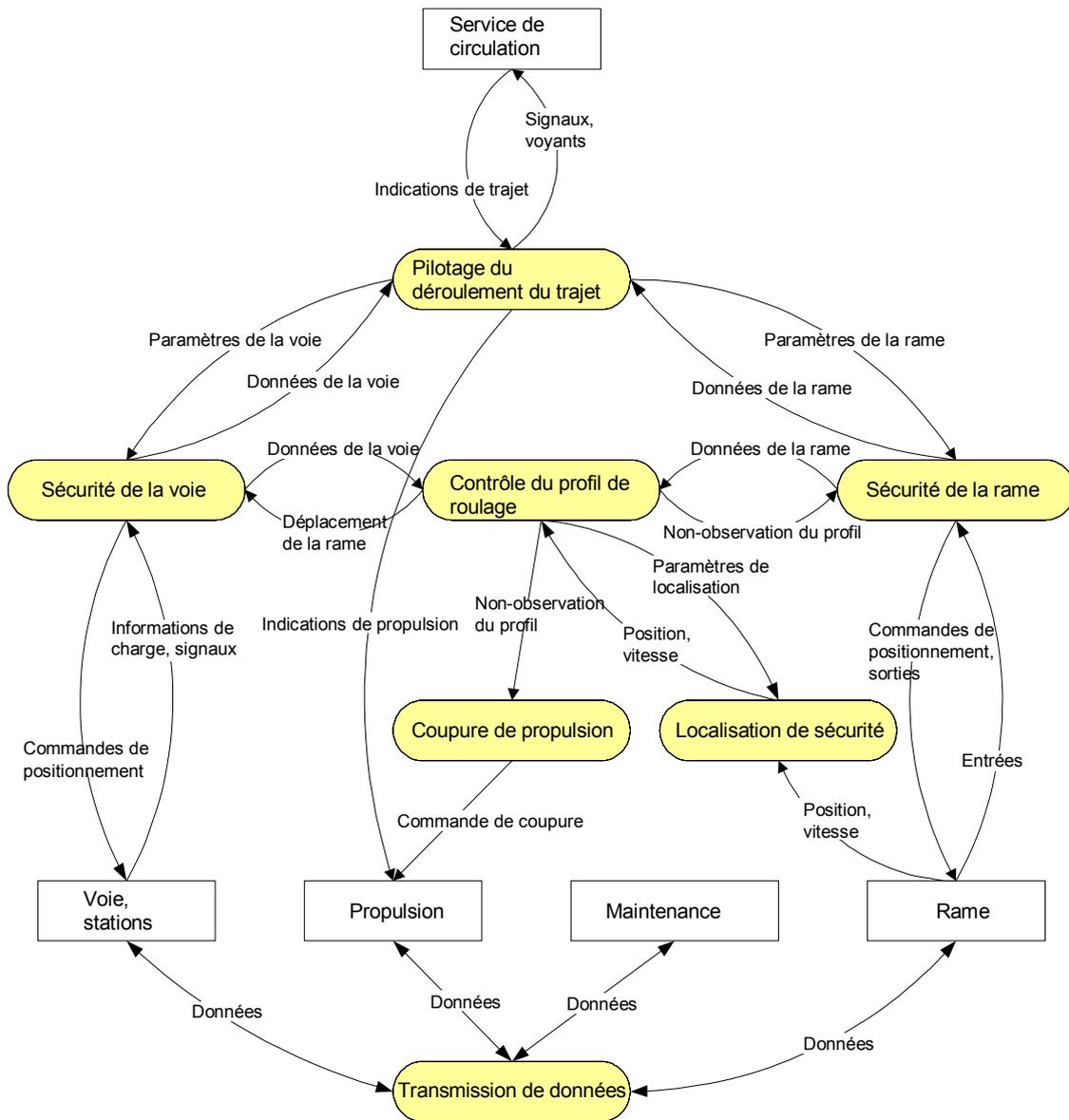


Figure 16 : Configuration et interfaces de la BLT



*Les fonctions de la BLT sont représentées par des encadrés de forme ovale et les composants externes par des encadrés de forme rectangulaire.*

Figure 17 : Fonctions et flux de données de l'installation technique de commande

## Structure de la localisation

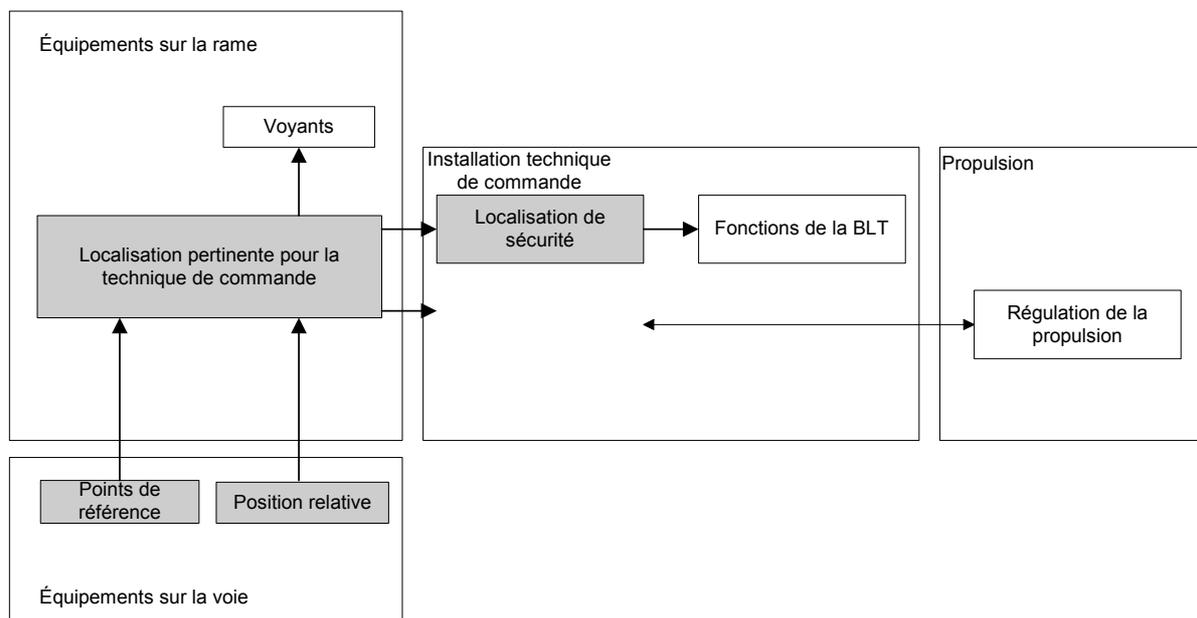


Figure 18 : Structure de la localisation (exemple)

## Voie surélevée

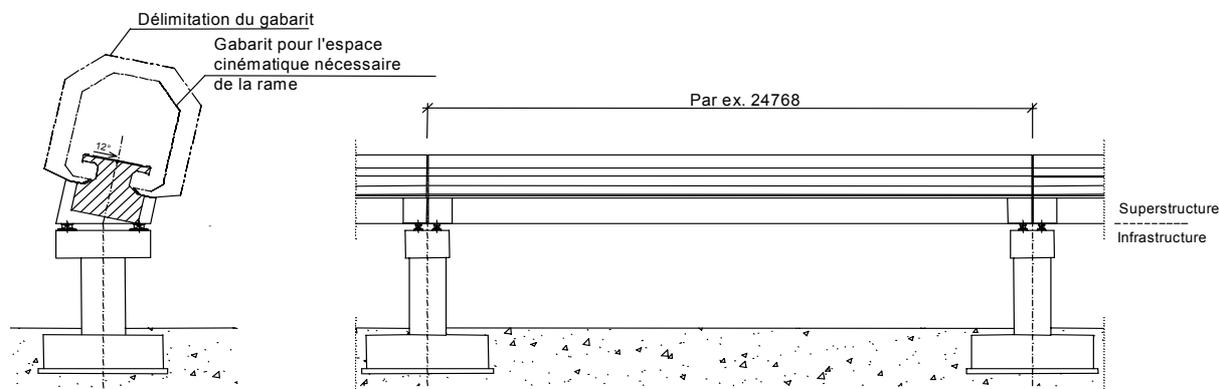


Figure 19 : Voie surélevée (exemple)

## Voie de niveau

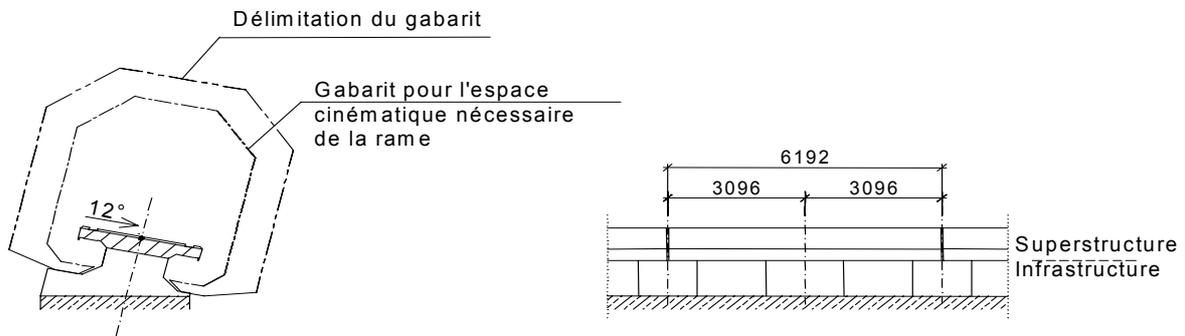


Figure 20 : Voie de niveau (exemple)

## Dimensions des supports

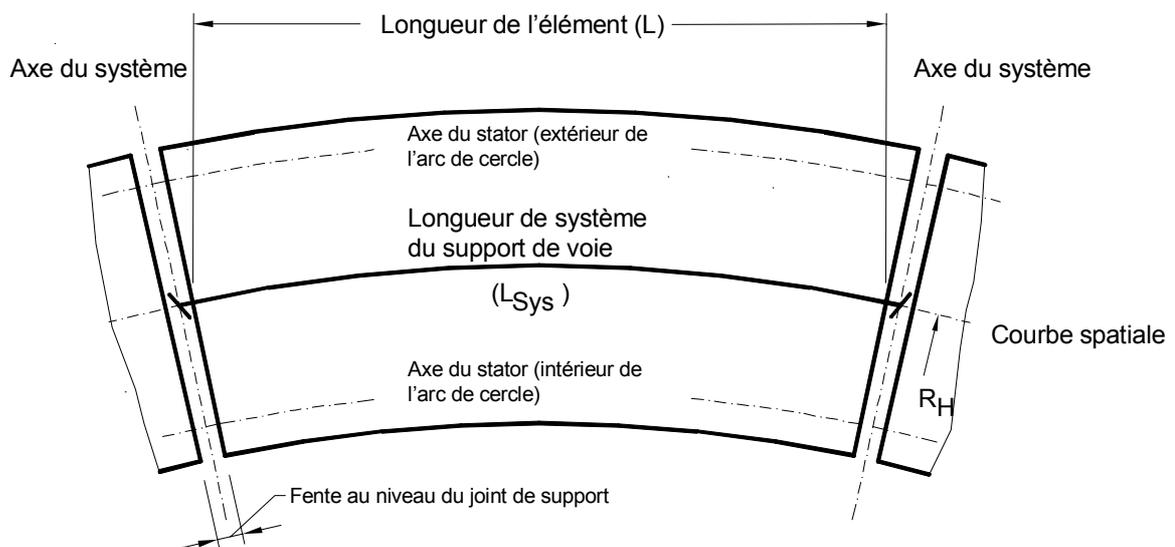
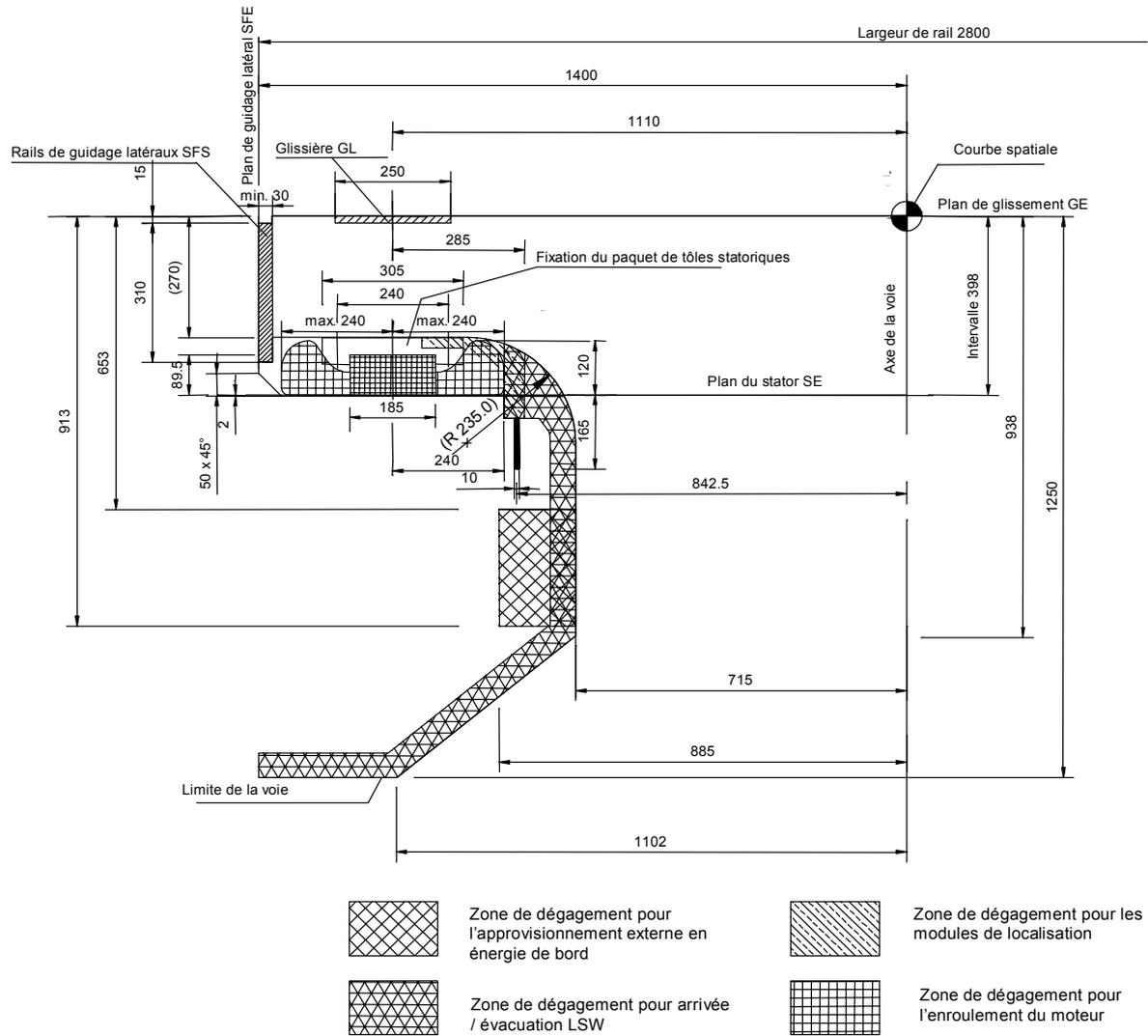


Figure 21 : Dimensions des supports - rapport entre la longueur des éléments de construction et la longueur du système

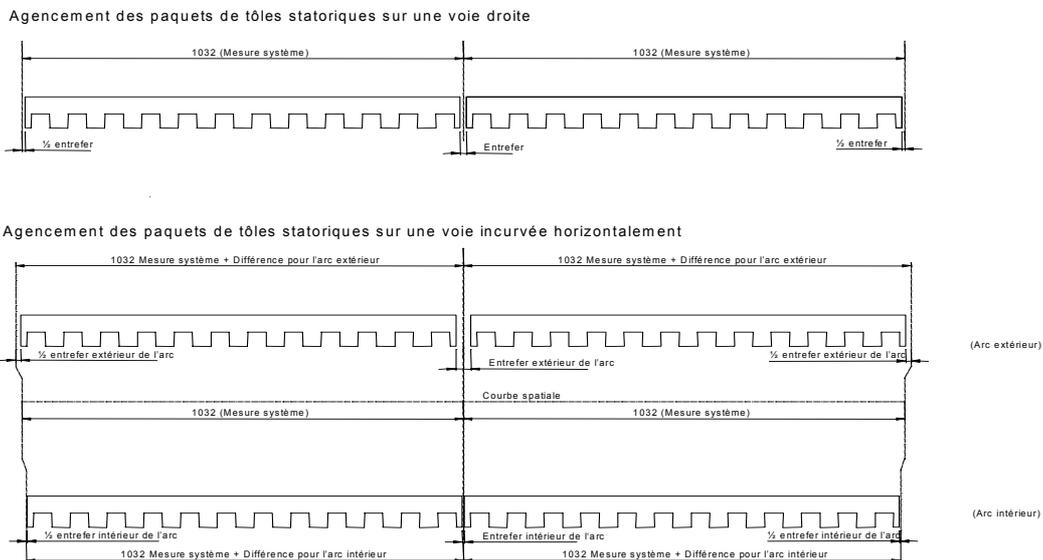
## Équipement de la voie et plans fonctionnels



( ) Les valeurs entre parenthèses sont spécifiques au type de construction

Figure 22 : Éléments et plans fonctionnels et espaces d'installation sur la voie, dimensions (dimensions nominales)

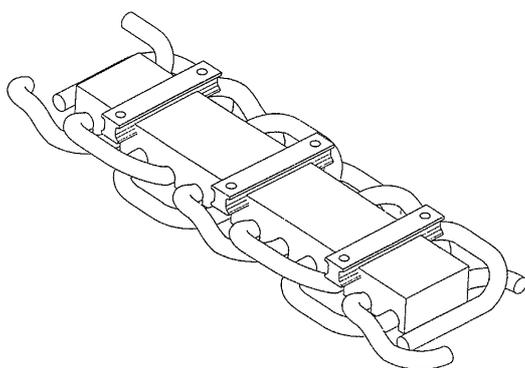
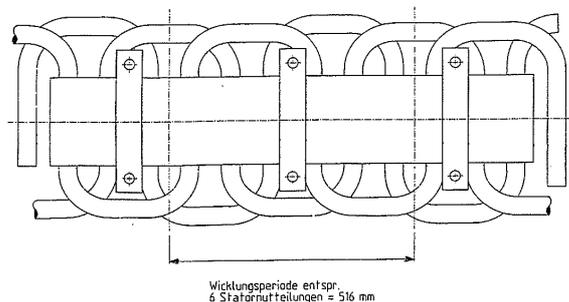
## Agencement des paquets de tôles statoriques



Les longueurs des différents types de paquets de tôles statoriques doivent être fixées en fonction du projet.

Figure 23 : Agencement des paquets de tôles statoriques (exemple)

## Enroulement de stator long

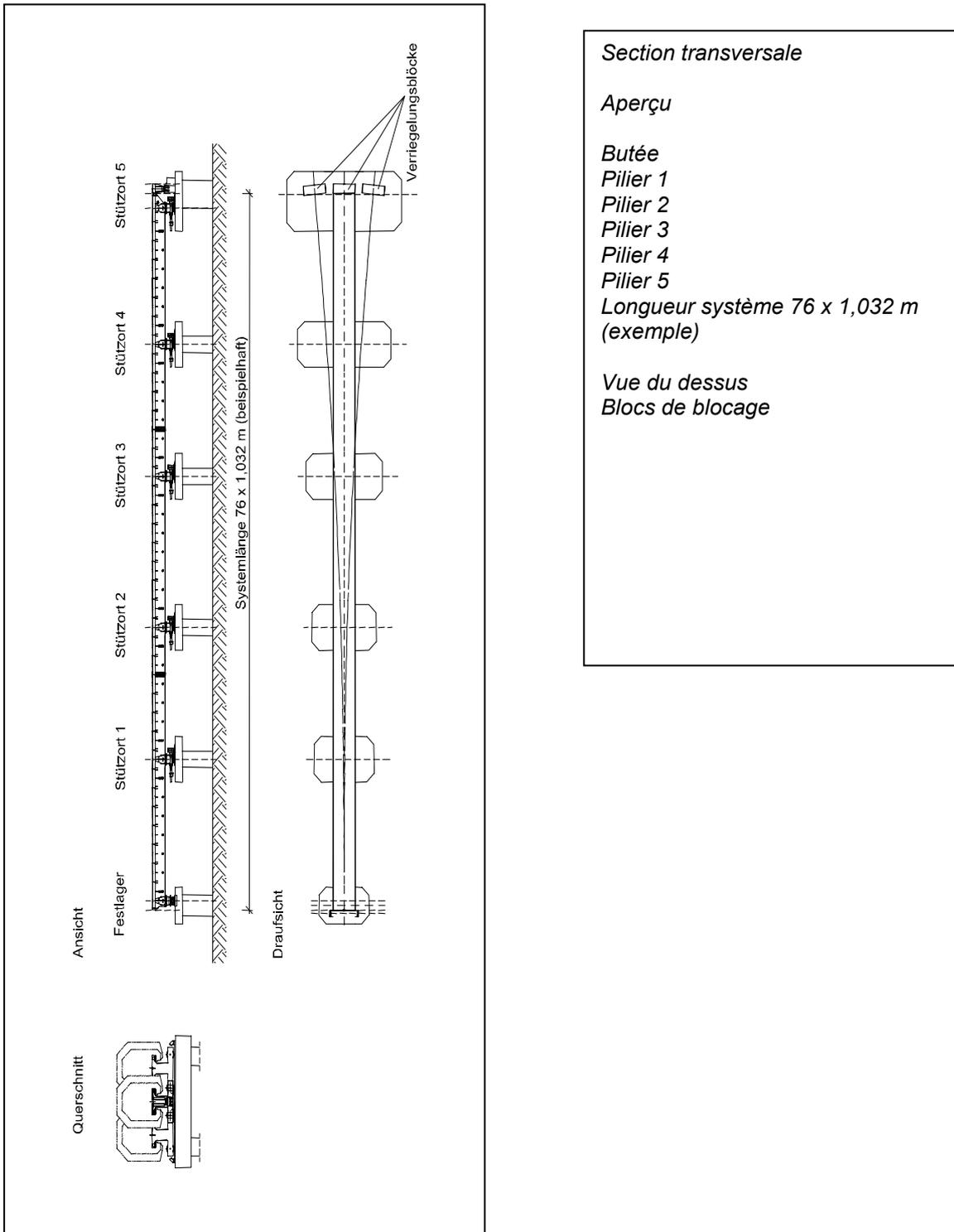


*Période d'enroulement corresp. à 6 parties d'encoches de stator = 516 mm*

Figure 24 : Enroulement de stator long (exemple)

# Installations de changement de voie

Figure 25 : Aiguillage (exemple)



Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

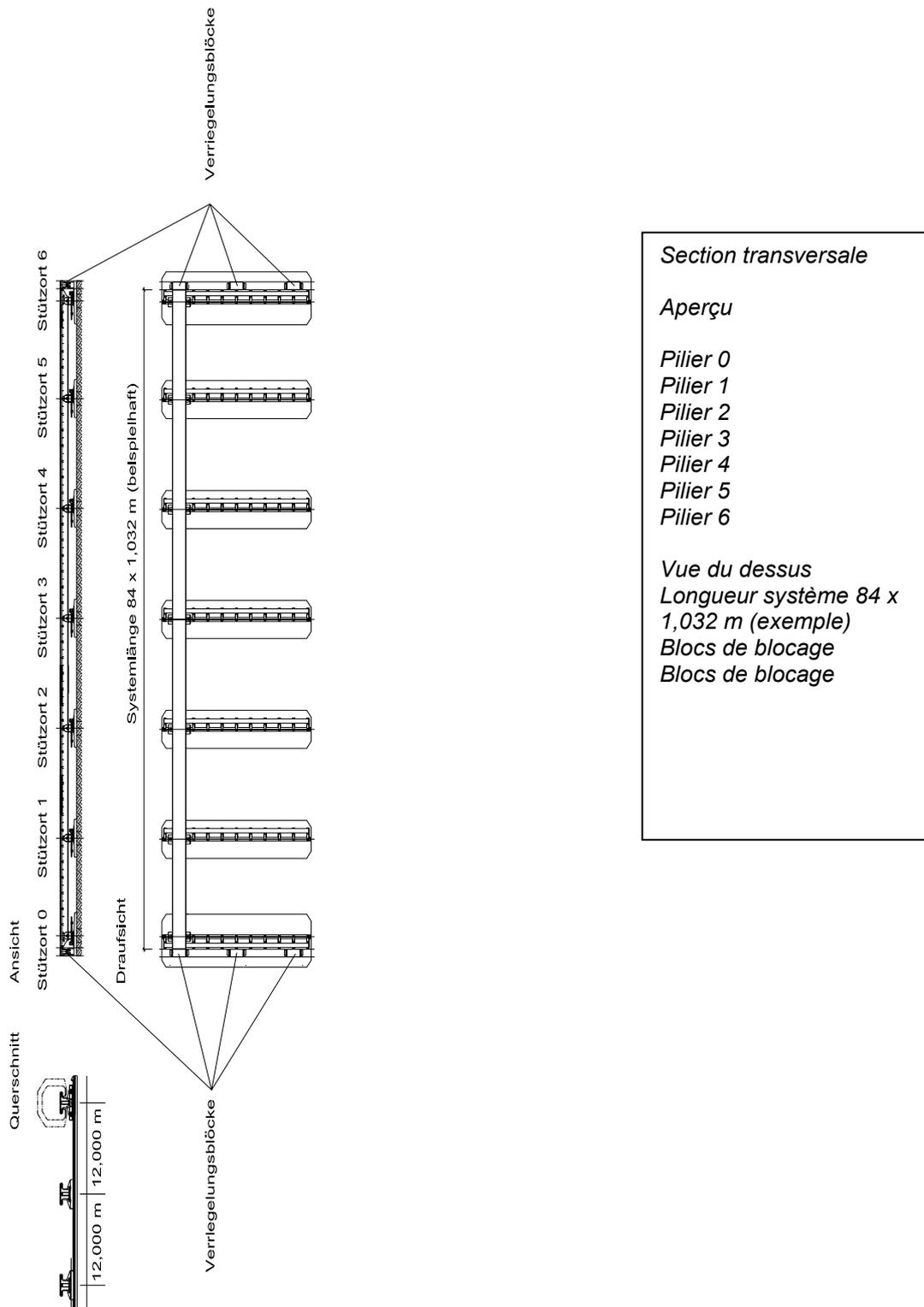


Figure 26 : Plate-forme roulante (exemple)

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

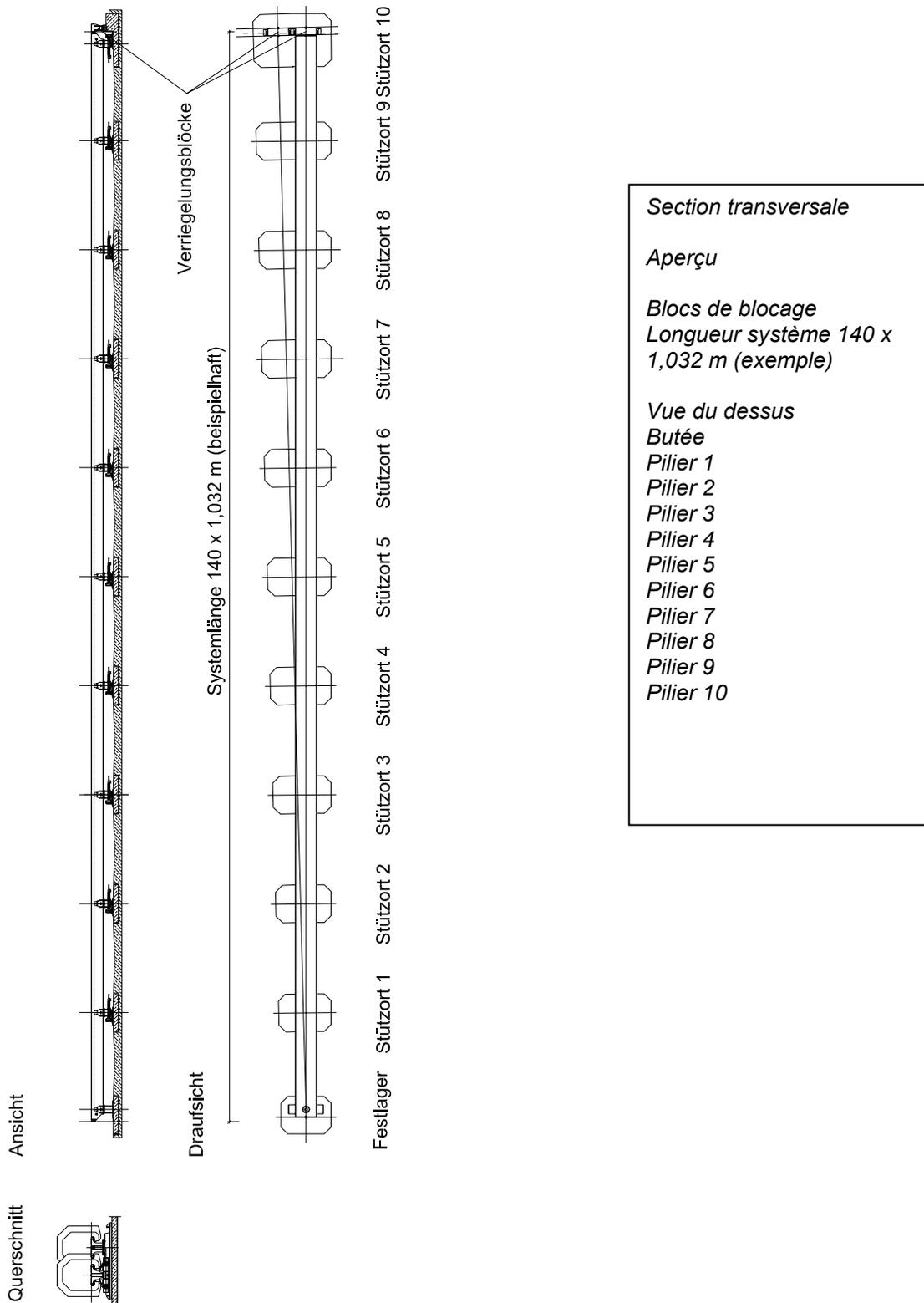


Figure 27 : Plate-forme pivotante (exemple)

## Ouvrages de protection

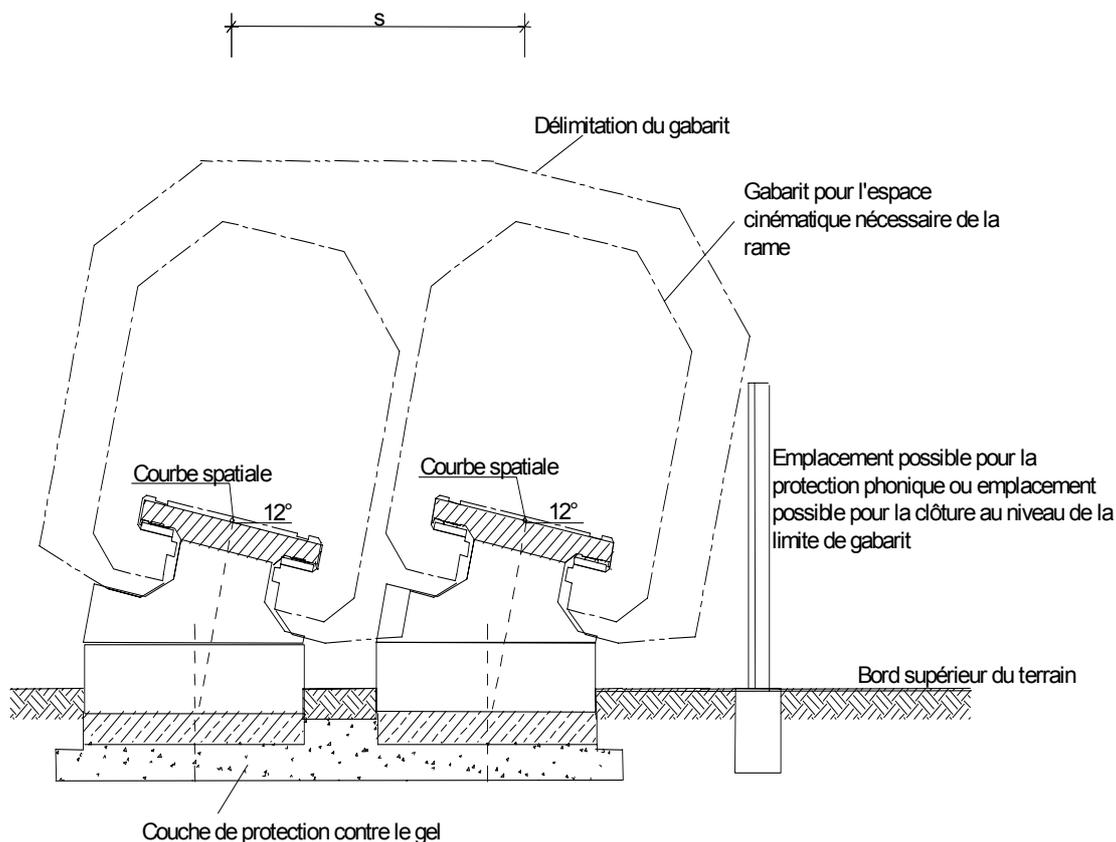


Figure 28 : Mur d'isolation phonique et clôture de protection sur une voie de niveau (exemple)

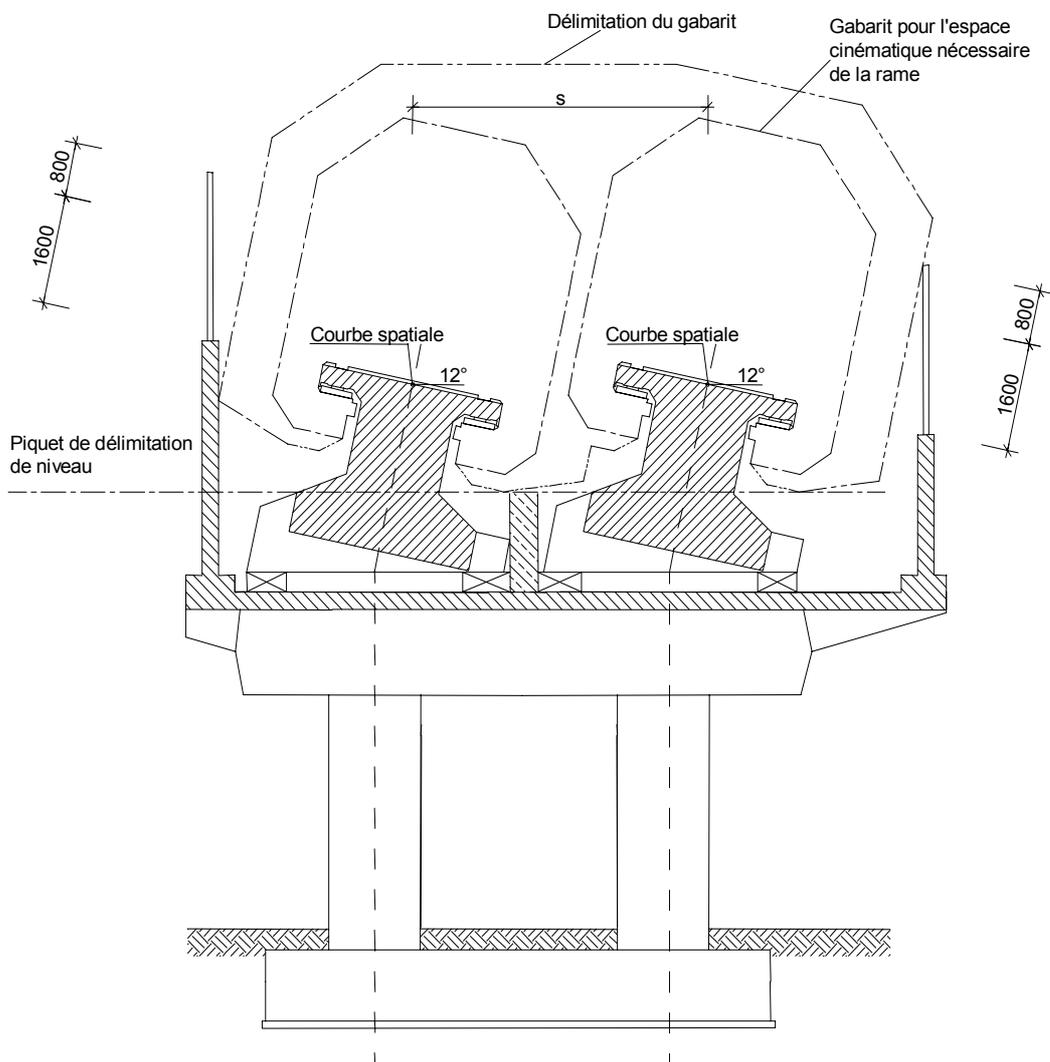


Figure 29 : Mur d'isolation phonique sur une voie surélevée (exemple)

## Périphérie de la ligne

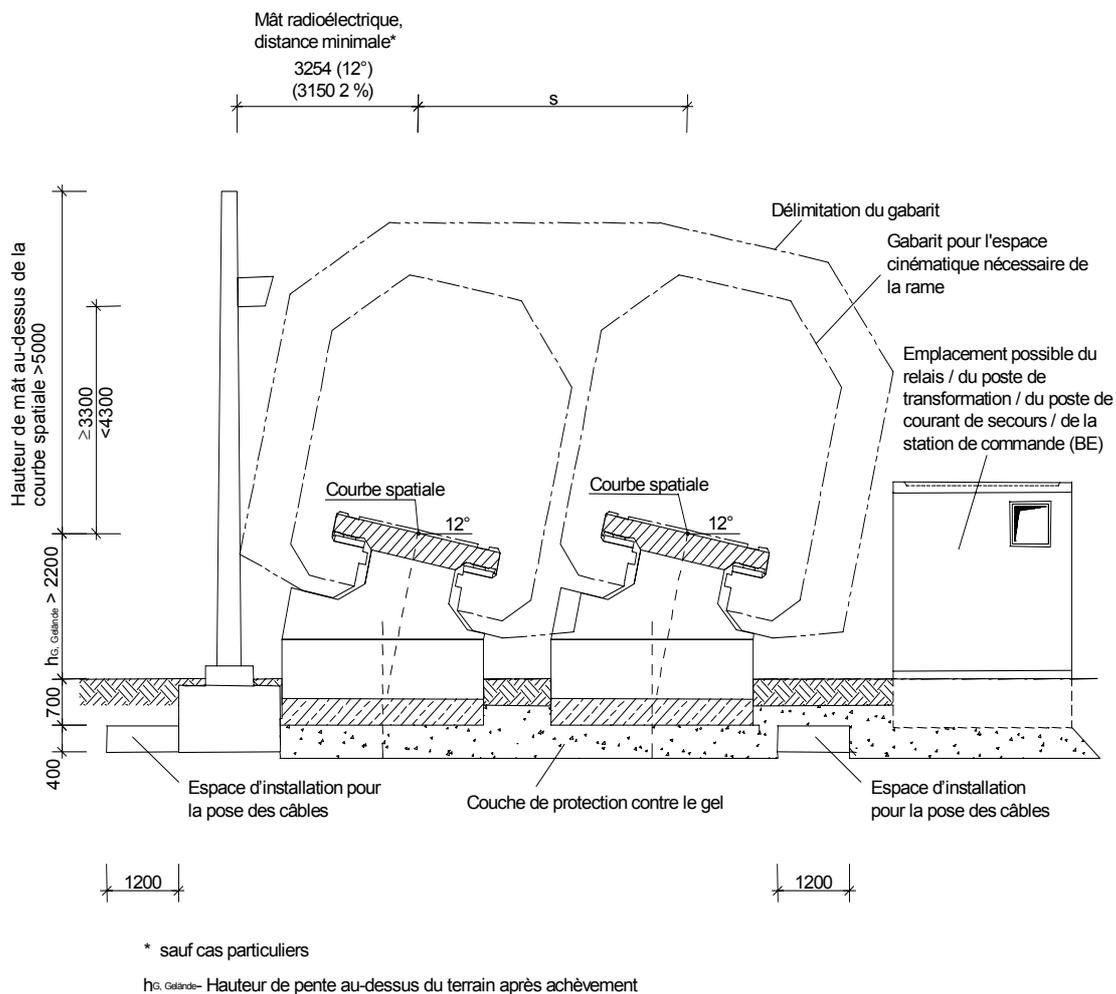
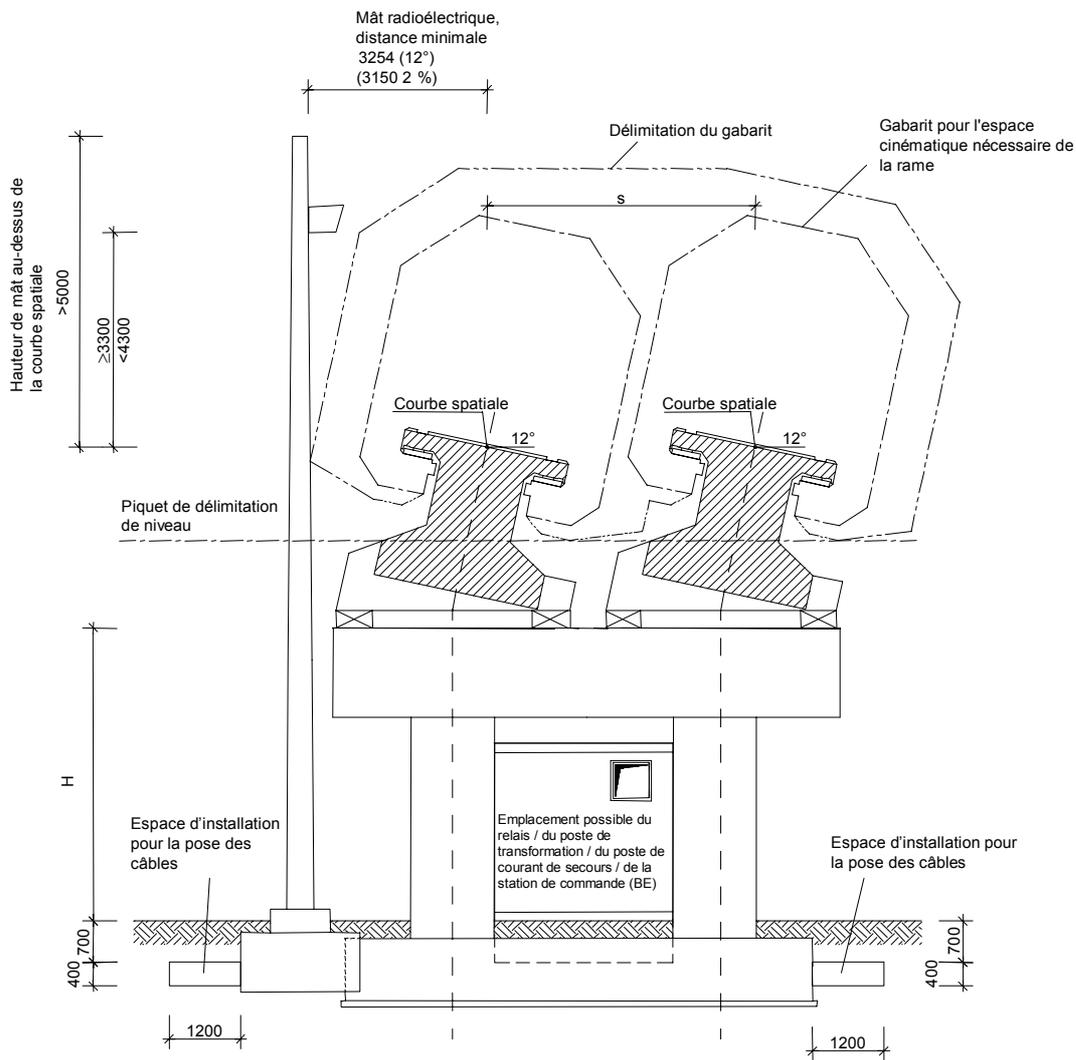


Figure 30 : Périphérie de la ligne avec une voie de niveau (exemple)



\* sauf cas particuliers

H - Hauteur libre conformément aux indications pour le passage au-dessus de voies ferrées ou de routes

Figure 31 : Périphérie de la ligne avec une voie surélevée (exemple)

**Annexe : Données système d'un train rapide à sustentation magnétique**

Les données système définies ci-dessous sont nécessaires pour le dimensionnement des parties du système et des modules. Les données système désignées dans la présente annexe comme « grandeurs caractéristiques du système » sont valables pour tous les projets. Les données spécifiques au projet ou au produit (non désignées ici spécifiquement comme « grandeurs caractéristiques du système ») doivent être confirmées en application des principes d'exécution en fonction du projet ou déterminées de façon divergente. Ces spécifications doivent être prises en compte dans la certification.

N°	Désignation	Symboles	Grandeurs caractéristiques	Valeur	Unité	Explication
<b>1.</b>	<b>Transport / Grandeurs caractéristiques de fonctionnement</b>					
<b>1.1.</b>	<b>Vitesse</b>					
(1)	Vitesse maximale de la rame	$V_{Fz,h\ddot{o}chst}$		500	km/h	Constante, vitesse dérivée des charges permanentes admises pour la rame.
(2)	Vitesse limite de la rame	$V_{Fz,grenz}$		-	km/h	Constante, vitesse dérivée des charges admises de la rame (cas de charge particuliers). La détermination se fait en fonction du projet sur la base des observations de perturbations.
(3)	Vitesse maximale sur la voie	$V_{Fw,h\ddot{o}chst} (X)$		$\leq 500$	km/h	Définition en fonction du lieu de la vitesse autorisée dérivée de la résistance de la voie aux contraintes pour une ligne tracée.
(4)	Vitesse limite de la voie	$V_{Fw,grenz} (X)$		-	km/h	Définition en fonction du lieu de la vitesse autorisée dérivée de la résistance de la voie aux contraintes en cas d'effets exceptionnels pour une ligne tracée. La détermination se fait en fonction du projet sur la base des observations de perturbations.
<b>1.2.</b>	<b>Indicateur horaire</b>					
(1)	Cadence des trains			-	min	À déterminer en fonction du projet
<b>2.</b>	<b>Tracé</b>					
<b>2.1.</b>	<b>Rayon horizontal</b>					
(1)	Rayon horizontal minimal	$R_{H,min}$	x	350	m	
<b>2.2.</b>	<b>Valeurs limites d'inclinaison latérale</b>					
(1)	- dans la zone de quai	$\alpha_{max} (BS)$	x	3	°	Conformément au § 13 (3) du règlement /MbBO/, l'inclinaison latérale autorisée dans une rame à l'arrêt dans la zone de quai est limitée à 3,4 °. On en déduit une inclinaison latérale maximale autorisée de 3,0 ° pour le tracé.

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

(2)	- dans les zones d'arrêt de service pour les arrêts dus au service	$\alpha_{\max} (HP_2)$		6	°	Valeur indicative de confort selon les spécifications en fonction du projet
(3)	- dans les autres zones d'arrêt de service	$\alpha_{\max} (HP_1)$	x	12	°	
(4)	- en dehors des zones d'arrêt	$\alpha_{\max} (ST)$	x	12 16	°	§ 13 (3) du règlement MbBO § 13 (3) du règlement MbBO pour approbation au cas par cas
(5)	Valeur théorique de l'inclinaison latérale pour le drainage de la surface des supports de voie	$\alpha_{\min} (ST)$		$\geq 1,15$	°	correspond à 2 %
<b>2.3. Rayon vertical</b>						
(1)	Rayon vertical minimal	$R_{V \min}$	x	530	m	
<b>2.4. Valeurs limites d'inclinaison longitudinale</b>						
(1)	- dans la zone de quai	$S_{\max} (BS) (\beta)$	x	5	‰	§ 13 (2) du règlement MbBO
(2)	- dans les zones dans lesquelles les rames à l'arrêt doivent être protégées contre tout mouvement involontaire	$S_{\max} (BE) (\beta)$	x	5	‰	§ 13 (2) du règlement MbBO, exceptions admises selon le § 5 (1) du règlement MbBO
(3)	- dans les zones d'arrêt	$S_{\max} (HP) (\beta)$		$\leq 100$	‰	À déterminer en fonction du projet selon la justification de la fonction d'arrêt
(4)	- en dehors des zones d'arrêt	$S_{\max} (ST) (\beta)$	x	100	‰	
<b>2.5. Valeurs limites de gauchissement de la voie</b>						
(1)	Valeurs limites de gauchissement de la voie	$\Delta_{\max} (ST)$	x	0,10	°/m	Dans les cas particuliers jusqu'à 0,15°/m Dans le cas d'une combinaison entre une inclinaison latérale supérieure à 12° et un gauchissement supérieur à 0,1°/m, uniquement après contrôle au cas par cas.
<b>2.6. Superposition d'éléments de tracé</b>						
(1)	Critère $R_{x,z}$	$R_{x,z \min}$	x	$f_{x,z}(\Delta)$	m	
(2)	Critère $R_{x,y}$	$R_{x,y \min}$	x	$f_{x,y}(\Delta)$	m	
<b>2.7. Autres grandeurs caractéristiques de tracé</b>						
(1)	Distance moyenne d'écartement des rails	$S_M$	x	$\geq 4.400$	mm	Conformément au règlement MbBO, en fonction de la vitesse
(2)	Délimitation du gabarit	-	x	-	mm	Conformément au règlement MbBO
<b>3. Accélération, chocs, vibrations et pressions</b>						
<b>3.1. Accélération</b>						
<b>3.1.1. Accélération longitudinale (axe des x)</b>						
(1)	Valeur maximale de l'accélération de propulsion	$a_{x,\max, \text{Beschleunigen}}$	x	$\leq 1,5$	m/s <sup>2</sup>	§ 13 (5) du règlement MbBO
(2)	Valeur maximale de l'accélération de freinage	$a_{x,\max, \text{Bremsen}}$	x	$\geq -1,5$	m/s <sup>2</sup>	§ 13 (5) du règlement MbBO
<b>3.1.2. Accélération latérale (libre non compensée (axe des y))</b>						
(1)	Ligne	$a_{y,\max}$	x	$\leq 1,5$	m/s <sup>2</sup>	Après extérieur de l'arc de cercle, § 13 (4) du règlement MbBO
(2)	Installation de changement de	$a_{y,\max, \text{SWE}}$	x	$\leq 2,0$	m/s <sup>2</sup>	Après extérieur de l'arc de

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

	voie					cercle, § 13 (4) du règlement MbBO
<b>3.1.3.</b>	<b>Accélération normale (axe des z)</b>					
(1)	Point bas	$a_{z,max}$		$\leq 1,2$	m/s <sup>2</sup>	§ 13 (6) du règlement MbBO, peut être dépassé au cas par cas (effets variables)
(2)	Sommet	$a_{z,min}$		$\geq -0,6$	m/s <sup>2</sup>	
<b>3.2.</b>	<b>Choc</b>					
(1)	Choc latéral	$\dot{a}_{y,max}$		0,5	m/s <sup>3</sup>	Critère de confort pour les trajets urbains au niveau des points de passage obligatoires : au cas par cas jusqu'à 1,0 m/s <sup>3</sup>
(2)	Choc latéral aiguillage en bifurcation	$\dot{a}_{y,max,SWE}$		2,0	m/s <sup>3</sup>	Critère de confort
(3)	Choc vertical	$\dot{a}_{z,max}$		0,5	m/s <sup>3</sup>	Critère de confort au cas par cas au niveau des points de passage obligatoires : jusqu'à 1,0 m/s <sup>3</sup>
<b>4.</b>	<b>Rame de TSM</b>					
<b>4.1.</b>	<b>Configuration de la rame</b>					
(1)	Nombre de voitures	$N_{Sekt}$		2 ... 10	Unité	
(2)	Surface utile par voiture de rame	$A_{Nutz}$		-	m <sup>2</sup>	À déterminer en fonction du projet
(3)	Nombre de places assises par voiture de rame	$N_{Sitz}$		-	-	
(4)	Nombre de places debout par voiture de rame	$N_{Steh}$		-	-	
(5)	Charge d'exploitation par voiture de rame	NL		-	kg	
<b>4.2.</b>	<b>Géométrie de la rame</b>					
(1)	Longueur géométrique de voiture d'extrémité	$L_{ES}$		env. 25	m	□
(2)	Longueur géométrique de voiture intermédiaire (longueur système d'une voiture de rame)	$L_{MS}$	x	24,768	m	cf. aussi le n° 6.1.1. (3) : Longueur occupée par l'aimant de levage d'une voiture intermédiaire
(3)	Longueur géométrique de la rame	$L_{Fzg}$			m	$L_{FZG}=2*L_{ES}+(N_{Sekt}-2)*L_{MS}$
(4)	Largeur extérieure de caisse de wagon	$B_{WK-A}$	x	3,7	m	
(5)	Caisse de wagon élevée au-dessus de la pente (sans antenne)	$H_{WK-Grd}$		env. 3,3	m	Rame abaissée, à déterminer en fonction du projet
(6)	Plancher élevé, bord supérieur au-dessus de la pente	$H_{FOK-Grd}$		env. 0,93	m	Rame abaissée, à déterminer en fonction du projet
(7)	Rame élevée (antenne incluse) au-dessus de la pente	$H_{Fzg-Grd}$		env. 3,8	m	Rame abaissée, à déterminer en fonction du projet
(8)	Caisse de wagon élevée à l'extérieur, au-dessus du bord supérieur du plancher	$H_{WK-FOK}$		env. 2,4	m	À déterminer en fonction du projet
(9)	Pente élevée au-dessus du bord inférieur de la rame	$H_{Grd-Fzg,UK}$		env. 0,9	m	Rame abaissée, à déterminer en fonction du projet
(10)	Hauteur totale de la rame (sans antenne)	$H_{Fzg,Ges}$		env. 4,2	m	À déterminer en fonction du projet
<b>4.3.</b>	<b>Poids de la rame</b>					Les charges linéaires citées servent de base au dimensionnement de la voie. Une tolérance de +/- 5 % des charges linéaires est admise sur la rame.

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

(1)	Poids propre d'une voiture de rame	$M_{EG}$		$\geq$	kg	Le poids propre de la rame ne doit pas être inférieur à la valeur correspondant à une charge linéaire de 19 kN/m calculée sur la longueur système d'une voiture de rame.
(2)	Poids moyen d'une voiture de rame	$M_{MG}$		$\leq$	kg	Le poids propre moyen de la rame correspond à une charge linéaire moyenne de 26 kN/m calculée sur la longueur système d'une voiture de rame.
(3)	Poids autorisé d'une voiture de rame	$M_{ZG}$		$\leq$	kg	Le poids autorisé de la rame ne doit pas dépasser la valeur correspondant à une charge linéaire de 29 kN/m calculée sur la longueur système d'une voiture de rame.
(4)	Poids maximal d'une voiture de rame	$M_{XG}$		$\leq$	kg	Le poids maximal de la rame ne doit pas dépasser la valeur correspondant à une charge linéaire de 31 kN/m calculée sur la longueur système d'une voiture de rame.
<b>5. Voie</b>						
<b>5.1. Configuration de la voie</b>						
<b>5.1.1. Dimensions de base</b>						
(1)	Longueur système du paquet de tôles statoriques	$L_{SP, Sys}$	x	1.032	mm	Cf. également Fig. 23 /MSB AG-GESAMTSYS/, chap. 8.16
<b>5.1.2. Longueurs de supports standards</b>						
(1)	Type de voie standard I	$L_{Sys, Typ I}$		$> 16$	m	En général, posée à discrétion sur des semelles individuelles. À déterminer en fonction du projet.
(2)	Type de voie standard II	$L_{Sys, Typ II}$		$\leq 16$	m	En général, posée à discrétion sur des semelles individuelles. À déterminer en fonction du projet.
(3)	Type de voie standard III	$L_{Sys, Typ III}$		env. 6	m	En général, posée à discrétion sur des semelles continues. À déterminer en fonction du projet.
<b>5.2. Géométrie de la voie</b>						
(1)	Largeur du rail (écartement entre les plans de guidage latéraux)	$S_{SFE}$	x	2.800	mm	
(2)	Intervalle sur la voie entre plan de glissement et plan du stator	$T_{ZM, GLE-SE}$	x	398	mm	
<b>5.3. Écarts de positionnement des plans fonctionnels</b>						
<b>5.3.1. Tolérance intervalle sur la voie</b>						
(1)	Intervalle sur la voie dans la travée du support	$\Delta T_{ZM}$		+3 / -5	mm	
(2)	Différence relative des intervalles au niveau des joints du support			$\pm 0,4$	mm	
<b>5.3.2. Tolérance largeur du rail</b>						
(1)	Largeur du rail dans la travée des supports	max $\Delta S$		$\pm 2$	mm	
(2)	Différence relative de largeur de rail au niveau des joints du support			$\pm 1$	mm	

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Système complet

<b>5.4.</b>	<b>Déformation des superstructures de la voie</b>					
<b>5.4.1.</b>	<b>Trafic dans le sens x</b>					
(1)	au niveau des joints du support			10 20	mm	Périodique en cas de freinage d'urgence
<b>5.4.2.</b>	<b>Trafic dans le sens z</b>					
(1)	Poutre à une travée	max $f_{z,Fzg}$	x	$L_{St}/4.000$	mm	En cas d'effet statique pour le poids de rame autorisé
(2)	Poutre à deux travées		x	$L_{St}/4.800$	mm	En cas d'effet statique pour le poids de rame autorisé
(3)	Dalle de voie					La construction doit être évaluée au cas par cas.
<b>5.4.3.</b>	<b>Trafic dans le sens y</b>					
(1)	Poutre à une travée	max $f_{y,Fzg}$	x	$L_{St}/15.000$	mm	En cas d'effet stationnaire pour le poids de rame autorisé et $a_{y,max}$
(2)	Poutre à deux travées		x	$L_{St}/18.000$	mm	En cas d'effet stationnaire pour le poids de rame autorisé et $a_{y,max}$
(3)	Dalle de voie					La construction doit être évaluée au cas par cas.
<b>5.5.</b>	<b>Installations de changement de voie</b>					
(1)	Séquence d'un aiguillage à deux voies d'une position de fin de course à une position de fin de course			30	s	Valeur typique
<b>6.</b>	<b>Géométrie des interfaces rame - voie</b>					
<b>6.1.</b>	<b>Aimant de levage - Stator long</b>					
<b>6.1.1.</b>	<b>Aimant de levage</b>					
(1)	Longueur système aimant de levage (aimant de longueur standard)	$L_{sys, TM}$	x	3.096	mm	
(2)	Écart moyen des aimants de levage dans le sens y	$e_{y, TM}$	x	2.220	mm	
(3)	Longueur occupée par l'aimant de levage d'une voiture intermédiaire	$L_{TM-B, MS}$	x	24.768	mm	
(4)	Longueur occupée par l'aimant de levage d'une voiture d'extrémité	$L_{TM-B, ES}$		23.753	mm	Pas de dimensions système, peut varier en fonction du projet
<b>6.1.2.</b>	<b>Stator long</b>					
(1)	Écart moyen des stators longs dans le sens y	$e_{y, SP}$	x	2220	mm	Dimension nominale
(2)	Largeur du paquet de tôles statoriques (géométrique)	$b_{y, SP}$		$\geq 185$	mm	Exemple typique d'exécution : 185 mm, à déterminer en fonction du projet
(3)	Répartition des pôles	$e_{x, Polteilung}$	x	258	mm	Dimension nominale, enroulement de moteur 3 phases
(4)	Répartition des encoches (écart moyen des câbles d'enroulement du moteur)	$e_{x, Nutteilung}$	x	86	mm	Dimension nominale
<b>6.2.</b>	<b>Aimant de guidage - Rails de guidage latéraux</b>					
<b>6.2.1.</b>	<b>Aimant de guidage</b>					
(1)	Longueur système aimant de guidage	$L_{sys, FM}$	x	3.096	mm	

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Système complet

<b>6.2.2.</b>	<b>Rails de guidage latéraux</b>					
(1)	Hauteur des rails de guidage latéraux	$h_{SFS}$	x	310	mm	
(2)	Épaisseur des rails de guidage latéraux	$d_{SFS}$		$\geq 30$	mm	30 mm, exemple d'exécution typique, à déterminer en fonction du projet
<b>6.3.</b>	<b>Aimant de freinage - Rails de guidage latéraux</b>					
(1)	Écart moyen des aimants de freinage dans le sens x	$e_{x,BM}$		24.768	mm	Valeur indicative, des mesures différentes peuvent être déterminées en fonction du projet.
<b>6.4.</b>	<b>Patin de levage - Plan de glissement</b>					
<b>6.4.1</b>	<b>Patin de levage</b>					
(1)	Longueur de patin de levage	$L_{x,TK}$		740	mm	Valeur indicative, des mesures différentes peuvent être déterminées en fonction du projet.
(2)	Largeur de patin de levage	$b_{y,TK}$		110	mm	Valeur indicative, des mesures différentes peuvent être déterminées en fonction du projet.
(3)	Écart moyen des patins de levage dans le sens x	$e_{x,TK}$		3.096	mm	
(4)	Écart moyen des patins de levage dans le sens y	$e_{y,TK}$	x	2.220	mm	
<b>6.4.2</b>	<b>Plan de glissement</b>					
(1)	Largeur du plan de glissement / de la glissière	$\min b_{y,GL}$		$\geq 150$	mm	
<b>7.</b>	<b>Effets au niveau des interfaces rame / voie dans le sens x</b>					
(1)	Effets variables lors de la propulsion / du freinage	$\max \text{stat } p_x$		4,8	kN/m	Maximum local ; en moyenne sur une voiture de rame 4,4 kN/m, sur une voiture intermédiaire de 24,768 m de longueur. Limitation du courant de propulsion de manière à ne pas dépasser la force maximale admise.
(2)	Effets exceptionnels (symétriques)	$\max p_x$		10,0	kN/m	Correspond à env. 250 kN / voiture de rame pour une voiture intermédiaire de 24,768 m de longueur.
(3)	Effets exceptionnels (asymétriques)	$\max p_x r, l$		5,5 ou 2,0	kN/m	Correspond à une force totale maximale de 185 kN / voiture de rame pour une voiture intermédiaire de 24,768 m de longueur et une répartition inégale maximale de 0,73 : 0,27 entre les deux côtés de la voie / de la rame.
<b>8.</b>	<b>Propulsion</b>					
<b>8.1.</b>	<b>Géométrie du moteur</b>					
	<i>voir aimant de levage et stator long</i>			-		
<b>8.2.</b>	<b>Constantes du moteur</b>					

(1)	Constante de force de poussée par voiture intermédiaire	$C_{M,MS}$		-	S/O	Équation aux grandeurs par tranche : $C_{M,MS} = 43,0 * \sqrt{(m_{MS}[t] / 64,5 t)}$ où $m_{MS}$ est le poids réel de la voiture intermédiaire Les valeurs peuvent varier en cas de températures très élevées ou très basses en raison de la variation de longueur des rames de TSM longues.
(2)	Constante de force de poussée par voiture d'extrémité	$C_{M,ES}$		-	S/O	Équation aux grandeurs par tranche : $C_{M,ES} = 41,3 * \sqrt{(m_{ES}[t] / 62,0 t)}$ où $m_{ES}$ est le poids réel de la voiture d'extrémité. Les valeurs peuvent varier en cas de températures très élevées ou très basses en raison de la variation de longueur des rames de TSM longues.
(3)	Tension du moteur induite par côté de voiture de rame	$u_p$		-	V	Correspond à $1/6 * C_M * \text{vitesse}$
(4)	Section transversale conducteur	$A_S$		300	mm	Valeur indicative pour les conducteurs en aluminium
(5)	Résistance de conducteur	$R_S$		0,23	$\Omega$	Valeur indicative par km de longueur de stator à 20°C et 0-30 Hz
(6)	Résistance / coefficient de température	$\theta_{St}$		0,004	1/°C	Le facteur de valeur indicative est : $(1 + \theta_{St} * (\text{température} - 20^\circ\text{C}))$
(7)	Résistance / coefficient de fréquence	$f_{St}$		0,004	s	Le facteur de valeur indicative est : $(1 + f_{St} * (\text{fréquence} - 30\text{Hz}))$
(8)	Inductance de fuite	$L_S$		2,6	mH	Valeur indicative par km de longueur de stator sans rame
(9)	Inductance principale de la rame	$L_h$		0,1	mH	Valeur indicative par voiture et côté inclus $L_S$
(10)	Capacité de mise à la terre	$C_S$		1	$\mu\text{F}$	Valeur indicative par km de longueur de stator
(11)	Facteur de longueur conduite de champ magnétique progressif / stator long	$\square$		2,35		Valeur indicative
(12)	Température maximale du conducteur	$T_{Lmax}$		70	°C	Valeur indicative due à la durée de vie, techniquement 90°C
(13)	Constante thermique de temps	$T_{Stat}$		1...5	h	Valeur indicative
(14)	Tension nominale	$U_{Nenn}$		10...20	kV	Valeur indicative associée à l'oscillation fondamentale effective
<b>8.3.</b>	<b>Câblage du moteur</b>					
(1)	Longueur de section du moteur	$ds$		1.200	m	Valeur indicative, individuellement entre 0,5 et 3 km environ
(2)	Décalage de section du moteur	vers		300	m	Valeur indicative, individuellement entre 0 et $ds/2$
<b>9.</b>	<b>Installation technique de commande</b>					
<b>9.1</b>	<b>Localisation de sécurité</b>					
(1)	Imprécision de l'information de localisation statique			2	m	Valeur d'exemple. La valeur doit être calculée en fonction du projet.
(2)	Imprécision de l'information sur la vitesse			5	km/h	Valeur d'exemple. La valeur doit être calculée en fonction du projet.
<b>9.2</b>	<b>Vitesses en fonction de la</b>					

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet

	<b>rame</b>					
(1)	Vitesse d'abaissement			5	km/h	Valeur d'exemple. La valeur doit être calculée en fonction du projet.
<b>9.3</b>	<b>Temps de retard et de propagation</b>					
(1)	Temps de coupure de propulsion max.			2,3	s	Valeur indicative pour le temps de coupure de l'énergie de propulsion et de freinage pour un motif de déconnexion essentiel pour la sécurité par la BLT
<b>10.</b>	<b>Aérodynamique</b>					
<b>10.1.</b>	<b>Pression au passage d'une rame</b>					
(1)	Amplitude de pression max. sur les surfaces latérales de la rame		x	2.400	Pa	
(2)	Amplitude de pression sur les ouvrages sur la voie			-	Pa	En fonction de la distance et de la vitesse de la rame
(3)	Contrainte de pression sur la table de voie et sur les parties inférieures de la rame	□	x	-7,6 à 15,2	kN/m <sup>2</sup>	
<b>10.2.</b>	<b>Pression lors du passage dans un tunnel</b>					
(1)	Pression de configuration pour le dimensionnement des tunnels			5.500	Pa	Différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la rame
(2)	Pression de configuration pour le dimensionnement des rames			6.000	Pa	Différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la rame





# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Systeme complet**

#### **Annexe 1**

#### **Abréviations et définitions**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
            Systeme complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Doc. n° : 67536

Version    finale

Date de      15.02.2007  
publication

Page 1

## Destinataires

Le présent document a été remis par la commission spéciale Système complet à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007, version finale, commission spéciale Système complet

**Table des matières**

<b>Destinataires</b> .....	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>5</b>
Objet du document et champ d'application .....	5
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	5
Abréviations et définitions.....	5
Lois, décrets, normes et directives.....	5
Identification et caractère obligatoire des exigences .....	6
<b>Vue d'ensemble</b> .....	<b>7</b>
<b>Abréviations</b> .....	<b>9</b>
<b>Définitions</b> .....	<b>21</b>

**Index des illustrations**

Figure 1 : Présentation des opérations et des modes de fonctionnement .....	7
Figure 2 : Présentation des termes afférents à la notion de vitesse .....	8

## Généralités

### Objet du document et champ d'application

Ce document contient les abréviations et définitions utilisés pour les systèmes de TSM. Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

### Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document est une annexe au Principe d'exécution du système complet et fait donc partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation et de maintenance, document n° : 69061, /MSB AG-BTR/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

### Abréviations et définitions

Les abréviations et définitions d'ordre général sont contenues dans le présent document. D'autres abréviations et définitions spécifiques peuvent figurer dans les principes d'exécution secondaires.

### Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non da-

---

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
                  Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Doc. n° : 67536

Version finale

Date de publication 15.02.2007

Page 5

tées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## **Identification et caractère obligatoire des exigences**

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique* à des fins d'identification.

Le niveau d'obligation des exigences a été fixé sur la base de la norme /DIN 820-2/, annexe G, et pris en compte de façon correspondante dans la formulation des exigences.

### Vue d'ensemble

Les termes et définitions ci-dessous doivent être utilisés pour les Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique.

Les relations détaillées dans l'illustration ci-après s'appliquent entre les termes et définitions, par ailleurs présentés dans l'ordre alphabétique dans les chapitres 0 et 0.

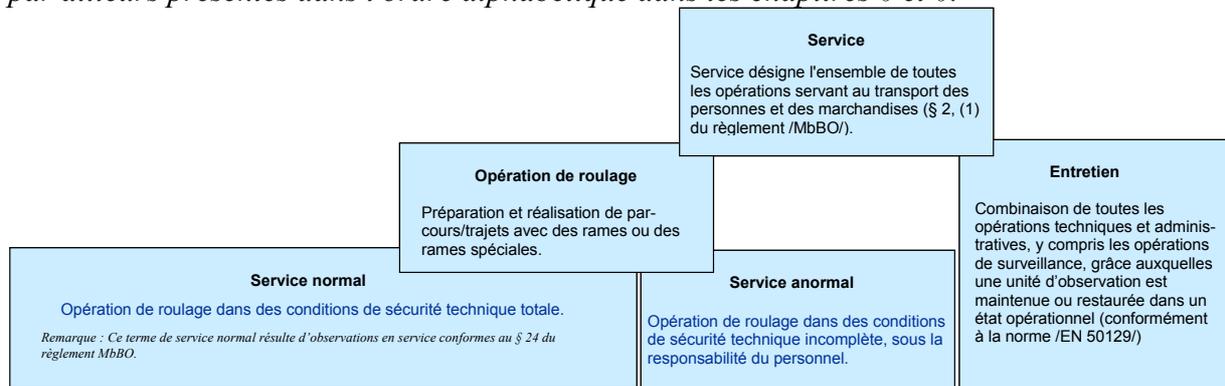
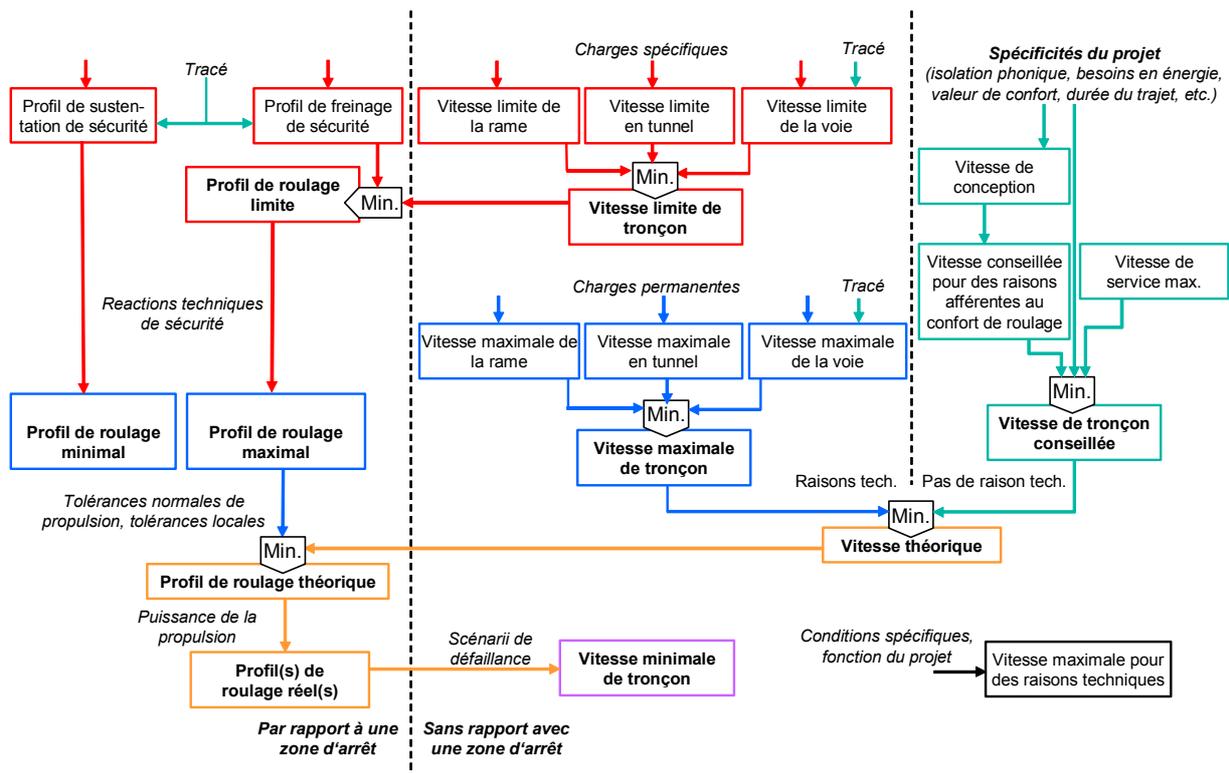


Figure 32 : Présentation des opérations et des modes de fonctionnement



20.09.2007 15:50:00  
Impression : 20.09.2007 15:50:00  
impression : 20.09.2007 15:50:00

Figure 33 : Présentation des termes afférents à la notion de vitesse

*Explication de l'illustration « Termes afférents à la notion de vitesse » :*

*Lesdits termes se composent de :*

- *Vitesses en rapport avec les zones d'arrêt (« profils ») pour l'approche des zones d'arrêt*
- *Vitesses sans rapport avec les zones d'arrêt (« vitesses »)*

*Les profils sont les seuls soumis à une surveillance technique directe de sécurité.*

***En rapport avec une zone d'arrêt :***

*Le tracé et les différentes propriétés du système permettent de déterminer le profil de sustentation de sécurité et le profil de freinage de sécurité.*

*En utilisant les valeurs minimales nécessaires pour déterminer la vitesse limite de tronçon (qui permet de définir le profil de roulage limite) et en tenant compte des réactions techniques de sécurité, on obtient le profil de roulage minimal et maximal de la zone d'arrêt. Il s'agit ici de profils contrôlés par la BLT pour le respect en toute sécurité du profil de sustentation de sécurité et du profil de freinage de sécurité ou du profil de roulage limite. Après déduction des tolérances normales de propulsion et des tolérances locales et en utilisant la vitesse théorique, on détermine le profil de roulage théorique qui doit être respecté par la propulsion. Le profil que la propulsion applique réellement en raison de sa puissance propre est appelé profil de roulage réel. En outre, une vitesse minimale de tronçon, qui peut encore être assurée en fonctionnement, peut aussi être définie indépendamment des zones d'arrêt sur la base de scénarii de défaillance donnés de la propulsion.*

***Sans rapport avec une zone d'arrêt :***

*Les vitesses limites pour les rames, les tunnels et les voies sont calculées sur la base des charges spécifiques déterminées et du tracé. Les valeurs minimales affectées à ces trois éléments définissent la vitesse limite de tronçon. Cette dernière ne doit jamais être dépassée et est donc intégrée dans le profil de roulage limite.*

*Les vitesses maximales pour les rames, les tunnels et les voies sont calculées sur la base des charges permanentes. Les valeurs minimales affectées à ces trois éléments déterminent la vitesse maximale de tronçon. Cette vitesse correspond à la limite de la vitesse théorique pour des raisons techniques. En outre, la vitesse de tronçon conseillée est une autre limite affectée à la vitesse théorique. Cette dernière est définie sur la base de la notion de confort et d'autres spécificités du projet qui n'ont aucun rapport avec la sécurité. La vitesse théorique est intégrée dans le profil de roulage théorique (voir plus haut).*

*Parmi les autres vitesses, on peut également citer la vitesse maximale pour des raisons techniques, qui ne doit pas être dépassée dans le cadre de projets spécifiques dans des conditions spéciales définies, par exemple pour des trajets individuels destinés à la réalisation d'une certification.*

## Abréviations

Abréviation	Définition
$\bar{p}$	Charge linéaire statique moyenne
$\alpha$	Inclinaison latérale de la voie
$\alpha$	Azimut de l'ellipse au point zéro ( $P_0$ ) de la représentation conforme en projection oblique (MKS)
$\alpha'$	Modification de l'inclinaison latérale de la voie (angle de dévers)
$\beta$	Inclinaison longitudinale de la voie (positif en montée, négatif en descente) sur l'axe spatial de la voie
$\Delta$	Delta, variation / écart
$\delta$ ou $\delta_{xy}$	Angle de lacet (rotation autour de l'axe des z)
$\Delta$	Variation de l'angle sur le plan y-z, modification de l'inclinaison latérale de la voie (gauchissement de la voie)
$\Delta_{\max}$	Gauchissement maximal autorisé de la voie
$\Delta_y$	Écart par rapport à l'accélération latérale non compensée, au début et à la fin de la sinusoïde ou de la clothoïde
$\Delta_z$	Écart par rapport à l'accélération normale au début et à la fin de la clothoïde
$\Delta$	Écart de longueur sur l'ellipse par rapport à $P_0$
$\Delta$	Écart de largeur sur l'ellipse par rapport à $P_0$
$\Delta$	Variation linéaire de température
$\delta_{0xy}$	Angle de lacet statique dû à des charges asymétriques
$\Delta F_{pz}$	Variation de la force pendulaire sur l'axe des z par rapport à la charge nominale
$\Delta f_y$	Compression statique sur l'axe des y de la structure du châssis en fonction des forces avec une excitation de l'aimant de guidage et un écart par rapport à la charge nominale
$\Delta f_z$	Extension et compression statiques en fonction des forces en cas d'écart par rapport à la charge nominale
$\Delta f_{zG}$	Extension et compression statiques de la structure du châssis en fonction des forces en cas d'écart par rapport à la charge nominale
$\Delta f_{zTK}$	Compression statique du patin de levage lorsque la rame est en position abaissée
$\Delta f_{zTM}$	Extension et compression statiques de l'articulation de l'aimant de levage en fonction des forces en cas d'écart par rapport à la charge nominale
$\Delta P$	Usure de la barrette de pôles de l'aimant de guidage
$\Delta s$	Écart dynamique entre l'entrefer de levage et celui de guidage
$\Delta s_1$	Entrefer au centre des aimants de guidage en virage
$\Delta s_2$	Entrefer aux extrémités des aimants de guidage en virage

Abréviation	Définition
$\Delta T_0$	Variation linéaire de température entre la face supérieure et la face inférieure du support, à laquelle, hors charge, la courbure théorique /MSB AG-FW GEO/ s'interrompt
$\Delta T_M$	Variation linéaire de température
$\Delta T_0$	Variation linéaire de température dans le sens y
$\Delta T_{M,z}$	Variation linéaire de température dans le sens z
$\Delta T_N$	Fluctuation totale des zones de température constante
$\Delta T_{re/li}$	Variation de température - côté droit par rapport au côté gauche
$\Delta V_{TK}$	Usure du revêtement des patins de levage
$\Delta W_y$	Tolérances de construction sur l'axe des y - largeur de rail de la voie
$\Delta W_z$	Tolérances de construction sur l'axe des z - intervalle sur la voie
$\Delta x_{A,E}$	Indication de dimension pour l'intervalle entre l'axe du système et le début ou la fin du support
$\Delta y$	Tolérances de construction sur l'axe des y - largeur du rail de la rame
$\Delta y_i$	Déport i du cadre de sustentation sur l'axe des y
$\Delta z$	Tolérances de construction sur l'axe des z - intervalle sur la rame
$\Delta z_i$	Déport sur l'axe des z du cadre de sustentation i
$\eta$	Angle de flambage
$\eta$ ou $\eta_{vz}$	Angle de roulis (rotation autour de l'axe des x)
$\eta_{0vz}$	Angle de roulis statique dû à des charges asymétriques
$\eta_{vz\alpha'}$	Angle de roulis des caisses de wagon en raison du dévers de la voie
$\eta_{vzFy}$	Angle de roulis des caisses de wagon dû à l'inertie et au vent latéral
$\gamma$	Coefficient de sécurité, coefficient partiel de sécurité
$\gamma$ ou $\gamma_{xz}$	Angle de tangage (rotation autour de l'axe des y)
$\gamma_{0xz}$	Angle de tangage statique dû à des charges asymétriques
$\gamma_A$	Coefficient partiel de sécurité pour les effets exceptionnels
$\gamma_G$	Coefficient partiel de sécurité pour les effets permanents
$\gamma_Q$	Coefficient partiel de sécurité pour les effets variables
$\lambda$	Longueur de l'ellipse
$\lambda$	Longueur d'onde des excitations ou des effets induits par la rame
$\lambda_0$	Longueur de l'ellipse du point zéro de projection
$\mu$	Répartition des masses sur le support de voie
$\mu$	Coefficient de frottement
$\mu_H$	Coefficient de frottement de la fonction frein d'arrêt
$\mu_{H \min}$	Coefficient de frottement minimal de la fonction frein d'arrêt sur voie gelée
$\varphi$	Facteur d'augmentation dynamique, coefficient d'oscillation
$\varphi$	Largeur de l'ellipse
$\varphi_0$	Largeur de l'ellipse du point zéro de projection
$\psi$	Facteur de combinaison

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Abréviation	Définition
$\psi_0$	Facteurs de combinaison pour les effets variables
$\psi_1$	Facteurs de combinaison pour les effets fréquents (1/semaine)
$\psi_{1'}$	Facteurs de combinaison pour les effets moins fréquents (1/an)
$\psi_2$	Facteurs de combinaison pour les effets quasi-permanents
$\rho$	Symbole Rho, facteur de conversion des radians en degrés [°]
$\tau$	Angle de déviation, lettre tau
$\vartheta$	Distorsion tangentielle au niveau des joints du support
a	Accélération, ralentissement
a	Dans MKS : écart latéral par rapport à la ligne géodésique représentée à l'échelle
a	Rail extérieur
A	Paramètre de clothoïde
A	Début
A	Surface
A	Poussée verticale
A	Cas de charge - effets exceptionnels
$a_{(t)}$	Amplitude d'accélération au moment t
ABE	Zone de propulsion
$a_{\text{eff}}$ ou $a_{\text{RMS}}$	Valeur efficace de l'accélération
$a_i$	Accélération dans le sens x, y, z (i=x,y,z)
$a_{i \text{ max}}$	Accélération maximale dans le sens x, y, z (i=x,y,z) (charges S)
$a_{i \text{ mitt}}$	Accélération opérationnelle moyenne dans le sens x, y, z (i=x,y,z) (charges A)
AL	Butée d'attaque
AW	Poussée verticale sous l'effet du vent
$a_x$	Accélération de propulsion et de freinage
$a_{x \text{ max}}$	Valeur maximale autorisée de l'accélération de propulsion et de freinage
$a_y$	Accélération latérale (axe des y) libre non compensée (virage)
$a_{y \text{ max}}$	Valeur maximale autorisée de l'accélération latérale libre non compensée
$a_z$	Accélération normale (g + passage au point bas / sommet)
$a_{z \text{ max}}$	Valeur maximale autorisée de l'accélération normale
B, b	Largeur (en général)
$b_G$	Écart latéral maximal d'un passager par rapport à la courbe spatiale (au centre du siège extérieur)
Bg	Élément de construction, global
BHPL	Zone d'arrêt de service
Bl	Élément de construction, local
BLT	Installation technique de commande
BM	Aimant de freinage
BSK	Plan de protection contre les incendies

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Abréviation	Définition
BZ	Services centralisés
c	Constante élastique
$c_{\eta WK}$	Raideur en roulis des caisses de wagon par rapport à un mouvement pendulaire
CAD	Computer Aided Design (conception assistée par ordinateur)
$c_{piE}$	Rigidité i des ressorts d'abaissement sur l'axe des z, par rapport à l'axe de roulis
$c_{ZF}$	Rigidité des ressorts supplémentaires sur l'axe des y
d	Intervalle entre les capteurs d'entrefer des aimants de guidage
D	Coefficient d'atténuation, facteur d'atténuation
D	Contradiction autorisée entre les parcours aller et retour du nivellement géographique
D	Pression
DIN	Institut allemand de normalisation
DSV	Procédé en trois étapes
dyn	Dynamique
e	Écarts en général, écart moyen
E	Fin
E	Module d'élasticité
E	Conséquences des effets (déformations, <conditions de cisaillement, tensions, forces d'appui)
EBA	Office fédéral des chemins de fer
EFT	Poutre à une travée
EG	Désignation de cas de charge - poids propre de la rame
EI	Résistance à la flexion
elas	Élastique
$E_m$	Valeur Est moyenne de l'observation d'une voie
EMF	Champs électromagnétiques
EMS	Sustentation électromagnétique
CEM	Compatibilité électromagnétique
EN	Norme européenne
EP	Pôle d'extrémité des aimants de levage
ES	Voiture d'extrémité
ESD	Décharge électrostatique (Electrostatic Discharge)
EVU	Distributeur d'énergie
f	Fréquence ; déformation
F	Force
$F_A$	Traînée aérodynamique
FA	Espace extérieur d'une rame
$F_B$	Traînée résultant de la production d'énergie de bord
$F_{Brems}$	Force de freinage de la rame par l'action des équipements de freinage de la rame

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Abréviation	Définition
FEM	Méthode des éléments finis
$F_G$	Force de freinage totale de la rame
$F_H$	Force de freinage d'arrêt
FI	Espace intérieur des rames
$F_{Kz1}$	Force d'accouplement sur l'axe des z, accouplement de la voiture d'extrémité 1 et de la voiture intermédiaire
$F_{Kz2}$	Force d'accouplement sur l'axe des z, accouplement de la voiture d'extrémité 2 et de la voiture intermédiaire
$F_M$	Traînée résultant de la magnétisation du stator et des rails de guidage latéraux
FM	Aimant de guidage
FMEA	Analyse des modes de défaillances et de leurs effets (Failure Mode & Effect Analysis)
FMT	Zone d'aimant de guidage affectée à un circuit de régulation du guidage = élément magnétique
$F_{mWKy}$	Inertie des caisses de wagon sur l'axe des y (dévers insuffisant)
$F_{mWKz}$	Inertie des caisses de wagon sur l'axe des z
$F_{p1z}$	Force pendulaire sur l'axe des z du cadre de sustentation avant de la voiture d'extrémité
$F_{piy}$	Force pendulaire i du cadre de sustentation sur l'axe des y
$F_{piz}$	Force pendulaire i du cadre de sustentation sur l'axe des z
$F_{pzLfi}$	Force pendulaire i du circuit d'amortissement pneumatique sur l'axe des z
$F_W$	Traînée de la rame
FW	Voie
$F_{x,Schub}$	Force de propulsion installée dans la voie
$F_{xTM}$	Force appliquée sur l'articulation de l'aimant de levage dans le sens x
$F_{yFM}$	Force appliquée sur l'articulation de l'aimant de guidage dans le sens y
$F_{yFM0}$	Tension de polarisation des aimants de guidage
$F_{ySW}$	Force du vent latéral sur la voiture d'extrémité E, voiture intermédiaire M
$F_{yWK}$	Forces exercées sur l'axe des y sur les caisses de wagon de la voiture d'extrémité E, voiture intermédiaire M
$f_z$	Déport sur l'axe des z
$f_{z,Fzg}$	Déformation de la voie dans le sens z en raison de la rame magnétique
$f_{z,Fzg,max}$	Déformation maximale de la voie dans le sens z en raison de la rame magnétique
$F_{ZFiy}$	Force i exercée dans le sens y sur les ressorts supplémentaires sur l'axe des y du cadre de sustentation
Fzg	Rame
$F_{zTM}$	Force appliquée sur l'articulation de l'aimant de levage sur l'axe des z

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

**Principes d'exécution**

Abréviation	Définition
$F_{zWK}$	Forces exercées sur l'axe des z sur les caisses de wagon de la voiture d'extrémité E, voiture intermédiaire M
g	Accélération normale due à la pesanteur (accélération due à la gravité)
G	Poids
G	Cas de charge - Effets permanents
G	Module de cisaillement
$GA_v$	Résistance au cisaillement
ges, Ges	Total
GL	Glissière
GLE, GE	Plan de glissement
GLM	Écart moyen entre les glissières
GPS	Global Positioning System (système de positionnement par satellite)
H	Horizontal
H, h	Hauteur (en général)
HG	Désignation de cas de charge - poids de la rame plus élevé
$h_{G,Gelände}$	Hauteur de pente au-dessus du sol après achèvement
HIC	Head Injury Criterion
$H_L$	Longitude dans le système géodésique
HP	Borne principale des aimants de levage
i	Rail intérieur
I	Moment d'inertie
i, j	Grandeur variable, nombre entier
IH	Maintenance
ILT	Technique de gestion des infrastructures
INKREFA	Estimation incrémentale de la position d'une rame
K	Courbure, réciproque du rayon
K	Sommet
k	Facteur, coefficient
$K_w$	Variation de faible amplitude
l	Gauche
L	Longueur (en général)
LA	Axe central du stator long
Lb	Largeur du gabarit
$L_e$	Longueur totale d'un élément du tracé
$L_{ES}$	Voiture d'extrémité - longueur de la rame
$L_{FM}$	Longueur de l'aimant de guidage
$L_{FM-B}$	Longueur de la rame équipée d'aimants de guidage
$L_{Fw}$	Portée longitudinale grâce à la répartition des supports
$L_i$	Longueur d'un segment porteur
$L_K$	Longueur de clothoïde
$L_{K \min}$	Longueur minimale de clothoïde
$L_M$	Longueur système d'un module dans le sens x

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

**Principes d'exécution**

Abréviation	Définition
$L_{MS}$	Voiture intermédiaire - longueur de la rame
LP	Longueur de l'élément jusqu'au point P
$l_p$	Longueur du mouvement pendulaire
LPZ	Lighting Protection Zone (protection contre la foudre) conformément à la norme /DIN EN 62305-1/
LRL	Butée de référence (position)
LS	Longueur sinusoïde
$L_{S\ min}$	Longueur minimale sinusoïde
$L_{St}$	Distance d'appui des supports de voie (écartement des axes d'appui, correspondant généralement à un multiple de 1,032 m, placés en fonction des axes de support dans la courbe spatiale)
$L_{Sys}$	Longueur système du support
$L_{Tangente}$	Longueur de la tangente
$L_{TM}$	Longueur de l'aimant de levage
$L_{TM-B}$	Longueur de la rame équipée d'aimants de levage
Lv	Altération linéaire comme variation d'échelle
Lw	Variation de grande amplitude
m	Masse
m	Effets formant une ligne ou un tronçon suite à une torsion
M	Moment (en général)
M	Structure modulaire
max	Maximum
$m_b$	Partie abaissée de la masse de la rame
MbBO	Règlement sur la construction et l'exploitation des trains à sustentation magnétique
MDT	Temps moyen d'indisponibilité (Mean Down Time)
MFE	Élément de guidage mécanique, par exemple butée d'aimant de guidage ou butée d'attaque
MG	Désignation de cas de charge - poids de rame moyen
min	Minimum
MKS	Système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique
MRE	Système de régulation magnétique
MREB	Système de régulation magnétique du freinage
MREF	Système de régulation magnétique du guidage
MRET	Système de régulation magnétique du levage
MRK	Circuit de régulation magnétique constitué des composants suivants : aimants, système de régulation magnétique et éventuellement système de mesure d'entrefer
MS	Voiture intermédiaire
MSB	Train à sustentation magnétique, train rapide à sustentation magnétique
$m_{Sekt}$	Poids total d'une voiture de rame (avec ou sans charge d'exploitation)
MSF	Facteur d'échelle de la distorsion de projection

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

**Principes d'exécution**

Abréviation	Définition
MSH	Acier spécial magnétique Henrichshütte (acier de construction spécial magnétique doux présentant de bonnes caractéristiques magnétiques)
$M_T$	Moment de roulis des caisses de wagon
MTBF	Temps moyen entre deux pannes d'un module (Mean Time Between Failures)
MTTR	Temps moyen de réparation (Mean Time to Repair)
$m_{WK}$	Masse des caisses de wagon
n	Nombre, en général
n	Nombre de voitures
N	Nombre de travées d'une poutre
NBT	Service normal
NGK	Critère de modification de l'inclinaison [mm/m]
NL	Charge d'exploitation
NLÜ	Dépassement de la charge d'exploitation
NT	Traverse à encoche
o	Haut
OG	Membrane supérieure, face supérieure de la voie
OK	Bord supérieur
P	Usure maximale de la barrette de pôles
P	Point quelconque sur l'élément du tracé
$P_0$	Point zéro pour le MKS, en même temps sommet de l'azimut de l'ellipse et point zéro de projection
PK	Noyau polaire
PL	Barrette de pôles
plas	Plastique
$P_{Mitte}$	Point au centre de l'élément du tracé
PRW	Angle de déphasage interne
$p_x, p_y, p_z$	Charge linéaire dans le sens x, y et z
Q	Cas de charge - Effets variables
QS	Assurance qualité
$q_x, q_y, q_z$	Charge de surface dans le sens x, y et z
r	Rayon terrestre
r	Droite
R	Rayon de courbure de la voie
R	Rayon
R	Réglementation
RAMS	R - <u>R</u> eliability (fiabilité) A - <u>A</u> vailability (disponibilité) M - <u>M</u> aintainability (maintenabilité) S - <u>S</u> afety (sécurité)
$R_H$	Rayon horizontal
RH	Rayon de courbure horizontal

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Abréviation	Définition
$R_{H\ min}$	Rayon horizontal minimal autorisé
$R_{H,P}$	Rayon horizontal au point P
$R_{K,W}$	Rayon vertical (sommet, point bas de la pente) $\equiv R_V$
RKK	Système de coordonnées des courbes spatiales
RKK	Système de coordonnées des courbes spatiales
RI	Réglementation
Rm	Rayon terrestre moyen (pour calculer les distorsions de représentation)
RMS	Valeur efficace (Root Mean Square)
$R_V$	Demi-diamètre / rayon vertical
RV	Rayon de courbure vertical
$R_{V\ min}$	Demi-diamètre vertical minimal autorisé
$R_{x,y}$	Rayon spatial résultant de la superposition d'une courbure de pente (demi-diamètre) et d'une courbure horizontale (rayon)
$R_{x,z}$	Rayon spatial résultant de la superposition d'une courbure horizontale et d'une courbure de pente
$R_{x,z\ min}$	Rayon spatial minimal autorisé (en fonction du gauchissement de la voie)
$R_{xy}$	Courbe de rayon
s	Voie, distance
S	Largeur du rail de la voie
S	Distance moyenne d'écartement des rails
S	Entrefer
S	Aspiration
S	Centre de gravité
$s_0$	Entrefer nominal aimant de levage / aimant de guidage
SA	Section de stator
SB	Freins de sécurité
SE	Plan du stator
Sekt	Voiture
$S_F$	Entrefer nominal de guidage
SFE	Plan des rails de guidage latéraux
SFS	Rails de guidage latéraux
SFZ	Rame de chemin de fer
SGN	Signe d'un nombre
SIAB	sichere Antriebsabschaltung (Coupure de propulsion de sécurité)
SK	Force latérale
SP	Paquet de tôles statoriques
SPB	Fixation des paquets de tôles statoriques
SPD	Surge Protection Device (dispositif de protection contre les surtensions) conformément à la norme /DIN EN 62305-1/
$S_R$	Entrefer nominal de guidage en virage

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

**Principes d'exécution**

Abréviation	Définition
SS	Nombre de périodes d'oscillation
St	Appuis, points d'appui, largeur d'appui
S <sub>T</sub>	Entrefer des patins de levage
stat	Statique
SW	Vent de sécurité
t	Épaisseur de tôle
t	Temps
T	Température
T <sub>0</sub>	Température nominale / de montage
TFK	Système de coordonnées de pose des supports
TK	Patin de levage
T <sub>l</sub>	Température du bord gauche de la section porteuse
TM	Aimant de levage
TMT	Un « demi-aimant de levage » affecté au circuit de régulation du levage = élément magnétique
T <sub>o</sub>	Température de l'objet au niveau de la membrure supérieure
TP	Point trigonométrique du système géodésique
T <sub>r</sub>	Température du bord droit de la section porteuse
TRS	Régulation et commande de la traction
T <sub>u</sub>	Température de l'objet au niveau de la membrure inférieure
TVE	Installation d'essai du Transrapid dans l'Emsland
t <sub>ZM</sub>	Intervalle (écart nominal entre le plan du stator et le plan de glissement)
u	Bas
URS	Régulation et commande des convertisseurs
USV	Alimentation électrique continue
UW	Sous-station
v	Vitesse
V	Vertical
V	Mesure de décalage
V	Force transversale (sur les appuis)
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
v <sub>e</sub>	Vitesse de conception
v <sub>Einsatz</sub>	Vitesse moyenne de l'approvisionnement en énergie de bord
v <sub>Fzg</sub>	Vitesse de la rame
v <sub>Grenz</sub>	Vitesse limite de la rame
v <sub>max</sub>	Vitesse maximale en fonction du lieu pour le profil de roulage maximal
V <sub>or</sub>	Tension de polarisation
v <sub>w</sub>	Vitesse du vent
w	Flexion
W	Point bas
W	Vent

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Abréviation	Définition
WK	Caisse de wagon
WLZ	Zone d'action du vent
WSB	Freins à courant de Foucault
WSE	Fatigue du matériau
WSV	Procédé en marche alternée
$W_y$	Largeur du rail de la voie (écartement entre les rails de guidage latéraux)
$W_z$	Intervalle nominal de la voie entre le bord supérieur du plan de glissement et le bord inférieur du paquet de tôles statoriques
X	Désignation de l'axe longitudinal du MKS (= droite moyenne) passant par $P_0$
$X_0$	Valeur ajoutée pour le déport du point zéro dans le sens x sur le MKS
$x_{2E}$	Écart entre le cadre de sustentation de la voiture d'extrémité 2 et l'accouplement de voiture
$x_i$	Valeur sur l'axe des x pour le point « i » ( $i=1 \rightarrow n$ )
$x_{iE}$	Écart i entre les ressorts d'abaissement sur l'axe des z et l'accouplement de voiture
$x_{NiE}$	Écart i entre les ressorts d'abaissement sur l'axe des z et le point de rotation du tangage des caisses de wagon
$x_{sE}$	Écart sur l'axe des x entre le centre de gravité de la voiture d'extrémité et l'accouplement de voiture
$x_{si}$	Point d'application des forces en raison de l'écart entre le circuit d'amortissement pneumatique i et l'accouplement de voiture
$x_{SWE}$	Écart entre la force du vent latéral sur la voiture d'extrémité et l'accouplement de voiture
$x_{ZFi}$	Écart entre les ressorts supplémentaires i sur l'axe des y et l'accouplement de voiture
Y	Désignation de l'axe transversal du MKS (positionné perpendiculairement à X)
Y	Largeur du rail de la rame
$Y_0$	Valeur ajoutée pour le déport du point zéro dans le sens y sur le MKS
$Y_0$	Largeur nominale du rail de la rame lorsque les aimants de guidage ne sont pas excités (rame abaissée)
$y_i$	Valeur sur l'axe des y pour le point « i » ( $i=1 \rightarrow n$ )
$y_K$	Déport de l'accouplement de voiture sur l'axe des y
$y_{Lw,1st}$	Valeur réelle sur l'axe des y d'une variation de grande amplitude
$y_{Lw,max}$	Valeur maximale autorisée sur l'axe des y d'une variation de grande amplitude
$y_p$	Coordonnées sur l'axe des y du point d'application de la force pendulaire des caisses de wagon
$y_{piE}$	Déport i de la voiture d'extrémité en raison du roulis sur l'axe des y
$y_{sWK}$	Coordonnées sur l'axe des y du centre de gravité des caisses de wagon

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Abréviation	Définition
Z	Intervalle entre le bord inférieur du patin de levage et le bord supérieur de l'aimant de levage
Z <sub>0</sub>	Intervalle : dimension nominale (Intervalle sur la rame : écart entre le bord inférieur du patin de levage et le bord supérieur de l'aimant de levage par rapport à la charge nominale appliquée à l'aimant de guidage par la rame en sustentation)
Z <sub>C</sub>	Coordonnée sur l'axe des y du point de rotation du roulis des caisses de wagon
ZG	Désignation de cas de charge - poids de rame autorisé
Z <sub>i</sub>	Valeur sur l'axe des z pour le point « i » (i=1 à n)
Z <sub>i,1st</sub>	Valeur sur l'axe des z de la position réelle du point « i »
Z <sub>Ist</sub>	Intervalle : valeur réelle actuelle sur l'axe des z
Z <sub>K</sub>	Déport de l'accouplement de voiture sur l'axe des z
Z <sub>piE</sub>	Déport i de la voiture d'extrémité en raison du roulis sur l'axe des z
Z <sub>sE</sub>	Écart sur l'axe des z entre le centre de gravité de la voiture d'extrémité et l'accouplement de voiture
Z <sub>Soll</sub>	Intervalle : valeur théorique projetée
Z <sub>sWK</sub>	Coordonnées sur l'axe des z du centre de gravité des caisses de wagon
Z <sub>w</sub>	Solution intermédiaire
ZWK	Force de contrainte
ÜA	Début de l'arc de transition
ÜE	Fin de l'arc de transition
$\dot{a}_o$	Choc omnidirectionnel
$\dot{a}_{o \max}$	Choc omnidirectionnel maximal autorisé
$\dot{a}_x$	Choc longitudinal
$\dot{a}_y$	Choc latéral
$\dot{a}_{y \max}$	Choc latéral maximal autorisé
$\dot{a}_z$	Choc vertical
$\dot{a}_{z \max}$	Choc vertical maximal autorisé

**Définitions**

Terme	Définition
Charges A	Charges résultant du service normal pour le certificat de résistance à la fatigue.
Réduction de représentation	Améliorations éventuellement apportées pour les grandeurs mesurées à des fins de représentation sur une surface plane.
Surface de représentation	Surface définie mathématiquement, sur laquelle les points ou les objets de la surface terrestre physique sont représentés.
Vitesse d'abaissement	Vitesse à laquelle le processus d'abaissement de la rame est déclenché par la BLT.
Zone d'arrêt actuelle	Zone d'arrêt que la rame de TSM peut actuellement atteindre. En cas d'arrêt d'urgence, c'est cette dernière qui est rejointe. Dans le cadre du contrôle du profil de roulage, une zone d'arrêt actuelle est toujours clairement déterminée pour la rame de TSM.
Tronçon de liaison	Tronçon séparant un point de danger et le point d'arrivée d'une zone d'arrêt (toujours en fonction de l'avant du train).
Propulsion	Partie de système permettant de fournir la puissance de traction requise pour les rames de TSM.
Zone de propulsion	Zone partielle d'une ligne sur laquelle une seule rame peut être propulsée.
Accélération de propulsion (ax)	Composantes d'accélération assurant la propulsion de la rame, dans le sens longitudinal par rapport à l'axe de la voie et parallèlement à la surface de la voie, signe (+).
Bloc de propulsion	Partie de la propulsion située dans la sous-station, servant à transformer l'énergie de traction pour une rame.
Unité de propulsion	Composants de la section de propulsion assurant le fonctionnement d'une rame, contenant un ou deux blocs de propulsion et la voie de propulsion de la zone de propulsion.
Régulation / commande de la propulsion	Terme général désignant les équipements de régulation et de commande de la zone de propulsion.
Voie de propulsion	Composants de propulsion d'une zone de propulsion, installés sur la voie.

Terme	Définition
Consignes de travail	Les consignes de travail regroupent les consignes de maintenance et complètent ces dernières par la mention des spécificités locales et/ou en rapport avec un projet donné. Ces spécificités correspondent par exemple à l'utilisation d'outils spéciaux, à une exécution dans une infrastructure locale spécifique ou à des instructions concernant le déroulement des opérations. Les exigences supplémentaires en termes de protection au travail et de protection de l'environnement dues à ces spécificités sont contenues dans ces consignes. Les consignes de travail sont spécifiques à un projet et à un lieu donné.
Voie surélevée	Les sections de voie dont la hauteur (H) est définie comme suit : $3,5 \text{ m} < H \leq 20 \text{ m}$ (dans des cas particuliers $H > 20 \text{ m}$ ) sont appelées voies surélevées.
Fonctionnement automatique	Mode de fonctionnement dans lequel le roulage est effectué entièrement par des systèmes techniques et la commande est réalisée automatiquement.
Azimut	Angle formé par une courbe de surface et le plan méridien, au niveau de leur point d'intersection P. Dans un azimuth d'ellipse, les lignes sont positionnées à la surface de l'ellipsoïde de révolution sélectionnée.
Système de coordonnées de construction	Système de coordonnées (X, Y, Z) permettant de définir, de jalonner et de contrôler en trois dimensions les ouvrages de génie civil.
Module	Module fabriqué en série ou individuellement, ou ensemble fonctionnel de modules fabriqués en série ou individuellement, qui constituent un tout (conformément à la norme /EN 61508-4/).
Plan horizontal de l'ouvrage	Hauteur moyenne à laquelle sont ramenés les composants de base du système de coordonnées du train à sustentation magnétique (X, Y).
Service et observation	Élément d'interface homme-machine de la partie de système Propulsion et approvisionnement en énergie. Équipement permettant d'utiliser et d'observer les procédés.
Piquets de délimitation	Chemin piétonnier surélevé aménagé à côté de la voie, destiné au sauvetage et à l'évacuation des passagers au niveau de zones spéciales d'arrêt d'évacuation.

Terme	Définition
Chemin d'évacuation	Chemin piétonnier de niveau aménagé à côté de la voie, destiné au sauvetage et à l'évacuation des passagers au niveau de zones spéciales d'arrêt d'évacuation.
Chevauchement de zones	Fonctionnalité qui permet que, dans des zones de voies définies, les fonctions des zones de propulsion et/ou de sécurité puissent être assurées par les zones de propulsion et/ou de sécurité voisines.
Accélération insuffisante (force des-censionnelle)	Accélération latérale non compensée qui entraîne, en cas d'inclinaison latérale de la voie, vers l'intérieur de l'arc de cercle (surface de voie inclinée vers le bas).
Accélération excessive	Accélération latérale non compensée qui entraîne vers le bord extérieur de l'arc de cercle, en cas d'inclinaison latérale de la voie, dans le sens de la surface de voie inclinée vers le haut.
Service	Service désigne l'ensemble de toutes les mesures servant au transport des personnes et des marchandises (§ 2, (1) du règlement /MbBO/).
Installations de service	Terrains, bâtiments et équipements, à l'exception des rames, utilisés pour le service, ainsi que pour la préparation et la sécurité de ce dernier.
Modes de fonctionnement	Modes de fonctionnement définis et clairement délimités les uns des autres, qui se distinguent de par les opérations techniques et non-techniques qu'ils appliquent pour la réalisation des parcours.
Agent de service	§ 26, (2) du règlement /MbBO/ On entend par agent de service toute personne qui exerce des fonctions : 1. au cours des opérations de roulage, 2. de commande ou de contrôle du déroulement du fonctionnement, 3. de responsable pour la maintenance des installations de service ou des rames, 4. de chef ou de contrôleur du personnel de service tel que décrit sous les numéros 1 à 3.
Voyage de service	Parcours sans passagers, par exemple trajet de convoyage.
Stabilité de service	Résistance aux effets résultant du service et de l'environnement, les contraintes étant appliquées à une fréquence et pendant une durée définies.
Zone d'arrêt de service	Portion de voie utilisée pour un arrêt non prévu des rames.

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Manuel de service	Règles de l'entrepreneur, nécessaires au déroulement et au contrôle sécurisés des opérations de roulage, qui tiennent compte aussi bien du service normal que des autres conditions de service, et servent d'interface à des fins de maintenance.
Installation technique de commande	L'installation technique de commande inclut les composants et les fonctions de sécurité, de contrôle et de commande du service.
Personnel de service	Cf. agent de service.
Module actif important pour le service	Module nécessaire pour le maintien du service normal ou du service en cas de panne.
Services centralisés	Installation de service centralisée munie d'équipements de gestion et de communication ainsi que d'équipements d'affichage et d'utilisation des parties du système de TSM.
Aiguillage courbe	Installation de changement de voie qui permet, grâce à une déformation élastique de la structure supérieure de la voie (poutre à travées multiples), de passer sur d'autres rails de circulation, en fonction de la configuration géométrique.
Accélération de freinage	Composantes d'accélération assurant le freinage/ralentissement de la rame, dans le sens longitudinal par rapport à l'axe de la voie et parallèlement à la surface de la voie, signe (-).
Diagnostic	Le diagnostic englobe les opérations de collecte, d'enregistrement et d'évaluation des informations relatives aux conditions de service et à l'aptitude au fonctionnement d'un système, afin d'assister le service ou la maintenance.
Système de diagnostic	Équipement servant à surveiller des grandeurs et états de processus déterminés, afin d'identifier toute divergence par rapport à l'état théorique.
Procédé en trois étapes	Procédure de changement de section de stator utilisant trois systèmes de câbles de voie ; les sections de stator de gauche et de droite sont séparées et décalées l'une par rapport à l'autre, et sont alimentées indépendamment l'une de l'autre sans pause à l'inversion de marche.
Aptitude	Aptitude désigne le respect d'exigences psychiques et cognitives afférentes à l'exécution d'une tâche donnée par une personne.
Équipement	Unité d'observation physique fonctionnelle (conformément à la norme /DIN 50129/).

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Parcours haut-le-pied	Trajet réalisé pour vérifier une section désignée par le chef de sécurité et pour affecter une annonce d'incident à cette section.
Élément	Unité indivisible du niveau d'observation le plus poussé, en fonction de l'observation appliquée (conformément à la norme /DIN 40150/).
Approvisionnement en énergie	Partie de système permettant de fournir l'énergie requise pour le système entier.
Vitesse de conception	Vitesse prévue au début de la conception pour le tracé de chaque section de voie, en respectant les paramètres de confort. Cette valeur est une constante sur une section de voie définie. (Remarque : les vitesses et profils de roulage réels d'un projet sont le résultat du tracé et des valeurs limites et des paramètres affectés au système, sur la base de la conception du projet).
Valeur empirique	Valeur appliquée de manière conservatrice sur la base de mesures réalisées sur des systèmes de TSM existants. Doit être contrôlée pour chaque projet spécifique.
Point d'accessibilité	Base du profil de sustentation, qui marque (dans le sens du roulage) le début d'une zone d'arrêt.
Zone d'arrêt d'évacuation	Section de voie définie pour l'arrêt des trains en cas d'urgence, munie d'équipements permettant l'évacuation rapide et simple sur une plate-forme de descente des personnes à bord de la rame.
Alimentation externe en énergie de bord	Équipements stationnaires assurant l'alimentation de la rame en énergie, affectés à la partie de système Propulsion et approvisionnement en énergie. Les composants de transmission installés sur la voie et dans la rame ne font pas partie de ces derniers.
Approvisionnement externe en énergie de bord	Tous les équipements électrotechniques assurant l'alimentation de la rame de TSM en énergie électrique.
Opération de roulage	Préparation et réalisation de parcours/trajets avec des rames et des rames spéciales.
Indicateur horaire	Détermination à l'avance du déroulement des trajets des trains, en fonction des stations de départ et d'arrivée, des jours de circulation, des durées des trajets, etc..
Profil de roulage	Courbe caractéristique qui indique la vitesse des rames en fonction de leur emplacement, en tenant compte des données relatives au service et au tracé, et par rapport à une zone d'arrêt.

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Contrôle du profil de roulage	Fonction partielle faisant partie des fonctions de sécurité assurées par l'installation technique de commande. Elle contrôle la vitesse de la rame, qui doit respecter les prescriptions techniques de sécurité (profil de roulage).
Trajet/Parcours	Déplacement des rames sur la voie.
Voie	Ouvrage muni d'un rail, qui réceptionne toutes les forces provenant des rames et de l'environnement et les transmet au terrain de fondation et qui contient ou qui porte tous les modules nécessaires pour assurer la sustentation (levage, guidage, propulsion et freinage) des rames.
Infrastructure de la voie	Fondation, appuis et autres éléments de construction qui transmettent les forces appliquées par la superstructure de la voie et l'environnement au terrain de fondation.
Superstructure de la voie	Supports de voie et dalles de voie (équipement de la voie y compris) qui réceptionnent les effets provenant des rames et de l'environnement et les transmettent à l'infrastructure de la voie.
Axe de la voie	Ligne centrale entre les plans de glissement de la voie. Elle correspond à la courbe spatiale.
Équipement de la voie	Module / ensemble de modules de la voie spécifique au TSM et au type de construction.
Type de construction d'une voie	Exécution spécifique au constructeur d'une technique de construction de voie.
Technique de construction d'une voie	Définition de la voie, en fonction des matériaux utilisés pour la superstructure de la voie (par exemple construction en acier, en béton, mixte).
Élément de voie	Terme général pour tous les modules et ensembles de modules de la voie.
Surface de la voie	Surface traversant le plan de glissement, contient la courbe spatiale.
Vitesse limite de la voie	Définition en fonction du lieu de la vitesse maximale autorisée sur une voie tracée, sur la base des effets maximum relevés lors des mesures effectuées pour la voie, dans des conditions de mesure non fréquentes ou exceptionnelles.
Vitesse maximale sur la voie	Définition en fonction du lieu de la vitesse maximale autorisée sur une voie tracée, sur la base des effets maximum relevés lors des mesures effectuées pour la voie, dans les conditions de mesure habituelles.

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Appuis de la voie	Terme général désignant tous les éléments / modules comme les appuis de supports de voie, les supports, etc..
Dalle de voie	Forme spéciale des supports de voie ; système de support assurant une portance plane ou en dalle, en raison de sa longueur (ou de sa largeur d'appui) réduite par rapport à sa largeur.
Supports de voie	Système de levage à pose discrète assurant la portance à l'aide de poutres ; en général, des poutres à une ou deux travées sont utilisées pour les voies normales et des poutres à travées multiples sont installées pour les installations de changement de voie.
Types de voie	Définition des superstructures de voie, en fonction de la largeur d'appui ; on distingue les superstructures de voies normales (supports normaux de voie de type I et II, dalles de voie normales de type III) et les superstructures de voies spéciales (supports spéciaux de voie, dalles de voie spéciales).
Traînée	La traînée est générée par trois composants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistance aérodynamique FA (son augmentation dans les tunnels doit être définie pour chaque ouvrage),</li> <li>• Traînée FM, due à l'alternance de magnétisation / démagnétisation du stator long et des rails de guidage latéraux de la voie,</li> <li>• Traînée FB, due à la production d'énergie de bord par le générateur linéaire pour la rame.</li> </ul>
Rame	Rames et rames spéciales de TSM (cf. également les définitions de rame de TSM et de rame spéciale).
Espace extérieur d'une rame	Cette identification est utilisée pour les différents espaces de protection contre la foudre et CEM dans la zone extérieure de la rame.
Gabarit d'une rame	Ligne de délimitation par rapport à une section donnée qui ne doit être dépassée par aucun composant de rame (contour de rame).
Poids propre d'une rame	Poids d'une rame avec tout son équipement (sièges y compris), sans charge d'exploitation.
Poids de rame autorisé	Poids de la rame à vide plus la charge d'exploitation maximale.

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Vitesse limite de la rame	Vitesse maximale autorisée (grandeur constante), calculée sur la base des effets maximum relevés lors des mesures effectuées pour la rame, dans des conditions de mesure non fréquentes ou exceptionnelles.
Vitesse maximale de la rame	Vitesse maximale autorisée (grandeur constante), calculée sur la base des effets maximum relevés lors des mesures effectuées pour la rame, dans des conditions de mesure habituelles.
Voiture de rame	Unité servant à composer une rame.
Fail-safe (sécurité intrinsèque)	Concept s'intégrant dans la conception d'un produit de telle sorte que, en cas de fonction d'erreur, des conditions sûres sont maintenues ou mises en place (conformément à la norme /EN 50129/).
Analyse par arbre d'erreur	Méthode analytique permettant de déterminer les types d'erreurs du produit, d'une partie du produit ou d'évènements extérieurs, ou d'une combinaison de ces éléments, qui peuvent conduire à un type d'erreur convenu du produit ; l'analyse est représentée sous la forme d'un arbre d'erreur (conformément à la norme /EN 50126/).
Accélération latérale libre (non compensée)	Accélération excessive (action vers le bord extérieur de l'arc de cercle : $a_y = \text{positif}$ ) ; Accélération insuffisante (action vers le bord intérieur de l'arc de cercle : $a_y = \text{négatif}$ ).
Orientation libre	Orientation d'un réseau géodésique (1, 2 ou 3 dimensions) sur des coordonnées approchées, en minimisant les écarts résiduels. Toute déformation du réseau par des liaisons obligatoires est ainsi évitée.
Fonction	Type d'action ou d'activité, grâce à laquelle un produit remplit les tâches qui lui sont affectées (conformément à la norme /EN 50129/).
Plan fonctionnel	Plans de référence spécifiques au système, pour les fonctions de levage / guidage de la rame.
Unité fonctionnelle	Unité d'observation définie sur la base de ses tâches ou de son action. Les termes dérivés utilisés en fonction des critères d'observation sont les suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unité de construction</li> <li>• Unité de service</li> <li>• Unité de maintenance</li> </ul> (conformément à la norme /DIN 40150/)

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Utilisabilité	L'utilisabilité ou aptitude à l'emploi désigne la mesure dans laquelle un produit peut être utilisé par un utilisateur donné dans un concept d'utilisation spécifique, afin d'atteindre certains objectifs de manière efficace, efficiente et satisfaisante. Le concept d'utilisation est composé des utilisateurs, des tâches, des équipements de travail (matériel, logiciel et outils) et de l'environnement physique et social dans lequel le produit est utilisé (DIN EN ISO 9241, partie 11).
Point de danger	Base du profil de freinage de sécurité, qui marque (dans le sens du roulage) la fin d'une zone d'arrêt.
Géoïde	Surface équipotentielle du champ de pesanteur, choisie pour être voisine du niveau moyen des mers (sous la terre ferme).
Ondulation du géoïde	Différence de hauteur entre le géoïde et l'ellipsoïde.
Lacet	Mouvement rotatif de la caisse de wagon ou du châssis de sustentation autour de l'axe des z.
Nord de la grille	Direction de la ligne de la grille du système de coordonnées géodésiques parallèle au méridien principal.
Plan de glissement	Plan fonctionnel formé par la face supérieure des glissières.
Glissière	Module installé sur la voie, placé sur la face supérieure du bras en porte-à-faux, servant à absorber les effets mécaniques.
Distance de glissement	Distance qu'un nouveau patin de glissement peut parcourir sur la glissière sous l'action de la masse nominale de la rame et en conditions sèches, jusqu'à ce qu'une opération de maintenance soit nécessaire sur le patin.
Global Positioning System	Méthode de repérage par satellite, permettant de déterminer une position absolue ou relative.
Pente	Tracé de la courbe spatiale de la voie dans le sens longitudinal.
Profil de roulage limite	Profil de vitesse qui tient compte de toutes les restrictions de vitesse locales à observer (vitesse limite de tronçon et profil de freinage de sécurité) pour des raisons techniques de sécurité. Ce profil est fonction des zones d'arrêt.
Zone d'arrêt	Tronçon de voie défini pour les arrêts prévus ou non prévus des trains ; les zones d'arrêt regroupent les stations (arrêts prévus) et les zones d'arrêt de service (arrêts non prévus).

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Head Injury Criterion	Grandeur afférente au risque de blessure à la tête en cas de collision de rames (conformément à /HIC/). <i>Remarque : En cas de valeur inférieure à 1,00, il est estimé qu'aucune blessure grave à la tête n'est à craindre.</i>
Enrayage	Moyen technique de sécurité empêchant le levage et le démarrage d'une rame à l'arrêt.
Profil de vitesse maximale	Profil de vitesse maximal en fonction du lieu et par rapport à une zone d'arrêt, qui peut être utilisé en service pour des raisons techniques. Correspond au profil de roulage maximal moins la tolérance habituelle de la propulsion et ne peut dépasser la vitesse maximale de tronçon.
Surface de référence des altitudes	Surface équipotentielle utilisée comme référence pour les indications d'altitude.
Maintenance	Combinaison de toutes les mesures techniques et administratives ainsi que des mesures de gestion pendant le cycle de vie d'une unité d'observation en vue de maintenir l'état fonctionnel ou de rétablir celui-ci, de sorte que la fonction demandée puisse être accomplie. Unité d'observation désigne toute pièce, module, appareil, partie de système, unité fonctionnelle, équipement ou système pouvant être observé en soi (normes EN 31051 et DIN EN 13306).  Ne pas confondre avec les termes service d'hiver et contrôle de la végétation (cf. définitions).
Installations de maintenance	Installations de service destinées à la maintenance de toutes les parties de système. En fonction des projets spécifiques, elles peuvent être centralisées, décentralisées ou composées d'une combinaison adéquate de ces deux types d'organisation.

Terme	Définition
Consignes de maintenance	Les consignes de maintenance sont réalisées par le constructeur d'un système / d'une unité d'observation. Elles contiennent toutes les instructions, données et phases de travail requises pour l'exécution d'une opération de maintenance. En outre, elles contiennent les informations relatives à la protection au travail et à la protection de l'environnement, qui sont nécessaires au cours des différentes phases de travail ou en raison des consommables utilisés, ainsi que des instructions concernant les outils et appareils de maintenance requis. Les consignes de maintenance ne sont pas spécifiques à un projet et à un lieu donné.
Installation décentralisée de maintenance	Installation de maintenance dans laquelle des ressources de maintenance et une partie de la gestion de maintenance sont tenues à disposition sur site de manière décentralisée pour la maintenance des parties de systèmes de TSM.
Voie de maintenance	Voie destinée à la maintenance des rames, présentant des exigences plus élevées en termes d'accessibilité aux modules de la rame de TSM.
Plan de maintenance	Plan d'exécution opérationnelle et organisationnelle de la maintenance.
Gestion de la maintenance	Toutes les activités de direction qui ont pour but de définir les objectifs, la stratégie et les responsabilités dans le cadre de la maintenance, et de les réaliser grâce à des moyens tels que la planification de la maintenance, le contrôle, la surveillance et l'amélioration des méthodes d'organisation, sans oublier les aspects économiques (conformément à la norme /EN 13306/).
Système de gestion de la maintenance	Système électronique permettant de soutenir la gestion de la maintenance (norme /DIN EN 13306/).
Programme de maintenance	Définition des mesures de maintenance pour une partie de système. Les programmes de maintenance sont actualisés en fonction des expériences engrangées lors du service.
Ressources de maintenance	Contient l'infrastructure, le personnel, le matériel et les moyens / outils de travail, de mesure et de contrôle nécessaires pour la maintenance.
Installation centralisée de maintenance	Installation de maintenance dans laquelle les principales ressources et la gestion de maintenance destinées à la maintenance des parties de système de TSM sont regroupées de manière centralisée.

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Profil de roulage réel	Variation de la vitesse selon le lieu, qui est déterminé à partir du profil de roulage théorique en fonction des conditions générales données (par exemple la puissance disponible).
Voie d'étalonnage	Section délimitée de la voie de maintenance présentant des exigences plus élevées en termes de précision de positionnement des plans fonctionnels, pour la mise en service des rames de TSM ou de modules individuels.
Coordonnées cartésiennes	Coordonnées permettant de localiser les points dans l'espace ; exprimées par des valeurs (x, y, z) sur des axes perpendiculaires entre eux.
Points kilométriques	Longueur spatiale de projection développée de la courbe spatiale (correspond au positionnement).
Gabarit cinématique	Correspond à la ligne théorique d'enveloppe d'une rame en fonction des coordonnées normales, en tenant compte des positions les plus défavorables du châssis de sustentation par rapport à la voie et des dépôts quasi-statiques des caisses de wagon. Les facteurs dus au hasard ne sont pas pris en compte (oscillations, dissymétrie).
Clothoïde	Arc de transition avec une courbure linéaire croissante ou décroissante.
Collision	Collision entre des rames ou entre des rames et d'autres objets.
Représentation conforme	Représentation de la surface de l'ellipsoïde dans un système rectangulaire plan, présentant la caractéristique d'une différentielle partielle (c'est-à-dire « dans ses parties les plus petites » et non en entier). Utilisée par exemple pour les représentations cylindriques selon Gauß-Krüger ou pour le système de projection transverse universelle de Mercator (UTM).
Bras en porte-à-faux	Section latérale de la superstructure de la voie, permettant d'accueillir le stator long, les rails de guidage latéraux et les glissières.
Brève coupure du réseau	Panne de l'approvisionnement public en énergie pendant une durée $\geq 1$ s (en référence à la norme /EN 50160/).
Variation de faible amplitude	Superposition de la variation de grande amplitude comme ligne de délimitation absolue pour l'étendue spatiale d'un plan fonctionnel.
Système géodésique	Système de coordonnées géodésiques officiels (RL, HL, hauteur).

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

**Principes d'exécution**

Terme	Définition
Stator long	Module de propulsion installé sur la voie, composé des paquets de tôles statoriques et de leurs fixations, de l'enroulement du moteur et du dispositif de mise à la terre afférent.
Entraînement par stator long	Équipement assurant la propulsion et le freinage des rames de TSM, contenant des composants de la partie de système Propulsion (pour l'approvisionnement en puissance de traction) et les moteurs à stator long en eux-mêmes.
Enroulement de stator long	Enroulement du moteur avec un équipement de mise à la terre et un raccord vers les postes de commande.
Variation de grande amplitude	Variation définie par rapport à la position théorique sur la base de valeurs de mesure discrètes.
Durée de vie	Valeur prévisionnelle pour la durée minimale pendant laquelle une pièce individuelle / un module fait montre de stabilité de service malgré un ensemble de contraintes déterminées. En fonction des contraintes réellement rencontrées en service, cette valeur prévisionnelle de la durée de vie est contrôlée et, si nécessaire, adaptée sur la base des résultats des inspections réalisées conformément au programme de maintenance.
Durable (safe-life)	Propriété / fonction assurée / disponible pendant l'ensemble de la durée d'exploitation ; cette caractéristique peut être réalisée par : <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'exclusion de toute panne potentielle grâce à une configuration assurant la stabilité du service et à des contrôles exhaustifs lors de la production et de la maintenance, ou</li> <li>• une redondance avec une tolérance de panne pour les modules redondants, et une probabilité d'erreur fonctionnelle résiduelle acceptable au regard des risques et attestée au moyen d'une analyse par arbre d'erreur.</li> </ul>

Terme	Définition
Délimitation du gabarit	Ligne de délimitation sur un plan de coupe perpendiculaire à l'axe de la voie, ou perpendiculaire à l'axe de la ligne en cas de voie à deux rails, qui détermine l'espace libre à respecter par rapport aux objets et qui s'oriente vers la courbe spatiale avec l'inclinaison latérale de la voie. Des ouvrages système peuvent être présents jusqu'à la « ligne limite pour les ouvrages fixes ».
Générateur linéaire	Équipement de production d'énergie de bord installé dans la rame.
Inclinaison longitudinale (s, b)	Angle (b) d'inclinaison de l'axe de la voie par rapport à l'horizontale dans le sens des points kilométriques. (s) = Tangente de l'angle (b). Signe (+) si l'axe de la voie est ascendant, signe (-) s'il est descendant, indication en [°] ou en [%].
Choc longitudinal ( $\dot{a}x$ )	Évolution différentielle de l'accélération de propulsion et de freinage ( $ax$ ) par unité de temps.
Suspension magnétique	La suspension magnétique comprend toutes les pièces porteuses soumises aux forces primaires et placées sous la caisse de wagon. Elle se compose des éléments structurels porteurs, de la suspension secondaire et de l'articulation en x comme interface avec la caisse de wagon, des articulations magnétiques et des aimants (aimants de levage, de guidage, de freinage). Sont inclus tous les composants qui sont fixés sur ces pièces et qui contribuent directement à la résistance, à la rigidité et à la stabilité de l'ensemble.
Train rapide à sustentation magnétique	Un train à sustentation magnétique au sens de la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique (conformément à la loi /AMG/).
Système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique (MKS)	Système de coordonnées spécial en rapport avec des objets, permettant de définir leur position et leur hauteur, pour une conception détaillée, une réalisation des travaux de construction et un contrôle du chantier en trois dimensions (x, y, z).
Vitesse de service maximale	Vitesse maximale conseillée pour des raisons opérationnelles. Peut être définie tronçon par tronçon.

**Principes d'exécution**

Terme	Définition
Accélération maximale de propulsion en cas de dysfonctionnement	Valeur limite d'accélération due au système de propulsion en cas de dysfonctionnement et pouvant avoir un effet d'accélération ou de ralentissement dans le sens longitudinal (sens des x) de l'axe de la voie, en appliquant les paramètres de propulsion les plus défavorables spécifiés pour la rame de TSM.
Force maximale de propulsion en cas de dysfonctionnement	Valeur limite de force pouvant être produite par la propulsion comme force d'interface entre le stator long (voie) et la rame de TSM dans le sens longitudinal (sens des x) de l'axe de la voie en cas de dysfonctionnement, en appliquant les paramètres de propulsion les plus défavorables spécifiés.
Poids maximal de la rame	Poids de la rame à vide avec une charge d'exploitation plus élevée en situation de service exceptionnelle (par exemple en cas d'évacuation des voitures voisines en raison d'un incendie).
Profil de roulage maximal	Profil de vitesse maximal en fonction du lieu et par rapport à une zone d'arrêt, contrôlé par l'installation technique de commande, permettant de respecter le profil de roulage limite. Si ce profil est dépassé, une coupure de propulsion de sécurité se produit et les freins de sécurité sont activés.
Mean Down Time	Durée moyenne pendant laquelle un module défaillant est indisponible jusqu'à la remise en service de l'équipement.
Mean Time Between Failures	Temps moyen entre deux pannes d'un module.
Mean Time to Repair	Temps moyen de réparation.
Profil de roulage minimal	Profil de vitesse minimal en fonction du lieu et par rapport à une zone d'arrêt, contrôlé par l'installation technique de commande, permettant de respecter le profil de sustentation de sécurité. Si ce profil n'est pas respecté, la propulsion est coupée en toute sécurité.
Poids moyen de la rame	Poids de la rame à vide avec la proportion de la charge d'exploitation escomptée.
Régulation / commande du moteur	Partie centrale de la régulation / commande de propulsion pour les tâches de régulation / commande de niveau supérieur, comme le guidage de la rame et l'organisation de l'unité de propulsion.
Système moteur	Comprend un ou deux convertisseurs, des postes de commutation de voie et un système de câblage de ligne, avec les postes de commande et sections de stator afférents. Une unité de propulsion se compose d'un ou deux systèmes moteurs.

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Rame de TSM	Rame équipée d'une fonction de levage et de guidage magnétique, servant au transport des personnes et/ou des marchandises.
Principe de proximité	Principe de base de toutes les mesures géodésiques, calculs et tracés, selon lequel les relations géométriques existantes entre des points d'objets voisins doivent tout particulièrement être prises en compte.
Critère de modification de l'inclinaison	Variation angulaire entre deux éléments de plans fonctionnels voisins d'1 m de long dans le sens y et z.
Tangage	Mouvement rotatif de la caisse de wagon ou du châssis de sustentation autour de l'axe des y.
Surface équipotentielle	Surface à potentiel gravimétrique constant.
Accélération normale ( $a_z$ )	Composantes d'accélération autres que l'accélération normale due à la pesanteur (sens vertical), appliquées à la verticale de la surface de la voie, signe (+) dans le sens de l'accélération normale due à la pesanteur, signe (-) dans le sens contraire à cette dernière.
Service normal	Conditions de roulage entièrement sécurisées techniquement.  <i>Remarque : Ce terme de service normal résulte d'une observation opérationnelle conformément au règlement /MbBO/, § 24.</i>
Accélération normale due à la pesanteur (g)	Accélération due à la gravité ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ).
Charge d'exploitation	Poids des personnes (bagages y compris) ou des marchandises transportées.
Durée d'exploitation	Valeur indicative pour la durée au cours de laquelle une partie de système peut être exploitée. La durée d'exploitation est utilisée dans le cadre de l'établissement de la stratégie de maintenance et de la planification d'approvisionnement en pièces de rechange. Les composants individuels / modules qui présentent les durées de vie les plus faibles sont remplacés en service dans le cadre des opérations de maintenance.
Protection des objets	Mesures de sécurité et de surveillance et mesures permettant d'éviter les dégradations des installations de TSM.
Responsabilité personnelle	Acceptation de tâches définies en rapport avec la sécurité par le personnel.

Terme	Définition
Système de coordonnées de conception (système de conception)	Système de coordonnées utilisé à des fins de conception. Ici : Système géodésique utilisé pour les avant-projets et la planification générale ou système de coordonnées pour train à sustentation magnétique pour le tracé détaillé et l'exécution de la construction.
Tracé polygonal	Sert à déterminer des points fixes de positionnement ligne par ligne. Les points de polygone à coordonner sont calculés à partir de la longueur latérale mesurée du tracé et des angles de réfraction mesurés au niveau des points d'inflexion.
Structure porteuse primaire	Ouvrage spécial destiné à supporter les superstructures de voie et les éventuelles installations de la périphérie de la ligne (par exemple ponts avec isolation phonique).
Environnement primaire	L'environnement qui agit sur le train à sustentation magnétique sans influence d'une partie de système (« climat d'origine »).
Tolérance de temps	Ajout par rapport à l'intervalle minimal entre deux trains consécutifs à prendre en compte pour l'élaboration des indicateurs horaires, afin de réduire les retards cumulés en cas de dysfonctionnement/irrégularité.
Qualité	La qualité désigne l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou d'un service qui se rapportent à l'aptitude de ce dernier à remplir des exigences déterminées ou présumées.
Procédure d'assurance qualité	Contrôle réalisé afin de vérifier si les exigences techniques du système établies selon les principes d'exécution et éventuellement des spécifications du projet sont bien respectées. Ce contrôle est effectué dans le cadre de la procédure d'assurance qualité lors de la conception et de l'exécution de chaque partie de système.
Inclinaison latérale	Angle de rotation de la surface de la voie par rapport à l'horizontale, signe (+) pour une rotation sur la droite et (-) pour une rotation sur la gauche (dans le sens des points kilométriques), indication en [°].
Tolérance pour l'inclinaison latérale	Écart admis par rapport à l'inclinaison latérale théorique.
Courbe spatiale / Axe spatial de la voie	Tracé dans l'espace de la ligne axiale de la voie. La courbe spatiale est générée par la superposition mathématique des configurations de tracé et de pente.

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Redondance	Mise à disposition d'une ou plusieurs mesures supplémentaires, généralement identiques, afin de respecter la tolérance aux pannes (conformément à la norme /DIN 50129/).
Point de référence	Un point de référence sert à synchroniser la localisation au niveau de points de référence définis sur la voie.
Température de référence	Température de référence spécifique à un projet, affectée à la configuration et aux tolérances géométriques des modules. En général, elle se trouve au milieu de l'intervalle séparant la température maximale et minimale à prévoir pour le module.
Entretien normal	Intervention sans responsabilité de sécurité de l'utilisateur, c'est-à-dire sans responsabilité personnelle. La responsabilité de sécurité incombe à la BLT.
Support normal de voie	Classement des supports de voie en fonction des données spécifiques du projet en ce qui concerne les conditions générales (par exemple largeur d'appui normale), qui constitue la base pour une fabrication économique en raison des effets d'une installation en série ; les types de supports normaux de voie peuvent faire appel à des techniques et types de construction divers.
Nettoyage	Tâches et opérations de nettoyage qui soutiennent un service sûr et réglementaire conformément au § 3 du règlement /MdBO/ ou qui contribuent à donner une image globale positive au TSM.
Localisation relative	La localisation relative évolue continuellement pendant le déplacement et se réfère au dernier point de référence valide.
Réservation	Réglage des éléments mobiles d'une voie, sécurité technique exhaustive et complète de la voie à parcourir et affectation exclusive d'une rame sécurisée en technique de gestion à cette voie.
Vitesse conseillée pour des raisons afférentes au confort de roulage	Vitesse variable selon le lieu, qui doit impérativement permettre de respecter les paramètres de confort définis de manière spécifique au projet sur un tracé donné.
Valeur indicative	Valeur qui permet, éventuellement en combinaison avec d'autres valeurs indicatives selon les pratiques existantes, de satisfaire à des exigences.

Terme	Définition
Valeur RMS (valeur efficace)	Par valeur efficace on entend la moyenne quadratique (en anglais : <u>R</u> oot <u>M</u> ean <u>S</u> quare) d'un signal périodique.
Roulis	Mouvement rotatif de la caisse de wagon ou du châssis de sustentation autour de l'axe des x.
Safe-life	Cf. définition de « durable ».
Poste de commande	Équipement installé sur la voie, servant à actionner des sections de stator.
Plateforme roulante	Installation de changement de voie qui permet de déplacer un véhicule à l'arrêt sur une autre voie en faisant coulisser en parallèle la superstructure de la voie.
Interface	Une interface est une zone de contact, de liaison ou de séparation entre des systèmes ou des composants.
Sustentation	Combinaison entre les fonctions de levage et de guidage d'une rame.
Profil de sustentation	Variation de vitesse en fonction du lieu conduisant à la zone d'arrêt afférente, réalisée grâce à la propriété de sustentation de la rame.
Plateforme pivotante	Installation de changement de voie qui permet de déplacer un véhicule à l'arrêt sur une autre voie en faisant pivoter / tourner la superstructure de la voie.
Accélération latérale, non compensée	Composantes d'accélération parallèles à la surface de la voie et perpendiculaires à l'axe de la voie, signe (+) pour une accélération dans le sens de roulage vers la gauche, signe (-) pour une accélération vers la droite.
Plans de guidage latéraux	Plans fonctionnels formés par la surface latérale extérieure des rails de guidage latéraux.
Rails de guidage latéraux	Module installé sur la voie, placé sur la face extérieure du bras en porte-à-faux, servant à absorber les effets mécaniques et électromagnétiques.
Choc latéral ( $\dot{a}_y$ )	Évolution différentielle de l'accélération latérale non compensée ( $a_y$ ) par unité de temps.
Environnement secondaire	Caractéristiques environnementales qui sont induites par l'utilisation d'un système technique et d'une unité de construction subordonnée. Par rapport à l'environnement primaire, l'environnement secondaire peut contenir de nouvelles caractéristiques ou des caractéristiques différentes pour certains modules du système.
Station de maintenance	Zone d'arrêt au niveau de laquelle peuvent être réalisées des opérations de maintenance sur la rame.

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Coupure de propulsion de sécurité	Fonction de coupure de sécurité de l'entraînement par stator long.
Freins de sécurité	Freins durables intégrés dans le train, composés par exemple de freins à courant de Foucault régulés en fonction du lieu ciblé et d'un déplacement du train au moyen d'un glissement sur des patins de levage.
Localisation de sécurité	Informations techniques de sécurité vérifiées, relatives à l'emplacement, à la vitesse et au sens de déplacement d'une rame.
Profil de freinage de sécurité	Variation de vitesse en fonction du lieu conduisant à la zone d'arrêt afférente, réalisée grâce aux freins de sécurité.
Sécurité	Absence de risques inacceptables de défaut (conformément à la norme /DIN 50129/).
Gestion de la sécurité	Par gestion ou management de sécurité, on entend l'organisation et les précautions prises par un entrepreneur en TSM afin d'assurer la commande en toute sécurité de ses processus d'exploitation.
Certification de sécurité	Certificat documenté attestant qu'un produit satisfait à des exigences spécifiques de sécurité (conformément à la norme /EN 50129/).
Sinusoïde	Arc de transition avec une courbure sinusoïdale croissante ou décroissante.
Arrêt immédiat	Activation immédiate des freins de sécurité avec une force de freinage non régulée, de manière ininterrompue jusqu'à l'arrêt et l'abaissement, sans respecter les zones d'arrêt. En outre, une coupure de propulsion de sécurité est réalisée.
Profil de roulage théorique	Valeur minimale en fonction du lieu entre la vitesse théorique et le profil de roulage maximal, moins les tolérances locales et de propulsion, comme valeur théorique de la propulsion pour l'approche du point d'arrivée d'une zone d'arrêt.
Vitesse théorique	Valeur minimale en fonction du lieu entre la vitesse de tronçon conseillée et la vitesse maximale de tronçon, comme valeur théorique progressive et lissée pour la propulsion, par exemple pour une simulation du temps de trajet.
Courbure théorique	Dévers des supports de voie dans le sens z, permettant de compenser au maximum les déformations dues aux effets de la rame et de la température.

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Ouvrages spéciaux	Ouvrage singuliers / spéciaux de manière générale, permettant de soutenir la voie (structures porteuses primaires et tunnels).
Supports spéciaux de voie	Supports de voie qui diffèrent des types de supports de voie normaux définis de manière spécifique à un projet de par leur construction (par exemple section, largeur d'appui).
Rame spéciale	Rame (rame munie de roues ou rame de TSM avec équipement spécial) qui circulent sur la voie pendant la construction et la mise en service du TSM ou à des fins de maintenance, de service d'hiver, de contrôle de la végétation ou de sauvetage.
Distance moyenne d'écartement des rails	Distance horizontale séparant les axes de voie d'une voie à deux rails.
Installations de changement de voie	Éléments mobiles d'une voie qui permettent à une rame de passer d'une voie à une autre.
Station	Installation de service destinée à l'arrêt prévu des trains et à la descente ou à la montée des passagers et au chargement ou au déchargement des marchandises.
Positionnement	Mesure continue à l'échelle (points kilométriques) de l'axe de la voie ou de la ligne, en projection horizontale ou dans un espace tridimensionnel, selon les besoins.
Section de stator	Section d'enroulement de stator d'un côté de la voie, pouvant être commandée et alimentée indépendamment.
Changement de section de stator	Processus de commutation d'une section de stator à l'autre de manière synchrone par rapport au déplacement de la rame sur les sections de stator correspondantes. Plusieurs processus différents sont utilisés, dont par exemple le procédé en marche alternée ou en trois étapes.
Plans du stator	Plans fonctionnels formés par la face inférieure des paquets de tôles statoriques.
Paquet de tôles statoriques	Composant du stator long ; paquet de tôles, constitué de lamelles de tôles électriques utilisant une géométrie définie, d'un revêtement et d'éléments intégrés pour la fixation sur les bras en porte-à-faux.
Ligne	Correspond à l'évolution en tracé d'une ou plusieurs voies installées en parallèle, munie d'équipements de sécurité, de points kilométriques et d'installations annexes.

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Axe de la ligne	Tracé de la ligne centrale entre deux axes de voie pour les voies à deux rails.
Vitesse limite de tronçon	Valeur minimale en fonction du lieu, entre la vitesse limite de la rame, la vitesse limite en tunnel et la vitesse limite de la voie.
Vitesse maximale de tronçon	Valeur minimale en fonction du lieu, entre la vitesse maximale de la rame, la vitesse maximale en tunnel et la vitesse maximale de la voie.
Système de câblage de ligne	Pose des câbles moyenne tension triphasée permettant de relier les postes de commande aux sous-stations.
Vitesse minimale de tronçon	Vitesse définie selon le lieu, qui doit être assurée au minimum par la propulsion en fonction des conditions générales et des scénarii de défaillance de chaque projet spécifique. Cette dernière doit être prise en compte lors de la configuration des zones d'arrêt.
Périphérie de la ligne	Terme général désignant : <ul style="list-style-type: none"> <li>• les petites installations requises pour des raisons techniques, qui doivent être implantées à proximité du tracé de la voie (par exemple mâts radioélectriques, postes de commande), et</li> <li>• les autres installations nécessaires, qui sont directement liées à la voie en raison de leur position (par exemple mur d'isolation phonique, protection visuelle).</li> </ul>
Profil transversal de ligne	Représentation de la voie et des équipements de la périphérie de la ligne en coupe en un point défini de la ligne.
Vitesse de tronçon conseillée	Vitesse minimale entre la vitesse conseillée pour des raisons afférentes au confort de roulage et la vitesse de service maximale, en tenant éventuellement compte d'autres éléments spécifiques au projet (par exemple besoins en énergie, isolation phonique).
Système	Quantité de parties de systèmes qui agissent ensemble dans le cadre d'un projet donné (conformément à la norme /DIN 50129/).
Grandeur caractéristique du système	Grandeur générique, non dérivable, permettant de distinguer le système de train rapide à sustentation magnétique dans une exécution donnée.

Terme	Définition
Longueurs du système	Dimensions dans le sens x, calculées à partir de l'intervalle séparant les différentes phases de l'enroulement du moteur ( $n \times 86$ mm, longueur de système la plus petite indivisible).
Tests techniques du système	Conduite des certifications requises sous les conditions (générales) proches des conditions réelles, réalisée sur le système global constitué de la rame, de la propulsion, de l'installation technique de commande et de la voie.
Capacité	Capacité désigne le respect des exigences physiques afférentes à l'exécution d'une tâche donnée par une personne.
Partie de système	Partie d'un système qui remplit une fonction spéciale (conformément à la norme /DIN 50129/).
Transformation	Conversion de points d'un système de coordonnées à un autre.
Translation	Déport (la plupart du temps sur l'un des axes de coordonnées).
Champ de données de référence d'altitude parallèle au tracé	Données de référence d'altitude utilisées comme base des travaux de levé parallèles à la construction dans la composante de projection verticale (Z) du système de coordonnées du train à sustentation magnétique.
Champ de données de référence de position parallèle au tracé	Données de référence de position utilisées comme base des travaux de levé parallèles à la construction dans la composante de projection horizontale (X, Y) du système de coordonnées du train à sustentation magnétique.
Point convergent de tracé	Point de la courbe spatiale au niveau duquel deux éléments de tracé voisins de la projection horizontale ou verticale se rencontrent.
Tracé	Courbe axiale de la voie sur le plan horizontal. Synonyme du terme axe de tracé.

Terme	Définition
Tunnel	<p>Les tunnels sont des ouvrages qui permettent de passer sous terre.</p> <p>Lorsqu'ils sont aménagés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• en mode de construction souterraine, ils sont considérés comme des tunnels quelle que soit leur longueur,</li> <li>• en mode de construction ouverte, ils sont considérés comme des tunnels à partir de 300 m. Les exigences définies pour les tunnels s'appliquent comme il convient aux ouvrages plus courts, en ce qui concerne la stabilité et la construction.</li> </ul>
Vitesse limite en tunnel	Définition en fonction du lieu de la vitesse maximale autorisée dans un tunnel, sur la base des contraintes de pression maximum autorisées pour la rame dans le tunnel, dans des conditions de mesure non fréquentes ou exceptionnelles.
Vitesse maximale en tunnel	Définition en fonction du lieu de la vitesse la plus élevée autorisée dans un tunnel, sur la base des contraintes de pression les plus élevées pour la rame dans le tunnel, dans des conditions de mesure habituelles.
Convertisseur	Équipement permettant de produire un courant de traction pour un système motorisé.
Régulation / commande des convertisseurs	Partie de la régulation / commande de propulsion assurant la régulation et la commande des convertisseurs.
Environnement	Ensemble de tous les effets auxquels un système, une partie de système, un sous-système ou un module est réellement ou est susceptible d'être exposé lors de sa fabrication, de son stockage, de son transport, de son intégration et de son utilisation.
Conditions défavorables spécifiées	Combinaison des conditions spécifiées qui provoquent les effets les plus défavorables (par rapport à la fonction spécifiée) sur l'unité fonctionnelle observée ou le procédé observé.
Alimentation électrique continue	Équipement assurant la production d'une tension d'alimentation sans interruption en cas de panne de secteur.

Terme	Définition
Entrepreneur (conformément à la loi /AEG/)	Les chemins de fer sont des établissements publics ou des entreprises de droit privé qui fournissent des prestations de transport ferroviaire (entreprise de transport ferroviaire) ou qui exploitent une infrastructure ferroviaire (entreprise d'infrastructure ferroviaire). Les prestations de transport ferroviaire correspondent au transport de personnes ou de marchandises sur une infrastructure ferroviaire. Les entreprises de transport ferroviaire doivent être en mesure d'assurer la traction des trains.
Sous-station	Locaux techniques électriques fermés qui contiennent principalement des composants de propulsion, d'approvisionnement en énergie et de BLT.
Contrôle de la végétation	Ensemble de toutes les mesures permettant de dégager la délimitation du gabarit définie pour le système de TSM de toute végétation et des mesures préventives contre les chutes d'arbres.
Instructions de procédure	Les instructions de procédure incluent toutes les indications et prescriptions générales concernant le déroulement des opérations (par exemple processus, organisation, demande de mesures de maintenance, directives générales concernant la réalisation des travaux, documentation des mesures, etc.). Les instructions de procédure sont spécifiques à un projet et à un lieu donné.
Disponibilité	Aptitude d'un produit à se trouver dans un état qui lui permet de remplir une fonction prescrite, dans des conditions définies à un moment donné ou pendant une période donnée, ou à la condition que les moyens auxiliaires extérieurs requis soient mis à disposition (conformément à la norme /EN 50126/).
Basculement	Rotation d'un plan fonctionnel autour des points de mesure du plan y-z.
Décalage	Variation linéaire entre deux éléments de plans fonctionnels voisins dans le sens y ou z.
Retard	Retard d'un train à l'arrivée ou au départ d'une station, par rapport à l'indicateur horaire, supérieur à un seuil à définir de manière spécifique au projet.
Choc vertical	Évolution différentielle de l'accélération normale ( $a_z$ ) par unité de temps.
Gauchissement	Évolution de l'inclinaison latérale par unité de longueur, dimension [ $^{\circ}/m$ ].

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Caisse de wagon	Désigne l'ensemble des pièces porteuses soumises aux forces primaires et placées sur la suspension magnétique. Sont inclus tous les composants qui sont fixés sur ces pièces et qui contribuent directement à la résistance, à la rigidité et à la stabilité de l'ensemble.
Procédé en marche alternée	Procédure de changement de section de stator utilisant deux systèmes moteurs installés à droite et à gauche avec deux sections de stator décalées l'une par rapport à l'autre. La commutation dans un système moteur se fait sans électricité ; en général, une poussée est alors générée.
Aiguillage	Élément de la voie qui permet de passer d'une voie à une autre par un changement de voie ou par une bifurcation, sans interruption de circulation. Les aiguillages utilisés pour le train rapide à sustentation magnétique sont des aiguillages courbes.
Service d'hiver	Ensemble de toutes les mesures techniques et non techniques permettant d'assurer le fonctionnement dans les conditions environnementales définies pour l'exploitation du TSM en conditions hivernales. Sont comprises la conception, l'organisation et l'exécution des mesures pour la voie et les parties de système de TSM ainsi que les mesures de service d'hiver générales dans la zone des installations de circulation, des installations de service et de l'infrastructure des voies de circulation.
Train	Rame en service, sécurisée techniquement et circulant sur une voie.
Marche	Une marche désigne le déplacement d'un train, commandé, contrôlé et sécurisé techniquement, d'un point de départ à un point d'arrivée.
Fiabilité	Aptitude d'une unité à assurer une fonction prescrite dans des conditions données pendant une durée donnée (conformément à la norme /EN 50129/).
Freinage automatique d'urgence	Freinage déclenché automatiquement par l'installation technique de commande pour atteindre la zone d'arrêt déterminée par l'installation technique de commande.
Arrêt d'urgence	Arrêt d'un train dans une zone d'arrêt après déclenchement et application d'un freinage d'urgence jusqu'à cette dernière.

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 1 Abréviations et définitions

Terme	Définition
Arrêt d'urgence dans une station de maintenance	Arrêt d'un train dans une station de maintenance après déclenchement et application d'un freinage d'urgence jusqu'à cette dernière.
Point obligatoire	Point important du point de vue de la localisation ou de la planification, à prendre en compte lors du tracé détaillé.
Cadre de données de référence de niveau supérieur	Données de référence de position et d'altitude de niveau supérieur du système de coordonnées du train à sustentation magnétique, qui servent de base au tracé détaillé et à la mise en place des champs de données de référence de position et d'altitude parallèles au tracé.
Liaison de jonction	Installation permettant de passer d'une voie à une autre voie parallèle sans interruption de circulation par l'utilisation d'aiguillages courbes.

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Systeme complet**

### **Annexe 2**

## **Lois, décrets, normes et directives**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Systeme complet à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007, version finale, commission spéciale Systeme complet

---

## Table des matières

<b>Destinataires</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Aperçu des modifications</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Objet du document et champ d'application .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Principes d'exécution du TSM .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abréviations et définitions.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Lois, décrets, normes et directives.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Identification et caractère obligatoire des exigences .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Principes d'exécution</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Lois et décrets</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Normes et directives</b> .....	Error! Bookmark not defined.

## Index des tableaux

Tableau 1 : Principes d'exécution .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 2 : Lois et décrets .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 3 : Normes et directives.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Généralités

# Objet du document et champ d'application

Ce document contient les lois, décrets, normes et directives utilisés pour les systèmes de TSM.

## Principes d'exécution du TSM

Le présent document est une annexe au Principe d'exécution du système complet et fait donc partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de différents principes d'exécution.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du TSM, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions du TSM, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives du TSM, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales du TSM, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation et de maintenance du TSM, document n° : 69061, /MSB AG-BTR&IH/
  - Annexe 5 : Bruit du TSM, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

## Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## Lois, décrets, normes et directives

Les lois, décrets, normes et directives sont contenus dans le présent document.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées par analogie lors de la rédaction du présent document.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en italique

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
            Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

à des fins d'identification.

Le niveau d'obligation des exigences a été fixé sur la base de la norme /DIN 820-2/, annexe G, et pris en compte de façon correspondante dans la formulation des exigences.

**Principes d'exécution**

Désignation abrégée	Description
/MSB AG-GESAMTSYS/	Principe d'exécution du TSM, Système complet, document n° : 50630, avec les annexes :
/MSB AG-ABK&DEF/	Annexe 1 : Abréviations et définitions du TSM, document n° : 67536,
/MSB AG-NORM&RILI/	Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives du TSM, document n° : 67539,
/MSB AG-UMWELT/	Annexe 3 : Conditions environnementales du TSM, document n° : 67285,
/MSB AG-BTR/	Annexe 4 : Règles d'exploitation (conditions de roulage et maintenance) du TSM, document n° : 69061,
/MSB AG-SCHALL/	Annexe 5 : Bruit du TSM, document n° : 72963,
/MSB AG-FZ GEN/	Principe d'exécution du TSM, Rame, Partie I : Exigences générales, document n° : 67698,
/MSB AG-FZ BEM/	Principe d'exécution du TSM, Rame, Partie II : Dimensionnement, document n° : 67694,
/MSB AG-FZ KIN/	Principe d'exécution du TSM, Rame, Partie III : Gabarit cinématique, document n° : 67650,
/MSB AG-FZ TRAFÜ/	Principe d'exécution du TSM, Rame, Partie IV : Technique de levage / de guidage, document n° : 73388,
/MSB AG-FZ BREMS/	Principe d'exécution du TSM, Rame, Partie V : Technique de freinage, document n° : 73389,
/MSB AG-ANT/	Principe d'exécution du TSM, Propulsion et approvisionnement en énergie, document n° : 50998,
/MSB AG-BLT/	Principe d'exécution du TSM, Installation technique de commande, document n° : 53328,
/MSB AG-FW ÜBG/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie I : Exigences de niveau supérieur, document n° : 57284,
/MSB AG-FW BEM/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie II : Dimensionnement, document n° : 57288,
/MSB AG-FW GEO/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie III : Géométrie, document n° : 41727,
/MSB AG-FW TRAS/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie IV : Tracé, document n° : 60640,
/MSB AG-FW VERM/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie V : Levé, document n° : 60641,
/MSB AG-FW IH/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie VI : Maintenance, document n° : 63842,

Tableau 8 : Principes d'exécution

## Lois et décrets

Les lois et décrets visés dans les principes d'exécution du TSM sont présentés ci-dessous. L'édition indiquée correspond à l'édition des lois et décrets en vigueur à la date de publication des principes d'exécution du TSM.

Actes	Description
/26e BImSchV/	Vingt-sixième décret d'application de la loi fédérale sur la protection contre les immissions (décret relatif aux champs électromagnétiques – 26e BImSchV) « Décret du 16 décembre 1996 relatif aux champs électromagnétiques (JO fédéral I p. 1966) »
/AMbG/	« Loi générale du 19 juillet 1996 sur les trains à sustentation magnétique (JO fédéral I p. 1019), modifiée en dernier lieu par l'article 303 du décret du 31 octobre 2006 (JO fédéral I p. 2407) »
/Arbeitsschutz/	Lois et décrets relatifs à la protection au travail /ArbSchG/, /ArbStättV/, /ASiG/, /BaustellV/, /BetrSichV/, /BildscharbV/, /GPSG/, /GPSGV/, /GSGV/, /LasthandhabV/, /PSA-BV/.
/ArbSchG/	« Loi du 7 août 1996 sur la sécurité au travail (JO fédéral I p. 1246), modifiée en dernier lieu par l'article 227 du décret du 31 octobre 2006 (JO fédéral I p. 2407) »
/ArbStättV/	« Décret du 12 août 2004 relatif aux lieux de travail (JO fédéral I p. 2179), modifié en dernier lieu par l'article 388 du décret du 31 octobre 2006 (JO fédéral I p. 2407) »
/ASiG/	« Loi du 12 décembre 1973 sur les médecins du travail, les ingénieurs en sécurité et les autres professions spécialisées dans la sécurité au travail (JO fédéral I p. 1885), modifiée en dernier lieu par l'article 226 du décret du 31 octobre 2006 (JO fédéral I p. 2407) »
/BaustellV/	« Décret du 10 juin 1998 relatif aux chantiers de construction (JO fédéral I p. 1283), modifié en dernier lieu par l'article 15 du décret du 23 décembre 2004 (JO fédéral I p. 3758) »
/BetrSichV/	« Décret du 27 septembre 2002 relatif à la sécurité des exploitations (JO fédéral I p. 3777), modifié en dernier lieu par l'article 439 du décret du 31 octobre 2006 (JO fédéral I p. 2407) »
/BildscharbV/	« Décret du 4 décembre 1996 relatif au travail sur écran (JO fédéral I p. 1843), modifié en dernier lieu par l'article 437 du décret du 31 octobre 2006 (JO fédéral I p. 2407) »
/BImSchG/	« Loi fédérale sur la protection contre les immissions dans la version de publication du 26 septembre 2002 (JO fédéral I p. 3830), modifiée en dernier lieu par l'article 3 de la loi du 18 décembre 2006 (JO fédéral I p. 3180) »
/BNatSchG/	« Loi du 25 mars 2002 sur la protection de la nature (JO fédéral I p. 1193), modifiée en dernier lieu par l'article 8 de la loi du 9 décembre 2006 (JO fédéral I p. 2833) »
/ChemG/	« Loi sur les produits chimiques dans la version de publication du 20 juin 2002 (JO fédéral I p. 2090), modifiée en dernier lieu par l'article 231 du décret du 31 octobre 2006 (JO fédéral I p. 2407) »
/GefStoffV/	« Décret du 23 décembre 2004 relatif aux substances dangereuses (JO fédéral I p. 3758, 3759), modifié en dernier lieu par l'article 442 du décret du 31 octobre 2006 (JO fédéral I p. 2407) »
/GPSG/	« Loi du 6 janvier 2004 sur la sécurité des appareils et des produits (JO fédéral I p. 2 (219)), modifiée en dernier lieu par l'article 3, paragraphe 33, de la loi du 7 juillet 2005 (JO fédéral I p. 1970) »
/GPSGV/	Décret relatif aux machines « Neuvième décret d'application de la loi sur la sécurité des appareils et des produits (décret relatif aux machines) du 12 mai 1993 (JO fédéral I p. 704), modifié en dernier lieu par l'article 14 du décret du 23 décembre 2004 (JO fédéral I p. 3758) »
/KrW- AbfG/	« Loi du 27 septembre 1994 sur le recyclage et les déchets (JO fédéral I p. 2705), modifiée en dernier lieu par l'article 7 de la loi du 9 décembre 2006 (JO fédéral I p. 2819) »

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Actes	Description
/LasthandhabV/	« Décret du 4 décembre 1996 relatif à la manipulation des charges (JO fédéral I p. 1842), modifié en dernier lieu par l'article 436 du décret du 31 octobre 2006 (JO fédéral I p. 2407) »
/MbBO/	« Règlement du 23 septembre 1997 sur la construction et l'exploitation des trains à sustentation magnétique (JO fédéral I p. 2329) »
/MSB-LSchV/	« Règlement du 23 septembre 1997 sur la protection contre le bruit des trains à sustentation magnétique (JO fédéral I p. 2329, 2338) »
/PERSCH/	Lois et décrets relatifs à la protection des personnes /ArbSchG/, /BetrSichV/, /BildscharbV/, /PSA-BV/, /LasthandhabV/, /ArbStättV/, /BaustellIV/, /GPSG/, /GPSGV/, /ASiG/, /ChemG/, /GefStoffV/
/PSA-BV/	« Décret du 4 décembre 1996 relatif à l'utilisation des EPI (JO fédéral I p. 1841) »
/Directive 2004/49/CE/	Rectificatif à la directive 2004/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant la sécurité des chemins de fer communautaires et modifiant la directive 95/18/CE du Conseil concernant les licences des entreprises ferroviaires, ainsi que la directive 2001/14/CE concernant la répartition des capacités d'infrastructure ferroviaire, la tarification de l'infrastructure ferroviaire et la certification en matière de sécurité (« directive sur la sécurité ferroviaire ») <i>JO de l'Union européenne L 164 du 30 avril 2004</i>
/Directive 98/37/	Directive 98/37/CE Directive 98/37/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux machines <i>JO L 207 du 23.7.1998 p. 1 - 46</i>
/Umwelt/	Lois sur la protection de l'environnement /BImSchG/, /BNatSchG/, /ChemG/, /GefStoffV/, /KrW- AbfG/, /WHG/
/WHG/	« Loi sur la gestion de l'eau dans la version de publication du 19 août 2002 (JO fédéral I p. 3245), modifiée en dernier lieu par l'article 2 de la loi du 25 juin 2005 (JO fédéral I p. 1746) »

Tableau 9 : Lois et décrets

## Normes et directives

Les normes et directives mentionnées dans les principes d'exécution du TSM sont présentées ci-dessous. L'édition indiquée correspond à l'édition des normes et directives en vigueur à la date de publication des principes d'exécution du TSM.

Normes	Description
/BrandReg/	"Regelungen für die brandschutztechnische Beurteilung von Schienenfahrzeugen im Rahmen der Abnahme nach § 32 EBO - Grundsätze der brandschutztechnischen Anforderungen in Anlehnung an EN 45545" [Règles relatives à l'évaluation technique de protection incendie des véhicules ferroviaires dans le cadre de la réception conforme au § 32 du règlement EBO - Principes des exigences techniques de protection incendie sur la base de la norme EN 45545], EBA 01/06/2006
/DIN 1055-100/	Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln [Actions sur les structures - Partie 100 : Base de calcul des structures - Concept de sécurité et règles de dimensionnement] 01/03/2001
/DIN 1076/	Ingenieurbauwerke im Zuge von Strassen und Wegen - Ueberwachung und Pruefung [Ouvrages de génie civil sur le tracé des routes et des chemins - Surveillance et contrôle] 01/11/1999
/DIN 18014/	Fundamente der [Prises de terre dans les fondations] 01/02/1994
/DIN 31051/	Grundlagen der Instandhaltung [Principes de maintenance] 01/06/2003
/DIN 4149/	Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausfuehrung ueblicher Hochbauten [Bâtiments dans les zones sismiques allemandes - Hypothèses de charges, dimensionnement et exécution de bâtiments usuels] 01/04/2005
/DIN 5510-1/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen; Brandschutzstufen, brandschutztechnische Massnahmen und Nachweise [Protection préventive contre les incendies dans les véhicules ferroviaires ; Niveaux de protection incendie, mesures et certifications techniques de protection incendie] 01/10/1988
/DIN 5510-2/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 2: Brennverhalten und Brandnebenscheinungen von Werkstoffen und Bauteilen; Klassifizierungen, Anforderungen und Pruefverfahren [Protection préventive contre les incendies dans les véhicules ferroviaires - Partie 2 : réaction au feu et effets secondaires des incendies sur les matériaux et les éléments de construction ; Classification, exigences et essais] Projet 01/09/2003
/DIN 5510-4/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen; Konstruktive Gestaltung der Fahrzeuge; Sicherheitstechnische Anforderungen [Protection préventive contre les incendies dans les véhicules ferroviaires ; Constitution des véhicules ; Exigences techniques de sécurité] 01/10/1988

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Normes	Description
/DIN 5510-5/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen; Elektrische Betriebsmittel; Sicherheitstechnische Anforderungen [Protection préventive contre les incendies dans les véhicules ferroviaires ; Matériel électrique ; Exigences techniques de sécurité] 01/10/1988
/DIN 5510-6/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen; Begleitende Massnahmen; Funktion der Notbremseinrichtung, Informationssysteme, Brandmeldeanlagen, Brandbekämpfungseinrichtungen; Sicherheitstechnische Anforderungen [Protection préventive contre les incendies dans les véhicules ferroviaires ; Mesures d'accompagnement ; Fonctionnement du dispositif de freinage d'urgence, système d'information, installations de détection des incendies, dispositifs de lutte contre l'incendie ; Exigences techniques de sécurité] 01/10/1988
/DIN 57510/ /DIN VDE 0510/ /VDE 0510/	VDE-Bestimmung fuer Akkumulatoren und Batterie-Anlagen [Disposition de la VDE concernant les accumulateurs et les installations de batteries] 01/01/1977
/DIN 820-2/	Normungsarbeit - Teil 2: Gestaltung von Dokumenten [Travaux de normalisation - Partie 2 : Rédaction des documents] (directives ISO/CEI - partie 2, modifiée) ; Version trilingue du règlement intérieur du CEN/CENELEC - Teil 3: Regeln fuer den Aufbau und die Abfassung von CEN/CENELEC-Publikationen [Partie 3 : Règles de structure et de rédaction des publications CEN/CENELEC] 01/10/2004
/DIN EN 12663/	Applications ferroviaires - Prescriptions de dimensionnement des structures de véhicules ferroviaires ; (Version allemande EN 12663:2000) 01/10/2000
/DIN EN 13306/	Terminologie de la maintenance ; Version trilingue EN 13306:2001 01/09/2001
/DIN EN 14750-1/	Applications ferroviaires - Conditionnement de l'air pour matériel roulant urbain et banlieue - Partie 1 : paramètres de bien-être ; (Version allemande EN 14750-1:2006) 01/08/2006
/DIN EN 50121/	Série de normes : Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique
/DIN EN 50121-1/ (VDE 0115-121-1)	Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique – Partie 1 : généralités ; (Version allemande EN 50121-1:2000 / <i>En outre, la norme DIN V ENV 50121-1 (02/1997) s'applique encore jusqu'au 01/04/2003.</i> ) 01/05/2001
/DIN EN 50121-2/ (VDE 0115-121-2)	Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique – Partie 2 : émission du système ferroviaire dans son ensemble vers le monde extérieur ; (Version allemande EN 50121-2:2000 / <i>En outre, la norme DIN V ENV 50121-2 (02/1997) s'applique encore jusqu'au 01/04/2003.</i> ) 01/05/2001
/DIN EN 50121-3-1/ (VDE 0115-121-3-1)	Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique – Partie 3-1 : matériel roulant - Trains et véhicules complets ; (Version allemande EN 50121-3-1:2000 / <i>En outre, la norme DIN V ENV 50121-3-1 (02/1997) s'applique encore jusqu'au 01/04/2003.</i> ) 01/05/2001

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

## Principes d'exécution

Normes	Description
/DIN EN 50121-3-2/ (VDE 0115-121-3-2)	Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique – Partie 3-2 : matériel roulant – Appareils ; (Version allemande EN 50121-3-2:2000 / <i>En outre, la norme DIN V ENV 50121-3-2 (02/1997) s'applique encore jusqu'au 01/04/2003.</i> ) 01/05/2001
/DIN EN 50121-4/ (VDE 0115-121-4)	Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique – Partie 4 : émission et immunité des appareils de signalisation et de télécommunication ; (Version allemande EN 50121-4:2000 / <i>En outre, la norme DIN V ENV 50121-4 (02/1997) s'applique encore jusqu'au 01/04/2003.</i> ) 01/05/2001
/DIN EN 50121-5/ (VDE 0115-121-5)	Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique – Partie 5 : émission et immunité des installations fixes d'alimentation de puissance et des équipements associés ; (Version allemande EN 50121-5:2000 / <i>En outre, la norme DIN V ENV 50121-5 (02/1997) s'applique encore jusqu'au 01/04/2003.</i> ) 01/05/2001
/DIN EN 50126/ (VDE 0115-103)	Applications ferroviaires - Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS) ; (Version allemande EN 50126:1999) 01/03/2000
/DIN EN 50128/ (VDE 0831-128)	Applications ferroviaires - Systèmes de signalisation, de télécommunication et de traitement - Logiciels pour systèmes de commande et de protection ferroviaire ; (Version allemande EN 50128:200) 01/11/2001
/DIN EN 50129/ (VDE 0831-129)	Applications ferroviaires - Systèmes de signalisation, de télécommunications et de traitement - Systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation ; (Version allemande EN 50129:2003 / <i>En outre, la norme DIN V ENV 50129 (07/1999) s'applique encore jusqu'au 01/12/2005.</i> ) 01/12/2003
/DIN EN 50153/ (VDE 0115-2)	Applications ferroviaires - Matériel roulant - Mesures de protection vis-à-vis des dangers d'origine électrique ; (Version allemande EN 50153:2002 / <i>En outre, la norme DIN EN 50153 (12/1996) s'applique encore jusqu'au 01/05/2005.</i> ) 01/07/2003
/DIN EN 50159-1/ (VDE 0831-159-1)	Applications ferroviaires - Systèmes de signalisation, de télécommunication et de traitement - Partie 1 : communication de sécurité sur des systèmes de transmission fermés ; (Version allemande EN 50159-1:2001) 01/11/2001
/DIN EN 50159-2/ (VDE 0831-159-2)	Applications ferroviaires - Systèmes de signalisation, de télécommunication et de traitement - Partie 2 : communication de sécurité sur des systèmes de transmission ouverts ; (Version allemande EN 50159-2:2001) 01/12/2001
/DIN EN 50160/	Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution ; (Version allemande EN 50160:1999) 01/03/2000
/DIN EN 50178/ (VDE 0160)	Équipement électronique utilisé dans les installations de puissance ; (Version allemande EN 50178:1997) 01/04/1998
/DIN EN 60068/	Famille de normes sur les Essais d'environnement

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

**Principes d'exécution**

## Système complet

Normes	Description
/DIN EN 60071-1/ (VDE 0111-1)	Coordination de l'isolement - Partie 1 : définitions, principes et règles (CEI 60071-1:2006) ; (Version allemande EN 60071-1:2006 / En outre, la norme DIN EN 60071-1 (07/1996) s'applique encore jusqu'au 01/03/2009.) 01/11/2006
/DIN EN 60071-2/ (VDE 0111-2)	Coordination de l'isolement - Partie 2 : guide d'application (CEI 60071-2:1996) ; Version allemande EN 60071-2:1997 01/09/1997
/DIN EN 60076-/ (VDE 0532-76-1)	Série de normes : Transformateurs de puissance
/DIN EN 60076-1/ (VDE 0532-76-1)	Transformateurs de puissance - Partie 1 : généralités (CEI 60076-1:1993, amendée + A1:1999) ; (Version allemande EN 60076-1:1997 + A1:2000 + A12:2002 / En outre, les normes DIN EN 60076-1 (12/1997) et DIN EN 60076-1/A1 (07/2001) s'appliquent encore jusqu'au 01/02/2005.) 01/01/2003
/DIN EN 60076-10/ (VDE 0532-76-10)	Transformateurs de puissance - Partie 10 : détermination des niveaux de bruit (CEI 60076-10:2001) ; Version allemande EN 60076-10:2001 / En outre, les normes DIN EN 60551 (11/1993) et DIN EN 60551/A1 (02/1998) s'appliquent encore jusqu'au 01/06/2004. 01/04/2002
/DIN EN 60076-11/ (VDE 0532-76-11)	Transformateurs de puissance - Partie 11 : transformateurs de type sec (CEI 60076-11:2004) ; Version allemande EN 60076-11:2004 / En outre, la norme DIN EN 60726 (10/2003) s'applique encore jusqu'au 01/07/2007. 01/04/2005
/DIN EN 60076-2/ (VDE 0532-102)	Transformateurs de puissance - Partie 2 : échauffement (CEI 60076-2:1993, amendée) ; Version allemande EN 60076-2:1997 01/12/1997
/DIN EN 60076-3 CORRIGENDUM 1/ (VDE 0532-3 CORRIGENDUM 1)	Corrigendum 1 à la norme DIN EN 60076-3 (VDE 0532, partie 3):2001-11 01/04/2002
/DIN EN 60076-3/ (VDE 0532-3)	Transformateurs de puissance - Partie 3 : niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air (CEI 60076-3:2000 + Corrigendum:2000) ; Version allemande EN 60076-3:2001 / En outre, les normes DIN VDE 0532-3 (07/1987) et DIN VDE 0532-3/A1 (12/1995) s'appliquent encore jusqu'au 01/01/2004. 01/11/2001
/DIN EN 60076-4/ (VDE 0532-76-4)	Transformateurs de puissance - Partie 4 : guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre - Transformateurs de puissance et bobines d'inductance (CEI 60076-4:2002) ; Version allemande EN 60076-4:2002 / En outre, la norme DIN VDE 0532-13 (07/1984) s'applique encore jusqu'au 01/09/2005. 01/06/2003
/DIN EN 60076-5/ (VDE 0532-76-5)	Transformateurs de puissance - Partie 5 : tenue au court-circuit (CEI 60076-5:2006) ; Version allemande EN 60076-5:2006 / En outre, la norme DIN EN 60076-5 (11/2001) s'applique encore jusqu'au 01/04/2009. 01/01/2007
/DIN EN 60228/ (VDE 0295)	Âmes des câbles isolés (CEI 60228:2004) ; (Version allemande EN 60228:2005 + Corrigendum:2005 / En outre, la norme DIN VDE 0295 (06/1992) s'applique encore jusqu'au 01/12/2007.) 01/09/2005

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Normes	Description
/DIN EN 60529/ (VDE 0470-1)	Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP) (CEI 60529:1989 + A1:1999) ; (Version allemande EN 60529:1991 + A1:2000 / En outre, la norme DIN VDE 0470-1 (11/1992) s'applique encore jusqu'au 01/01/2003.) 01/09/2000
/DIN EN 60664-1/ (VDE 0110-1)	Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension - Partie 1 : principes, prescriptions et essais (CEI 60664-1:1992 + A1:2000 + A2:2002) ; (Version allemande EN 60664-1:2003 / En outre, la norme DIN VDE 0110-1 (04/1997) s'applique encore jusqu'au 01/04/2006.) 01/11/2003
/DIN EN 60694/ (VDE 0670-1000)	Spécifications communes aux normes de l'appareillage à haute tension (CEI 60694:1996 + Corr. 1:2001 + A1:2000 + A2:2001 + Corr. 1:2001) ; (Version allemande EN 60694:1996 + A1:2000 + A2:2001 / En outre, la norme DIN EN 60694 (10/1998) s'applique encore jusqu'au 01/11/2003.) 01/09/2002
/DIN EN 60695-1-1/ (VDE 0471-1-1)	Essais relatifs aux risques du feu - Partie 1-1 : guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques - Directives générales (CEI 60695-1-1:1999 + Corrigendum 2000) ; (Version allemande EN 60695-1-1:2000 / En outre, la norme DIN EN 60695-1 (07/1996) s'applique encore jusqu'au 01/01/2003.) 01/10/2000
/DIN EN 60909-0/ (VDE 0102)	Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif - Partie 0 : calcul des courants (CEI 60909-0:2001) ; (Version allemande EN 60909-0:2001 / En outre, la norme DIN VDE 0102 (01/1990) s'applique encore jusqu'au 01/01/2003.) 01/07/2002
/DIN EN 61378-1/ (VDE 0532-41)	Transformateurs de conversion - Partie 1 : transformateurs pour applications industrielles (CEI 61378-1:1997) ; (Version allemande EN 61378-1:1998 + Corrigendum 1998) 01/09/1999
/DIN EN 61508-1/ (VDE 0803-1)	Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité - Partie 1 : prescriptions générales (CEI 61508-1:1998 + Corrigendum 1999) ; (Version allemande EN 61508-1:2001) 01/11/2002
/DIN EN 61508-2/ (VDE 0803-2)	Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité - Partie 2 : prescriptions pour les systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité (CEI 61508-2:2000) ; Version allemande EN 61508-2:2001 01/12/2002
/DIN EN 61508-3/ (VDE 0803-3)	Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité - Partie 3 : prescriptions concernant les logiciels (CEI 61508-3:1998 + Corrigendum 1999) ; (Version allemande EN 61508-3:2001) 01/12/2002
/DIN EN 61508-4/ (VDE 0803-4)	Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité - Partie 4 : définitions et abréviations (CEI 61508-4:1998 + Corrigendum 1999) ; Version allemande EN 61508-4:2001 01/11/2002
/DIN EN 61508-5/ (VDE 0803-5)	Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité - Partie 5 : : exemples de méthodes de détermination des niveaux d'intégrité de sécurité (CEI 61508-5:1998 + Corrigendum 1999) ; Version allemande EN 61508-5:2001 01/11/2002

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Normes	Description
/DIN EN 61508-6/ (VDE 0803-6)	Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité - Partie 6 : lignes directrices pour l'application de la CEI 61508-2 et de la CEI 61508-3 (CEI 61508-6:2000) ; Version allemande EN 61508-6:2001 01/06/2003
/DIN EN 61508-7/ (VDE 0803-7)	Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité - Partie 7 : présentation de techniques et mesures (CEI 61508-7:2000) ; Version allemande EN 61508-7:2001 01/06/2003
/DIN EN 61642/ (VDE 0560-430)	Réseaux industriels à courant alternatif affectés par les harmoniques - Emploi de filtres et de condensateurs shunt (CEI 61642:1997) ; (Version allemande EN 61642:1997) 01/11/1998
/DIN EN 62040/	Série de normes : Alimentations sans interruption (ASI)
/DIN EN 62040-1-1/ (VDE 0558-511)	Alimentations sans interruption (ASI) - Partie 1-1 : prescriptions générales et règles de sécurité pour les ASI utilisées dans des locaux accessibles aux opérateurs (CEI 62040-1-1:2002 + Corrigendum 2002) ; (Version allemande EN 62040-1-1:2003 / En outre, la norme DIN EN 50091-1-1 (07/1997) s'applique encore jusqu'au 01/11/2005.) 01/10/2003
/DIN EN 62040-1-2/ (VDE 0558-512)	Alimentations sans interruption (ASI) - Partie 1-2 : prescriptions générales et règles de sécurité pour les ASI utilisées dans des locaux d'accès restreint (CEI 62040-1-2:2002 + Corrigendum 2002) ; (Version allemande EN 62040-1-2:2003 / En outre, les normes DIN EN 50091-1-2 (05/1999) et DIN EN 50091-1-2 corrigendum 1 (07/2000) s'appliquent encore jusqu'au 01/11/2005.) 01/10/2003
/DIN EN 62040-2/ (VDE 0558-520)	Alimentations sans interruption (ASI) - Partie 2 : exigences pour la compatibilité électromagnétique (CEM) (CEI 62040-2:2005) ; (Version allemande EN 62040-2:2006 / En outre, la norme DIN EN 50091-2 (05/1996) s'applique encore jusqu'au 01/10/2008.) 01/07/2006
/DIN EN 62040-3/ (VDE 0558-530)	Alimentations sans interruption (ASI) - Partie 3 : méthode de spécification des performances et procédures d'essai (CEI 62040-3:1999, amendée) ; Version allemande EN 62040-3:2001 / En outre, les normes DIN VDE 0558-5 (09/1988) et DIN VDE 0558-6 (04/1992) s'appliquent encore jusqu'au 01/08/2003. 01/02/2002
/DIN EN 62271/	Série de normes : Appareillage à haute tension
/DIN EN 62271-100/ (VDE 0671-100)	Appareillage à haute tension - Partie 100 : disjoncteurs à courant alternatif à haute tension (CEI 62271-100:2001 + A1:2002 + Corrigendum 1:2002 + Corrigendum 2:2003) ; (Version allemande EN 62271-100:2001 + A1:2002 / En outre, les normes DIN VDE 0670-101 (12/1992), DIN VDE 0670-102 (12/1992), DIN VDE 0670-103 (10/1992), DIN VDE 0670-104 (10/1992), DIN VDE 0670-105 (10/1992) et DIN VDE 0670-106 (10/1992) s'appliquent encore jusqu'au 01/09/2004.) 01/04/2004

**Principes d'exécution**

Normes	Description
/DIN EN 62271-102/ (VDE 0671-102)	Appareillage à haute tension - Partie 102 : sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif (CEI 62271-102:2001 + Corrigendum 1:2002 + Corrigendum 2:2003) ; (Version allemande EN 62271-102:2002 / En outre, les normes DIN EN 60129 (13/1998), DIN EN 61129 (12/1995), DIN EN 61129/A1 (01/1998) et DIN EN 61259 (06/1996) s'appliquent encore jusqu'au 01/03/2005.) 01/10/2003
/DIN EN 62271-105/ (VDE 0671-105)	Appareillage à haute tension - Partie 105 : combinés interrupteurs-fusibles pour courant alternatif (CEI 62271-105:2002) ; (Version allemande EN 62271-105:2003 / En outre, la norme DIN EN 60420 (09/1994) s'applique encore jusqu'au 01/10/2005.) 01/12/2003
/DIN EN 62271-107/ (VDE 0671-107)	Appareillage à haute tension - Partie 107 : circuits-switchers fusibles pour courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 kV et jusqu'à 52 kV inclus (CEI 62271-107:2005) ; (Version allemande EN 62271-107:2005) 01/07/2006
/DIN EN 62271-108/ (VDE 0671-108)	Appareillage à haute tension - Partie 108 : disjoncteurs-sectionneurs à courant alternatif à haute tension de tensions assignées supérieures ou égales à 72,5 kV (CEI 62271-108:2005) ; (Version allemande EN 62271-108:2006) 01/10/2006
/DIN EN 62271-110/ (VDE 0671-110)	Appareillage à haute tension - Partie 110 : manœuvre de charges inductives (CEI 62271-110:2005) ; (Version allemande EN 62271-110:2005) 01/07/2006
/DIN EN 62271-2/ (VDE 0671-2)	Appareillage à haute tension - Partie 2 : qualification sismique de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV (CEI 62271-2:2003) ; (Version allemande EN 62271-2:2003) 01/01/2004
/DIN EN 62271-200/ (VDE 0671-200)	Appareillage à haute tension - Partie 200 : appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV (CEI 62271-200:2003) ; (Version allemande EN 62271-200:2004 / En outre, les normes DIN EN 60298 (05/1998), DIN EN 60298 corrigendum 1 (03/1999) et DIN EN 60298 corrigendum 2 (09/2001) s'appliquent encore jusqu'au 01/02/2007.) 01/10/2004
/DIN EN 62271-203/ (VDE 0671-203)	Appareillage à haute tension - Partie 203 : appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV (CEI 62271-203:2003) ; (Version allemande EN 62271-203:2004 / En outre, les normes DIN EN 60517 (10/1998) et DIN EN 60517 corrigendum 1 (08/2001) s'appliquent encore jusqu'au 01/02/2007.) 01/11/2004
/DIN EN 62305/ (VDE 0185-305-1)	Série de normes : Protection contre la foudre
/DIN EN 62305-1/ (VDE 0185-305-1)	Protection contre la foudre - Partie 1 : principes généraux (CEI 62305-1:2006) ; (Version allemande EN 62305-1:2006 / En outre, la norme DIN V VDE V 0185-1 (11/2002) s'applique encore jusqu'au 01/10/2008.) 01/10/2006

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Normes	Description
/DIN EN 62305-2/ (VDE 0185-305-2)	Protection contre la foudre - Partie 2 : évaluation du risque (CEI 62305-2:2006) ; (Version allemande EN 62305-2:2006 / En outre, les normes DIN V VDE V 0185-2 (11/2002), DIN V VDE V 0185-2 corrigendum 1 (02/2004) et DIN V VDE V 0185-2 annexe 1 (06/2004) s'appliquent encore jusqu'au 01/10/2008.) 01/10/2006
/DIN EN 62305-3/ (VDE 0185-305-3)	Protection contre la foudre - Partie 3 : dommages physiques sur les structures et risques humains (CEI 62305-3:2006, amendée) ; (Version allemande EN 62305-3:2006 / En outre, les normes DIN V VDE V 0185-3 (11/2002) et DIN V VDE V 0185-3/A1 (06/2005) s'appliquent encore jusqu'au 01/10/2008.) 01/10/2006
/DIN EN 62305-4/ (VDE 0185-305-4)	Protection contre la foudre - Partie 4 : réseaux de puissance et de communication dans les structures (CEI 62305-4:2006) ; (Version allemande EN 62305-4:2006 / En outre, la norme DIN V VDE V 0185-4 (11/2002) s'applique encore jusqu'au 01/10/2008.) 01/10/2006
/DIN EN ISO 12944-1/	Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 1 : introduction générale (ISO 12944-1:1998) ; (Version allemande EN ISO 12944-1:1998) 01/07/1998
/DIN EN ISO 12944-2/	Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 2 : classification des environnements (ISO 12944-2:1998) ; (Version allemande EN ISO 12944-2:1998) 01/07/1998
/DIN EN ISO 12944-3/	Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 3 : conception et dispositions constructives (ISO 12944-3:1998) ; (Version allemande EN ISO 12944-3:1998) 01/07/1998
/DIN EN ISO 12944-4/	Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 4 : types de surface et préparation de surface (ISO 12944-4:1998) ; (Version allemande EN ISO 12944-4:1998) 01/07/1998
/DIN EN ISO 12944-5/	Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 5 : systèmes de peinture (ISO 12944-5:1998) ; (Version allemande EN ISO 12944-5:1998) 01/07/1998
/DIN EN ISO 12944-6/	Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 6 : essais de performance en laboratoire (ISO 12944-6:1998) ; (Version allemande EN ISO 12944-6:1998) 01/07/1998
/DIN EN ISO 12944-7/	Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 7 : exécution et surveillance des travaux de peinture (ISO 12944-7:1998) ; (Version allemande EN ISO 12944-7:1998) 01/07/1998
/DIN EN ISO 12944-8/	Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 8 : développement de spécifications pour les travaux neufs et l'entretien (ISO 12944-8:1998) ; (Version allemande EN ISO 12944-8:1998) 01/07/1998

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Normes	Description
/DIN EN ISO 3095/	Applications ferroviaires - Acoustique - Mesurage du bruit émis par les véhicules circulant sur rails (ISO 3095:2005) ; (Version allemande EN ISO 3095:2005) 01/11/2005
/DIN EN ISO 9000/	Systèmes de management de la qualité - Principes essentiels et vocabulaire (ISO 9000:2005) ; Version trilingue EN ISO 9000:2005 DIN EN ISO 9000
/DIN EN ISO 9001/	Systèmes de management de la qualité – Exigences (ISO 9001:2000-09) ; Version trilingue EN ISO 9001:2000 01/12/2000
/DIN EN ISO 9004/	Systèmes de management de la qualité – Lignes directrices pour l'amélioration des performances (ISO 9004:2000) ; Version trilingue EN ISO 9004:2000 01/12/2000
/DIN rapport technique 101/	Einwirkungen auf Bruecken [Effets sur les ponts] ; Édition de mars 2003 ; ISBN-3-410-15007-2 ; 01/01/2003
/DIN VDE 0100/ (VDE 0100)	Bestimmungen fuer das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V [Dispositions relatives à la mise en place d'installations de puissance de tensions nominales inférieures ou égales à 1 000 V] / du 1er novembre 1958, dans la version de mai 1973 / Abrogée par erreur. Les paragraphes contenus dans l'annexe 2 de mai 2001, tableau 2, sont encore valides / Le délai de transition, déterminé par les normes DIN VDE 0100-443 (01/2002) et DIN VDE 0100-530 (06/2005), jusqu'au 31/05/2006, a été respecté. 01/05/1973
/DIN VDE 0101/ (VDE 0101)	Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen ueber 1 kV [Installations de puissance de tensions nominales alternatives supérieures à 1 kV] ; (Version allemande HD 637 S1:1999 / En outre, les normes DIN VDE 0101 (05/1989) et DIN VDE 0141 (07/1989) s'appliquent encore jusqu'au 01/01/2001. / Le délai de transition, déterminé par la norme DIN EN 60204-11 (05/2001), jusqu'au 01/09/2001, a été respecté.) 01/01/2000
/DIN VDE 0105-100/ (VDE 0105-100)	Betrieb von elektrischen Anlagen - Teil 100: Allgemeine Festlegungen [Exploitation des installations électriques - Partie 100 : dispositions générales] / En outre, les normes DIN VDE 0105-100 (06/2000) et DIN VDE 0105-100/A3 (11/2003) s'appliquent encore jusqu'au 01/07/2007. 01/06/2005
/DIN VDE 0276-632/ (VDE 0276-632)	Starkstromkabel mit extrudierter Isolierung und ihre Garnituren fuer Nennspannungen ueber 36 kV (U<(Index)m> = 42 kV) bis 150 kV (U<(Index)m> = 170 kV) [Câbles à courant fort à isolation extrudée et leurs garnitures pour des tensions nominales de plus de 36 kV (U<(Indice)m> = 42 kV) à 150 kV (U<(Indice)m> = 170 kV)] ; (Version allemande HD 632 S1, partie 1, 3D, 4D, 5D:1998) 01/05/1999
/DIN VDE 0888/	Série de normes : Lichtwellenleiter-Kabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen [Câbles à fibres optiques pour les installations de télécommunication et de traitement de l'information]
/DIN VDE 0888-3 CORRIGENDUM 1/ /VDE 0888-3 CORRIGENDUM 1/	Corrigendum à la norme DIN VDE 0888-3 (VDE 0888, partie 3):1999-10 01/08/2001
/DIN VDE 0888-3/ (VDE 0888-3)	Lichtwellenleiter-Kabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen - Teil 3: Aussenkabel [Câbles à fibres optiques pour les installations de télécommunication et de traitement de l'information - Partie 3 : Câbles extérieurs] 01/10/1999

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Normes	Description
/DIN VDE 0888-4/ (VDE 0888-4)	Lichtwellenleiter-Kabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen - Teil 4: Innenkabel mit einem Lichtwellenleiter [Câbles à fibres optiques pour les installations de télécommunication et de traitement de l'information - Partie 4 : Câbles intérieurs à une fibre optique] 01/10/1999
/DIN VDE 0888-5/ (VDE 0888-5)	Lichtwellenleiter-Kabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen - Teil 5: Aufteilbare Aussenkabel [Câbles à fibres optiques pour les installations de télécommunication et de traitement de l'information - Partie 5 : Câbles extérieurs partagés] 01/10/1999
/DIN VDE 0888-6/ (VDE 0888-6)	Lichtwellenleiter-Kabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen - Teil 6: Innenkabel mit einem Lichtwellenleiter [Câbles à fibres optiques pour les installations de télécommunication et de traitement de l'information - Partie 6 : Câbles intérieurs à plusieurs fibres optiques] 01/10/1999
/EBA-Lf Station/	EBA - Leitfaden "Brandschutz in Personenverkehrsanlagen der Eisenbahnen des Bundes" [Directives de l'EBA « Protection incendie des installations de transport de personnes dans les chemins de fer fédéraux] ; Version : janvier 2001 et ergänzende Hinweise zum Leitfaden bei Anwendung für Personenverkehrsanlagen der Magnetschwebebahnen [Consignes complémentaires aux directives pour une application aux installations de transport de personnes des trains à sustentation magnétique] ; Version : avril 2002
/EBA-RL MSB Tunnel/	Leitfaden für den Bau und den Betrieb von Magnetschwebebahntunneln aus Sicht des Brand- und Katastrophenschutzes sowie der Gefahrenabwehr [Directives relatives à la construction et à l'exploitation de tunnels destinés aux trains à sustentation magnétique, en ce qui concerne la protection contre les incendies et les catastrophes et la prévention des risques] ; Office fédéral des Chemins de fer ; 01/03/2005
/EN 10106/	Tôles magnétiques à grains non orientés laminées à froid et livrées à l'état fini ; Version allemande EN 10106:1995 01/02/1996
/EN 1317-1/	Dispositifs de retenue routiers - Partie 1 : terminologie et dispositions générales pour les méthodes d'essais 01/04/1998
/EN 1363-1/	Essais de résistance au feu - Partie 1 : exigences générales 01/08/1999
/EN 14067-2/	Applications ferroviaires - Aérodynamique – Partie 2 : aérodynamique à l'air libre 01/04/2003
/EN 14067-3/	Applications ferroviaires - Aérodynamique – Partie 3 : aérodynamique en tunnel 01/04/2003
/EN 1990/	Eurocode : Bases de calcul des structures 01/04/2002
/EN 1991/	Série de normes Eurocode 1 - Actions sur les structures
/EN 1991-1-1/	Eurocode 1 - Actions sur les structures - □ Partie 1-1 : actions générales - Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments 01/04/2002

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Normes	Description
/EN 1991-1-2/	Eurocode 1 : Actions sur les structures - Partie 1-2 : actions générales – Actions sur les structures exposées au feu 01/11/2002
/EN 1991-1-3/	Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : actions générales - Charges de neige 01/07/2003
/EN 1991-1-4/	Eurocode 1 : Actions sur les structures - □ Partie 1-4 : actions générales - Actions du vent 01/04/2005
/EN 1991-1-5/	Eurocode 1 : Actions sur les structures - Partie 1-5 : actions générales - Actions thermiques 01/11/2003
/EN 1991-1-6/	Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-6 : actions générales - Actions en cours d'exécution 01/06/2005
/EN 1991-1-7/	Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-7 : actions générales - Actions accidentelles 01/07/2006
/EN 1991-2/	Eurocode 1 - Actions sur les structures – Partie 2 : actions sur les ponts, dues au trafic 01/09/2003
/EN 1991-3/	Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 3 : actions induites par les appareils de levage et les machines 01/07/2006
/EN 1992/	Série de normes Eurocode 2 - Calcul des structures en béton
/EN 1992-1-1/	Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments 01/12/2004
/EN 1992-1-2/	Eurocode 2 : Calcul des structures en béton - Partie 1-2 : règles générales - Calcul du comportement au feu 01/12/2004
/EN 1992-2/	Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 2 : ponts en béton - Calcul des dispositions constructives 01/10/2005
/EN 1992-3/	Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 3 : silos et réservoirs 01/06/2006
/EN 1993/	Famille de normes Eurocode 3 : Calcul des structures en acier ; Version : juillet 2005
/EN 1998/	Famille de normes Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes ; Version : décembre 2004
/EN 1999/	Famille de normes Eurocode 9 : Calcul des structures en aluminium ; Version de la prénorme : octobre 2000
/EN 50124-1/	Applications ferroviaires - Coordination de l'isolement - Partie 1 : prescriptions fondamentales - Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite pour tout matériel électrique et électronique 01/03/2001
/EN 50125/	Série de normes sur les Applications ferroviaires

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Normes	Description
/EN 50125-1/	Applications ferroviaires - Conditions d'environnement pour le matériel - Partie 1 : équipement embarqué du matériel roulant 01/09/1999
/EN 50125-2/	Applications ferroviaires - Conditions d'environnement pour le matériel - Partie 2 : installations électriques fixes 01/12/2002
/EN 50125-3/	Applications ferroviaires - Conditions d'environnement pour le matériel - Partie 3 : équipement pour la signalisation et les télécommunications 01/01/2003
/EN 50207/	Applications ferroviaires - Convertisseurs électroniques de puissance pour matériel roulant 01/09/2000
/EN 60721/	Série de normes : Classification des conditions d'environnement
/EN 60721-1/	Classification des conditions d'environnement - Partie 1 : agents d'environnement et leurs sévérités (CEI 60721-1:1990 + A1:1992) 01/04/1995
/EN 60721-1/A2	Classification des conditions d'environnement - Partie 1 : agents d'environnement et leurs sévérités ; Amendement A2 (CEI 60721-1:1990/A2:1995) 01/07/1995
/EN 60721-3-0/	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Introduction (CEI 60721-3-0:1984 + A1:1987) 01/07/1993
/EN 60721-3-1/	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités. Section 1 : stockage (CEI 60721-3-1:1997) 01/03/1997
/EN 60721-3-2/	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités. Section 2 : transport (CEI 60721-3-2:1997) 01/03/1997
/EN 60721-3-3/	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités. Section 3 : utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries (CEI 60721-3-3:1994) 01/01/1995
/EN 60721-3-3/A2/	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités. Section 3 : utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries ; Amendement A2 (CEI 60721-3-3:1994/A2:1996) 01/01/1997
/EN 60721-3-4/	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités. Section 4 : utilisation à poste fixe, non protégé contre les intempéries (CEI 60721-3-4:1995) 01/02/1995
/EN 60721-3-4/A1/	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités. Section 4 : utilisation à poste fixe, non protégé contre les intempéries ; Amendement A1 (CEI 60721-3-4:1995/A1:1996) 01/01/1997

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

Normes	Description
/EN 60721-3-5/	Classification des conditions d'environnement - Partie 3 : classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités. Section 5 : installations des véhicules terrestres (CEI 60721-3-5:1997) 01/04/1997
/EN 61373/	Applications ferroviaires - Matériel roulant - Essais de chocs et vibrations (CEI 61373:1999) 01/04/1999
/EN ISO 12543/	Série de normes : Verre dans la construction - Verre feuilleté et verre feuilleté de sécurité
/ERRI B 153 RP-1/	APPLICATION DE LA NORME ISO 2631 AU TRANSPORT FERROVIAIRE Études des différentes méthodes d'application de la norme ISO 2631 en usage dans le domaine ferroviaire 01/09/1981
/ISO 2631/	Série de normes : Vibrations et chocs mécaniques
/ISO 2631-1/	Vibrations et chocs mécaniques - Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps. Partie 1 : spécifications générales / Version corrigée de juillet 1997 01/05/1997
/ISO 2631-2/	Vibrations et chocs mécaniques - Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps. Partie 2 : vibrations dans les bâtiments (1 Hz à 80 Hz) 01/04/2003
/ISO 2631-5/	Vibrations et chocs mécaniques - Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps. Partie 5 : méthode d'évaluation des vibrations contenant des chocs répétés 01/02/2004
/prEN 50126-2/	Railway Applications The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Part 2: Guide to the application on EN 50126 for Safety Draft July 05
/R009-004/	Railway specifications. Systematic allocation of safety integrity requirements. CENELEC Report R009-004:2001
/RI-EDV-AP-2001/	Richtlinie für das Aufstellen und Prüfen EDV-unterstützter Standsicherheitsnachweise [Directive relative à l'établissement et au contrôle des certificats de stabilité assistés par ordinateur] ; Association fédérale des ingénieurs de contrôle en génie civil ; Édition d'avril 2001
/RPS/	Directives relatives aux équipements routiers de sécurité passive SOCIÉTÉ DE RECHERCHE SUR LES ROUTES ET LA CIRCULATION ROUTIÈRE - GROUPE DE TRAVAIL GESTION ET SÉCURITÉ DU TRAFIC 1989
/TL 918300 Blatt 87/	Deutschen Bahn AG, Protection anti-corrosion, Conditions techniques de livraison ;
/UIC 651/	Constitution des cabines de conduite des locomotives, automotrices, rames automotrices et voitures-pilotes ; Version : juillet 2002

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 2 Lois, décrets, normes et directives

---

Normes	Description
/Wiesinger/	Prof. Dr Wiesinger Studie über die Blitzbedrohung und elektrostatische Bedrohung von Magnetbahnen [Étude sur le risque de foudre et de décharge électrostatique des trains magnétiques], Mai 1979

Tableau 10 : Normes et directives

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Systeme complet**

### **Annexe 3**

## **Conditions environnementales**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Systeme complet à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007, version finale, commission spéciale Systeme complet

## Table des matières

<b>Destinataires</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Aperçu des modifications</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Table des matières</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Objet du document et champ d'application .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Principes d'exécution du TSM .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abréviations et définitions.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Lois, décrets, normes et directives .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Identification et caractère obligatoire des exigences .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Résistance à l'environnement</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Climat.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Immunité contre les perturbations électromagnétiques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Spécification des paramètres relatifs à l'environnement secondaire</b> ..	Error! Bookmark not defined.
Environnement secondaire dans une rame de TSM.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Environnement secondaire dans les installations de service.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



## Généralités

### Objet du document et champ d'application

Le présent document établit les conditions environnementales du système de TSM, indépendamment de tout projet.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

Les facteurs d'influence de l'environnement primaire visés dans le présent document doivent être utilisés comme base pour la conception des systèmes de TSM dans le cadre d'un projet d'application.

Les conditions environnementales mentionnées doivent être prises en compte pour chaque projet d'application lors de l'élaboration du système, de la qualification et des essais de vérification des parties de système et des modules, afin de garantir l'immunité appropriée face à l'environnement.

Lorsque les facteurs d'influence spécifiques du projet sont différents, ils doivent être pris en considération lors de la conception et les vérifications requises doivent être réalisées.

Le contrôle des paramètres de l'environnement primaire spécifiés dans le présent document et la mise en place des mesures consécutives pertinentes en cas de dépassement des seuils indiqués dans ce même document ne sont pas régulés par le présent document et seront déterminés dans les documents spécifiques du projet.

Les conditions environnementales afférentes à l'exploitation, au stockage et au transport, conformément à la norme /EN 60721/, sont définies au chapitre 5.

Les conditions environnementales à l'intérieur des bâtiments ou des autres installations protégées contre les intempéries ne font pas l'objet de ce document.

De même, les conditions qui résultent du tracé concret et spécifique du projet, comme les conditions géologiques ou hydrologiques locales, ne sont pas traitées dans le présent document.

### Principes d'exécution du TSM

Le présent document est une annexe au Principe d'exécution du système complet et fait donc partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de différents principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du TSM, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/

- Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR/
- Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

## **Abréviations et définitions**

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## **Lois, décrets, normes et directives**

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## **Identification et caractère obligatoire des exigences**

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique* à des fins d'identification.

Le niveau d'obligation des exigences a été fixé sur la base de la norme /DIN 820/, partie 2, annexe G, et pris en compte de façon correspondante dans la formulation des exigences.

## Résistance à l'environnement

*Le présent principe d'exécution Conditions environnementales doit permettre d'assurer une résistance à l'environnement appropriée pour la conception d'un système de train rapide à sustentation magnétique, conformément aux caractéristiques et aux données spécifiées ci-après.*

Le système de TSM doit être conçu de manière à permettre son exploitation illimitée dans les conditions environnementales mentionnées ci-dessous.

## Climat

*Les données climatiques sont basées sur les valeurs de référence du groupe climatique « commun » conformément à la norme /EN 60721-2/.*

Les classes climatiques afférentes pour l'exploitation, le transport et le stockage doivent, le cas échéant, respecter les exigences des normes /EN 60721-3-1/, /EN 60721-3-2/, /EN 60721-3-3/, /EN 60721-3-4/ et /EN 60721-3-5/.

Les éléments suivants doivent être pris en compte :

## Pression atmosphérique

Classes climatique conformément aux normes /EN 60721-3-4/, /EN 60721-3-1/ et /EN 60721-3-2/ : 4K3, 1K5, 2K4.

Paramètre	Valeur	Unité
Pression atmosphérique (opération de roulage, stockage, transport maritime et terrestre)	70 - 106 (de 0 m à 3 000 m au-dessus du niveau de la mer)	kPa

Tableau 11 : Pression atmosphérique (opération de roulage, stockage, transport maritime et terrestre)

Paramètre	Valeur	Unité
Pression atmosphérique (conditions de transport aérien)	55	kPa

Tableau 12 : Pression atmosphérique (conditions de transport aérien)

## Humidité relative de l'air

Classes climatiques conformément aux normes /EN 60721-3-4/, /EN 60721-3-1/ et /EN 60721-3-2/ : 4K3, 1K5, 2K4 ; ou selon /DIN EN 50125-3/, tableau 3 : classe climatique T1.

Paramètre	Valeur	Unité
Humidité relative de l'air (opération de roulage, stockage, transport maritime et terrestre)	15 à 100	%

Tableau 13 : Humidité relative de l'air (opération de roulage, stockage, transport maritime et terrestre)

Classes climatiques conformément aux normes /EN 60721-3-4/, /EN 60721-3-1/ et /EN 60721-3-2/ : 4K3, 1K5, 2K4.

Paramètre	Valeur	Unité
Humidité relative de l'air (conditions de transport aérien)	20 à 40	%

Tableau 14 : Humidité relative de l'air (transport aérien)

## Température de l'air

Classe climatique conformément à la norme /EN 60721-3-5/ : 5K2 ; ou selon /DIN EN 50125-3/, tableau 2 : classe climatique T1 (à l'air libre).

Paramètre	Valeur	Unité
Température de l'air (opération de roulage)	-25 à + 40	°C

Tableau 15 : Température de l'air (opération de roulage)

Classes climatiques conformément aux normes /EN 60721-3-1/ et /EN 60721-3-2/ : 1K5, 2K4.

Paramètre	Valeur	Unité
Température de l'air (stockage et transport)	-40 à + 70	°C

Tableau 16 : Température de l'air (stockage et transport)

Paramètre	Valeur	Unité
Température moyenne annuelle dans les zones tempérées	10	°C
Température moyenne annuelle dans les zones subtropicales	20	°C

Tableau 17 : Températures moyennes annuelles

## Évolution des conditions météorologiques au cours d'une journée

Paramètre	Valeur	Unité
Évolution max. de la température dans une journée	40	K/jour
Évolution moyenne de la température dans une journée	15	K/jour
Évolution max. de la température en service	10	K/h
Évolution max. de la température de stockage et de transport	20	K/h

Tableau 18 : Évolution de la température

Paramètre	Valeur	Unité
Évolution max. de l'humidité de l'air	50	%

Tableau 19 : Évolution de l'humidité de l'air

Paramètre	Valeur	Unité
Évolution max. de la pression atmosphérique	10	kPa

Tableau 20 : Évolution de la pression atmosphérique

## Vent

Il doit être possible de maintenir les opérations de roulage à la vitesse maximale de tronçon à définir de manière spécifique au projet pour les vitesses de vent indiquées ci-dessous pour la zone d'action du vent II conformément à la norme /DIN EN 1991-1-4/, ce qui correspond aux sections « valeur moyenne sur 10 minutes » « tous les 10 ans ».

En cas de vitesse du vent supérieure à ces dernières, l'opération de roulage peut être poursuivie si des mesures opérationnelles supplémentaires spécifiques au projet (comme une diminution de la vitesse de circulation) et/ou des mesures particulières (par exemple des mesures constructives) sont mises en place.

Valeurs normales de la vitesse du vent en m/s dans la zone d'action du vent II conformément à la norme

/DIN EN 1991-1-4/, à une hauteur de 5 m, 10 m et 20 m :

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse du vent à une hauteur de 5 m, moyenne max. sur 10 minutes		
Par an	19,0	m/s
Tous les 10 ans	22,4	m/s
Tous les 50 ans	24,7	m/s
Tous les 100 ans	25,8	m/s

Tableau 21 : Vitesse du vent à une hauteur de 5 m, moyenne max. sur 10 minutes

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse du vent à une hauteur de 10 m, moyenne max. sur 10 minutes		
Par an	21,3	m/s
Tous les 10 ans	25,0	m/s
Tous les 50 ans	27,6	m/s
Tous les 100 ans	28,8	m/s

Tableau 22 : Vitesse du vent à une hauteur de 10 m, moyenne max. sur 10 minutes

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse du vent à une hauteur de 20 m, moyenne max. sur 10 minutes		
Par an	23,7	m/s
Tous les 10 ans	27,9	m/s
Tous les 50 ans	30,8	m/s
Tous les 100 ans	32,0	m/s

Tableau 23 : Vitesse du vent à une hauteur de 20 m, moyenne max. sur 10 minutes

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse de rafale correspondante à une hauteur de 5 m		
Par an - Valeur sur 1 seconde	30,7	m/s
Par an - Valeur sur 5 secondes	27,2	m/s
Tous les 10 ans - Valeur sur 1 seconde	36,1	m/s
Tous les 10 ans - Valeur sur 5 secondes	32,2	m/s

Tableau 24 : Vitesse de rafale correspondante à une hauteur de 5 m

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse de rafale correspondante à une hauteur de 10 m		
Par an - Valeur sur 1 seconde	33,1	m/s
Par an - Valeur sur 5 secondes	29,4	m/s
Tous les 10 ans - Valeur sur 1 seconde	39,0	m/s
Tous les 10 ans - Valeur sur 5 secondes	34,6	m/s

Tableau 25 : Vitesse de rafale correspondante à une hauteur de 10 m

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse de rafale correspondante à une hauteur de 20 m		
Par an - Valeur sur 1 seconde	35,7	m/s
Par an - Valeur sur 5 secondes	31,7	m/s
Tous les 10 ans - Valeur sur 1 seconde	42,1	m/s
Tous les 10 ans - Valeur sur 5 secondes	37,3	m/s

Tableau 26 : Vitesse de rafale correspondante à une hauteur de 20 m

Paramètre	Valeur	Unité
Durée d'application annuelle de la valeur moyenne sur 10 minutes à une hauteur de 10 m		
Vitesse du vent > 10 m/s	74	h
Vitesse du vent > 17 m/s	3	h

Tableau 27 : Durée d'application annuelle de la valeur moyenne sur 10 minutes à une hauteur de 10 m

## Pluie

Seuil pour le transport et l'exploitation conformément aux normes /EN 60721-3-2/ et /EN 60721-3-5/:2K4 : 5K3 ou, selon DIN EN 50125-3, chapitre 4.6, identique à celui de la classe climatique T1.

Paramètre	Valeur	Unité
Quantité de pluie - en général	6	mm/min
Quantité de pluie - Seuil pour le rayonnement radioélectrique	spécifique au projet *)	

\*) Les caractéristiques de diffusion des faisceaux hertziens, en particulier à hautes fréquences, dépendent entre autres des précipitations. Ces dernières créent un fort effet d'affaiblissement sur les lignes hertziennes ; c'est pourquoi des réserves de niveau doivent être tenues à disposition pour la projection des faisceaux. La pluie est l'élément qui a le plus grand impact sur cet affaiblissement et est donc utilisée pour définir la réserve de niveau. En plus d'autres facteurs comme la répartition de la taille des gouttes, l'affaiblissement sur les lignes hertziennes provoqué par la pluie dépend principalement de la pluviométrie, mesurée en mm/h.

Pour les raisons susvisées, la limite supérieure de l'intensité de la pluie en rapport avec le rayonnement radioélectrique n'est pas déterminée en fonction d'une classe climatique mais sur la base d'une analyse des statistiques pluviométriques du service météorologique local. La pluviométrie n'est cependant pas suffisante pour le site de projet concerné ; en effet, la probabilité d'atteindre la limite supérieure doit également être définie. À titre indicatif, il convient de préciser que la limite supérieure déterminée pour la pluviométrie doit être respectée avec une probabilité (dans la durée) > 99,99 % par an.

Il s'agit ici d'un seuil au sens propre, dont le dépassement conduit obligatoirement à une défaillance fonctionnelle du système. La plupart du temps, la réserve/marge du système en termes de portée radioélectrique suffit à couvrir les variations dans les tronçons de voie concernés. Normalement, les opérations de roulage ne s'en ressentent pas.

Tableau 28 : Pluviométrie

## Neige

Paramètre	Valeur	Unité
Hauteur de neige admissible sur la table de voie	10	cm

Tableau 29 : Hauteur de neige

**Verglas**

Paramètre	Valeur	Unité
Quantité de verglas admissible sur la voie		
Épaisseur de couche moyenne sur le plan de glissement	10	mm
Épaisseur de couche moyenne dans la zone de levage / guidage	5	mm
Épaisseur de couche locale max., sur 2 m de long au max. sur le plan de glissement	20	mm
Épaisseur de couche locale, sur 2 m de long au max. dans la zone de levage / guidage	10	mm

Tableau 30 : Quantité de verglas admissible sur la voie

**Rayonnements solaires**

Classes climatiques conformément aux normes /EN 60721-3-1/ à /EN 60721-3-5/ : 1K4, 2K4, 4K3, 5K3, ou /DIN EN 50125-3/ chapitre 4.9.

Paramètre	Valeur	Unité
Rayonnement global maximal par heure	1120	W/m <sup>2</sup>

Tableau 31 : Rayonnements solaires (pour le stockage, le transport et l'exploitation)

**Facteurs d'influence atmosphérique****Pluie**

Paramètre	Valeur	Unité
pH de la pluie	3,4 à 7,6 (moyenne à 5,4) *	-

\* : Le pH naturel de la pluie est environ de 5,5, alors que le pH des « pluies acides » en Allemagne se trouve dans une plage comprise entre 4 et 4,6.

Cette indication de valeur pH de la pluie est donnée de manière « significative » avec une « marge de sécurité suffisante », qui tient compte des plages de pH de la pluie moyennes observées dans la nature.

Tableau 32 : pH de la pluie

Cette indication doit être contrôlée et éventuellement adaptée en fonction du projet.

**Substances chimiques actives**

Pollution atmosphérique conformément à la norme /EN 60721-3-4/ 4C3 pour les moyennes et à la norme

/EN 60721-3-4/ 4C4 pour les valeurs limites ou de crête. Exigence concernant les valeurs moyennes identique à celle de la norme /EN 50125-3/, tableau 4, forte pollution.

Agents d'environnement	Valeur moyenne *	Valeur limite **	Unité
Sel marin	Apparition de brouillard salin		---
Dioxyde de soufre	5,0	40	mg/m <sup>3</sup>
Sulfure d'hydrogène	3,0	70	mg/m <sup>3</sup>
Chlore	0,3	3,0	mg/m <sup>3</sup>
Chlorure d'hydrogène	1,0	5,0	mg/m <sup>3</sup>
Fluorure d'hydrogène	0,1	2,0	mg/m <sup>3</sup>
Ammoniaque	10	175	mg/m <sup>3</sup>
Ozone	0,1	2,0	mg/m <sup>3</sup>
Oxyde d'azote (indiqué en valeurs équivalentes par rapport au dioxyde d'azote)	3,0	20	mg/m <sup>3</sup>
*) Indications identiques aux valeurs moyennes affectées à la classe 4C3 selon la norme EN 60721-3-4			
**) Indications identiques aux valeurs moyennes affectées à la classe 4C3 selon la norme EN 60721-3-4			

Tableau 33 : Pollution atmosphérique provoquée par des substances chimiques actives

**Substances mécaniques actives**

Pollution causée par des substances mécaniques actives conformément à la norme /EN 60721-3-4/.

Agents d'environnement	Classe		Unité
	4S1 *	4S2 **	
Sable dans l'air	30	300	mg/m <sup>3</sup>
Poussière (concentration en particules en suspension)	0,5	5	mg/m <sup>3</sup>
Poussière (précipité)	15,0	20	mg / (m <sup>2</sup> h)
*) Utilisation dans des sites faiblement peuplés, pas à proximité des sources de sable			
**) Utilisation dans des sites contenant des sources de sable ou de poussière, à compris les sites à forte densité de population			

Tableau 34 : Pollution atmosphérique provoquée par des substances mécaniques actives

## Foudre

Le système de TSM doit être protégé contre les effets de la foudre spécifiés ci-dessous. Les règles de construction locales en vigueur doivent être appliquées en ce qui concerne la protection contre la foudre assurée par la construction.

## Fréquence

Paramètre	Valeur	Unité
Coups de foudre	20 *	Nombre par km <sup>2</sup> / an

\*) Cette indication de la fréquence de la foudre est donnée de manière significative avec une « marge de sécurité » suffisante par rapport aux « caractéristiques de la foudre » moyennes observées dans la nature, sur la base de l'étude de /WIESINGER/.

Tableau 35 : Fréquence des coups de foudre

## Intensité

Conformément à la norme /DIN EN 62305-1/ (VDE 0185-305-1).

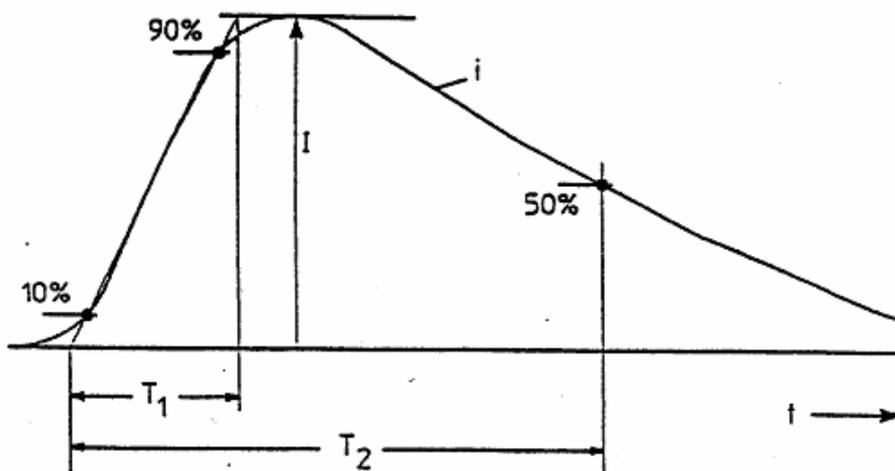


Figure 34 : Premier choc de décharge de la foudre et choc de décharge résiduel

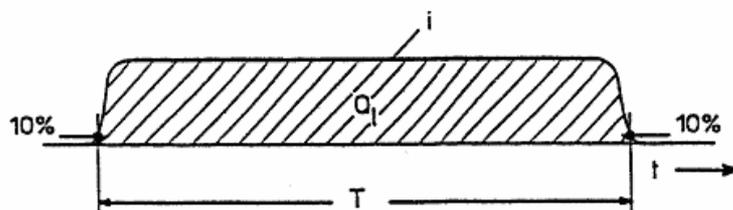


Figure 35 : Choc de décharge longue durée

**Paramètres du courant du premier choc de décharge de la foudre**

Paramètre	Valeur	Unité
Courant de crête I	200	kA
Durée du front $T_1$	10	$\mu$ s
Durée jusqu'à la mi-valeur $T_2$	350	$\mu$ s
Charge du choc de décharge instantané $Q_s$	100	C
Énergie spécifique W/R	10	MJ/ $\Omega$

Tableau 36 : Paramètres du courant du premier choc de décharge de la foudre (cf. Figure 34)

**Paramètres du courant du choc de décharge résiduel de la foudre**

Paramètre	Valeur	Unité
Courant de crête I	50	kA
Durée du front $T_1$	0,25	$\mu$ s
Durée jusqu'à la mi-valeur $T_2$	100	$\mu$ s
Pente moyenne $I/T_1$	200	kA/ $\mu$ s

Tableau 37 : Paramètres du courant du choc de décharge résiduel de la foudre (cf. Figure 34)

**Paramètres du courant du choc de décharge longue durée de la foudre**

Paramètre	Valeur	Unité
Charge $Q_l$	200	C
Durée T	0,5	s

Tableau 38 : Paramètres du courant du choc de décharge longue durée de la foudre (cf. Figure 35)

**Intensité des champs électrique et magnétique**

Paramètre	Valeur	Unité
dH/dt	$3,2 \cdot 10^{11}$	A/(m*s)
H	$3,2 \cdot 10^5$	A/m
dE/dt	$5,0 \cdot 10^{11}$	V/(m*s)
E	$5 \cdot 10^5$	V/m

Tableau 39 : Distance par rapport au trajet de courant principal de la foudre : 0,1 m

Paramètre	Valeur	Unité
dH/dt	$3,2 \cdot 10^{10}$	A/(m*s)
H	$3,2 \cdot 10^4$	A/m
dE/dt	$5,0 \cdot 10^{11}$	V/(m*s)
E	$5 \cdot 10^5$	V/m

Tableau 40 : Distance par rapport au trajet de courant principal de la foudre : 1 m Séismes

Les règles de construction locales en vigueur doivent être appliquées de manière spécifique au projet en ce qui concerne la protection contre les séismes lors du dimensionnement des bâtiments. Pour les projets réalisés en Allemagne, les intensités de séismes pertinentes doivent être définies pour chaque projet conformément à la norme /DIN 4149/, « Bâtiments dans les zones sismiques allemandes » et prises en compte pour le dimensionnement des bâtiments.

## Immunité contre les perturbations électromagnétiques

L'immunité des parties de système de TSM contre l'action des perturbations doit fondamentalement être conforme à la norme européenne DIN EN 50121 (Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique). Les caractéristiques de performance réglementaires du système de TSM ne doivent pas subir de variation supérieure aux seuils déterminés ci-dessous pour les intensités des champs parasites et les perturbations sur les équipements de liaison indiquées.

Parties du système	Seuil à consulter dans la norme
Installations et équipements de propulsion et d'approvisionnement en énergie à poste fixe	DIN EN 50121-5
Rame	DIN EN 50121-3-1
Appareils embarqués dans les rames	DIN EN 50121-3-2
Équipement pour la signalisation et les télécommunications, y compris les radiocommunications de la BLT	DIN EN 50121-4

Tableau 41 : Normes européennes concernant l'immunité des parties de système de TSM

## **Spécification des paramètres relatifs à l'environnement secondaire**

Ce chapitre contient les paramètres relatifs à l'environnement secondaire des parties de système des rames de TSM et des installations de service. Pour ce faire, des zones d'environnement et

des zones CEM / de protection contre la foudre conformes à la norme /DIN EN 62305-1/ (VDE 0185-305-1) sont déterminées.

Les valeurs indiquées ci-dessous se basent sur expériences rencontrées en cours d'exploitation par rapport à l'environnement secondaire. Les prescriptions du présent document correspondent à l'état actuel des connaissances et doivent être confirmées ou modifiées et vérifiées pour chaque projet individuel. Les valeurs modifiées doivent être indiquées dans la documentation spécifique du projet (spécifications des fournisseurs, rapports techniques). En l'absence d'accord explicite, les valeurs établies par le présent document s'appliquent.

*Les expériences engrangées en service utilisées comme base pour l'élaboration de ce document proviennent des rames de TSM TR07 et TR08 du TVE et du projet Transrapid de Shanghai.*

Les paramètres afférents aux zones CEM / de protection contre la foudre doivent tenir compte de l'action électromagnétique de rayonnement provoquée par les coups de foudre ainsi que par les perturbations de champ de tous types, par exemple en rapport avec les émetteurs de radio-communications.

## **Environnement secondaire dans une rame de TSM**

Les exigences visées ci-dessous s'appliquent à tous les composants et éléments dans et sur les rames de TSM.

Les zones d'environnement de la rame de TSM sont représentées dans la Figure 36.

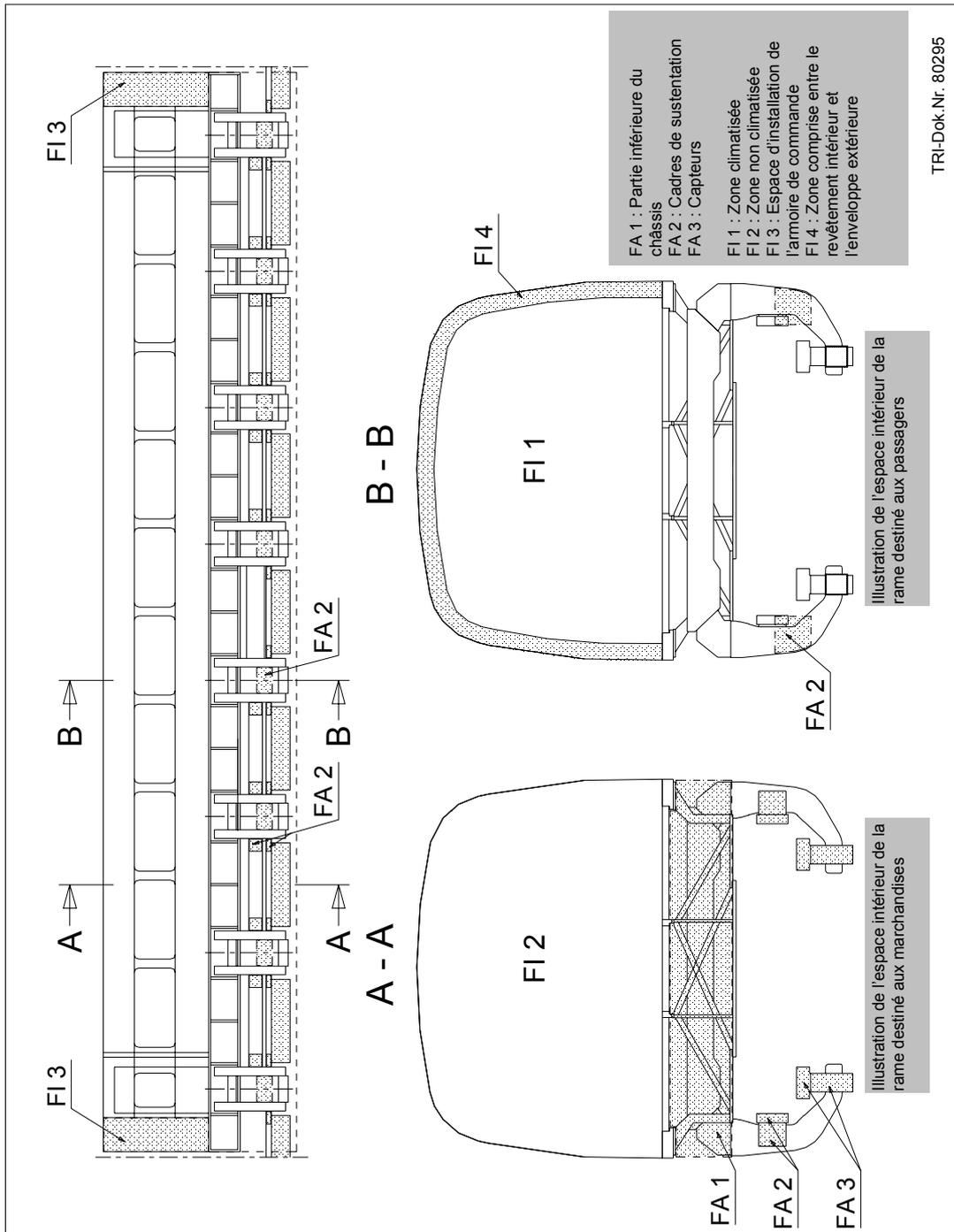


Figure 36 : Zones d'environnement de la rame de TSM (disposition indicative)

Espace extérieur d'une rame (FA) :

- Partie inférieure du châssis (FA1)  
Espace d'installation des modules électriques / électroniques, des gaines de câbles, des équipements d'alimentation d'énergie pneumatique
- Cadres de sustentation (FA2)
  - Espace d'installation des aimants de guidage
  - Espace d'installation des aimants de freinage
  - Espace d'installation du système électronique de détection
  - Technique d'habillage/revêtement et mécanique structurelle des cadres de sustentation
- Espace d'installation (F3)
  - Des aimants de levage
  - Des capteurs.

Espace intérieur d'une rame (FI) :

- Zone climatisée (FI1)  
Espace d'installation des équipements de service / communication / maintenance
- Zone non climatisée (FI2)  
Espace d'installation du chargement
- Armoire de commande de la voiture de rame (FI3)  
Espace d'installation des équipements de commande / sécurité
- Enveloppe / paroi latérale derrière le revêtement (FI4)  
Espace d'installation des câbles, de l'éclairage.

**Espaces extérieurs d'une rame (FA)****Espace extérieur - Partie inférieure du châssis (FA1)**

Paramètre	Valeur	Unité
Température		
Température de service min. des modules électroniques / batteries *)	-25	°C
Augmentation max. de température par rapport à l'environnement primaire	10	K
Augmentation moyenne de température par rapport à l'environnement primaire	5	K

\*) En cas d'utilisation avec une température de l'air extérieur comprise entre -25 et -40 °C, il convient de s'assurer que :

- la température de service min. du module soit toujours respectée pendant les opérations de roulage
- les rames abaissées ne puissent refroidir à une température inférieure à -25 °C avant d'être équipées et pendant qu'elles sont mises à disposition en vue d'une opération de roulage.

Paramètre	Valeur	Unité
-----------	--------	-------

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 3 Conditions environnementales

**Principes d'exécution**

Paramètre	Valeur	Unité
Humidité (humidité relative de l'air)		
Moyenne annuelle	≤90	%
Valeur maximale relevée sur 30 jours répartis dans l'année	100	%
Condensation	oui	-

Paramètre	Valeur	Unité
Pollution		
Indice de pollution conformément à la norme /DIN EN 60664-1/	4	-
Classe de protection des appareils intégrés conformément à la norme /DIN EN 60529/	IP 65	-

Tableau 42 : Température, humidité et pollution dans l'espace FA1

**Espace extérieur - Cadres de sustentation (FA2)**

Paramètre	Valeur	Unité
Température		
Température de service min. des modules électroniques / batteries *)	-25	°C
Augmentation max. de température par rapport à l'environnement primaire	10	K
Augmentation moyenne de température par rapport à l'environnement primaire	5	K

\*) En cas d'utilisation avec une température de l'air extérieur comprise entre -25 et -40 °C, il convient de s'assurer que :

- la température de service min. du module soit toujours respectée pendant les opérations de roulage,
- les rames abaissées ne puissent refroidir à une température inférieure à -25 °C avant d'être équipées et pendant qu'elles sont mises à disposition en vue d'une opération de roulage.

Paramètre	Valeur	Unité
Humidité (humidité relative de l'air)		
Moyenne annuelle	≤90	%
Valeur maximale relevée sur 30 jours répartis dans l'année	100	%
Condensation	oui	-

Paramètre	Valeur	Unité
Pollution		
Indice de pollution conformément à la norme /DIN EN 60664-1/	4	-
Classe de protection des appareils intégrés conformément à la norme /DIN EN 60529/	IP 65	-

Tableau 43 : Température, humidité et pollution dans l'espace FA2

**Espace extérieur - Espace d'installation des aimants de guidage, des capteurs (FA3)**

Paramètre	Valeur	Unité
Température		
Température de service min. des modules électroniques / batteries *)	-25	°C
Augmentation max. de température par rapport à l'environnement primaire Espace d'installation du système électronique de détection implanté dans la face arrière des aimants	25	K
Augmentation max. de température par rapport à l'environnement primaire Espace d'installation des capteurs implantés dans la zone des pôles de l'aimant sur la face tournée vers l'enroulement	80	K
Augmentation moyenne de température par rapport à l'environnement primaire Espace d'installation du système électronique de détection implanté dans la face arrière des aimants	10	K
Augmentation moyenne de température par rapport à l'environnement primaire Espace d'installation des capteurs implantés dans la zone des pôles de l'aimant sur la face tournée vers l'enroulement	30	K

\*) En cas d'utilisation avec une température de l'air extérieur comprise entre -25 et -40 °C, il convient de s'assurer que :

- la température de service min. du module soit toujours respectée pendant les opérations de roulage,
- les rames abaissées ne puissent refroidir à une température inférieure à -25 °C avant d'être équipées et pendant qu'elles sont mises à disposition en vue d'une opération de roulage.

Paramètre	Valeur	Unité
Humidité (humidité relative de l'air)		
Moyenne annuelle	≤90	%
Valeur maximale relevée sur 30 jours répartis dans l'année	100	%
Condensation	oui	-

Paramètre	Valeur	Unité
Pollution		
Indice de pollution conformément à la norme /DIN EN 60664-1/	4	-
Classe de protection des appareils intégrés conformément à la norme /DIN EN 60529/	IP 65	-

Tableau 44 : Température, humidité et pollution dans l'espace FA3

**Espaces intérieurs d'une rame (FI)****Espace intérieur - Zone climatisée (FI1)**

Paramètre	Valeur	Unité
Température		
Température min. de l'espace intérieur *)	5	°C
Température moyenne au cours des opérations de roulage (installation de climatisation activée)	**)	
Augmentation max. de température par rapport à l'environnement primaire au cours des opérations de roulage (installation de climatisation désactivée)	10	K

\*) Les rames abaissées à l'arrêt sont climatisées de telle sorte que la température min. de l'espace intérieur soit respectée. Les opérations de maintenance impliquant le démontage des rames sont réalisées dans des locaux chauffés. Le contrôle de la température min. de l'espace intérieur après des opérations de maintenance est effectué avec la climatisation désactivée, conformément au manuel de maintenance.

\*\*\*) La température moyenne de l'espace intérieur suit la courbe de température représentée à l'annexe A de la norme /DIN EN 14750-1/, en fonction de la température extérieure.

Paramètre	Valeur	Unité
Humidité (humidité relative de l'air)		
Moyenne annuelle	≤65	%
Valeur maximale relevée sur 60 jours répartis dans l'année	85	%
Condensation	non	-

Paramètre	Valeur	Unité
Pollution		
Indice de pollution conformément à la norme /DIN EN 60664-1/	2	-
Classe de protection conformément à la norme /DIN EN 60529/	IP 54	-

Tableau 45 : Température, humidité et pollution dans l'espace FI1

**Espace intérieur - Zone non climatisée (FI2)**

Paramètre	Valeur	Unité
Température		
Température min. de l'espace intérieur	-25	°C
Température moyenne au cours des opérations de roulage (installation de climatisation activée)	-----	-
Augmentation max. de température par rapport à l'environnement primaire au cours des opérations de roulage (installation de climatisation désactivée)	10	K

Paramètre	Valeur	Unité
Humidité (humidité relative de l'air)		
Moyenne annuelle	≤65	%
Valeur maximale relevée sur 60 jours répartis dans l'année	85	%
Condensation	Légère condensation	-

Paramètre	Valeur	Unité
Pollution		
Indice de pollution conformément à la norme /DIN EN 60664-1/	2	-
Classe de protection conformément à la norme /DIN EN 60529/	IP 54	-

Tableau 46 : Température, humidité et pollution dans l'espace FI2

### Espace intérieur - Armoire de commande de la voiture de rame (FI3)

Paramètre	Valeur	Unité
Température		
Température min. de l'espace intérieur *)	5	°C
Température moyenne au cours des opérations de roulage (installation de climatisation activée)	25	°C
Augmentation max. de température par rapport à l'environnement primaire au cours des opérations de roulage (installation de climatisation désactivée **)	10	K
Augmentation max. de température par rapport à l'environnement primaire au cours des opérations de roulage (installation de climatisation désactivée ***)	5	K

\*) Les rames abaissées à l'arrêt sont climatisées de telle sorte que la température min. de l'espace intérieur soit respectée. Les opérations de maintenance impliquant le démontage des rames sont réalisées dans des locaux chauffés. Le contrôle de la température min. de l'espace intérieur après des opérations de maintenance est effectué avec la climatisation désactivée, conformément au manuel de maintenance.

\*\*) Le contrôle de la température de l'espace intérieur après des opérations de maintenance est effectué avec la climatisation désactivée, conformément au manuel de maintenance.

\*\*\*) En cas d'utilisation avec une température de l'air extérieur de plus de 40 à 45 °C, une ventilation de l'espace d'installation par air ambiant est réalisée.

Paramètre	Valeur	Unité
Humidité (humidité relative de l'air)		
Moyenne annuelle	≤65	%
Valeur maximale relevée sur 60 jours répartis dans l'année	85	%
Condensation	non	-

Paramètre	Valeur	Unité
-----------	--------	-------

Paramètre	Valeur	Unité
Pollution		
Indice de pollution conformément à la norme /DIN EN 60664-1/	2	-
Classe de protection conformément à la norme /DIN EN 60529/	IP 54	-

Tableau 47 : Température, humidité et pollution dans l'espace F13

**Espace intérieur - Enveloppe / paroi latérale derrière le revêtement (F14)**

Paramètre	Valeur	Unité
Température		
Température min. de l'espace intérieur	- 25	°C
Température moyenne au cours des opérations de roulage (installation de climatisation activée)	----	-
Augmentation max. de température par rapport à l'environnement primaire au cours des opérations de roulage (installation de climatisation désactivée)	15	K

Paramètre	Valeur	Unité
Humidité (humidité relative de l'air)		
Moyenne annuelle	≤65	%
Valeur maximale relevée sur 60 jours répartis dans l'année	85	%
Condensation	non	-

Paramètre	Valeur	Unité
Pollution		
Indice de pollution conformément à la norme /DIN EN 60664-1/	2	-
Classe de protection conformément à la norme /DIN EN 60529/	IP 54	-

Tableau 48 : Température, humidité et pollution dans l'espace F14

## Excitation mécanique

Lorsque la rame passe sur les supports, elle est soumise à des vibrations. Les valeurs indiquées ci-dessous doivent être interprétées comme des actions appliquées sur les modules des espaces extérieurs.

Source	Longueur	Fréquence max. *)
Portée des supports de voie, courbure des supports et variation de grande amplitude par rapport à la position théorique	31 m	4,5 Hz
Paquet de tôles statoriques, tolérances de mise en œuvre	1,032 m	135 Hz
Pas des encoches du stator	86 mm	1,6 kHz

\*) Le cas échéant, un effet moindre est constaté si une vitesse maximale de la rame inférieure à 500 km/h est prévue pour un projet d'application spécifique.

Tableau 49 : Sources d'excitation vibrationnelle si  $v = 500$  km/h.

Les effets induits par les vibrations et les chocs sont présentés dans le document /MSB AG-FZ BEM/.

## Protection contre les ESD

L'environnement secondaire dans la rame peut être chargé électrostatiquement en raison de la sustentation sans contact avec les installations stationnaires. La décharge électrostatique de l'environnement secondaire dans la rame doit être réalisée pour des raisons de protection des personnes, de telle sorte que l'énergie résiduelle après décharge soit inférieure à 350 mJ, conformément au § 17, paragraphe 4, du règlement MbBO.

## CEM / Protection contre la foudre

### Définition de zones CEM / de protection contre la foudre

Les zones CEM / de protection contre la foudre doivent être séparées les unes des autres par des blindages électromagnétiques.

Les câbles et conduites qui dépassent les limites de ces zones doivent être munis de couplages de protection.

Quatre zones CEM / de protection contre la foudre sont prévues pour la rame ; ces zones sont caractérisées par les dangers ci-dessous (cf.

	Entre les traverses
Kabelkanal Wagenkasten Schaltschrank z.B. geschirmter Kartenträger Signalverkabelung Innerhalb von Gehäuser Zone 2, optional Gestellbügel Kabelkanal Quertraverse	Gaines de câbles Caisse de wagon Armoire de commande Par exemple support de carte blindé Câblage de signalisation Intérieur des enveloppes Zone 2, en option Jambage du châssis Gaine de câbles Traverse
	Zone CEM / de protection contre la foudre $0_A$ Zone CEM / de protection contre la foudre $0_B$ Zone CEM / de protection contre la foudre 1 Zone CEM / de protection contre la foudre 2  Limite des zones Module principal
	<b>Zone des traverses</b>

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 3 Conditions environnementales

Quertraverse Gestellbügel Kabelkanal	Traverse Jambage du châssis Gaine de câbles
--	---

Figure 39) :

### **Zone 0<sub>A</sub>**

- Coups de foudre directs possibles
- Trajets de courant principal et partiels de la foudre dans cette zone
- Aucun affaiblissement de l'effet de champ

### **Zone 0<sub>B</sub>**

- Coups de foudre directs impossibles
- Pas de trajets de courant principal et partiels de la foudre
- Quasiment aucun affaiblissement de l'effet de champ

### **Zone 1**

- Coups de foudre directs impossibles
- Pas de trajets de courant principal et partiels de la foudre
- L'affaiblissement des champs doit respecter les valeurs minimales ci-dessous :
  - pour les champs magnétiques : selon la Figure 37
  - pour les champs électriques : selon la Figure 38

### **Zone 2**

- Coups de foudre directs impossibles
- Pas de trajets de courant principal et partiels de la foudre
- L'affaiblissement des champs doit respecter les valeurs minimales ci-dessous :
  - pour les champs magnétiques par rapport à la zone 0<sub>A</sub> : selon la Figure 37
  - pour les champs magnétiques par rapport à la zone 1 : selon la Figure 37
  - pour les champs électriques par rapport à la zone 0<sub>A</sub> : selon la Figure 38
  - pour les champs électriques par rapport à la zone 1 : selon la Figure 38

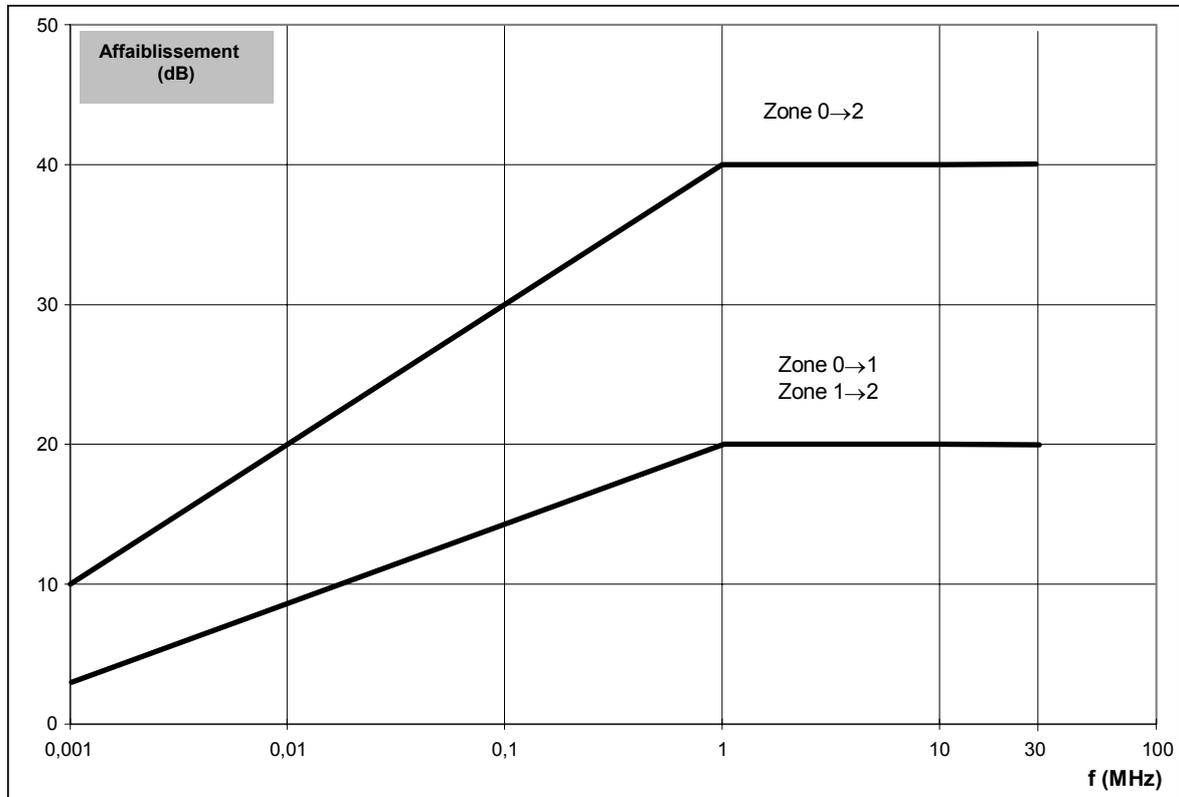


Figure 37 : Affaiblissement du champ magnétique

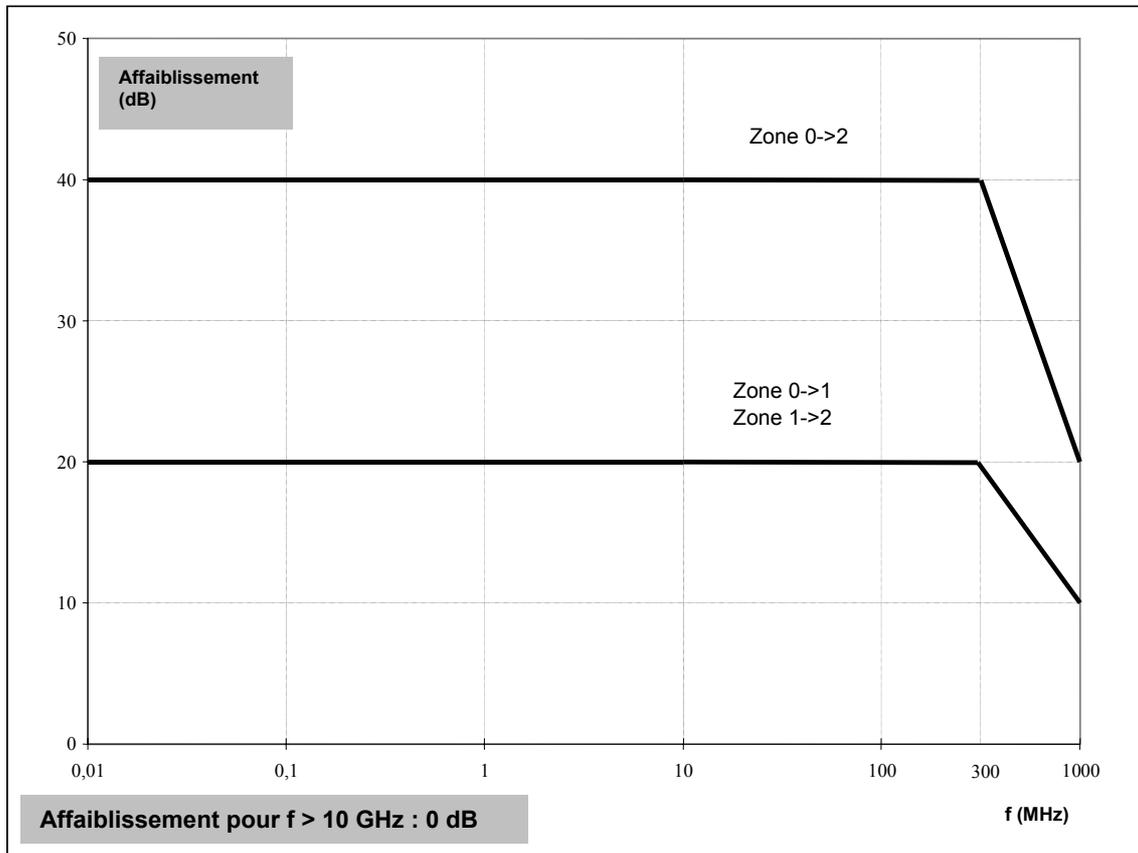


Figure 38 : Affaiblissement du champ électrique

**Affectation des zones CEM / de protection contre la foudre aux espaces d'installation**

Les zones CEM / de protection contre la foudre sont affectées comme suit aux espaces d'installation :

**Zone 0<sub>A</sub>**

- Zone extérieure
- Partie inférieure du châssis non protégée ou non blindée

**Zone 0<sub>B</sub>**

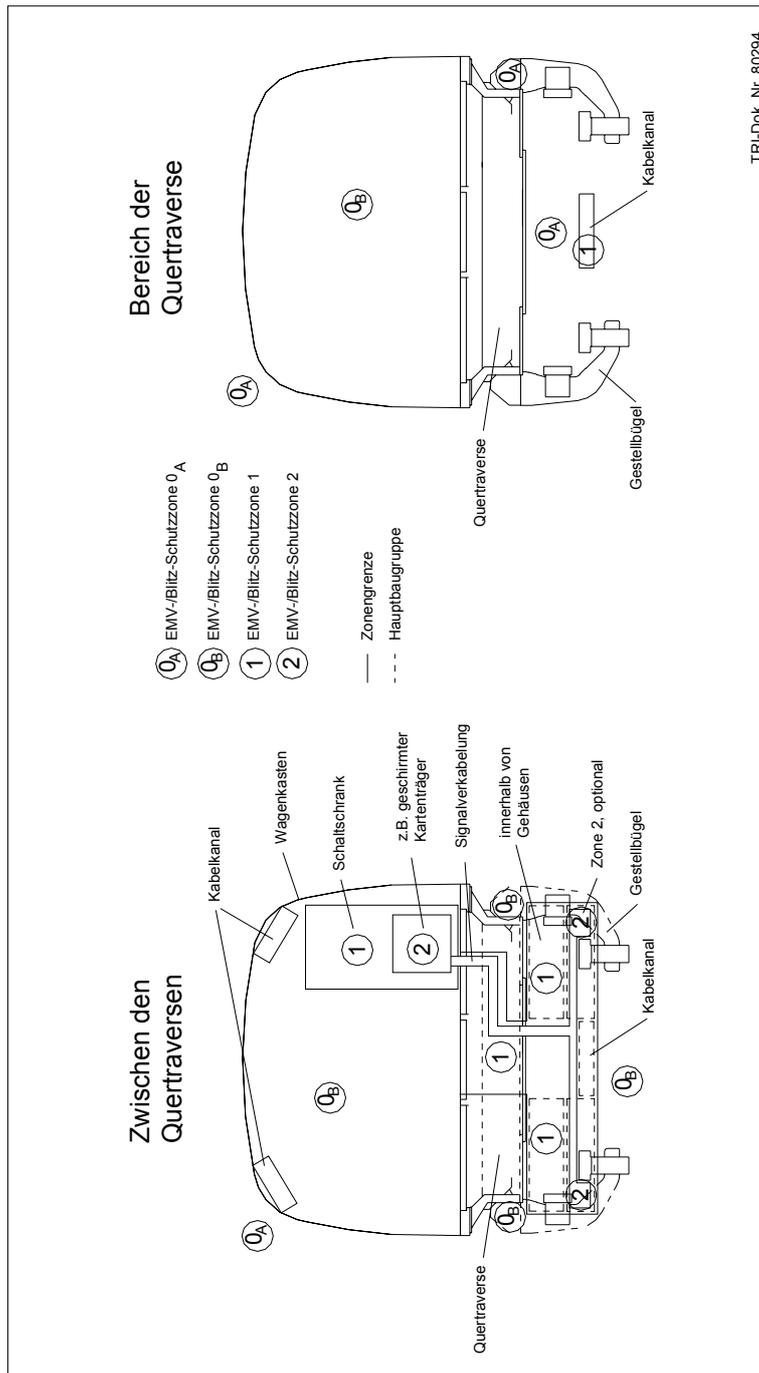
- Intérieur de la caisse de wagon, en dehors des armoires de commande et autres blindages
- Partie inférieure du châssis protégée contre les courants de foudre principal et partiels

**Zone 1**

- Gaines de câbles blindées
- Espace intérieur des armoires de commande à l'intérieur des caisses de wagon
- Fils à l'intérieur d'un câble à blindage simple
- Espaces intérieurs des enveloppes

**Zone 2**

Intérieur des enveloppes ou des blindages de câble. Les enveloppes et les câbles peuvent se trouver en zone 0<sub>A</sub>, 0<sub>B</sub> ou 1. Les valeurs d'affaiblissement du blindage imposées doivent être respectées.



TRI-Dok. Nr. 80294

	Entre les traverses
Kabelkanal	Gaines de câbles
Wagenkasten	Caisse de wagon
Schaltschrank	Armoire de commande
z.B. geschirmter Kartenträger	Par exemple support de carte blindé
Signalverkabelung	Câblage de signalisation
Innerhalb von Gehäusen	Intérieur des enveloppes
Zone 2, optional	Zone 2, en option
Gestellbügel	Jambage du châssis
Kabelkanal	Gaine de câbles
Quertraverse	Traverse
	Zone CEM / de protection contre la foudre $\odot_A$

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 3 Conditions environnementales

	Zone CEM / de protection contre la foudre 0 <sub>B</sub> Zone CEM / de protection contre la foudre 1 Zone CEM / de protection contre la foudre 2  Limite des zones Module principal
	<b>Zone des traverses</b>
Querttraverse Gestellbügel Kabelkanal	Traverse Jambage du châssis Gaine de câbles

Figure 39 : Zones CEM / de protection contre la foudre de la rame de TSM

### Coups de foudre directs - Indices de risques pour les zones CEM / de protection contre la foudre 0<sub>A</sub>

Au moins deux points de sortie de la foudre et donc au moins deux trajets de courant de foudre doivent être pris en compte en cas de coup de foudre dans la rame.

Lors de la conception des conducteurs de liaison équipotentielle parcourus par le courant de foudre, des mesures de blindage et des composants électroniques, il convient d'envisager l'apparition de deux courants partiels de choc de foudre présentant les mêmes paramètres de foudre.

Ainsi, les paramètres de réduction ci-dessous s'appliquent par rapport aux paramètres de la foudre visés au chapitre 0 :

- Crête du courant de foudre : 2
- Décharge du courant de foudre : 2
- Énergie spécifique de la foudre : 4

Pour le courant de longue durée, les paramètres du chapitre 0 sont utilisés.

Lors de la détermination du seuil pour le risque de foudre, la distance minimale entre la source négative et les trajets de courant de foudre est estimée à 0,1 m.

Cette distance minimale doit être assurée par des mesures de construction. Si la distance réelle est plus élevée, les indices de risques décroissent proportionnellement à ladite distance.

Les indices de risques maximaux induits par les champs magnétiques H ou dH/dt sont calculés en fonction de cette distance et des valeurs maximales du courant de foudre I ou dI/dt, conformément à la norme /DIN EN 62305-4/.

H et I sont calculés à partir du premier choc de foudre, dH/dt et dI/dt à partir des chocs résiduels.

Jusqu'à une distance de 100 m environ du point d'impact, le champ électrique E ou dE/dt est largement indépendant de la distance, conformément à la norme /DIN EN 62305-4/.

### Courant de foudre

Courant de foudre (cf. Figure 35 et Figure 34) :

Paramètre	Valeur	Unité
Courant de crête I	100	kA
Charge du choc de décharge instantané Q <sub>s</sub>	50	C

**Principes d'exécution**

Énergie spécifique W/R	2,5	MJ/Ω
------------------------	-----	------

Tableau 50 : Paramètres du courant du premier choc de décharge de la foudre

Paramètre	Valeur	Unité
Courant de crête I	25	kA
Pente moyenne I/T <sub>1</sub>	100	kA/μs

Tableau 51 : Paramètres du courant du choc de décharge résiduel de la foudre

Paramètre	Valeur	Unité
Crête du courant sur le trajet de courant principal de la foudre	100	kA
Crête du courant sur les trajets de courant partiels de la foudre	5	kA
Courbe de courant	Identique à celle du premier choc de décharge de la foudre, cf. Figure 34	-

Tableau 52 : Courants sur les trajets de courant principal et partiels de la foudre

**Champs et tensions induites**

Paramètre	Zones CEM / de protection contre la foudre				Unité
	0 <sub>A</sub>	0 <sub>B</sub>	1	2	
dH/dt	1,6·10 <sup>11</sup>	1,6·10 <sup>11</sup>	1,6·10 <sup>10</sup>	1,6·10 <sup>9</sup>	A/ms
H	1,6·10 <sup>5</sup>	1,6·10 <sup>5</sup>	1,0·10 <sup>5</sup>	6,3·10 <sup>4</sup>	A/m
dE/dt	5,0·10 <sup>11</sup>	<5,0·10 <sup>11</sup>	<5,0·10 <sup>10</sup>	<5,0·10 <sup>9</sup>	V/ms
E	5,0·10 <sup>5</sup>	<5,0·10 <sup>5</sup>	<5,0·10 <sup>4</sup>	<5,0·10 <sup>3</sup>	V/m

Tableau 53 : Champs et variations de champs ; distance par rapport au trajet de courant de la foudre : 0,1 m

Paramètre	Zones CEM / de protection contre la foudre				Unité
	0 <sub>A</sub>	0 <sub>B</sub>	1	2	
dH/dt	1,6·10 <sup>10</sup>	1,6·10 <sup>10</sup>	1,6·10 <sup>9</sup>	1,6·10 <sup>8</sup>	A/ms
H	1,6·10 <sup>4</sup>	1,6·10 <sup>4</sup>	1,0·10 <sup>4</sup>	6,3·10 <sup>3</sup>	A/m
dE/dt	5,0·10 <sup>11</sup>	<5,0·10 <sup>11</sup>	<5,0·10 <sup>10</sup>	<5,0·10 <sup>9</sup>	V/ms
E	5,0·10 <sup>5</sup>	<5,0·10 <sup>5</sup>	<5,0·10 <sup>4</sup>	<5,0·10 <sup>3</sup>	V/m

Tableau 54 : Champs et variations de champs ; distance par rapport au trajet de courant de la foudre : 1 m

Paramètre	Zones CEM / de protection contre la foudre	Unité
-----------	--	-------

	0 <sub>A</sub>	0 <sub>B</sub>	1	2	
U <sub>ind</sub> dans une boucle de mesure de 10x10 cm à une spire	2 000	2 000	200	20	V
U <sub>ind</sub> dans un câble à deux fils, écart entre les fils : 1 cm, longueur : 1 m	20 000	20 000	2 000	200	V

Tableau 55 : Tensions induites par le champ magnétique lors d'un coup de foudre ; distance par rapport au trajet de courant de la foudre : 0,1 m

Paramètre	Zones CEM / de protection contre la foudre				Unité
	0 <sub>A</sub>	0 <sub>B</sub>	1	2	
U <sub>ind</sub> dans une boucle de mesure de 10x10 cm à une spire	200	2 00	20	2	V
U <sub>ind</sub> dans un câble à deux fils, écart entre les fils : 1 cm, longueur : 1 m	2 000	2 000	200	20	V

Tableau 56 : Tensions induites par le champ magnétique lors d'un coup de foudre ; distance par rapport au trajet de courant de la foudre : 1 m

### Perturbations dues aux rayonnements

L'immunité de la rame de TSM face aux perturbations dues aux rayonnements doit être conforme aux exigences de la norme /DIN EN 50121/, partie 3-1. Quant à l'immunité face aux rayonnements des appareils et des équipements intégrés dans la rame, ils doivent satisfaire aux exigences de la norme /DIN EN 50121/, partie 3-2.

Des mesures de construction doivent garantir le respect à long terme des exigences susvisées.

### Seuils de l'immunité face aux champs haute fréquence

Paramètre	Zones CEM / de protection contre la foudre			
	0 <sub>A</sub>	0 <sub>B</sub>	1	2
Intensités de champs en [V/m]				
Plage de fréquences 0,15 MHz - 1 GHz	20	20	< 12	< 1,2
Plage de fréquences 1 - 4 GHz				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espace intérieur de la rame (FI - FI3) - avec une distance minimale par rapport aux téléphones mobiles de 0,2 m -</li> <li>• Partie inférieure du châssis (FA1 - FA3) - avec une distance minimale par rapport aux téléphones mobiles de 0,4 m -</li> </ul>	20	20	< 20	< 20
Plage de fréquences 37 - 39,5 GHz				
- Espace intérieur de la rame (FI - FI3)		2,1	< 2,1	< 2,1

Paramètre	Zones CEM / de protection contre la foudre			
	- Partie inférieure du châssis (FA1 - FA3)  - Intensités de champs considérablement réduites par rapport à l'environnement primaire car les zones de protection contre la foudre sont hors de la portée du rayonnement radioélectrique -	0,21	0,21	< 0,21

Tableau 57 : Intensités des champs électromagnétiques parasites dans les zones CEM / de protection contre la foudre

### Seuils de l'immunité face aux champs magnétiques

Paramètre	Zones CEM / de protection contre la foudre			
	Intensité du champ magnétique permanent en [A/m]	0 <sub>A</sub>	0 <sub>B</sub>	1
16 2/3 Hz	100	100	100	100
50 Hz	100	100	100	100

Tableau 58 : Intensité du champ magnétique parasite dans les zones CEM / de protection contre la foudre

Il convient d'estimer que les champs de la zone 0<sub>B</sub> sont atténués par rapport à ceux de la zone 0<sub>A</sub> en raison des caisses de wagon. Néanmoins, étant donné que l'affaiblissement par les caisses de wagon n'a pas été mesuré de manière spécifique, il est jugé nul (valeur 0, ou sans affaiblissement).

Les résonances spatiales potentielles dans l'espace intérieur de la rame et les champs des téléphones mobiles sont intégrés dans les valeurs de niveau de la zone 0<sub>B</sub>.

Des marges de construction et/ou des opérations de maintenance permettent de maintenir l'atténuation de protection dans les zones 1 et 2.

## Environnement secondaire dans les installations de service

L'exploitation réglementaire des installations de service indiquées ci-après doit garantir le respect des conditions environnementales secondaires spécifiées dans les sous-chapitres ci-dessous.

### Environnement secondaire au niveau du stator long

*Les conditions environnementales secondaires mentionnées ci-après pour l'enroulement du stator long s'appliquent également comme il convient aux équipements et éléments intégrés des supports de voie.*

Il doit être noté que les conditions environnementales secondaires dépendent de l'exécution des supports de voie et des infrastructures.

Les valeurs visées ci-dessous doivent être vérifiées et établies pour chaque projet spécifique.

### Température

Paramètre	Valeur	Unité
Augmentation max. de température de l'espace d'installation du stator long par rapport à l'environnement primaire	5	K

Tableau 59 : Température

**Contraintes mécaniques de l'enroulement du stator long**

Les effets ci-dessous, provenant des supports de voie, doivent être pris en compte pour déterminer les contraintes mécaniques :

- Effets résultant de la déformation statique et dynamique du support due au service et aux vibrations propres du support, qui peuvent en particulier être générées par les passages à allure réduite des rames de TSM.
- Effets résultant de la déformation du support en raison des fluctuations de température
  - Dilatation linéaire
  - Déformation causée par une répartition hétérogène de la température
- Déformation des infrastructures due au service (propulsion / freinage)

En outre, les comportements vibratoires propres des différents équipements et éléments intégrés doivent être pris en compte pour définir les contraintes mécaniques.

Paramètre	Valeur	Unité
Action de la vibration du support de la voie sur l'enroulement du stator long		
Fréquence max.	35	Hz
Accélération dans le sens x (RMS)	20	m/s <sup>2</sup>
Accélération dans le sens y (RMS)	50	m/s <sup>2</sup>
Accélération dans le sens z (RMS)	50	m/s <sup>2</sup>
Durée d'application quotidienne de l'effet (cumulée)	5	Min

Tableau 60 : Effets vibratoires types agissant sur le stator long

Paramètre	Valeur	Unité
Mouvement mécanique au niveau des joints du support		
Limite de l'écart par rapport à la dimension nominale	-32 à +63	mm

Tableau 61 : Écart par rapport à la dimension nominale au niveau des joints du support

Paramètre	Valeur	Unité
Cycle de mouvements au niveau des joints du support en raison de l'évolution de la température		
Variation quotidienne maximale des joints de dilatation du support dans le sens x	30	mm

Paramètre	Valeur	Unité
Variation quotidienne moyenne des joints de dilatation du support dans le sens x	12	mm
Variation annuelle moyenne des joints de dilatation du support dans le sens x	12	mm

Tableau 62 : Action thermique sur les joints du support

Paramètre	Valeur	Unité
Cycle de mouvement créé par les effets dus au service		
Nombre max. de cycles	200	1/jour
Durée min. d'un cycle, définie avec un train de longueur min.	1	s
Variation maximale des joints de dilatation du support dans le sens x (à la vitesse maximale)	3,5	mm
Variation moyenne des joints de dilatation du support dans le sens x (à la vitesse maximale)	2	mm

Tableau 63 : Action due à l'accélération et au ralentissement de la rame et variation des joints de dilatation du support qui en résulte

## Indice de pollution

Les exigences de la norme /DIN EN 60664-1/ pour l'indice de pollution 4 doivent être respectées.

## CEM / Protection contre la foudre

Les exigences définies dans la norme /DIN EN 62305-4/ pour LPZ 0<sub>B</sub> doivent être satisfaites.

## Environnement secondaire à l'intérieur des bâtiments (par exemple sous-stations, postes de commande, postes d'aiguillage)

Les valeurs doivent être définies pour chaque projet spécifique pour les locaux de service climatisés.

## Climat

À déterminer en fonction du projet.

## Indice de pollution

Les exigences de la norme /DIN EN 60664-1/ pour l'indice de pollution 2 doivent être respectées.

## CEM / Protection contre la foudre

Les exigences visées dans la norme /DIN EN 62305-4/ pour LPZ 0<sub>B</sub> doivent au moins être satisfaites.

Si nécessaire, l'affectation de certains espaces à des zones LPZ 1 ou LPZ 2 doit être réalisée dans le cadre de la conception CEM du bâtiment.

**Conditions environnementales des sections de voie couvertes**

Les variations ci-dessous doivent être respectées pour les sections de voie couvertes, par rapport aux sections de voie qui sont directement exposées aux effets de l'environnement primaire :

Caractéristique	Variations
Température	Les seuils max. de l'environnement primaire ne sont pas atteints
Humidité	Supérieure à la moyenne de l'environnement primaire
Vent	Moyenne max. sur 10 min. : 10 m/s
Verglas / Neige	Aucune des surfaces fonctionnelles de la voie n'est recouverte de verglas ou de neige
Longueur efficace du recouvrement en ce qui concerne le vent et le verglas / la neige	Est utilisée comme valeur indicative la longueur de l'ouvrage couvert moins 10 m de largeur de passage. La longueur réelle doit être déterminée pour le projet spécifique.

Tableau 64 : Conditions environnementales dans les sections de voie couvertes

**Conditions environnementales des sections en tunnel**

*Dans les tunnels, les conditions environnementales diffèrent en ce qui concerne la température, l'humidité de l'air, les déplacements d'air ou le vent, et sont fonction de divers paramètres, comme le nombre de voies, la structure du tunnel, l'espacement des trains, etc..*

*C'est pourquoi les conditions environnementales doivent être définies spécifiquement au projet pour chaque tunnel.*

*Dans ce cadre, les données figurant dans les chapitres suivants, qui reposent sur l'annexe A de la norme*

*/DIN EN 50125-2/, doivent être utilisées comme valeurs indicatives.*

**Température**

Pour les tunnels de longueur inférieure à 2 000 m et les sections d'extrémité (initiale et terminale) de 1 000 m des tunnels de longueur supérieure, les hypothèses de température établies pour les sections à l'air libre s'appliquent.

Par contre, dans la section centrale des tunnels plus longs (> 2 000 m), la température la plus faible est estimée 20 K plus élevée qu'à l'air libre, et la température maximale peut être réduite de 5 K.

**Humidité de l'air**

*L'humidité de l'air tend à être inférieure, dans la mesure où les murs du tunnel peuvent empêcher la pénétration d'une quantité non négligeable d'humidité.*

Les opérations de construction visant à empêcher la pénétration d'humidité doivent être définies en fonction du projet.

L'humidité max. absolue en tunnel est fixée à 30 g/m<sup>3</sup>, conformément à la norme /DIN EN 50125-3/, tableau 3.

**Vent**

Une valeur de 3 m/s est estimée pour la valeur moyenne du vent sur 10 min.

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Systeme complet**

#### **Annexe 4 Règles d'exploitation**

#### **(opérations de roulage et maintenance)**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
            Systeme complet, Annexe 4, Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance)

Doc. n° : 69061

Version    finale

Date de publi- 15.02.2007  
cation

Page 1

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance) à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007, version finale, commission spéciale Règles d'exploitation

**Table des matières**

<b>Destinataires .....</b>	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications.....</b>	<b>3</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>4</b>
<b>Généralités .....</b>	<b>6</b>
Objet du document et champ d'application .....	6
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	6
Abréviations et définitions.....	7
Lois, décrets, normes et directives.....	7
Identification et caractère obligatoire des exigences .....	7
<b>Traitement de la réglementation pour l'exploitation.....</b>	<b>8</b>
<b>Constitution, organisation et teneur de la réglementation .....</b>	<b>9</b>
Constitution et organisation de la réglementation .....	9
Composants de la réglementation.....	9
<b>Types et systèmes de management .....</b>	<b>11</b>
Système de management de la sécurité (SMS).....	11
Management de la qualité (QM).....	11
Gestion de la protection du travail.....	11
Gestion de la protection de l'environnement.....	11
<b>Règles nécessaires Opérations de roulage et maintenance .....</b>	<b>13</b>
Exigences de niveau supérieur .....	13
Surveillance des valeurs limites .....	13
Exigences relatives au personnel de roulage et de maintenance.....	13
Exigences relatives à la communication .....	13
Règles nécessaires Opérations de roulage .....	14
Règles pour les opérations de roulage.....	14
« Service normal ».....	14
« Service anormal ».....	15
Opérations de roulage avec des rames spéciales .....	16
Règles nécessaires pour les mesures particulières.....	17
Protection des objets .....	17
Service d'hiver .....	17
Contrôle de la végétation.....	17

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
               Système complet, Annexe 4, Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance)

---

Règles nécessaires Maintenance .....	18
Règles pour la maintenance.....	18
Contenu des règles pour la maintenance.....	18
Programme de maintenance .....	18
Instructions de maintenance .....	19
Règles d'exécution des opérations de maintenance.....	19
Règles de déroulement et/ou d'organisation des opérations de maintenance .....	20
Gestion de la maintenance.....	20
Opérations de maintenance .....	21
Principes d'exécution des opérations de maintenance .....	21
Planification des opérations de maintenance.....	21
Délégation des opérations de maintenance.....	21
Exécution des opérations de maintenance .....	22
Achèvement des opérations de maintenance .....	22
Confirmation/documentation des opérations de maintenance.....	22
Règles nécessaires Interface entre les opérations de roulage et la maintenance.....	22
Principes de configuration de l'interface entre les opérations de roulage et la maintenance .....	22
Procédure de validation.....	24
Prise en charge et procédure de transfert.....	24
Assistance aux opérations de roulage par la maintenance.....	25

## Généralités

### Objet du document et champ d'application

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

Selon l'Article 24 et l'Article 8 /MbBO/, l'opérateur de TSM doit établir des règles d'exploitation.

Le document contient les exigences indépendantes du projet relatives aux règles à établir pour l'exploitation des systèmes TSM, laquelle se compose des opérations de roulage et de la maintenance.

Ces principes d'exécution s'appliquent en relation avec les Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet /MSB AG-GESAMTSYS/ et leurs annexes. Les présents principes d'exécution s'appliquent à l'exploitation des systèmes TSM.

Il faut promulguer des règles spéciales pour l'exploitation pendant la construction et la mise en service des systèmes TSM.

Les exposés ci-après se rapportent aux règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance) de l'opérateur de TSM, appelées ci-après la « réglementation », pour l'utilisation des systèmes TSM pour le transport de personnes.

Le transport de marchandises est à considérer séparément.

Les exigences s'appliquent aux opérateurs de TSM (selon l'Article 5 /AMbG/).

Les exigences s'appliquent également au constructeur du système TSM et de ses composants dans le sens où elles concernent notamment des énoncés à propos de la documentation nécessaire et définissent les conditions d'organisation et de déroulement de l'exploitation du système TSM dont il faut déjà tenir compte lors de la construction de toutes les unités d'observation du système TSM.

Dans la mesure où les règles internes de l'opérateur de TSM ou d'un constructeur diffèrent des dispositions des présents principes d'exécution, ces règles internes peuvent être conservées si elles offrent une sécurité équivalente ou, dans le cas des définitions, en justifiant d'une signification au sens identique.

### Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique

, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
  - Annexe 1 : Train rapide à sustentation magnétique Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/

- Annexe 2 : Train rapide à sustentation magnétique Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
- Annexe 3 : Train rapide à sustentation magnétique Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
- Annexe 5 : Train rapide à sustentation magnétique Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

## Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

*Le terme « exploitation » est également utilisé par les exploitants des systèmes de transport guidés à la place du terme « opérations de roulage » utilisé dans le présent document. L'utilisation du terme « exploitation » à la place du terme « opérations de roulage » est par conséquent autorisée dans la réglementation de l'opérateur de TSM. Cela s'applique également aux mots composés correspondants.*

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes.

Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas.

Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

Le document Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives /MSB AG-NORM&RILI/ contient un regroupement des lois, décrets, normes et directives pour la réglementation de l'opérateur de TSM.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/, Partie 2, Annexe G, ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique*

## Traitement de la réglementation pour l'exploitation

L'ensemble des règles doit être :

- complet,
- cohérent,
- sans contradictions.

Les règles doivent correspondre aux dispositions de l'opérateur de TSM relatives au management de la sécurité, notamment selon /DIN EN 61508/, /DIN EN 50126/ et /DIN EN 50129/ (voir chapitre 0).

Il faut vérifier la cohérence des dispositions de la réglementation avec le concept de sécurité, d'exploitation et de maintenance spécifique au projet.

Il faut donner une définition explicite des termes et des abréviations employés dans la réglementation et les utiliser de manière cohérente.

La réglementation doit être organisée de manière conviviale.

*Une réglementation est **conviviale** lorsque*

- *la réglementation s'adresse directement aux groupes ciblés individuels,*
- *le contenu de la réglementation est présenté de manière homogène, compréhensible et claire et*
- *les verbes auxiliaires selon /DIN 820-2/ Annexe G sont utilisés dans la réglementation.*

La réglementation doit être fonctionnelle.

*Une réglementation est **fonctionnelle** lorsque*

- *les règles qu'elle contient assistent de manière optimale le fonctionnement spécifié de la technique utilisée et*
- *les règles peuvent être appliquées correctement et sans difficultés particulières par tous les utilisateurs pendant l'exploitation.*

La réglementation doit présenter une structure modulaire.

*Une réglementation présente une **structure modulaire** lorsqu'elle se compose de « composants » individuels respectivement indépendants et compatibles entre eux.*

## **Constitution, organisation et teneur de la réglementation pour l'exploitation**

# **Constitution et organisation de la réglementation**

La constitution et l'organisation de la réglementation sont à présenter sous une forme appropriée, par exemple en tant que sommaire.

Des dispositions complémentaires à la réglementation peuvent être publiées sous la forme d'annexes ou de suppléments. La réglementation peut contenir des imprimés servant d'aides au travail.

Si l'opérateur de TSM préconise des principes homogènes d'élaboration, de structure, de présentation et de documentation pour les réglementations, il faut alors les appliquer pour l'ensemble de la réglementation.

## **Composants de la réglementation**

Il faut communiquer au personnel les connaissances de base sur le système TSM qui sont nécessaires pour ses activités.

La description et la présentation doivent comprendre les installations de service qui concernent l'exploitation.

Les installations de service doivent être clairement présentées dans un plan de situation.

Il faut décrire les rames TSM et les rames spéciales utilisées dans le projet correspondant ainsi que les éventuelles remorques et plates-formes de travail.

La réglementation pour l'exploitation du système TSM se compose des éléments suivants :

- Règles pour les opérations de roulage,
- Règles pour la maintenance,
- Règles générales d'organisation pour l'exploitation (opérations de roulage et maintenance).

Les règles générales d'organisation doivent au moins décrire la distribution des responsabilités au sein de l'organisation de l'opérateur de TSM.

*Les règles générales d'organisation peuvent se présenter soit sous la forme d'un document indépendant, soit être intégrées dans les règles relatives aux opérations de roulages ou dans les règles relatives à la maintenance.*

Les règles générales d'organisation doivent être formulées de telle sorte qu'elles permettent, sous les conditions spécifiques du projet indiquées et sous les conditions d'exploitation générales spécifiques au projet, d'identifier comment atteindre les objectifs de sécurité fixés.

Les règles doivent mettre en évidence dans l'organisation ainsi que dans les processus, systèmes et types de travail et de gestion le principe de la séparation des responsabilités pour les aspects de l'exploitation qui concernent la sécurité et ceux qui ne la concernent pas (par exemple économiques).

Les autres documents applicables doivent être définis dans la réglementation. Ils sont soumis aux mêmes critères de qualité que la réglementation elle-même.

Voici quelques exemples de documents associés applicables :

- Notices d'utilisation du constructeur du système de TSM,
- Instructions de maintenance du constructeur du système de TSM.

Les documents de base destinés à l'établissement de la réglementation ne font pas partie de cette dernière.

Voici quelques exemples de documents de base :

- Les prescriptions d'utilisation (SAV) relatives à la sécurité du constructeur du système de TSM,
- La notice d'utilisation selon la /Directive 98/37/CE/,
- Les appendices et dispositions annexes dans les certificats / homologations des autorités chargées de l'approbation,
- Les documents qui résultent des exigences dans les lois, décrets, normes et directives applicables (par exemple manuel de management de la sécurité et de la qualité).

## Types et systèmes de management

### **Systeme de management de la sécurité (SMS)**

L'opérateur de TSM doit élaborer un système de management de la sécurité en référence à la /Directive 2004/49/CE/.

*Le système de management de la sécurité désigne l'organisation et les précautions prises par un opérateur de TSM pour assurer l'exécution en toute sécurité de ses processus d'exploitation.*

Le SMS doit garantir que les règles d'organisation, d'opérations de roulage et de maintenance qui résultent du concept de sécurité spécifique au projet soient intégrées dans la réglementation.

### **Management de la qualité (QM)**

Les mesures et règles relatives au management de la qualité doivent être présentées dans la réglementation et satisfaire aux règles et normes (par exemple /série de normes DIN EN ISO 9000 et suivantes/) régionales, nationales et internationales en vigueur ainsi qu'au manuel QM de l'opérateur de TSM.

Dans la mesure où elles concernent la sécurité d'exploitation du système TSM, les règles d'assurance qualité, de planification de la qualité et concernant les procédures qualité doivent être incluses dans la réglementation.

### **Gestion de la protection du travail**

Les mesures et règles relatives à la protection du travail doivent être présentées dans la réglementation et satisfaire aux règles, normes et prescriptions régionales, nationales et internationales en vigueur ainsi qu'à la législation nationale.

Il faut garantir la protection du personnel par des règles correspondantes.

*La législation nationale contient à cet effet un ensemble de lois et de décrets qui se trouvent dans /MSB AG-NORM&RILI/ /PERSSCH/.*

Les règles relatives à la protection du travail peuvent être regroupées de manière appropriée, par exemple sous la forme d'un système de gestion de la protection du travail.

### **Gestion de la protection de l'environnement**

Les mesures et règles relatives à la protection de l'environnement doivent être présentées dans la réglementation et satisfaire aux règles, normes et prescriptions régionales, nationales et internationales en vigueur ainsi qu'à la législation nationale. Il faut tenir compte des connaissances actuelles en matière de technique environnementale.

*La législation nationale contient à cet effet un ensemble de lois et de décrets qui se trouvent dans /MSB AG-NORM&RILI/ /UMWELTSCH/.*

Il faut définir dans la réglementation les contrôles des processus de travail et de la teneur du travail et de leur influence sur l'environnement ainsi que les dispositions relatives au contrôle du respect des mesures de protection de l'environnement.

Les règles relatives à la protection de l'environnement peuvent être regroupées de manière appropriée, par exemple sous la forme d'un système de gestion de la protection de l'environnement.

## **Règles nécessaires Opérations de roulage et maintenance**

### **Exigences de niveau supérieur**

#### **Surveillance des valeurs limites**

L'opérateur de TSM doit surveiller le respect des valeurs limites et autres valeurs spécifiées dans les principes d'exécution de l'ensemble du système et des systèmes partiels.

Les règles correspondantes, procédures d'enregistrement et d'interprétation, critères d'évaluation ainsi que les mesures à prendre en conséquence des écarts sont à définir dans la réglementation spécifiquement pour le projet.

Il faut définir dans la réglementation comment sont détectés les effets des cas de charge particuliers selon les principes d'exécution de l'ensemble du système /MSB AG-GESAMTSYS/ et comment est garantie leur tolérance.

#### **Exigences relatives au personnel de roulage et de maintenance**

La réglementation doit présenter pour chaque poste de travail les exigences imposées par l'opérateur de TSM en matière d'aptitude, de capacité et de qualification du personnel.

Il faut définir dans la réglementation que toute activité en roulage et en maintenance doit exclusivement être réalisée par un personnel approprié, apte et qualifié.

Les procédures de détermination de la capacité et de l'aptitude du personnel, de contrôle périodique ainsi que les intervalles, échéances et documentation du contrôle doivent être fixées dans la réglementation.

La formation/qualification du personnel doit être fixée dans la réglementation au moins de telle sorte qu'il soit possible d'identifier clairement les tâches, compétences et responsabilités du personnel associées à une qualification minimale donnée.

Il faut pouvoir identifier ici la manière dont sont acquises les qualifications, comment celles-ci sont répétées ou obtenues régulièrement si nécessaire et comment se déroulent l'organisation, la documentation et la gestion de toutes les qualifications du personnel.

#### **Exigences relatives à la communication**

Il faut définir les règles relatives à la communication ayant trait à la sécurité ainsi que les conditions techniques et d'organisation.

Il faut décrire les équipements techniques de communication ainsi que leurs niveaux de retour en cas de perturbation ou de panne des équipements de communication et leur intégration dans le déroulement de l'exploitation.

Il faut définir les règles d'enregistrement et de mémorisation des communications.

---

## Règles nécessaires Opérations de roulage

### Règles pour les opérations de roulage

Les règles pour les opérations de roulage sont à définir dans le manuel de service selon l'Article 24 /MbBO/ et doivent couvrir au moins l'ensemble des opérations de roulage.

Le roulage doit s'effectuer selon l'un des deux modes de fonctionnement suivants (voir Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 6.3.1.2) :

- Service normal
- Service anormal.

Dans la mesure où cela est techniquement possible et souhaité pour des raisons opérationnelles, il faut prévoir la possibilité d'exécution simultanée des deux modes de fonctionnement. Il faut définir dans la réglementation les conditions sous lesquelles peuvent avoir lieu des opérations d'entretien en cas de perturbation dans le déroulement du roulage.

Il faut décrire les responsabilités et les compétences pendant ce processus.

Il faut définir des règles pour le cas d'un arrêt non prévu de la rame TSM.

En cas de perturbations dans le déroulement du roulage qui donnent lieu à une évacuation de la rame TSM, il faut définir dans la réglementation comment initier et exécuter les opérations d'évacuation.

Il faut décrire les processus de planification et d'ordonnancement relatifs à la sécurité pour les opérations de roulage.

*Les processus de planification et d'ordonnancement concernent notamment la sécurité lorsqu'ils garantissent la tenue de valeurs limites spécifiées pour le système TSM ou lorsque leur réalisation a une influence sur l'intégrité des biens et des personnes.*

### « Service normal »

Il faut définir et décrire dans les règles relatives aux opérations de roulage les conditions additionnelles d'exécution du service normal (voir Annexe 1 : Train rapide à sustentation magnétique Abréviations et définitions /MSB AG-ABK&DEF/ ).

L'opérateur de TSM doit définir dans la réglementation (voir aussi Article 22 /MbBO/) :

- les conditions opérationnelles pour le début et le déroulement du service normal,
- les conditions techniques pour le début et le déroulement du service normal,
- le changement entre les indications de trajet générées manuellement et automatiquement au sein du service normal,
- les conditions de sortie du mode « Service normal »,
- les conditions et les procédures de retour en mode « Service normal »,
- les procédures en cas d'annulation des conditions de circulation.

Si des opérations individuelles nécessitent des manipulations relatives à la sécurité par le personnel d'exploitation pendant le service normal, il faut les décrire.

Il faut décrire les manipulations et les restrictions qui sont nécessaires pour prévenir ou empêcher les situations potentiellement dangereuses en service normal.

Il faut décrire les mesures nécessaires en présence des perturbations techniques et opérationnelles prévisibles dans le déroulement de l'exploitation.

Il faut décrire les mesures nécessaires en présence d'événements prévisibles constituant un danger.

Il faut décrire les activités de surveillance, les mesures et les interventions dans la commande et dans la sécurité du roulage à effectuer par le personnel d'exploitation pour des raisons techniques ou opérationnelles.

En cas d'exécution simultanée d'opérations de roulage et d'opérations de construction ou d'entretien, il faut définir

- si et dans quelle mesure les opérations de construction ou d'entretien (par exemple en rapport avec une partie du système, portions limitées localement) peuvent avoir lieu pendant le service normal et
- comment sont délimitées et sécurisées les zones dans lesquels sont exécutées des opérations de construction ou d'entretien.

Il faut définir les responsabilités et les compétences pendant ce processus.

### « Service anormal »

Les fonctions qui ne sont pas incluses dans la sécurité technique doivent être définies dans les règles des opérations de roulage.

Si nécessaire, il faut décrire des mesures de sécurité (techniques et/ou d'organisation) appropriées dans la réglementation.

Il faut décrire dans la réglementation les mesures à prendre sous la responsabilité du personnel.

L'opérateur de TSM doit définir dans la réglementation (voir aussi Article 22 /MbBO/) :

- les conditions opérationnelles pour le début et le déroulement du « service anormal »,
- les conditions techniques pour le début et le déroulement du « service anormal »,
- le changement entre les indications de trajet générées manuellement et automatiquement au sein du « service anormal »,
- les conditions de sortie du mode « Service anormal »,
- les conditions et les procédures de retour au service normal,
- les procédures en cas d'annulation des conditions de circulation.

Il faut garantir par des dispositions dans la réglementation que le mode « Service anormal » n'entraîne pas un état non sécuritaire du système TSM.

Il faut définir dans la réglementation les conditions sous lesquelles il faut interrompre le roulage en conséquence d'une situation de « Service anormal ».

Il faut tenir compte des propriétés techniques spécifiques au projet des installations de service et des rames TSM lors de la définition des manipulations et des opérations sous la responsabilité du personnel.

Il faut décrire à l'attention du personnel roulant les réactions automatiques des équipements techniques du TSM pendant le mode « Service anormal » ainsi que l'étendue de la sécurité technique restante.

Cela s'applique également aux activités de surveillance, mesures et interventions dans la commande et dans la sécurité du roulage à effectuer par le personnel d'exploitation pour des raisons techniques ou non techniques.

Il faut définir dans la réglementation les mesures de surveillance opérationnelles destinées à détecter, classer/évaluer et documenter les causes du fonctionnement en « Service anormal ».

Il faut définir dans la réglementation comment informer le chef de la sécurité sur des circonstances qui peuvent donner lieu au fonctionnement en « Service anormal ».

Il faut définir dans la réglementation la nature, la forme et l'étendue de la communication pendant le fonctionnement en « Service anormal ».

Les manipulations pour les différentes mesures et les interventions opérationnelles destinées à garantir la sécurité nécessaire sous la responsabilité du personnel, notamment dans une situation d'urgence, sont à définir dans la réglementation sous une forme appropriée (check-lists, diagrammes séquentiels, etc.).

En cas d'exécution simultanée d'opérations de roulage et d'opérations de construction ou d'entretien, il faut définir

- si et dans quelle mesure les opérations de construction ou d'entretien (par exemple en rapport avec une partie du système, portions limitées localement) peuvent avoir lieu pendant le service anormal et
- comment sont délimitées et sécurisées les zones dans lesquels sont exécutées des opérations de construction ou d'entretien.

Il faut définir les responsabilités et les compétences pendant ce processus.

## **Opérations de roulage avec des rames spéciales**

Il faut définir dans la réglementation les types de rames spéciales en fonction du projet.

Il faut définir les règles de déplacement des rames spéciales en fonction du projet.

*Les opérations, manipulations et communications ainsi que les mesures techniques et non techniques dépendent de l'équipement technique des rames spéciales.*

Il faut définir dans la réglementation les conditions sous lesquelles les rames spéciales sont autorisées à emprunter les portions de TSM (conditions d'environnement, rames TSM en service, etc.).

Il faut définir des mesures contre la violation du profilé d'espace libre en fonction de l'équipement des rames spéciales.

Suivant l'équipement des rames spéciales, il faut définir des mesures pour éviter la collision avec

- d'autres rames spéciales,
- des rames TSM,
- des installations de service,
- des personnes et des objets qui dépassent dans le profil d'espace libre.

Il faut définir spécifiquement pour le projet les postes de stationnement et de mise à disposition des rames spéciales ainsi que les mesures d'immobilisation des rames spéciales.

---

## Règles nécessaires pour les mesures particulières

### Protection des objets

Il faut décrire dans la réglementation la protection des objets ainsi que les opérations de protection des objets en relation avec le système TSM. Il faut présenter :

- les principes et les objectifs de la protection des objets,
- la responsabilité et les personnes chargées de la protection des objets,
- les tâches et l'étendue de la protection des objets par la construction,
- les tâches et l'étendue de la protection des objets par l'organisation,
- la documentation, le contrôle et l'établissement des rapports relatifs à la protection des objets.

Il faut fixer les mesures minimales à définir pour la protection des objets. Cela concerne toutes les mesures actives et passives, par exemple :

- sécurisation des rames et des installations de service contre un accès non autorisé et les interventions non autorisées,
- réaction aux alarmes et aux appels d'urgence,
- interaction avec les autorités et les organisations de sécurité (BOS),
- implication des services de surveillance et de sécurité.

### Service d'hiver

Il faut définir dans les règles de roulage les valeurs limites au sein desquelles le système TSM peut fonctionner en toute sécurité, même sous des conditions hivernales. Les valeurs limites sont définies dans l'Annexe 3 : Train rapide à sustentation magnétique Conditions environnementales /MSB AG-UMWELT/.

Exemples de valeurs limites mentionnées :

- épaisseur admissible de la couche de glace sur la voie (zone de portance / guidage),
- la hauteur de neige tolérée sur la table de la voie et sous la pente.

Il faut définir dans les règles de roulage que l'exploitation du système TSM n'est autorisée qu'au sein des valeurs limites spécifiées.

Il faut présenter les responsabilités et les mesures permettant d'identifier suffisamment tôt une approche des valeurs limites et de réagir en fonction du besoin en prenant les dispositions nécessaires.

Les dispositions relatives au service d'hiver dans le domaine des infrastructures de trafic, de l'IHZ et des voies de circulation, lesquelles peuvent éventuellement aussi être mises en œuvre par des tiers, sont à réglementer en fonction du projet.

### Contrôle de la végétation

Il faut surveiller et entretenir la végétation le long des voies du TSM par des inspections régulières.

Il faut prendre des mesures pour garder l'espace libre dégagé. Pour ce faire, il faut tenir compte des catégories suivantes :

- Mesures de protection contre une violation de l'espace libre,
- Mesures de détection d'une violation de l'espace libre,
- Mesures d'élimination d'une violation de l'espace libre.

Les mesures de contrôle de la végétation doivent exclure toute pénétration dans l'espace libre du fait de la croissance naturelle et sous l'influence de l'environnement (par exemple rupture au vent, charges de neige sur la végétation).

## Règles nécessaires Maintenance

### Règles pour la maintenance

#### Contenu des règles pour la maintenance

Les principes de la maintenance ainsi que la subdivision complète de la maintenance en mesures fondamentales sont définis dans /DIN 31051/.

Le vocabulaire de la maintenance et la division en types de maintenance sont définis dans /DIN EN 13306/. Il faut en outre appliquer la norme /DIN EN 50126/.

Il faut utiliser ces principes, subdivisions, définitions et divisions dans la réglementation relative à la maintenance.

La maintenance des parties du système TSM doit être intégrée de manière appropriée dans la maintenance du système TSM complet. Cela doit se refléter dans les règles de maintenance.

Les règles de maintenance se composent des éléments suivants :

- Programme de maintenance,
- Instructions de maintenance (pour toutes les opérations de maintenance mentionnées dans le programme de maintenance),
- Règles contenant des compléments spécifiques au projet ou localement spécifiques (par exemple sous la forme d'instructions de travail ou de procédures).

#### Programme de maintenance

Il faut établir un programme de maintenance pour l'ensemble du système en se basant sur les « Principes et procédures d'établissement d'un programme de maintenance » (voir l'Article 8 de /MbBO/).

Il faut notamment tenir compte des points suivants lors de l'établissement du programme de maintenance :

- Les programmes de maintenance des systèmes partiels doivent contenir toutes les opérations d'entretien nécessaires du système partiel correspondant.
- Les programmes de maintenance des systèmes partiels doivent couvrir la totalité du système.
- Le constructeur d'une unité observée doit dresser une liste des perturbations et des défauts possibles de celle-ci et leur affecter une classe de défaut explicite.

- Il faut définir les réactions et les mesures requises par le personnel pour chaque classe de défaut. Les mesures doivent au moins tenir compte de l'influence des perturbations et des défauts sur la sécurité du système.
- Pour identifier les opérations d'entretien nécessaires, il faut réaliser des analyses de la structure et/ou du fonctionnement de tous les systèmes partiels du TSM et définir les mesures au moyen de procédés reconnus (par exemple FMEA /MSB AG-ABK&DEF/). Les fréquences/intervalles des opérations d'entretien sont à définir sur cette base.
- Un plan de structure du produit constitue la base de l'analyse structurelle et fonctionnelle.
- Il faut prévoir une classification ou un ordre de priorité des opérations d'entretien en fonction de leur importance pour la sécurité.

La réglementation doit indiquer clairement les différences de réaction en fonction des différentes classes ou priorités des opérations d'entretien.

Le cas échéant, les autres exigences relatives à l'établissement du programme d'entretien se trouvent dans les principes d'exécutions respectifs des systèmes partiels.

### **Instructions de maintenance**

Il doit exister des instructions de maintenance pour toutes les opérations de maintenance définies dans le programme de maintenance.

Les instructions de maintenance doivent être établies par le constructeur pour l'unité observée technique correspondante (par exemple le constructeur d'un système partiel).

Elles doivent présenter une structure et une configuration homogènes.

Les instructions de maintenance doivent contenir toutes les tâches nécessaires pour l'exécution des opérations de maintenance.

### **Règles d'exécution des opérations de maintenance**

Les règles de maintenance doivent contenir des informations spécifiques au projet et/ou au lieu ainsi que des indications relatives à l'exécution technique des opérations de maintenance, par exemple sous la forme d'instructions de travail. Celles-ci complètent les instructions de maintenance.

*La désignation des informations spécifiques au projet et/ou au lieu ainsi que des indications relatives à l'exécution technique des opérations de maintenance est laissée à la liberté de l'opérateur.*

Les informations spécifiques au projet et/ou au lieu ainsi que les indications doivent au moins contenir les éléments suivants :

- Description de l'exécution des opérations de maintenance,
- Utilisation d'accessoires/outils spécifiques,
- Indications à propos de l'utilisation de l'infrastructure,
- Indications spécifiques à propos de la protection du travail / de l'environnement et à propos de l'utilisation de l'équipement de protection personnel,
- Indications spécifiques à propos de la qualification du personnel.

Les informations, indications, instructions et compléments spécifiques au projet ou au lieu ne doivent pas apporter une modification non autorisée au contenu des instructions de maintenance.

### **Règles de déroulement et/ou d'organisation des opérations de maintenance**

Les règles de maintenance doivent contenir des informations spécifiques au projet et/ou au lieu ainsi que des indications relatives au déroulement et/ou à l'organisation des opérations de maintenance, par exemple sous la forme de procédures. Celles-ci complètent les instructions de maintenance.

*La désignation des informations spécifiques au projet et/ou au lieu ainsi que des indications relatives au déroulement et/ou à l'organisation des opérations de maintenance est laissée à la liberté de l'opérateur.*

Les informations spécifiques au projet et/ou au lieu ainsi que les indications doivent au moins contenir les éléments suivants :

- Procédure d'accès et de séjour dans les zones de maintenance,
- Procédure d'ouverture et de fermeture de la session de travail et procédure de sécurisation et d'alerte pour les travaux de maintenance,
- Délégation des opérations de maintenance,
- Réalisation des opérations de maintenance,
- Fin et confirmation des opérations de maintenance,
- Documentation des opérations de maintenance.

*Pour les rames à déplacement rapide et à fonctionnement automatique, des mesures d'organisation sous la forme de procédures de signalisation pour la protection des personnes qui se trouvent dans la zone de danger de la voie ne constituent pas des mesures de sécurité appropriées et sont à exclure.*

Les informations, indications, instructions et compléments spécifiques au projet ou au lieu ne doivent pas apporter une modification non autorisée au contenu des instructions de maintenance.

### **Gestion de la maintenance**

La réglementation doit représenter l'ensemble du processus de maintenance pour les rames et les installations de service, y compris la gestion de la maintenance et la stratégie de maintenance.

Il faut décrire tous les processus de planification et d'ordonnancement relatifs à la maintenance.

Il faut identifier les processus de planification et d'ordonnancement relatifs à la sécurité.

*Les processus de planification et d'ordonnancement concernent notamment la sécurité lorsqu'ils garantissent la tenue de valeurs limites spécifiées pour le système TSM ou lorsque leur réalisation a une influence sur l'intégrité des biens et des personnes.*

Outre les exigences du chapitre 0, il faut également tenir compte des exigences ci-après pour la gestion de la maintenance :

- La réglementation pour la maintenance doit être liée aux règles des opérations de roulage par le biais des règles d'interface pour les opérations de roulage et la maintenance et doit être cohérente avec celles-ci.
- Les règles qui résultent des lois, normes et directives existantes (par exemple au sujet de la protection du travail, de la protection de l'environnement, de la protection incendie, du management de la qualité, etc.) sont à ancrer dans la réglementation. Cela peut être réalisé en fixant des règles spécifiques ou par des renvois aux documents applicables.

## Opérations de maintenance

### Principes d'exécution des opérations de maintenance

Le déroulement du processus « Exécution des opérations de maintenance » se compose des processus partiels Planification, Délégation, Exécution, Achèvement et Confirmation/Documentation.

Les autres processus partiels doivent être décrits en détail dans la réglementation. La description de tous les processus partiels doit au moins contenir les informations suivantes :

- Contenu du processus partiel,
- Déroulement du processus partiel,
- Personnes exécutantes et responsables,
- Grandeurs d'entrée du processus partiel,
- Grandeurs de sortie du processus partiel.

Il doit être possible d'identifier à tout moment le processus partiel dans lequel se trouve une opération de maintenance ainsi que le signataire responsable de cette opération de maintenance. Il faut consigner par écrit les règles techniques et/ou d'organisation nécessaires à cet effet.

### Planification des opérations de maintenance

La planification désigne la préparation de la future exécution des opérations de maintenance. Cette préparation concerne les ressources temps, échéances, personnel, matériel et infrastructure.

La planification doit englober au moins les mesures identifiées dans le programme de maintenance comme étant importantes pour la sécurité ainsi que les mesures soumises à une obligation légale de justificatif.

Outre les exigences mentionnées dans le chapitre 0, la réglementation doit également contenir des indications supplémentaires relatives au moment de la planification, à la période de planification et à l'annonce de la planification.

### Délégation des opérations de maintenance

Le principe d'exécution de la maintenance « Aucun travail sans ordre » doit être défini dans la réglementation.

Il faut définir le contenu et la forme des commandes (imprimés sur papier, formulaires informatiques, etc.).

Il doit être possible de contrôler la délégation des opérations de maintenance.

### **Exécution des opérations de maintenance**

L'exécution des opérations de maintenance doit se dérouler conformément aux indications techniques du constructeur et aux définitions de l'organisation de la maintenance.

Il faut définir des procédés de surveillance des opérations de maintenance.

Il faut définir les procédés ainsi que les personnes exécutantes et responsables du contrôle des opérations de maintenance (par exemple en cas de différences entre les prévisions et les réalisations).

Il faut définir des règles pour l'exécution des mouvements des rames à des fins de maintenance. L'étendue de ces règles est indiquée dans le chapitre 0.

### **Achèvement des opérations de maintenance**

L'achèvement des opérations de maintenance est défini par le message d'achèvement technique de l'opération déléguée.

Il faut prendre des dispositions supplémentaires particulières pour les activités relatives à la sécurité (par exemple principe du double contrôle).

Il faut définir le contenu et la forme de message d'achèvement (imprimés sur papier, formulaires informatiques, etc.).

Le message d'achèvement doit pouvoir être contrôlé.

### **Confirmation/documentation des opérations de maintenance**

La confirmation d'une opération de maintenance est déterminée par la description détaillée de l'activité réellement accomplie.

Il faut définir les données requises pour la confirmation des opérations achevées.

Il faut définir le contenu et la forme de la confirmation (imprimés sur papier, formulaires informatiques, etc.).

La confirmation doit pouvoir être contrôlée.

Le fonctionnement des modules / unités plus petites substituables remplacé(e)s / réparé(e)s doit être documenté de façon claire et compréhensible, avec mention de la description des dysfonctionnements, de leur cause et des mesures de réparation (par ex. destruction de la pièce défectueuse et remplacement par une pièce neuve).

## **Règles nécessaires Interface entre les opérations de roulage et la maintenance**

### **Principes de configuration de l'interface entre les opérations de roulage et la maintenance**

L'exploitation du système TSM est divisée en opérations de roulage et de maintenance.

Il peut exister des domaines de responsabilité différents en roulage et en maintenance du système TSM.

Les domaines de responsabilité individuels sont à décrire explicitement dans la réglementation et à séparer les uns des autres.

Les domaines de responsabilité doivent pouvoir être affectés explicitement à tout moment en roulage et en maintenance.

Les opérations de roulage et la maintenance peuvent avoir lieu aussi bien en parallèle que séquentiellement.

Si les opérations de roulage et la maintenance se déroulent en parallèle, il faut alors définir à cet effet dans la réglementation des critères pour l'étendue et la nature de l'autorisation.

Il faut décrire et réglementer les conditions générales et les conditions préalables.

*Les opérations de roulage et la maintenance peuvent se dérouler en parallèle lorsqu'il n'existe aucun risque de sécurité réciproque.*

Si les opérations de roulage et la maintenance se déroulent séquentiellement, il doit alors exister dans la réglementation des règles de transfert des responsabilités.

Dans les deux cas, il faut présenter dans la réglementation :

- l'organisation des interfaces,
- les systèmes techniques qui participent à l'interface,
- le contenu et la délimitation des activités,
- la responsabilité de l'initiation des mesures,
- la limite de responsabilité pour l'ensemble du système ou les systèmes partiels,
- les porteurs de fonction exécutants,
- les flux de communication et d'information,
- les documentations nécessaires,
- la distribution des ordres ainsi que les procédures de blocage et de validation,
- les procédures de sécurisation,
- les procédures de transfert et de prise en charge,
- l'exécution des opérations de maintenance.

Il faut notamment fixer les règles de communication suivantes pour les opérations de roulage et l'interface entre le roulage et la maintenance :

- Informations sur les mouvements des rames,
- Procédures d'alerte,
- Instructions par écrit,
- Informations sur les restrictions temporaires et les particularités,
- Règles d'interaction entre les responsables participants,
- Communication des validations et des blocages.

*Pour les rames à déplacement rapide et à fonctionnement automatique, des mesures d'organisation sous la forme de procédures de signalisation pour la protection des personnes qui se trouvent dans la zone de danger de la voie ne constituent pas des mesures de sécurité appropriées et sont à exclure.*

## Procédure de validation

La réglementation doit définir la responsabilité de la validation technique du système ou, si cela est prévu, des composants du système, et ce aussi bien pour l'organisation que pour les processus de gestion et de travail.

Des conditions de roulage à la fois techniques et non techniques sont nécessaires pour engager les opérations de roulage.

Ces conditions de roulage sont à décrire dans la réglementation selon l'Article 22 de /MbBO/. Il faut en outre définir dans la réglementation les différents responsables de la confirmation des conditions de roulage.

La confirmation de la condition de roulage doit se dérouler conformément à une procédure de validation correspondante.

La procédure de validation doit également contenir la procédure de contrôle associée.

Les conditions techniques de roulage sont à définir et à confirmer par le domaine de responsabilité de la maintenance. Cette confirmation certifie que les conditions techniques (aptitude fonctionnelle selon /DIN 31051/ et /DIN EN 13306/) d'utilisation du système (système partiel, système complet) sont satisfaites.

Les conditions de roulage non techniques sont à définir dans le domaine de responsabilité du roulage.

Si une validation des composants d'un système partiel est prévue, les descriptions mentionnées ci-dessus doivent être effectuées en conséquence au niveau de ces composants. Il faut définir les composants.

Les procédures de validation, les conditions de validation et l'annulation des validations sont à décrire dans la réglementation. La description doit au moins contenir les points suivants :

- les personnes exécutantes (responsables, destinataires, etc.),
- le contenu du message (technique, opérationnel, système partiel, etc.),
- une indication précisant les exigences qui sont contrôlées,
- les restrictions / conditions annexes possibles,
- la forme ou la nature (par exemple par écrit, électronique),
- la documentation.

## Prise en charge et procédure de transfert

La prise en charge / le transfert entraîne un changement de responsabilité pour le système/système partiel transféré/pris en charge. Si un transfert/une prise en charge des composants d'un système partiel est prévue, les descriptions mentionnées ci-dessus doivent être effectuées en conséquence au niveau de ces composants. Il faut définir les composants.

Il faut décrire dans la réglementation les procédures techniques et d'organisation de la prise en charge et du transfert. Cette description doit au moins contenir :

- les personnes exécutant le transfert/la prise en charge (responsables, destinataires, etc.),
- le contenu du message de transfert/prise en charge (technique, opérationnel, système partiel, etc.),

- la base du transfert/de la prise en charge (exigences qui sont contrôlées),
- la forme ou la nature du transfert/de la prise en charge (par exemple par écrit, électronique),
- la documentation du transfert/de la prise en charge.

*Dans le cas des systèmes mobiles (rames TSM, rames spéciales, etc.), il faut en plus désigner un point de transfert / prise en charge local et décrire les particularités du processus qui y sont liées.*

### **Assistance aux opérations de roulage par la maintenance**

Une assistance du personnel de roulage par le personnel de maintenance peut s'avérer nécessaire en fonction de l'équipement technique du système TSM.

Si cette assistance est nécessaire, il faut en tenir compte dans la réglementation. L'étendue de l'assistance doit au moins contenir les points suivants :

- l'observation de l'état technique opérationnel,
- l'évaluation de l'état technique opérationnel,
- la documentation des particularités pendant le roulage,
- l'assistance et l'aide en cas de perturbation.

Il faut décrire les voies de signalisation et de communication nécessaires ainsi que l'interaction entre les porteurs de fonction du roulage et de la maintenance.

Si nécessaire, il faut décrire des procédures échelonnées en fonction des effets possibles des perturbations sur la sécurité du système TSM.

# **Train rapide à sustentation magnétique Principes d'exécution**

## **Système complet, Annexe 5 Bruit**

<p>Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur. Tous droits réservés</p>
--

## Destinataires

Le présent document a été remis par la commission spéciale Système complet à des fins de publication.



**Table des matières**

<b>Destinataires .....</b>	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications.....</b>	<b>3</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>4</b>
<b>Généralités .....</b>	<b>7</b>
Objet du document et champ d'application .....	7
Principes d'exécution du TSM .....	7
Abréviations, définitions et symboles .....	9
Lois, décrets, normes et directives .....	11
Identification et caractère obligatoire des exigences .....	12
<b>Établissement d'une spécification d'essai .....</b>	<b>13</b>
<b>Réalisation des mesures .....</b>	<b>14</b>
Indications générales pour les mesures.....	14
Exigences relatives au lieu de mesure et de nuisance .....	14
Exigences relatives aux rames et à leur passage.....	15
Classification de la vitesse et nombre de passages .....	16
Exigences relatives aux conditions météorologiques.....	16
Grandeur mesurée et appareils de mesure.....	16
Conditions de mesure supplémentaires lors de la détermination de $D_{Fz}$ .....	16
Conditions de mesure supplémentaires lors de la détermination de $D_{Fb}$ .....	17
Conditions de mesure supplémentaires lors de la détermination de $D_{Fb}$ en présence d'une longueur montée courte de l'échantillon de voie .....	17
Procédé de mesure par microphone unique avec distance de mesure réduite.....	18
Procédé de mesure avec une matrice de microphones.....	18
Documentation pour la réalisation des mesures .....	20
<b>Interprétation des données de mesure .....</b>	<b>22</b>
Calcul du niveau moyen horaire.....	22
Indications supplémentaires pour les interprétations dans le cas des longueurs montées courtes de l'échantillon de voie .....	24
Interprétation des données lors du procédé de mesure par microphone unique avec distance de mesure réduite.....	24
Interprétation des données lors du procédé de mesure par matrice .....	24
Documentation pour l'interprétation des données de mesure.....	27
<b>Détermination des différences de niveau <math>D_{Fz}</math> et <math>D_{Fb}</math> .....</b>	<b>28</b>

---

Détermination de la valeur $D_{Fz,me}$ et $D_{Fz,ae}$ .....	28
Détermination de la valeur $D_{Fb}$ .....	30
Indications supplémentaires pour la détermination de $D_{Fb}$ dans le cas des longueurs montées courtes de l'échantillon de voie .....	32
Documentation pour la détermination des différences de niveau $D_{Fz}$ et $D_{Fb}$ .....	32
<b>Annexe</b> .....	<b>34</b>
Exemple de détermination des différences de niveau $D_{Fz,me}$ et $D_{Fz,ae}$ .....	35
Exemple de détermination de la différence de niveau $D_{Fb}$ .....	37
Détermination des grandeurs auxiliaires $D_{FzH,me}$ et $D_{FzH,ae}$ .....	37
Détermination de la valeur $D_{Fb}$ pour un échantillon de voie long .....	41
Détermination de la valeur $D_{Fb}$ pour un échantillon de voie de longueur montée courte.....	46

**Index des illustrations**

Figure 1 : Explication du temps de mesure $T_M$ et de la durée d'un événement $T_E$ .....	22
Figure 2 : Niveau horaire moyen corrigé $L_{Am,1h,korr}$ , polynôme de compensation $L_{Am,1h,korr}(v)$ et niveau évalué total $L_r(v)$ sur la base des valeurs $D_{Fz}$ déterminées avec le procédé d'itération .....	36
Figure 3 : Différence de niveau $\Delta L_{Diff}(v)$ entre le niveau évalué total et le polynôme de compensation de la Abbildung 2.....	37
Figure 4 : Niveau horaire moyen $L_{Am,1h,ref}$ , polynôme de compensation $L_{Am,1h,ref}(v)$ et niveau évalué total $L_r(v)$ sur la base des valeurs $D_{FzH}$ déterminées avec le procédé d'itération modifié 38	
Figure 5 : Différence de niveau $\Delta L_{Diff}(v)$ entre le niveau évalué total et le polynôme de compensation de la Abbildung 4.....	40
Figure 6 : Niveau horaire moyen $L_{Am,1h,prüf}$ et polynôme de compensation $L_{Am,1h,prüf}(v)$ .....	43
Figure 7 : Différence de niveau $\Delta L_{Am,1h}(v)$ .....	44
Figure 8 : Valeurs $D_{Fb,prüf}$ calculées d'un échantillon de voie lors des mesures fictives sur un échantillon « long » .....	45
Figure 9 : Valeurs $D_{Fb,prüf}$ calculées d'un échantillon de voie lors des mesures fictives sur un échantillon « court » .....	47

**Index de tableaux et équations**

Tableau 0-1 : Positions des microphones dans la matrice WH10x .....	19
Tableau 0-1 : Sous-matrices de la matrice WH10x avec les microphones associés et les plages de fréquences .....	25
Tableau 0-1 : Niveaux horaires moyens fictifs déterminés au point de mesure avec la voie en béton de référence.....	34
Tableau 0-2: Niveaux horaires moyens fictifs déterminés au point de mesure avec l'échantillon de voie.....	41
Équations (1a-1i).....	28
Équation (2).....	29
Équation (3).....	29
Équation (4).....	29
Équation (5).....	31
Équation (6).....	31

## Généralités

# Objet du document et champ d'application

Le présent document définit la procédure de détermination métrologique des différences de niveau  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$  pour les rames neuves et  $D_{Fb}$  pour les voies neuves en tant que base pour un justificatif dans le sens de la réglementation en note base de page de /MSB-LSV/. Le cas échéant, la détermination des différences de niveau mentionnées dans le Règlement sur la protection contre le bruit des trains à sustentation magnétique nécessite une justification supplémentaire relative à la durabilité.

Les tableaux mentionnés dans le Règlement sur la protection contre le bruit des trains à sustentation magnétique pour les « Différences de niveau  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$  par des types de rames différents » (/MSB-LSV/, Tableau 3) et les « Différences de niveau  $D_{Fb}$  pour des types de rames différents » (/MSB-LSV/, Tableau 4) contiennent respectivement des notes de base de page indiquant qu'en présence d'émissions sonores différentes justifiées de manière durable, il faut employer des valeurs de correction correspondantes, c'est-à-dire des valeurs différentes pour  $D_{Fz,me}$ ,  $D_{Fz,ae}$  et  $D_{Fb}$ .

Lors de la définition de la procédure de justification pour les différences de niveau ci-dessus, il faut pour l'essentiel avoir recours à la procédure indiquée dans « Comité du projet Bruit 03/Bruit-Transrapid », qui a élaboré la version actuelle du /MSB-LSV/. Le contenu du présent document et la description détaillée de toutes les mesures et méthodes d'évaluation nécessaires au moyen desquelles doit être effectuée la détermination des différences de niveau  $D_{Fz,me}$ ,  $D_{Fz,ae}$  et  $D_{Fb}$ . Le présent document est à utiliser comme base pour la justification des sous-systèmes rame et voie.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

## Principes d'exécution du TSM

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AGGESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/

## Principes d'exécution

- Annexe 3 : Environnement, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
- Annexe 4 : Règles d'exploitation et de maintenance, document n° : 69061, /MSB AG-BTR/
- Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/, (le présent document)

## Abréviations, définitions et symboles

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

Les abréviations et définitions ci-après représentent des abréviations et des définitions spécifiques du principe d'exécution Bruit :

Symbole	Unité	Signification
$C$	dB(A)	Constante en Équation (6)
$C_{\text{prüf}}$	dB(A)	Prise en compte des influences de la propagation du bruit selon /MSB-LSV/ au point de mesure de l'échantillon de voie
$C_{\text{ref}}$	dB(A)	Prise en compte des influences de la propagation du bruit selon /MSB-LSV/ au point de mesure de la voie en béton de référence
$D_{\text{BM},k}$	dB(A)	Différence de niveau liée à l'amortissement du sol et météorologique
$D_{\text{Fb}}$	dB(A)	Différence de niveau liée aux différents types de voie
$D_{\text{Fb},\text{prüf}}$	dB(A)	Valeur $D_{\text{Fb}}$ de l'échantillon de voie
$D_{\text{Fb},\text{ref}}$	dB(A)	Valeur $D_{\text{Fb}}$ de la voie en béton de référence
$D_{\text{Fz}}$	dB(A)	Différences de niveau liées aux différents types de rame
$D_{\text{Fz},\text{me}}$	dB(A)	Différence de niveau liée aux différents types de rame, partie mécanique
$D_{\text{Fz},\text{ae}}$	dB(A)	Différence de niveau liée aux différents types de rame, partie aérodynamique
$D_{\text{FzH}}$	dB(A)	Grandeur auxiliaire pour la détermination de $D_{\text{Fb}}$
$D_{\text{FzH},\text{me}}$	dB(A)	Grandeur auxiliaire pour la détermination de $D_{\text{Fb}}$ , partie mécanique
$D_{\text{FzH},\text{ae}}$	dB(A)	Grandeur auxiliaire pour la détermination de $D_{\text{Fb}}$ , partie aérodynamique
$D_{\text{L},k}$	dB(A)	Différence de niveau liée à l'absorption d'air
$D_{\text{s},k}$	dB(A)	Différence de niveau liée à l'écart
$L_{\text{A}}$	dB(A)	Niveau de pression acoustique pondéré A et FAST
$L_{\text{Am},\text{E}}$	dB(A)	Niveau d'événement par calcul de la moyenne sur la durée de l'événement $T_{\text{E}}$
$L_{\text{Am},\text{E},\text{eFl}}$	dB(A)	Niveau d'événement par calcul de la moyenne sur la durée de l'événement $T_{\text{E},\text{eFl}}$
$L_{\text{Am},\text{E},\text{r}}$	dB(A)	Niveau d'événement par calcul de la moyenne sur la durée de l'événement $T_{\text{E},\text{r}}$
$L_{\text{Am},\text{1h}}$	dB(A)	Niveau moyen horaire pour <u>un</u> passage de rame à l'heure
$L_{\text{Am},\text{1h},\text{eFl}}$	dB(A)	Niveau moyen horaire pour <u>un</u> passage de rame à l'heure (procédé par matrice)
$L_{\text{Am},\text{1h},\text{korr}}$	dB(A)	Niveau moyen horaire corrigé au moyen du nombre de voitures (Équation (2))

**Principes d'exécution**

Symbole	Unité	Signification
$L_{Am,1h,r}$	dB(A)	Niveau moyen horaire pour <u>un</u> passage de rame à l'heure (procédé par microphone unique avec distance de mesure réduite)
$L_{E,me}$	dB(A)	Proportion mécanique du niveau d'émission selon /MSB-LSV/
$L_{E,ae}$	dB(A)	Proportion aérodynamique du niveau d'émission selon /MSB-LSV/
$L_r$	dB(A)	Niveau total évalué selon /MSB-LSV/
$\Delta L_{Am,1h}$	dB(A)	Différence entre le niveau moyen horaire mesuré au point de mesure de l'échantillon de voie et au point de mesure de la voie en béton de référence (Équation (5))
$\Delta L_{Diff}$	dB(A)	Différence entre le niveau total évalué et le niveau moyen horaire corrigé (Équation (4))
$\Delta L_k$	dB(A)	Somme des différences de niveau lors du procédé de la pièce partielle selon /MSB-LSV/
$\Delta L_{Sek}$	dB(A)	Différence de niveau lié au nombre de voitures de la rame
a, b, c	-	Coefficients d'un polynôme de compensation du deuxième degré (Équation (3))
k	-	Index courant lors du procédé de la pièce partielle selon /MSB-LSV/
l	m	Longueur de la rame entre le nez et la queue
$l_k$	m	Longueur de la pièce partielle
p	Pa	Pression acoustique
R	m	Rayon de la voie
S	dB(A)	Niveau de correction destiné à prendre en compte les particularités des voies
t	s	Temps
$t_1$	s	Début du temps de calcul de la moyenne $T_E$
$t_{1,eFl}$	s	Début du temps de calcul de la moyenne $T_E$ (procédé par matrice)
$t_{1,r}$	s	Début du temps de calcul de la moyenne $T_{E,r}$ (procédé par microphone unique avec distance de mesure réduite)
$t_2$	s	Fin du temps de calcul de la moyenne $T_E$
$t_{2,eFl}$	s	Fin du temps de calcul de la moyenne $T_{E,eFl}$ (procédé par matrice)
$t_{2,r}$	s	Fin du temps de calcul de la moyenne $T_{E,r}$ (procédé par microphone unique avec distance de mesure réduite)
$T_E$	s	Temps de calcul de la moyenne du niveau d'événement
$T_{E,eFl}$	s	Temps de calcul de la moyenne du niveau d'événement (procédé par matrice)

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 5, Bruit

Symbole	Unité	Signification
$T_{E,r}$	s	Temps de calcul de la moyenne du niveau d'événement (procédé par microphone unique avec distance de mesure réduite)
$T_M$	s	Temps de mesure
$v$	km/h	Vitesse de la rame
$v_0$	km/h	Vitesse de référence ( $v_0 = 100$ km/h)

Définition/Abréviation	Signification
Lieu d'émission	Bord supérieur de la voie au centre du support de voie dans la section transversale de mesure selon /MSB-LSV/
Lieu de la nuisance	Emplacement d'un microphone ou de la matrice de microphones
Longueur montée courte	Échantillon de voie ayant une longueur montée $> 24$ m et $< 250$ m
Niveau maximum	Niveau maximum au cours du temps $L_A(t)$ lors du passage de la rame
Lieu de mesure	Champ le plus proche dans la zone du lieu d'émission et du lieu de la nuisance
Section transversale de mesure	Plan à travers le lieu de la nuisance avec la voie comme normale
Voiture	Unité de rame ayant une longueur supposée minimale d'environ 25 m
FO	Bord supérieur de la rame
TVE	Installation d'essai du Transrapid dans l'Emsland

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

Les abréviations et définitions ci-après représentent des abréviations et des définitions spécifiques du principe d'exécution Bruit :

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 5, Bruit

Doc. n° :   72963       Version   finale                   Date de publication   15.02.2007

Page 11

Le présent document renvoie notamment aux Décrets et normes ci-après.

Abréviation	Décrets et normes
/MbBO/	Règlement sur la construction et l'exploitation des trains à sustentation magnétique – MbBO (Article 1 du décret relatif aux trains à sustentation magnétique)
/MSB-LSV/	Règlement sur la protection contre le bruit des trains à sustentation magnétique (Article 2 du décret relatif aux trains à sustentation magnétique)
/DIN EN ISO 3095/	Acoustique – Mesure des émissions sonores des véhicules guidés sur voie

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées par analogie lors de la rédaction du présent document.

Dans les chapitres qui suivent du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique*.

---

## Établissement d'une spécification d'essai

Le preneur d'ordre prévu pour les mesures et l'interprétation des données destinées à déterminer les différences de niveau  $D_{Fz}$  d'une rame neuve ainsi que la différence de niveau  $D_{Fb}$  d'un échantillon de voie doit présenter une spécification d'essai au donneur d'ordre. Celle-ci est à définir avant les mesures avec le service de surveillance et d'homologation compétent ou avec un expert nommé par celui-ci. La spécification d'essai doit contenir les points essentiels suivants :

- une indication à propos de la concordance entre les conditions de mesure et les lieux de mesure prévus dans la zone de la voie en béton de référence et de l'échantillon de voie avec les indications du chapitre 0, notamment concernant le respect de la position des lieux des nuisances,
- une indication à propos de la concordance de l'état acoustique de la rame à utiliser lors de la réalisation des mesures avec les exigences selon le chapitre 0,
- la présentation d'un plan de déroulement qui garantit le nombre ainsi que les vitesses des passages de rame par point de mesure exigés selon le chapitre 0,
- une présentation des appareils de mesure et d'acquisition de données vraisemblablement à utiliser et
- un justificatif des connaissances du procédé décrit dans le chapitre 0 et notamment dans le chapitre 0 à propos de l'interprétation des données et de la détermination des différences de niveau  $D_{Fz}$  et  $D_{Fb}$ .

*Remarque : Le preneur d'ordre prévu doit notamment faire une présentation complète de ses connaissances des procédés de mesure et d'interprétation employés (voir chapitres 0 et 0) auprès du service de surveillance et d'homologation ou de l'expert désigné, le preneur d'ordre étant supposé posséder une expérience suffisante dans le domaine de la mesure avec ce procédé.*

## Réalisation des mesures

Lors des mesures de détermination des différences de niveau  $D_{Fz}$ , c'est-à-dire  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$ , ainsi que la différence de niveau  $D_{Fb}$  décrites dans le présent chapitre, il faut satisfaire aux conditions générales indiquées dans le chapitre 0. D'autres conditions de mesure sont mentionnées dans les deux chapitres suivants, celles-ci se rapportant exclusivement à la détermination des différences de niveau  $D_{Fz}$  (chapitre 0) ou à la détermination de la différence de niveau  $D_{Fb}$  (chapitre 0). Il faut ici systématiquement déterminer la valeur  $D_{Fb}$  d'un échantillon de voie uniquement à un point de mesure où la voie se compose d'une « longue » portion du type de voie de l'échantillon (voir chapitre 0). Si ce cas exceptionnel est impossible car l'échantillon de voie est un prototype de support qui ne dispose que d'une longueur montée « courte » généralement comprise entre 25 et 60 m, il faut déterminer  $D_{Fb}$  au moyen du procédé à microphone unique avec distance de mesure réduite et au moyen d'un procédé employant une matrice de microphones. Les conditions de mesure particulières s'appliquant ici sont présentées dans le chapitre 0. De plus, les points nécessaires pour tous les procédés de mesure dans le cadre de la documentation des mesures sont mentionnés dans le chapitre 0.

## Indications générales pour les mesures

Lors des mesures sur les rames et les voies, il faut respecter les exigences ci-après, lesquelles se réfèrent à la norme /DIN EN ISO 3095/, pour justifier des émissions sonores. Les indications générales pour les mesures se divisent en exigences relatives au lieu de mesure et de nuisance, aux rames et à leurs passages, à la classification de leur vitesse et à leur nombre, aux conditions météorologiques ainsi qu'aux indications relatives aux grandeurs mesurées et aux appareils de mesure.

## Exigences relatives au lieu de mesure et de nuisance

Le lieu de mesure doit présenter un terrain libre et plat, et ce toujours sur le côté de la voie sur lequel sont mesurées les nuisances sonores. Il faut tenir compte des faibles réflexions possibles du côté opposé. Il convient que la zone entre la voie et le lieu de la nuisance contienne de la terre arable et/ou de l'herbe ; une végétation basse est tolérée. Les obstacles qui gênent la propagation du son ainsi que les surfaces réfléchissantes ne sont pas autorisés dans l'environnement du point de la nuisance du côté de la mesure jusqu'à trois fois la distance de mesure.

Seules peuvent servir de points de mesure les sections de voie en ligne droite ( $R > 10\,000$  m). Une inclinaison transversale de la voie de  $\leq 2^\circ$  est autorisée. Dans la zone du point de mesure, la voie doit être composée d'une portion « longue » d'un type de voie identique. Portion « longue » veut dire que le même type de voie est présente sur au moins 125 m de chaque côté du point de mesure.

Il faut choisir le point de mesure de telle sorte que le bruit de fond puisse être négligé pendant tous les passages de la rame. Pour ce faire, le niveau de pression acoustique pondéré A et FAST provoqué par les sources de bruits parasites doit être inférieur au moins de 15 dB(A) au niveau maximum mesuré pendant un passage et de même le niveau de tierce concernant le niveau maximum doit être supérieur au moins de 15 dB(A) au bruit de fond. Si la différence

de niveau exigée de 15 dB(A) ne peut pas être respectée en raison d'un événement sonore imprévisible (par exemple survol d'un avion) pendant un passage individuel, il faut alors systématiquement répéter la mesure concernée et le passage.

Dans le cas d'une portion « longue » du type de voie à contrôler, la section de mesure doit sans exception se trouver au centre entre deux supports voisins. La distance de mesure projetée perpendiculairement sur le sol de la section de mesure entre le centre des supports de voie et le lieu de la nuisance est de 25 m.

La hauteur du lieu de la nuisance se trouve :

- 3,5 m au-dessus du sol dans le cas des hauteurs FO jusqu'à 7,0 m au-dessus du sol,
- 3,5 m sous le FO dans le cas des hauteurs de FO de plus de 7,0 m au-dessus du sol.

## **Exigences relatives aux rames et à leur passage**

Pendant les mesures destinées à déterminer les différences de niveau  $D_{Fz}$ , la rame doit se trouver dans un état acoustique correspondant à l'application opérationnelle ou pour lequel il faut déterminer les différences de niveau  $D_{Fz}$  selon /MSB-LSV/. Dans le cadre de la détermination de la différence de niveau  $D_{Fb}$ , la rame peut également présenter un état acoustique différent pendant les mesures, car dans le cadre de la détermination de  $D_{Fb}$  il faut mesurer les grandeurs auxiliaires  $D_{FzH}$  (voir chapitre 0) de la rame actuelle et les utiliser en l'état. La longueur ou le nombre de voitures de la rame pendant les mesures décrites ici sont libres.

*Remarque : Les corrections concernant le nombre de voitures sont prises en compte lors de la détermination de  $D_{Fz}$  dans le chapitre 0.*

Des passages à vitesse constante sur la zone de 125 m correspondant à la moitié de la longueur de la rame des deux côtés de la section de mesure sont nécessaires lors de toutes les mesures à effectuer ici. Comme l'expérience actuelle montre que le sens du déplacement, la voiture qui passe réellement, le côté de la rame présenté ainsi que l'état de chargement de la rame n'ont aucune influence sur le niveau de pression acoustique mesuré au point de nuisance, il est possible d'utiliser des déplacements dans des directions et avec des chargements différents lors de la détermination de  $D_{Fz}$  et de  $D_{Fb}$ . Le sens de déplacement, la voiture passante, le côté présenté de la rame et le chargement doivent cependant être documentés.

Dans le cas des rames neuves, il faut vérifier (par exemple au moyen des documents de construction et/ou par des mesures) si leurs émissions sonores sont identiques des deux côtés de la rame. En présence d'émissions différentes des deux côtés de la rame, il faut déterminer les valeurs de  $D_{Fz}$  de la rame sur le côté présentant les émissions sonores les plus élevées. En présence d'émissions différentes des deux côtés de la rame, il faut déterminer la grandeur auxiliaire  $D_{FzH}$  selon le chapitre 0 et la valeur de  $D_{Fb}$  de la rame toujours sur le même côté.

## Classification de la vitesse et nombre de passages

La plage de vitesses à chaque fois nécessaire pour la détermination des différences de niveau  $D_{Fz}$  et  $D_{Fb}$  est indiquée dans le chapitre 0 ou 0. Dans tous les cas, la classification des vitesses de passage doit toutefois s'effectuer par paliers de 10 km/h. Il faut mesurer au moins deux passages pour chaque palier de vitesse. Il faut effectuer au moins trois mesures à la vitesse maximale.

## Exigences relatives aux conditions météorologiques

La vitesse du vent au lieu de la nuisance doit être inférieure à 5 m/s lors des mesures. Il ne doit pas y avoir de neige sur le sol dans la zone du point de mesure. Il faut éviter les mesures par temps de pluie.

## Grandeur mesurée et appareils de mesure

La grandeur mesurée est la pression acoustique  $p$  au lieu de la nuisance. L'enregistrement de la grandeur mesurée doit être effectué soit sous la forme d'une courbe dans le temps de la pression acoustique  $p(t)$ , soit sous la forme d'une courbe dans le temps du niveau de pression acoustique pondéré A et FAST  $L_A(t)$  pendant une durée de mesure suffisante  $T_M$ . La mesure démarre lorsque le bruit du passage commence à se distinguer nettement du bruit de fond et se termine lorsque le bruit du passage est de nouveau couvert par le bruit de fond. Les courbes dans le temps  $p(t)$  ou  $L_A(t)$  obtenues pour chacun des passages de la rame sont à interpréter conformément aux indications du chapitre 0.

Les exigences relatives aux appareils de mesure et à leur calibrage correspondent aux indications de la norme /DIN EN ISO 3095/. L'ensemble de la chaîne de mesure ou l'appareil de mesure de niveau sonore doit être calibré chaque jour avant et après la mesure. Si la chaîne de mesure est modifiée, il faut alors procéder à de nouveaux calibrages avant et après la modification. Il faut enregistrer les signaux de calibrage et documenter l'opération de calibrage.

## Conditions de mesure supplémentaires lors de la détermination de $D_{Fz}$

En plus des exigences générales relatives aux mesures selon le chapitre 0, il faut également respecter les conditions suivantes lors des mesures destinées à déterminer les différences de niveau  $D_{Fz}$  :

- Les passages de rame doivent être mesurés en un endroit où la ligne se compose de la voie en béton de référence de la 1ère ou 2ème section construite du TVE, c'est-à-dire qui a été construite avant 1989. Une valeur  $D_{Fb}$  de 0 dB(A) est fixée dans /MSB-LSV/ pour ce type de voie.
- Il faut mesurer des passages dans une plage de vitesse entre 130 et au moins 400 km/h, c'est-à-dire au moins 57 passages avec les indications du chapitre 0.

## Conditions de mesure supplémentaires lors de la détermination de $D_{Fb}$

En plus des exigences générales relatives aux mesures selon le chapitre 0, il faut également respecter les conditions suivantes lors des mesures destinées à déterminer la différence de niveau  $D_{Fb}$  :

- L'indication de la valeur  $D_{Fb}$  d'un type de voie est autorisée pour des plages de vitesses restreintes, à savoir jusqu'à 300 km/h inclus, de > 300 km/h à 400 km/h inclus et de > 400 km/h à la vitesse d'homologation de la voie. Par conséquent, les passages sur l'échantillon de voie ne sont éventuellement nécessaires que dans les plages de vitesses restreintes correspondantes. D'un cas à l'autre, la plage de vitesses lors des mesures de détermination de  $D_{Fb}$  peut ainsi s'étendre de 130 à 300 km/h, de 130 à 400 km/h ou jusqu'à la vitesse d'homologation de la voie. Le nombre minimum de passages est déterminé selon le chapitre 0.
- La détermination de  $D_{Fb}$  suppose la connaissance des grandeurs auxiliaires  $D_{FzH}$ , c'est-à-dire  $D_{FzH,me}$  et  $D_{FzH,ae}$  de la rame qui a effectué le passage sur l'échantillon de voie. Il est vrai que les valeurs  $D_{FzH}$  peuvent être calculées à partir des données de mesure existant déjà pour cette rame lors des mesures des passages sur la voie en béton de référence, mais il est préférable de les déterminer rapidement par une nouvelle mesure avec cette rame sur la voie en béton de référence (voir chapitre 0). Si des modifications importantes ont été apportées à la rame depuis la dernière mesure des émissions sonores, il faut de nouveau déterminer les grandeurs auxiliaires  $D_{FzH}$ . Les valeurs  $D_{FzH}$  doivent se référer à la plage de vitesse jusqu'à au moins 400 km/h, et ce indépendamment d'une éventuelle limitation de la plage de vitesse lors de la détermination de  $D_{Fb}$ .

## Conditions de mesure supplémentaires lors de la détermination de $D_{Fb}$ en présence d'une longueur montée courte de l'échantillon de voie

En présence d'un échantillon de voie de longueur montée « courte », il faut déterminer la valeur  $D_{Fb}$  au moyen du procédé par microphone unique avec distance de mesure réduite et du procédé par matrice, la réalisation de ces mesures avec les deux procédés devant se dérouler simultanément.

Un léger écart par rapport à l'exigence selon laquelle la section de mesure doit se trouver exactement au centre entre deux supports voisins est nécessaire si un objet réfléchissant se trouve au centre entre les supports.

## Procédé de mesure par microphone unique avec distance de mesure réduite

En présence d'une longueur montée « courte » de l'échantillon de voie, pour que l'influence des voies voisines d'un type différent lors de la mesure avec un microphone unique soit la plus faible possible, il faut réduire la distance de mesure. Dans ce cas, la distance de mesure projetée perpendiculairement sur le sol dans la section de mesure entre le centre du support de la voie et le point de nuisance est de 12,5 m lorsque la longueur montée de l'échantillon est  $\geq 49$  m et  $< 250$  m et elle est de 6,5 m lorsque la longueur de l'échantillon est  $> 24$  m et  $< 49$  m. De plus, il faut tenir compte de la caractéristique directionnelle verticale de la voie et de la rame par une mesure simultanée à la distance nécessaire en deux points de nuisance de hauteurs différentes, ce qui oblige à enregistrer deux signaux de pression acoustique  $p(t)$  ou deux courbes de niveau  $L_A(t)$ . Les hauteurs des points de nuisance sont définies comme suit :

- le point de nuisance supérieur se trouve à la hauteur du FO,
- le point de nuisance inférieur est 3,5 m au-dessous de FO, mais au moins à 1,0 m au-dessus du sol.

Du fait de la longueur montée « courte » de l'échantillon de voie, la zone minimale de vitesse de passage constante de la rame sur la longueur réelle de l'échantillon est réduite à la moitié de la longueur de la rame devant et derrière l'échantillon.

Comme la détermination de la valeur  $D_{Fb}$  au chapitre 0 se base sur une mesure comparative sur la voie de référence en béton, les mesures au dernier point de mesure doivent être effectuées à la même distance de mesure réduite que sur l'échantillon de voie à deux hauteurs de nuisance correspondant à la hauteur FO de la voie de référence en béton.

Remarque : Comme il se produit des fluctuations de pression momentanées à l'avant et à l'arrière de la rame pendant son passage à des vitesses élevées, lesquelles peuvent entraîner des saturations du signal aux points de nuisance à 6,5 m de distance, il est recommandé le cas échéant pour cette distance de mesure d'installer à l'entrée de l'amplificateur de signal un filtre passe-haut ayant une fréquence de coupure d'environ 20 Hz.

## Procédé de mesure avec une matrice de microphones

En plus du procédé de mesure selon le chapitre 0, une méthode de mesure avec une matrice de microphone est préconisée pour la détermination de la valeur  $D_{Fb}$  d'un échantillon de voie à longueur montée « courte ». Le procédé par matrice sert à mesurer la valeur  $D_{Fb}$  du point de nuisance à 25 m de distance du centre du support de voie, et ce à

- 3,5 m au-dessus du sol dans le cas des hauteurs FO jusqu'à 7,0 m au-dessus du sol ou
- 3,5 m sous le FO dans le cas des hauteurs de FO de plus de 7,0 m au-dessus du sol.

La mesure est réalisée en utilisant une matrice linéaire et par conséquent unidimensionnelle orientée horizontalement et parallèlement à la voie dont le microphone central se trouve dans la section de mesure. Alors que les émissions sonores des voies voisines de construction différente sont masquées par le caractère fortement directionnel de cette matrice, cette dernière possède dans le sens vertical des propriétés identiques à celles d'un microphone individuel, ce qui veut dire que les influences sur le niveau de nuisance par la caractéristique directionnelle

verticale de la voie et de la rame ainsi que par les réflexions sur le sol sont bien restituées lors de la mesure.

Les composantes de bruit latérales et ainsi indésirables sont suffisamment atténuées par la matrice lors de la réception si la concentration en ligne droite sur le centre entre deux supports est égale à la résolution de la matrice ou si la largeur du lobe principal de la matrice dans le plan de l'objet à 25 m de distance est de 5 m. De plus, avec une telle résolution, une distance minimale entre le lobe principal de la matrice et les lobes secondaires, c'est-à-dire une dynamique de matrice minimale de 10 dB est nécessaire pour inhiber les émissions des supports voisins, laquelle est obtenue par une matrice en ligne même sans dégradé.

Comme la résolution d'une matrice dépend fortement de la fréquence et que la largeur du lobe principal lors d'une concentration en ligne droite ne doit pas différer de plus de  $\pm 20\%$  par rapport à la valeur moyenne dans toute la plage de fréquence à utiliser, la configuration en matrice employée ici est une matrice dite imbriquée, c'est-à-dire une matrice dans laquelle se trouve un certain nombre de sous-matrices. Chaque sous-matrice est conçue pour une plage de fréquences données qui possède à chaque fois une résolution de 4 m dans le plan de l'objet à 25 m de distance.

L'utilisation de la matrice décrite ci-après, la matrice dite « WH10x », est ici définie comme obligatoire pour réaliser une matrice qui satisfait aux exigences indiquées ci-dessus. Par une utilisation multiple, ses 27 microphones sont divisés en groupes de 10 sous-matrices. Chaque sous-matrice contient ici 7 microphones, seule la sous-matrice ayant le plus petit écart (4 cm) entre microphones en comprend 9. Le tableau 3 est une liste des positions des microphones dans la matrice WH10x, le microphone portant le numéro 14 représentant le centre de la matrice.

Numéro de microphone	Position [m]	Numéro de microphone	Position [m]
1	3,52	15	-0,04
2	2,56	16	-0,08
3	1,92	17	-0,12
4	1,28	18	-0,16
5	0,96	19	-0,24
6	0,64	20	-0,32
7	0,48	21	-0,48
8	0,32	22	-0,64
9	0,24	23	-0,96
10	0,16	24	-1,28
11	0,12	25	-1,92
12	0,08	26	-2,56
13	0,04	27	-3,52
14	0	-	-

Tableau 0-1 : Positions des microphones dans la matrice WH10x



- le lieu de mesure avec ses conditions additionnelles concernant l'acoustique (des deux côtés de la ligne),
- le type de voie et la hauteur de son FO au-dessus du sol dans la section de mesure ainsi que l'extension de ce type de voie des deux côtés de la section de mesure,
- la position du ou des points de nuisance du point de vue de la distance par rapport au centre des supports de voie ainsi que la ou les hauteurs des points de nuisance au-dessus du sol,
- la rame, le nombre de voitures et sa longueur, son état de chargement et éventuellement des indications sur ses modifications influençant l'acoustique,
- la chronologie des mesures ou des passages en indiquant la vitesse du véhicule, le sens de déplacement, la première voiture, le côté présenté de la rame, le chargement et les éventuelles perturbations qui se sont produites,
- les données météorologiques pendant les passages individuels de la rame (température, pression atmosphérique, taux d'humidité, vitesse et direction du vent) et
- les appareils de mesure utilisés, c'est-à-dire les chaînes de mesure entre les microphones et l'enregistreur de données ou le dispositif de mesure de niveau sonore, avec indications sur les calibrages effectués et les moments auxquels ils ont été effectués.

Le chapitre 0 contient d'autres documents exigés concernant l'interprétation des données et le chapitre 0 à propos de la détermination de  $D_{Fz}$  et  $D_{Fb}$ .

## Interprétation des données de mesure

Après avoir réalisé les mesures selon le chapitre 0, on dispose de signaux temporels enregistrés sous forme analogique ou numérique de la pression acoustique  $p(t)$  ou des courbes dans le temps du niveau de pression acoustique  $L_A(t)$  sur une période de mesure  $T_M$  suffisamment longue (voir chapitre 0) pour déterminer à la fois les différences de niveau  $D_{Fz}$  ainsi que la différence de niveau  $D_{Fb}$  à chaque fois pour un nombre donné de passages de la rame. L'interprétation de ces données est décrite dans le présent chapitre.

## Calcul du niveau moyen horaire

Il faut calculer le niveau moyen horaire  $L_{Am,1h}$  pour chaque passage mesuré et pour chaque point de nuisance. Le niveau d'événement  $L_{Am,E}$  est tout d'abord calculé en premier en faisant la moyenne de  $L_A(t)$  sur le temps de calcul de la moyenne  $T_E$ .  $T_E = t_2 - t_1$  est ici la durée dite de l'événement qui commence à l'instant  $t_1$  par rapport au passage d'une rame lorsque le niveau  $L_A$ , lors de l'approche de la rame, se trouve pour la première fois à 15 dB(A) au-dessous du niveau maximum pendant le passage de la rame et se termine à l'instant  $t_2$  lorsque, après le passage de la rame, le niveau  $L_A$  est finalement redescendu à 15 dB(A) au-dessous du niveau maximum.

La Niveau de pression acoustique (dB(A))

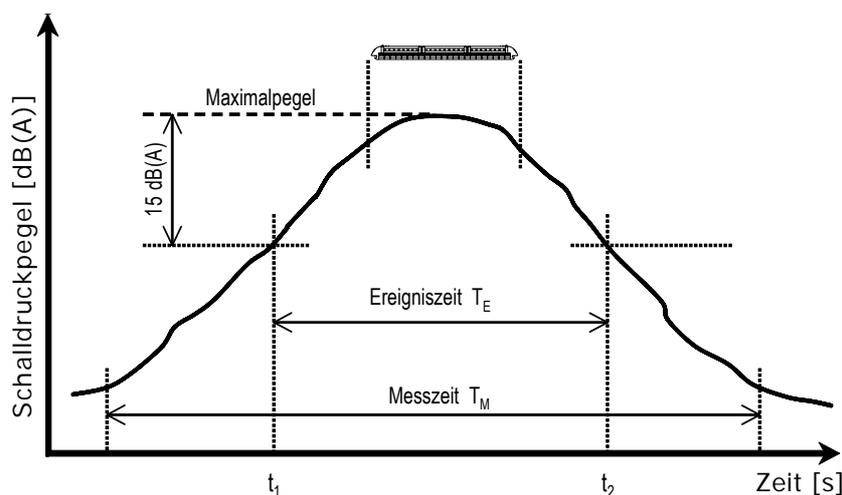
Niveau maximum

Durée de l'événement  $T_E$

Temps de mesure  $T_M$

Temps (s)

Figure 40 représente le temps de mesure  $T_M$  et la durée de l'événement  $T_E$  avec les instants  $t_1$  et  $t_2$  à titre d'exemple d'une courbe de niveau type  $L_A(t)$  pendant le passage d'une rame.



Niveau de pression acoustique (dB(A))

Niveau maximum

Durée de l'événement  $T_E$

Temps de mesure  $T_M$

*Temps (s)*

Figure 40 : Explication du temps de mesure  $T_M$  et de la durée d'un événement  $T_E$

Le niveau moyen horaire résulte du niveau de l'événement  $L_{Am,E}$  en additionnant le terme  $10\lg(T_E/3600 \text{ s})$ , le résultat devant être arrondi mathématiquement à une décimale. Le niveau moyen horaire  $L_{Am,1h}$  ainsi calculé à chaque fois pour un passage à l'heure représente la base pour la détermination des différences de niveau  $D_{Fz}$  et  $D_{Fb}$  dans le chapitre 0.

## Indications supplémentaires pour les interprétations dans le cas des longueurs montées courtes de l'échantillon de voie

Il faut tenir compte des indications particulières décrites dans les deux chapitres suivants lors de l'interprétation des signaux de pression acoustique  $p(t)$  ou des courbes de niveau  $L_A(t)$  enregistrés avec le procédé de mesure par microphone unique avec distance de mesure réduite selon le chapitre 0 et avec le procédé de mesure par matrice selon le chapitre 0.

### Interprétation des données lors du procédé de mesure par microphone unique avec distance de mesure réduite

Avec ce procédé de mesure, le calcul du niveau moyen horaire  $L_{Am,1h}$  s'effectue comme décrit au chapitre 0, mais une durée d'événement réduite  $T_{E,r} = t_{2,r} - t_{1,r}$  est cependant adoptée ici.  $t_{1,r}$  désigne ici l'instant auquel le nez de la rame atteint l'échantillon de voie et  $t_{2,r}$  l'instant auquel la queue de la rame quitte l'échantillon. Cette définition des instants  $t_{1,r}$  et  $t_{2,r}$  garantit qu'au moins une partie de la rame parcourt l'échantillon de voie pendant la durée de l'événement. Le niveau d'événement  $L_{Am,E,r}$  est tout d'abord obtenu en calculant la moyenne pendant le temps  $T_{E,r}$ , puis le niveau moyen horaire  $L_{Am,1h,r}$  est calculé en additionnant le terme  $10\lg(T_{E,r}/3600 \text{ s})$  puis en l'arrondissant mathématiquement à une décimale.

Pour chaque passage de la rame, il faut indiquer le niveau moyen horaire  $L_{Am,1h,r}$  pour le point de nuisance supérieur et inférieur. Pour pouvoir effectuer une comparaison, il faut déterminer les niveaux moyens horaires au point de mesure avec la voie de référence en béton sous les mêmes conditions géométriques que lors de la mesure sur l'échantillon de voie, ce qui veut dire que l'extension de la voie de référence en béton des deux côtés de la section de mesure doit être supposée identique à l'extension de l'échantillon de voie des deux côtés de la section de mesure. Il en résulte que la différence  $t_{2,r} - t_{1,r}$  et ainsi la durée de l'événement  $T_{E,r}$  sont identiques aux deux points de mesure. Les niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h,r}$  ainsi calculés sur la voie de référence en béton et sur l'échantillon de voie sont les grandeurs d'entrée pour la détermination de  $D_{Fb}$  dans le chapitre 0 ou 0.

### Interprétation des données lors du procédé de mesure par matrice

Les signaux enregistrés des 27 microphones de la matrice WH10x sont à interpréter séparément sans utiliser de facteurs de dégradé au moyen de l'algorithme « Delay-and-Sum Beamforming » (voir D. H. Johnson et D. E. Dudgeon, Array Signal Processing: Concepts and Techniques, P T R Prentice Hall, 1993) dans la plage de temps pour chacune des 10 sous-

matrices. Le Tableau 0-1 contient l'affectation des microphones individuels aux sous-matrices. Lors du calcul des signaux totaux de la matrice, il faut générer les valeurs échantillonnées nécessaires des signaux des microphones par une interpolation linéaire des valeurs d'échantillonnage du signal les plus proches. Les résultats de l'algorithme de Beamforming dans les sous-matrices individuelles s'appliquent aux plages de fréquences indiquées dans le Tableau 0-1. La matrice WH10x tient finalement compte de la plage de fréquence totale de 125 à 8 000 Hz qui est suffisante pour la détermination de  $D_{Fb}$ .

Sous-matrice	Contient les microphones N°	Plage de fréquences [Hz]
WH128	1, 2, 4, 14, 24, 26, 27	125 - 250
WH096	2, 3, 5, 14, 23, 25, 26	250 - 355
WH064	3, 4, 6, 14, 22, 24, 25	355 - 500
WH048	4, 5, 7, 14, 21, 23, 24	500 - 710
WH032	5, 6, 8, 14, 20, 22, 23	710 - 1000
WH024	6, 7, 9, 14, 19, 21, 22	1000 - 1410
WH016	7, 8, 10, 14, 18, 20, 21	1410 - 2000
WH012	8, 9, 11, 14, 17, 19, 20	2000 - 2820
WH008	9, 10, 12, 14, 16, 18, 19	2820 - 4000
WH004	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	4000 - 8000

Tableau 0-1 : Sous-matrices de la matrice WH10x avec les microphones associés et les plages de fréquences

Il faut choisir comme mode d'interprétation pendant l'algorithme Beamforming une concentration fixe avec une orientation perpendiculaire par rapport à la rangée de microphones. Le point de concentration, conformément au positionnement de la matrice lors des mesures, doit ici se trouver à 25 m de distance de la matrice. L'interprétation des données de chaque sous-matrice est à effectuer pour les points de mesure ou de concentration espacés de 1,0 m le long de la rame qui passe, c'est-à-dire à des intervalles de temps qui correspondent au mouvement continu de la rame de 1,0 m à la vitesse actuelle de la rame. À chacun de ces points de mesure, il faut de nouveau calculer la moyenne dans le temps du signal total de la matrice, laquelle équivaut à un déplacement de la rame de 5,0 m.

L'interprétation des données doit commencer environ 100 m avant le nez de la rame et se terminer environ 100 m derrière la queue de la rame. Le signal de déclenchement enregistré en même temps sert ici à la combinaison entre la position du véhicule et les signaux de pression acoustique.

Les courbes de niveau ainsi calculées pour chacune des sous-matrices dans les plages de fréquences partielles du Tableau 0-1 et en plus pondérées A doivent ensuite être additionnées du point de vue énergétique et donnent alors la courbe dans le temps du niveau de pression acoustique dans la plage de fréquences de 125 à 8 000 Hz mesurée pour le passage correspondant de la rame au moyen de la matrice WH10x. Dans le cas du procédé par matrice, la détermination du niveau d'événement correspondant est combinée avec la longueur dite étendue de la rame ( $eF1$ ), c'est-à-dire avec la longueur de la rame agrandie de 24,0 m : la durée de l'événement  $T_{E,eF1}$  commence à l'instant  $t_{1,eF1}$  auquel le nez de la rame se trouve encore à 12,0 m avant la section de mesure et se termine à l'instant  $t_{2,eF1}$  auquel la queue de la rame,

après son passage, s'est éloignée de 12,0 m de la section de mesure. Le niveau d'événement  $L_{Am,E,eFl}$  est tout d'abord obtenu en calculant la moyenne pendant la durée de l'événement  $T_{E,eFl} = t_{2,eFl} - t_{1,eFl}$ , puis le niveau moyen horaire  $L_{Am,1h,eFl}$  est calculé en additionnant le terme  $10\lg(T_{E,eFl}/3600 \text{ s})$  et en l'arrondissant mathématiquement à une décimale.

La méthode ainsi décrite d'interprétation des données est à appliquer au même titre pour les mesures sur un échantillon de voie et sur la voie de référence en béton. Les niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h,eFl}$  respectifs sont les grandeurs d'entrée pour la détermination de  $D_{Fb}$  dans le chapitre 0 ou 0.

## Documentation pour l'interprétation des données de mesure

Les résultats de l'interprétation des données de mesure effectuée selon les chapitres 0 et 0 sont à documenter entièrement sous forme de tableau dans un rapport de mesure, ce qui veut dire que pour chaque passage mesuré et pour chaque point de nuisance, il faut indiquer la vitesse de la rame, la durée de l'événement  $T_E$  (ou  $T_{E,r}$  ou  $T_{E,eFl}$ ), le niveau d'événement  $L_{Am,E}$  (ou  $L_{Am,E,r}$  ou  $L_{Am,E,eFl}$ ) et le niveau moyen horaire  $L_{Am,1h}$  (ou  $L_{Am,1h,r}$  ou  $L_{Am,1h,eFl}$ ), la vitesse de la rame étant la vitesse communiquée par l'exploitant de la section de TSM pour le point de mesure. Les résultats des passages pour lesquels les niveaux calculés semblent douteux en raison d'une erreur de mesure manifeste doivent tout de même figurer dans le tableau, mais en étant mis en valeur. Il ne faut cependant pas en tenir compte lors de la détermination de  $D_{Fz}$  ou de  $D_{Fb}$  dans le chapitre 0. Il faut décrire les causes de l'erreur de mesure.

Outre la documentation ci-dessus des résultats de la mesure sous forme de tableau, il faut également présenter les courbes  $L_A(t)$  sous forme graphique et en fonction de la durée de la mesure  $T_M$  pour tous les passages et pour chaque point de nuisance. Il faut identifier dans ces relevés de niveau les instants  $t_1$  ou  $t_{1,r}$  et  $t_2$  ou  $t_{2,r}$  pour le calcul du niveau d'événement. Dans le cas des mesures avec la matrice de microphones, il faut documenter comme relevé de niveau  $L_A(t)$  les courbes du signal total de la matrice calculé selon le chapitre 0 avec les instants  $t_{1,eFl}$  et  $t_{2,eFl}$ . Au lieu du temps de mesure  $T_M$ , la représentation du dernier relevé de niveau peut se limiter à la zone sur environ 100 m devant le nez de la rame et jusqu'à environ 100 m derrière la queue de la rame.

De plus, il faut établir en niveaux absolus des spectres de tierce de pression acoustique de la fréquence centrale de tierce de 25 Hz à la fréquence centrale de tierce de 10 kHz - seulement pour les tierces de 160 à 6 300 Hz dans le cas du procédé par matrice. Une évaluation à un déplacement à chaque fois à 150, 200, 250, 300 et, suivant la plage de vitesses nécessaire, à 350 et à 400 km/h est ici suffisante. Pour les spectres de tierce, il faut interpréter le signal dans le temps  $p(t)$  – les signaux dans le temps des microphones de la matrice dans le cas du procédé par matrice – en fonction de la durée d'événement du passage correspondant. La représentation de spectres de tierce non pondérés ou pondérés A est autorisée, il faut indiquer clairement le choix adopté lors du marquage des ordonnées. Chaque spectre de tierce doit en outre comporter l'indication du niveau sonore total « linéaire », c'est-à-dire non pondéré, ou pondéré A sous la forme de la somme énergétique des niveaux de tierce mentionnés ci-dessus.

## Détermination des différences de niveau $D_{Fz}$ et $D_{Fb}$

Les niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h}$  calculés selon le chapitre 0 pour les passages individuels de la rame constituent la base pour la détermination décrite ci-après des différences de niveau  $D_{Fz}$ , c'est-à-dire de  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$ , et de la différence de niveau  $D_{Fb}$ .

## Détermination de la valeur $D_{Fz,me}$ et $D_{Fz,ae}$

Pour déterminer la valeur  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$ , conformément au chapitre 0, il faut exclusivement utiliser les résultats de la mesure lors des passages sur la voie de référence en béton sous les conditions de mesure elles aussi indiquées dans ce chapitre. Comme, selon le chapitre 0, la longueur de la rame ou le nombre de ses voitures est libre lors des mesures de détermination de  $D_{Fz}$ , il en résulte ici en rapport avec les niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h}$  mesurés une correction nécessaire par des valeurs  $\Delta L_{Sek}$  qui dépendent du nombre de voitures et de la vitesse de la rame et qui sont indiquées ci-dessous pour des rames composées de 2 à 10 voitures.

*Remarque : Des niveaux de nuisances provoquées par les passages de TR 07/1 composés de 2 voitures ont servi de base à l'établissement de /MSB-LSV/. Les valeurs pour les rames comportant plus de voitures ont été prévues à l'aide de calculs de modèle qui se basent sur la localisation de la source de bruit sur TR 07/1. Ces valeurs prévisionnelles ont été utilisées comme substitutions pour les mesures manquantes sur les rames à plusieurs voitures et utilisées pour la prise en compte de la longueur de la rame lors de l'établissement des formules (2.1) et (2.2) dans /MSB-LSV/. Dans le cadre de ce procédé, les niveaux de nuisances lors de la mesure ou des calculs de modèle étaient inférieurs aux valeurs théoriques définies dans /MSB-LSV/ (de près de 1,2 dB(A) pour une rame à 2 voitures ou de près de 2,1 dB(A) pour une rame à 4 voitures). Ces différences ont été acceptées comme évaluation conservatoire et se reflètent dans les valeurs de correction  $\Delta L_{Sek}$ .*

Les valeurs  $\Delta L_{Sek}$  de correction des niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h}$  mesurés résultent des Équations (1a-1i) et doivent être arrondies mathématiquement à deux décimales lors du calcul suivant :

$$\Delta L_{Sek}(2 \text{ voitures}, v) = -2,7 + 16,5 \cdot \lg(v/v_0) - 17,9 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]}, \quad (1a)$$

$$\Delta L_{Sek}(3 \text{ voitures}, v) = -2,5 + 17,5 \cdot \lg(v/v_0) - 18,7 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]}, \quad (1b)$$

$$\Delta L_{Sek}(4 \text{ voitures}, v) = -2,4 + 18,4 \cdot \lg(v/v_0) - 19,6 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]}, \quad (1c)$$

$$\Delta L_{Sek}(5 \text{ voitures}, v) = -2,4 + 19,0 \cdot \lg(v/v_0) - 19,5 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]}, \quad (1d)$$

$$\Delta L_{Sek}(6 \text{ voitures}, v) = -2,4 + 19,5 \cdot \lg(v/v_0) - 19,4 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]}, \quad (1e)$$

$$\Delta L_{Sek}(7 \text{ voitures}, v) = -2,4 + 19,4 \cdot \lg(v/v_0) - 18,7 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]}, \quad (1f)$$

$$\Delta L_{Sek}(8 \text{ voitures}, v) = -2,3 + 19,3 \cdot \lg(v/v_0) - 18,0 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]}, \quad (1g)$$

$$\Delta L_{Sek}(9 \text{ voitures}, v) = -2,3 + 18,9 \cdot \lg(v/v_0) - 17,0 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]}, \quad (1h)$$

$$\Delta L_{Sek}(10 \text{ voitures}, v) = -2,2 + 18,5 \cdot \lg(v/v_0) - 16,0 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]}. \quad (1i)$$

Équations (1a-1i)

*Remarque : Les Équations (1a-1i) se basent sur une longueur de voiture d'environ 25 m. Si la longueur de la voiture est très différente de cette valeur, il faut alors utiliser l'équation pour la longueur de rame immédiatement supérieure.*

Par conséquent, les niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h,korr}$  pour les passages mesurés à la vitesse  $v$  avec  $\Delta L_{Sek}$  pour le nombre de voitures lors de la mesure sont de

$$L_{Am,1h,korr} = L_{Am,1h} + \Delta L_{Sek} \text{ [dB(A)]}. \quad (2)$$

Équation (2)

Il faut ensuite déterminer, à l'aide des niveaux horaires moyens  $L_{Am,1h,korr}$  ainsi corrigés de 130 à au moins 400 km/h par paliers de 10 km/h, un polynôme de compensation du deuxième degré sous la forme

$$L_{Am,1h,korr}(v) = a + b \cdot \lg(v/v_0) + c \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]} \quad (3)$$

Équation (3)

les coefficients  $a$ ,  $b$  et  $c$  étant calculés d'après la méthode du plus petit carré d'erreurs et les vitesses de rame de chacun des niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h,korr}$  étant les vitesses indiquées par l'exploitant de la voie de TSM. Dans ce qui suit, le polynôme  $L_{Am,1h,korr}(v)$  est le représentant des valeurs mesurées. Il n'est en principe valide que dans la plage des vitesses mesurées. Il faut toutefois exclure la plage de vitesses au-dessous de 170 km/h où, selon la règle dans /MSB-LSV/, Paragraphe 2.5, la valeur à adopter pour les niveaux moyens est celle à 170 km/h. De plus, dans les cas où il faut connaître les niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h,korr}$  au-dessus du passage mesuré à la vitesse la plus élevée, ceux-ci sont à extrapoler à l'aide du polynôme jusqu'à des vitesses qui sont supérieures au maximum de 5 % à la vitesse la plus élevée mesurée.

La détermination des valeurs de  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$  s'effectue dans le cadre du procédé itératif décrit ci-dessous. Les niveaux du polynôme  $L_{Am,1h,korr}(v)$  y sont comparés avec ceux du niveau évalué total  $L_r(v)$  à calculer selon /MSB-LSV/. Pour ce faire, il faut calculer le niveau évalué total sous la forme de la somme énergétique des niveaux évalués mécaniques et aérodynamiques pour différentes combinaisons de  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$  pendant une durée d'une heure avec un passage pendant cette période, et ce au moyen du procédé de la pièce partielle pour la situation géométrique lors de la mesure sur la voie en béton de référence. Il faut ici utiliser des pièces partielles sur une longueur minimale de 500 m des deux côtés de la section de mesure. Le niveau de correction  $S$  destiné à tenir compte des particularités des voies (voir /MSB-LSV/) n'est pas à prendre en compte lors du calcul du niveau évalué.

Le procédé d'itération comprend les étapes suivantes :

- 1) Calcul du niveau évalué total  $L_r(v)$  pour une combinaison de valeurs  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$ ,
- 2) Calcul des différences de niveau  $\Delta L_{Diff}(v)$  entre le niveau évalué total calculé  $L_r(v)$  et le polynôme  $L_{Am,1h,korr}(v)$  dans la plage de vitesses de 170 km/h à au moins 400 km/h par paliers de 1 km/h selon

$$\Delta L_{Diff}(v) = L_r(v) - L_{Am,1h,korr}(v) \text{ [dB(A)]}, \quad (4)$$

Équation (4)

- 3) Arrondi mathématique des valeurs de  $\Delta L_{Diff}(v)$  à une décimale,

- 4) Variation des valeurs  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$  par paliers de 0,5 dB pour déterminer la combinaison de valeurs avec laquelle les conditions suivantes sont satisfaites :
- Les différences de niveaux arrondies  $\Delta L_{Diff}(v) \geq 0$  pour toutes les vitesses entre 170 km/h et la vitesse maximale (au moins 400 km/h, voir chapitre 0) ; cette condition doit être contrôlée par paliers de 1 km/h et garantit que le niveau évalué total prévu est toujours supérieur aux valeurs mesurées (représentées par les valeurs du polynôme  $L_{Am,1h,korr}(v)$ ).
  - Dans la plage de 170 km/h à la vitesse maximale (au moins 400 km/h, voir le chapitre 0), la somme des carrés des différences de niveau  $\Delta L_{Diff}(v)$  arrondies est minimale. Le palier est de nouveau de 1 km/h lors du calcul de cette somme.

La combinaison de valeurs  $D_{Fz}$  trouvée après avoir terminé l'étape 4 du procédé d'itération représente les valeurs  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$  recherchées pour une rame neuve.

## Détermination de la valeur $D_{Fb}$

La détermination de la valeur  $D_{Fb}$  suppose la connaissance des grandeurs auxiliaires  $D_{FzH}$ , c'est-à-dire  $D_{FzH,me}$  et  $D_{FzH,ae}$  de la rame qui a effectué le passage sur l'échantillon de voie pour lequel il faut déterminer la valeur  $D_{Fb}$ . Les valeurs  $D_{FzH}$  représentent ici en principe les différences de niveau  $D_{Fz}$  ; elles sont cependant déterminées sans les corrections  $\Delta L_{Sek}$  concernant le nombre de voitures. Elles se basent généralement sur des mesures préalables sur la voie en béton de référence effectuées peu de temps avant les mesures proprement dites sur l'échantillon de voie.

### Mesures préalables et interprétation des données pour la détermination des valeurs $D_{FzH}$

Les mesures préalables destinées à déterminer les valeurs  $D_{FzH}$  sur la voie en béton de référence sont soumises aux exigences indiquées dans le chapitre 0. L'interprétation des données de mesure est elle aussi la même que pour la détermination de  $D_{Fz}$ . La détermination de  $D_{FzH,me}$  et de  $D_{FzH,ae}$  s'effectue ainsi au moyen du procédé d'itération du chapitre 0. Il faut cependant tenir compte ici de quatre exceptions :

- Les niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h}$  ne sont pas soumis aux valeurs de correction  $\Delta L_{Sek}$ , de sorte que le polynôme de compensation de l'Équation (3) est ainsi dérivé des valeurs réellement mesurées pour les niveaux horaires moyens.
- L'arrondissement de  $\Delta L_{Diff}(v)$  à l'étape 3 du procédé d'itération est supprimé.
- À l'étape 4 du procédé d'itération, la variation des valeurs  $D_{FzH,me}$  et  $D_{FzH,ae}$  est à effectuer par paliers de 0,1 dB et
- La condition  $\Delta L_{Diff}(v) \geq 0$  est supprimée.

La combinaison de valeurs  $D_{FzH}$  trouvée après avoir terminé l'étape 4 du procédé d'itération représente les valeurs recherchées pour  $D_{FzH,me}$  et  $D_{FzH,ae}$ .

**Détermination de la valeur  $D_{FB}$  en se basant sur les valeurs  $D_{FZH}$** 

Pour déterminer la valeur  $D_{FB}$  de l'échantillon de voie, il faut tout d'abord calculer la courbe différentielle  $\Delta L_{Am,1h}(v)$  des niveaux moyens horaires  $L_{Am,1h,pr\u00fct}$  mesurés au point de mesure avec l'échantillon de voie et les niveaux  $L_{Am,1h,ref}$  mesurés au point de mesure avec la voie de référence en béton dans la plage de vitesses communes aux deux points de mesure, à savoir

$$\Delta L_{Am,1h}(v) = L_{Am,1h,pr\u00fct}(v) - L_{Am,1h,ref}(v) \quad [\text{dB(A)}], \quad (5)$$

Équation (5)

où  $L_{Am,1h,pr\u00fct}(v)$  et  $L_{Am,1h,ref}(v)$  sont des polynômes de compensation à déterminer d'après l'Équation (3). La courbe  $\Delta L_{Am,1h}(v)$  représente ainsi la différence de niveaux déterminée en fonction de la vitesse au point de nuisance avec l'échantillon de voie par rapport au point de nuisance avec la voie en béton de référence. La valeur  $D_{FB}$  de l'échantillon de voie, c'est-à-dire  $D_{Fb,pr\u00fct}$ , est calculée au moyen de l'Équation (6) en connaissant les grandeurs auxiliaires  $D_{FZH,me}$  et  $D_{FZH,ae}$  de la rame actuelle, c'est-à-dire de la rame qui a effectué les passages sur l'échantillon de voie :

$$D_{Fb,pr\u00fct}(v) = 10 \lg(10^{(\Delta L_{Am,1h} - C)/10} + 10^{(\Delta L_{Am,1h} - C + L_{E,ae} - L_{E,me})/10} - 10^{(L_{E,ae} - L_{E,me})/10}) \quad [\text{dB(A)}] \quad (6)$$

Équation (6)

avec  $L_{E,me} = 40 + D_{FZH,me} + 10 \lg(l/100 \text{ m}) + 20 \lg(v/v_0) + D_{Fb,ref} \quad [\text{dB(A)}],$

$L_{E,ae} = 24 + D_{FZH,ae} + 10 \lg((0,6 \cdot l + 40)/100 \text{ m}) + 60 \lg(v/v_0) \quad [\text{dB(A)}],$

$D_{Fb,ref} = 0$

$C = C_{pr\u00fct} - C_{ref} \quad [\text{dB(A)}],$

$$C_{pr\u00fct} = 10 \lg \sum_k 10^{\Delta L_{k,pr\u00fct} / 10}$$

avec  $[\text{dB(A)}]$  (selon le procédé de la pièce partielle de /MSB-LSV/),

$$C_{ref} = 10 \lg \sum_k 10^{\Delta L_{k,ref} / 10}$$

$[\text{dB(A)}]$  (selon le procédé de la pièce partielle de /MSB-LSV/),

avec  $\Delta L_{k,pr\u00fct} = 18 + 10 \lg(l_{k,pr\u00fct}) + D_{s,k,pr\u00fct} + D_{L,k,pr\u00fct} + D_{BM,k,pr\u00fct} \quad [\text{dB(A)}],$

$\Delta L_{k,ref} = 18 + 10 \lg(l_{k,ref}) + D_{s,k,ref} + D_{L,k,ref} + D_{BM,k,ref} \quad [\text{dB(A)}].$

*Remarque : Les termes  $C_{pr\u00fct}$  et  $C_{ref}$  tiennent compte des différentes hauteurs au-dessus du sol du bord supérieur de la voie et du point de nuisance au point de mesure de l'échantillon de voie et de la voie de référence en béton. Si les hauteurs du bord supérieur de la voie aux deux points de mesure sont identiques, la différence  $C_{pr\u00fct} - C_{ref}$  est nulle et le terme  $C$  dans l'Équation (6) disparaît alors.*

L'Équation (6) s'applique exclusivement aux conditions annexes à respecter lors des mesures d'après les indications dans le chapitre 0. Il convient de signaler une nouvelle fois que dans (6), dans le cadre du procédé de la pièce partielle, il faut utiliser des pièces partielles sur une longueur minimale de 500 m des deux côtés de la section de mesure.

La valeur maximale de  $D_{Fb,pr\u00fct}$  déterminée selon l'Équation (6) dans la plage de vitesses à partir de 170 km/h est à arrondir par paliers de 0,5 dB. La valeur qui en résulte représente la valeur  $D_{FB}$  de l'échantillon de voie. Du fait que d'après le chapitre 0, l'indication de la valeur  $D_{FB}$  de l'échantillon de voie dans des plages de vitesses est autorisée, à savoir jusqu'à 300 km/h inclus, de > 300 km/h à 400 km/h inclus et au-dessus de cette dernière, il faut si nécessaire

déterminer  $D_{Fb}$  au moyen de l'Équation (6) séparément dans chacune des plages de vitesses. Il faut identifier la plage de validité des valeurs  $D_{Fb}$  ainsi obtenues.

## Indications supplémentaires pour la détermination de $D_{Fb}$ dans le cas des longueurs montées courtes de l'échantillon de voie

La valeur  $D_{Fb}$  fixée pour l'échantillon de voie est à valeur la plus élevée à chaque fois déterminée avec le procédé par microphone unique avec distance de mesure réduite et le procédé par matrice. Cette règle s'applique pour toute la plage de vitesses à partir de 170 km/h ainsi que séparément pour les plages de vitesses partielles possibles d'après le chapitre 0. Il convient encore de mentionner les remarques suivantes :

- La détermination de  $D_{Fb}$  au moyen du procédé par microphone unique avec distance de mesure réduite s'effectue en principe comme décrit dans le chapitre 0. Tous les niveaux horaires moyens  $L_{Am,1h,r}$  déterminés en un point de mesure, c'est-à-dire les niveaux aux deux hauteurs de nuisance, sont cependant utilisés pour la différence de niveau  $\Delta L_{Am,1h}(v)$  dans l'Équation (5) lors du calcul des polynômes  $L_{Am,1h,prüf}(v)$  et  $L_{Am,1h,ref}(v)$  selon l'Équation (3). S'il faut tenir compte du terme C dans l'Équation (6) en raison des hauteurs différentes des points de nuisance aux deux points de mesure, il faut alors calculer à chaque point de mesure la moyenne de la hauteur du point de nuisance nécessaire pour le calcul de  $C_{prüf}$  et de  $C_{ref}$  à partir des deux hauteurs de nuisance du point de mesure correspondant.
- La détermination de  $D_{Fb}$  au moyen du procédé par matrice s'effectue à l'identique de la description dans le chapitre 0. Lors du calcul des polynômes  $L_{Am,1h,prüf}(v)$  et  $L_{Am,1h,ref}(v)$  selon l'Équation (3), il faut utiliser les niveaux horaires moyens  $L_{Am,1h,eFl}$ .

Remarque : Lors de la prise en compte des niveaux horaires moyens mesurés en deux hauteurs de nuisance lors du procédé à microphone unique, on obtient lors du calcul du polynôme pour chaque point de mesure une moyenne qui réduit les erreurs provoquées par la caractéristique directionnelle verticale de la voie et par la rame.

## Documentation pour la détermination des différences de niveau $D_{Fz}$ et $D_{Fb}$

La documentation concernant les valeurs de  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$  trouvées dans le chapitre 0 au moyen du procédé par itération pour une rame neuve comprend deux graphiques qui doivent concrétiser la « meilleure » adaptation du niveau évalué total à calculer selon /MSB-LSV/ au niveau horaire moyen corrigé mesuré sur la voie en béton de référence. Le premier graphique doit présenter :

- les niveaux horaires moyens individuels corrigés  $L_{Am,1h,korr}$ ,
- le polynôme de compensation  $L_{Am,1h,korr}(v)$  dérivé de ces valeurs et
- la courbe du niveau évalué total  $L_t(v)$  à calculer selon /MSB-LSV/.



## Annexe

Cette annexe décrit à l'aide d'un exemple la détermination des valeurs  $D_{Fz}$ ,  $D_{FzH}$  et  $D_{Fb}$  ainsi que la documentation des résultats. Pour ce faire, le Tableau 0-1 contient une liste de niveaux horaires moyens fictifs  $L_{Am,1h}$  qui ont été mesurés sur la voie en béton de référence sous les conditions selon le chapitre 0 et ont été déterminés conformément aux indications du chapitre 0.

Les conditions annexes et les valeurs mesurées fictives suivantes ont été supposées dans le présent exemple :

- microphone unique à 25 m de distance du centre des supports de voie,
- extension « longue » de la voie,
- bord supérieur de la voie dans la section de mesure à 6,7 m de hauteur au-dessus du sol,
- rame de 79,2 m de longueur.

v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]	v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]	v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]
129,9	41,9	229,2	46,6	330,1	53,6
130,0	42,5	230,3	46,8	330,5	53,8
139,9	42,5	240,1	47,4	339,9	54,4
140,1	42,2	240,3	47,9	340,3	54,8
150,1	41,9	249,9	48,2	349,7	55,3
150,4	42,5	250,3	48,5	350,1	55,1
160,0	42,3	260,2	48,8	360,1	55,6
160,1	42,7	260,5	49,2	360,4	55,2
170,1	42,6	269,8	49,7	369,7	56,5
170,4	43,4	270,2	50,3	370,1	56,3
180,1	43,5	280,0	50,2	379,7	56,8
180,2	42,7	280,2	50,5	380,1	56,7
190,1	43,6	289,9	51,2	390,0	57,0
190,3	44,4	290,2	51,5	390,2	57,4
200,1	44,4	300,2	51,9	400,1	58,0
200,3	44,7	300,6	52,3	400,3	57,7
210,2	44,9	310,5	52,3	409,6	58,4
210,4	45,1	310,8	52,6	409,9	58,9
219,8	45,9	319,9	52,8	410,3	58,6
220,2	45,5	320,1	53,1	-	-

Tableau 0-1 : Niveaux horaires moyens fictifs déterminés au point de mesure avec la voie en béton de référence

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Système complet, Annexe 5, Bruit

Doc. n° : 72963 Version finale Date de publication 15.02.2007

Page 34

## Exemple de détermination des différences de niveau $D_{Fz,me}$ et $D_{Fz,ae}$

Il faut tout d'abord corriger les niveaux horaires moyens  $L_{Am,1h}$  du Tableau 0-1 en fonction du nombre de voitures de la rame d'après l'Équation (2). Les niveaux horaires moyens  $L_{Am,1h,korr}$  qui en résultent sont reportés dans la *Niveau horaire moyen (dB(A))*

\* Valeurs mesurées corrigées

– Polynôme de compensation

– – – Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 41 (conformément au chapitre 0). Le polynôme de compensation  $L_{Am,1h,korr}(v)$  est ensuite calculé à partir des niveaux  $L_{Am,1h,korr}$  selon l'Équation (3) puis ajouté dans la *Niveau horaire moyen (dB(A))*

\* Valeurs mesurées corrigées

– Polynôme de compensation

– – – Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 41 (voir chapitre 0). Dans le présent exemple, les valeurs obtenues pour les coefficients du polynôme sont  $a = 38,90$ ,  $b = 12,62$  et  $c = 35,70$ .

Les valeurs  $D_{Fz,me}$  et  $D_{Fz,ae}$  sont déterminées en utilisant le procédé d'itération défini dans le chapitre 0, celles-ci fournissant la « meilleure » adaptation du niveau évalué total  $L_r(v)$  à calculer selon /MSB-LSV/ au polynôme de compensation  $L_{Am,1h,korr}(v)$  en tenant particulièrement compte du fait que le niveau évalué total doit toujours se trouver au-dessus du polynôme de compensation. Dans cet exemple, les valeurs déterminées sont  $D_{Fz,me} = -0,5$  dB(A) et  $D_{Fz,ae} = -0,5$  dB(A). La courbe du niveau évalué total pour ces deux valeurs est également reportée dans la *Niveau horaire moyen (dB(A))*

\* Valeurs mesurées corrigées

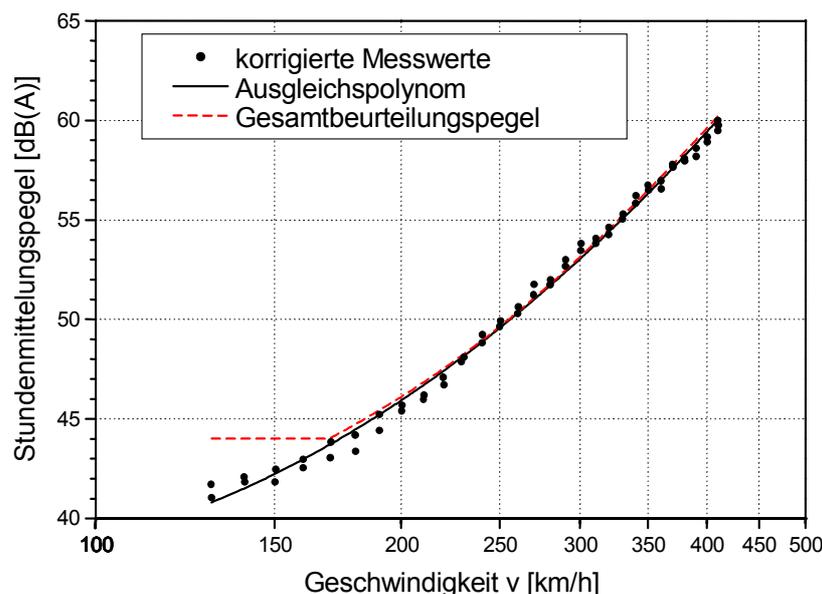
– Polynôme de compensation

– – – Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 41 (voir chapitre 0).

Pour le reste, la valeur de  $C_{ref}$  requise lors du calcul du niveau évalué total sur la voie de référence en béton, du fait des conditions géométriques mentionnées ci-dessus et des pièces partielles prises en compte sur  $\pm 500$  m des deux côtés de la section de mesure, est de 0,0218 dB(A).



Niveau horaire moyen (dB(A))

\* Valeurs mesurées corrigées

– Polynôme de compensation

- - - Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 41 : Niveau horaire moyen corrigé  $L_{Am,1h,korr}$ , polynôme de compensation  $L_{Am,1h,korr}(v)$  et niveau évalué total  $L_r(v)$  sur la base des valeurs  $D_{Fz}$  déterminées avec le procédé d'itération

Conformément aux indications du chapitre 0, la Différence de niveau  $\Delta L_{Diff}$  (dB(A))

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 42 représente la courbe de la différence de niveau  $\Delta L_{Diff}$  selon l'Équation (4) sous la forme de la différence des courbes du niveau évalué total et du polynôme de compensation de la Niveau horaire moyen (dB(A))

\* Valeurs mesurées corrigées

– Polynôme de compensation

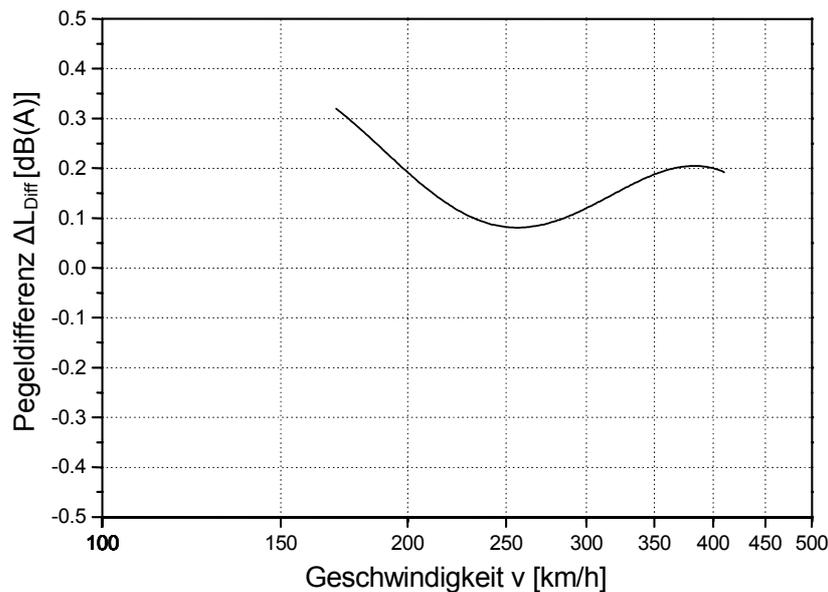
- - - Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 41. La Différence de niveau  $\Delta L_{Diff}$  (dB(A))

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 42 sert à justifier que lors de la détermination de  $D_{Fz,me}$  et de  $D_{Fz,ac}$ , la condition  $\Delta L_{Diff} \geq 0$  est respectée dans toute la plage de vitesses de 170 km/h à la vitesse maximale.



Différence de niveau  $\Delta L_{Diff}$  (dB(A))  
Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 42 : Différence de niveau  $\Delta L_{Diff}(v)$  entre le niveau évalué total et le polynôme de compensation de la Niveau horaire moyen (dB(A))

\* Valeurs mesurées corrigées  
– Polynôme de compensation  
- - - Niveau évalué total  
Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 41

## Exemple de détermination de la différence de niveau $D_{Fb}$

Dans une première étape, il faut déterminer les grandeurs auxiliaires  $D_{FzH,me}$  et  $D_{FzH,ae}$  par des mesures sur la voie de référence pour la rame qui a servi à effectuer les passages sur l'échantillon de voie. La différence de niveau  $D_{Fb}$  est ensuite déterminée à partir de la différence entre les niveaux horaires moyens mesurés sur l'échantillon de voie et sur la voie de référence en béton.

### Détermination des grandeurs auxiliaires $D_{FzH,me}$ et $D_{FzH,ae}$

Il faut tout d'abord représenter sous forme graphique les niveaux horaires moyens  $L_{Am,1h} = L_{Am,1h,ref}$  du chapitre 0 déterminés selon le chapitre Tableau 0-1 sur la voie de référence en béton (voir Niveau horaire moyen (dB(A)))

\* Valeurs mesurées  
– Polynôme de compensation  
- - - Niveau évalué total  
Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 43). Il n'y a pas de correction en fonction du nombre de voitures de la rame. Il faut adapter un polynôme de compensation  $L_{Am,1h,ref}(v)$  à ces valeurs au moyen de l'Équation (3) et éventuellement le représenter sous forme graphique (voir *Niveau horaire moyen (dB(A))*)

\* Valeurs mesurées

– Polynôme de compensation

--- Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 43). Dans le présent exemple, les valeurs obtenues pour les coefficients de ce polynôme de compensation sont  $a = 41,43$ ,  $b = -4,81$  et  $c = 54,38$ .

Il faut déterminer grandeurs auxiliaires  $D_{FzH,me}$  et  $D_{FzH,ae}$  par la « meilleure » adaptation du niveau évalué total  $L_r(v)$  à calculer selon /MSB-LSV/ au polynôme de compensation

$L_{Am,1h,ref}(v)$  au moyen du procédé d'itération modifié selon le chapitre 0. Selon le chapitre 0, il faut ajouter à la *Niveau horaire moyen (dB(A))*

\* Valeurs mesurées

– Polynôme de compensation

--- Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 43 la courbe de  $L_r(v)$  prévue avec les valeurs trouvées pour  $D_{FzH,me}$  et  $D_{FzH,ae}$ . Dans le présent exemple, le procédé d'itération donne les valeurs  $D_{FzH,me} = -1,6$  dB(A) et  $D_{FzH,ae} = -2,2$  dB(A). Conformément au chapitre 0, il faut représenter pour les valeurs  $D_{FzH}$  ainsi déterminées la courbe de la différence de niveau  $\Delta L_{Diff}$  selon la *Différence de niveau  $\Delta L_{Diff}$  (dB(A))*

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 44 dans un graphique séparé (voir l'Équation (4)) sous la forme de la différence des courbes du niveau évalué total et du polynôme de compensation de la *Niveau horaire moyen (dB(A))*

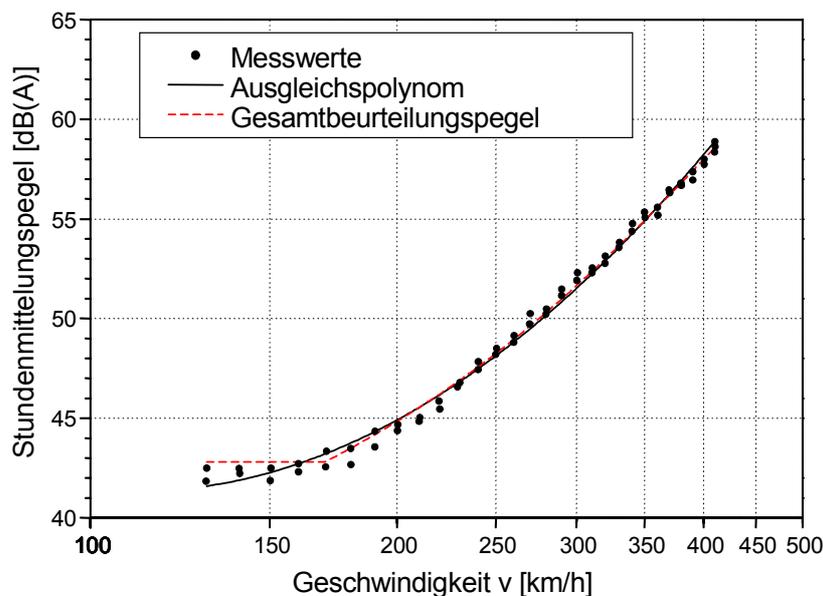
\* Valeurs mesurées

– Polynôme de compensation

--- Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 43.



*Niveau horaire moyen (dB(A))*

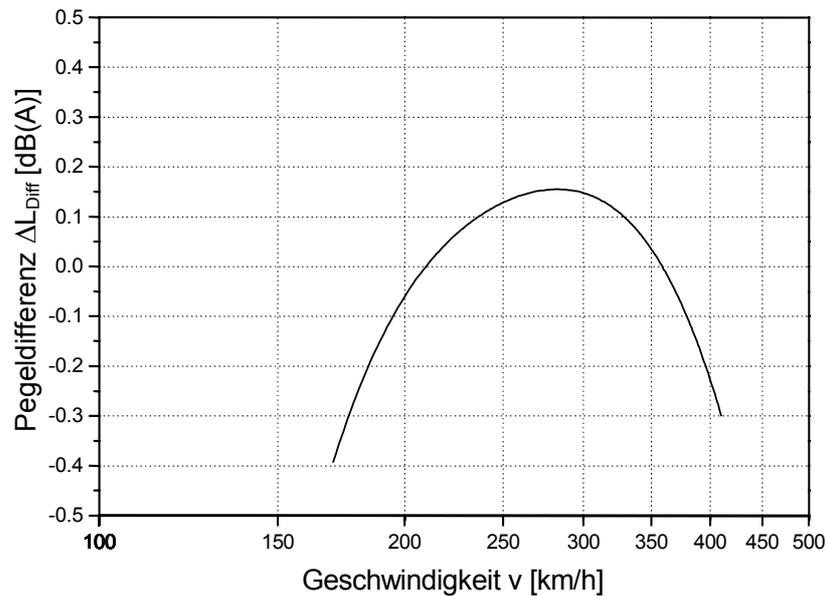
\* Valeurs mesurées

– Polynôme de compensation

- - - Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 43 : Niveau horaire moyen  $L_{Am,1h,ref}$ , polynôme de compensation  $L_{Am,1h,ref}(v)$  et niveau évalué total  $L_r(v)$  sur la base des valeurs  $D_{FzH}$  déterminées avec le procédé d'itération modifié



Différence de niveau  $\Delta L_{Diff}$  (dB(A))

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 44 : Différence de niveau  $\Delta L_{Diff}(v)$  entre le niveau évalué total et le polynôme de compensation de la Niveau horaire moyen (dB(A))

\* Valeurs mesurées

– Polynôme de compensation

- - - Niveau évalué total

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 43

## Détermination de la valeur $D_{Fb}$ pour un échantillon de voie long

Après avoir déterminé les grandeurs auxiliaires  $D_{FzH,me}$  et  $D_{FzH,ae}$ , il devient possible de calculer la valeur  $D_{Fb}$  de l'échantillon de voie au moyen de l'Équation (6). Pour ce faire, le Tableau 0-2 contient une liste de niveaux horaires moyens fictifs  $L_{Am,1h}$  qui ont été mesurés sur l'échantillon de voie sous les conditions selon le chapitre 0 et ont été déterminés conformément aux indications du chapitre 0.

Les conditions annexes et les valeurs mesurées fictives suivantes ont été supposées dans le présent exemple :

- microphone unique à 25 m de distance du centre des supports de voie,
- extension « longue » de la voie,
- bord supérieur de la voie dans la section de mesure à 6,5 m de hauteur au-dessus du sol.

v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]	v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]	v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]
130,1	44,6	229,7	49,4	329,8	55,0
130,3	45,0	230,1	49,7	330,4	55,4
139,8	44,9	240,0	50,2	340,0	55,6
140,0	44,6	240,2	50,6	340,4	56,1
149,8	44,3	249,8	50,6	349,9	56,5
150,2	44,8	250,1	51,0	350,3	56,2
159,9	44,6	260,1	51,3	359,8	56,7
160,1	45,0	260,5	51,6	360,3	56,4
170,0	44,9	269,7	51,7	369,7	57,6
170,3	45,6	270,1	52,3	370,3	57,3
179,9	45,8	279,5	52,4	379,9	57,7
180,1	45,1	280,1	52,8	380,2	57,5
189,8	46,0	289,8	53,1	390,1	57,7
190,1	46,9	290,2	53,3	390,4	58,2
199,9	47,0	299,7	53,7	399,8	58,6
200,3	47,4	300,3	54,0	400,4	58,4
210,0	47,8	310,1	54,1	409,6	59,0
210,4	48,1	310,5	54,3	410,0	59,3
219,7	48,8	319,9	54,4	410,4	59,1
220,2	48,5	320,3	54,6	-	-

Tableau 0-2: Niveaux horaires moyens fictifs déterminés au point de mesure avec l'échantillon de voie

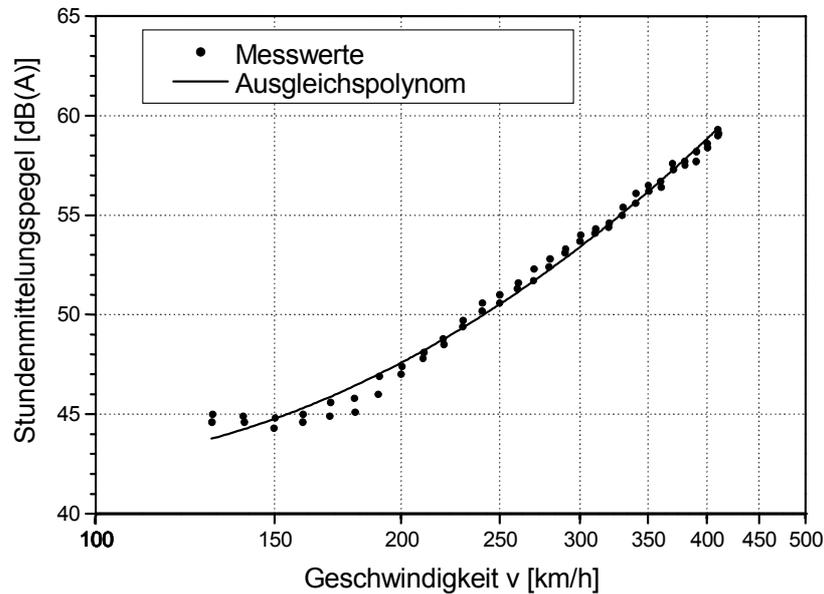
Il faut tout d'abord calculer le polynôme de compensation  $L_{Am,1h,pruf}(v)$  à partir du niveau horaire moyen  $L_{Am,1h} = L_{Am,1h,pruf}$  du Tableau 0-2 puis le représenter conformément au chapitre 0 avec les niveaux  $L_{Am,1h,pruf}$  (voir Niveau horaire moyen (dB(A))

\* Valeurs mesurées

– Polynôme de compensation

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 45). Dans le présent exemple, les valeurs obtenues pour les coefficients du polynôme de compensation sont  $a = 42,62$ ,  $b = 6,06$  et  $c = 34,69$ .



Niveau horaire moyen (dB(A))

\* Valeurs mesurées

– Polynôme de compensation

Vitesse  $v$  (km/h)

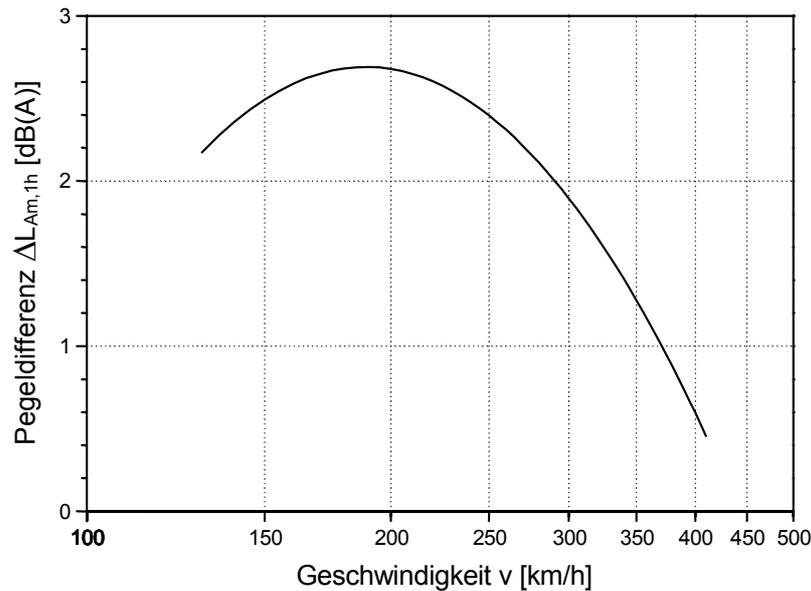
Figure 45 : Niveau horaire moyen  $L_{Am,1h,pr\ddot{u}f}$  et polynôme de compensation  $L_{Am,1h,pr\ddot{u}f}(v)$

Le polynôme  $L_{Am,1h,ref}(v)$  déjà calculé ci-dessus permet d'obtenir avec l'Équation (5) la différence de niveau  $\Delta L_{Am,1h}(v)$  qui représente la grandeur d'entrée pour l'Équation (6) résultant des mesures. La courbe de  $\Delta L_{Am,1h}(v)$  est à représenter en tant que grandeur intermédiaire importante dans un graphique séparé selon le chapitre 0 lors de la détermination de  $D_{Fb}$  (voir

Différence de niveau  $\Delta L_{Am,1h}$  (dB(A))

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 46).



Différence de niveau  $\Delta L_{Am,1h}$  (dB(A))

Vitesse v (km/h)

Figure 46 : Différence de niveau  $\Delta L_{Am,1h}(v)$

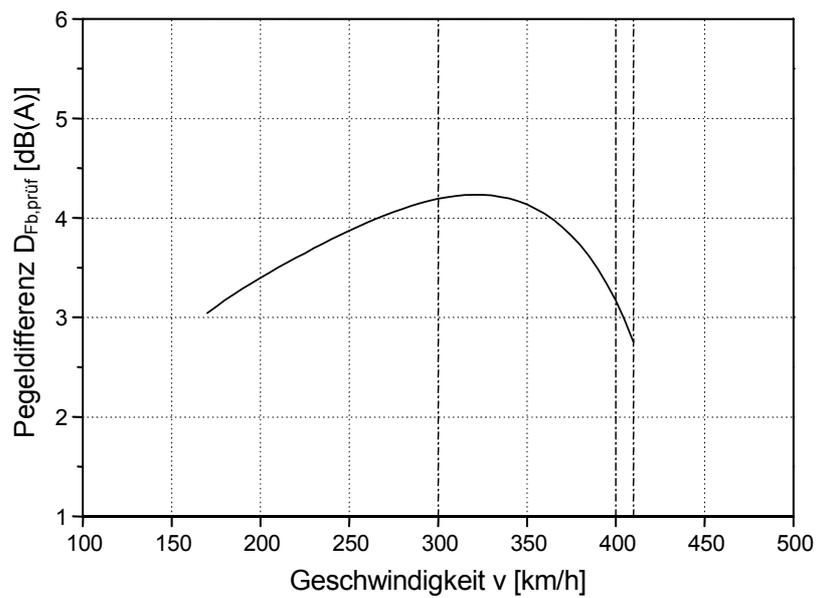
Dans l'étape suivante, il faut déterminer  $D_{Fb,pr\u00fct}(v)$  à partir de  $\Delta L_{Am,1h}(v)$  au moyen de l'Équation (6). Pour ce faire, il faut calculer le terme  $C = C_{pr\u00fct} - C_{ref}$  en tenant compte des conditions géométriques aux deux points de mesure. La valeur 0,0218 dB(A) a déjà été déterminée pour  $C_{ref}$  dans le chapitre 0. Du fait de la situation géométrique légèrement modifiée au point de mesure avec l'échantillon de voie par rapport à la voie en béton de référence (voir ci-dessus), on obtient  $C_{pr\u00fct} = 0,0144$  dB(A), ce qui donne pour C une valeur de -0,0075 dB(A).

La Différence de niveau  $D_{Fb,pr\u00fct}$  (dB(A))

Vitesse v (km/h)

Figure 47 représente le résultat des calculs au moyen de l'Équation (6), à savoir les valeurs de  $D_{Fb,pr\u00fct}(v)$  en fonction de la vitesse de la rame. La valeur  $D_{Fb}$  de l'échantillon de voie est à présent obtenue à partir de la valeur maximale de  $D_{Fb,pr\u00fct}$  arrondie à des paliers de 0,5 dB soit dans la plage de vitesses totale à partir de 170 km/h, soit dans les plages partielles possibles selon le chapitre 0. Dans le présent exemple, s'agit de :

- $D_{Fb} = 4,5$  dB(A) dans toute la plage de vitesses jusqu'à 410 km/h,
- $D_{Fb} = 4,5$  dB(A) dans la plage partielle jusqu'à 300 km/h,
- $D_{Fb} = 4,5$  dB(A) dans la plage partielle  $300 < v \leq 400$  km/h,
- $D_{Fb} = 3,5$  dB(A) dans la plage partielle  $400 < v \leq 410$  km/h.



Différence de niveau  $D_{Fb,prüf}$  (dB(A))

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 47 : Valeurs  $D_{Fb,prüf}$  calculées d'un échantillon de voie lors des mesures fictives sur un échantillon « long »

## Détermination de la valeur $D_{Fb}$ pour un échantillon de voie de longueur montée courte

La Différence de niveau  $D_{Fb,pruf}$  (dB(A))

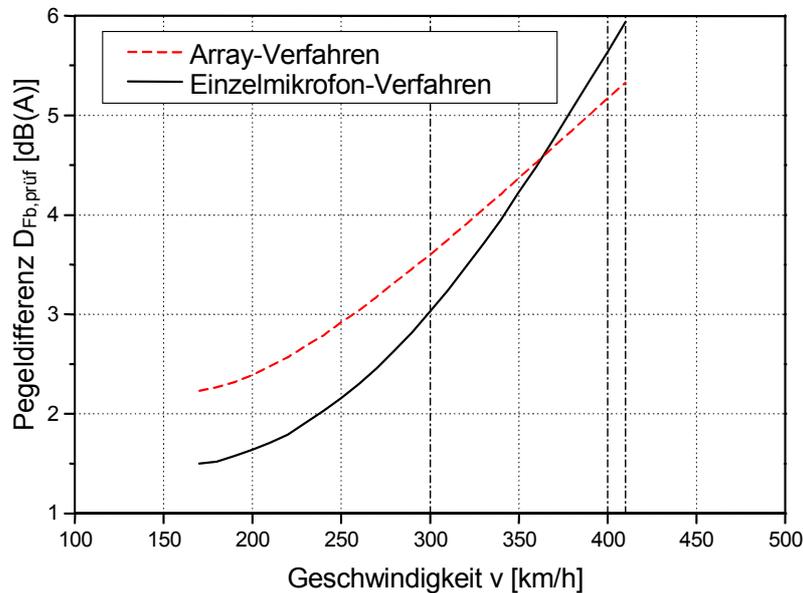
- - - Procédé par matrice

- Procédé par microphone unique

Vitesse  $v$  (km/h)

Figure 48 représente finalement dans le cas d'un échantillon de voie à longueur montée « courte » un exemple de résultat de la détermination de  $D_{Fb}$  au moyen du procédé par microphone unique avec distance de mesure réduite et du procédé par matrice, les indications du chapitre 8.3 devant être prises en compte. Il y est notamment défini que la valeur  $D_{Fb}$  de l'échantillon de voie à prendre en compte est la plus grande des valeurs déterminées par les deux procédés à la fois dans la plage de vitesses totale à partir de 170 km/h et séparément dans les plages de vitesses partielles. Pour terminer, la valeur  $D_{Fb}$  dans le présent exemple après son arrondi aux paliers de 0,5 dB est de

- $D_{Fb} = 6,0$  dB(A) dans toute la plage de vitesses jusqu'à 410 km/h, déterminée à partir de la mesure avec microphone unique,
- $D_{Fb} = 4,0$  dB(A) dans toute la plage de vitesses jusqu'à 300 km/h, déterminée à partir de la mesure par matrice,
- $D_{Fb} = 6,0$  dB(A) dans la plage partielle  $300 < v \leq 400$  km/h, déterminée à partir de la mesure avec microphone unique,
- $D_{Fb} = 6,0$  dB(A) dans la plage partielle  $400 < v \leq 410$  km/h, déterminée à partir de la mesure avec microphone unique.



Différence de niveau  $D_{Fb,prüf}$  (dB(A))

- - - Procédé par matrice

- Procédé par microphone unique

Vitesse v (km/h)

Figure 48 : Valeurs  $D_{Fb,prüf}$  calculées d'un échantillon de voie lors des mesures fictives sur un échantillon « court »

*Remarque : Il convient de noter à propos des courbes nettement différentes de  $D_{Fb,prüf}$  en fonction de la vitesse dans la Différence de niveau  $DFb,prüf$  (dB(A))*

Vitesse v (km/h)

Figure 47 et la Différence de niveau  $DFb,prüf$  (dB(A))

- - - Procédé par matrice

- Procédé par microphone unique

Vitesse v (km/h)

Figure 48 que la Différence de niveau  $DFb,prüf$  (dB(A))

Vitesse v (km/h)

Figure 47 reflète un cas possible dans lequel les émissions sonores accrues de l'échantillon de voie sont uniquement liées à une composante mécanique supplémentaire. Dans le cas fictif de la Différence de niveau  $DFb,prüf$  (dB(A))

- - - Procédé par matrice

- Procédé par microphone unique

Vitesse v (km/h)



# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Rame**

### **Partie I**

## **Exigences générales**

Dernière impression 20.09.2007 15:50:00

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

---

Titre          Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :    67698      Version    finale                  Date de publica-    15.02.2007                  Page 1  
tion

**Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Rame à des fins de publication.

**Aperçu des modifications :**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Rame

Dernière impression: 20/09/2007 15:50:00

---

## Table des matières

<b>Destinataires</b> .....	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications :</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>6</b>
Objectif et champ d'application .....	6
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique.....	6
Abréviations et définitions .....	8
Lois, décrets, normes et directives .....	8
Identification et caractère obligatoire des exigences .....	9
Références .....	9
<b>Définitions (spécifiques à la rame)</b> .....	<b>11</b>
<b>Exigences générales</b> .....	<b>22</b>
Fonction.....	22
Dimensionnement des composants mécaniques.....	22
Principes de dimensionnement .....	22
Comportement en cas de collision .....	22
Exigences de sécurité .....	24
Fonctions relatives à la sécurité.....	24
Protection incendie.....	24
<b>Caisse de wagon</b> .....	<b>28</b>
<b>Système de levage / de guidage, dispositifs de freinage</b> .....	<b>29</b>
<b>Annexe Pesage de la rame de TSM</b> .....	<b>30</b>
Préparation.....	30
Indications et conditions additionnelles.....	30
Mesure sous les patins de levage .....	32
Mesure sous le dos des aimants de levage .....	33
Grandeurs de mesure complémentaires.....	34
Interprétation .....	34
Documentation .....	36
<b>Annexe Liste des exigences relatives à la réception (exemple)</b> .....	<b>37</b>

**Index des illustrations**

Fig. 1: <i>Vue latérale et vue de face d'une rame (schéma de principe)</i> .....	13
Fig. 2: <i>Section transversale d'une rame (schéma de principe)</i> .....	14
Fig. 3: <i>Composition hiérarchique de la rame</i> .....	15
Fig. 4: <i>Composition d'une caisse de wagon</i> .....	16
Fig. 5: <i>Composition Système de levage / de guidage</i> .....	17
Fig. 6: <i>Désignations des principaux modules de la structure de caisse de wagon (exemples)</i> .....	18
Fig. 7: <i>Désignations des éléments d'habillage de la caisse de wagon et du système de levage / guidage (schéma de principe)</i> .....	19
Fig. 8: <i>Désignations des principaux modules du système de levage / guidage (schéma de principe)</i> .....	20
Fig. 9: <i>Désignations des principaux modules et dimensions du système de levage / guidage (schéma de principe coupe transversale)</i> .....	20
Fig. 10: <i>Désignations des principaux modules de la structure du châssis (schéma de principe)</i> .....	21
Fig. 11: <i>Schéma de principe du procédé de mesure sous le patin de levage</i> .....	32
Fig. 12: <i>Schéma de principe du procédé de mesure sous le dos des aimants de levage</i> .....	33
Fig. 13: <i>Exemple de représentation des résultats de la mesure pour une rame composée de trois voitures sous la forme d'un tableau et d'un graphique (valeurs mesurées fictives)</i> .....	35
Fig. 14: <i>Exemple de représentation des forces de soutien de l'accouplement et du sens de leur action sur une rame composée de trois voitures</i> .....	35
Fig. 15: <i>Exemple de représentation des grandeurs mesurées complémentaires Pression d'amortisseur pneumatique, Niveau, Force de soutien de l'accouplement ainsi que de la position des poids supplémentaires sur une rame composée de trois voitures</i> .....	36



- Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
- Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR/
- Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

La documentation relative à la rame contient les documents suivants :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie I : Exigences générales, document n° : 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie II : Dimensionnement, document n° : 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie III : Gabarit cinématique, document n° : 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie IV : Technique de levage / de guidage, document n° : 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie V : Technique de freinage, document n° : 73389, /MSB AG-FZ BREMS/

Les interfaces entre les systèmes partiels individuels sont définis prioritairement dans Train rapide à sustentation magnétique Système complet /MSB AG-GESAMTSYS /. Par conséquent, il faut toujours utiliser conjointement les Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet.

Les contenus des parties I à V des Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame sont regroupés ci-après :

**Partie I Exigences générales**

- Définitions de la structure et des modules de la rame ;
- Exigences générales relatives aux rames ;
- Exigences relatives à la réception.

**Partie II Dimensionnement**

- Détermination des conditions d'utilisation, effets et combinaisons d'effets ;
- Gestion de la justification de la solidité statique et de la résistance à la fatigue, de la stabilité et de la rigidité.

**Partie III Gabarit cinématique**

- Définition des fonctions cinématiques ;
- Définition des données géométriques importantes et des situations de panne ;
- Indications pour la justification du gabarit.

**Partie IV Technique de levage / de guidage**

- Définition du système de levage / guidage ;
- Exigences relatives aux fonctions du système de levage / guidage ;
- Effets du système de levage / guidage sur la voie.

**Partie V Technique de freinage**

- Définition des dispositifs de freinage ;
- Exigences relatives aux fonctions des dispositifs de freinage ;
- Effets des dispositifs de freinage sur la voie.

## **Abréviations et définitions**

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## **Lois, décrets, normes et directives**

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° : 67698      Version finale      Date de publication 15.02.2007      Page 8

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

La check-list dans l'annexe 0 au présent document mentionne des normes dont l'observation - sous réserve qu'elles s'appliquent au TSM - peut systématiquement être vérifiée lors de la réception de la rame selon l'Article 6 /MbBO/.

La check-list jointe sert d'exemple. Celle-ci ainsi que les normes à utiliser et les procédures de contrôle et de justification sont à convenir spécifiquement au projet entre le service d'homologation, l'opérateur de train à sustentation magnétique (exploitant) et le fournisseur de la rame.

Si des normes ont été reconnues non applicables de manière homogène pour le TSM, d'autres principes d'exécutions spécifiques au TSM peuvent alors être élaborés par la commission spéciale TSM Rame.

Il existe en plus de cela d'autres normes, par exemple des normes de matériaux, des normes de fabrication, des normes de maintenance dont l'observation n'est pas contrôlée explicitement dans le cadre de la réception selon l'Article 6 /MbBO/ mais qui est sous la responsabilité du constructeur ou de l'exploitant.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en italique

Si des remarques à propos de règles spécifiques au projet sont indiquées dans le présent document dans un cas particulier, cela veut dire qu'il faut convenir d'un accord entre le constructeur et l'opérateur (*par exemple dans un cahier des charges ou une règle contractuelle*) en impliquant le service d'homologation.

## Références

---

Titre	Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique		
	Rame Partie I, Exigences générales		

Doc. n° :	67698	Version	finale	Date de publication	15.02.2007	Page 9
-----------	-------	---------	--------	---------------------	------------	--------

Les références énumérées ci-après représentent un extrait des documents de référence utilisés dans le présent document. Une liste complète de tous les documents de référence utilisés dans les principes d'exécution du TSM se trouve dans /MSB AG-NORM&RILI/.

Document	Description
/BrandReg/	Regelung für die brandschutztechnische Beurteilung von Schienenfahrzeugen im Rahmen der Abnahme nach § 32 EBO; Grundsätze der brandschutztechnischen Anforderungen in Anlehnung an EN 45545 [Règles relatives à l'évaluation technique de protection incendie des véhicules ferroviaires dans le cadre de la réception conforme au § 32 du règlement EBO - Principes des exigences techniques de protection incendie sur la base de la norme EN 45545] ; Accord entre Eisenbahn-Bundesamt, Deutsche Bahn AG, union de l'industrie ferroviaire en Allemagne, 01.06.2006

**Définitions (spécifiques à la rame)**

*La Fig. 56 et 0Fig. 500Fig. 50 laFig. 50 Fig. 50Fig. 50Fig. 50Fig. 50Fig. 50Fig. 50Fig. 50Fig. 50 représentent la vue de côté et de face ainsi que la section transversale d'une rame type et expliquent les dimensions caractéristiques.*

Les rames doivent être composées de voitures de rames autonomes du point de vue de la fonction de levage et de guidage, des systèmes de freinage, de l'alimentation en énergie de bord et de la caisse de wagon.

La liaison des voitures de la rame peut être réalisée par des aimants de levage reliant les voitures et par un accouplement de voiture (voir Fig. 56, Fig. 54, Fig. 56).

*Il existe des voitures d'extrémité et des voitures intermédiaires. Par rapport aux voitures intermédiaires, les voitures d'extrémité présentent un nez en plus de la structure de la cellule (Fig. 54).*

La structure du châssis du système de levage/guidage sous le nez peut présenter un habillage de nez monté en position fixe sur le châssis (voir ).

Les dispositifs de freinage, les équipements radioélectriques ainsi que les dispositifs de localisation nécessaires pour le fonctionnement de l'installation technique de commande et de la propulsion peuvent être intégrés dans les voitures d'extrémité.

Une rame peut présenter 2 voitures d'extrémité et jusqu'à 8 voitures intermédiaires<sup>1)</sup>.

La longueur du système d'une voiture de la rame doit correspondre à la longueur géométrique d'une voiture intermédiaire  $L_{MS}$ .

$L_{MS}$  correspond à 8 fois la longueur du système magnétique de levage ( $L_{sys, TM}$ ) et à 96 fois la répartition des pôles ( $e_{x, Polteilung}$ ):

$$\begin{aligned} L_{MS} &= 8 \cdot L_{sys, TM} &= 96 \cdot e_{x, Polteilung} \\ &= 8 \cdot 3\,096 \text{ mm} &= 96 \cdot 258 \text{ mm} \\ &= 24\,768 \text{ mm} \end{aligned}$$

$L_{MS}$  est la longueur géométrique d'une voiture intermédiaire entre les centres de l'accouplement de voiture ou entre les centres des aimants de levage reliant les voitures.

<sup>1)</sup> Des rames composées d'une seule voiture d'extrémité peuvent être utilisées pour des applications spéciales. Des adaptations en conséquence sont nécessaires en fonction du projet.

Des rames comptant jusqu'à 20 voitures peuvent être composées pour des domaines d'application spéciaux, mais un justificatif particulier est nécessaire à cet effet.

La longueur géométrique de la voiture d'extrémité  $L_{ES}$  - suivant l'exécution et les dimensions du nez - peut être différente de la longueur du système de la voiture centrale  $L_{MS}$ .

*La longueur géométrique  $L_{Fzg}$  d'une rame composée de deux voitures d'extrémité et de  $n$  voitures intermédiaires est de :*

$$L_{Fzg} = 2 \cdot L_{ES} + n \cdot L_{MS} .$$

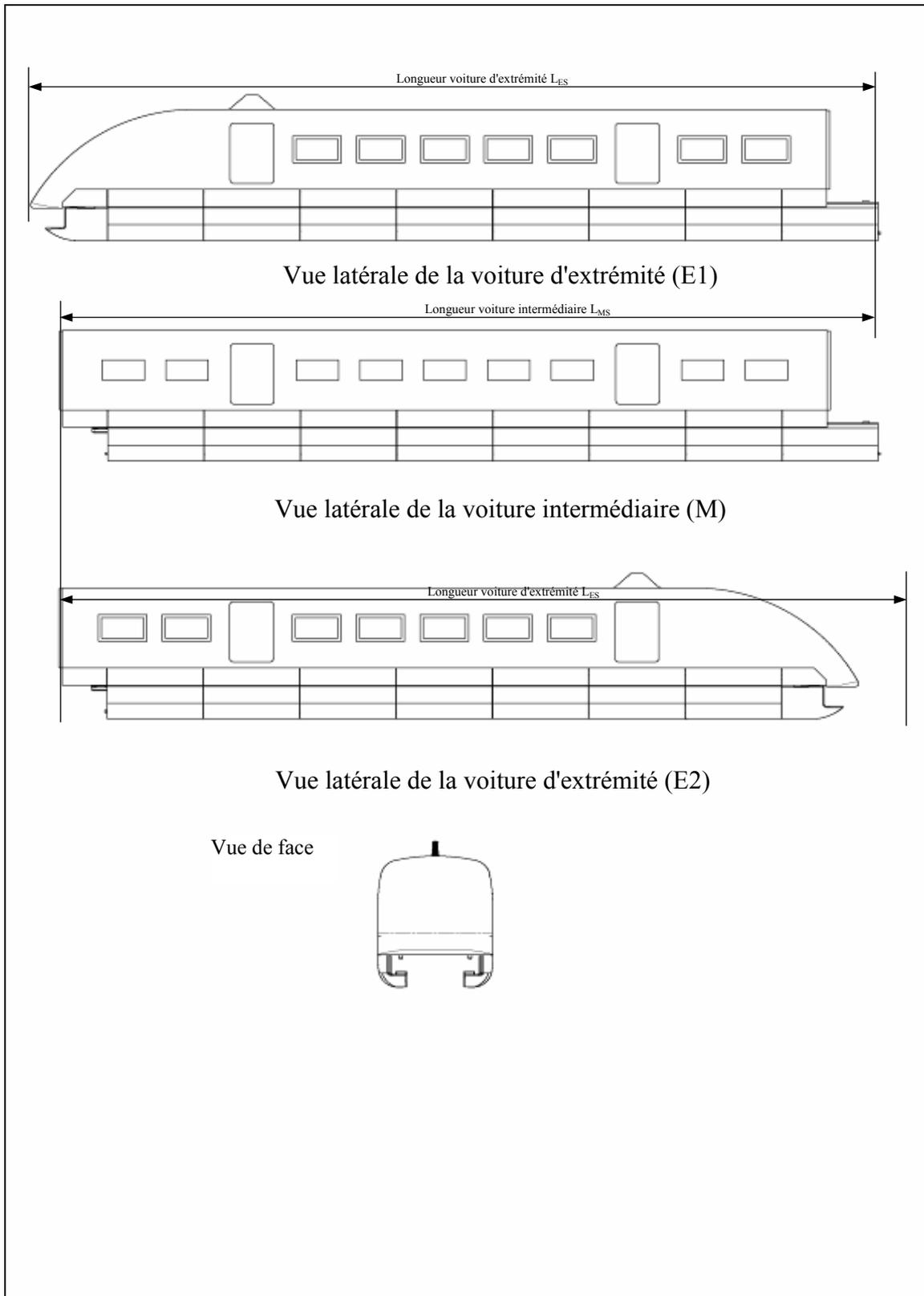


Fig. 49: Vue latérale et vue de face d'une rame (schéma de principe)

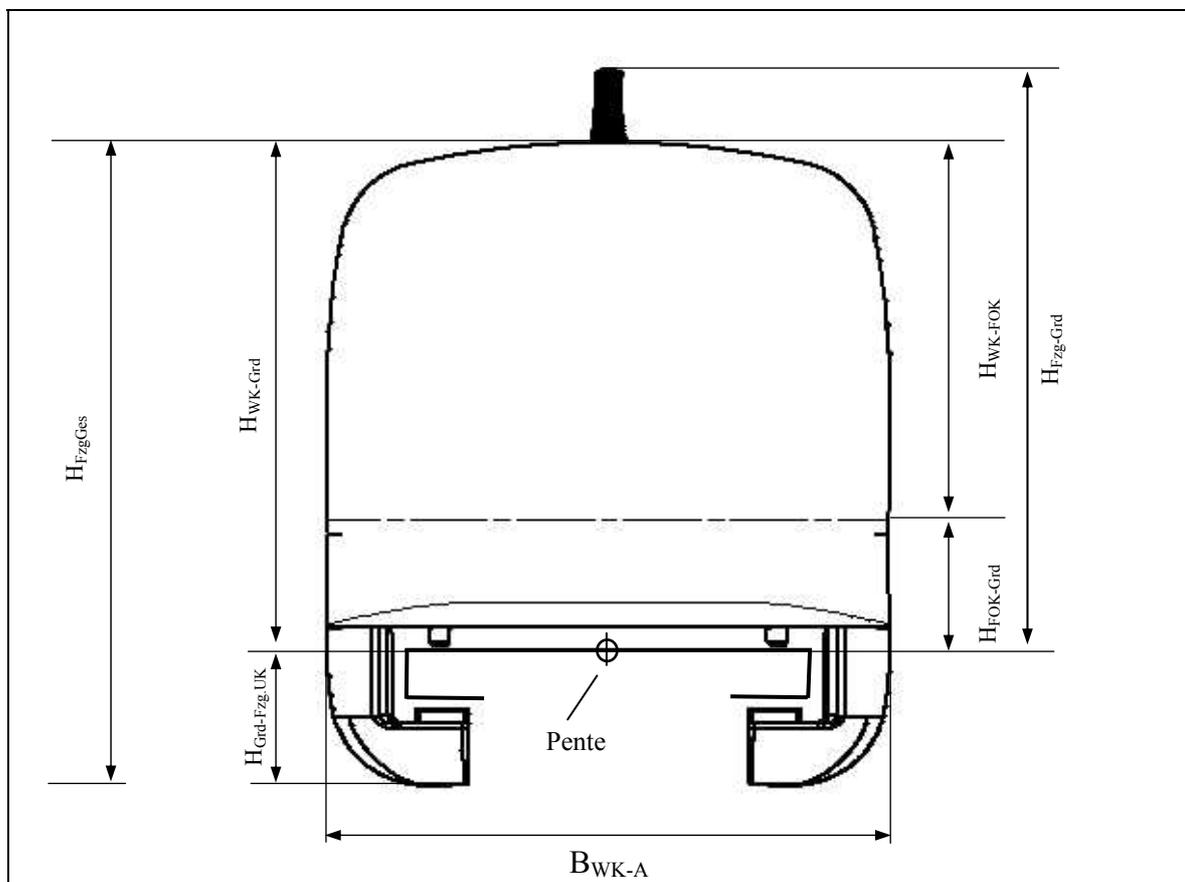


Fig. 50: Section transversale d'une rame (schéma de principe)

Désignation	Abréviation
Largeur extérieure de caisse de wagon	$B_{WK-A}$
Caisse de wagon élevée au-dessus de la pente (sans antenne)	$H_{WK-Grd}$
Plancher élevé, bord supérieur au-dessus de la pente	$H_{FOK-Grd}$
Rame élevée (antenne incluse) au-dessus de la pente	$H_{Fzg-Grd}$
Caisse de wagon élevée à l'extérieur, au-dessus du bord supérieur du plancher	$H_{WK-FOK}$
Pente élevée au-dessus du bord inférieur de la rame	$H_{Grd-Fzg.UK}$
Hauteur totale de la rame (sans antenne)	$H_{Fzg.Ges}$

La composition de la rame est représentée dans les (Fig. 51 à Fig. 53).

La voiture peut se composer de la caisse de wagon et du système de levage / guidage (Fig. 51). La caisse de wagon peut se composer de la structure de caisse de wagon avec cellule et partie inférieure du châssis ainsi que de l'équipement de caisse de wagon (Fig. 52).

La cellule peut se composer de la structure de cellule, du nez (voiture d'extrémité) et des fenêtres (Fig. 54).

La structure de cellule peut se composer du plancher, des parois latérales, des montants de fenêtre et du toit.

L'habillage extérieur peut se composer des éléments représentés dans la .

Le système de levage/guidage peut se composer des modules de la structure avec l'habillage (suspension magnétique) et des modules fonctionnels (modules électriques et électroniques) avec l'alimentation en énergie embarquée.

Les dispositifs de freinage peuvent être intégrés dans le système de levage/guidage. Les forces de freinage peuvent être générées par des aimants de freinage et appliquées par le biais de la structure de levage / guidage (, Fig. 57).

Les équipements de l'installation technique de commande peuvent être intégrés sous formes de pièces de l'équipement technique des caisses de wagon et peuvent présenter des points de jonction avec l'alimentation en énergie du bord de la rame ainsi que des signaux de commande et de surveillance vers les composants de la caisse de wagon (par exemple les portes) et vers le système de levage/guidage (suspension magnétique), y compris les dispositifs de freinage. Ces points de jonction doivent être spécifiés entre l'installation technique de commande et la rame.

Des dispositifs de localisation pour le fonctionnement de la propulsion et de l'installation technique de commande peuvent être intégrés dans le système de levage / guidage.

Les exigences relatives à la localisation doivent être spécifiées au niveau de la propulsion ou de l'installation technique de commande.

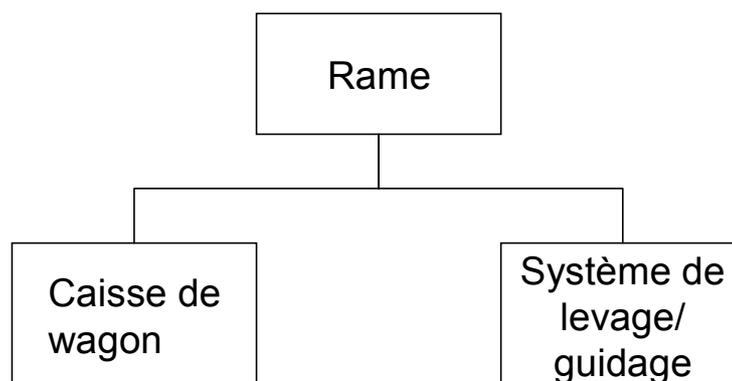


Fig. 51: Composition hiérarchique de la rame

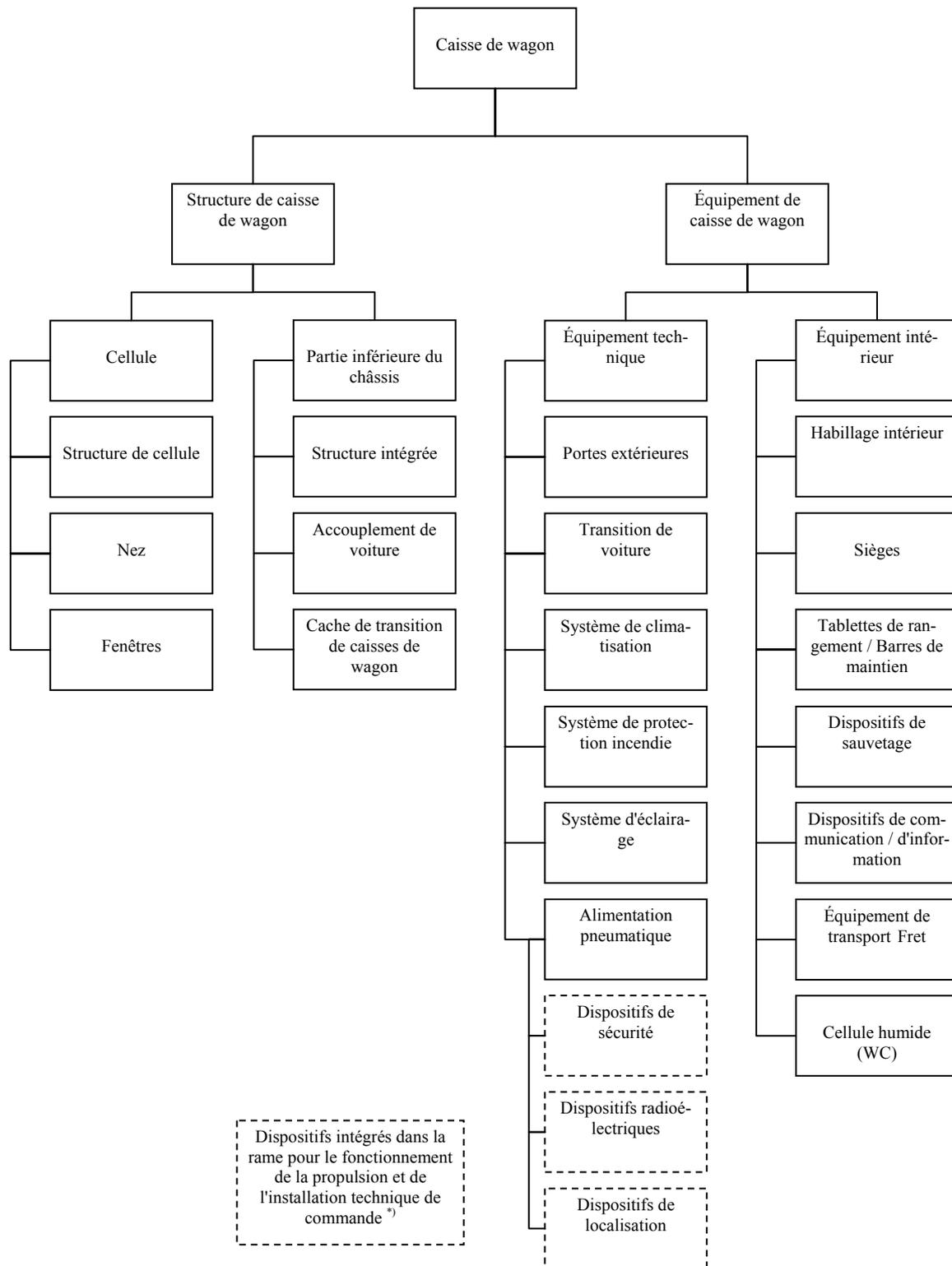


Fig. 52: Composition d'une caisse de wagon

\*) Les informations de localisation ou de vitesse qui sont nécessaires pour le fonctionnement de la rame peuvent être générées par les modules fonctionnels du système de levage / guidage

et / ou par les dispositifs de localisation des fonctions de la propulsion et de l'installation technique de commande.

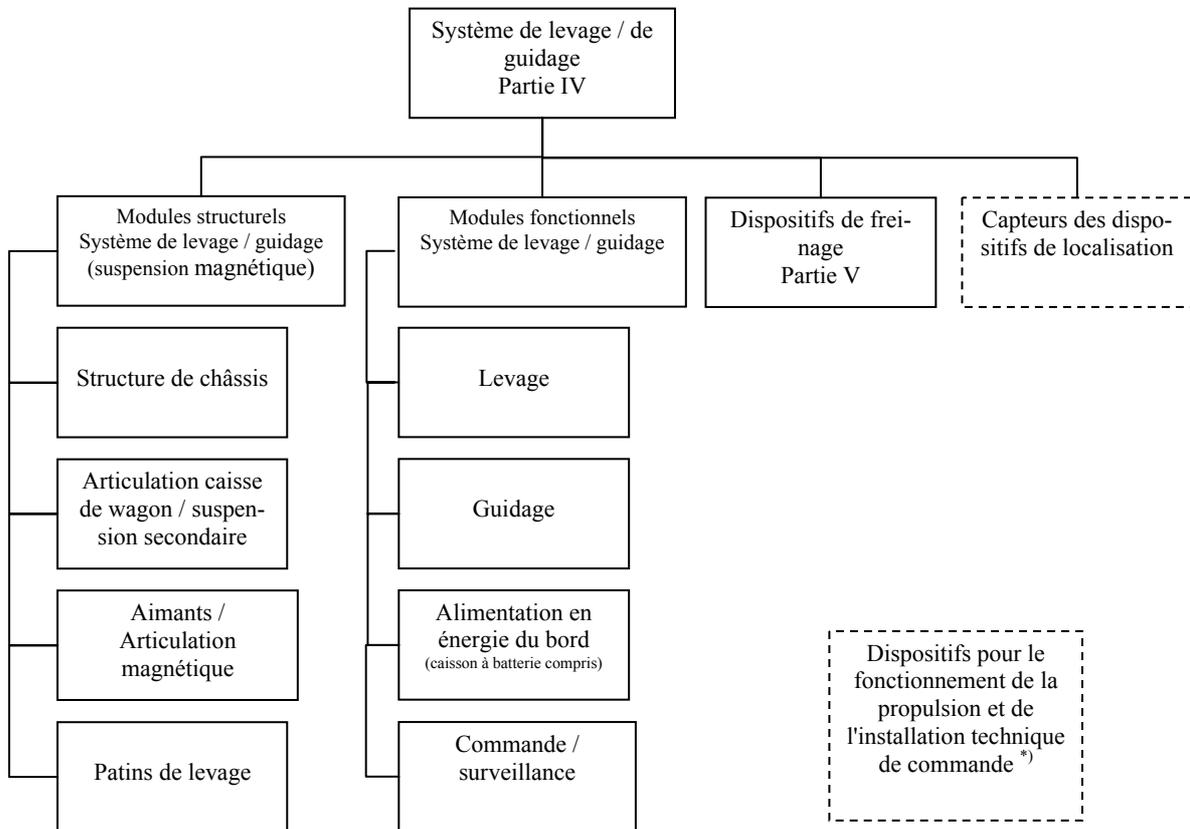


Fig. 53: Composition Système de levage / de guidage

\*) Les informations de localisation ou de vitesse qui sont nécessaires pour le fonctionnement de la rame peuvent être générées par les modules fonctionnels du système de levage / guidage et / ou par les dispositifs de localisation des fonctions de la propulsion et de l'installation technique de commande.

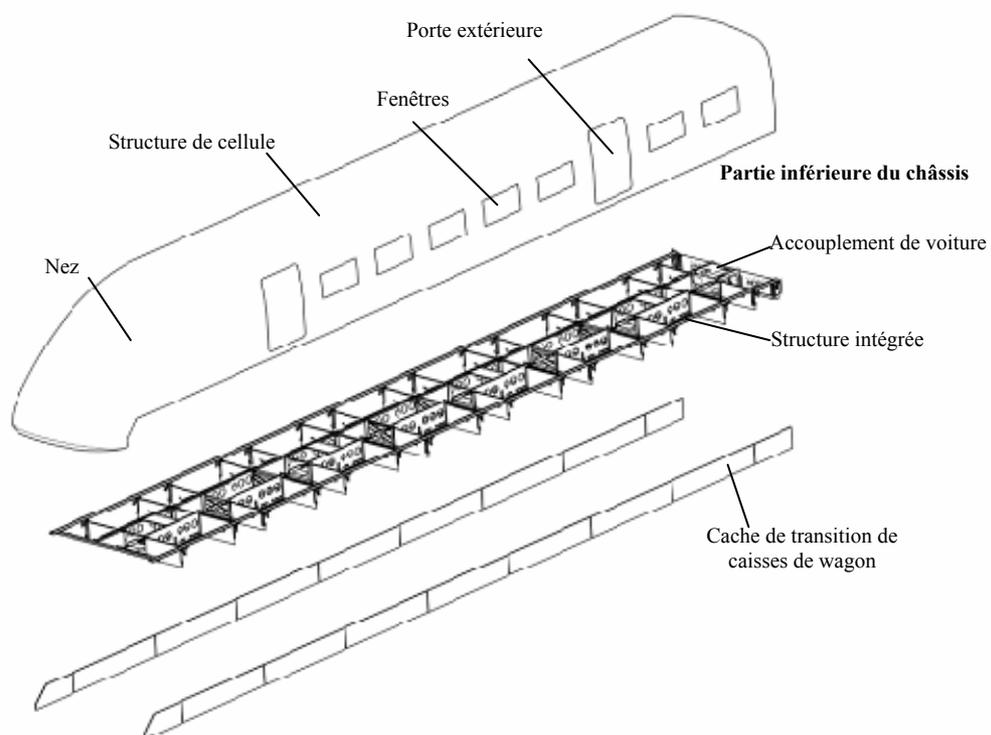


Fig. 54: Désignations des principaux modules de la structure de caisse de wagon (exemples)

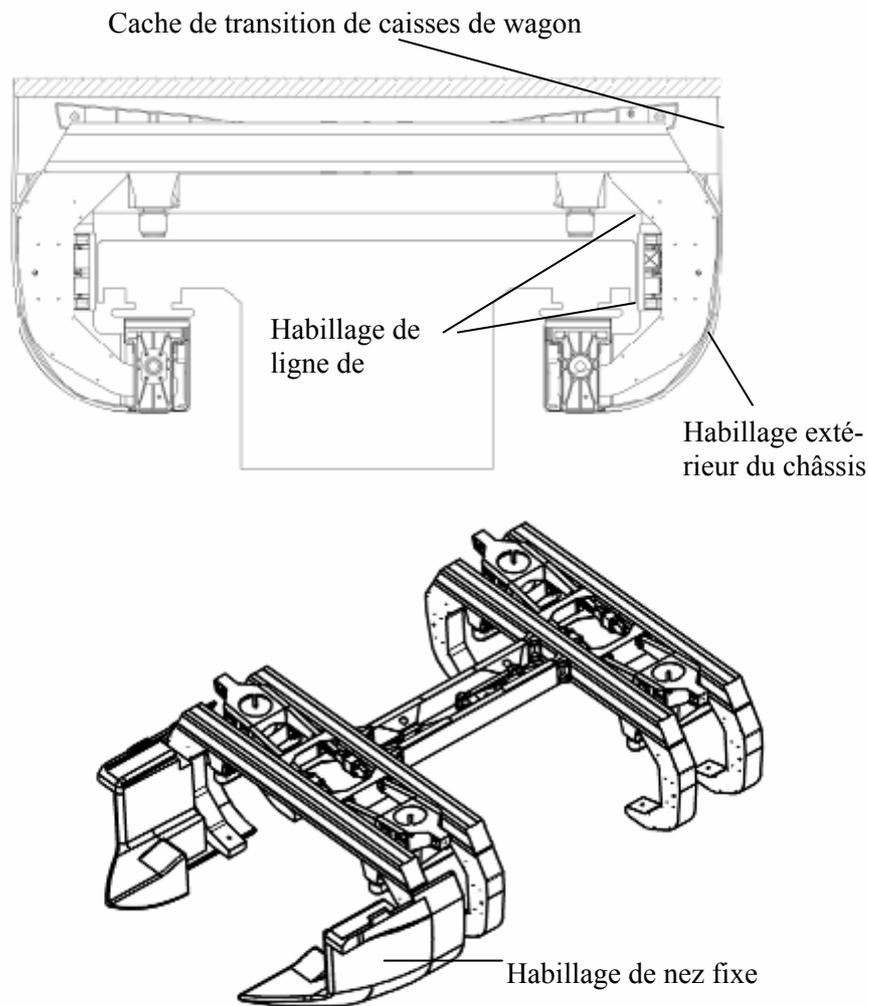


Fig. 55: Désignations des éléments d'habillage de la caisse de wagon et du système de levage / guidage (schéma de principe).

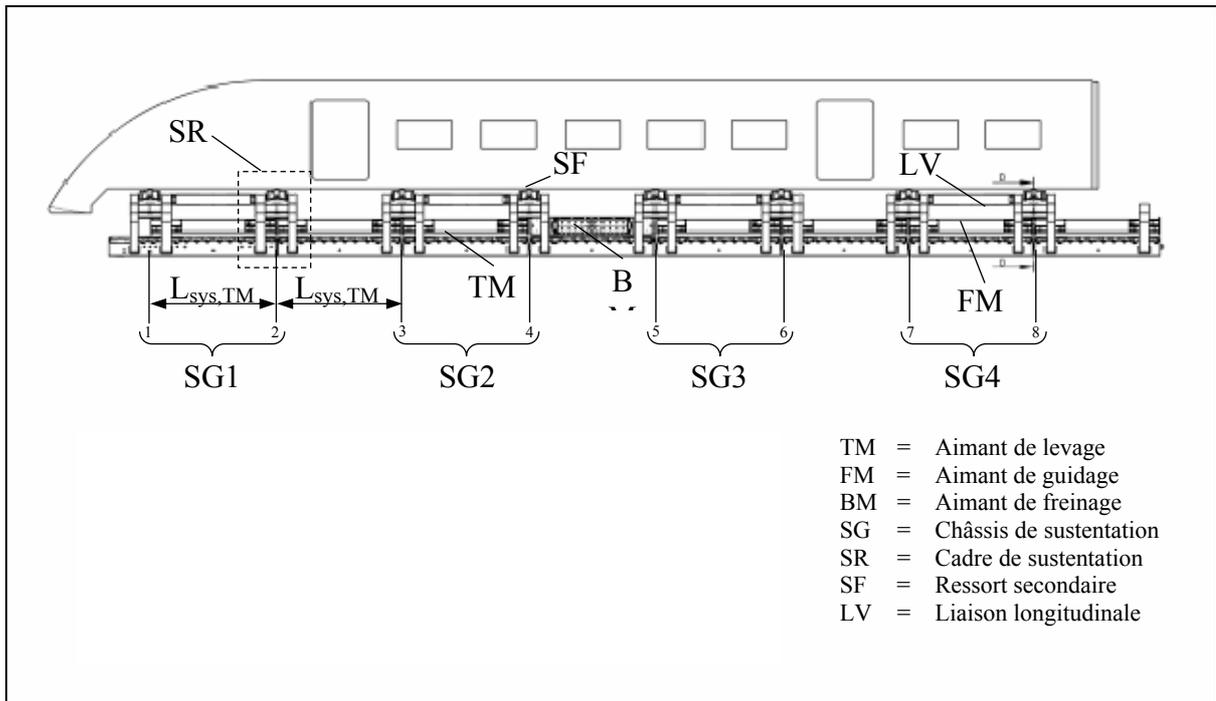


Fig. 56: Désignations des principaux modules du système de levage / guidage (schéma de principe)

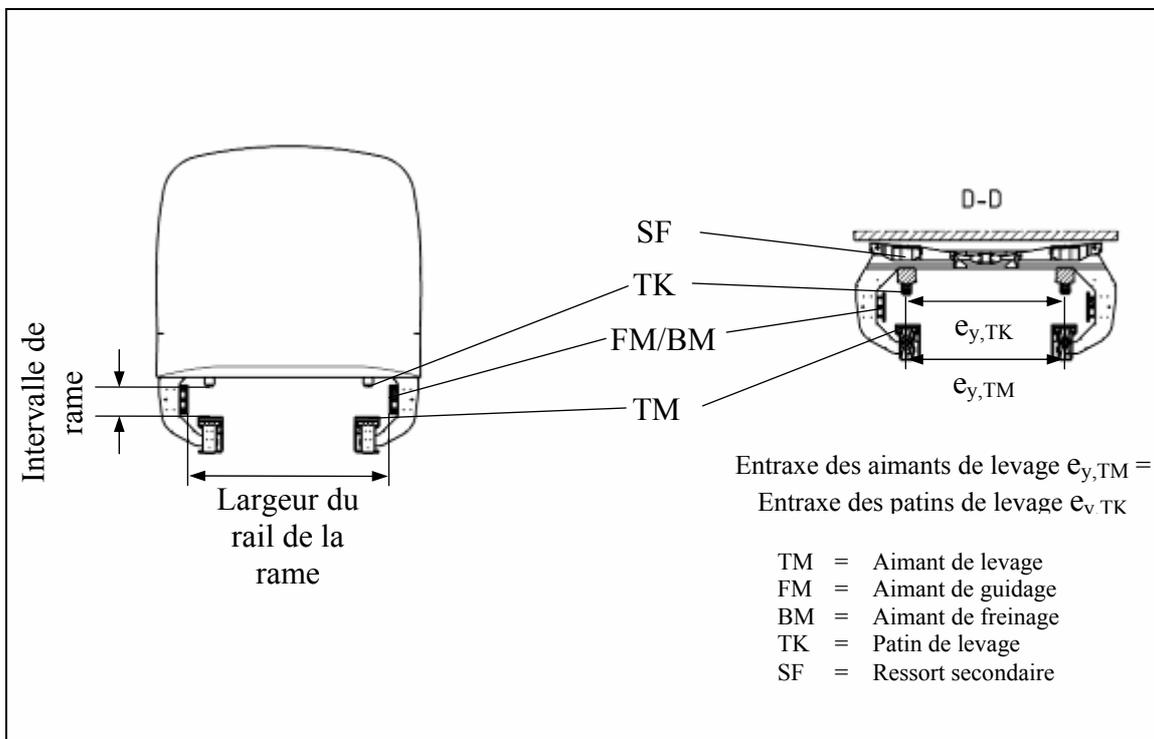


Fig. 57: Désignations des principaux modules et dimensions du système de levage / guidage (schéma de principe coupe transversale)

Dernière impression: 20/09/2007 15:50:00

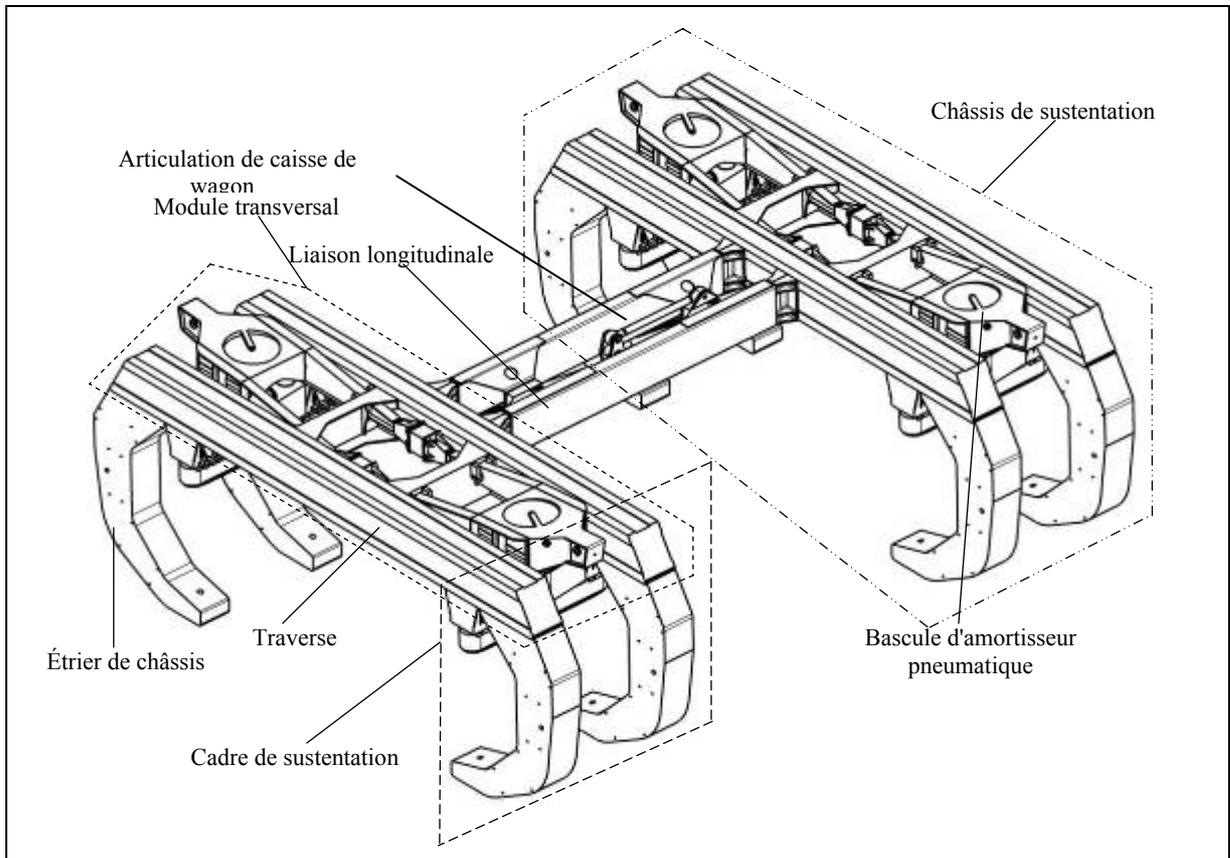


Fig. 58: Désignations des principaux modules de la structure du châssis (schéma de principe)

## Exigences générales

### Fonction

Il faut appliquer la description dans /MSB AG-GESAMTSYS/.

## Dimensionnement des composants mécaniques

### Principes de dimensionnement

Le dimensionnement des pièces de la structure et de l'habillage qui transmettent la charge ainsi que des composants rapportés et intégrés qui n'exercent aucune fonction de transmission de la charge doit s'effectuer en appliquant la Partie II /MSB AG-FZ BEM/.

### Comportement en cas de collision

Les obstacles définis dans /MSB AG-GESAMTSYS/ sont à considérer comme un spectre représentatif des obstacles pouvant provoquer une collision qui peuvent se trouver dans l'espace libre de la rame sous l'effet de l'environnement ou d'un tiers.

Le comportement en cas de collision est à déterminer à l'aide de calculs de simulation numériques et à évaluer du point de vue des effets sur la structure de la rame et sur la mise en danger des personnes.

Il faut satisfaire aux exigences suivantes pour arriver au comportement en cas de collision spécifié dans /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 5.4.7.2 :

- pas de séparation des patins de levage et des aimants de la structure de la rame,
- pas de déformation des chemins de câbles pouvant provoquer une panne des fonctions relatives à la sécurité,
- pas de déformation de la cellule des voyageurs pouvant mettre en danger les personnes (*les déformations avec éventuelle mise en danger des personnes doivent se limiter au nez de la voiture d'extrémité*).
- L'accélération agissant sur l'ensemble de la rame conformément à des scénarios définis sous l'effet de la collision doit être supportée par les modules qui ne sont pas directement concernés par la collision de telle sorte que ceux-ci ne se détachent pas et ne peuvent pas mettre des personnes en danger.



## Exigences de sécurité

### Fonctions relatives à la sécurité

Pour les fonctions

- Levage et guidage,
- Freinage sécurisé,
- Approvisionnement en énergie de bord

il faut présenter un justificatif de sécurité en tenant compte des exigences du concept de sécurité spécifique au projet (voir aussi /MSB AG-FZ TRAFÜ/ et /MSB AG-FZ BREMS/).

D'autres fonctions et dispositifs relatifs à la sécurité sont à réaliser et à justifier conformément aux normes en vigueur. Voir le chapitre 0, Annexe, pour la définition et la présentation du justificatif. La liste des exigences lors de la réception jointe au chapitre 0, Annexe, se base sur les expériences dans le domaine des chemins de fer et du train à sustentation magnétique.

Pour les fonctions de sécurité réalisées par logiciel, il faut appliquer la norme /EN 50128/.

## Protection incendie

### Conception en technique de protection incendie

Il faut tenir compte des objectifs de sécurité indiqués dans les Principes d'exécution du système complet, chapitre 5.4.1.1, lors de la conception en technique de protection incendie de la rame.

*Les principales exigences en matière de protection incendie sont prédéfinies par /MbBO/ (4ème section Rames, Article 17 Paragraphe 5). Cela concerne entre autres le classement de la rame de TSM selon DIN 5510-1, niveau de protection incendie 4, ainsi le fait qu'en cas d'incendie dans une voiture de la rame, les personnes dans les autres voitures doivent être protégées jusqu'à leur sauvetage, avec un minimum de 30 minutes.*

Pour la conception en technique incendie et la réception des rames de TSM, il faut appliquer, s'il y a lieu, les règles spécifiques à ce secteur de /BrandReg/.<sup>3)</sup>

*/BrandReg/ couvre les exigences de MbBO relatives à la technique de protection incendie.*

<sup>3)</sup> Le domaine d'application de /BrandReg/ couvre les véhicules ferroviaires. /BrandReg/ ne s'applique pas aux convois à fonctionnement automatique. La réception des rames de TSM s'effectue conformément à l'Article 6, /MbBO/.

En se basant sur/BrandReg/, la rame de TSM destinée au transport de personnes doit être gérée conformément au type de rame « trains à propulsion électrique et diesel » (chapitre 3.2) avec la classe E4 (chapitre 3.3) si une évacuation par les côtés sur une portion de voie de plus de 500 m est impossible ou très difficile.

Le constructeur doit établir un concept de protection incendie (BSK) en rapport avec la rame. Celui-ci doit servir de base pour la conception en technique de protection incendie et pour la justification de la rame ainsi que du concept de sécurité selon /MbBO/. Il faut notamment tenir compte ici du fait qu'aucun personnel formé ne se trouve dans la rame lors d'un fonctionnement automatique.

Le BSK doit contenir une prise en compte des risques d'incendie et de leurs effets possibles. Il faut indiquer ici les combinaisons spécifiques au système des mesures techniques, constructives et opérationnelles.

Selon /MbBO/, Article 17, Paragraphe (5), Point 4, les rames doivent être équipées d'avertisseurs d'incendie automatiques et d'extincteurs portables. Les extincteurs sont à installer dans l'espace intérieur de la rame en des endroits facilement accessibles et doivent être identifiés sans confusion possible. Ils doivent être répartis à intervalles réguliers sur la longueur de la rame et prévus aux extrémités de celle-ci.

En complément à cela, les zones suivantes doivent être surveillées par des avertisseurs d'incendie :

- toutes les zones accessibles aux voyageurs,
- l'arrivée d'air frais,
- les toilettes (*s'il y en a*),
- les zones techniques séparées et les compartiments à bagages séparés (*suivant le risque d'incendie*).

En cas de déclenchement du dispositif d'alerte incendie, l'alerte doit avoir lieu dans la rame et être transmise immédiatement à la centrale de commande et y être affichée. L'équipement d'alerte incendie installé dans la rame doit déclencher des processus de régulation autonomes. *Cela concerne par exemple l'arrêt de l'équipement de conditionnement d'air et, s'il y a lieu, le déclenchement de l'équipement de lutte contre l'incendie.*

Les équipements techniques du véhicule sont à concevoir de manière à exclure le plus possible tout risque d'incendie ou de telle sorte que les effets en rapport avec les objectifs de protection définis dans /MSB AG-GESAMTSYS/, Chapitre 5.4.1.1 demeurent acceptables. Les équipements doivent notamment être spécifiés en se basant sur l'analyse du risque d'incendie.

*Concernant les objectifs de protection définis dans les Principes d'exécution Système complet Chapitre 5.4.1.1, l'exigence relative au déclenchement d'un incendie dans la rubrique « Zones de séjour » est satisfaite comme suit :*

Un éventuel incendie dans une voiture de la rame ou dans la zone technique ne doit pas entraîner une perte des fonctions de levage, de guidage et de freinage en toute sécurité ni de la stabilité de la rame et des installations techniques de commande de la rame au moins

pendant la période nécessaire pour atteindre une zone d'arrêt<sup>4</sup> permettant l'évacuation. Pendant cette période et la durée de l'évacuation, il faut garantir le séjour des personnes sous des conditions sanitaires acceptables dans la rame.

Dans le contexte de la réduction des risques auxquels sont exposés les secours, il faut déconnecter les équipements techniques qui ne sont plus en relation avec une fonction de secours. Il faut signaler cela aux services de secours sous une forme appropriée. Si cela est impossible, il faut alors prévoir un dispositif d'arrêt correspondant sur la rame.

D'autres mesures de protection incendie sont éventuellement à définir spécifiquement pour le projet en fonction de l'exploitation ou des conditions d'utilisation additionnelles définies.

### **Justification de la technique de protection incendie**

Suivant le type de trafic prévu (par exemple transport de personnes), il faut fournir des justificatifs individuels pour les points suivants en tenant compte des exigences de justification mentionnées dans /BrandReg/ :

- Justificatif d'aptitude des matériaux utilisés (*par exemple sièges*) du point de vue de la technique de protection incendie,
- Justificatif des modules ou fonctions avec cloisons pare-feu (*par exemple portes des parois frontales*),
- Justificatif de fonctionnalité des équipements électriques de protection (*par exemple contacteurs*),
- Justificatif de fonctionnalité des techniques de détection d'incendie et, s'il y a lieu, des techniques de lutte contre l'incendie,
- Justification de la fonction de levage / guidage de la rame de TSM ; *la fonction de levage magnétique de la rame inclut l'aptitude fonctionnelle du système de propulsion combinée avec l'aptitude au déplacement de la rame*,
- Justificatif de la fonctionnalité des équipements de l'installation technique de commande dans la rame, voir /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 5.4.1.2.2.1 ; les caractéristiques de protection incendie des équipements de l'installation technique de commande de la rame doivent être traitées dans le cadre du contrôle technique de protection incendie de la rame,
- Justificatif de fonctionnalité des équipements de communication (*par exemple dispositif d'appel d'urgence*),
- Justificatif de fonctionnalité des issues de secours (*par exemple ouverture des portes depuis l'intérieur*) et des moyens de sauvetage (*par exemple échelles*),

---

<sup>4</sup> Les points d'arrêt permettant l'évacuation doivent être définis en fonction du projet.



**Caisse de wagon**

Fréquence propre de flexion de la caisse de wagon : voir /MSB AG-FZ BEM/, justificatif de la rigidité.

Les indications de /MSB AG-FZ TRAFÜ/ s'appliquent aux éléments d'habillage et à leurs fermetures.

**Système d'éclairage**

Après l'effondrement du réseau de bord, un éclairage de secours doit fonctionner pendant 1 h dans le compartiment des voyageurs, voir chapitre 0, Point III.

Il faut vérifier la nécessité de signaux de sauvetage lumineux en fonction du projet.

## **Système de levage / de guidage, dispositifs de freinage**

*Les exigences relatives au système de levage / guidage sont traitées dans /MSB AG-FZ TRAFÜ/.*

*Les exigences relatives aux dispositifs de freinage sont traitées dans /MSB AG-FZ BREMS/.*

*Les exigences relatives à l'approvisionnement en énergie du bord depuis le système de levage / guidage, depuis les dispositifs de freinage et depuis les équipements de l'installation technique de commande intégrés dans la rame sont décrites dans /MSB AG-FZ TRAFÜ/.*

### **Caisson à batteries**

Il faut surveiller la ventilation et l'évacuation de l'air des espaces où sont montés les caissons à batterie. Les durées de ventilation (par exemple poursuite du fonctionnement après l'arrêt de la rame) sont indiquées dans les normes /DIN 57510/, /VDE 0510/.

La disposition géométrique des ouvertures d'aspiration et d'évacuation pour la ventilation du caisson à batterie doit empêcher toute aspiration de l'air évacué du caisson à batterie par les équipements de climatisation lorsque la rame est à l'arrêt ou en mouvement. La circulation d'air doit être garantie sous toutes les conditions météorologiques, y compris en hiver.

Toute ouverture involontaire du caisson doit être impossible en présence de tensions supérieures à 60V.

## Annexe Pesage de la rame de TSM

### Préparation

Il faut présenter une spécification d'essai spécifique au projet avant de réaliser les mesures de détermination du poids.

*Celle-ci a pour objectif de définir les conditions préalables, le déroulement, les conditions générales et la nature de la documentation préalablement aux mesures.*

La spécification d'essai doit contenir les points essentiels suivants :

- L'objectif ou le contexte des mesures,
- La définition des conditions générales essentielles (par exemple accouplements de voiture séparés, etc.),
- Présentation de la réalisation des essais (déroulement, contrôles de plausibilité, etc.),
- Grandeurs planifiées pour l'essai (par exemple temps nécessaire, conditions additionnelles lors de la réalisation de l'essai),
- Description des moyens de mesure (classe de précision, calibrage),
- Description de la documentation nécessaire (tableaux, photographies, etc.).

### Indications et conditions additionnelles

Suivant les objectifs et les conditions de mesure définis, la détermination du poids des rames de TSM peut avoir lieu selon des indications différentes (par exemple état de l'accouplement des voitures / mesure sous le patin de levage ou le dos des aimants de levage).

Pour déterminer le poids d'une rame de TSM, il faut réaliser les mesures sur les châssis de sustentation individuels à gauche et à droite de la rame.

On peut considérer deux catégories d'état de la rame pendant la mesure :

- Mesure du poids de la rame sans prise de l'accouplement de voiture,
- Mesure avec accouplement de voiture en prise, les forces de soutien transmises par l'accouplement de voiture devant alors également être mesurées.

Il faut respecter les conditions additionnelles générales suivantes pour garantir une détermination représentative du poids :

- La rame doit être en position armée (au moins avec la régulation de niveau active).
- La rame doit se trouver en position d'équilibre, ce qui veut dire que les écarts tolérés au sien du plan de référence du bord inférieur des patins de levage sont de  $\pm 2$  mm par rapport aux revêtements des patins neufs. Cette tolérance s'applique au châssis de sustentation à mesurer actuellement et à tous les châssis de sustentation qui sont associés au même circuit d'amortissement pneumatique ainsi qu'aux châssis de sustentation qui,

dans la voiture actuelle, sont associés au circuit d'amortissement pneumatique voisin ou qui appartiennent au même circuit d'amortissement pneumatique dans la voiture voisine, cette dernière exigence ne concernant que le cas d'une mesure sans avoir détaché l'accouplement de voiture. Ces conditions s'appliquent dans la suite du texte lorsque cette tolérance est mentionnée.

- L'ensemble de la rame composée doit avoir été mis entièrement en sustentation au moins une fois avant la mesure afin de soulager les contraintes internes.
- Les soufflets présents au niveau des transitions entre les voitures sont à démonter pendant les mesures afin d'exclure toute transmission de force par ceux-ci.
- Lors de la détermination du poids sans séparation préalable de l'accouplement de voiture, il faut également mesurer les forces d'accouplement transmises.
- Lors d'une mesure séquentielle, c'est-à-dire lorsque le poids n'est pas mesuré simultanément sur tous les châssis de sustentation, il faut réaliser suffisamment de mesures répétitives pour exclure toute influence des contraintes ou autres sources d'erreur éventuellement présentes.
- La tolérance des moyens de mesure ne doit pas dépasser  $\pm 2\%$ .

La masse de la rame peut être mesurée en différents endroits.

*Deux procédés courants et leurs conditions additionnelles spécifiques à prendre en compte sont décrits ci-après.*

*La mesure s'accompagne généralement d'un bilan massique dans lequel sont suivies les modifications résultant des éléments ajoutés et/ou retirés.*

Si une divergence par rapport à la procédure décrite est nécessaire avant ou pendant les mesures, celle-ci doit alors faire l'objet d'un accord spécifique au projet.

## Mesure sous les patins de levage

En cas de mesure sous les patins de levage, le moyen de mesure lorsque la rame est abaissée doit se trouver entre le patin de levage et la glissière ou le bord supérieur de la voie.

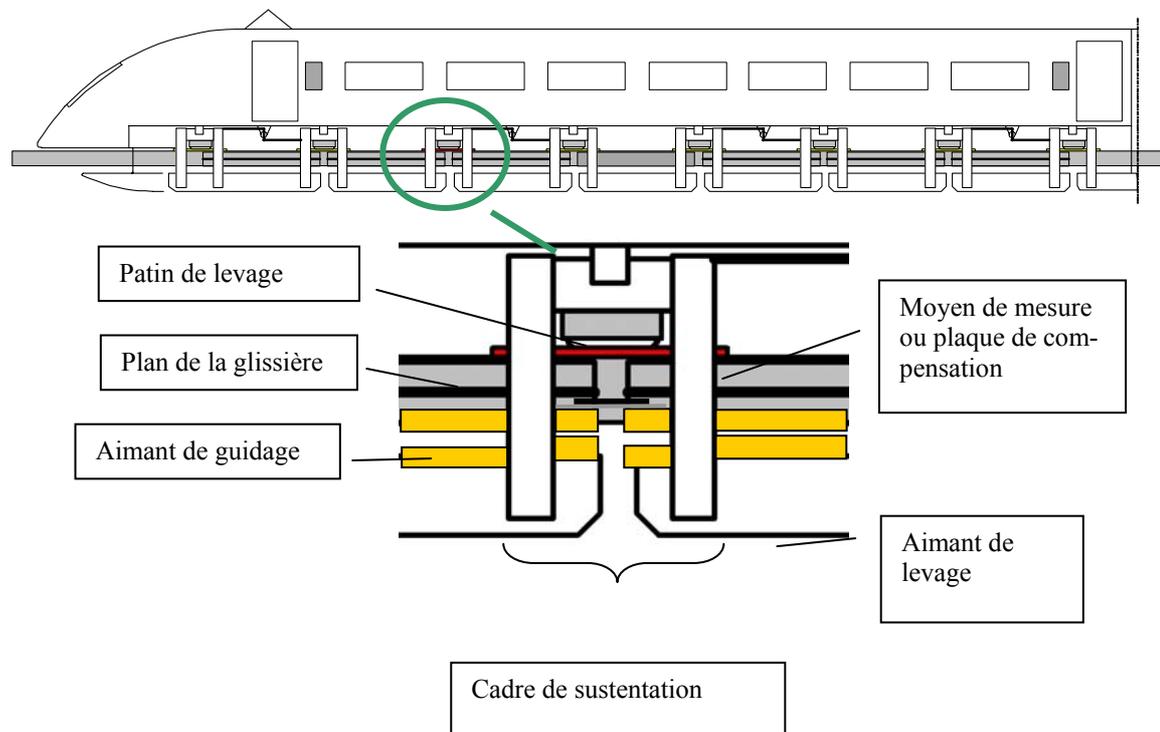


Fig. 59: Schéma de principe du procédé de mesure sous le patin de levage

Il faut veiller à respecter pendant les mesures la tolérance maximale de  $\pm 2$  mm dans le plan des bords inférieurs des patins de levage. Il faut en outre s'assurer que le régulateur de niveau se trouve en position rentrée.

Règles à appliquer lors de la mesure :

- Lors d'une mesure simultanée sur tous les châssis de sustentation de la voiture, les moyens de mesure sont placés sous les patins de levage.
- Lors d'une mesure séquentielle, la voiture complète est montée sur des plaques de compensation qui sont successivement remplacées par des moyens de mesure de même hauteur.

*Avec la méthode de mesure décrite sous les patins de levage, la pose des moyens de mesure (plaques de pesage) entre les patins de levage et la voie peut éventuellement être facilitée en modifiant les paramètres (interstice de levage plus petit).*

## Mesure sous le dos des aimants de levage

Si la détermination du poids de la rame s'effectue sous le dos des aimants de levage, le moyen de mesure doit se trouver entre le bord inférieur de l'aimant de levage et un support (par exemple un poinçon). Avec cette méthode de mesure, la rame doit être déposée sur les supports depuis l'état de sustentation. Il faut s'assurer que les patins de levage ne soient pas en contact avec la voie pendant les mesures.

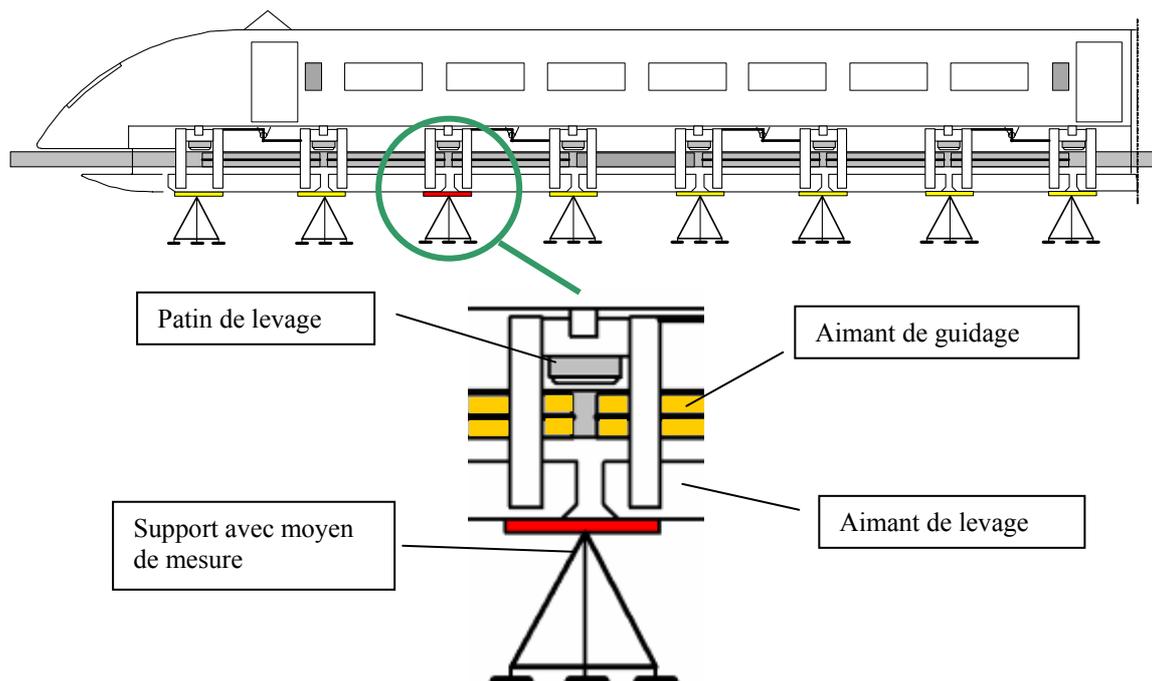


Fig. 60: Schéma de principe du procédé de mesure sous le dos des aimants de levage

Il faut veiller à ce que la tolérance maximale de  $\pm 2$  mm dans le plan des bords inférieurs des patins de levage ne soit pas dépassée pendant les mesures. Il faut là aussi s'assurer que le régulateur de niveau se trouve en position rentrée.

*Il est recommandé de poser des marques de référence pour s'assurer du respect des tolérances en rapport avec les bords inférieurs des aimants de levage. Celles-ci ne doivent cependant pas se trouver dans des zones dont la position géométrique (par rapport au bord inférieur des patins de levage) est influencée par la répartition des charges sur les étriers de châssis.*

Règles à appliquer lors de la mesure :

- Lors d'une mesure simultanée sur tous les châssis de sustentation de la voiture, les moyens de mesure sont placés à une hauteur correspondante sous les dos des aimants de levage et la rame est abaissée sur ceux-ci.
- Lors d'une mesure séquentielle, la voiture complète est soutenue à une hauteur correspondante sous les dos des aimants de levage. Pour déterminer le poids au niveau de

chacun des châssis de sustentation, les supports sont successivement remplacés par un support avec moyen de mesure intégré.

## Grandeurs de mesure complémentaires

Pour garantir une acquisition la plus complète possible des grandeurs influentes concernées pendant les mesures du poids, il est recommandé de mesurer en plus les pressions des amortisseurs pneumatiques et du niveau de la rame.

Lors de la détermination du poids de la rame avec mesure simultanée de la force d'accouplement, il est recommandé d'effectuer des mesures additionnelles avec un poids supplémentaire (masse > 500 kg) en différentes positions x dans la caisse de wagon afin de pouvoir simuler mathématiquement l'influence d'une charge d'exploitation variable sur le comportement de soutien de l'accouplement de voiture.

## Interprétation

L'interprétation du pesage doit établir une liste des poids déterminés sur tous les châssis de sustentation, à chaque fois séparément pour le côté gauche et droit de la rame. Il convient de compléter cette indication avec le poids total calculé de chacune des voitures. Une représentation graphique complémentaire similaire à la Fig. 61 est recommandée pour une vue d'ensemble de la répartition des poids sur toute la longueur de la rame.

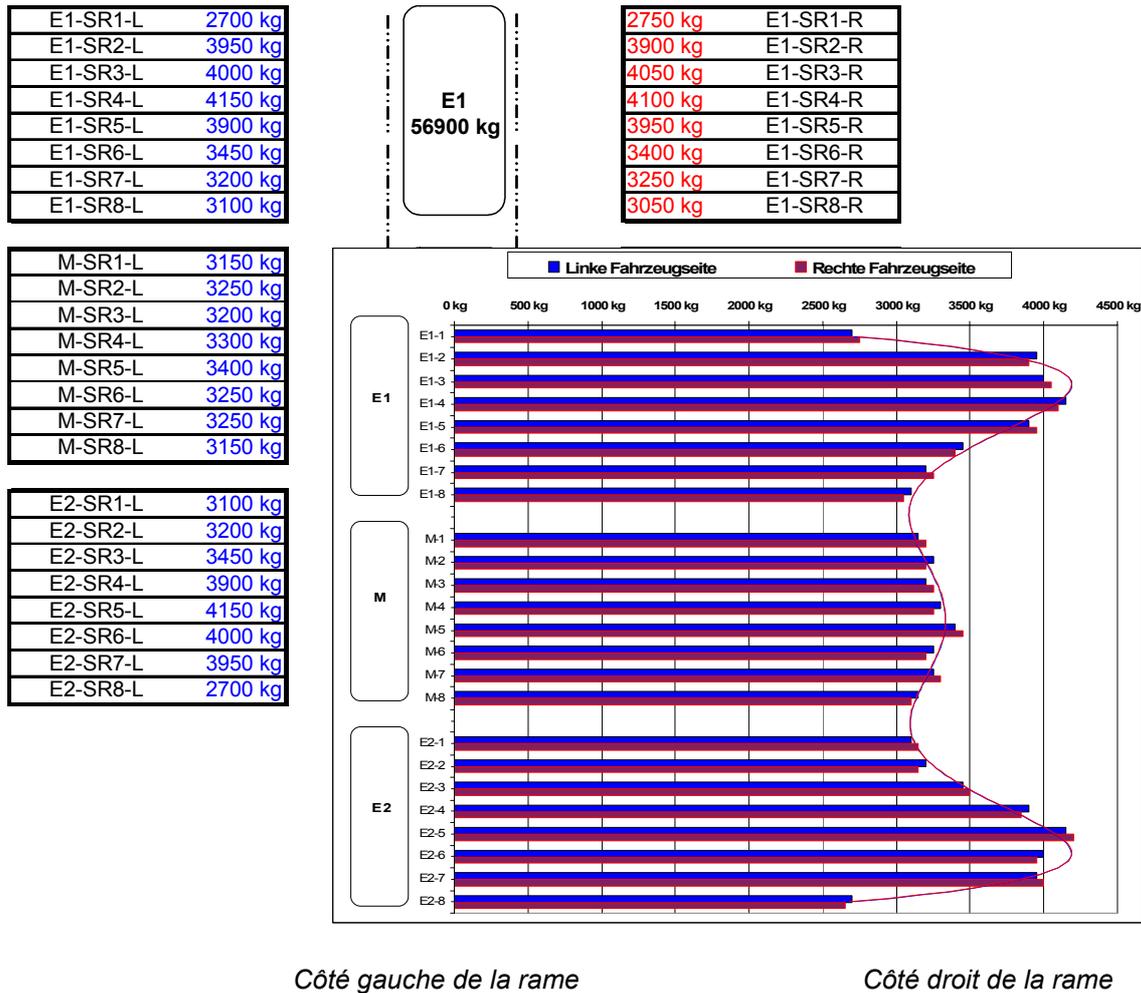


Fig. 61: Exemple de représentation des résultats de la mesure pour une rame composée de trois voitures sous la forme d'un tableau et d'un graphique (valeurs mesurées fictives)

Pour indiquer les forces de soutien de l'accouplement et le sens de leur action, il est recommandé d'adopter une représentation graphique comme dans l'exemple de la Fig. 62. Celle-ci doit clairement indiquer l'action des forces sur les différents composants.

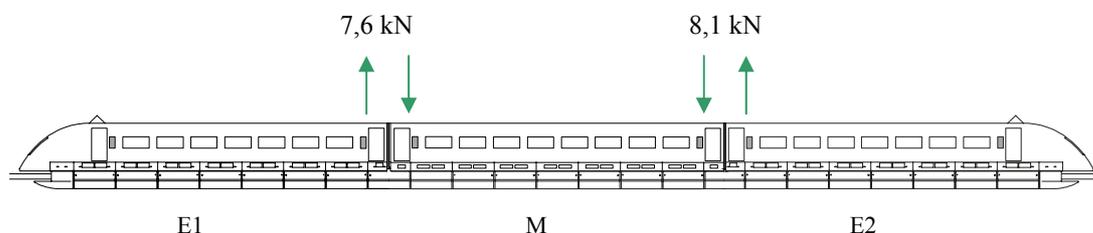


Fig. 62: Exemple de représentation des forces de soutien de l'accouplement et du sens de leur action sur une rame composée de trois voitures (les flèches indiquent le sens de la force avec laquelle les voitures agissent sur les axes d'accouplement / valeurs mesurées fictives)

Si les mesures de poids sont complétées par les grandeurs indiquées au chapitre 0, il est alors recommandé d'adopter une représentation similaire à l'exemple de schéma de la Fig. 63. Le graphique doit permettre de relever les pressions des amortisseurs pneumatiques, le niveau de la caisse de wagon, la force de soutien d'accouplement mesurée ainsi que la position du poids supplémentaire (  ).

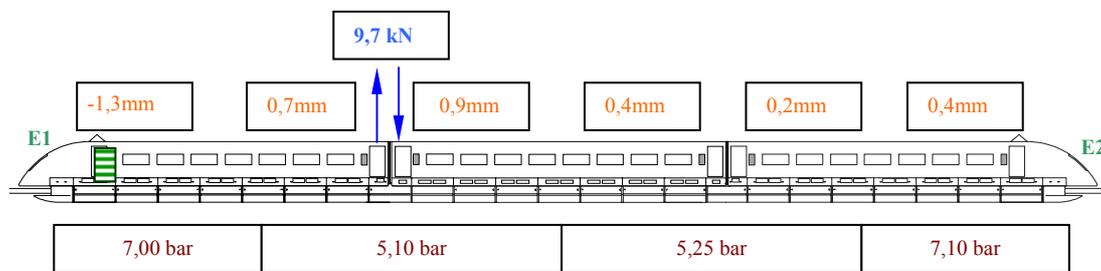


Fig. 63: Exemple de représentation des grandeurs mesurées complémentaires Pression d'amortisseur pneumatique, Niveau, Force de soutien de l'accouplement ainsi que de la position des poids supplémentaires sur une rame composée de trois voitures  
(Représentation d'une mesure individuelle d'une force d'accouplement / valeurs mesurées fictives)

## Documentation

La documentation du pesage sert à garantir la reproductibilité des résultats des mesures.

La documentation doit contenir les éléments suivants :

- Déroulement du pesage (notamment dans le cas d'une mesure séquentielle de chacun des châssis de sustentation) et état des accouplements de voiture,
- Indication du poids des aimants de transition manquants dans le cas d'une mesure des voitures individuelles,
- Documentation de l'état d'équipement de la rame sous la forme d'une liste et/ou de photographies (composants manquants ou supplémentaires, etc.),
- Présentation des résultats des mesures supplémentaires destinées à contrôler la plausibilité,
- Certificats de calibrage des moyens de mesure.

## Annexe Liste des exigences relatives à la réception (exemple)

Exigences relatives à la réception des rames de TSM selon l'Article 6, /MbBO/.

La check-list jointe sert d'exemple. Celle-ci ainsi que les normes à utiliser et les procédures de contrôle et de justification sont à convenir spécifiquement au projet entre le service d'homologation, l'opérateur de train à sustentation magnétique (*exploitant*) et le constructeur de la rame.

La liste des exigences lors de la réception jointe au présent chapitre se base sur les expériences dans le domaine des chemins de fer et du train à sustentation magnétique. Elle complète /MSB AG-NORM&RILI/.

La colonne « Documents » doit mentionner les pièces justificatives spécifiques au projet des caractéristiques respectives.

Sommaire :

- I. Généralités
- II. Paramètres fondamentaux de la rame
- III. Exigences relatives à la rame
- IV. Exigences relatives à la construction et à la fabrication
- V. Exigences relatives aux caisses de wagon
- VI. Système de levage / de guidage
- VII. Logiciel
- VIII. Dispositifs de freinage
- IX. Installations nécessitant une surveillance
- X. Équipement intérieur
- XI. Approvisionnement en énergie de bord / équipement électrique
- XII. Commande et communication, autre équipement technique de sécurité
- XIII. Dispositions relatives à la protection de l'environnement
- XIV. Protection du travail / Protection du personnel
- XV. Protection incendie

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**I. Généralités**

1	Présentation de la demande	Présentation de la demande		Notamment déclaration des portions ou du réseau de voie sur lesquels doit être utilisée la rame dans le domaine de validité de AMbG.
2	Déclaration du respect de MbBO	Déclaration précisant qu'aucune divergence par rapport aux indications de MbBO n'est prévue et que ces dernières sont respectées.	§ 3 MbBO § 5 MbBO	
3	Déclaration du respect des règles reconnues de la technique	Déclaration précisant qu'aucune divergence par rapport aux règles reconnues de la technique n'est prévue.  En cas de divergences : Justificatif d'une sécurité équivalente auprès du service d'homologation	§ 3 MbBO  § 3 (2) Phrase 2 MbBO	
4	Déclaration du respect de toutes les exigences du concept de sécurité	Concept de sécurité (y compris concept de sauvetage)  Objectifs de sécurité  Justificatif de la mise en application des dispositions dans la rame avec renvoi détaillé à la référence correspondante dans le concept de sécurité	§ 23 MbBO	Mise en application du concept de sécurité pour la portion de voie ou le réseau de voie sur lequel doit être utilisée la rame.  En plus des exigences contenues directement dans MbBO et des règles reconnues de la technique, le concept de sécurité selon § 23 MbBO peut également donner lieu à des exigences supplémentaires applicables à une rame du train rapide à sustentation magnétique. Ces exigences forment en partie la condition préalable à l'emploi possible d'une norme (par exemple indication d'un niveau de sécurité exigé selon DIN EN 50128).

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698      Version    finale                      Date de publication    15.02.2007

Page 38 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
5		Cahier des charges du système complet		Similaire à VwV §32 EBO
6		Cahier des charges		Similaire à VwV §32 EBO
7		Justificatif de la conformité aux principes et aux procédés d'établissement du programme de maintenance	Principes et procédés d'établissement du programme de maintenance selon §8 (2) MbBO	
8		Documents d'interface / Cahier des charges système complet (5), Cahier des charges système complet (6)	Principe d'exécution système complet / Principe d'exécution des autres systèmes partiels	
9		Justificatif du système de management de la qualité du constructeur / fournisseur	DIN ISO 9001	Le service d'homologation peut procéder à un contrôle par échantillonnage de l'efficacité du système de management de la qualité.

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 39 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**II. Paramètres fondamentaux de la rame**

1	Spécifications techniques générales	Caractéristiques techniques de la rame Cahier des charges Demande de réception Article 6 MbBO		
1.1		Désignation de du type de construction de la rame		
1.2		N° de rame		
1.3		N° de fabrication		
1.4		Année de construction		
1.5		Fabricant		
1.6		Propriétaire/exploitant		
2		Aptitude au roulage		
2.1	supprimé			
2.2		Concept d'exploitation du cahier des charges Vitesse maximale, Vitesse réglée opérationnelle	Voir les Principes d'exécution Système complet Annexe 1	
2.3		Longueur de la rame		
2.4		▪ Poids propre	Voir chapitre 0, Annexe Pesage	Similaire à l'expérience TVE

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 40 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Charge par patin</li> <li>▪ Charges sur les accouplements de voiture</li> <li>▪ Position du centre de gravité</li> </ul>		
2.5		Poids total autorisé		
2.6		Poids maximum de la rame par unité de longueur		
2.7		Nombre de places (nombre de places assises ou debout), personnes par unité de surface		
2.8		Nombre de sections		
2.10		Nombre de toilettes, lavabos		
2.11		Nombre d'autres compartiments (par exemple compartiments à bagages)		
2.12		Nombre de voitures de la rame		
2.13		Cadre de sustentation : disposition et construction, nombre de cadres de sustentation, espacement des cadres de sustentation		
2.14		Charge maximale agissant sur les unités de levage et de guidage	Principe d'exécution, Rame, Partie II Dimensionnement	Peut être déduite de manière compréhensible du cahier des charges du système complet
2.15		Puissance d'entraînement	voir point I, N° 8	Spécifique au projet, voir cahier des charges du système complet

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 41 sur  
1085

**Principes d'exécution**

---

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
2.16		Plus petit rayon de roulage	Principes d'exécution du système complet	

---

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698      Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 42 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**III. Exigences relatives à la rame**

1	Limitation de la rame, cinématique de la rame	Dessin, justification selon /MSB AG-BEM/	Article 17 (3) MbBO en liaison avec l'Annexe à l'Article 14 MbBO et les Principes d'exécution de la rame Partie III, § 14 MbBO	En s'inspirant de la méthodologie de UIC 505.  L'expertise de limitation cinématique de la rame doit contenir la confirmation suivante : « Je confirme par la présente que la ligne de limitation de la rame a été calculée (selon .....). La ligne de limitation représentée dans l'Annexe à l'Article 14 MbBO pour l'espace nécessaire pour la rame du point de vue cinématique n'est pas dépassée, même dans les cas où .... ».  Justification selon AG Rame Partie III
2	Dispositifs de signalisation	Dessin / Description - Signal de tête - Signal de queue	DS / DV 301 « Manuel des signaux »	Les divergences sont à convenir en fonction du projet
3	Inscriptions sur la rame	Dessin / description ; index des pancartes et des inscriptions	UIC 640 ISO 7001:1990 (Pictogrammes)	Les divergences sont à convenir en fonction du projet
4	Pontage des interstices au niveau de la rame dans la zone d'accès	Cahier des charges	§ 15 MbBO DIN EN 14752 (Applications ferroviaires des systèmes d'accès latéraux), prise en compte de TSI-PRM	si disponible  Tenir compte de l'interaction avec les portes d'accès à la voie (§ 15 MbBO)!
5	Concept de défaut et d'urgence / concept d'éva-	Nombre, description, dessin avec position des issues de secours	§ 18 (3) MbBO	Limitation par rapport au concept de sauvetage selon § 23 MbBO : Le concept de sauvetage selon § 23 MbBO définit la

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698      Version    finale                      Date de publication    15.02.2007

Page 43 sur  
1085

**Principes d'exécution**

Rame

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
	cuation d'urgence	Concept de sécurité Concept de signalisation	DIN 5510 Directives EBA Protection incendie dans les équipements de transport de personnes des chemins de fer allemands /BrandReg/	conception pour les situations d'urgence (en rapport avec le système complet). La réception de la rame selon l'Article 6 MbBO inclut le contrôle de la mise en application sur la rame physique des mesures définies dans le cadre du concept de sécurité (ou du concept de sauvetage) ainsi que des prescriptions légales et des règles reconnues de la technique.
6	Pressurisation / tenue de la pression	Cahier des charges Cahier des charges	UIC 660 /MSB AG-GESAMTSYS/	Peut être déduite de manière compréhensible du cahier des charges du système complet
7	Effets des ondes de pression	Cahier des charges Cahier des charges		Peut être déduite de manière compréhensible du cahier des charges du système complet
8	Conditions météorologiques de l'environnement	Cahier des charges Cahier des charges	Selon /MSB AG-Umwelt/	À déterminer en fonction du projet. Motif officiel de l'Article 17 MbBO : Les rames doivent supporter <u>toutes</u> les conditions opérationnelles et environnementales supposées
9	Aérodynamique	Cahier des charges	En 14067, UIC 660, DB RIL 807-04 (vent latéral)	

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 44 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**IV. Exigences relatives à la construction et à la fabrication**

1	Liaisons vissées	Dessins / descriptions / contrôle du caractère imperdable de la construction ; Cahier des charges Détermination de l'étendue de la justification et du procédé de justification (éventuellement expérimental)	Exigences environnementales dans l'espace de montage correspondant DIN 25201	Sécurisation des liaisons vissées  Le caractère imperdable est particulièrement important sur les rames du TSM, car les pentes de la voie sont considérablement supérieures à celles des chemins de fer et les vitesses sont elles aussi généralement plus élevées.
2	Liaisons rivetées	Dessins Détermination de l'étendue de la justification et du procédé de justification (éventuellement expérimental) Compte-rendu d'essai des composants correspondants		Justificatif spécifique au projet requis.  Liaison par adhérence / engagement géométrique (en fonction du type de rivet et de l'appariement des matériaux)
3	Constructions soudées	Dessins	« Directives de gestion pour les conditions de soudage des véhicules ferroviaires et de leurs composants dans le domaine de compétence de l'EBA » ; DIN 6700	Notamment DIN 6700, Partie 2  → Entreprises de soudage reconnues par l'EBA !
4	Liaisons collées	Dessins / descriptions / justificatifs de solidité / procédés de fabrication pour la construction de la rame (caisse de wagon mécanique)	DIN 6701, Parties 1 et 2 Fiche technique DVS M 1618 (Édition 01/2002) Adhésifs élastiques à couche épaisse dans la construction des véhicules ferroviaires	Pour les liaisons collées élastiques à couche épaisse (nez)

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 45 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**V. Exigences relatives aux caisses de wagon**

1	Détermination du poids de la rame	Justificatif mathématique et justificatif par mesure	Le procédé de mesure est décrit au chapitre 0 du présent document.	
2	Structure de la rame	Dessin d'ensemble (construction brute et châssis de sustentation magnétique) avec cotes ; dimensions de la caisse de la rame (dessin et fiche de mesure) Indication des matériaux employés (pièces transmettent des charges) Disposition de chacun des composants Procédé de réalisation des joints		
3	Détermination du centre de gravité	Justificatif mathématique ou empirique		Suivant la voiture
4	Présentation des points de levage	Dessins, instructions de transport		Tous les points de levage doivent, s'il y a lieu, être marqués de manière durable sur le matériel concerné
5	Espaces libres aux extrémités de la rame	Dessin Description de l'espace de montage à l'extrémité d'accouplement	UIC 521, accouplements	si disponible

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698      Version    finale                      Date de publication    15.02.2007

Page 46 sur  
1085

**Principes d'exécution**

Rame

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
6	Caisses de wagon d'une voiture, y compris les éléments d'équipement	Justificatifs des scénarios de collision	Cahier des charges § 17 (2) MbBO Document MSB Principes de dimensionnement AG Rame Partie II, AG Système complet	§ 17 (2) MbBO : « Les effets de la rame sur la voie ne doivent pas dépasser les effets pris en compte lors du dimensionnement de la voie ».  Les effets sont à déduire de manière justifiable du cahier des charges du système complet.
7	Accouplement des voitures	Description du type de construction, justificatif mathématique et empirique	§ 20 (2) MbBO UIC 572 AG Rame Partie II  Le procédé de mesure destiné à déterminer la charge de l'accouplement des voitures est décrit au chapitre 0 du présent document.	
8	Éléments rapportés	Dessin / description / justification de la solidité opérationnelle et du caractère imperdable sous les conditions environnantes qui règnent au point de montage  Cahier des charges	AG Rame Partie II	Exemple : Radome
9	Transitions	Dessin / Description	Cahier des charges	
10		Vitres extérieures	§ 18 (1) MbBO	
10.1	Vitres avant (si présentes)	Dessin / Description	UIC 651  Rames TSI-HGV : Chapitres 6.3.2 et 4.3.19	Critères : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Qualité visuelle</li> <li>▪ Dégivrage, prévention de la buée.</li> </ul>

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 47 sur  
1085

**Principes d'exécution**

Rame

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
				<p>Le nettoyage des vitres s'effectue selon les indications spécifiques au projet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Impact de projectile</li> </ul>
10.2	Vitres latérales	Dessin / Description	UIC 564 – 1 UIC 660 UIC 567 BN 918511 PA-1300, Programme de contrôle technique DB des systèmes de fenêtres, Édition 2005	<p>L'UIC 564-1 ne couvre pas la plage de vitesses en HGV. Par conséquent, les fenêtres latérales HGV sont contrôlées conformément au Programme PA-1300 de contrôle technique DB des systèmes de fenêtres, Édition 2005. Le contrôle s'effectue par analogie à l'UIC 564-1.</p> <p>Le niveau de charge et le nombre de changements de charge doivent être convenus au moyen du spectre d'utilisation (collectif de charge) et de suppléments adéquats.</p>
11	Portes		§ 18 (1) MbBO	
11.1	Portes d'accès	Concept de sécurité Procédé d'expédition Dessin / Description Justification des fonctions techniques de sécurité sous les conditions ambiantes données selon le cahier des charges	§ 18 (2) N° 1 et 2 MbBO VDV 111 DIN EN 14752 UIC 560 UIC 566 DIN 32974 (signaux sonores)	<p>Voir aussi le motif officiel de l'Article 18 MbBO:            « La sécurisation des portes selon le paragraphe 2 est particulièrement importante en présence de vitesses élevées. »</p> <p>Le verrouillage automatique des portes lorsque la rame n'est pas abaissée est à définir au moyen d'une analyse du risque.</p> <p>Description de l'interaction entre la porte de la rame, la porte d'accès à la voie et le pontage de l'interstice.</p>
11.2	Portes entre	Dessin / Description	§ 17 (5) N° 3 MbBO	éventuellement § 17 (5) N° 3 MbBO : critère 30 min

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
 Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 48 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
	voitures	Concept de sécurité Justificatif des fonctions techniques de sécurité	éventuellement DIN 5510 VDV 111 DIN EN 14752 UIC 560	
11.3	Portes de WC	Dessin / Description		
12	Poignées, mains courantes, marchepieds	Dessin / Description	Selon les normes ferroviaires en vigueur	
13	Dispositifs de maintien pour les bacs à bagages	Dessin / Description		Les récipients non fixés peuvent affecter la sécurité

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 49 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**VI. Système de levage / de guidage**

1	Structure de levage / guidage (châssis de sustentation, aimants de levage et de guidage)  Patins de levage, etc.	Justification de la solidité statique et dynamique (mathématique et/ou empirique)  Indication des matériaux employés, notamment des patins de levage :  comportement thermique  comportement mécanique, résistance à la rupture  l'abrasion,  Coefficient de friction, patin de levage / glissière	Principe d'exécution, Rame, Partie IV Système de levage / guidage et Partie II Dimensionnement	Les valeurs de consigne doivent être déterminées en fonction du projet.
2	Fonctions de la technique de sustentation :  ▪ fonction de levage sécurisée,  ▪ fonction de guidage sécurisée  en relation avec l'approvisionne-	Concept de sécurité  Dessins / Descriptions  ▪ Unités de mesure des interstices  ▪ Régulation des aimants  ▪ Comportement en cas de panne	Principes d'exécution Rame Partie IV Système de levage / de guidage	

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698      Version    finale                      Date de publication    15.02.2007

Page 50 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
	ment en énergie du bord			
3	Charges verticales, forces transversales, forces longitudinales	Justificatif de non-dépassement des charges et des forces transversales ou longitudinales	Principe d'exécution, Partie IV Système de levage / guidage et Partie II Dimensionnement	

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698      Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 51 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**VII. Logiciel**

1	Classification des logiciels	Classification en <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ logiciels n'affectant pas la sécurité, Niveau d'exigence de sécurité (SSAS) = 0</li> </ul> ou <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Affectant la sécurité SSAS &gt; 0</li> </ul>	EN 50128  EN 61508	Exemples : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Système de levage / de guidage</li> <li>▪ Approvisionnement en énergie de bord</li> <li>▪ Dispositifs de freinage</li> <li>▪ Commande des portes</li> <li>▪ Climatisation</li> <li>▪ Dispositifs de protection incendie</li> <li>▪ Dispositifs de communication</li> </ul>
2	Fonctions relatives à la sécurité	par exemple : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Freins,</li> <li>▪ Entrées et sorties</li> <li>▪ Interfaces vers la sécurité du train, etc.</li> <li>▪ tous les dispositifs qui               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ interviennent dans la commande fonctionnelle du train,</li> <li>○ demandent une intervention du chef de sécurité,</li> <li>○ diagnostiquent des températures ou des gaz de fumée.</li> </ul> </li> </ul>	Concept de sécurité EN 50128 Directives d'application de la norme EN 50128 sur les véhicules ferroviaires (Édition 09/2005)	

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
                   Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                   Date de publication   15.02.2007

Page 52 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
3	Logiciel - processus d'élaboration	Expertise sur l'application de la norme	EN 50128	Le modèle V est à élaborer avec le SSAS formé ici conformément au niveau applicable de la norme EN 50128.  Toutes les étapes sont documentées et archivées et éventuellement validées par l'expert.

**VIII. Dispositifs de freinage**

		Freins		
1	Dispositifs de freinage	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dessin,</li> <li>▪ Cahier des charges,</li> <li>▪ Description du système de freinage des composants et du mode de fonctionnement, calcul des freins,</li> <li>▪ Freins de service, freins de sécurité, freins d'arrêt, etc.</li> <li>▪ Contrôle des freins.</li> </ul>	Article 20 MbBO en relation avec le § 13  Principes d'exécution Rame Partie V	Conditions annexes spécifiques au projet selon cahier des charges
2	Contrôles techniques des freins	Puissances de freinage, etc.		Conditions annexes spécifiques au projet selon cahier des charges

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 53 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**IX. Installations nécessitant une surveillance**

1	Équipements à récipients sous pression (amortisseurs pneumatiques, etc.)	<p>Description de l'équipement avec calcul de la consommation d'air</p> <p>Dessin d'ensemble de la rame avec position des récipients sous pression, des soupapes de sûreté et des contrôleurs de pression ainsi que tracé des conduites</p> <p>Schéma de branchement des conduites, dessin des récipients avec nomenclature</p> <p>Certificat de conformité selon l'article 11 de la Directive 87/404/CEE ou certificat de contrôle d'un expert reconnu</p> <p>Justificatif de contrôle des soupapes de sûreté selon Fiche technique AD A2, paragraphe 10</p> <p>Indication de la puissance du compresseur</p> <p>Compte-rendu de mise en service, justificatifs de contrôle de l'expert / spécialiste selon TRB 505, 511, 512, 513 et justificatif de contrôle avant la mise en service selon § 21 (2) MbBO</p> <p>Prescriptions d'entretien</p> <p>Mode d'emploi</p>	<p>§ 21 MbBO</p> <p>en relation avec la « Directive pour les équipements nécessitant une surveillance des véhicules ferroviaires des chemins de fer allemands selon § 33 EBO », Édition : 1.11.2003, notamment Annexe 2</p> <p>Directive sur les appareils sous pression 97/23/CE</p> <p>AD 2000</p> <p>DIN EN 286-4</p>	
---	--	--	--	--

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 54 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
			DIN 31051	
2	Batteries et leur ventilation	Description de l'équipement, dessins, etc. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sécurité</li> <li>▪ Mise à la terre</li> </ul>	DIN 57510 VDE 0510 Cahier des charges Concept de sécurité § 21 MbBO en relation avec la « Directive pour les équipements nécessitant une surveillance des véhicules ferroviaires des chemins de fer allemands selon § 33 EBO », Édition : 1.11.2003, notamment Annexe 4.7	

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698      Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 55 sur  
1085

**Principes d'exécution**

Rame

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**X. Équipement intérieur**

1	Espace des voyageurs	Dessin / Description	<p>Article 17 MbBO(1) en relation avec l'Article 3 (3) MbBO</p> <p>Loi sur l'égalité des handicapés (BGG)</p> <p>Rames TSI : chapitre 7.4.3 (étude COST 335)</p> <p>Prise en compte de DIN 33402-1 et DIN 33402-3</p> <p>TSI PRM</p> <p>UIC 565-3</p> <p>UIC 563</p> <p>BMVBW - Manuel « direct », 56/2001 Acquisition et évaluation assistées par ordinateur des barrières</p> <p>Programme de Deutschen Bahn AG (Édition : DB Personenverkehr, P.VMX, 06.2006)</p>	<p>Facilité d'accès pour les personnes à mobilité réduite, aménagement de places sécurisées pour les fauteuils roulants ;</p> <p>éventuellement Federal Register 49 (États-Unis)</p>
---	----------------------	----------------------	--	--

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698      Version    finale                      Date de publication    15.02.2007

Page 56 sur  
1085

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
2	Équipement intérieur	Dessin / Description de <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Isolation</li> <li>▪ Structure du plancher</li> <li>▪ Cloisons intermédiaires</li> <li>▪ Habillage des murs</li> <li>▪ Plafonds</li> <li>▪ Matériaux employés</li> <li>▪ Crochets pour bagages et vêtements</li> <li>▪ Miroirs et autres composants en verre</li> <li>▪ Dispositifs de maintien</li> <li>▪ Sièges</li> <li>▪ Dispositifs de retenue pour fauteuils roulants</li> </ul> Cahier des charges	§ 18 (1) MbBO DIN 5510 / niveau 4 en relation avec /BrandReg/ UIC 562 UIC 564 – 1 DB TT73 Principes de construction et de contrôle des sièges pour voyageurs dans les véhicules ferroviaires Programme de Deutschen Bahn AG (Édition : DB Personenverkehr, P.VMX, 06.2006)	
3	Couloir latéral	Dessin / Description	UIC 567 - 1 UIC 567 - 2	
4	Vestibules d'accès	Description		
5	Climatisation	Dessin / Description / Justificatifs <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contrôle des secousses</li> <li>▪ Contrôle des performances</li> </ul>	Concept de sécurité EN14750-1 et EN 14750-2 EN 13129-1, EN 13129-2,	Classement en catégorie A ou B spécifiquement au projet selon EN 14750-1.

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 57 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teneur en CO<sub>2</sub></li> <li>▪ Ventilation d'urgence</li> </ul>	DIN EN 61373 en relation avec /MSB AG-FZ BEM/	
6	Espace WC	Description		Si présent
7	Réseau d'eau potable	Justificatif d'homologation Dessin avec nomenclatures Description	<p>§ 72 Loi sur la protection contre les infections (IfSG),</p> <p>§ 23 TrinkwVO en relation avec la directive « Prise en compte de la surveillance officielle selon § 72 de la loi sur la protection contre les infections dans le domaine des chemins de fer allemands dans les installations de distribution d'eau potable et d'élimination des eaux usées dans les véhicules ferroviaires et les installations fixes pour leur remplissage et leur élimination » ;</p> <p>EN1508</p> <p>DIN 1988 Règles techniques relatives aux installations d'eau potable</p> <p>Règle technique W270 de DVGW : Multiplication des microorganismes sur les matériaux dans la zone de l'eau potable</p> <p>KTW Matières plastiques et eau potable</p>	Si présent
8	Installations d'eau sanitaire	Dessin	EN 1508	Si présent
9	Installation pour	Dessin	Loi relative à la gestion de l'eau (WHG)	Si présent

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 58 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
	eaux usées		UIC 563	
10	Répéteur	Description du fonctionnement, intégration dans le plan CEM	Voir XI, 2	Si présent
11	Fenêtres de sortie de secours	Description du fonctionnement	Règles de contrôle des fenêtres d'entrée et de sortie de secours dans les véhicules ferroviaires, EBA, 27.03.2006, ( <a href="http://www.eisenbahn-bundesamt.de/Service/files/31_32_33_6_1_VwV_NEA.pdf">http://www.eisenbahn-bundesamt.de/Service/files/31_32_33_6_1_VwV_NEA.pdf</a> )	Si présent

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                   Date de publication   15.02.2007

Page 59 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**XI. Approvisionnement en énergie de bord / équipement électrique**

1	Prise de courant	Description de la construction, dessin, calcul de solidité, détermination des charges appliquées sur le rail conducteur	EN 50121	Si présent  CEM des applications ferroviaires
2	Équipement électrique	<p>Description</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Synoptique / schémas électriques</li> <li>▪ Alimentation depuis un générateur linéaire / des batteries / un rail conducteur</li> <li>▪ Concept de mise à la terre (contrôle de l'impédance), notamment mise à la terre par le biais des patins de levage</li> <li>▪ Contrôle de la haute tension (rapport de contrôle)</li> <li>▪ Protection contre la foudre</li> <li>▪ Contrôle de la compatibilité électromagnétique (CEM)</li> <li>▪ Mesures de protection relatives aux dangers électriques</li> </ul>	<p>§ 17 (4) MbBO</p> <p>EMVG Loi sur la compatibilité électromagnétique des appareils,</p> <p>EN 50121 CEM Applications ferroviaires</p> <p>RL 89/336/CE Directive sur la compatibilité électromagnétique</p> <p>EBA Complément au respect des valeurs limites de la compatibilité électromagnétique (CEM) par les véhicules ferroviaires</p> <p>DIN EN 50155 <b>VDE 0115-200</b>:2004-01</p> <p>Applications ferroviaires - dispositifs électroniques sur les véhicules ferroviaires - version allemande EN 50155:2001 + A1:2002 + Corrigendum 2003</p>	<p>Rigidité diélectrique selon VDE 0160</p> <p>Intensités de champ électrique selon DIN EN 61000-4-3 = VDE 0847-4-3</p> <p>Intensités de champ magnétique selon DIN EN 61000-4-8 = VDE 0847-4-8</p> <p>Étincelage selon DIN EN 61000-4-4 = VDE 0847-4-4</p> <p>Transitoires selon DIN EN 61000-4-5 = VDE 0847-4-5</p> <p>ESD selon DIN EN 61000-4-2 = VDE 0847-4-2</p> <p>Parasites par induction selon DIN EN 61000-4-6 = VDE 0847-4-6</p> <p>Surtensions selon DIN EN 50178 = VDE 0160</p> <p>Normes selon spécifications de contrôle</p> <p>DIN EN 50121-1 <b>VDE 0115-121-1</b>:2001-05</p> <p>Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique</p>

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 60 sur  
1085

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
				<p>gnétique - Généralités - version allemande EN 50121-1:2000</p> <p>DIN EN 50121-2 <b>VDE 0115-121-2:2001-05</b></p> <p>Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique - Émissions parasites de l'ensemble du système ferroviaire dans le monde extérieur - version allemande EN 50121-2:2000</p> <p>DIN EN 50121-3-1 <b>VDE 0115-121-3-1:2001-05</b></p> <p>Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique - Véhicules ferroviaires – Train et rame complète - version allemande EN 50121-3-1:2000</p> <p>DIN EN 50121-3-2 <b>VDE 0115-121-3-2:2001-05</b></p> <p>Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique - Véhicules ferroviaires - Appareils- version allemande EN 50121-3-2:2000</p> <p>DIN EN 50121-4 <b>VDE 0115-121-4:2001-05</b></p> <p>Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique - Émissions parasites et antiparasitage des équipements de signalisation et de télécommunication - version allemande EN 50121-4:2000</p> <p>DIN EN 50121-5 <b>VDE 0115-121-5:2001-05</b></p> <p>Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique - Émissions parasites et antiparasitage des installations et équipements fixes d'alimentation en énergie de la voie - version allemande EN 50121-</p>

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
 Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698      Version    finale                      Date de publication    15.02.2007

Page 61 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
				5:2000
3	Éclairage /éclairage de secours	Description Puissance / autonomie	UIC 555, concept de sécurité EN 13272 EN 50172	Application EN 50172 spécifique au projet (en cas de décision d'utilisation de signaux de secours lumineux, par exemple)

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                   Date de publication   15.02.2007

Page 62 sur  
1085

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**XII. Commande et communication, autre équipement technique de sécurité**

1	Technique de commande (matériel / logiciel)	Description / justificatif de sécurité du traitement des signaux	DIN EN 50155 <b>VDE 0115-200</b> :2004-01 Applications ferroviaires - dispositifs électroniques sur les véhicules ferroviaires - version allemande EN 50155:2001 + A1:2002 + Corrigendum 2003  DIN EN 50126 CEI 61508  DIN EN 50128 Fiche technique EBA  Directives d'application de la norme EN 50128 sur les véhicules ferroviaires (Édition 09/2005)	
2	Dispositifs d'appel d'urgence / interphone  Équipement de sonorisation pour les annonces	Description / Justificatifs	Concept de sécurité § 18 (2) N° 3 MbBO  Rames TSI : chapitre 4.3.16	
3	Éclairage de secours	voir Éclairage	EN 13272	XI.3

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 63 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
4	Ventilation d'urgence	voir Climatisation		X.5
5	Déverrouillage de secours des portes	voir Portes d'entrée		V.11

**XIII Dispositions relatives à la protection de l'environnement**

1	Fiches techniques de sécurité	Fiche technique d'utilisation Voiture intermédiaire Fiche technique d'utilisation Voiture d'extrémité		Modèle comparable ICE
2	Installations sanitaires	Justification du caractère écologique de l'installation sanitaire	UIC 567 UIC 563	Si présent
3	Absence d'amiante	Explication / justification	Interdiction d'amiante	
4	Absence de HCFC	Explication / justification	Décret d'interdiction des HCFC halogénés	
5	Bruit extérieur	Justification des émissions sonores	Décret relatif au train à sustentation magnétique Article 2 : Règlement sur la protection contre le bruit des trains à sustentation magnétique Principes d'exécution Système complet, An-	

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 64 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
			nexe 5 DIN EN ISO 3095	
6	Recyclage		VDI-2243	

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 65 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**XIV Protection du travail / Protection du personnel**

1	Protection du travail	Justificatif du respect de la protection du travail <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mesure et évaluation des vibrations corporelles totales</li> <li>▪ Conditions d'éclairage dans les compartiments des voyageurs</li> </ul>	Cahier des charges UIC 651 DIN 45641 ISO 2631 UIC 513 EN 13272 ERRI B 153 VDI2057	Si des postes de travail sont prévus.  Il faut demander un avis circonstancié / un communiqué de l'assurance accident compétente.
2	Bruit intérieur		UIC 567  DIN ISO 3381 (11.05) Rames TSI-HGV, chapitre 4.2.7.6, Rév. 2006	Détermination du niveau sonore intérieur spécifique au projet  TSI concernant le poste de conduite
3	Protection contre les électrocutions		MbBO §17 (4) EN 50153, EN 50125-1, EN 60309, VDE 0115 Partie 2, UIC 533 EN 50215	

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 66 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
----	---------	-----------	--------------------------	--------------

**XV. Protection incendie**

1	Configuration constructive, équipement et conception	Justificatif du respect des dispositions en matière de protection incendie	§ 17 (5) MbBO /BrandReg/ (01.06. 2006) DIN 5510 VBG 125 (pictogramme des extincteurs) DIN 4844 (marquage de sécurité) EN 1363-1 (cloisonnement pare-feu contrôlé) EN 60695 (contrôle d'évaluation du risque d'incendie) DB TT73 Principes de construction et de contrôle des sièges pour voyageurs dans les véhicules ferroviaires BN 918 433	Niveau de protection incendie 4 Voir chapitre 0
2	Alerte incendie automatique	Dessins / Description / Justificatifs (essais)	§ 17 (5) N° 4 MbBO EN 61508 Fiche technique EBA « Détecteur de fumée à ionisation dans les véhicules ferroviaires »	
3	Extincteurs portables	Dessin / Description	§ 17 (5) N° 4 MbBO	
4	Dangers lors de l'accès par les	Concept de sécurité Documents pour les services de secours :		

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 67 sur  
1085

**Principes d'exécution**

N°	Contenu	Documents	Réglementation / Édition	Observations
	services de secours	Fiche technique d'utilisation voiture intermédiaire, Fiche technique d'utilisation voiture d'extrémité, Équipements de secours		
5	Moyens de premiers secours	Description	§ 18 (2) N° 4 MbBO	

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie I, Exigences générales

Doc. n° :   67698   Version   finale                      Date de publication   15.02.2007

Page 68 sur  
1085

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Rame**

## **PARTIE II**

### **Dimensionnement**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

---

Titre                   Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
                          Rame Partie II - Dimensionnement

Doc. n° :       67694       Version       finale                   Date de publica-       15.02.2007                   Page 1  
  tion

## Destinataires

Le présent document a été remis par la commission spéciale Rame à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Rame

**Table des matières**

**Destinataires ..... 2**

**Aperçu des modifications..... 3**

**Table des matières ..... 4**

**Généralités ..... 7**

Objectif et champ d'application..... 7

Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique ..... 8

Abréviations et définitions..... 9

Lois, décrets, normes et directives ..... 9

Identification et caractère obligatoire des exigences..... 9

Références ..... 9

**Définitions (spécifiques au système partiel) ..... 11**

Système de coordonnées..... 11

Forces d'articulation..... 12

Généralités ..... 13

Poids de l'rame lors du transport de personnes..... 13

Poids propre d'une rame ..... 13

Charge d'exploitation des rames de voyageurs ..... 13

Poids de la rame avec charge d'exploitation ..... 14

Poids maximal de la rame ..... 14

Poids de la rame lors du transport de marchandises ..... 14

**Validation de la construction ..... 15**

**Exigences de validation..... 16**

Généralités ..... 16

Paramètres influant sur les rames de TSM ..... 17

Suppositions de charges ..... 17

Matériaux..... 17

Incertitudes ..... 18

Justification de la solidité statique et de la stabilité structurelle ..... 20

Justification de la capacité d'absorption des charges ..... 20

Justification de la rigidité ..... 22

Justification de la résistance à la fatigue ..... 23

Justification expérimentale de la solidité ..... 24

**Cas de charge ..... 28**

Charges A (cas de charge pour la justification de résistance à la fatigue)	28
Forces d'inertie	28
Réactions conséquences du tracé	34
Précontrainte résultant des charges des aimants de guidage	34
Charges aérodynamiques	34
Charges résultants des variations de température	39
Charges S en l'absence de panne du système pour la justification de la capacité d'absorption des charges	40
Forces d'inertie	40
Réactions conséquences du tracé	43
Précontrainte résultant des charges des aimants de guidage	43
Charges aérodynamiques	43
Charges résultants des variations de température	44
Charges S en cas d'exploitation avec pannes pour la justification de la capacité d'absorption des charges	44
Freinage forcé avec frein de sécurité en cas de panne d'un circuit de régulation du freinage	44
Panne d'un réseau de bord	45
Guidage mécanique local	46
Levage mécanique local	46
Abaissement unilatéral non régulé des patins de levage	47
Glissement/mouvement pendulaire	48
Modification du coefficient de frottement avec la rame de TSM abaissée en glissement	48
Choc d'arrêt en cas de freinage forcé avec le frein de sécurité	48
Dépassement de la charge d'exploitation dans des situations opérationnelles exceptionnelles	49
Dépassement de la vitesse maximale de ligne	49
Dépassement de la force de poussée suite à un défaut de la propulsion	49
Entrée dans l'enroulement en court-circuit	50
État de la rame de TSM avec inclinaison transversale maximale	50
Levage de la rame de TSM avec les patins de levage gelés	50
Panne de la suspension pneumatique du nez	50
Cas de collision	51
Transport	51
<b>Superposition des cas de charge</b>	<b>52</b>
Justification de la capacité d'absorption des charges	52
Détermination de la résistance à la fatigue	54
Justification de la limite d'endurance	54
Justification de la solidité opérationnelle	54
<b>Annexe Sollicitation des composants installés et rapportés</b>	<b>55</b>
Définition des espaces de l'environnement	55

Niveau de contrôle.....	58
-------------------------	----

**INDEX DES ILLUSTRATIONS**

Figure 1 : Forces d'articulation sur la structure du châssis	12
Figure 2 : Division des zones de la voiture d'extrémité en rapport avec les effets aérodynamiques	35
Figure 3 : Effet sur le nez/la queue de l'onde de pression alternée	37
Figure 4 : Espaces de l'environnement de /MSB AG-UMWELT/	55
Figure 5 : Espaces de l'environnement (catégories) de /DIN EN 61373/	57

**INDEX DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Désignation des forces d'articulation .....	12
Tableau 2 : Exemple d'amplitudes de pression lors du croisement de deux trains .....	37
Tableau 3 : Densités de neige pour différents états d'accumulation.....	41
Tableau 4 : Superposition des charges S résultant du fonctionnement en l'absence de panne.....	52
Tableau 5 : Charges S en cas de panne ou en présence d'un effet inhabituel.....	53
Tableau 6 : Superposition des charges A résultant du fonctionnement en l'absence de panne.....	54
Tableau 7 : Équivalence des espaces de montage .....	58
Tableau 8 : Niveau de contrôle oscillations / chocs .....	59

## Généralités

# Objectif et champ d'application

Le présent document contient les exigences indépendantes du projet pour le dimensionnement des rames du TSM.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

Cette partie II des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique Rame comprend

- Détermination des conditions d'utilisation, cas de charge et combinaisons de charges,
- Gestion de la justification de la capacité d'absorption des charges (solidité statique, stabilité et rigidité) et de la résistance à la fatigue,
- Détermination des facteurs de sécurité pour les caractéristiques des matériaux employés,
- et principes de sécurisation de la construction par des essais.

Les principes de détermination des valeurs caractéristiques et représentatives des charges se trouvent dans /MSB AG-GESAMTSYS/. Les valeurs indiquées se basent sur des expériences opérationnelles ou sont des indications selon /MbBO/ relatives au dimensionnement et à la justification des rames de TSM. Les prescriptions du présent document correspondent à l'état actuel des connaissances et doivent être confirmées ou modifiées et vérifiées pour chaque projet individuel. Les valeurs modifiées doivent être indiquées dans la documentation spécifique du projet (spécifications des fournisseurs, rapports techniques). En l'absence d'accord explicite, les valeurs établies par le présent document s'appliquent.

*Les expériences engrangées en service utilisées comme base pour l'élaboration de ce document proviennent des rames de TSM TR07 et TR08 du TVE et du projet Transrapid de Shanghai. Ces expériences opérationnelles ont permis de vérifier qu'avec un dimensionnement conformément aux indications du présent document, les contraintes qui surviennent en service ne dépassent pas la résistance admissible des composants avec une marge suffisante.*

Les présents principes d'exécution ont été élaborés en se basant sur les normes existantes de la technique ferroviaire roulante /DIN EN 12663/ et /DIN EN 13749/. Les procédures de gestion des justificatifs, composées de justificatifs théoriques et d'essais ainsi que les exigences générales relatives à la solidité avec les contenus Matériaux, Facteurs de sécurité, etc. ont été largement reprises spécifiquement pour le TSM et les cas de charge individuels ainsi que les combinaisons de charges ont ainsi été définies différemment de ces normes.



## Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent du présent document, conformément à /MSB AG-FZGEN/

- Les exigences / indications apparaissent en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en italique.

Si des remarques à propos de règles spécifiques au projet sont indiquées dans le présent document dans un cas particulier, cela veut dire qu'il faut convenir d'un accord entre le constructeur et l'opérateur (*par exemple dans un cahier des charges ou une règle contractuelle*) en impliquant le service d'homologation.

## Références

Document	Description
<b>/DIN EN 12663/</b>	Exigences relatives à la fabrication des caisses de wagon des véhicules ferroviaires, octobre 2000

---

<b>/DIN EN 13749/</b>	Procédé de spécification pour les exigences de solidité des châssis de bogie, juillet 2005
-----------------------	--

## Définitions (spécifiques au système partiel)

### Système de coordonnées

- Direction x : sens de déplacement de la rame
- Direction y : transversale au sens de déplacement, axe positif dans le sens du déplacement dirigé vers la droite
- Direction z : verticale par rapport au sens de déplacement, axe positif dirigé vers le bas

L'origine du système de coordonnées est le point d'intersection de la verticale centrale et du plan de glissement de la rame.

## Forces d'articulation

Les forces d'articulation applicables sont celles indiquées dans les directions illustrées dans la Figure 64, lesquelles sont induites par le biais des articulations des aimants de levage et de guidage sur la structure du châssis.

La désignation des forces est expliquée dans le Tableau 3.

$F_{xTM}, F_{zTM}$	Forces d'articulation des aimants de levage
$F_{yFM}$	Forces d'articulation des aimants de guidage

Tableau 3 : Désignation des forces d'articulation

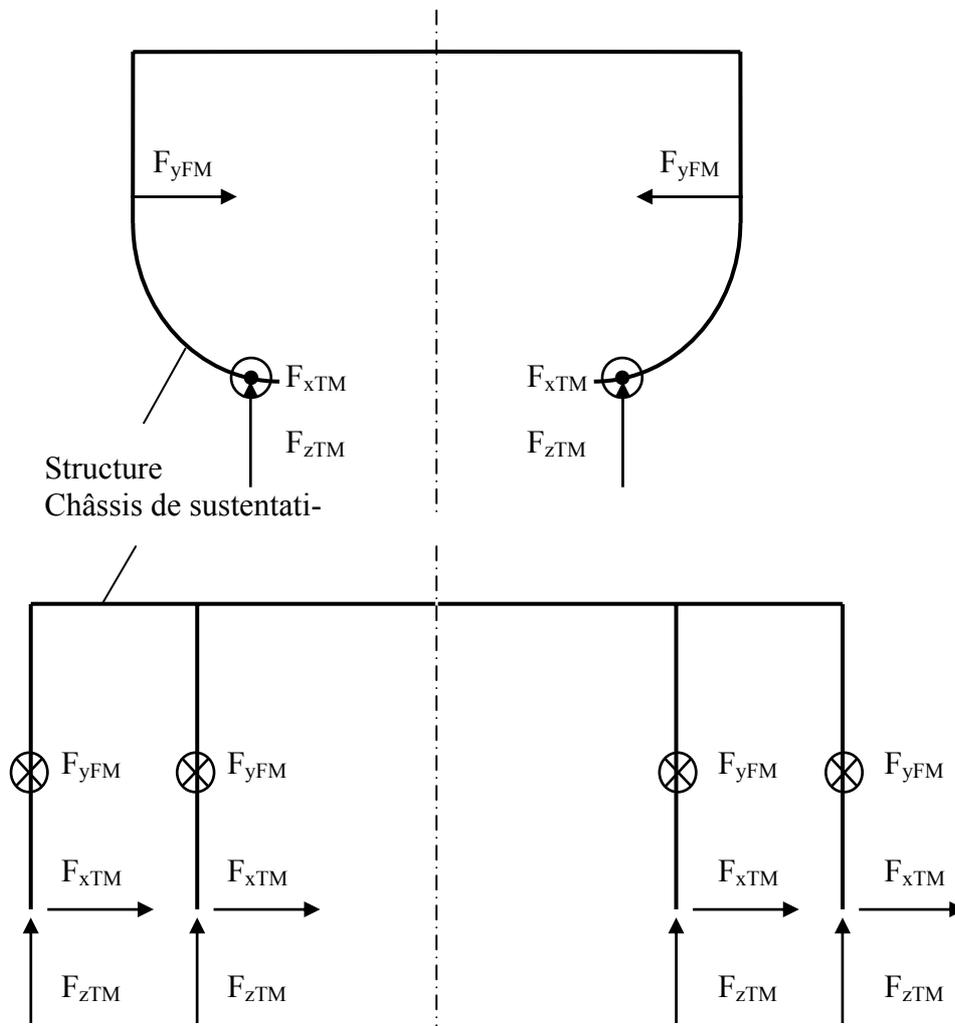


Figure 64 : Forces d'articulation sur la structure du châssis

## Généralités

Charges A	Charges résultant de l'exploitation en l'absence de panne pour la justification de la résistance à la fatigue
Charges S	Charges maximales possibles en service en l'absence de panne ou sous des effets inhabituels pour la justification de la capacité d'absorption des charges

## Poids de la rame lors du transport de personnes

Le poids des rames de TSM et les charges utiles à prendre en compte sont à déterminer spécifiquement au projet.

*Les voitures de la rame destinées au transport de personnes incluent les compartiments à bagages (par exemple pour les bagages et les voyageurs).*

### Poids propre d'une rame

*Définition du poids propre d'une rame, voir /MSB AG-ABK&DEF/ Annexe1 : Poids d'une rame avec tout son équipement (par exemple sièges), sans charge d'exploitation.*

*Les masses totales du personnel opérateur – si présent – et des réserves de service sont incluses.*

### Charge d'exploitation des rames de voyageurs

Masses types des voyageurs

- Longue distance 80 kg par voyageur avec ses bagages
- Trafic régional 70 kg par voyageur
- Desserte d'aéroport 90 kg par voyageur avec ses bagages

Densités types de voyageurs dans la zone des places debout

- Longue distance pas de places debout
- Trafic régional 320 kg/m<sup>2</sup>
- Desserte d'aéroport 1 personne / m<sup>2</sup> (80 % des trajets)  
2 personnes / m<sup>2</sup> (15 % des trajets)  
320 kg/m<sup>2</sup> (5 % des trajets)

Occupation massique type dans la zone du compartiment à bagages :

---

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie II - Dimensionnement

Doc. n° : 67694 Version finale Date de publication 15.02.2007

Page 13

300 kg/m<sup>2</sup>

Les masses à utiliser sont à confirmer spécifiquement au projet ou à définir différemment.

### **Poids de la rame avec charge d'exploitation**

Poids de la rame entièrement équipée avec charge d'exploitation

Poids moyen de la rame : 80% de la charge d'exploitation

Poids autorisé de la rame : 100% de la charge d'exploitation

*La charge d'exploitation des voitures destinées au transport de personnes dépend du nombre de sièges pour voyageurs et, dans la zone des places debout, du nombre de voyageurs par m<sup>2</sup>. Ces valeurs sont déterminées par l'exploitant en tenant compte des dispositions légales correspondantes et donnent la masse de la cargaison ou des voyageurs qui peuvent être transportés dans le TSM.*

### **Poids maximal de la rame**

Poids de la rame entièrement équipée sous un effet inhabituel.

*Le poids maximum d'une voiture de la rame est obtenu dans le cas de situations opérationnelles exceptionnelles (évacuation des voitures voisines).*

Valeur type pour la zone des places debout : voir chapitre 0

## **Poids de la rame lors du transport de marchandises**

La charge d'exploitation des voitures de marchandises est à déterminer spécifiquement au projet et indique le poids de la cargaison que peut transporter le TSM.

## Validation de la construction

Le constructeur de la rame doit mettre en place un programme de validation pour valider la construction.

*L'objectif du programme de validation est de justifier que la construction de la caisse de wagon et de la suspension magnétique satisfassent aux conditions définies dans la spécification technique.*

Le programme de validation doit indiquer que le comportement des modules de la rame fabriqués conformément aux instructions de construction permet un fonctionnement approprié sans que ne surviennent des défaillances ou des ruptures, une déformation permanente ou des criques de fatigue. Il doit en outre prouver que les autres composants ou modules ne subissent pas une influence défavorable.

Le programme de validation doit contenir des informations détaillées sur la manière dont doit se dérouler la validation de la construction et doit indiquer les paramètres nécessaires à l'utilisation des différentes parties du procédé. Ces paramètres doivent être définis en trois étapes :

- le procédé de validation (par exemple combinaison des cas de charge pour les calculs et les essais statiques, programmes pour les essais continus, lignes pour les essais sur ligne) ;
- les valeurs des différents cas de charge ;
- les critères de validation (traitement des valeurs mesurées ou calculées, valeurs limites de sollicitation, critères de réalisation des essais continus).

*Les détails relatifs au programme de validation sont indiqués dans la section 0 ci-après.*

## Exigences de validation

# Généralités

Les rames de TSM doivent résister aux charges maximales en fonction des contraintes opérationnelles et doivent atteindre la durée de vie demandée sous des conditions de fonctionnement normales avec une probabilité de survie raisonnable.

Il faut justifier par des calculs et/ou des essais de l'aptitude de la rame de TSM à résister aux déformations permanentes et à la rupture.

L'évaluation de la résistance de la rame doit s'effectuer selon les critères suivants :

- Application des charges inhabituelles, c'est-à-dire des contraintes maximales auxquelles il faut résister en conservant la pleine aptitude opérationnelle (charges S).
- Maintien d'une sécurité suffisante de manière à ce que les incertitudes soient couvertes dans le justificatif et que les voyageurs ou des tiers ne soient pas mis en danger en cas de dépassement des charges spécifiées.
- Justificatif d'une rigidité suffisante de sorte que les déformations sous les charges spécifiées et les fréquences propres des constructions correspondent aux limites définies par les contraintes opérationnelles.
- Tenue aux charges opérationnelles ou cycliques, de sorte que la résistance de la structure ne soit pas affectée pendant la durée de vie fixée (charges A).

*La justification mathématique des exigences ci-dessus s'effectue conformément au chapitre 0 par la justification de la capacité d'absorption des charges ou, conformément au chapitre 0, par le justificatif de résistance à la fatigue.*

L'exploitant doit fournir toutes les données qui déterminent les conditions d'utilisation attendues (« détermination spécifique au projet »). Il appartient au constructeur, en collaboration avec l'exploitant, de déduire explicitement de ces données tous les cas de charge significatifs et de garantir que la construction leur correspond.

Lors de la poursuite du développement de la construction de rames existantes pour lesquelles la sécurité a déjà été prouvée, les données antérieures peuvent être utilisées pour une justification comparative en présence de conditions opérationnelles identiques. Il faut généralement signaler les modifications apportées aux modules. Si des modifications dimensionnelles sont prévues, il faut recalculer les composants après accord avec le service d'homologation et/ou les contrôler par des essais. Lors de l'utilisation des matériaux de construction, le constructeur de la rame ou ses sous-traitants doivent garantir qu'ils possèdent des caractéristiques appropriées pour satisfaire aux contraintes imposées aux matériaux. Ces caractéristiques (normes, etc.) doivent correspondre à l'état actuel de la technique.

# Paramètres influant sur les rames de TSM

## Suppositions de charges

Toutes les charges supposées qui sont utilisées comme base pour le projet de rame doivent contenir dans leurs valeurs toutes les tolérances nécessaires pour les incertitudes. Ces tolérances sont incluses dans les suppositions de charge définies dans le chapitre 0.

## Matériaux

### Généralités

Pour la conception de la structure de la rame, il faut utiliser les valeurs minimales des propriétés des matériaux conformément aux spécifications des matériaux employés. Si les propriétés des matériaux sont influencées, par exemple, par

- la vitesse de sollicitation,
- le temps (par exemple vieillissement),
- l'environnement (absorption d'humidité, température, etc.),
- le soudage ou d'autres processus de fabrication,

il faut alors employer les caractéristiques minimales appropriées des matériaux.

### Caractéristiques admissibles des matériaux

#### Solidité statique

Les caractéristiques statiques des matériaux servant de base doivent, si elles sont disponibles, correspondre aux limites minimales d'élasticité et d'allongement et à la résistance à la traction indiquées pour le matériau. Les valeurs employées doivent être relevées dans les normes européennes ou nationales correspondantes. Si de telles normes n'existent pas, il faut alors utiliser des sources de données alternatives qui conviennent le mieux pour le projet.

#### Résistance à la fatigue

La résistance des matériaux sous une contrainte difficile doit être relevée dans les normes européennes ou nationales actuelles. Si de telles normes n'existent pas, il faut alors utiliser des sources de données alternatives qui conviennent le mieux. Des sources de données spécifiques au projet et alternatives équivalentes peuvent être utilisées à cet effet. Le constructeur doit déterminer les caractéristiques garanties des matériaux. Ces caractéristiques des matériaux peuvent être déterminées par des essais appropriés en vue de l'application.

Les caractéristiques appropriées des matériaux doivent généralement satisfaire aux contraintes suivantes :

- Utilisation des données de résistance à la fatigue de normes reconnues telles que /Eurocode 3/ pour les aciers et /Eurocode 9/ pour les aluminiums.
- Une probabilité de survie préférentielle de 97,5%, au moins de 95%.
- Pour les matériaux qui ne se trouvent pas dans des normes reconnues et dont les valeurs ont été déterminées à partir d'autres sources appréciables ou d'essais :
  - Au moins  $2 \cdot 10^6$  cycles à amplitude constante pour les aciers, en fonction de la résistance à une oscillation permanente,
  - Au moins  $1 \cdot 10^7$  cycles à amplitude constante pour les aluminiums, en fonction de la résistance à une oscillation permanente.
- Classification des formes de construction (y compris les concentrations de contraintes) en rapport avec les situations de contrainte.
- Il faut vérifier la possibilité de transfert des données de résistance obtenues sur de petits échantillons en forme de barre sur des composants réels.
- Le diagramme de résistance à la fatigue qui est utilisé pour représenter le comportement à la fatigue du matériau doit présenter les influences mentionnées au chapitre 0 et la limite inférieure de la plage de dispersion définie ci-dessus.

Les procédés de fabrication et d'assurance qualité doivent produire des qualités qui correspondent aux caractéristiques de construction.

## **Incertitudes**

Les influences suivantes entraînent des incertitudes dans la construction et doivent être prises en compte :

### a) Tolérances dimensionnelles

On admet généralement que les calculs se basent sur les cotes nominales des composants. Il ne faut tenir compte des cotes minimales que lorsqu'une réduction considérable de l'épaisseur (en raison de l'usure, etc.) est courante pendant le service du composant. Une protection appropriée contre la corrosion fait partie intégrante des spécifications de la rame. Les pertes de matériau qui y sont liées sont généralement négligeables.

### b) Procédé de fabrication

Les caractéristiques que présente le matériau dans un composant réel peuvent varier de celles dérivées des échantillons. Ces écarts sont à lier aux fluctuations dans le procédé de fabrication et à la qualité de l'usinage, lesquelles peuvent être déterminées dans un procédé de contrôle qualité applicable en pratique.

### c) Précision des calculs

Chaque procédé de calcul comprend des valeurs approximatives et des simplifications. Il appartient au constructeur d'appliquer le procédé de calcul avec les réserves nécessaires sur la construction. Il faut tenir compte des incertitudes décrites en a) et b) par un facteur dans le procédé de calcul. Ce « facteur de sécurité » désigné par S doit être utilisé lorsque la contrainte calculée est comparée avec la valeur limite du matériau.



## Justification de la solidité statique et de la stabilité structurelle

Les mentions ci-après représentent les exigences minimales pour les matériaux métalliques et doivent être prises en considération. Pour les matériaux non métalliques, les facteurs de sécurité sont à convenir entre l'exploitant, le constructeur et le service de surveillance.

### Justification de la capacité d'absorption des charges

Il faut justifier par des calculs et des essais (voir chapitre 0) que les cas de charge préconisés selon le chapitre 0 et les combinaisons de charges selon le chapitre 0 n'entraînent pas de déformation permanente ni de rupture de l'ensemble de la construction ou de pièces individuelles. Il faut satisfaire à ces exigences en se conformant au chapitre 0. Si la construction est également limitée par les conditions du chapitre 0 et du chapitre 0, il faut alors aussi se conformer à ceux-ci.

### Justification de contrainte générale

#### Limite d'élasticité ou d'allongement

Si la solidité de la construction est exclusivement prouvée par calcul,  $S_1$  doit alors être égal à 1,15 pour les matériaux métalliques dans chaque cas de charge individuel. Suivant le projet,  $S_1$  peut être supposé égal à 1,0 si :

les cas de charge sont contrôlés par des essais ou

s'il peut être démontré que les incertitudes mentionnées dans le chapitre 0 sont très faibles ou

la superposition des cas de charge est justifiée par calcul (voir chapitre 0) et

il existe une expérience opérationnelle suffisante. Ceci est à motiver avec justificatif.

Dans les cas de charge statiques définis au chapitre 0, le rapport entre la contrainte admissible et la contrainte calculée doit être supérieur ou égal à  $S_1$  :

$$\frac{R}{\sigma_{be}} \geq S_1$$

où :

R désigne la limite d'élasticité du matériau ( $R_{el}$ ) ou la limite d'allongement à 0,2% ( $R_{p0.2}$ ), en N/mm<sup>2</sup>.

$\sigma_{be}$  désigne la contrainte calculée en N/mm<sup>2</sup>

Lors de la détermination des niveaux de contrainte des matériaux ductiles, il n'est pas nécessaire de tenir compte des caractéristiques qui produisent une concentration locale de contraintes. Si le calcul comprend tout de même des concentrations de contraintes locales, la contrainte théorique peut alors dépasser la limite d'élasticité ou d'allongement de 0,2%. Ces plages de déformation plastique locales, combinées avec les concentrations de contraintes, doivent être suffisamment petites pour qu'elles ne provoquent pas de déformation importante lorsque la charge est annulée.

**Résistance à la traction**

Il est nécessaire de prévoir une marge de sécurité entre la contrainte maximale et la résistance à la contrainte. Celle-ci est obtenue par l'adoption d'un facteur de sécurité  $S_2$ , le rapport entre la résistance à la traction et la contrainte calculée devant être supérieur ou égal à  $S_2$ . ( $S_2$  contient le facteur de sécurité  $S_1$ )

$$\frac{R_m}{\sigma_{be}} \geq S_2$$

où :

$R_m$  désigne la résistance à la traction du matériau en  $N/mm^2$ ,

$\sigma_{be}$  désigne la contrainte calculée en  $N/mm^2$ .

$S_2$  est généralement égal à 1,5, mais le facteur peut être réduit si au moins l'une des conditions ci-après est satisfaite :

- Il existe des éléments alternatifs ayant une capacité de charge suffisante ;
- Les parties de la structure sont construites de telle sorte que leur éventuelle défaillance soit contrôlée ;
- Les calculs sont suffisamment précis pour offrir un niveau de confiance élevé dans la capacité de charge des zones critiques de la structure.

Le traitement des concentrations de contraintes décrit dans le chapitre 0 s'applique également dans ce cas. Pour les matériaux cassants, il faut tenir compte de manière approfondie de l'effet des concentrations de contraintes si ces dernières ne peuvent pas être soulagées par des déformations plastiques locales.

Une valeur réduite de  $S_2$  doit être définie spécifiquement au projet.

**Défauts de stabilité**

Une instabilité locale sous la forme de gondolements élastiques est tolérée à la condition qu'il existe des éléments alternatifs ayant une capacité de charge suffisante et que les critères d'élasticité et d'allongement soient respectés.

La construction de la rame doit être sécurisée contre une défaillance globale résultant de l'instabilité. Cette sécurité est obtenue en garantissant que le rapport entre la contrainte de flambage ou de déformation critique et la contrainte calculée est égal ou supérieur à  $S_3$  :

$$\frac{\sigma_{kKB}}{\sigma_{be}} \geq S_3$$

où :

$\sigma_{kKB}$  désigne la contrainte de flambage ou de déformation critique en  $N/mm^2$ ,

$\sigma_{be}$  désigne la contrainte calculée en  $N/mm^2$ .



## Justification de la résistance à la fatigue

Il faut justifier la durée de vie exigée ou la limite d'endurance de la construction dans les cas de charge selon le chapitre 0 et les combinaisons de charges selon le chapitre 0 par le biais de calculs et de contrôles (voir chapitre 0).

Les justificatifs doivent satisfaire aux exigences des chapitres 0 et 0.

### Généralités

Il faut tenir compte du fait que la caisse de wagon de la rame de TSM ainsi que la suspension magnétique sont exposées pendant la durée de leur service à un très grand nombre de charges dynamiques d'amplitude variable.

*L'effet de ces contraintes est le plus visible dans les zones critiques de la construction. Exemples de telles zones :*

*Points d'application des forces (y compris les supports pour les éléments d'équipement),*

*Liaisons entre composants (par exemple cordons de soudure, liaisons vissées),*

*Modifications géométriques donnant lieu à des concentrations de contraintes (par exemple coins des portes et des fenêtres).*

Il faut déterminer les zones critiques. Il faut tenir compte ici de l'expérience du constructeur en relation avec les résultats et les essais. Des examens approfondis des zones locales peuvent s'avérer nécessaires.

La justification de la résistance à la fatigue peut être apportée avec deux procédés de calcul différents :

Justificatif de la limite d'endurance (voir chapitre 0),

Justificatif de la résistance opérationnelle (voir chapitre 0).

Il faut tenir compte du fait que la nature et la qualité des données disponibles influencent le choix du procédé décrit au chapitre 0. Le procédé employé est à déterminer spécifiquement pour le projet.

Si les cas de charge dynamiques examinés dans le calcul de la fatigue incluent déjà les tolérances liées aux incertitudes et en supposant l'utilisation des caractéristiques minimales des matériaux telles qu'elles sont décrites dans le chapitre 0, aucun facteur de sécurité supplémentaire n'est nécessaire dans ce calcul.

*Le procédé de justification expérimentale du comportement à la fatigue ou de contrôle des résultats du calcul sont décrits dans le chapitre 0.*

## Méthode de calcul

### Justification de la limite d'endurance

Cette justification est autorisée lorsque les caractéristiques des matériaux démontrent qu'il existe une limite d'endurance. La limite d'endurance est la contrainte qui ne provoquerait aucun dommage lié à la fatigue, sous réserve que tous les cycles de charge dynamique restent inférieurs à celle-ci.

La résistance à la fatigue nécessaire est justifiée lorsque les contraintes demeurent au-dessous de la limite d'endurance pour toutes les combinaisons appropriées de cas de charge définies dans le chapitre 0.

### Justification de la solidité opérationnelle

Cette justification est à utiliser lorsqu'il est inapproprié de maintenir le niveau de sollicitation pour toutes les combinaisons de charge importantes au-dessus de la limite d'endurance ou lorsqu'aucune limite d'endurance ne peut être déterminée pour le matériau.

Il faut représenter l'amplitude et le nombre de cycles de chaque cas de charge défini dans le chapitre 0 par des courbes représentatives. Il faut dûment tenir compte des combinaisons de charge agissant simultanément. Les dommages provoqués par chacune de ces charges sont ensuite de nouveau évalués en utilisant un diagramme S-N (diagramme de résistance à la fatigue) approprié pour le matériau. Le dommage total est déterminé en accord avec une hypothèse d'accumulation éprouvée des dommages (comme par exemple la règle de Palmgren-Miner).

Les courbes et combinaisons de charge peuvent être simplifiées à la condition qu'elles produisent de manière appropriée les résultats du côté sécurisé.

### Justification expérimentale de la solidité

En plus des justificatifs mathématiques, le procédé de validation de la solidité des modules de la rame prévoit également des justificatifs empiriques :

- essais statiques,
- essais continus,
- essais sur ligne.

Dans un cas normal, il faut effectuer des essais pour fournir une justification complète de la solidité et de la stabilité conformément aux exigences du chapitre 0. Il n'est pas nécessaire de procéder à des essais lorsque les données contrôlées sont disponibles d'essais antérieurs sur des structures similaires et s'il existe une concordance entre l'essai et le calcul. Il faut par contre effectuer des essais en présence de modifications importantes de la construction ou des conditions d'utilisation.

Le programme d'essai est à déterminer spécifiquement pour le projet.

Les objectifs spécifiques des essais statiques et des essais continus sont :

- Contrôle de la solidité de la construction lorsque celle-ci est soumise à la charge maximale,
- Contrôle de l'absence de déformation permanente après avoir supprimé la charge maximale,
- Justificatif de la solidité de la construction sous les cas de charge opérationnels,
- Détermination du comportement dynamique de la construction.

Si nécessaire (voir ci-dessus), les essais doivent inclure ce qui suit :

- Simulation statique des cas de charge sélectionnés,
- Mesure des contraintes à l'aide d'extensomètres à fil ou d'autres procédés appropriés,
- Mesure de la déformation structurelle en charge,
- Mesure du comportement à la fréquence propre.

Les composants ou modules contrôlés doivent être de la même nature et de la même fabrication que ceux qui seront ensuite utilisés en service. L'équipement du banc d'essais doit être raisonnablement et concrètement en mesure d'appliquer la même charge que celle à laquelle seront exposés les composants ou les modules lors de la future utilisation en situation montée.

## Essais statiques

L'objectif général des essais statiques est de déterminer que les composants ou les modules, lorsqu'ils sont soumis à des charges exceptionnelles, ne courent pas le risque de subir des flexions excessives ou une déformation permanente.

Des essais peuvent être effectués pour vérifier les justificatifs mathématiques.

*Des mesures d'extension dans les zones fortement sollicitées des composants ou des modules sont généralement effectuées lors des essais à l'aide d'extensomètres à fil résistifs qui réalisent la mesure dans une direction aux points où la contrainte n'agit que dans un sens et dans au moins deux directions pour tous les autres points.*

Le programme des essais statiques doit contenir les indications suivantes :

- Amplitude et position des forces à utiliser,
- Combinaison des forces à utiliser,
- Procédé d'évaluation et d'interprétation pour les contraintes mesurées,
- Valeurs limites des contraintes,
- Tous les autres critères de validation,
- Plan des points de mesure pour les mesures d'extension.

Les mesures à effectuer lors de l'essai total doivent être enregistrées de manière à permettre une analyse de tous les points de mesure dans chaque cas de charge, ce qui veut dire qu'il faut garantir au moins la détermination de la contrainte minimale et maximale.

La valeur maximale de la contrainte principale  $\sigma_{\max}$  et sa valeur minimale  $\sigma_{\min}$  définissent la valeur moyenne  $\sigma_m$  et l'amplitude  $\sigma_a$ .

Les valeurs moyennes et les amplitudes de la contrainte maximale selon l'équation ci-après sont à comparer avec la résistance (par exemple les limites d'endurance) du matériau et à évaluer.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

où :

$\sigma_m$  désigne la valeur moyenne de la contrainte principale

$\sigma_a$  désigne l'amplitude de la contrainte principale

$\sigma_{\max}$  désigne la valeur maximale de la contrainte principale

$\sigma_{\min}$  désigne la valeur minimale de la contrainte principale

### Essais de résistance opérationnelle et d'endurance

Les essais continus se composent d'un essai principal et si possible d'essais spécifiques supplémentaires.

L'objectif de l'essai principal est de confirmer que la solidité des modules ou des composants est suffisante en présence des charges principales qu'ils subiront. Les charges principales sont des charges qui déclenchent des contraintes dans toute la construction.

D'autres essais peuvent être effectués si nécessaire, notamment au vu des résultats des calculs ou des essais statiques. Ces essais se rapportent aux forces n'ayant qu'une action locale.

Les essais de fatigue doivent être réalisés sur les parties de la rame du flux de force primaire qui sont exposées à des contraintes dynamiques si le calcul contient des incertitudes ou si les résultats des mesures opérationnelles pour ce type de détail ne sont pas disponibles.

Des essais de fatigue sont à réaliser pour les composants de la suspension magnétique (châssis de sustentation et suspension secondaire). Pour la cellule de la caisse de wagon, il faut au moins vérifier le modèle de calcul par des essais statiques.

Les types d'essais suivants peuvent être utilisés :

- Essais de fatigue en laboratoire au cours desquels sont appliquées aux modules de la rame des courbes de charge appropriées pour toute la durée de vie. Il ne doit se produire aucune fissure qui aurait une influence négative sur la sécurité ou la disponibilité de la construction ;
- Calcul de fatigue sur la base de mesures d'allongement en utilisant les données de l'essai ou d'autres essais statiques ;
- Calcul de fatigue sur la base des mesures d'allongement en utilisant les données de conditions d'utilisation représentatives.

Le programme des essais continus doit contenir les indications suivantes :

- Forces à appliquer et leur position (charges de base statiques et composantes dynamiques),
- Combinaison des différentes forces en tenant compte des relations de phase des différentes forces cycliques et de leur fréquence relative,
- Nombre de cycles (changement de charge),
- Procédé d'évaluation,

- Critères de validation,
- Plan des points de mesure pour les mesures d'extension.

Pour des raisons de coût et de temps, l'essai continu n'est généralement appliqué qu'à un seul module ou composant. Les charges d'essai peuvent être progressivement augmentées dès que la preuve est apportée que l'échantillon répond aux exigences initiales. Il est ainsi possible de déterminer la marge de sécurité qui couvre la dispersion des valeurs d'endurance.

Pour les matériaux qui présentent des dispersions similaires des résistances tels que les cordons de soudure sur les constructions en acier, il est possible d'employer le procédé d'essai et le critère de décision en référence à /DIN EN 13749/, Annexe G.

### **Essais sur ligne**

Il faut réaliser des essais sur ligne pour justifier des contraintes opérationnelles imposées à la rame ainsi que des charges supposées et des contraintes lors du roulage.

Ils sont généralement réalisés dans le cadre de la mise en service de la rame et sont à déterminer en fonction du projet.

Le programme des essais sur ligne doit contenir au moins les indications suivantes :

- La rame à utiliser ainsi que le type de support de voie,
- Une description des déplacements à effectuer (cas de charge, vitesses, etc.),
- Les conditions de sollicitation de la rame,
- Le procédé d'évaluation et d'interprétation des contraintes,
- Les limites de contrainte admissibles,
- Tous les autres critères de validation,
- Un plan des points de mesure, par exemple pour les mesures d'accélération, de la force et de l'allongement.

## Cas de charge

Cette section définit les cas de charge à utiliser lors de la conception des structures des rames de TSM (caisses de wagon, suspension magnétique, pièces d'habillage, etc.). Elle contient au moins les cas de charge à prendre en compte pour la justification capacité d'absorption des charges et de la limite d'endurance.

Les indications relatives aux cas de charge représentent des exigences minimales. Si un exploitant considère que des valeurs supérieures sont nécessaires pour obtenir un fonctionnement en toute sécurité, il doit définir l'exigence associée. Une valeur plus faible est acceptable pour certaines conditions de fonctionnement ou caractéristiques de construction si celle-ci est justifiée pour des raisons techniques. En plus des cas de charge fixés et de toutes les autres exigences ou divergences définies par l'exploitant, il est de la responsabilité de l'exploitant de garantir que la construction peut résister à toute autre contrainte statique ou dynamique significative qui se produit lors du fonctionnement de la rame de TSM.

Les cas de charge pour les modules mécaniques sont affectés comme suit en fonction de leur probabilité d'occurrence :

- Fonctionnement en l'absence de panne : occurrence systématique,
- Charges exceptionnelles (fonctionnement avec des pannes ou sous des influences exceptionnelles) : fréquence d'occurrence 10 fois par an et par composant ou 100 fois par an par voiture.

Ces valeurs représentant l'état actuel des connaissances et sont à vérifier en relevant les constatations sur les modules mécaniques dans le cadre de l'entretien. Les justifications doivent éventuellement être adaptées en se basant sur ces relevés.

Conformément à /MSB AG-GESAMTSYS/, les cas de charge résultant des défauts de fonctionnement ou des perturbations dont la probabilité d'occurrence est inférieure à  $10^{-6}$  ne font pas l'objet d'une justification.

## Charges A (cas de charge pour la justification de résistance à la fatigue)

Les indications relatives aux charges A s'appliquent pour la justification de la résistance à la fatigue en tant que justification de l'endurance. Pour les cas où une justification de la résistance opérationnelle est plus appropriée ou nécessaire, il faut déduire un ensemble de contraintes en se basant sur les indications suivantes.

### Forces d'inertie

#### Poids de la rame

Il faut tenir compte des états de chargement possibles (poids propre de la rame, poids de la rame avec charge d'exploitation).

Pour les rames destinées au trafic à longue distance avec restriction d'accès (pas de places debout), c'est le poids moyen de la rame qui est supposé. Les répartitions des charges résultant des fluctuations de la charge d'exploitation (distribution irrégulière de la charge d'exploitation dans les directions x et y) sont couvertes par l'augmentation des forces magnétiques de levage. La valeur

empirique supposée est une augmentation de la charge d'exploitation moyenne de 5 % par articulation d'aimant de levage.



**Accélération / freinage avec procédé en marche alternée de la propulsion**

*Les forces de poussée sont transmises sous la forme de forces quasi-statiques entre le stator long et l'aimant de levage par l'effet alterné du champ magnétique de levage et du courant synchrone dans le stator long.*

Il faut tenir compte des forces d'inertie produites lors de l'accélération/du freinage avec le propulseur à stator long.

Il existe différents procédés spécifiques aux projets pour le changement de section motrice : procédé en marche alternée (WSV), en trois étapes (DSV), du saute-mouton et de décalage dans le temps.

Il faut tenir compte des points suivants :

- Une variation de la force de poussée différente des deux côtés longitudinaux de la rame et qui dépend du lieu et du temps intervient sur la rame de TSM pendant le changement de section motrice. La force d'entraînement du côté moteur actif peut être augmentée pour réduire la force de poussée induite. Il n'y a aucune force de poussée de l'autre côté à ce moment-là.
- Seul le procédé en marche alternée est pris en compte pour l'évacuation des forces d'inertie au moment du changement de section, car les sollicitations par l'induction asymétrique de charge sont les plus importantes dans le cas du procédé en marche alternée et celui-ci couvre tous les autres procédés.
- Suivant le projet et après accord avec l'exploitant, il est également possible d'envisager le procédé en trois étapes (DSV), car les charges dans ce cas sont plus faibles en raison de l'induction symétrique des forces.
- La force  $x$  à utiliser avec le WSV correspond à la moitié de la force de poussée sur une voiture de la rame de TSM et elle est appliquée sur un côté de la rame. L'accélération d'entraînement moyenne  $a_{xmitt}$  est utilisée pour le fonctionnement en l'absence de panne.

Indication (valeur empirique TVE) :

Accélération :  $a_{xmitt} = \pm 0,8 \text{ m/s}^2$

Force de poussée du côté moteur actif : 73 % de la force d'entraînement par voiture

**Roulage sur déclivité avec le procédé en marche alternée de la propulsion**

Il faut veiller à ce que les forces de roulage sur déclivité soient couvertes, voir chapitre 0. Si une justification de la résistance opérationnelle est effectuée à la place d'une justification de l'endurance, il faut déterminer la force de poussée de la rame en fonction des charges aérodynamiques et de la ligne pour  $a_x = 0 \text{ m/s}^2$ .

**Accélération latérale libre**

Les forces d'inertie résultant des accélérations latérales non compensées peuvent être prises en compte en utilisant l'accélération latérale libre opérationnelle maximale.

*Cela veut dire qu'à titre conservatoire, il est supposé de manière simplifiée que les virages  $\geq 1000 \text{ m}$  sont exclusivement parcourus avec l'accélération latérale libre opérationnelle maximale.*

Valeur maximale pour les virages :

$$a_{y\max} = \pm 1,5 \text{ m/s}^2.$$

### **Dynamique de roulage**

Les forces et les moments dynamiques (dynamique de roulage) résultant des tolérances de position de grande amplitude du stator long et du rail de guidage latéral sont à superposer aux forces de réaction dynamiques au niveau des interfaces.

Les forces alternées qui résultent de l'effet magnétique des rainures du stator long sur les aimants de levage et des tolérances de position de faible amplitude ou des décalages entre les paquets du stator et les rails de guidage latéraux agissent sous la forme de bruits à haute fréquence et peuvent être négligées dans la justification. Il faut tenir compte de ces efforts alternés lors de l'évaluation du comportement auto-oscillant et résonant et les prescrire spécifiquement au projet en tant que contrainte oscillatoire mécanique dans les espaces de l'environnement de la rame de TSM.

Si la dynamique de roulage est prise en compte par le biais de forces, il est inutile d'employer un facteur d'oscillation supplémentaire.

### **Caisse de wagon**

Pour le dimensionnement des caisses de wagon, il faut utiliser comme consigne un facteur d'oscillation  $f = 1,0 \pm 0,12$  (valeur vérifiée pour les caisses de wagon avec amortissement pneumatique).

### **Structure du système de levage / de guidage**

Les composantes de charge dynamique résultant de la dynamique de roulage sont malheureusement à additionner pour chaque châssis de sustentation sous la forme de charges à effet quasi-statique sur la charge de base présente constituée de l'entraînement, du freinage, du levage et du guidage. Il est inutile de tenir compte d'une correction supplémentaire par le biais d'un facteur d'oscillation.

Indication en fonction de l'articulation : (valeurs vérifiées pour la structure du système de levage / guidage) :

$$\Delta F_{xTMA} = \pm 1,0 \text{ kN} \quad \text{propulsion/freinage (contient le WSV)}$$

$$\Delta F_{yFMA} = \pm 9,0 \text{ kN} \quad \text{Guidage}$$

$$\Delta F_{zTMA} = \pm 4,0 \text{ kN} \quad \text{Levage}$$

### **Habillages**

Il faut utiliser les valeurs d'accélération suivantes pour l'espace de l'environnement du châssis de sustentation comme indications pour les **habillages extérieurs et intérieurs des châssis** (valeurs maximales empiriques du TVE) :

$$a_x = \pm 2,0 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \pm 15 \text{ m/s}^2$$

$$a_z = \pm 15 \text{ m/s}^2$$

Indication pour l'**habillage du nez fixe sur le châssis** :

## Principes d'exécution

$$a_x = \pm 8,0 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \pm 15,0 \text{ m/s}^2$$

$$a_z = +15,0 \text{ m/s}^2 / -10,0 \text{ m/s}^2$$

Indication pour le cache de transition des caisses de wagon :

$$a_x = \pm 3,5 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \pm 10,0 \text{ m/s}^2$$

$$a_z = \pm 3,2 \text{ m/s}^2$$

Pour d'autres configurations de rame ou propriétés de suspension, il faut évaluer des facteurs d'oscillation ou des charges dynamiques adaptés en conséquence et les vérifier lors de la mise en service.

### **Rame de TSM abaissée**

*Levée/descente à  $v_{Fzg} = 0 \text{ km/h}$  aux gares et zones d'arrêt de service.*

Les charges pour la rame abaissée ne sont généralement à prendre en compte que pour la suspension magnétique (inversion de charge au niveau des articulations des aimants de levage). Les charges opérationnelles peuvent être négligées pour les caisses de wagon.

### **Réactions conséquences du tracé**

Il faut tenir compte du fait que des forces de rappel se produisent dans la suspension magnétique en présence d'un rayon horizontal  $R_H < 2000 \text{ m}$  et d'un gauchissement de la voie  $\alpha'$  supérieure à  $0,1^\circ/\text{m}$ .

Il faut utiliser les paramètres de tracé suivants pour la justification, sous réserve que les paramètres spécifiques du projet ne sont pas différents :

Les réactions opérationnelles peuvent être prises en compte en superposant le rayon de courbure  $R_H = 1000 \text{ m}$ , l'inclinaison de la voie parcourue en opération  $\alpha = 12^\circ$  et le gauchissement de la voie  $\alpha' = 0,1^\circ/\text{m}$ .

### **Précontrainte résultant des charges des aimants de guidage**

En l'absence d'indications spécifiques au projet, il faut tenir compte d'une précontrainte au niveau des articulations des aimants de guidage.

Indication :

$$F_{yFM0} = 4,5 \text{ kN (environ 50\% de la dynamique de roulage)}$$

### **Charges aérodynamiques**

Les charges aérodynamiques sont à considérer différemment pour les zones individuelles de la rame de TSM (nez de la caisse de wagon, zone cylindrique de la caisse de wagon, entrées du nez, côté inférieur de la rame, habillages de châssis).

Il faut tenir compte des points suivants :

- La surface de la zone du nez présente une distribution de pression irrégulière et dépendante du lieu au niveau de la voiture de tête et de la voiture qui suit.
- Les charges de pression sont quasiment constantes dans la zone cylindrique de la rame de TSM.

Par conséquent, la voiture d'extrémité peut être divisée en deux zones. La division des zones peut être relevée sur l'exemple d'illustration ci-après.

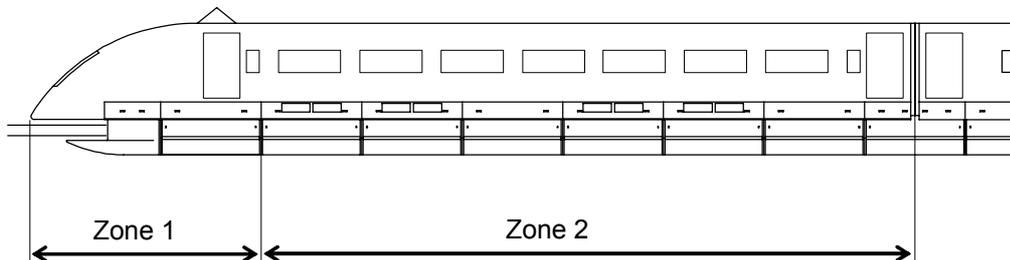


Figure 65 : Division des zones de la voiture d'extrémité en rapport avec les effets aérodynamiques

*La zone 1 comprend la zone du nez jusqu'à la transition avec la zone cylindrique de la caisse de wagon. Le volet de l'habillage extérieur du châssis au niveau de la transition de la zone 1 vers la zone 2 est encore complètement intégré à la zone 1. Les voitures centrales sont calculées avec les charges de la zone 2.*

Si les charges aérodynamiques ne sont pas indiquées spécifiquement au projet, il est alors possible d'utiliser les données des rames déjà réalisées avec des formes de nez comparables.

En l'absence d'un accord différent avec l'exploitant, les justificatifs d'endurance aux charges aérodynamiques peuvent être réalisés pour la vitesse maximale de la rame et pour la vitesse maximale en tunnel.

### Charges aérodynamiques résultant du vent relatif

La distribution locale de la pression en fonction de la vitesse dans la zone du nez (zone 1) et la distribution constante de la pression dans la zone cylindrique de la rame de TSM (zone 2) sont à considérer comme des charges quasi-statiques agissant sur la surface de la rame de TSM.

Les charges résultant du vent relatif sur les habillages intérieurs du châssis et les habillages du dessous de la caisse de wagon peuvent également être appliquées comme des charges quasi-statiques.

*Les charges résultant du vent relatif couvrent également les effets du vent contraire. La valeur de la vitesse du vent  $v_w = 10$  m/s à prendre en compte pour les charges A est inférieure de 10 % à la vitesse maximale de la rame.*

### Charges aérodynamiques résultant du vent latéral

En l'absence d'accord différent, il faut appliquer les indications suivantes (voir aussi /MSB AG-Umwelt/, chapitre 5.1.5) :

La charge statique supposée à appliquer est un vent latéral opérationnel permanent avec  $v_w = 10$  m/s.

*En déduction des expériences actuelles, la durée d'application d'une valeur moyenne de 10 minutes pour un vent  $> 10$  m/s à 10 m de hauteur de la voie est de 74 h par an. Cela veut dire qu'un vent  $\leq 10$  m/s est à attendre pendant 99 % de la durée d'utilisation annuelle.*

La hauteur déterminante à utiliser lors de la détermination des forces de vent latéral est la hauteur totale de la rame sans antenne.

### **Forces sur les caisses de wagon**

Il faut également tenir compte du cache de transition de caisses de wagon (voir illustration dans /MSB AG-FZ GEN/).

La force résultant du vent latéral peut être considérée comme une force superficielle quasi-statique agissant sur la caisse de wagon.

*Cette charge est absorbée par le système de levage/guidage.*

Il faut tenir compte du fait que les charges aérodynamiques qui agissent sur la voiture de tête en présence d'un vent latéral sont considérablement supérieures à celles de la voiture suivante et qu'il faut ainsi tenir compte de celles-ci pour la détermination des charges de jonction.

### **Forces sur l'habillage extérieure du châssis**

Il faut tenir compte du fait que les charges maximales agissent sur l'habillage extérieur du châssis de la zone 1. Par conséquent, les forces résultantes sur l'habillage extérieur du châssis sont à déduire de la distribution de la pression dans la zone 1 et à considérer comme une charge quasi-statique.

Il faut tenir compte du fait que l'habillage intérieur du châssis et le dessous de la caisse de wagon ne subissent pas de contraintes importantes par le vent latéral.

### **Charges aérodynamiques résultant du croisement de deux trains**

Les amplitudes de l'effet de la pression sur la caisse de wagon dans l'espace libre en fonction de la vitesse, de l'entraxe des voies et de l'inclinaison transversale de la voie sont à déduire en fonction du projet.

Il faut appliquer l'amplitude de pression intervenant lors de la vitesse la rame et l'inclinaison transversale projetée de la voie pour chaque croisement de deux trains.

*/MSB AG-GESAMTSYS/ contient une fonction correspondante.*

En l'absence de données différentes, une justification peut être réalisée avec cette fonction. Il faut vérifier ces données dans le cadre de la réception selon /MbBO/.

Pour les contraintes globales et locales de la structure ou des modules individuels, il faut utiliser lors de la justification par rapport aux charges opérationnelles l'amplitude maximale de l'onde de pression alternée pour la vitesse maximale de la rame  $v_{\max}$ .

L'onde de pression alternée peut être idéalisée à titre conservatoire sous la forme d'une fonction échelonnée. Il peut être supposé que les charges agissent sur un côté de la rame sous la forme de grandeurs alternées quasi-statiques, deux ondes de pression alternées étant à prendre en compte pour le croisement de deux trains (effet du nez et de la queue).

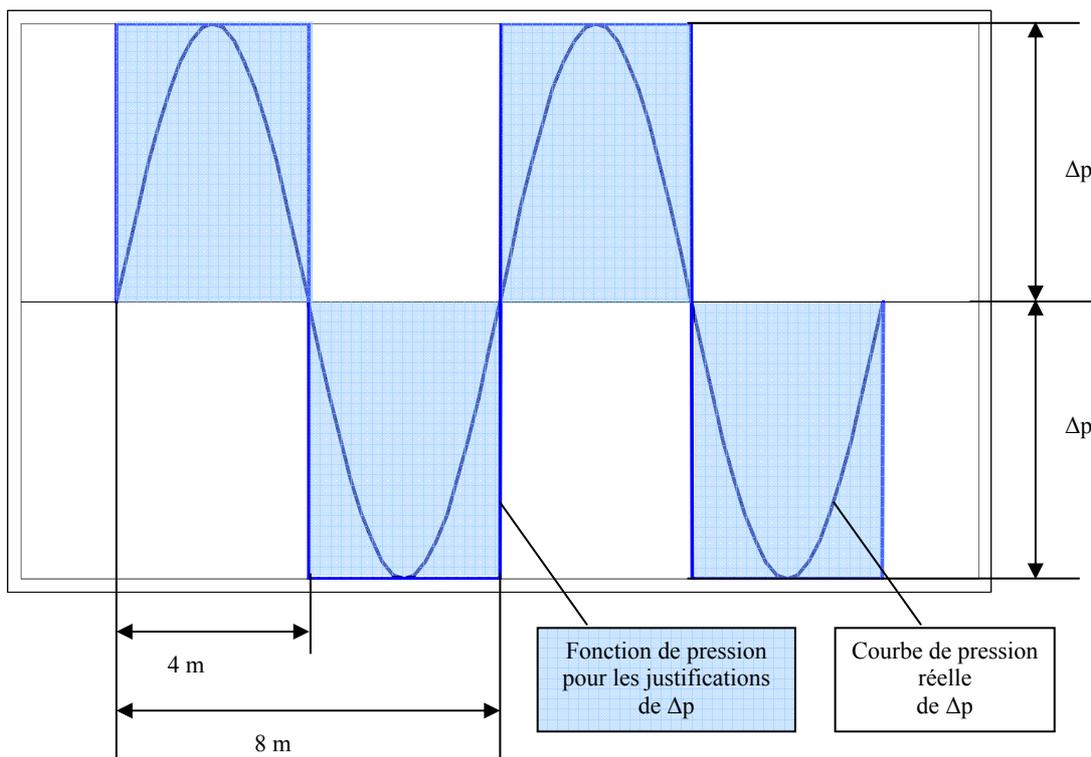


Figure 66 : Effet sur le nez/la queue de l'onde de pression alternée

Il faut tenir compte des points suivants :

- La longueur de la charge de pression/dépression appliquée selon la Figure 66 est à chaque fois de 4 m, les deux amplitudes de pression/dépression sont de 8 m.
- Les ondes de pression alternées circulent le long de la totalité du train.

Il faut tenir compte des positions les plus défavorables dans le sens longitudinal de la rame pour les justifications.

Il faut adopter un facteur d'oscillation de 1,15 pour prendre en compte la dynamique de la structure. Il faut vérifier les hypothèses dans le cadre de la mise en service.

Les charges supplémentaires résultant du croisement de deux trains ne sont pas à prendre en compte lors du dimensionnement du système de guidage.

Pour les charges A, il faut utiliser la vitesse maximale de la rame  $v_{max}$ .

Exemple de déduction de l'amplitude de pression alternée selon /MSB AG-GESAMTSYS/ :

	Partie cylindrique de la caisse de wagon	Nez / queue de la caisse de wagon
Croisement de deux trains ( $v_{max} = 400 \text{ km/h}$ )	$\Delta p = \pm 1900 \cdot 1,15$	$\Delta p = p(x, y, z) \pm 1900 \cdot 1,15$
$\Delta p$ modification de la pression en [Pa] $p(x, y, z)$ pression au niveau du nez résultant de la distribution $c_p$ Écart des parois latérales des rames qui se croisent 1,1 m Inclinaison transversale de la voie $\alpha = 12^\circ$		

Tableau 70 : Exemple d'amplitudes de pression lors du croisement de deux trains

---

En l'absence d'accords différents spécifiques au projet, les habillages du châssis peuvent être considérés comme la partie cylindrique de la caisse de wagon.

**Charges aérodynamiques lors de la traversée d'un tunnel et de passage dans des sas**

Les contraintes de pression résultant de la traversée d'un tunnel avec/sans croisement de deux trains dans des galeries individuelles ou doubles sont à prendre en compte en fonction du projet.

Les croisements de deux trains ne sont à prendre en compte qu'en présence d'un tracé correspondant ou d'un concept d'exploitation en conséquence.

Pour les charges A, il faut utiliser la vitesse maximale prévue de la rame  $v_{\max(\text{Tunnel})}$  dans le tunnel.

Du fait de la différence entre la pression extérieure et la pression intérieure, il se produit des contraintes alternées de la caisse de wagon pressurisée.

L'amplitude et le nombre de variations de pression (changement de charge) correspondantes qui dépendent de la vitesse de la rame, de la longueur du tunnel, de l'indice d'obstruction et du coefficient de pressurisation de la caisse de wagon sont à déterminer spécifiquement au projet ou peuvent être relevés sur des applications comparables.

Il faut tenir compte des points suivants :

La pression différentielle déterminante est celle entre l'espace intérieur « pressurisé » et la zone extérieure de la rame. La pression différentielle utilisée ici est la pression différentielle fixe maximale pour la vitesse maximale de la rame dans le tunnel. Les charges de pression/dépression sont appliquées en tant que grandeurs constantes sur l'ensemble de la caisse de wagon. Du fait de l'équilibre des pressions, les zones non pressurisées de la caisse de wagon ne subissent pas de sollicitations importantes.

Les valeurs de pression intérieure et extérieure à utiliser sont à déterminer et à appliquer spécifiquement au projet par des procédés de simulation et de mesure appropriés.

Les valeurs  $\Delta p$  sont à multiplier par un facteur dynamique de 1,15.

Les valeurs de la pression pour la zone 1 sont à superposer à la répartition de la pression liée au roulage stationnaire à l'extérieur du tunnel (roulage en environnement libre).

S'il existe des courbes de pression spécifiques au projet, celles-ci peuvent être utilisées.

Les bases de la traversée de tunnels peuvent s'appliquer en conséquence pour la prise en compte des déplacements dans les sas.

Les suppositions pour le passage dans un tunnel et les déplacements dans un sas sont à vérifier spécifiquement au projet par des mesures appropriées dans le cadre de la réception.

**Charges aérodynamiques résultant de la poussée verticale**

*La poussée verticale aérodynamique de la caisse de wagon est opposée à la gravité et il n'est pas nécessaire d'en tenir compte lors du dimensionnement de la caisse de wagon. Pour la suspension magnétique, les charges sont détectées par le biais de la dynamique de roulage, voir chapitre 0.*

**Charges résultants des variations de température**

Il faut tenir compte des sollicitations des structures (par exemple caisses de wagon) résultant des variations de température.

Les influences d'un allongement possible des rames (*plus de 8 voitures*) lié à la température sur la force de poussée de la propulsion sont à convenir spécifiquement au projet avec la partie de système Propulsion.

## Charges S en l'absence de panne du système pour la justification de la capacité d'absorption des charges

Les mentions du chapitre 0 s'appliquent en principe. Les différences, qui concernent avant tout la prise en compte des charges opérationnelles maximales, sont décrites ci-après.

### Forces d'inertie

#### Poids de la rame

Il faut tenir compte du poids à 100 % de charge d'exploitation (poids autorisé de la rame, voir chapitre 0).

#### Passage au point bas ou sommet

Il faut tenir compte des forces d'inertie lors du passage des éléments de la ligne point bas/sommet avec les accélérations selon le chapitre 0.

### Accumulation de neige maximale

Pour réaliser la justification, il faut tenir compte des accumulations de neige maximales attendues dans les espaces creux de la suspension magnétique.

Des mesures appropriées doivent permettre d'exclure des réactions non admissibles par une restriction de la cinématique de la rame suite à des dépôts de neige à l'intérieur de la suspension magnétique. Le cas échéant, en présence de conditions hivernales extrêmes, il faut prévoir des mesures opérationnelles et définir les charges de neige à appliquer ainsi que les mesures complémentaires jusqu'à disposer des expériences opérationnelles spécifiques au projet.

Les quantités de neige maximales à supposer pour le cas de charge des accumulations de neige dans la rame dépendent de la zone climatique de l'application et sont à définir spécifiquement en fonction du projet.

Pour la justification de la capacité d'absorption des charges, les accumulations de neige sont déterminées par le volume de remplissage maximum possible de la suspension magnétique. Le constructeur doit faire des suppositions réalistes du volume de remplissage possible et de la densité de neige. Le cas échéant, il faut définir des mesures supplémentaires jusqu'à disposer d'expériences opérationnelles supplémentaires.

Pour le calcul du poids de la neige, il faut utiliser les densités de neige indiquées dans le Tableau 5. En l'absence d'accord différent, le calcul des masses doit être effectué pour de la neige mouillée.

État de la neige	Densité de neige [kg/m <sup>3</sup> ]
Neige fraîche	100
Ancienne neige	300

Neige mouillée	500
----------------	-----

Tableau 5 : Densités de neige pour différents états d'accumulation

**Accélération / freinage avec procédé en marche alternée de la propulsion**

Comme indiqué au chapitre 0, il faut tenir compte du procédé en marche alternée au moment du changement de section motrice pour justifier les charges d'accélération/de freinage.

Pour le fonctionnement en l'absence de panne avec des charges S, il faut utiliser l'accélération de propulsion maximale selon /MSB AG-GESAMTSYS/  $a_{x\max}$ .

Valeur maximale :  $a_{x\max} = \pm 1,5 \text{ m/s}^2$

Indication :

Force de poussée du côté moteur actif : 73 % de la force d'entraînement par voiture

Les dévers dynamiques peuvent être négligés, car ils sont calculés avec la force de poussée maximum.

**Roulage sur déclivité avec le procédé en marche alternée de la propulsion**

Il faut tenir compte du fait que les force d'inertie correspondent aux charges A du chapitre 0 et sont couvertes par les charges du chapitre 0 pour la justification de la capacité d'absorption des charges.

**Accélération latérale libre**

Pour détecter les forces d'inertie opérationnelles maximales résultant des accélérations latérales non compensées, il faut utiliser l'accélération latérale libre maximale spécifiée.

Valeur maximale pour le passage d'un aiguillage :

$a_{y\max} = \pm 2,0 \text{ m/s}^2$

**Dynamique de roulage****Caisse de wagon**

Les mêmes facteurs d'oscillation que ceux utilisés avec les charges A selon le chapitre 0 sont utilisés pour le dimensionnement par rapport aux charges S.

**Suspension magnétique**

Les composantes de charge dynamique résultant de la dynamique de roulage sont à additionner pour la suspension magnétique sous la forme de charges à effet quasi-statique sur la charge de base présente constituée de l'entraînement, du freinage, du levage et du guidage. Une correction supplémentaire par le biais d'un facteur d'oscillation est inutile.

Indication (valeurs vérifiées pour la suspension magnétique TR08) :

$$\Delta F_{xTMA} = \pm 1,2 \text{ kN propulsion/freinage (contient le WSV)}$$

$$\Delta F_{yFMA} = \pm 9 \text{ kN Guidage}$$

$$\Delta F_{zTMA} = \pm 5 \text{ kN Levage}$$

**Habillages**

Les mêmes valeurs que celles utilisées avec les charges A selon le chapitre 0 sont utilisées pour le dimensionnement des **habillages extérieurs et intérieurs du châssis**.

Indication pour **l'habillage du nez fixe sur le châssis** :

$$a_x = \pm 16,0 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \pm 25,0 \text{ m/s}^2$$

$$a_z = +21,0 \text{ m/s}^2 / -10,0 \text{ m/s}^2$$

Les mêmes valeurs que celles utilisées avec les charges A selon le chapitre 0 sont utilisées pour le dimensionnement du cache de transition de la caisse de wagon.

Pour d'autres configurations de rame ou propriétés de suspension, il faut, comme dans le chapitre 0, évaluer des facteurs

d'oscillation ou des charges dynamiques adaptés en conséquence et les vérifier lors de la mise en service.

**Rame de TSM abaissée**

Les mêmes valeurs que celles utilisées avec les charges A selon le chapitre 0 sont utilisées pour le dimensionnement des modules de la rame par rapport aux charges S.

La justification des forces d'inertie est couverte par le chapitre 0.

## Réactions conséquences du tracé

Pour la détermination des réactions opérationnelles maximales, il faut tenir compte des deux cas « rayon horizontal minimum » et « gauchissement maximum de la voie ».

En l'absence d'accords différents entre l'exploitant et le constructeur, il faut utiliser les paramètres de tracé suivant pour la justification :

Cas 1 : rayon horizontal minimum  $R_H = 350$  m,  $\alpha = 0^\circ$  ( $v_{Fzg} = 100$  km/h)

Cas 2 : gauchissement maximum de la voie rayon  $R_H = R_V = \infty$ ,  $\alpha' = 0,15^\circ/m$

## Précontrainte résultant des charges des aimants de guidage

Les mêmes valeurs que celles utilisées avec les charges A selon le chapitre 0 sont à utiliser pour le dimensionnement des modules de la rame par rapport aux charges S.

## Charges aérodynamiques

Les mentions du chapitre 0 sont à appliquer dans le même sens avec les indications suivantes de la vitesse de la rame :

Trajet sans tunnel :

$v_{\text{grenz}}$  = vitesse limite de la rame

Passage dans un tunnel :

$v_{\text{grenz}}(\text{Tunnel})$  = vitesse limite spécifiée de la rame dans un tunnel

## Charges aérodynamiques résultant du vent relatif

Les mentions du chapitre 0 s'appliquent. Contrairement aux charges A, il faut utiliser la vitesse limite de la rame.

## Charges aérodynamiques résultant du vent latéral

Les mentions du chapitre 0 s'appliquent.

Les cas de charge suivants peuvent être appliqués pour la prise en compte des charges opérationnelles maximales, voir aussi /MSB AG-Umwelt/, chapitre 5.1.5 :

Cas 1 : vent latéral maximum à action permanente avec  $v_W = 37,3$  m/s pour  $v_{\text{mitt}}$

Cas 2 : vent latéral maximum à action permanente avec  $v_W = 37,3$  m/s pour  $v_{\text{max}}$

Cas 3 : vent latéral opérationnel à action permanente avec  $v_W = 10,0$  m/s pour  $v_{\text{max}}$

*La bourrasque de 5 secondes à  $v_W = 37,3$  m/s à 20 m d'altitude qui survient tous les 10 ans est considérée comme la charge maximale lors des combinaisons d'effets. En présence de sections de voie plus hautes, il est prévu des ouvrages porteurs primaires qui sont eux aussi réalisés avec un paravent supplémentaire.*

*Dans les cas 2 et 3, la vitesse appliquée de la rame est la vitesse maximale.*

**Charges aérodynamiques résultant du croisement de deux trains**

Les mentions du chapitre 0 s'appliquent.

Contrairement aux charges A, il faut utiliser la vitesse limite de la rame pour définir l'amplitude de variation de pression.

**Charges aérodynamiques résultant de la traversée d'un tunnel**

Les mentions du chapitre 0 s'appliquent.

Il faut réaliser la justification par rapport à la différence de pression statique maximale lors de la traversée d'un tunnel.

Valeur maximale :  $\Delta p = \pm 5500$  Pa.

Pour la conception, il faut réaliser la justification pour une pression  $\pm 6000$  Pa (supplément de sécurité 500 Pa).

La prise en compte du croisement de deux trains peut donner lieu à des charges de pression/dépression plus élevées. Celles-ci sont à déterminer en fonction du projet.

**Charges aérodynamiques résultant de la poussée verticale**

Voir chapitre 0.

**Charges résultants des variations de température**

Voir chapitre 0.

**Charges S en cas d'exploitation avec pannes  
pour la justification de la capacité d'absorption  
des charges**

Du fait de la faible probabilité d'occurrence de cas de charge exceptionnels et des combinaisons de charge selon le chapitre 0, un facteur de sécurité  $S = 1,0$  peut être admis pour les justifications.

**Freinage forcé avec frein de sécurité en cas de panne d'un circuit  
de régulation du freinage**

*En cas de freinage forcé avec le frein de sécurité (frein à courant de Foucault) et propulsion par stator long désactivée, la rame s'abaisse de manière régulée à la vitesse d'abaissement spécifiée. Le cas de charge selon le chapitre 0 traite de l'état avant l'abaissement. Les charges résultant de l'état « rame abaissée » sont acquises par des cas de charge propres spécifiés.*

Il faut tenir compte des influences suivantes pour le cas de charge freinage forcé avec le frein de sécurité (frein à courant de Foucault) avec panne d'un circuit de freinage :

- Les forces de freinage et de traction magnétiques ainsi que les forces mécaniques de pression et de frottement au niveau de la jonction entre l'aimant de freinage et le rail de guidage latéral.
- La panne simultanée supposée d'un circuit de régulation du freinage, du fait de la force de freinage irrégulière de chacune des voitures de la rame TSM, provoque une transmission quasi-statique des forces de freinage entre les voitures.
- Les forces de freinage inégales de chacune des voitures de la rame de TSM se produisent également en cas de givrage local de la voie (indices de friction différents des aimants de freinage appliqués sur les rails de guidage latéraux).
- Les forces de serrage de l'aimant de freinage, asymétriques du fait de la panne d'un circuit de freinage, sont dissipées sur les deux côtés de la voie par les circuits de régulation du guidage voisins.

S'il y a lieu et suivant le projet, il faut tenir compte de la superposition du frein de propulsion et à courant de Foucault et de la superposition du frein à courant de Foucault et à patins (patins abaissés) si leur probabilité d'occurrence est supérieure à  $10^{-6}$  par an.

Il faut tenir compte des influences suivantes sur le freinage de sécurité dans le cas d'autres situations opérationnelles sous des influences exceptionnelles :

- Glissement de la rame sur les patins de levage à une vitesse  $\leq$  vitesse d'abaissement, y compris le choc d'arrêt (voir chapitre 0, 0),
- forces de freinage inégales de chacune des voitures de la rame de TSM résultant d'un givrage local de la voie (indices de friction différents sur les patins de levage en cas de glissement de la rame, voir chapitre 0).

Il faut déterminer en fonction du projet et tenir compte des ralentissements maximums se produisant et des forces au niveau de la jonction rame/voie (forces de friction).

## **Panne d'un réseau de bord**

*Ce cas de charge concerne le fonctionnement avec les circuits de régulation du levage/guidage désactivés individuellement ou en combinaison. La panne d'un réseau de bord provoque la panne des circuits de régulation du levage et du guidage individuels qui sont distribués sur plusieurs châssis de sustentation. Les circuits de régulation du levage/guidage ne sont pas voisins ici.*

*Le cas de charge tient compte de la rame en sustentation sans contact, car les circuits de régulation du levage et du guidage sont redondants et que la fonction de levage/guidage est maintenue. Les charges résultant des jonctions entre l'aimant de levage et le stator long ainsi qu'entre l'aimant de guidage et le rail de guidage latéral sont transmises conformément aux indications des circuits de régulation magnétiques.*

*Les doubles pannes des circuits de régulation du levage ou du guidage voisins provoquent une dégradation mécanique de la charge par le biais des forces de contact (voir levage mécanique, chapitre 0 ou guidage mécanique, chapitre 0).*

*Suite à la panne d'un circuit de régulation du levage, il se produit des forces quasi-statiques et dynamiques magnétiques accrues au niveau de la jonction entre l'aimant de levage et le stator long, au niveau de la jonction entre l'aimant de guidage et le rail de guidage latéral en cas de panne d'un circuit de régulation du guidage.*

Pour les circuits de régulation du levage, il faut tenir compte de la période entre le moment de la panne et la purge partielle des suspensions pneumatiques.

Il faut déterminer et tenir compte des ralentissements maximums qui surviennent en fonction du projet.

## Guidage mécanique local

*En cas de guidage mécanique local, les charges de guidage sont absorbées par le contact mécanique des aimants de guidage avec le rail de guidage latéral de la voie.*

Il faut tenir compte des forces de pression mécaniques qui se produisent au niveau de la jonction entre l'aimant de guidage et le rail de guidage latéral.

Dans le cas d'un guidage mécanique local, il faut distinguer les cas suivants :

- Démarrage sur le rail de guidage latéral suite à une panne de deux circuits voisins de régulation du guidage et fonctionnement avec un châssis de sustentation à guidage mécanique sur une section spécifique au projet à définir avec l'opérateur.
- Accostage sur des couches de glace locales : il faut définir la charge de choc maximale spécifique au projet. S'il existe des données transférables de constructions comparables, celles-ci peuvent être utilisées. Le cas contraire, il faut déterminer les charges et les contraintes par une simulation numérique et/ou une justification expérimentale.

Il faut déterminer avec l'exploitant en fonction du projet et tenir compte des ralentissements maximums se produisant et des forces au niveau de la jonction rame/voie (forces de friction).

L'accostage sur des couches de glace dont l'épaisseur dépasse les valeurs admissibles est à considérer comme une collision avec un obstacle. Les charges qui se produisent ici ne sont pas à utiliser pour le dimensionnement en vue de la capacité d'absorption des charges, mais il faut s'assurer qu'aucune partie ne peut être arrachée et quitter la rame de TSM.

Les charges dynamiques lors du démarrage sur le rail de guidage latéral sont à prendre en compte avec un coefficient d'oscillation de 1,15. Pour le reste, les forces dynamiques sur l'aimant de guidage qui résultent des tolérances de position et des décalages du rail de guidage latéral et qui agissent sous la forme de bruits à haute fréquence peuvent être négligées dans les justifications.

La justification de la fonction de guidage mécanique sur la section spécifiée et de l'ordre de grandeur du facteur d'oscillation peut être apportée par des valeurs empiriques obtenues avec des rames déjà réalisées. S'il est impossible de recourir à l'expérience des rames et des paires de glissement déjà réalisées, il faut alors réaliser des contrôles techniques lors de la mise en service par des essais convenus avec l'exploitant.

## Levage mécanique local

*En cas de levage mécanique local, les charges de levage au niveau des patins de levage sont absorbées par le contact mécanique avec le plan de glissement de la voie.*

Il faut tenir compte des forces mécaniques qui se produisent au niveau de la jonction entre l'aimant de levage et la glissière.

Dans le cas d'un levage mécanique local, il faut distinguer les cas suivants :

- Abaissement d'un patin de levage suite à une double panne de deux circuits de régulation de levage voisins avec/sans purge de l'amortisseur pneumatique. Ensuite fonctionnement avec châssis de sustentation porté mécaniquement sur une portion spécifique au projet et convenue avec l'exploitant en tenant compte

du levage mécanique avec des amortisseurs pneumatiques non purgés, partiellement purgés ou totalement purgés.

Les forces lors d'un abaissement réglé sont à considérer comme des forces statiques.

Le facteur de choc pour l'abaissement réglé de la rame est de 1,0 (valeur empirique).

- Accostage d'un patin de levage sur une couche de glace locale spécifiée :  
Les charges produites dans le sens x et z sont couvertes par le cas de charge « abaissement non réglé » (voir 0) et ne font pas l'objet d'une justification séparée.

Il faut déterminer en fonction du projet et tenir compte des ralentissements maximums se produisant et des forces au niveau de la jonction rame/voie (forces de friction).

Les forces dynamiques sur les patins de levage qui résultent des tolérances de position et des décalages de la glissière lors du glissement sont à prendre en compte avec un facteur d'oscillation de 1,15.

La justification de la fonction de levage mécanique d'un châssis de sustentation sur la section spécifiée et la justification du facteur d'oscillation peuvent être apportées par des valeurs empiriques obtenues avec des rames déjà réalisées. S'il est impossible de recourir à l'expérience des rames et des paires de glissement déjà réalisées, il faut alors réaliser des contrôles techniques lors de la mise en service par des essais convenus avec l'exploitant.

Indication pour la charge de choc maximale admissible :

$$F_z = 100 \text{ kN (correspond à un facteur de choc d'environ 2).}$$

Les épaisseurs de couche de glace admissibles sont à déterminer avec l'exploitant en fonction du projet.

L'accostage sur des couches de glace dont l'épaisseur dépasse les valeurs admissibles est à considérer comme une collision avec un obstacle. S'il existe des données transférables de constructions comparables, celles-ci peuvent être utilisées. Le cas contraire, il faut déterminer les charges et les contraintes par une simulation numérique et/ou une justification expérimentale. Les charges qui se produisent en cas de collision ne sont pas à utiliser pour le dimensionnement en vue de la capacité d'absorption des charges.

## Abaissement unilatéral non réglé des patins de levage

*Le cas de charge traite de l'abaissement unilatéral de la rame de TSM sur les patins de levage (d'un côté de la rame) suite à un court-circuit dommageable d'une section motrice du stator long. La contre-réaction magnétique du courant de court-circuit dans le stator long provoque une déconnexion réversible des circuits de régulation du levage.*

Il faut utiliser l'indication du chapitre 0 pour la charge de choc maximale / patin de levage.

Indication pour le coefficient de frottement :

$$\mu_R = 0,3.$$

Pour la simulation de l'abaissement unilatéral non réglé, il faut utiliser la vitesse maximale de la rame et l'espacement maximum des patins de levage (à la vitesse d'abaissement).

*L'espacement des patins de levage se compose de la valeur nominale statique et d'une variance d'espacement résultant de la dynamique de régulation et des tolérances des composants.*

Pour la répartition des espacements de patins individuels sur la rame, il faut utiliser un facteur de simultanéité de  $\psi = 0,8$ .

**Glissement/mouvement pendulaire**

*Glissement/mouvement pendulaire (mouvement non synchrone d'une rame de TSM avec le champ magnétique progressif du stator long) résultant de forces magnétiques quasi-statiques et dynamiques élevées au niveau de la jonction entre l'aimant de levage et le stator long.*

Le glissement / mouvement pendulaire est à considérer comme un effet.

Indication pour les forces magnétiques :

$$F_{zTM} = \pm 2,5 \text{ kN/m}$$

$$F_{xTM} = \pm 2,0 \text{ kN/m}$$

Fréquence maximale 538 Hz.

*La justification du cas de charge est couverte par la justification relative au procédé en marche alternée selon le chapitre 0.*

**Modification du coefficient de frottement avec la rame de TSM abaissée en glissement**

En cas de modification liée à l'environnement du coefficient de friction (givrage de la voie, voie mouillée, etc.), il faut tenir compte des différences locales du coefficient de frottement conformément aux coefficients de frottement minimum et maximum définis spécifiquement au projet. Il faut tenir compte des contraintes induites par la répartition irrégulière des charges de la jonction.

*Les différents coefficients de frottement au niveau des patins de levage ou au niveau des plaques de glissement du frein magnétique ont pour conséquence des forces de freinage différentes des voitures individuelles de la rame de TSM.*

Indication pour la modification du coefficient de frottement :

$$\Delta\mu_R = 0,3.$$

**Choc d'arrêt en cas de freinage forcé avec le frein de sécurité**

Il faut tenir compte de la pression de maintien en cas de glissement de la rame suite à une transition du frottement de glissement au frottement d'adhérence au niveau de l'interface patin de levage / glissière.

Indication pour le patin de levage glissant :

$$\mu_R = 0,3.$$

Indication pour la transition entre le frottement de glissement et d'adhérence :

$$\mu_{TK-GL \rightarrow Haft} = 0,5.$$

*Le coefficient de frottement couvre les pointes de force de courte durée du choc d'arrêt (100 - 200 ms).*

## **Dépassement de la charge d'exploitation dans des situations opérationnelles exceptionnelles**

L'évacuation d'une voiture en cas d'incendie est un exemple de dépassement de la charge d'exploitation en cas de situations opérationnelles exceptionnelles.

*Les passagers de la voiture à évacuer sont amenés dans la voiture voisine, ce qui entraîne un dépassement de la charge d'exploitation.*

Du fait de la densité de personnes élevée, la masse accrue à justifier peut être considérée répartie régulièrement.

Indication pour les rames de TSM :

toutes les places assises occupées, densité des places debout 500 kg/m<sup>2</sup>.

Les indications de poids sont à convenir avec l'exploitant.

## **Dépassement de la vitesse maximale de ligne**

*Ce cas de charge tient compte d'un dépassement par erreur de la vitesse maximale de la voie suite à une erreur de la régulation / commande de propulsion.*

Pour la justification de ce cas de charge, il faut augmenter les valeurs de l'accélération dans les virages et au point bas.

Indication :

augmentation des accélérations de 20 %.

L'influence des charges aérodynamiques est à analyser séparément (par de superposition des cas de charge).

## **Dépassement de la force de poussée suite à un défaut de la propulsion**

Il faut tenir compte des défauts suivants de la propulsion :

- Panne de la fonction de propulsion d'un côté de la voie (propulsion unilatérale), induction de la charge dans la rame du côté opposé ; ce défaut agit comme la propulsion en marche alternée au moment du changement de section motrice.
- Dépassement de la force de poussée par la propulsion du stator long suite à une commande erronée du courant du stator long avec distribution régulière du côté droit et gauche de la rame.

Indication : force de poussée  $F_x = 250$  kN suivant la rame de TSM (voir /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 9, point 7).

*Le moment de lacet produit en conséquence de l'induction unilatérale de la force provoque une force magnétique accrue au niveau de la jonction entre l'aimant de guidage et le rail de guidage latéral.*

Du fait de la faible probabilité d'occurrence, un facteur de sécurité de  $S = 1,0$  peut être considéré pour ce cas de charge.

## Entrée dans l'enroulement en court-circuit

Freinage de la rame de TSM en entrant dans les zones du système de stator long avec enroulement en court-circuit à la fin de la section.

Ce cas de charge est couvert par les autres cas de charge lors d'un fonctionnement avec panne ou effet exceptionnel lors de la propulsion et du freinage.

## État de la rame de TSM avec inclinaison transversale maximale

Le cas de charge à prendre en compte est celui du levage / dépose / immobilisation de la rame de TSM après un arrêt dans le cas le plus défavorable sur une voie à inclinaison maximale.

*Le cas de charge « arrêt de la rame de TSM avec la vitesse de vent maximale à prendre en compte de 37,3 m/s (valeur maximale séculaire) » n'est pas pris en considération. Les charges résultant de cet effet ne sont pas déterminante pour le dimensionnement de la structure de la rame de TSM, car l'expérience montre que la pression dynamique provoquée par le vent latéral en présence de la valeur séculaire maximale à 20 m de hauteur dans la zone de charge au vent III est nettement inférieure à la pression de conception statique et dynamique de la caisse de wagon. La force résultant de la pression dynamique sur la suspension magnétique et transmise à chaque m de la voie, avec la hauteur de rame envisagée de 4,16 m, est inférieure à la force transmise transversalement à l'axe longitudinal lorsque la rame de TSM est à l'arrêt avec une inclinaison de 16° de la voie.*

Les forces de maintien dans le sens x et y lorsque la voie est inclinée dans le sens longitudinal et transversal sont à considérée comme des forces statiques.

Valeurs maximales :  $\alpha = 16^\circ$

## Levage de la rame de TSM avec les patins de levage gelés

Il faut justifier ce cas de charge si aucun accord spécifique relatif à des mesures supplémentaires n'a été conclu avec l'exploitant (zone d'arrêt chauffée, etc.).

Il faut tenir compte des charges x et z au moment où un patin de levage gelé se détache de la glissière lors de la justification des composants sous l'influence de la force.

Indication par patin de levage :

Force de traction dans le sens z  $F_z = 50,0$  kN,

Force de traction dans le sens x  $F_x = 25,0$  kN.

## Panne de la suspension pneumatique du nez

En fonctionnement en l'absence de panne, la caisse de wagon repose par le biais de tous les supports z de celle-ci.

*Les charges au niveau du support z (pendulaire) résultent de la pression de la suspension pneumatique correspondante. Après la purge d'une suspension pneumatique, des charges réduites sont absorbées par le support pendulaire correspondant en cas de purge partielle, aucune charge en cas de purge complète. Les forces différentielles sont prises en charge proportionnellement par les autres supports pendulaires par transfert de charge.*

Pour le dimensionnement de la caisse de wagon avec structure montée, il faut effectuer la justification avec le cas de charge le plus défavorable qui est une purge complète au niveau de la suspension pneumatique du nez (support pendulaire inopérant au niveau du nez).

## Cas de collision

Les cas de collision représentatifs selon /MSB AG-GESAMTSYS/ ou /MSB AG-FZ GEN/ doivent faire l'objet d'une justification numérique.

Il faut définir les cas de collision dans les spécifications correspondantes des modules, ils n'interviennent pas pour le dimensionnement dans le sens du présent document.

Pour la conception des modules intervenant dans une collision, il faut établir un document justificatif séparé avec les objectifs suivants :

- Respect dans la caisse de wagon des valeurs d'accélération mentionnées dans /MSB AG-GESAMTSYS/,
- Aucun risque pour le guidage ou la stabilité statique de la voie,
- Poursuite du roulage après la collision (pas de « calage » de la rame), fin du transport des passagers et déplacement eu service d'entretien pour l'inspection et la réparation / le remplacement des composants concernés,
- Les déformations de la caisse de wagon doivent être aussi limitées que possible de sorte que les personnes présentes dans l'espace réservé aux voyageurs ne restent pas coincées,
- Évaluation au cas par cas des composants projetés par le biais d'une observation du risque.

## Transport

Le transport pris en compte ici est celui de la rame de TSM sans modules magnétiques, avec charge portées/soulevées statiques et une proportion de charge de choc lors du transport et du montage.

Il faut justifier des effets suivants pour les configurations de la rame à transporter :

- Levage avec des dispositifs de levage spéciaux.
- Il faut prendre en compte un facteur de 1,1 pour la justification du levage. Il faut tenir compte des masses réellement soulevées.

Il doit être possible de transporter la structure de la rame sans modules magnétiques (châssis de sustentation avec aimants de levage / de guidage / de freinage).

## Superposition des cas de charge

# Justification de la capacité d'absorption des charges

Les cas de charge S sont à superposer conformément au Tableau 72 pour les justifications. Seules les combinaisons les plus défavorables sont à justifier :

Charges résultant du roulage (charges S)	Combinaisons de cas de charge S						
	1	2	3	4	5	6	
<b>Forces d'inertie résultant de :</b>							
• Poids de la rame du chapitre 0	X	X	X	X	X	X	
• Accélération / freinage avec procédé en marche alternée avec $a_{x\max} = 1,5 \text{ m/s}^2$	X	X	X	X	X		
• Passage au point bas ou sommet avec $a_{z\max} = +1,2 \text{ m/s}^2 / -0,6 \text{ m/s}^2$	X	X	X	X	X		
• Accélération latérale libre avec $a_{y\max} = 2,0 \text{ m/s}^2$	X	X	X	X	X		
• Dynamique de roulage	X	X		X	X		
• Rame de TSM abaissée						X	
<b>Réactions conséquences du tracé</b>							
• Rayon $R_H = 350 \text{ m}$ , $\alpha = 0^\circ$ ( $v_{Fzg} \leq 100 \text{ km/h}$ )			X				
• Rayon $R_H = R_V = \infty$ , $\alpha' = 0,15^\circ/\text{m}$	X	X			X		
<b>Précontrainte résultant des charges des aimants de guidage</b>	X	X	X	X	X		
<b>Charges aérodynamiques résultant de</b>							
• Vent relatif $v_{\text{grenz}}$	X	X					
• Vent relatif $v_{\text{max}}$					X		
• Vent latéral $v_W = 10,0 \text{ m/s}$ $v_W = 37,3 \text{ m/s}$	X		X				
• Croisement de deux trains, contrainte de pression pour $v_{\text{grenz}}$		X			X		
• Passage en tunnel, contrainte de pression pour $v_{\text{grenz}}$ (Tunnel)				X			
<b>Température</b>	X	X	X	X	X	X	
<b>Accumulation de neige rame de TSM (maximale)</b>	X	X	X	X	X	X	

Tableau 72 : Superposition des charges S résultant du fonctionnement en l'absence de panne

Remarques à propos du Tableau 72 :

Le croisement de deux trains et le vent latéral ne sont pas superposés en raison de l'effet de masquage.

Le cas de charge Roulage sur déclivité n'est pas pris en compte dans le tableau de superposition, car les contraintes résultant des cas de charge propulsion/freinage avec le procédé en marche alternée sont plus élevées. À une vitesse de déplacement  $v < 100 \text{ km/h}$ , la dynamique de roulage et les effets résultant de l'aérodynamique ont une influence négligeable et ne sont pas pris en compte. Si les spé-

cificités du projet le justifient, il faut superposer le passage en tunnel et le croisement de deux trains.

Il faut tenir compte des points suivants :

Les combinaisons de charges résultant du fonctionnement en l'absence de panne selon le Tableau 72 peuvent se produire en combinaison avec des cas de charge spécifiques en cas de panne ou d'un effet inhabituel du Tableau 73.

Du fait de la faible probabilité d'occurrence, la superposition s'effectue ici toujours au maximum avec l'un des cas de charge en présence d'une panne ou d'un effet inhabituel.

Les superpositions sont à déterminer en fonction du projet.

Charges en cas de panne ou en présence d'un effet inhabituel (charges S)	
-	Freinage forcé avec frein de sécurité avec induction asymétrique de la force de freinage en cas de panne d'un circuit de régulation du freinage
	Panne d'un réseau de bord
-	Guidage mécanique local
-	Levage mécanique local
-	Abaissement unilatéral non régulé des patins de levage
-	Glissement/mouvement pendulaire
-	Modification du coefficient de frottement avec la rame de TSM abaissée en glissement
-	Choc d'arrêt en cas de freinage forcé
-	Dépassement de la charge d'exploitation dans des situations opérationnelles exceptionnelles (poids maximum de la rame selon le chapitre 0)
-	Dépassement de la vitesse maximale de ligne
-	Dépassement de la force de poussée suite à une erreur de propulsion
-	Entrée dans l'enroulement en court-circuit
-	Panne de la suspension pneumatique du nez
-	État de la rame de TSM avec inclinaison transversale $\alpha = 16^\circ$
-	Levage de la rame de TSM avec les patins de levage gelés
-	États de transport/montage : rame de TSM équipée, sans modules magnétiques

Tableau 73 : Charges S en cas de panne ou en présence d'un effet inhabituel

**Remarques à propos du Tableau 73 :**

*Le cas de charge « État de la rame de TSM avec inclinaison transversale » avec l'inclinaison transversale maximale de la voie  $\alpha = 16^\circ$  n'intervient que dans le dimensionnement des patins de levage et de leur fixation, pour les forces dans le sens y. Le cas de charge « Levage de la rame de TSM avec les patins de levage gelés » n'intervient que dans le dimensionnement de la fixation des revêtements des patins de levage dans le sens x et z. Par conséquent, les deux combinaisons d'influences sont considérées séparément et sans être combinées avec d'autres effets.*

*La combinaison du cas de charge « Modification du coefficient de frottement avec la rame de TSM abaissée en glissement » avec la vitesse de déplacement  $v_{max}$  ne se produit pas, car en exploitation, la rame de TSM n'est abaissée que si  $v_{Fzg} < \text{vitesse d'abaissement}$ .*

*De même, la combinaison du cas de charge « Modification du coefficient de frottement avec la rame de TSM abaissée en glissement » avec le passage dans un tunnel ne se produit pas, car il est supposé que le coefficient de frottement de la glissière dans le tunnel reste constant dans le cadre de la tolérance habituelle.*

## Détermination de la résistance à la fatigue

### Justification de la limite d'endurance

Les cas de charge A sont à superposer conformément au Tableau 74 pour les justifications. Seules les combinaisons les plus défavorables sont à justifier :

Charges résultant du roulage (charges A)	Combinaisons de cas de charge A					
	1	2	3	4	5	6
<b>Forces d'inertie de :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poids total selon le chapitre 0</li> <li>• Accélération / freinage avec procédé en marche alternée, <math>a_{xmitt}</math></li> <li>• Roulage sur déclivité avec le procédé en marche alternée</li> <li>• Passage au point bas ou sommet avec <math>a_{zmax} = + 1,2 \text{ m/s}^2 / - 0,6 \text{ m/s}^2</math></li> <li>• Accélération latérale libre avec <math>a_{ymax} = 1,5 \text{ m/s}^2</math></li> <li>• Dynamique de roulage/facteur d'oscillation</li> <li>• Rame de TSM abaissée</li> </ul>	X	X	X	X	X	X
<b>Réactions conséquences du tracé</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rayon <math>R_H = 1000 \text{ m}</math>, <math>\alpha = 12^\circ</math>, <math>\alpha' = 0,1^\circ/\text{m}</math></li> </ul>	X	X	X	X		
<b>Charges aérodynamiques résultant de</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vent relatif avec <math>v_{max}</math></li> <li>• Vent latéral <math>v_W = 10,0 \text{ m/s}</math></li> <li>• Croisement de deux trains, contrainte de pression pour <math>v_{max}</math></li> <li>• Passage en tunnel, contrainte de pression pour <math>v_{max}</math> (Tunnel)</li> </ul>	X	X	X	X		
<b>Accumulation de neige rame de TSM (opérationnelle)</b>	X	X	X	X	X	X

Tableau 74 : Superposition des charges A résultant du fonctionnement en l'absence de panne

Remarque à propos du Tableau 74 :

Le croisement de deux trains et le vent latéral ne sont pas superposés en raison de l'effet de masquage. Les superpositions A3 et A4 sont couvertes par A1 et A2. Si les spécificités du projet le justifient, il faut superposer le passage en tunnel et le croisement de deux trains.

### Justification de la solidité opérationnelle

Dans la mesure où il n'existe pas de données pouvant être reprises d'applications antérieures, les ensembles de charges destinés à la justification de la solidité opérationnelle sont à définir avec l'exploitant ou le service d'homologation en fonction des données spécifiques au projet.

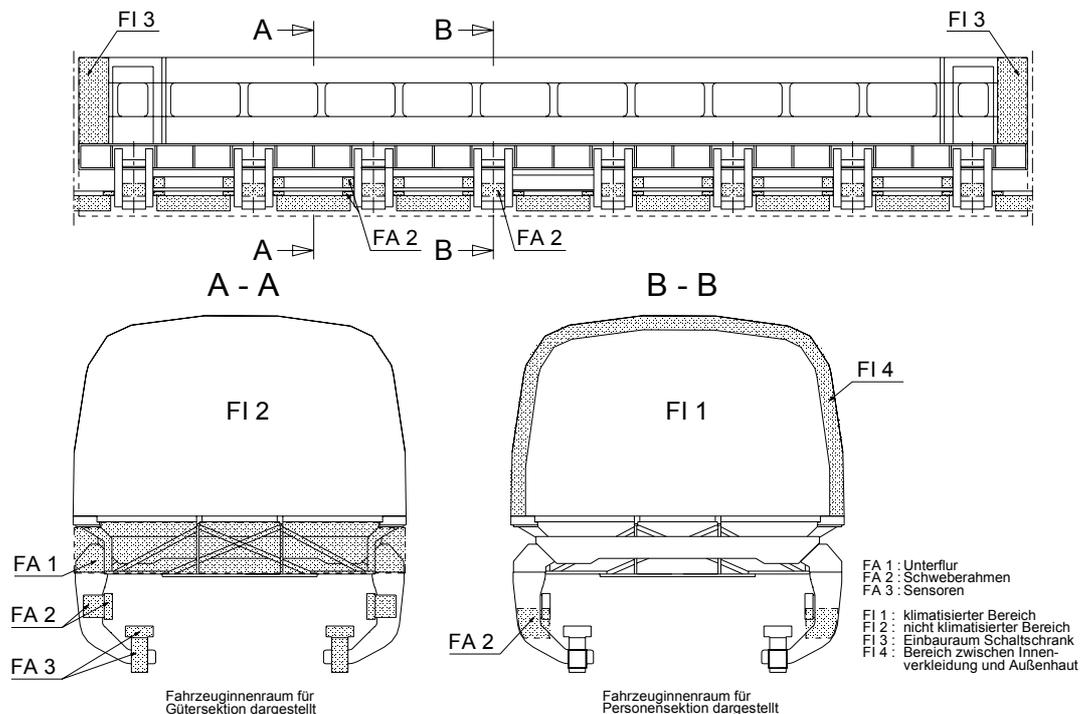
Il faut apporter une justification pour la durée d'utilisation demandée par l'exploitant. La durée d'utilisation de la rame et la durée de vie de chacun des modules ne sont pas identiques dans tous les

cas. Il faut définir en accord avec l'exploitant des mesures d'entretien (intervalles de contrôle, opérations de réparation et de remplacement, indications à propos de la révélation des défauts) pour les modules dont la durée de vie est inférieure à la durée d'utilisation de la rame. Des méthodes de justification supplémentaires telles que les analyses des effets d'une panne (FMEA) peuvent être utilisées au besoin pour l'évaluation des pannes des composants.

## Annexe Sollicitation des composants installés et rapportés

Les critères de contrôle pour la qualification des composants installés et rapportés en rapport avec la capacité de sollicitation par les effets des « oscillations / chocs » sont indiqués ci-après en référence à /DIN EN 61373/ et à /MSB AG-UMWELT/.

## Définition des espaces de l'environnement



Espace intérieur de la rame représenté pour une voiture à marchandises

Espace intérieur de la rame représenté pour une voiture à voyageurs

FA1 : partie inférieure du châssis

FA2 : châssis de sustentation

FA3 : capteurs

FI1 : zone climatisée

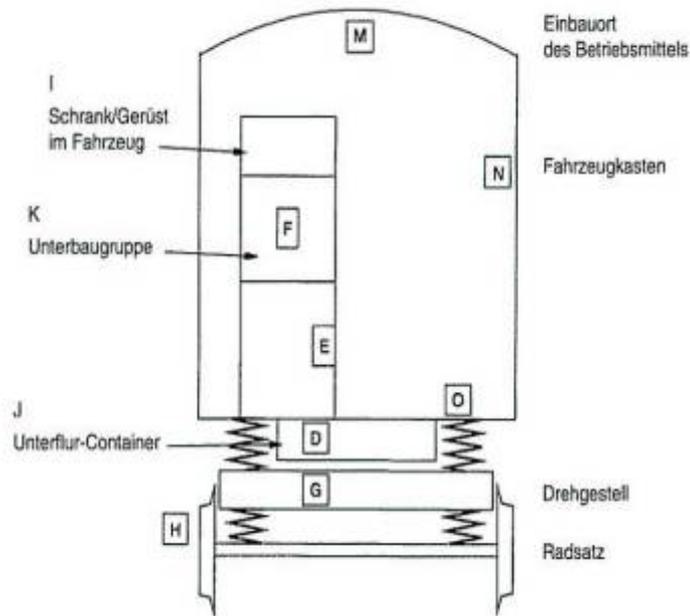
FI2 : zone non climatisée

FI3 : espace de montage armoire électrique

FI4 : zone entre l'habillage intérieur et l'enveloppe extérieure

Figure 67 : Espaces de l'environnement de /MSB AG-UMWELT/





Kategorie	Lage	Beschreibung des Einbauortes des Betriebsmittels
1 Klasse A	M, N, O, I und J	Beschreibt Bauteile/Betriebsmittel, die unmittelbar auf oder im Fahrzeugkasten befestigt sind.
1 Klasse B	D	Beschreibt Bauteile/Betriebsmittel, eingebaut in einem Container, der im Unterstell am Fahrzeugkasten befestigt ist.
1 Klasse B	K und E	Beschreibt Bauteile/Betriebsmittel, eingebaut in einem großen Schrank/Gerüst, der am Fahrzeugkasten befestigt ist.
1 Klasse B	F	Beschreibt Bauteile/Betriebsmittel als Bestandteil einer Unterbaugruppe, eingebaut in einem Schrank/Gerüst, der am Fahrzeugkasten befestigt ist.
2	G	Kästen, Bauteile/Betriebsmittel, die am Drehgestell eines Bahnfahrzeuges befestigt sind.
3	H	Kästen, Bauteile/Betriebsmittel, die am Radsatz eines Bahnfahrzeuges befestigt sind.

I Armoire/ossature dans la rame  
 K Module  
 J Caisson en partie inférieure du châssis

Lieu de montage des ressources  
 Carrosserie de la rame  
 Boggie  
 Essieu

Catégorie	Position	Description du lieu de montage de la ressource
1 Classe A	M, N, O, I et J	Décrit les composants / ressources qui sont fixés directement sur ou dans la carrosserie de la rame
1 Classe B	D	Décrit les composants / ressources qui sont montés dans un caisson fixé dans la partie inférieure du châssis sur la carrosserie de la rame

1 Classe B	K et E	Décrit les composants / ressources qui installés dans une grande armoire / ossature qui est fixée à la carrosserie de la rame
1 Classe B	F	Décrit les composants / ressources qui font partie intégrante d'un module et qui, à ce titre, sont installés dans une grande armoire / ossature qui est fixée à la carrosserie de la rame
2	G	Coffrets, composants/ressources qui sont fixés au boggie d'un véhicule ferroviaire
3	H	Coffrets, composants/ressources qui sont fixés à l'essieu d'un véhicule ferroviaire

Figure 68 : Espaces de l'environnement (catégories) de /DIN EN 61373/

Principe d'exécution du TSM, Système complet, Annexe 3 MSB – espaces de l'environnement /MSB AG-UMWELT/	/DIN EN 61373/
Espace de l'environnement	Catégorie
FA 3	Catégorie 3 :
FA 2	Catégorie 2 :
FA 1	Catégorie 1 Classe B
FI 1 – FI 4	Catégorie 1 Classe A ou Classe B

Tableau 75 : Équivalence des espaces de montage

## Niveau de contrôle

Les effets sur l'espace de l'environnement qui concernent la sollicitation des composants installés et rapportés par les « oscillations / chocs » résultent des mesures réalisées sur les rames TR07, TR08 et le Transrapid Shanghai.

Les effets déterminés sur la base de ces mesures sont indiqués dans le Tableau 76. Les valeurs dans le Tableau 76 sont à utiliser comme des niveaux de contrôle pour la contrôle du fonctionnement des modules. Les niveaux de contrôle et la durée du contrôle pour le contrôle de la durée de vie sont à déduire sur la base de la norme /DIN EN 61373/.

**Principes d'exécution**

Si des composants ou des configurations de la technique de la rame et de la voie ont été modifiés, il faut vérifier les valeurs indiquées dans le tableau suivant.

Catégorie d'espace de l'environnement	Direction	Niveau d'accélération (niveau FRTL selon /DIN EN 61373/) [m/s <sup>2</sup> ]	Valeur efficace du niveau de contrôle pour le contrôle de la durée de vie [m/s <sup>2</sup> ]	Durée du contrôle [h]	Fréquence de contrôle [Hz]
FA 1 Cat 1/ Cl B	Longitudinale (x)	0,20	1,6	5	10 – 150
	Transversale (y)	0,45	3,6	5	
	Verticale (z)	0,75	6,0	5	
FA 2 Cat 2	Longitudinale (x) <sup>1)</sup>	1,0	8	5	10 - 1600
	Transversale (y) <sup>1)</sup>	4,0	32	5	
	Verticale (z) <sub>1)</sub>	5,0	40	5	
FA 3 Cat 3	Longitudinale (x) <sup>1)</sup>	25,0	100	73	10 – 1600
	Transversale (y) <sup>1)</sup>	30,0	100	152	
	Verticale (z) <sub>1)</sub>	30,0	100	152	
FI 1-4 Cat 1/ Cl A Cat 1/ Cl B	Longitudinale (x)	0,20	1,6	5	10 -150
	Transversale (y)	0,45	3,6	5	
	Verticale (z)	0,75	6,0	5	
<b>Accélération de pointe</b>					
		<b>[m/s<sup>2</sup>]</b>			<b>Durée du choc</b>
					<b>[ms]</b>
Toutes	verticale	300			11
	transversale	300			11
	longitudinale	300			11

<sup>1)</sup> Fréquence de contrôle pour la totalité de l'aimant de levage ou de guidage conformément à DIN EN 61373

Tableau 76 : Niveau de contrôle oscillations / chocs

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Rame**

### **Partie III**

### **Gabarit cinématique**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.

Tous droits réservés

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Rame Partie III - Gabarit cinématique

**Destinataires :**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Rame à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Rame

**Table des matières**

<b>Destinataires :</b> .....	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>6</b>
Objectif et champ d'application.....	6
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	7
Abréviations et définitions.....	8
Lois, décrets, normes et directives .....	8
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	8
Références .....	8
<b>Définitions (spécifiques au système partiel)</b> .....	<b>9</b>
Système de coordonnées .....	9
Définitions .....	11
Abréviations .....	12
Définitions et désignations.....	15
Paramètres du tracé .....	18
Gabarit .....	18
<b>Procédure de justification</b> .....	<b>21</b>
<b>Degré de liberté cinématique de la caisse de wagon</b> .....	<b>23</b>
Roulis de la caisse de wagon .....	23
Définitions relatives au roulis de la caisse de wagon .....	23
Cas de charge à analyser Roulis.....	26
Dépôts Z / Tangage de la caisse de wagon .....	27
Définitions en rapport avec les dépôts Z / le tangage de la caisse de wagon .....	27
Cas de charge à analyser Déport Z / Tangage .....	29
Déport Y / Lacet de la caisse de wagon .....	30
Définitions en rapport avec les dépôts Y / le lacet de la caisse de wagon .....	31
Cas de charge à analyser Déport y / lacet .....	33
<b>Cinématique entre le châssis de sustentation et la voie</b> .....	<b>34</b>
Degré de liberté cinématique du châssis de sustentation .....	34
Dépôts du châssis de sustentation.....	35
Entrefer de levage / de guidage .....	35

**Principes d'exécution**

Rame

Entrefer de guidage .....	38
Torsions du châssis de sustentation .....	39
<b>Justification du gabarit cinématique de la rame .....</b>	<b>40</b>
Sections transversales de guidage.....	40
Cas de charge / situations géométriques à prendre en compte.....	41
Cas de charge opérationnels.....	41
Situations opérationnelles particulières .....	44
<b>Annexe (informative) .....</b>	<b>45</b>
Déduction du degré de liberté cinématique de la caisse de wagon .....	45
Angle de roulis de la caisse de wagon .....	45
Dépôts Z et angle de tangage de la caisse de wagon .....	46
Dépôts Y et angle de lacet de la caisse de wagon .....	52
Correction de l'entrefer de guidage dans le cas d'une voie courbe .....	53

**INDEX DES ILLUSTRATIONS**

Figure 1 : Système de coordonnées de la rame .....	10
Figure 2 : <i>Vue latérale et vue transversale d'une rame (schéma de principe)</i> .....	16
Figure 3 : Définitions géométriques correspondantes des dimensions de la rame.....	16
Figure 4 : Grandeurs caractéristiques pour la cinématique des rames de TSM.....	17
Figure 5 : Gabarit des rames de TSM Ligne droite .....	19
Figure 6 : Gabarit des rames de TSM pour un rayon de virage de 350 m à 3500 m.....	20
Figure 7 : Cinématique de la rame - Roulis de la caisse de wagon .....	24
Figure 8 : Cinématique de la rame - Dépôts z / tangage de la caisse de wagon.....	29
Figure 9 : Cinématique de la rame - Dépôts y / lacet de la caisse de wagon .....	32
Figure 10 : Cinématique de la rame - Bilan d'entrefer en levage (direction z) .....	36
Figure 11 : Cinématique de la rame - Bilan d'entrefer en guidage (direction y).....	38
Figure 12 : Positionnement de la rame sur la voie.....	40
Figure 13 : Correction de l'entrefer de guidage lors du franchissement d'un virage.....	54

**INDEX DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Cas de charge opérationnels cinématique de la rame.....	41
Tableau 2 : Influence du rayon de courbure sur l'entrefer de guidage.....	54

## Généralités

# Objectif et champ d'application

Les présents « Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie III – Gabarit cinématique » définissent la procédure de justification pour le gabarit de l'encombrement cinématique des rames de TSM selon /MSB AG-FZ GEN/.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

Les principes d'exécution décrivent de manière générale la justification du gabarit cinématique de la rame. Ils sont à appliquer lors de la justification de la rame.<sup>5</sup>

Le présent document contient les informations suivantes :

- Définition de la cinématique de rame à prendre en compte,
- Définition des effets correspondants,
- Procédé de justification du gabarit.

Il faut tenir compte des points suivants :

- Contrairement à /DIN EN 27505/, la procédure ne consiste ici pas à calculer le gabarit nécessaire, mais à contrôler le respect du gabarit prédéfini en tenant compte de l'espace d'enveloppe selon /MbBO/, figure 1. Pour ce faire, il faut déterminer les états géométriques possibles de la rame et justifier qu'il reste un écart par rapport au profil d'espace libre ou que la ligne d'enveloppe n'est pas franchie.
- Le gabarit à appliquer est celui selon /MbBO/, figure 1 (voir aussi le chapitre 0). Les principes d'exécution décrivent les exigences minimales relatives au procédé de justification. Une divergence des principes d'exécution n'est tolérée que s'il est possible de produire une justification offrant la même sécurité.
- La justification se limite à la rame en déplacement et à la rame arrêtée avec les portes d'accès fermées. Les portes d'accès ouvertes ne peuvent dépasser le profil du gabarit selon /MbBO/, figure 1 (voir aussi le chapitre 0) que pendant le changement de voyageurs et pendant le nettoyage et l'entretien. En référence à /UIC 505-1/, seuls les états opérationnels de la rame sont pris en compte pour la justification du gabarit cinématique et aucun cas le plus défavorable. Le constructeur doit examiner certaines situations de défaut ayant pour conséquence que les rames de TSM dépassent le gabarit, leurs effets doit éventuellement faire l'objet de mesures particulières (réglages opérationnels, indications de défaut, etc.) à définir par l'exploitant.

<sup>5</sup> Des caractéristiques spécifiques à l'exécution du Transrapid sont employées pour l'explication de la procédure de justification en vue de la compréhension générale. Les caractéristiques correspondantes spécifiques au projet s'appliquent.

## Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

La documentation relative à la rame contient les documents suivants :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie I : Exigences générales, document n° : 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie II : Dimensionnement, document n° : 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie III : Gabarit cinématique, document n° : 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie IV : Technique de levage / de guidage, document n° : 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie V : Technique de freinage, document n° : 73389, /MSB AG-FZ BREMS/

## Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

- Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction du présent document.
- Dans les chapitres qui suivent du présent document, conformément à /MSB AG-FZ GEN/
  - Les exigences apparaissent en écriture standard
  - les explications, les valeurs indicatives et les exemples
- sont rédigés en *italique*.
- Si des remarques à propos de règles spécifiques au projet sont indiquées dans le présent document dans un cas particulier, cela veut dire qu'il faut convenir d'un accord entre le constructeur et l'opérateur (*par exemple dans un cahier des charges ou une règle contractuelle*) en impliquant le service d'homologation.

## Références

Document	Description
/DIN 27505/	Schienefahrzeuge - Fahrzeugbegrenzung und Grenzlinie für feste Anlagen (Véhicules ferroviaires – Limitation de la rame et gabarit pour les installations fixes) Version : Projet du 01/01/1999
/UIC 505-1/	Matériel de transport ferroviaire - Gabarit de construction du matériel roulant Version : Novembre 2003 (9ème édition)

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie III - Gabarit cinématique

Doc. n° :   67650   Version   finale           Date de publica-   15.02.2007

Page 8

## Définitions (spécifiques au système partiel)

### Système de coordonnées

Système de coordonnées, voir Figure 69 :

- Direction x : vers la section d'extrémité 1 de la rame
- Direction y : transversale par rapport au sens de déplacement dans le plan de glissement vers la droite
- Direction z : verticale par rapport au sens de déplacement, axe positif dirigé vers le bas

L'origine du système de coordonnées est la pente de la voie et pour la rame le centre de cette dernière dans le sens x, voir /MSB AG-GESAMTSYS/, Figures 3 et 4. Pour les voitures individuelles, l'origine se trouve au centre de l'accouplement de voiture dans le sens x.

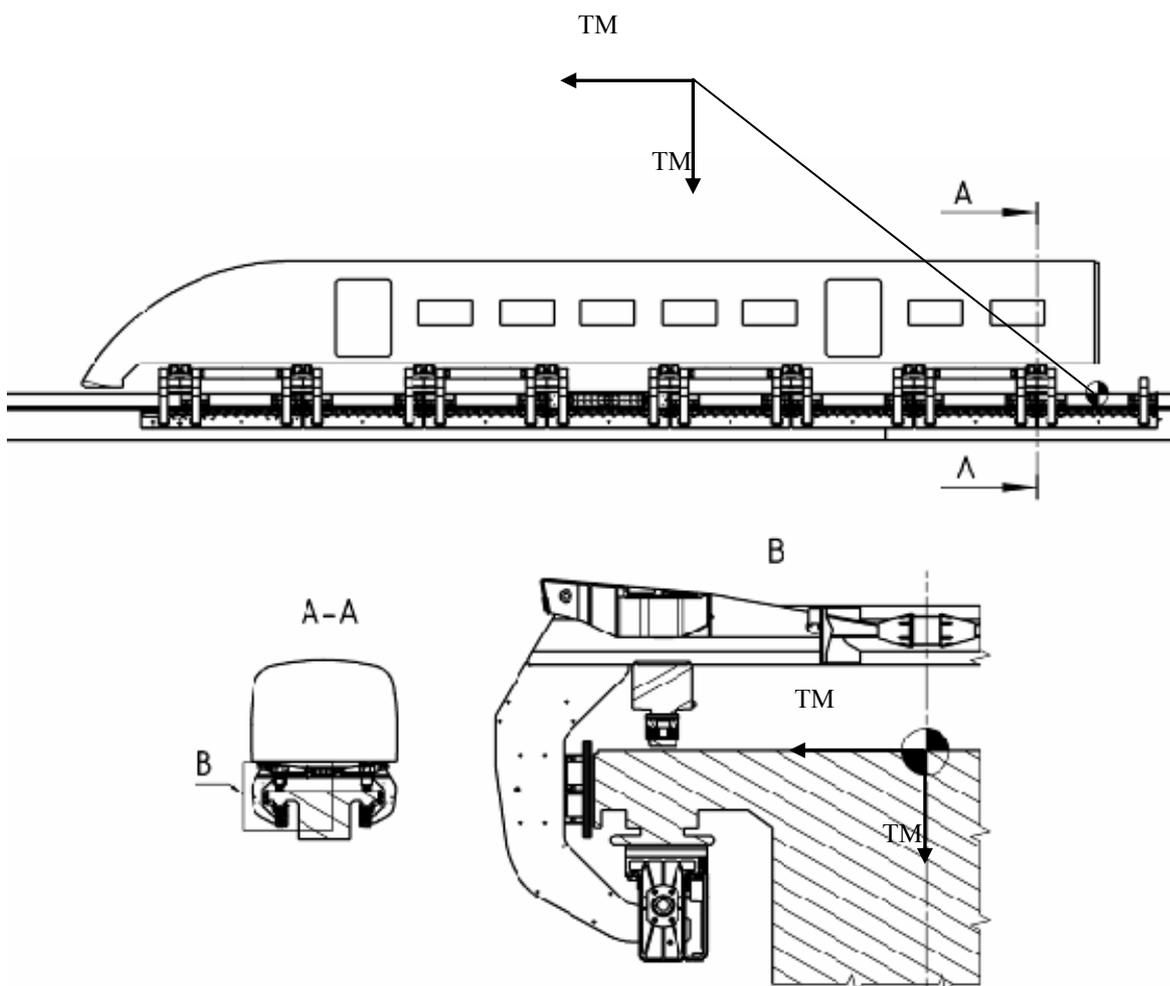


Figure 69 : Système de coordonnées de la rame

## Définitions

- Il faut appliquer les définitions /MSB AG-ABK&DEF/. Les termes expliqués dans ce chapitre sont nécessaires à la compréhension du présent document. Ils complètent les définitions de /MSB AG-ABK&DEF/.

Coordonnées normales	Coordonnées perpendiculaires l'une à l'autre dans un plan vertical par rapport à la ligne médiane longitudinale de la rame en position de consigne. Axe horizontal (axe y) : ligne d'intersection du plan mentionné précédemment avec le plan de glissement (plan de roulement sur les véhicules ferroviaires). Axe vertical (axe z) : perpendiculaire à l'axe horizontal, au centre entre les glissières (les rails dans le cas des véhicules ferroviaires).
Gabarit de la rame	Ligne de délimitation par rapport à une section donnée qui ne doit être dépassée par aucun composant de rame (contour de rame).
Gabarit pour l'espace cinématique nécessaire de la rame (gabarit cinématique)	Correspond à la ligne théorique d'enveloppe d'une rame en fonction des coordonnées normales, en tenant compte des positions les plus défavorables du châssis de sustentation par rapport à la voie et des déports quasi-statiques des caisses de wagon. Les facteurs dus au hasard ne sont pas pris en compte (oscillations, dissymétrie).
Roulis	Mouvement rotatif de la caisse de wagon ou du châssis de sustentation autour de l'axe x.
Tangage	Mouvement rotatif de la caisse de wagon ou du châssis de sustentation autour de l'axe y.
Lacet	Mouvement rotatif de la caisse de wagon ou du châssis de sustentation autour de l'axe z.

## Abréviations

- Il faut appliquer les abréviations selon /MSB AG-ABK&DEF/. Les abréviations expliquées dans ce chapitre sont nécessaires à la compréhension du présent document. Elles complètent les définitions de /MSB AG-ABK&DEF/.

GE	Plan de glissement
GL	Glissière
GLM	Entraxe du plan de glissement
$a_y$	Accélération latérale (axe y) libre (virage)
$a_z$	Accélération dans le sens z (g + passage au point bas / sommet)
C	Pôle de rotation du roulis des caisses de wagon
c	Constante élastique
$C_{piE}$	Rigidité i des ressorts d'abaissement sur l'axe des z, par rapport à l'axe de roulis
$C_{ZF}$	Rigidité des ressorts supplémentaires sur l'axe des y
$C_{\eta WK}$	Raideur en roulis des caisses de wagon par rapport à un mouvement pendulaire
d	Intervalle entre les capteurs d'entrefer des aimants de guidage
$F_{Kz1}$	Force d'accouplement sur l'axe des z, accouplement de la voiture d'extrémité 1 et de la voiture intermédiaire
$F_{Kz2}$	Force d'accouplement sur l'axe des z, accouplement de la voiture d'extrémité 2 et de la voiture intermédiaire
$F_{mWKy}$	Inertie des caisses de wagon sur l'axe des y (dévers insuffisant)
$F_{mWKz}$	Inertie des caisses de wagon sur l'axe des z
$F_{piy}$	Force pendulaire i du cadre de sustentation sur l'axe des y
$F_{piz}$	Force pendulaire i du cadre de sustentation sur l'axe des z
$F_{p1z}$	Force pendulaire sur l'axe des z du cadre de sustentation avant de la voiture d'extrémité
$\Delta F_{pz}$	Variation de la force pendulaire sur l'axe des z par rapport à la charge nominale
$F_{pzLFi}$	Force pendulaire i du circuit d'amortissement pneumatique sur l'axe des z
$F_{ZFiy}$	Force i exercée dans le sens y sur les ressorts supplémentaires sur l'axe des y du cadre de sustentation
$F_{ySW}$	Force du vent latéral sur la voiture d'extrémité E, voiture intermédiaire M
$F_{zWK}$	Forces exercées sur l'axe des z sur les caisses de wagon de la voiture d'extrémité E, voiture intermédiaire M
$F_{yWK}$	Forces exercées sur l'axe des y sur les caisses de wagon de la voiture d'extrémité E, voiture intermédiaire M
$\Delta f_y$	Compression statique sur l'axe des y de la structure du châssis en fonction des forces avec une excitation de l'aimant de guidage et un écart par rapport à la charge nomi-

**Principes d'exécution**

Rame

	nale
$\Delta f_z$	Extension et compression statiques en fonction des forces en cas d'écart par rapport à la charge nominale
$\Delta f_{zG}$	Extension et compression statiques de la structure du châssis en fonction des forces en cas d'écart par rapport à la charge nominale
$\Delta f_{zTM}$	Extension et compression statiques de l'articulation de l'aimant de levage en fonction des forces en cas d'écart par rapport à la charge nominale
$\Delta f_{zTK}$	Compression statique du patin de levage lorsque la rame est en position abaissée
F	Entrefer nominal de guidage
$F_R$	Entrefer nominal de guidage en virage
$f_z$	Déport sur l'axe des z
$L_{FM}$	Longueur de l'aimant de guidage
$l_p$	Longueur du mouvement pendulaire
$m_{WK}$	Masse des caisses de wagon
$M_T$	Moment de roulis des caisses de wagon
$\Delta P$	Usure de la barrette de pôles de l'aimant de guidage
P	Usure maximale de la barrette de pôles
R	Angle de courbure de la voie ( $R_{xz}$ ou $R_{xy}$ )
$R_{xz}$	Rayon sommet / point bas
$R_{xy}$	Courbe de rayon
S	Surplomb en virage
$s_0$	Entrefer nominal aimant de levage / aimant de guidage
$\Delta s$	Écart dynamique entre l'entrefer de levage et celui de guidage
$\Delta s_1$	Entrefer au centre des aimants de guidage en virage
$\Delta s_2$	Entrefer aux extrémités des aimants de guidage en virage
T	Entrefer des patins de levage
$\Delta V$	Usure du revêtement des patins de levage
$W_z$	Intervalle nominal de la voie entre le bord supérieur du plan de glissement et le bord inférieur du paquet de tôles statoriques
$\Delta W_z$	Tolérances de construction sur l'axe des z - intervalle sur la voie
$W_y$	Largeur du rail de la voie (écartement entre les rails de guidage latéraux)
$\Delta W_y$	Tolérances de construction sur l'axe des y - largeur de rail de la voie
$x_{iE}$	Écart i entre les ressorts d'abaissement sur l'axe des z et l'accouplement de voiture
$x_{NiE}$	Écart i entre les ressorts d'abaissement sur l'axe des z et le point de rotation du tangage des caisses de wagon
$x_{si}$	Point d'application des forces en raison de l'écart entre le circuit d'amortissement pneumatique i et l'accouplement de voiture
$x_{sE}$	Écart sur l'axe des x entre le centre de gravité de la voiture d'extrémité et l'accouplement de voiture

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie III - Gabarit cinématique

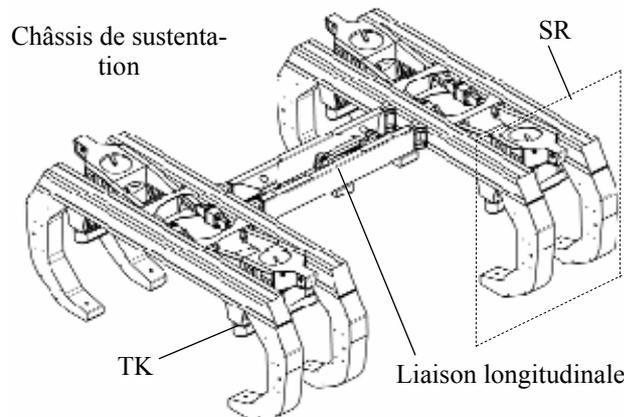
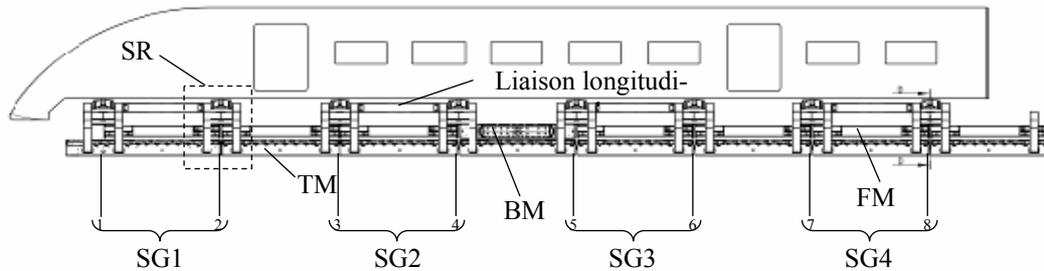
**Principes d'exécution**

Rame

$x_{SWE}$	Écart entre la force du vent latéral sur la voiture d'extrémité et l'accouplement de voiture
$x_{ZFi}$	Écart entre les ressorts supplémentaires $i$ sur l'axe des $y$ et l'accouplement de voiture
$x_{2E}$	Écart entre le cadre de sustentation de la voiture d'extrémité 2 et l'accouplement de voiture
$y_K$	Déport de l'accouplement de voiture sur l'axe des $y$
$y_{sWK}$	Coordonnées sur l'axe des $y$ du centre de gravité des caisses de wagon
$y_{piE}$	Déport $i$ de la voiture d'extrémité en raison du roulis sur l'axe des $y$
$\Delta y_i$	Déport $i$ du cadre de sustentation sur l'axe des $y$
$Y$	Largeur du rail de la rame
$Y_A$	Largeur du rail de la rame dans des situations de panne ou en cas de guidage mécanique
$Y_0$	Largeur nominale du rail de la rame lorsque les aimants de guidage ne sont pas excités (rame abaissée)
$\Delta y$	Tolérances de construction sur l'axe des $y$ - largeur du rail de la rame
$y_p$	Coordonnées sur l'axe des $y$ du point d'application de la force pendulaire des caisses de wagon
$z_K$	Déport de l'accouplement de voiture sur l'axe des $z$
$z_{sE}$	Écart sur l'axe des $z$ entre le centre de gravité de la voiture d'extrémité et l'accouplement de voiture
$z_{piE}$	Déport $i$ de la voiture d'extrémité en raison du roulis sur l'axe des $z$
$z_{sWK}$	Coordonnées sur l'axe des $z$ du centre de gravité des caisses de wagon
$z_C$	Coordonnée sur l'axe des $y$ du point de rotation du roulis des caisses de wagon
$\Delta z_i$	Déport sur l'axe des $z$ du cadre de sustentation $i$
$Z$	Intervalle entre le bord inférieur du patin de levage et le bord supérieur de l'aimant de levage
$Z_0$	Intervalle nominal de la rame entre le bord inférieur du patin de levage et le bord supérieur de l'aimant de levage par rapport à la charge nominale appliquée à l'aimant de guidage (rame en sustentation)
$\Delta z$	Tolérances de construction sur l'axe des $z$ - intervalle sur la rame
$\alpha$	Angle d'inclinaison transversal de la voie
$\gamma$ ou $\gamma_{xz}$	Angle de tangage (rotation autour de l'axe des $y$ )
$\gamma_{0xz}$	Angle de tangage statique dû à des charges asymétriques
$\delta$ ou $\delta_{xy}$	Angle de lacet (rotation autour de l'axe des $z$ )
$\delta_{0xy}$	Angle de lacet statique dû à des charges asymétriques
$\eta$ ou $\eta_{yz}$	Angle de roulis (rotation autour de l'axe des $x$ )
$\eta_{0yz}$	Angle de roulis statique dû à des charges asymétriques
$\eta_{yzFy}$	Angle de roulis des caisses de wagon dû à la force centrifuge et au vent latéral
$\eta_{yz\alpha}$	Angle de roulis des caisses de wagon en raison du dévers de la voie

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie III - Gabarit cinématique

## Définitions et désignations



- SG = Châssis de sustentation
- SR = Cadre de sustentation  
(2 étriers de châssis + pièces de liaison)
- TM = Aimant de levage
- FM = Aimant de guidage
- BM = Aimant de freinage
- TK = Patin de levage
- WK = Caisse de wagon

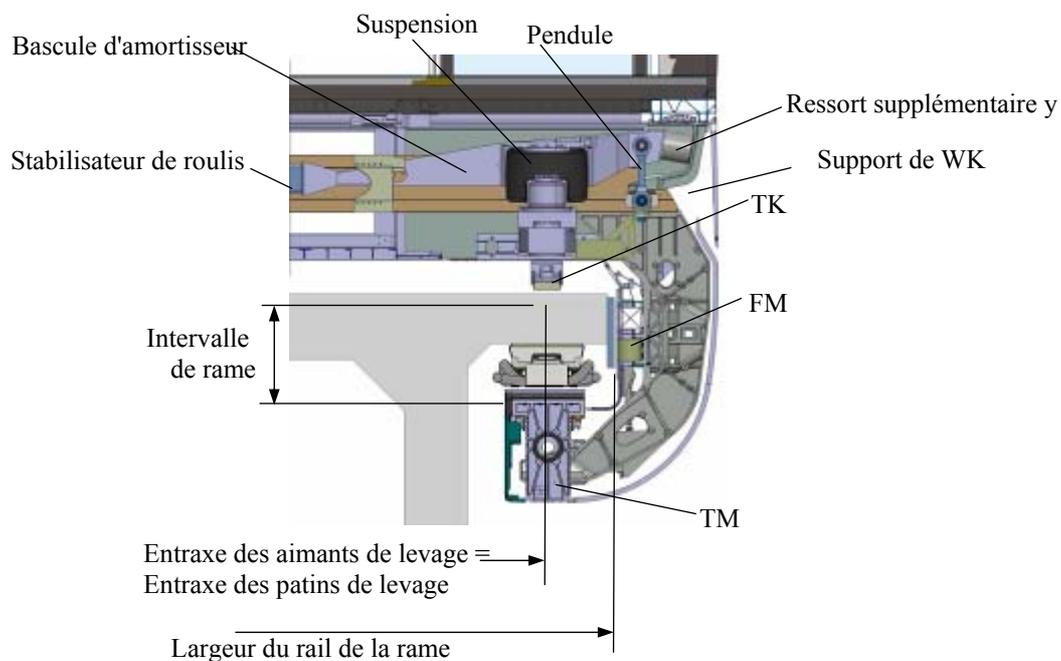


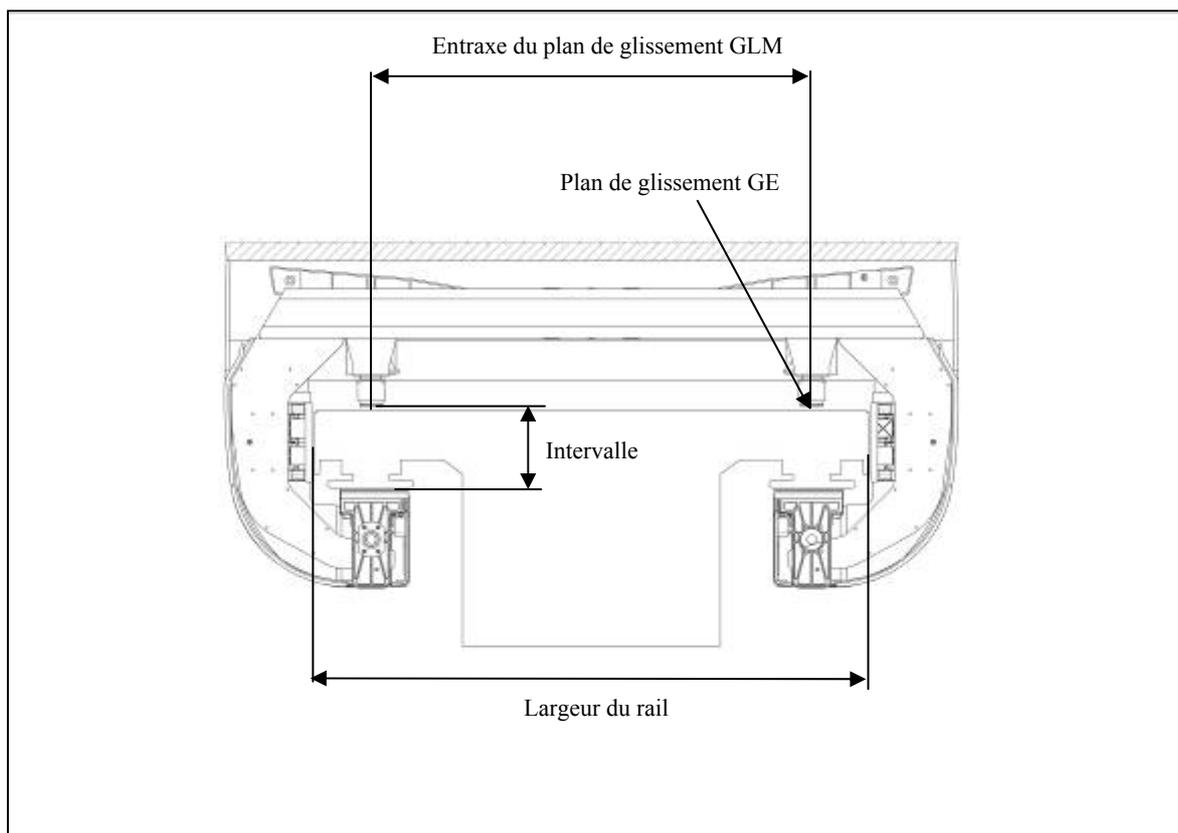
Figure 70 : *Vue latérale et vue transversale d'une rame (schéma de principe)*

Figure 71 : Définitions géométriques correspondantes des dimensions de la rame

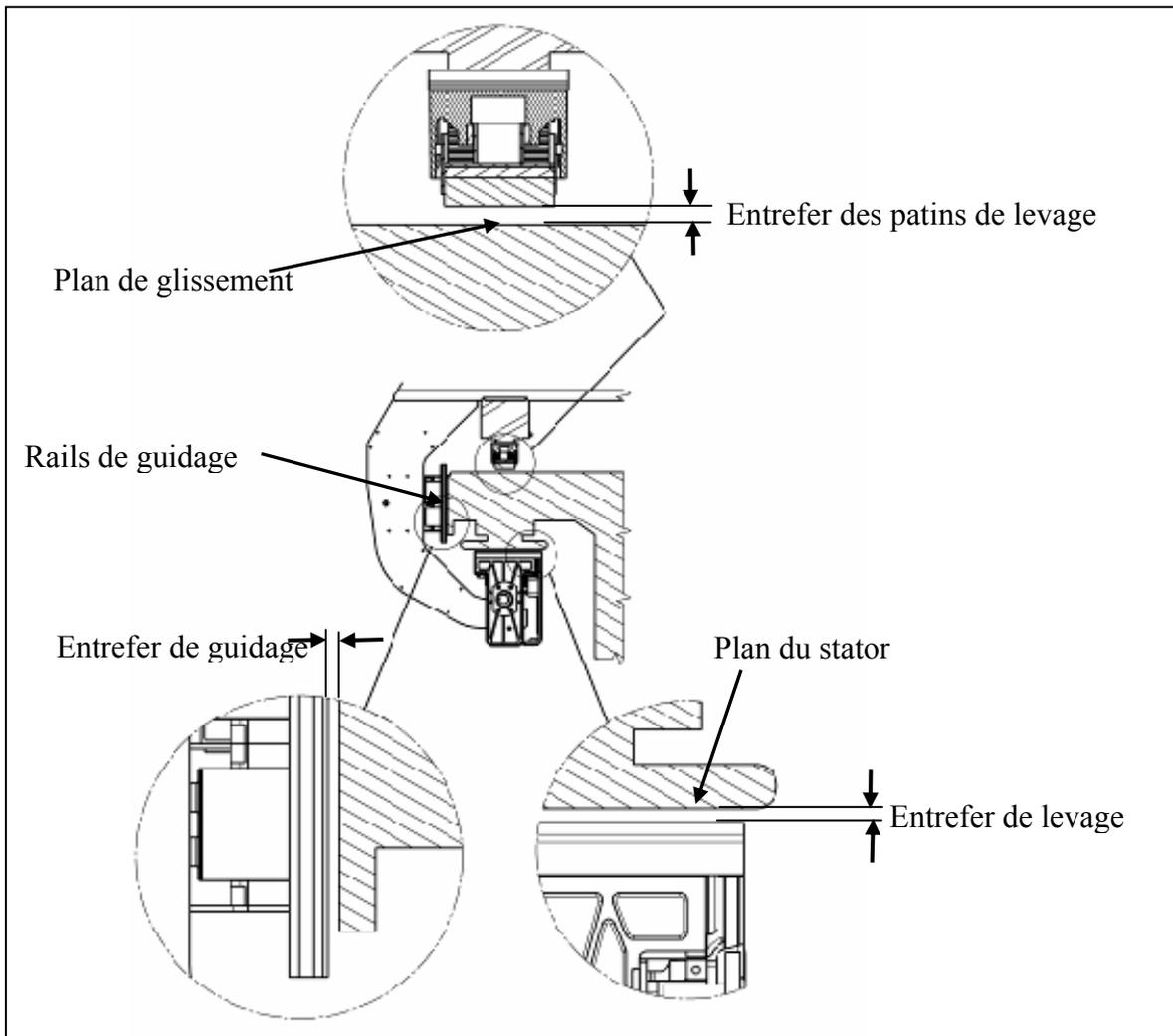


Figure 72 : Grandeurs caractéristiques pour la cinématique des rames de TSM

20.09.2007 15:50:00

## Paramètres du tracé

Il faut tenir compte des paramètres suivants du tracé :

- Point bas : rayon vertical  $R_{xz}$  530 m
- Sommet : rayon vertical  $R_{xz}$  530 m
- Virage : rayon horizontal  $R_{xy}$  1000 m

Des valeurs différentes peuvent être convenues spécifiquement pour le projet. Les paramètres de tracé inférieurs spécifiés doivent faire l'objet d'une justification par le constructeur en vue de l'absence de contact entre la voie et la rame.

*Ces examens ne font pas partie des justificatifs du gabarit cinématique.*

## Gabarit

- Le gabarit indiqué dans la Figure 73 correspond au gabarit Ligne C /MbBO/ pour les lignes droites. La
- Gabarit *pour ligne droite*

*Côté extérieur du virage*

*Côté intérieur du virage*

- Figure 74 représente le gabarit pour les rayons de virage  $< 3500$  m. Les cotes de délimitation de la voie non indiquées dans /MbBO/ sont complétées sans indication de tolérances.

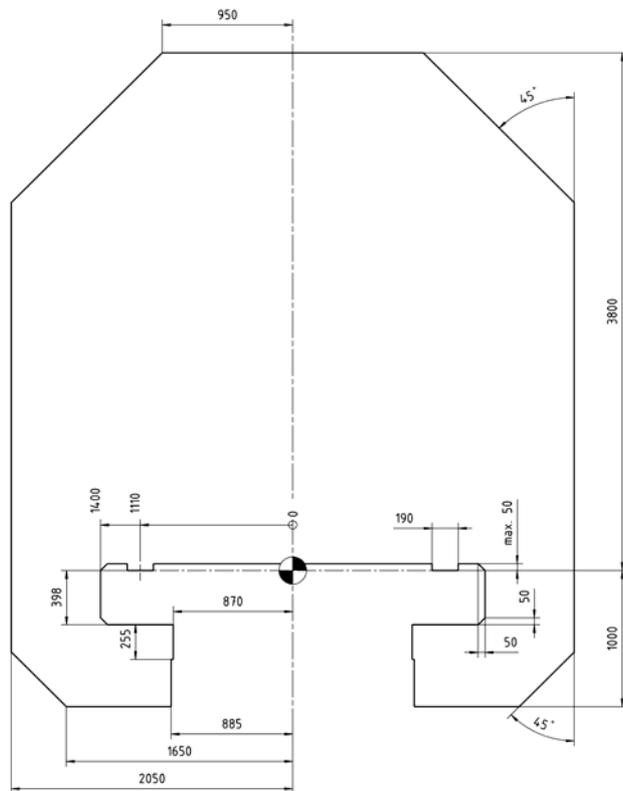
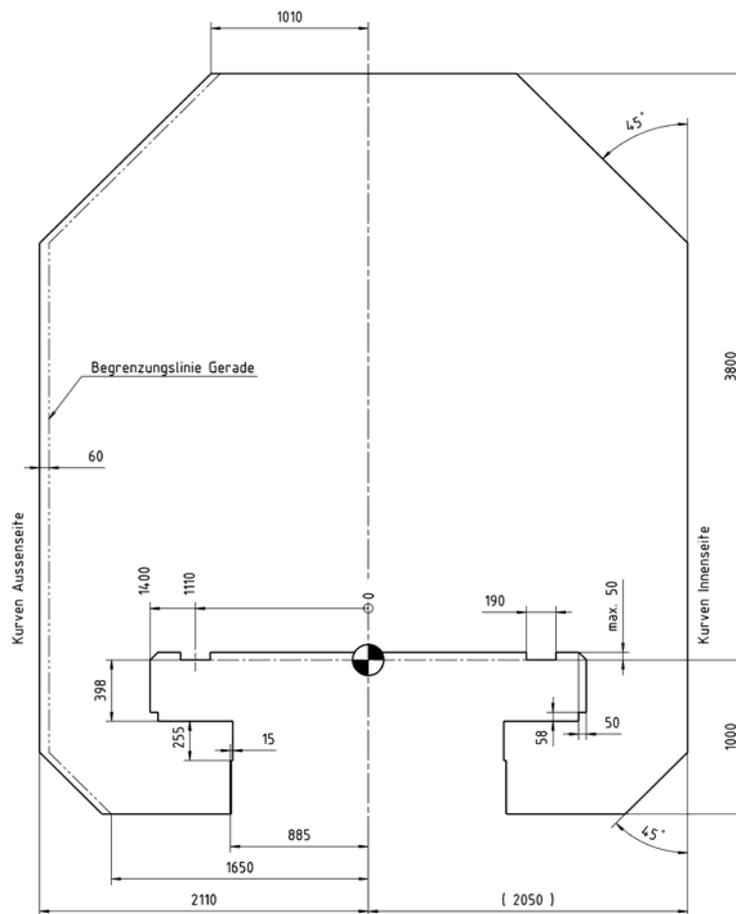


Figure 73 : Gabarit des rames de TSM Ligne droite

20.09.2007 15:50:00



Gabarit pour ligne droite  
 Côté extérieur du virage  
 Côté intérieur du virage

Figure 74 : Gabarit des rames de TSM pour un rayon de virage de 350 m à 3500 m

**Procédure de justification**

- Il faut appliquer la procédure ci-après pour la justification du gabarit de l'encombrement cinématique de la rame de TSM, appelé ci-après gabarit cinématique. Les écarts sont à convenir en fonction du projet.
- Les déports et les torsions de la caisse de wagon ainsi que les déports du châssis de sustentation sont à indiquer en référence à la voie.
- *Les déports totaux de la caisse de wagon sont obtenus en superposant les déports de la caisse de wagon avec les déports du châssis de sustentation.*
- Le déport total de la caisse de wagon est à déterminer en superposant le déport de la caisse de wagon avec les déports du châssis de sustentation.
- Les déports résultants du profil extérieur de la rame sont à contrôler par rapport au gabarit de /MbBO/.
- Il faut ici considérée la caisse de wagon comme un corps rigide. Il faut inclure ici dans les déports correspondants du châssis de sustentation les élasticités à prendre en compte de ce dernier.
- Les déports / déformations de la caisse de wagon et du châssis de sustentation sont à déterminer séparément et ensuite à superposer.
- *Les déports pour les caisses de wagon sont à dériver dans le chapitre 0, dans le chapitre 0 pour les châssis de sustentation.*
- Des procédés analytiques ou des logiciels appropriés (par exemple programmes de CAO) peuvent être utilisés pour ce contrôle final de l'enveloppe de délimitation.

S'il y a lieu, il faut se baser sur les conditions additionnelles suivantes pour la procédure de justification :

- Des pôles de rotation sont supposés pour la dérivation des déports résultant du roulis / tangage / lacet. La superposition des déports entraîne un déport du pôle de rotation résultant. Du fait des conditions cinématiques obligatoires, la position du pôle de rotation résultant exclut certaines superpositions.  
Il faut contrôler la position du pôle de rotation résultant et éventuellement appliquer une correction ultérieure aux mouvements individuels lors de la superposition des déports individuels.
- Il faut tenir compte des tolérances de construction de la caisse de wagon. Les tolérances de construction du châssis de sustentation sont négligeables, car l'interstice de levage et l'entrefer de guidage sont réglés à la cote spécifiée.
- Il faut tenir compte de l'usure spécifiée au niveau de la rame des garnitures des patins de levage et des barrettes de pôles des aimants de guidage.
- L'usure de la voie et les tolérances de construction de la voie ne sont pas prises en compte. Celles-ci sont relevées sur la zone B /MbBO/ figure 1.
- Il n'est pas nécessaire de tenir compte des flexions et des déformations élastiques (flexion, torsion) pour les caisses de wagon.  
Pour les châssis de sustentation, il faut tenir compte des déformations élastiques résultant du levage (charges z) et du guidage (charges y).

- Suspension pneumatique :  
Il faut différencier les cas des soufflets de suspension pneumatique gonflés et vides. En l'absence de pression dans les suspensions pneumatiques, il faut tenir compte de la suspension par le biais des ressorts d'abaissement.
- Ressorts en caoutchouc et acier :  
il faut tenir compte de la compression sous charge statique, le cas échéant en considérant une compression supplémentaire résultant des contraintes dynamiques. Les compressions résultant des tolérances de suspension peuvent être négligées. *Celles-ci sont incluses dans les tolérances de réglage des articulations magnétiques.*
- La fonction de levage/guidage de la rame de TSM est réalisée sous la forme d'un système actif. Grâce à l'exécution redondante, la fonction des systèmes individuels est prise en charge par les systèmes voisins en cas de défaillance. Les justifications correspondantes sont apportées entre autres par des analyses FMEA lors du développement des rames du Transrapid. Le levage suffisant est en plus garanti par la justification. La défaillance d'un composant des modules structurels du système de levage/guidage (composants dans le flux des forces primaires, par exemple étrier de châssis) ne doit pas provoquer une violation des gabarits selon le chapitre 0.
- En cas de panne spécifiée de la fonction de levage ou de guidage, les charges sont absorbées mécaniquement par le biais des patins de levage ou des aimants de guidage. Il faut tenir compte de cette situation lors de la déduction de l'entrefer de levage ou de guidage.
- Il faut tenir compte de l'influence du vent latéral. La poussée verticale sur les caisses de wagon peut être négligée. Les charges aérodynamiques locales résultant du croisement de deux trains et du passage dans un tunnel peuvent elles aussi être négligées.<sup>6</sup>
- Il faut tenir compte des différentes situations de chargement (poids propre de la rame, poids moyen et admissible de la rame et poids maximum de la rame, voir aussi /MSB AG-FZ BEM/).  
Cargaison maximale de la caisse de wagon : utilisation de la plus grande des valeurs suivantes
  - a. 30 % de surcharge par rapport à la charge d'exploitation maximale au chargement maximum,
  - b. Cargaison en cas d'évacuation (poids maximum de la rame), si cela concerne l'application.
- Il faut tenir compte spécifiquement au projet d'un espace libre nécessaire supplémentaire pour les éléments rapportés sur la caisse de wagon (par exemple antennes de radiocommunication, Figure 80).

---

<sup>6</sup> Les effets locaux ne sont pas pris en compte du fait que la caisse de wagon est considéré comme un corps rigide. La rigidité nécessaire de la rame est traitée dans /MSB AG-FZ BEM/.

**Degré de liberté cinématique de la caisse de wagon**

*La caisse de wagon dispose des degrés de liberté suivants du corps rigide :*

- Déport z de la caisse de wagon (débattement des ressorts),
- Déports y (déports transversaux)
- Roulis autour de l'axe longitudinal (vacillements dans le cas des véhicules ferroviaires),
- Tangage autour de l'axe transversal (différent du déport z),
- Lacet autour de l'axe de hauteur (différent du déport y).

*Les déports z seront considérés ci-après conjointement avec le tangage de la caisse de wagon et les déports y conjointement avec le lacet de la caisse de wagon.*

*Pour obtenir les déports absolus de la caisse de wagon, il faut superposer les déports du châssis de sustentation aux déports dérivés ci-après.*

Il faut tenir compte des mentions des paragraphes du chapitre 0.

**Roulis de la caisse de wagon**

- Le roulis pris en compte est le roulis quasi-statique de la caisse de wagon du fait des propriétés de la suspension secondaire. Il est tenu compte des butées qui limitent le mouvement de la caisse de wagon par rapport aux châssis de sustentation. La grandeur caractéristique est l'angle de roulis  $\eta_{yz}$ .

**Définitions relatives au roulis de la caisse de wagon****Point de rotation du roulis de la caisse de wagon**

- Le pôle de rotation du roulis de la caisse de wagon C (pôle de vacillement C sur les véhicules ferroviaires) n'est pas fixe en raison des propriétés pendulaires. Pour un roulis libre, il se trouve au centre de la rame dans l'accouplement de voiture (Figure 75). Du fait du déport latéral de la caisse de wagon provoquée par le mouvement pendulaire lié à la gravité, le pôle de rotation C se déplace vers le haut.
- Comme l'angle de roulis a été réduit suite au décalage vers le haut du point de rotation, le pôle de rotation C est placé dans l'accouplement de la voiture pour la justification et il est supposé fixe.

**Dissymétrie  $\eta_{0yz}$** 

- La dissymétrie  $\eta_{0yz}$  est l'angle de roulis statique de la caisse de wagon en présence d'une voie horizontale provoqué par une excentricité du chargement. L'excentricité est détectée par la position du centre de gravité de la caisse de wagon  $x_{SE}$ .

**Dévers de la voie**

- Le dévers de la voie (inclinaison transversale  $\alpha$ ) désigne la différence de hauteur des plans du stator résultant des courbes extérieures.

**Roulis résultant d'un dévers insuffisant**

- Le dévers insuffisant est la différence entre le dévers réel de la voie et le dévers compensé. L'accélération latérale  $a_y$  maximale est utilisée pour les analyses.

**Roulis résultant de la gravité**

- Lorsque la rame se trouve sur une voie en dévers dont le plan de glissement forme un angle avec l'horizontale  $\alpha$ , la caisse de wagon subit un roulis et présente un angle  $\eta_{yz}$  par rapport à la verticale de la voie.
- L'angle de roulis dépend du chargement de la rame. C'est la valeur de chargement la plus élevée dans le cas de chargement le plus défavorable qui est prise en compte.

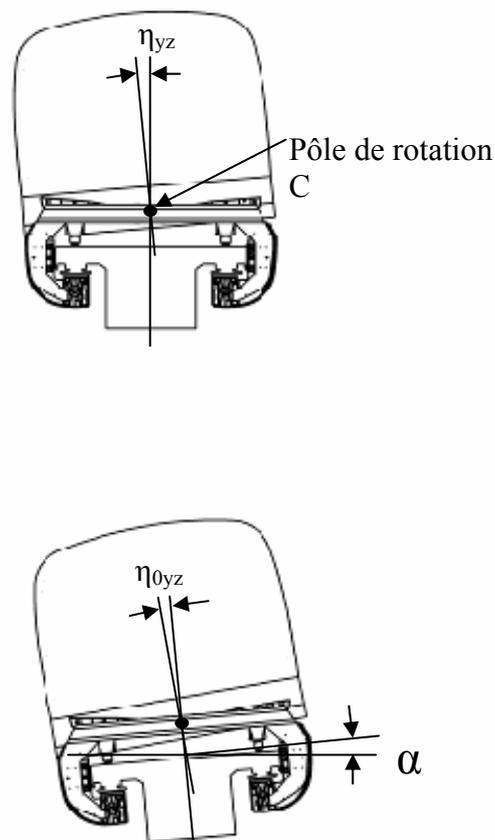


Figure 75 : Cinématique de la rame - Roulis de la caisse de wagon

20/09/2007 15:50:00

---

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
                  Rame Partie III - Gabarit cinématique

Doc. n° :   67650       Version   finale           Date de publica-   15.02.2007

Page 25

**Cas de charge à analyser Roulis**

L'**angle de roulis** peut être calculé selon le chapitre 0. La méthode de calcul s'applique aux rames de TSM selon /MSB AG-FZ GEN/.

Les ressorts d'abaissement sont ignorés lors de la détermination de la raideur en roulis. La dépressurisation des suspensions pneumatiques, c'est à dire lorsque la caisse de wagon s'appuie sur les 16 ressorts d'abaissement, donne lieu à une raideur de roulis supérieure et de ce fait à un angle de roulis réduit. La baisse de niveau de la caisse de wagon qui a lieu simultanément éloigne la structure de la ligne de délimitation. C'est la raison pour laquelle une suspension pneumatique intacte (si elle est présente) est considérée pour le roulis.

Il faut contrôler les cas suivants :

- La rame est arrêtée sur une voie au dévers maximum – roulis provoqué par la gravité
- La rame se déplace sur une voie au dévers insuffisant – roulis provoqué par la force centrifuge

Dans les deux cas, il faut prendre en compte les influences du vent latéral et de la dissymétrie  $\eta_{0yz}$ .

- Les paramètres propres destinés à dériver l'angle de roulis de la caisse de wagon sont indiqués au chapitre 0. Les données à prendre en compte en fonction de la superposition des cas de charge sont indiquées dans le chapitre, par exemple le tracé de la voie, les accélérations latérales à appliquer, les cotes de la caisse de wagon, les dissymétries du chargement et les vitesses du vent latéral.

## Déports Z / Tangage de la caisse de wagon

- Sont considérés ici le débattement quasi-statique de la suspension et le tangage de la caisse de wagon du fait des propriétés de la suspension secondaire.
- Il est tenu compte des butées qui limitent le mouvement de la caisse de wagon par rapport aux châssis de sustentation. Grandeurs caractéristiques : déport z et angle de tangage  $\gamma_{xz}$ .

### Définitions en rapport avec les déports Z / le tangage de la caisse de wagon

#### Point de rotation du tangage de la caisse de wagon

- Lorsque la suspension pneumatique est active, le point de rotation se trouve dans l'accouplement de voiture (Figure 76).
- Lorsqu'un circuit de la suspension pneumatique est complètement purgé, le point de rotation du mouvement de tangage de la caisse de wagon se trouve idéalement au moins de détection du niveau du circuit de suspension pneumatique voisin de la voiture. Les points de détection du niveau sont spécifiques à la rame et selon /MSB AG-FZ GEN/ ils se trouvent dans le premier et le dernier cadre de sustentation de la voiture (Figure 76).

#### Hauteur de la rame

Les hauteurs de rame prises en compte sont celles de la rame vide (non chargée) et pleine (chargée).

#### Déports verticaux $f_1$ vers le bas

- Le déport vertical  $f_1$ <sup>7</sup> se compose de la compression  $\Delta f_z$  et des déports supplémentaires  $f_z$  (voir 0). Lorsque la rame est en sustentation, la compression  $\Delta f_z$  se compose de la course de la suspension secondaire, de la course de l'articulation des aimants de levage et de l'élasticité du châssis de sustentation. Lorsque la rame est abaissée, la compression  $\Delta f_z$  se compose de la course de la suspension secondaire et de la compression des patins de levage. Les courses de la suspension secondaire correspondent aux déports dérivés de la caisse de wagon.
- La compression des châssis de sustentation est prise en compte au chapitre 0.
- La compression prise en compte est la compression verticale avec la cargaison opérationnelle maximale.

#### Déport vertical $f_2$ vers le haut

- Le déport vertical  $f_2$ <sup>7</sup> résulte de l'extension  $\Delta f_z$  de la suspension secondaire et du châssis de sustentation.

<sup>7</sup> Dessin voir /DIN 27505/

- Lorsque la rame est en sustentation, l'extension  $\Delta f_z$  se compose de la course de la suspension secondaire, de la course de l'articulation des aimants de levage et de l'élasticité du châssis de sustentation.
- Lorsque la rame est abaissée, l'extension  $\Delta f_z$  correspond à la course de la suspension secondaire, c'est à dire aux déports dérivés de la caisse de wagon.
- L'extension des châssis de sustentation est prise en compte au chapitre 0.
- L'extension prise en compte est l'extension verticale lorsque la caisse de wagon est inoccupée en tenant compte des déports dynamiques et de l'état neuf.

**Déports verticaux supplémentaires  $f_z$** 

- Déports verticaux supplémentaires résultant de l'inclinaison longitudinale et transversale de la caisse de wagon.
  - Abaissement transversal d'un côté de la caisse de wagon : Compression en phase de tous les cadres de sustentation vers le même côté de la voie. Les déports sont relevés au chapitre Roulis 0.
  - Abaissement longitudinal d'une extrémité de la caisse de wagon : compression en phase des châssis de sustentation au niveau des cadres de sustentation opposés (tangage), par exemple en cas de panne d'un circuit de suspension pneumatique.
  - Déport vertical supplémentaire résultant de la régulation de l'entrefer de levage des châssis de sustentation. Les déports des châssis de sustentation sont pris en compte au chapitre 0 avec la cinématique du châssis de sustentation.

**Dissymétrie  $\gamma_{0xz}$** 

- La dissymétrie  $\gamma_{0xz}$  est l'angle de tangage statique de la caisse de wagon en présence d'une voie horizontale provoqué par une excentricité du chargement dans le sens longitudinal de la rame. L'influence est prise en compte par le biais de la position du centre de gravité de la caisse de wagon.

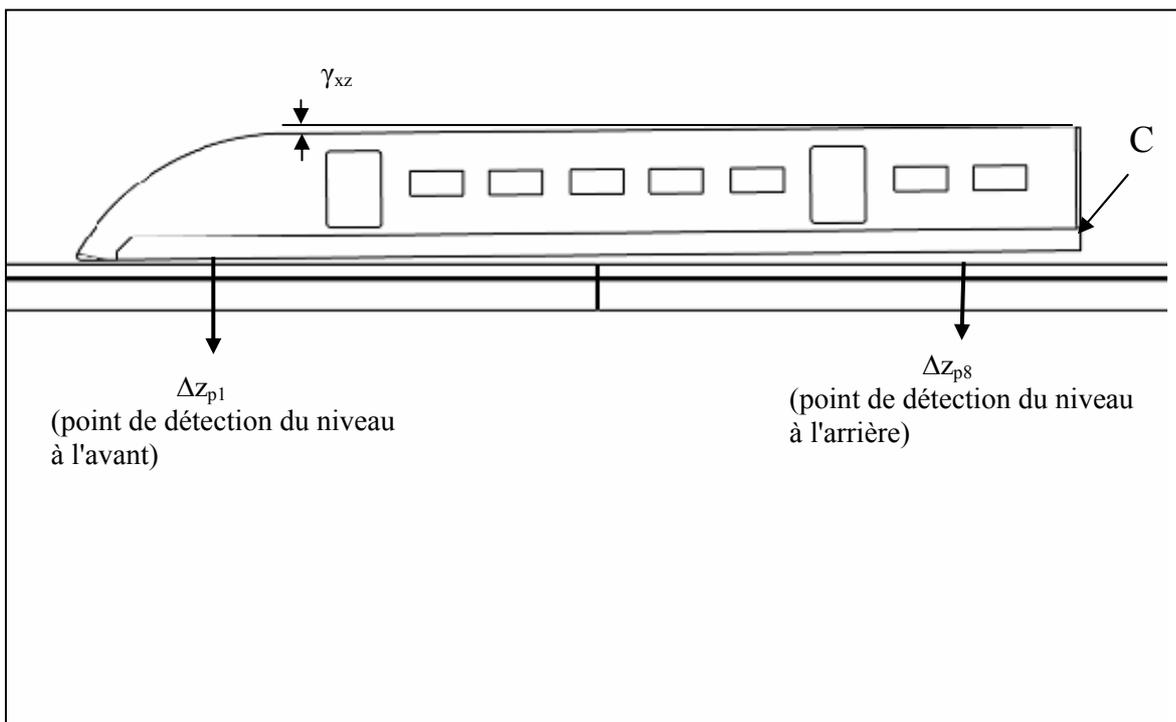


Figure 76 : Cinématique de la rame - Déports z / tangage de la caisse de wagon

### Cas de charge à analyser Déport Z / Tangage

- Le niveau z le plus élevé de la caisse de wagon s'établit lorsque la suspension pneumatique est active (suspension pneumatique sous pression). En cas de panne des suspensions pneumatiques individuelles, le niveau est maintenu par la régulation de niveau et il se produit des mouvements de tangage négligeables. Les mouvements de tangage opérationnels sont dérivés en tenant compte du système de suspension pneumatique actif.
- *Pour le défaut de fonctionnement « théoriquement possible », les mouvements de tangage maximums résultent d'un circuit de suspension pneumatique dépressurisé.*
- L'exécution des circuits de suspension pneumatique et l'affectation des suspensions pneumatiques aux circuits doivent s'effectuer de manière à ce que la probabilité d'occurrence d'un mouvement de tangage non toléré soit négligeable.
- Les angles de tangage maximum d'une voiture résultent du cas d'un circuit de suspension pneumatique actif (niveau z au point de détection du niveau en position nominale) et d'un circuit de suspension pneumatique dépressurisé (niveau z abaissé sur les ressorts d'abaissement). Les relations destinées à dériver l'angle de tangage sont mentionnées en annexe à titre d'information. Le cas de l'extension vers le haut (pression des circuits de suspension pneumatique supérieure à la pression nominale) n'est pas pris en compte, car dans ce cas l'angle de tangage par rapport aux situations de défaut de fonctionnement mentionnées est nettement inférieur et il est de toute façon détecté par le biais du cas de charge poids propre ou dissymétrie de chargement.

- **L'angle de tangage et les déports z de la caisse de wagon** peuvent être calculés selon le chapitre 0.
  - Rame en service nominal (deux circuits de suspension pneumatique actifs) avec niveau z max. selon chapitre 0
  - Rame sur suspensions pneumatiques dépressurisées selon chapitre 0 avec niveau z minimum
  - Rame en mode défaillance avec circuit de suspension pneumatique de nez dépressurisé selon le chapitre 0 avec un angle de tangage négatif maximum (abaissement du nez)
  - Rame en mode défaillance avec circuit de suspension pneumatique de queue dépressurisé selon le chapitre 0 avec un angle de tangage positif maximum (abaissement de la queue)
- Il faut analyser les cas suivants :
  - Compression/extension de la caisse de wagon par les états de chargement individuels (poids propre, poids maximum selon le chapitre 0)
  - La rame circule sur la voie avec le rayon vertical  $R_{xz}$
  - Compression/extension d'une extrémité de la caisse de wagon du fait du démarrage / freinage à l'accélération / au ralentissement maximum
- Il faut dans ces cas prendre en compte les influences du vent latéral et de la dissymétrie  $\gamma_{0xz}$ .
- En plus de cela, il appartient au constructeur d'évaluer le cas de défaut « Abaissement d'une extrémité de la caisse de wagon suite à une panne d'un circuit de suspension pneumatique » et de définir les mesures opérationnelles supplémentaires éventuellement nécessaires.
- À chaque justification, il faut exclusivement tenir compte de la voiture d'extrémité. Les voitures intermédiaires sont prises en compte par les justifications.
- Les paramètres propres destinés à dériver l'angle de tangage et les déports z de la caisse de wagon sont indiqués au chapitre 0. Les données à prendre en compte en fonction de la superposition des cas de charge sont indiquées dans le chapitre, par exemple les accélérations / ralentissements, les masses de la caisse de wagon et les dissymétries du chargement.

## Déport Y / Lacet de la caisse de wagon

- Le lacet pris en compte est le lacet quasi-statique de la caisse de wagon du fait des propriétés de la suspension secondaire.
- Les déports transversaux ou le lacet de la caisse de wagon dépendent des propriétés de la suspension secondaire (mouvement pendulaire lié à la gravité, disposition des ressorts supplémentaires y).
- Grandeurs caractéristiques : déport transversal y, angle de lacet  $\delta_{xy}$  (voir Figure 77 ).

**Définitions en rapport avec les déports Y / le lacet de la caisse de wagon****Point de rotation du mouvement de lacet**

- Le point de rotation se trouve dans l'accouplement de voiture.

**Débordement géométrique**

Excentricité d'une partie de la rame résultant du franchissement d'un virage

Il est supposé que d'un seul et du même côté du centre de la voie, tous les points de la même section transversale de la caisse de wagon présentent le même débordement géométrique (corps rigide).

**Surplomb S**

Excentricité de la section transversale d'extrémité de la rame résultant du franchissement d'un virage

**Dissymétrie  $\delta_{0xy}$** 

La dissymétrie  $\delta_{0xy}$  est l'angle de lacet statique de la caisse de wagon en présence d'une voie droite provoqué par une excentricité du chargement dans le sens longitudinal de la rame. L'influence est prise en compte par le biais de la position du centre de gravité de la caisse de wagon.

**Déports transversaux**

Le déport transversal de la caisse de wagon se compose des éléments suivants :

- Déport géométrique résultant de la position de la rame en courbe et en ligne droite dans le cas d'un axe de hauteur de la rame perpendiculaire à la voie ;
- Déport quasi-statique y de la suspension secondaire ;
- Déport latéral quasi-statique des châssis de sustentation. Les déports des châssis de sustentation sont pris en compte au chapitre 0 avec la cinématique du châssis de sustentation.

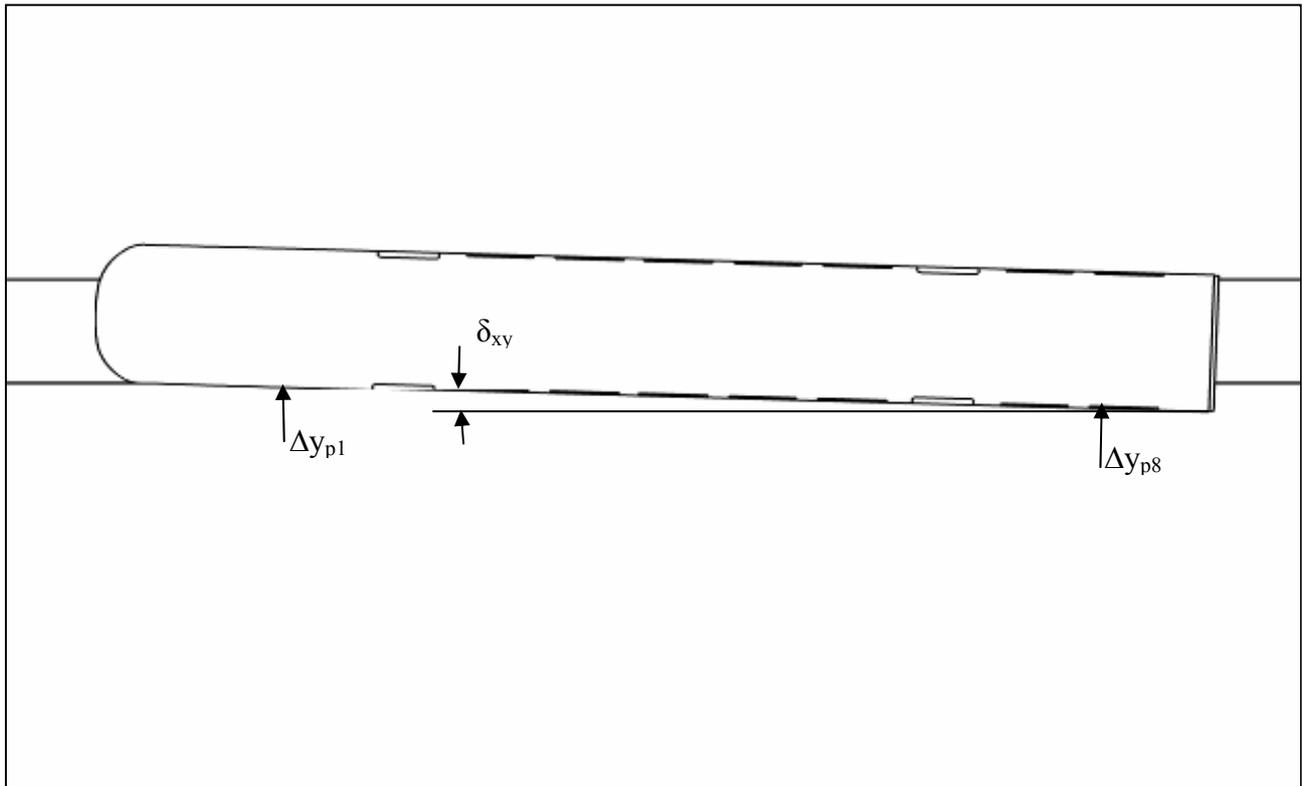


Figure 77 : Cinématique de la rame - Déports y / lacet de la caisse de wagon

**Cas de charge à analyser Déport y / lacet**

- L'angle de lacet et les déports y de la caisse de wagon peuvent être calculés selon le chapitre 0.
- Il faut analyser les cas suivants :
  - La rame se déplace sur une voie au dévers insuffisant – déport et lacet provoqués par la force centrifuge
  - La rame circule sur la voie avec le rayon horizontal  $R_{xy}$ .

Dans les deux cas, il faut prendre en compte les influences du vent latéral et de la dissymétrie  $\delta_{0xy}$ .

Le débordement géométrique et le déport S lors de la superposition de tous les déports (caisse de wagon et train roulant) peuvent être déterminés par des procédés de calcul appropriés (par exemple modèles de CAO).

Les paramètres propres destinés à dériver l'angle de lacet et les déports y sont indiqués au chapitre 0. Les données à prendre en compte en fonction de la superposition des cas de charge sont indiquées dans le chapitre, par exemple le tracé de la voie, les accélérations latérales à appliquer, les cotes de la caisse de wagon, les dissymétries du chargement et les vitesses du vent latéral.

## Cinématique entre le châssis de sustentation et la voie

Il faut tenir compte des mentions des paragraphes du chapitre 0.

# Degré de liberté cinématique du châssis de sustentation

*Le levage et le guidage sans contact permettent les degrés de liberté suivant du corps rigide des châssis de sustentation :*

- *Déport z du châssis de sustentation par régulation de l'entrefer de levage*
- *Déport y du châssis de sustentation par régulation de l'entrefer de guidage (régulation du centre de la voie)*
- *Roulis autour de l'axe longitudinal résultant d'un entrefer de levage inégal à gauche et à droite (déports z inégaux)*
- *Tangage autour de l'axe transversal résultant d'un entrefer de levage inégal à l'avant et à l'arrière (déport z inégal)*
- *Lacet autour de l'axe de hauteur résultant d'un entrefer de guidage inégal à l'avant et à l'arrière (déport y inégal)*

*En fonctionnement normal, les mouvements relatifs de châssis de sustentation par rapport à la voie résultent des écarts dynamiques de l'entrefer au niveau des aimants de levage et de guidage.*

*Les déports maximums se produisent en cas de défaut dans le système de levage/guidage électromagnétique. Ces mouvements possibles sont limités comme suit :*

- Dans le sens z vers le haut par la surveillance de l'entrefer minimum ou, dans un cas limite, par un contact de l'aimant de levage sur le stator, vers le bas par les patins de levage.
- Dans le sens y, mécaniquement par le canal de rail des aimants de guidage (démarrage de l'aimant de guidage sur le rail de guidage latéral).

*Les entrefers de levage et de guidage sont mesurés à la position des capteurs d'entrefer.*

Il faut tenir compte des états opérationnels suivants :

- Abaissement régulé de l'ensemble de la rame en l'état
- Fonctionnement normal avec entrefer de levage et régulation du centre de la voie

En plus des états opérationnels, il faut également prendre en compte les situations opérationnelles particulières suivantes :

- Abaissement des cadres de sustentation individuels après la panne des deux circuits de régulation du levage associés (levage mécanique local sur les patins de levage)
- Panne des deux circuits de régulation de l'aimant de guidage associés (guidage mécanique local avec l'aimant de guidage).
- Abaissement régulé de l'ensemble de la rame à faible vitesse après un freinage forcé avec le frein à courant de Foucault.
- Abaissement unilatéral non régulé en cas de court-circuit dans l'enroulement de propulsion

## Déports du châssis de sustentation

- Les entrefers entre les châssis de sustentation et la voie sont dérivés ci-après.
- Ceux-ci déterminent les déports possibles des châssis de sustentation et leur position par rapport à la voie.

### Entrefer de levage / de guidage

- En situation nominale, la rame est en sustentation avec un entrefer de levage  $s_0$  défini. Un déport de la rame vers le haut et limité par l'application de l'aimant de levage sur le plan du stator, vers le bas par le contact des patins de levage avec le plan de glissement.

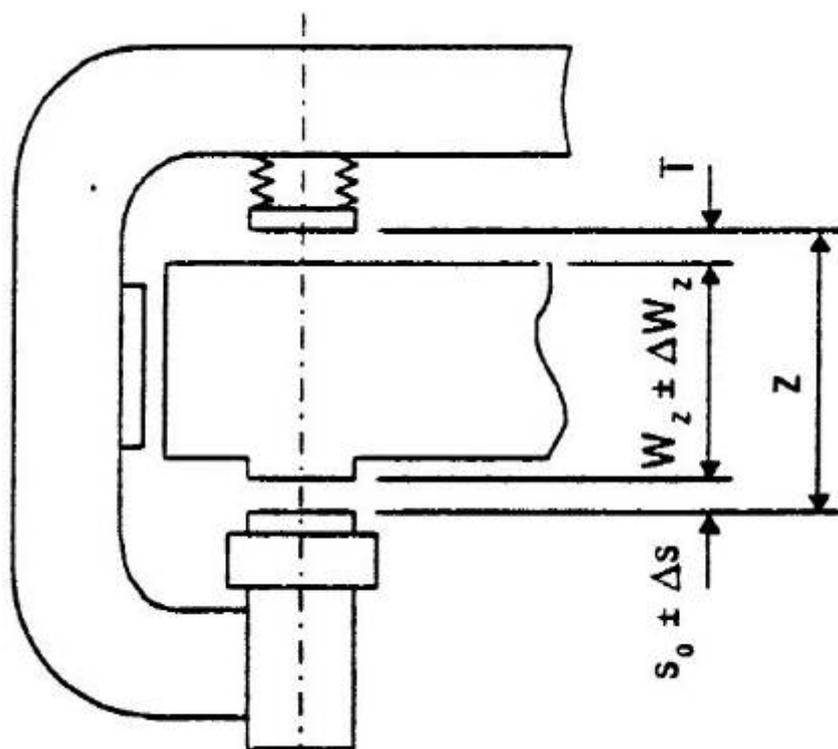


Figure 78 : Cinématique de la rame - Bilan d'entrefer en levage (direction z)

L'**intervalle réel de la rame** entre le bord supérieur de l'aimant de levage et le bord inférieur du patin de levage se calcul généralement comme suit en tenant compte de l'usure des patins  $\Delta V$

$$\mathbf{Z} = \mathbf{Z}_0 \pm \Delta \mathbf{z} + \Delta \mathbf{f}_z + \Delta \mathbf{V} \quad \text{Éq. 1}$$

Les tolérances  $\Delta W_z$  de la voie sont mises à zéro lors de la justification du gabarit 0.

Pour la **rame en sustentation**, en cas d'écart par rapport à la charge nominale, il faut inclure dans le calcul la compression/extension des châssis de sustentation et de l'articulation de l'aimant de levage.

$$\Delta \mathbf{f}_z = \Delta \mathbf{f}_{zG} + \Delta \mathbf{f}_{zTM} \quad \text{Éq. 2}$$

Pour la **rame abaissée**, il faut tenir compte de l'extension des châssis de sustentation et de l'articulation de l'aimant de levage ainsi que de la compression des patins de levage.

$$\Delta \mathbf{f}_z = \Delta \mathbf{f}_{zG} + \Delta \mathbf{f}_{zTM} + \Delta \mathbf{f}_{zTK} \quad \text{Éq. 3}$$

La rame en sustentation est représentée en position nominale dans les documents de construction.

$$\Delta \mathbf{f}_z = 0$$

L'**entrefer de levage** définit le déport maximum du cadre de sustentation vers le haut. Il est obtenu en tenant compte de la dynamique de levage selon la

Figure 78

$$\mathbf{s} = \mathbf{s}_0 \pm \Delta \mathbf{s} \quad \text{Éq. 4}$$

Pour les analyses, l'entrefer  $s_0$  correspond à la valeur maximale du déport vers le haut.

L'**entrefer des patins de levage** définit le déport maximum du cadre de sustentation vers le bas. Il est obtenu en tenant compte de la dynamique de levage selon la

Figure 78

$$\mathbf{T} = \mathbf{Z}_0 + \Delta \mathbf{z} + \Delta \mathbf{V} - \mathbf{W}_z - (\mathbf{s}_0 \pm \Delta \mathbf{s}) \quad \text{Éq. 5}$$

**Entrefer de guidage**

- À l'état nominal, la rame est en sustentation avec un entrefer de guidage  $F$  donné. Un déport latéral de la rame est limité dans les deux directions  $\pm$  par l'application de l'aimant de guidage sur les rails de guidage latéraux de la voie.
- Avec régulation du centre de la voie, la largeur du rail de la rame entre les aimants de guidage est de

$$Y = Y_0 \pm \Delta y - \Delta f_y$$

Éq. 6

- Pour la **rame en sustentation**, en cas d'écart par rapport à la charge nominale, il se produit une compression/extension des châssis de sustentation  $\Delta f_y$ . Cette valeur est généralement négligeable.
- L'entrefer de guidage maximum se produit lors du guidage mécanique. L'aimant de guidage d'un côté du cadre de sustentation repose contre le rail latéral et ne subit aucune force. L'aimant de guidage opposé est soumis à une force.
- La largeur de voie de la rame est alors de

$$Y_A = Y_0 \pm \Delta y + \Delta P$$

Éq. 7

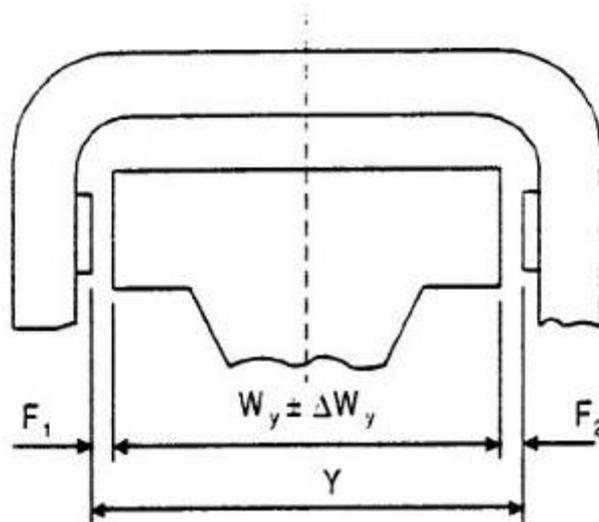


Figure 79 : Cinématique de la rame - Bilan d'entrefer en guidage (direction y)

- P représente l'abrasion maximale des barrettes de pôles.
- Comme il s'agit d'une situation d'usure défavorable spécifiée, l'usure n'est pas à utiliser simultanément pour tous les aimants de guidage. Par conséquent, l'usure complète n'est utilisée que pour un côté de la rame.
- $\Delta P = P$
- La somme des deux entrefers de guidage est ainsi calculée comme suit

$$F_{Amax} = Y_0 + \Delta y + P - W_y$$

**Éq. 8**

- Les tolérances  $\Delta W_y$  de la voie sont mises à zéro lors de la justification du gabarit 0.
- La valeur du déport du châssis de sustentation par rapport à la position nominale pour le côté du cadre de sustentation qui repose sur la voie est de
- $dy = F_{Amax} - F$
- où F correspond à l'entrefer nominal de la situation initiale.
- La réduction des entrefers en virage selon 0 peut être prise en compte dans le cas des rayons de virage  $< 1000$  m.

## Torsions du châssis de sustentation

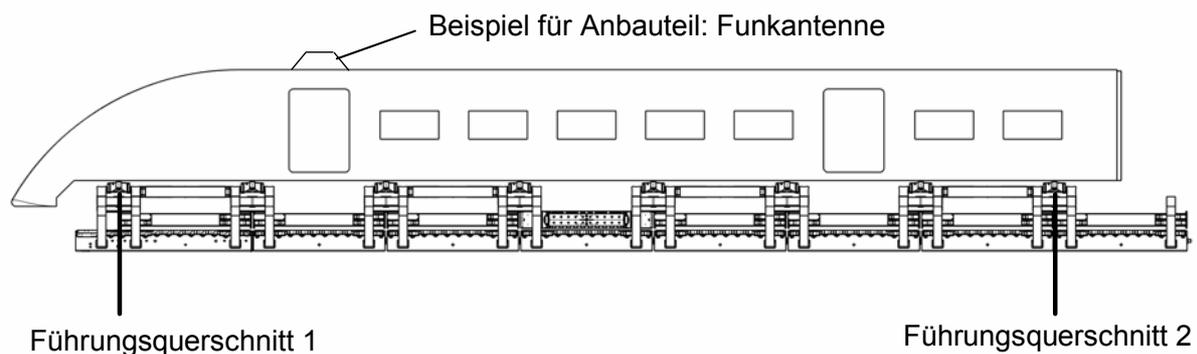
- Les déports z et y des châssis de sustentation (entrefer de levage et de guidage, entrefer des patins de levage) provoquent des mouvements de roulis, de tangage et de lacet du châssis de sustentation.
- Pour le gabarit cinématique de la rame, les positions les plus défavorables de la caisse de wagon sont obtenues lors de l'application des déports (entrefer de levage et de guidage).
- Les torsions de tangage et de lacet réduisent les déports de la caisse de wagon et il est inutile de les prendre en compte.
- Il faut tenir compte du roulis des châssis de sustentation, car l'angle de roulis de la rame augmente.

## Justification du gabarit cinématique de la rame

### Sections transversales de guidage

Il faut tenir compte des mentions suivantes pour le traitement des sections transversales de guidage :

- Le réglage de la rame par rapport à la voie est déterminé par les sections transversales de la rame.
- Les rames de TSM disposent de 4 châssis de sustentation par voiture.
- Pour la justification du gabarit cinématique, les sections transversales de guidage sont placées dans le premier et le dernier châssis de sustentation.
- Le positionnement de la caisse de wagon par rapport aux deux châssis de sustentation s'effectue par la position des consoles d'articulation x de la caisse de wagon (position x et y au centre du châssis de sustentation, position y au centre de la caisse de wagon).
- Il faut contrôler la position des deux châssis de sustentation centraux pour cette position définie de la caisse de wagon.
- Les deux châssis centraux se trouvent dans une relation fixe à la fois par rapport à la voie et par rapport à la caisse de wagon. Par le biais de l'entrefer de levage et de guidage du côté de la voie, par le biais du mouvement pendulaire (courses y et z) du côté de la caisse de wagon.
- Si ces châssis donnent lieu à une condition géométrique forcée, il faut alors corriger la position de la caisse de wagon, sinon les châssis de sustentation centraux ne sont pas pris en compte.



*Exemple de pièce rapportée : antenne de radiocommunication*  
*Section transversale de guidage 1*  
*Section transversale de guidage 2*

Figure 80 : Positionnement de la rame sur la voie

## Cas de charge / situations géométriques à prendre en compte

- Il faut au moins justifier des cas de charge opérationnels selon le chapitre 0.
- Il appartient au constructeur d'examiner les effets possibles des situations opérationnelles particulières, voir chapitre 0. Les mesures opérationnelles éventuellement nécessaires doivent être mentionnées puis convenues et définies avec l'exploitant et le service d'homologation.

### Cas de charge opérationnels

- Le tableau suivant contient les combinaisons de cas de charge A à D à prendre en compte de la rame en déplacement. Le tableau indique également les effets qui sont superposés lors de la détermination de la cinématique de la rame. Les effets dont il faut tenir compte pour la justification du gabarit cinématique dans les installations d'entretien sont à définir avec l'exploitant.

Cas de charge opérationnels cinématique de la rame	Cas			
	A	B	C	D
<b>Forces d'inertie de :</b>				
• Poids propre		X		X
• Cargaison opérationnelle maximale (1,3 fois la charge d'exploitation maximale)	X		X	
• Ralentissement / accélération maximum $a_x$	X	X	X	X
• Accélération latérale maximale $a_y$	X	X		
• Accélération verticale maximale depuis le sommet / point bas $a_z$			X	X
• Dissymétrie de la cargaison	X		X	
<b>Tracé</b>				
• Rame en virage	X	X		
• Rame en ligne droite, sommet / point bas, dynamique de roulage incluse			X	X
<b>Vent latéral</b>				
• Vent latéral à effet opérationnel permanent	X	X	X	X

Tableau 77 : Cas de charge opérationnels cinématique de la rame

Les valeurs à utiliser pour les vitesses du vent, les poids et le tracé ainsi que la dissymétrie de la cargaison sont à définir spécifiquement au projet. La superposition des cas de charge peut également être fixée différemment en fonction du projet.

Les valeurs suivantes s'appliquent si aucun accord différent spécifique au projet n'est convenu :

**Principes d'exécution**

- Paramètres de tracé selon le chapitre 0  
La dynamique de roulage de la caisse de wagon à utiliser résultant de la succession de voies est de  $\Delta z = \pm 10\text{mm}$  (valeur empirique).
- Vent latéral opérationnel  $v_w = 10\text{ m/s}$ .

Comme les **dépports du châssis de sustentation** maximums ne dépendent pas des propriétés de la suspension, il est supposé de manière conservatoire une « position extrême » du premier châssis de sustentation (section transversale de guidage du nez de la voiture selon le chapitre 0) avec simultanément une position nominale du deuxième châssis de sustentation (section transversale de guidage de la queue de la voiture selon le chapitre 0). Cette procédure est appropriée, car seul est pris en compte le premier ou le dernier châssis de sustentation et les deux châssis de sustentation intermédiaires sont ignorés. La prise en compte de ces châssis centraux intermédiaires donne lieu à des angles de tangage et de lacet plus faibles.

Position du châssis de sustentation, section de guidage transversal du nez :

Lors du franchissement d'un virage, les aimants de guidage des sections de guidage transversal sont appliqués à l'intérieur du virage, l'usure opérationnelle admissible des barrettes de pôles est prise en compte.

On distingue deux cas pour la position z des cadres de sustentation :

- a) l'aimant de levage du premier châssis repose sur le bord inférieur de la voie (tangage maximum de la caisse de wagon en raison des dépports des châssis de sustentation vers le haut)
- b) le patin de levage du premier châssis repose sur la glissière en appliquant la compression statique et l'usure opérationnelle admissible (tangage maximum de la caisse de wagon en raison des dépports des châssis de sustentation vers le bas)

Position du châssis de sustentation, section de guidage transversal de la queue :

Cotes nominales pour les entrefers de levage, de guidage et de patin.

• Exemples de cotes des entrefers :

<i>Entrefer de levage</i>	<i>10 mm</i>
<i>Entrefer de guidage</i>	<i>11 mm</i>
<i>Entrefer des patins de levage</i>	<i>16 mm.</i>

• Exemples de valeurs d'usure :

L'usure opérationnelle et non pas l'usure maximale possible est utilisée pour les garnitures des patins de levage et les barrettes de pôles. Les paramètres d'usure sont à déterminer en fonction du projet.

*Garnitures des patins :*

<i>CFC :</i>	<i>1,5 mm</i>	
<i>GKB 5 :</i>	<i>5 mm</i>	
<i>Barrettes de pôles de l'aimant de guidage :</i>	<i>1,0 mm.</i>	

**Situations opérationnelles particulières**

Il convient que le constructeur procède à l'évaluation des cas suivants dans le cadre de l'examen des cas particuliers. Ces cas ne sont pas superposés aux autres cas de charge. Cas de charge les plus défavorables : Situations de défaut dans le sens de la prise en compte d'une limite qui sont négligées en raison de leur probabilité d'occurrence :

- Panne des circuits de suspension pneumatique individuels
- Caisse de wagon sur les ressorts d'abaissement (suspensions pneumatiques vides)

Cas de charge particuliers : Situations opérationnelles spécifiées :

- Vent latéral maximum 37 m/s
- Cargaison maximale de la caisse de wagon (évacuation)
- Abaissement unilatéral non régulé en cas de court-circuit de l'enroulement
- Usure maximale des patins de levage

L'usure maximale ne doit être utilisée que dans le cas d'un levage mécanique considéré comme une situation opérationnelle particulière d'un cadre de sustentation jusqu'à une zone d'arrêt à définir spécifiquement au projet (voir aussi /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.3.1). Une opération de maintenance est réalisée si cet événement se produit.

Les châssis de sustentation (sections transversales de guidage) sont à affecter à leur position nominale.

## Annexe (informative)

## Déduction du degré de liberté cinématique de la caisse de wagon

### Angle de roulis de la caisse de wagon

Les forces pendulaires  $\Delta F_{pz}$  résultant des forces  $y$  de la caisse de wagon  $F_{yWK}$  se calculent sous la forme

$$\Delta F_{pz} = 0,5 \cdot F_{yWK} \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{y_p} \quad \text{Éq. 9}$$

avec  $F_{yWK} = F_{ySW} + F_{mWKy}$  Éq. 10

$F_{mWKy} = m_{WK} \cdot a_y$  Éq. 11

L'angle de roulis de la caisse de wagon résultant de la force du vent latéral et de la force centrifuge  $\eta_{yzFy}$  est obtenu par

$$\eta_{yzFy} = \frac{M_T}{c_{\eta WK}} = \frac{2 \cdot \Delta F_{pz} \cdot y_p}{c_{\eta WK}} = F_{yWK} \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}}$$

$$\eta_{yzFy} = (m_{WK} \cdot a_y + F_{ySW}) \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}} \quad \text{Éq. 12}$$

L'angle de roulis de la caisse de wagon résultant du dévers de la voie  $\eta_{yz\alpha}$  est obtenu avec le moment de roulis  $M_{T\alpha}$ ,

$$M_{T\alpha} = (z_{sWK} - z_C) \cdot \sin \alpha' \cdot F_{mWKz}$$

avec  $F_{mWKz} = m_{WK} \cdot a_z$  inertie de la caisse de wagon  $z$

$$\eta_{yz\alpha} = \frac{M_T}{c_{\eta WK}} = F_{mWKz} \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}} \cdot \sin \alpha'$$

$$\eta_{yz\alpha'} = \frac{M_T}{c_{\eta WK}} = m_{WK} \cdot a_z \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}} \cdot \sin \alpha'$$

Éq. 13

## Dépôts Z et angle de tangage de la caisse de wagon

### Suspension pneumatique active

La dérivée suivant des forces pendulaires z s'effectue pour une rame composée de trois voitures en utilisant la connexion 5 + 3 des suspensions pneumatiques de la voiture d'extrémité. Le nombre de voitures est sans importance du fait que c'est la voiture d'extrémité qui est importante pour l'analyse. Une modification de la connexion des suspensions pneumatiques impose une adaptation des équations.

Pour la détermination statique, une caisse de wagon est soutenue par deux circuits de suspension pneumatique. Les cadres de sustentation 1 à 5 de la voiture d'extrémité (nez) sont ici alimentés par le circuit de suspension pneumatique 1, les cadres de sustentation 6 à 8 de la voiture d'extrémité et les cadres de sustentation 1 – 4 de la voiture centrale par le circuit de suspension pneumatique 2. Les suspensions pneumatiques d'un circuit disposent de la même pression  $p_1$  ou  $p_2$  avec les forces pendulaires  $F_{pzLF1}$  (circuit de suspension pneumatique 1) et  $F_{pzLF2}$  (circuit de suspension pneumatique 2).

Du fait de la suspension pneumatique intégrée, la force pendulaire du premier cadre de sustentation est de

$$F_{p1z} = 0,5 \cdot F_{pzLF1} \quad \text{cadres de sustentation du nez} \quad \text{Éq. 14}$$

Le reste des forces pendulaires sont obtenues par

$$F_{piz} = F_{pzLF1} \quad i = 2,5 \text{ voiture d'extrémité} \quad \text{Éq. 15}$$

$$F_{piz} = F_{pzLF2} \quad i = 6,8 \text{ voiture d'extrémité} \quad \text{Éq. 16}$$

$$F_{piz} = F_{pzLF2} \quad i = 1,4 \text{ voiture intermédiaire} \quad \text{Éq. 17}$$

Les forces pendulaires  $F_{pzLF1}$  et  $F_{pzLF2}$  ainsi que la force d'accouplement  $F_{Kz}$  se calculent par le biais du système d'équations à résoudre au moyen de déterminants, par exemple.

$$A \cdot \bar{x} = b \text{ pour}$$

$$\begin{bmatrix} 18 & 28 & 0 \\ 9 & 6 & 1 \\ 9x_{s1} & 6x_{s2} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{pzLF1} \\ F_{pzLF2} \\ F_{Kz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \cdot F_{zWKE} + F_{zWKM} \\ F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \end{bmatrix} \quad \text{Éq. 18}$$

### Circuit de suspension pneumatique de nez dépressurisé

Si le circuit de suspension pneumatique du nez est dépressurisé, la caisse de wagon de la voiture d'extrémité s'appuie sur les cadres de sustentation 1 à 5 par le biais des ressorts d'abaissement.

Pour déduire les forces pendulaires et l'angle de tangage, on suppose que le reste des charges pendulaire est soutenu par la suspension pneumatique.

Les forces des ressorts d'abaissement qui se rapportent à l'axe pendulaire sont de

$$F_{pizE} = c_{piE} \cdot Z_{piE}$$

L'écart  $x_{NiE}$  entre le ressort d'abaissement et le point de rotation de tangage supposé de la caisse de wagon (point de mesure du niveau du circuit de suspension pneumatique voisin) donne pour l'angle de tangage  $\eta$  une compression des ressorts d'abaissement de

$$Z_{piE} = \tan \eta \cdot x_{NiE} \quad \text{Éq. 19}$$

Le reste des forces pendulaires se calculent par

$$F_{pizE1} = c_{piE} \cdot Z_{piE} \quad i = 1,5 \text{ voiture d'extrémité 1 (circuit de suspension pneumatique de nez dépressurisé)} \quad \text{Éq. 20}$$

$$F_{pizE1} = F_{pzLF2} \quad i = 6,8 \text{ voiture d'extrémité 1} \quad \text{Éq. 21}$$

$$F_{pizM} = F_{pzLF2} \quad i = 1,4 \text{ Voiture intermédiaire} \quad \text{Éq. 22}$$

$$F_{pizE2} = 0,5 \cdot F_{pzLF1} \quad \text{cadres de sustentation de nez de la voiture d'extrémité 2} \quad \text{Éq. 23}$$

$$F_{pizE2} = F_{pzLF1} \quad i = 2,5 \text{ voiture d'extrémité 2} \quad \text{Éq. 24}$$

L'angle de tangage  $\eta$ , les forces du circuit de suspension pneumatique  $F_{pzLF1}$  et  $F_{pzLF2}$  ainsi que les forces d'accouplement  $F_{Kz1}$  (voiture d'extrémité 1) et  $F_{Kz2}$  (voiture d'extrémité 2) sont obtenus en résolvant le système d'équations suivant :

$$A \cdot \bar{x} = b \text{ pour}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^5 (c_{piE} \cdot x_{NiE}) & 9 & 28 & 0 & 0 \\ \sum_{i=1}^5 (c_{piE} \cdot x_{NiE}) \cdot x_{iE} & 0 & 6 \cdot x_{s2} & 0 & 0 \\ \sum_{i=1}^5 (c_{piE} \cdot x_{NiE}) & 0 & 6 & 1 & 0 \\ 0 & 9 & 6 & 0 & 1 \\ 0 & 9 \cdot x_{s1} & 6 \cdot x_{s2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tan \eta \\ F_{pzLF1} \\ F_{pzLF2} \\ F_{Kz1} \\ F_{Kz1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \cdot F_{zWKE} + F_{zWKM} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \\ F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \end{bmatrix} \quad \text{Éq. 25}$$

Pour les caractéristiques non linéaires  $c_{iE}$  ou  $c_{piE}$ , la résolution du système d'équations doit éventuellement s'effectuer de manière itérative.

### Circuit de suspension pneumatique transition de voiture E/I dépressurisé

Si le circuit de suspension pneumatique au niveau de la transition entre les voitures d'extrémité/intermédiaire est dépressurisé, la caisse de wagon de la voiture d'extrémité s'appuie sur les cadres de sustentation 1 à 5 par le biais des suspensions pneumatiques du circuit de nez et des ressorts d'abaissement des cadres de sustentation 6 à 8.

Seule la voiture d'extrémité est prise en compte pour déduire les forces pendulaires et l'angle de tangage, ce qui veut dire que l'effet de soutien de la voiture intermédiaire est ignoré. Le point de détection du niveau (déport z nul) se trouve au niveau du cadre de sustentation 2. Ce point est en même temps le point de rotation.

Les forces des ressorts d'abaissement qui se rapportent à l'axe pendulaire sont de

$$F_{pizE} = c_{piE} \cdot z_{piE}$$

L'écart  $x_{NiE}$  entre le ressort d'abaissement et le point de rotation de tangage supposé de la caisse de wagon (point de mesure du niveau du circuit de suspension pneumatique de nez) donne pour l'angle de tangage  $\eta$  une compression des ressorts d'abaissement de

$$z_{piE} = \tan \eta \cdot x_{NiE} \quad \text{Éq. 26}$$

Le reste des forces pendulaires se calculent par

$$F_{p1z} = 0,5 \cdot F_{pzLF1} \quad \text{cadres de sustentation du nez} \quad \text{Éq. 27}$$

$$F_{piz} = F_{pzLF1} \quad i = 2,5 \text{ cadres de sustentation 2 à 5} \quad \text{Éq. 28}$$

$$F_{pizE1} = c_{piE} \cdot z_{piE} \quad i = 6,8 \text{ (circuit de suspension pneumatique 2 dépressurisé)} \quad \text{Éq. 29}$$

L'angle de tangage  $\eta$  et les forces du circuit de suspension pneumatique  $F_{pzLF1}$  sont obtenus en résolvant le système d'équations suivant :

$$A \cdot \bar{x} = b \text{ pour}$$

$$\begin{bmatrix} 9 & \sum_{i=6}^8 [c_{iE} \cdot (x_{2E} - x_{iE})] \\ 9 \cdot x_{s1} & \sum_{i=6}^8 [c_{iE} \cdot (x_{iE} \cdot x_{2E} - x_{iE}^2)] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{pzLF1} \\ \tan \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \end{bmatrix}$$

Éq. 30

### Tous les circuits de suspension pneumatique dépressurisés - Appui sur les ressorts d'abaissement

Lorsque les suspensions pneumatiques sont dépressurisées, la caisse de wagon s'appuie uniquement sur les ressorts d'abaissement.

Les forces des ressorts d'abaissement qui se rapportent à l'axe pendulaire sont de

$$F_{piZE} = c_{piE} \cdot z_{piE}$$

Le point de rotation de tangage se trouve dans l'accouplement de voiture. Le déport  $z_0$  de l'accouplement de voiture donne les valeurs suivantes pour les courses  $z$  des ressorts d'abaissement

$$z_{piE} = z_K + \Delta z_{piE} \quad \text{Éq. 31}$$

et l'écart  $x_{iE}$  des ressorts d'abaissement par rapport à l'accouplement de voiture donne l'angle de tangage  $\eta$

$$\eta = \arctan \frac{z_{piE}}{x_{iE}} \quad \text{Éq. 32}$$

Le reste des forces pendulaires se calculent par

$$F_{piZE1} = c_{piE} \cdot z_{piE} \quad \text{voiture d'extrémité} \quad \text{Éq. 33}$$

L'angle de tangage  $\eta$  et la compression statique de base  $z_K$  résultent du système d'équations suivant :

$$A \cdot \bar{x} = b \quad \text{pour}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^8 c_{piE} + \sum_{i=1}^4 c_{piM} & \sum_{i=1}^8 (c_{piE} \cdot x_{iE}) \\ \sum_{i=1}^8 (c_{piE} \cdot x_{iE}) & \sum_{i=1}^8 (c_{piE} \cdot x_{iE}^2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_0 \\ \tan \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5F_{zWKE} + 0,25F_{zWKM} \\ 0,5(F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE}) \end{bmatrix} \quad \text{Éq. 34}$$

### Déports Y et angle de lacet de la caisse de wagon

Les charges pendulaires y et l'angle de lacet de la caisse de wagon peuvent être déduits de manière analogue aux charges pendulaires z et à l'angle de tangage. Là aussi, on se base sur une connexion 5 + 3 des suspensions pneumatiques de la voiture d'extrémité.

Parallèlement aux pendules, des ressorts supplémentaires y sont disposés sur les cadres de sustentation 2 et 3 ainsi que 6 et 7.

Comme déjà indiqué, la modification de la connexion des suspensions pneumatiques ou la disposition des ressorts supplémentaires y nécessite une adaptation des équations.

Le déport statique de base dans le sens latéral est égal à  $y_0$ , ce qui correspond au déport y de l'accouplement de voiture  $y_K$ .

Le déport supplémentaire y résultant du lacet  $\Delta y_i$  pour les cadres de sustentation  $i = 1,8$  résulte de l'angle de lacet  $\delta_{xy}$

$$\tan \delta_{xy} = \frac{\Delta y_i}{x_{ZF_i}} \quad \text{Éq. 35}$$

Le déport y des points d'attaque du pendule de la voiture d'extrémité est de

$$y_{pi} = y_K + \Delta y_i \quad \text{avec } i = 1,8 \quad \text{Éq. 36}$$

Le reste des forces pendulaires se calculent par

$$F_{piy} = \frac{y_{pi}}{l_p} \cdot F_{piz} \quad i = 1,8 \quad \text{Éq. 37}$$

Les forces du ressort supplémentaire y sont obtenues de l'équation

$$F_{ZFiy} = c_{ZF} \cdot y_{pi} \quad \text{Éq. 38}$$

L'angle de lacet  $\delta_{xy}$  et la compression statique de base  $y_K$  résultent du système d'équations suivant :

$$A \cdot \bar{x} = b \quad \text{avec}$$

$$f_1 = 2 \sum_{i=1}^8 (F_{pizE} \cdot \frac{x_{iE}}{l_p}) + c_{ZF} \cdot (x_{2E} + x_{3E} + x_{6E} + x_{7E})$$

$$f_2 = 2 \sum_{i=1}^8 (F_{pizE} \cdot \frac{x_{iE}^2}{l_p}) + c_{ZF} \cdot (x_{2E}^2 + x_{3E}^2 + x_{6E}^2 + x_{7E}^2)$$

$$f_3 = \frac{2}{l_p} \sum_{i=1}^8 F_{piE} + \frac{2}{l_p} \sum_{i=1}^4 F_{piM} + 6 \cdot c_{ZF}$$

$$f_4 = \frac{2}{l_p} \sum_{i=1}^8 (F_{piE} \cdot x_{iE} + c_{ZF} + x_{2E} \cdot (x_{2E} + x_{3E} + x_{6E} + x_{7E}))$$

$$\begin{bmatrix} f_1 & f_2 \\ f_3 & f_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_0 \\ \tan \delta_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{yWKE} \cdot x_{sE} + F_{ySWE} \cdot x_{SWE} \\ F_{yWKE} + 0,5F_{yWKM} + F_{ySWE} + 0,5F_{ySWM} \end{bmatrix}$$

Éq. 39

## Correction de l'entrefer de guidage dans le cas d'une voie courbe

Une courbure de la voie entraîne des écarts locaux entre l'entrefer réel et l'entrefer voulu en raison de la courbure des rails de guidage latéraux sur la longueur de l'aimant. L'importance de ces écarts dépend du rayon de courbure R et de la position des capteurs d'entrefer (écart d). La courbure de la voie réduit l'entrefer libre. Selon la Figure 81, l'entrefer voulu est présent au niveau de la position de mesure des capteurs d'entrefer, l'entrefer est réduit de  $\Delta s_1$  entre les capteurs et augmente de  $\Delta s_2$  aux extrémités de l'aimant. Le facteur important est l'entrefer  $\Delta s_1$ .

L'entrefer total lors du franchissement d'un virage est de

$$F_R = \Delta s_1 + \Delta s_2 \quad \text{Éq. 40}$$

$$F_R = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{L_{FM}}{2}\right)^2} \quad \text{Éq. 41}$$

La différence d'entrefer au centre de l'aimant de guidage se calcule sous la forme

$$\Delta s_1 = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \quad \text{Éq. 42}$$

La différence d'entrefer aux extrémités de l'aimant de guidage est de

$$\Delta s_2 = F_R - \Delta s_1 \quad \text{Éq. 43}$$

Valeurs de correction pour une longueur d'aimant  $L_{TM} = 3050$  mm et un écart entre capteur d'environ 2300 mm.

Rayon [m]	$F_R$ [mm]	$\Delta s_1$ [mm]	$\Delta s_2$ [mm]
350	3,3	1,8	1,5
1000	1,2	0,7	0,5
2000	0,6	0,3	0,3
Ligne droite	0	0	0

Tableau 78 : Influence du rayon de courbure sur l'entrefer de guidage

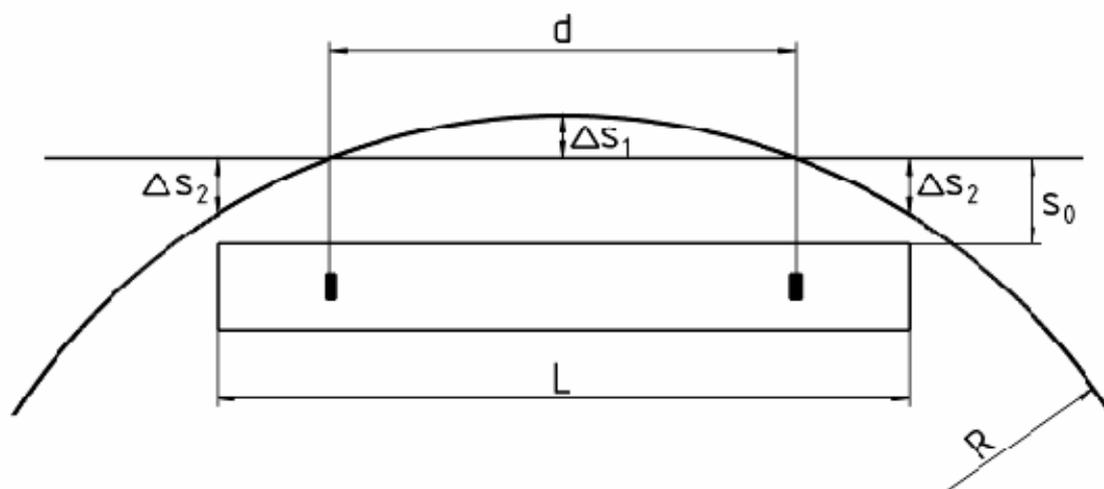


Figure 81 : Correction de l'entrefer de guidage lors du franchissement d'un virage

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

**Rame**

**Partie IV**

**Système de levage / de guidage**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

---

Titre           Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Rame Partie IV Système de levage / de guidage

Doc. n° :      73388           Version   finale           Date de publica-   15.02.2007           Page 1  
  tion



**Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Rame à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Rame

---

Titre	Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique		
	Rame Partie IV Système de levage / de guidage		

Doc. n° :	73388	Version	finale	Date de publica- tion	15.02.2007	Page 4
-----------	-------	---------	--------	--------------------------	------------	--------

**Table des matières**

<b>Destinataires</b> .....	<b>3</b>
<b>Aperçu des modifications</b> .....	<b>4</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>5</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>8</b>
Objectif et champ d'application.....	8
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	8
Abréviations et définitions.....	9
Lois, décrets, normes et directives .....	9
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	9
<b>Définitions (spécifiques à la rame)</b> .....	<b>10</b>
<b>Exigences générales relatives au système de levage / guidage</b> .....	<b>14</b>
Fonction .....	14
Dimensionnement.....	14
Exigences de sécurité.....	15
Généralités .....	15
Exigences relatives à l'alimentation en énergie du bord .....	16
Exigences relatives à l'exécution d'une instruction d'abaissement .....	17
Défauts systématiques dans les dispositifs de régulation magnétique .....	17
Maintien des propriétés relatives à la sécurité des circuits de régulation magnétique .....	18
Contournement de la foudre.....	18
ESD.....	18
<b>Exigences relatives aux modules du système de levage / guidage</b> .....	<b>19</b>
Modules structurels du système de levage / guidage .....	19
Structure du châssis et habillage du châssis .....	19
Articulation de la caisse de wagon / suspension secondaire .....	20
Articulation magnétique .....	21
Patin de levage .....	21
Modules fonctionnels du système de levage / guidage.....	22
Fonction de levage .....	22
Fonction de guidage .....	25
Alimentation en énergie de bord.....	26
Commande / surveillance relatives à la sécurité .....	28

<b>Effets du système de levage / guidage sur la voie.....</b>	<b>29</b>
Généralités .....	29
Types d'effets et combinaisons d'effets.....	29
Valeurs caractéristiques et schémas de charge.....	30
Généralités .....	30
Poids propre et charge d'exploitation de la rame .....	31
Charges quasi-statiques résultant de la dynamique de roulage .....	32
Charges quasi-statiques résultant du vent latéral (sans poussée verticale).....	33
Charges quasi-statiques résultant des forces de rappel dans le cas des petits rayons de virage.....	34
Charges résultant de la propulsion et du freinage avec le stator long .....	37
Charges maximales au niveau du point de jonction aimant de levage – paquet de tôles statoriques.....	37
Charges maximales au niveau du point de jonction aimant de guidage – rail de guidage latéral .....	42
Charges maximales au niveau du point de jonction patin de levage – plan de glissement.....	45

**Index des illustrations**

Fig. 1: Vue latérale et vue transversale (schéma de principe) .....	11
Fig. 2: Module magnétique (exemple de réalisation) .....	11
Fig. 3: Aimant de levage / de guidage (exemple de réalisation) .....	11
Fig. 4: Patin de levage (exemple de réalisation) .....	13
Fig. 5: Courbe type de stat $p_z \pm \Delta$ stat $p_z$ .....	32
Fig. 6: Courbe type de $p_{y, SW}$ avec $v_{Fzg} = 400$ km/h et vent latéral = 37m/s .....	34
Fig. 7: Courbe type de $p_{y, ZWG}$ .....	36
Fig. 8: Schéma de charge type d'un aimant de levage sans perturbation technique ni panne (exemple) .....	40
Fig. 9: Schéma de charge type d'un aimant de levage avec panne du circuit de régulation magnétique de levage (exemple) .....	41
Fig. 10: Schéma de charge type des aimants de guidage (exemple) .....	45
Fig. 11: Schéma de charges d'un patin de levage (exemple) .....	47

**Index des tableaux**

Tableau 1 : Synthèse des états de chargement de la rame .....	30
Tableau 2 : Charges linéaires statiques caractéristiques de la rame (moyennes) .....	31
Tableau 3 : Effets résultant du vent latéral sur la rame .....	33
Tableau 4 : Réaction locale maximale .....	36
Tableau 5 : Forces de propulsion / freinage avec le stator long .....	37
Tableau 6 : Charges maximales de l'aimant de levage .....	38
Tableau 7 : Charges linéaires maximales .....	42
Tableau 8 : Effort de tamponnement maximum .....	43
Tableau 9 : Forces maximales des patins de levage .....	45

## Généralités

## Objectif et champ d'application

Les présents « Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame Partie IV - Système de levage/guidage » définissent les exigences indépendantes du projet relatives au système de levage et de guidage des rames du TSM.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

La partie IV est à utiliser lors de la spécification, de l'exécution et de la justification du système de levage/guidage des rames du TSM et comprend :

- Définition du système de levage / guidage,
- Exigences relatives aux fonctions du système de levage / guidage,
- Effets du système de levage / guidage sur la voie.

## Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure de la documentation est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

La documentation relative à la rame contient les documents suivants :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie I : Exigences générales, document n° : 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie II : Dimensionnement, document n° : 67694, /MSB AG-FZ BEM/

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie III : Gabarit cinématique, document n° : 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie IV : Système de levage / de guidage, document n° : 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie V : Technique de freinage, document n° : 73389, /MSB AG-FZ BREMS/

## Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

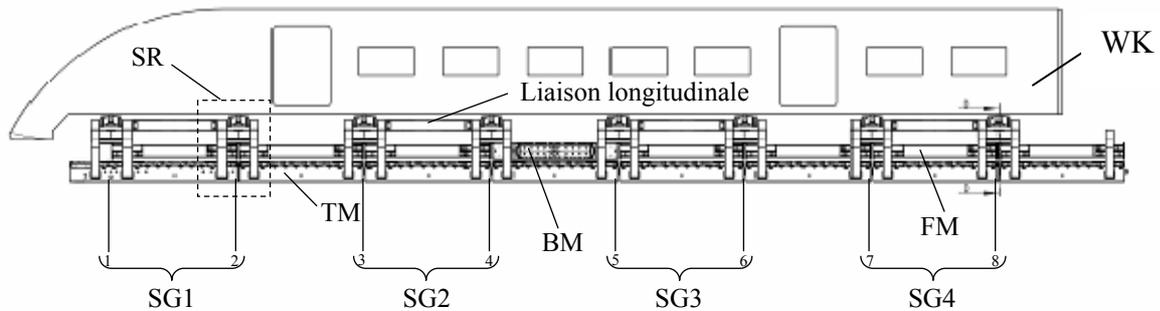
Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

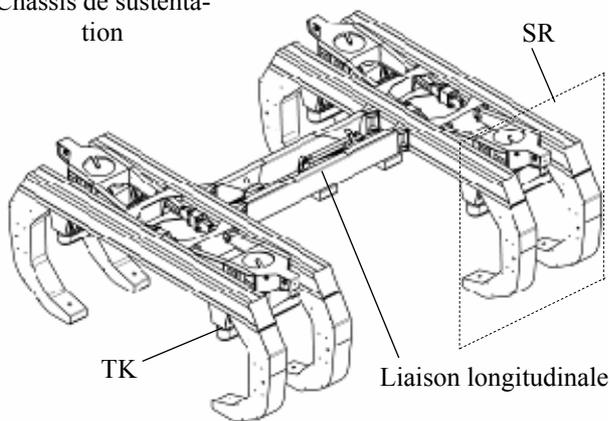
- les exigences sont rédigées en écriture standard,
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en italique.

Si des remarques à propos de règles spécifiques au projet sont indiquées dans le présent document dans un cas particulier, cela veut dire qu'il faut convenir d'un accord entre le constructeur et l'opérateur (*par exemple dans un cahier des charges ou une règle contractuelle*) en impliquant le service d'homologation.

**Définitions (spécifiques à la rame)**



Châssis de sustentation



- SG = Châssis de sustentation
- SR = Cadre de sustentation  
(2 étriers de châssis + pièces de liaison)
- TM = Aimant de levage
- FM = Aimant de guidage
- BM = Aimant de freinage
- TK = Patin de levage
- WK = Caisse de wagon

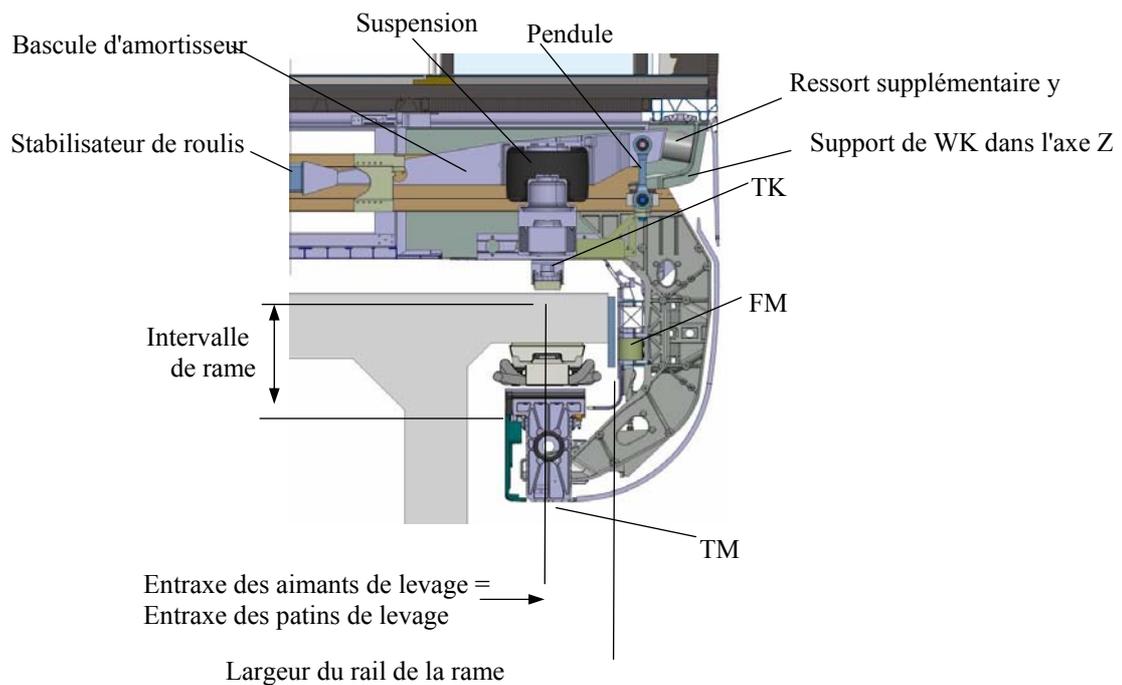




Fig. 82: Vue latérale et vue transversale (schéma de principe)

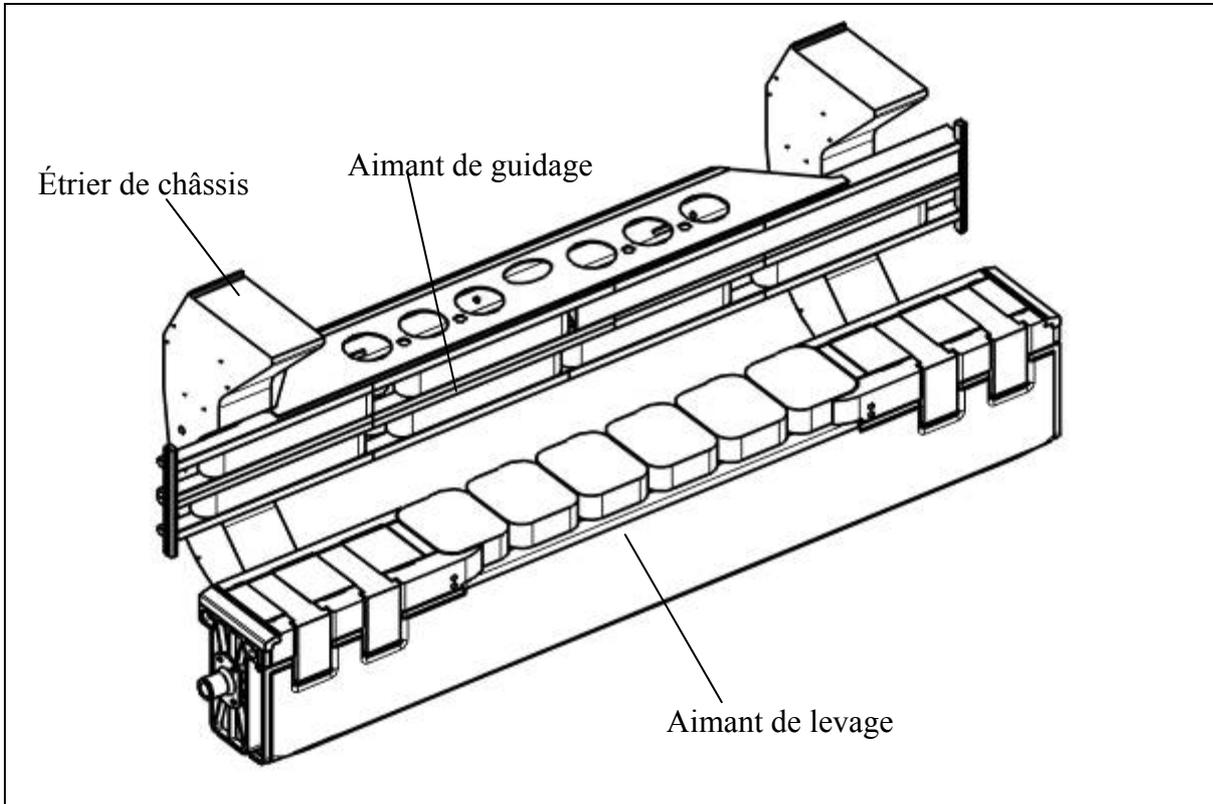


Fig. 83: Module magnétique (exemple de réalisation)

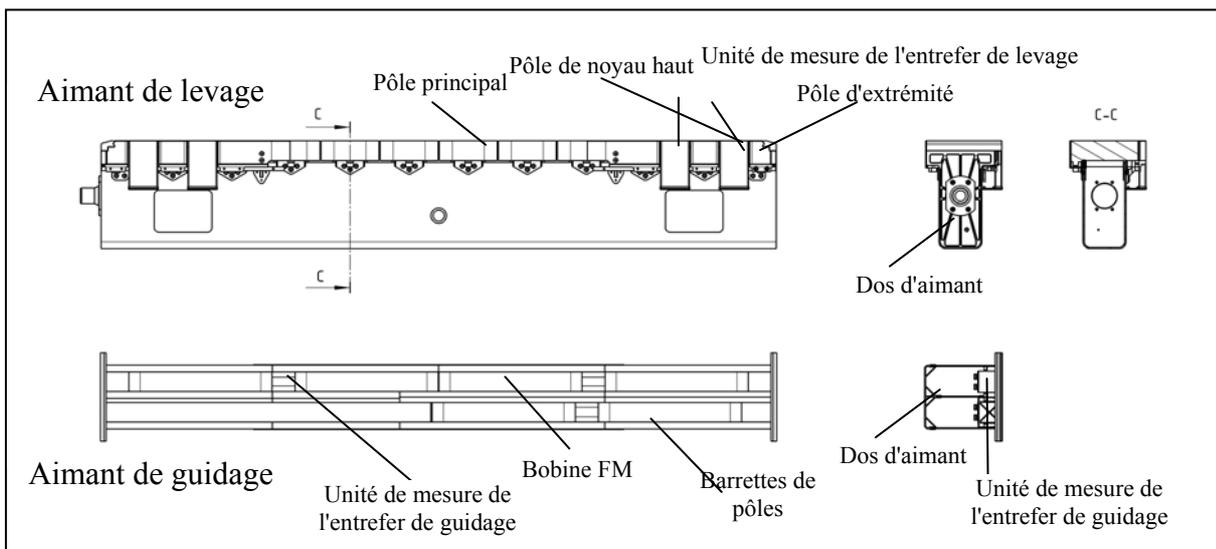
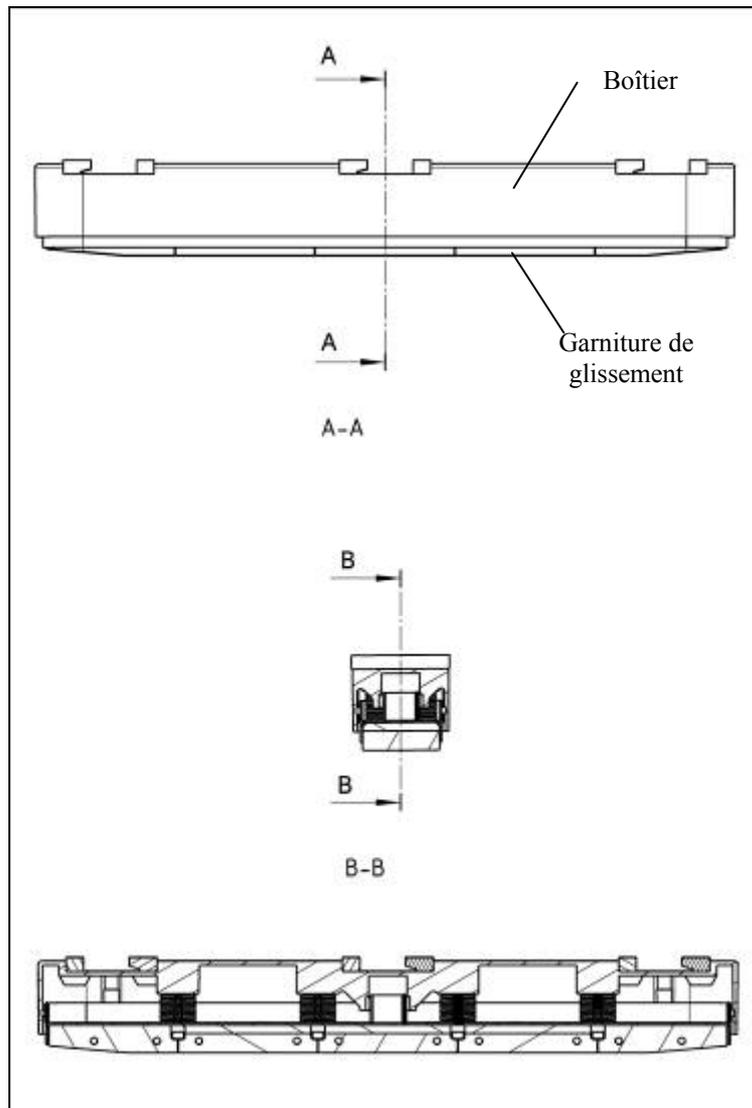


Fig. 84: Aimant de levage / de guidage (exemple de réalisation)



Fig. 85: *Patin de levage (exemple de réalisation)*

## Exigences générales relatives au système de levage / guidage

### Fonction

Voir la description dans /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le système de levage/guidage des rames de TSM doit assurer les fonctions suivantes dans toute la plage spécifiée de vitesses et de tracés :

- Levage et guidage magnétiques au moyen d'aimants de levage et de guidage à alimentation régulée.
- Levage magnétique à l'aide de patins de levage dans des situations exceptionnelles ou en cas de panne et lorsque la rame est à l'arrêt (abaissée), fréquence indiquée dans /MSB AG-FZ BEM/, chapitre 8.
- Guidage mécanique, par exemple au moyen d'éléments de glissement sur les aimants de guidage en présence de rares défauts ou pannes techniques et en présence de situations opérationnelles exceptionnelles (superposition des effets des situations opérationnelles extrêmes).  
Une limitation de la vitesse est éventuellement nécessaire en présence de rayons serrés ( $R_H < 600 \text{ m}$ ) afin de garantir l'absence de contact.

### Dimensionnement

Il faut déterminer en utilisant /MSB AG-FZ BEM/ les charges qui sont transmises par les composants de la structure et les articulations du système de levage/guidage et en tenir compte lors du dimensionnement.

Les charges doivent être documentées dans le cahier des charges (charges de dimensionnement).

Pour les composants transmettant une charge, il faut apporter la justification de l'aptitude d'absorption des charges (justification de contrainte générale) et de résistance à la fatigue conformément aux indications de /MSB AG-FZ BEM/.

Les entrefers entre les aimants de levage et le paquet de tôles statoriques, entre les aimants de guidage et les rails de guidage latéraux et entre les patins de levage et le plan de glissement sont à déterminer en tenant compte des tolérances de construction, de la déformation en fonction de la charge, des grandeurs influentes opérationnelles correspondantes (par exemple tracé, vitesse, usure du revêtement glissant, etc.) et des conditions environnantes et documentés dans un bilan des entrefers.

## Exigences de sécurité

Il faut observer les exigences de sécurité de l'Article 19, /MbBO/ pour le système de levage/guidage composé des dispositifs magnétiques et mécaniques.

### Généralités

La fonction de levage/guidage est à réaliser de manière durable.

Il faut justifier de cette propriété par un justificatif de sécurité selon /EN 50126/. La justification de la sécurité se base sur une analyse du risque. Cette dernière doit contenir les éléments suivants :

- Description du système de levage / guidage et des fonctions de protection,
- Description des modules qui participent au système de levage / guidage, de leurs fonctions, combinaisons et influences réciproques,
- Identification des modules et fonctions qui sont responsables de la sécurité.

*Les mentions relatives à la méthode de réalisation de l'analyse du risque figurent dans les normes /prEN 50126-2/ et /prR009-004/.*

*Les exigences et justifications relatives aux modules structurels du système de levage/guidage sont indiquées au chapitre 0.*

*Les exigences et justifications relatives aux modules fonctionnels du système de levage/guidage sont indiquées au chapitre 0.*

Il faut définir le niveau SIL selon /EN 50129/ des équipements électroniques du système de levage/guidage en se basant sur l'analyse du risque et en tenir compte lors de la justification relative au matériel.

Pour les logiciels du système de levage/guidage, il faut tenir compte des niveaux d'exigence de sécurité des logiciels déterminés en se basant sur l'analyse du risque et en tenir compte de la justification selon /EN 50128/.

Il faut tenir compte des défaillances possibles par une analyse appropriée et en tenir compte lors de la justification de la sécurité.

Il faut au moins tenir compte des défauts suivants dans ladite analyse :

- Défaut dans l'alimentation en énergie de bord,
- Exécution intempestive d'une instruction d'abaissement,
- Erreur systématique (logiciel, matériel).

Il faut justifier de la durabilité des propriétés de levage/guidage au moyen d'une analyse appropriée avant la mise en service du système. La justification théorique est à vérifier après la mise en exploitation au moyen d'une évaluation des données du cycle de vie des modules.

## Exigences relatives à l'alimentation en énergie du bord

*Les exigences relatives à l'alimentation en énergie du bord résultent notamment des exigences relatives au système de levage/guidage et au freinage sécurisé ainsi qu'aux autres systèmes de la rame en rapport avec la sécurité. Les mentions ci-après se rapportent au système de levage/guidage.*

Il faut s'assurer que la disponibilité de l'alimentation en énergie du bord dans son ensemble est conforme aux exigences du concept de sécurité (par exemple *panne électrique de la barre de distribution de plus d'un réseau partiel*) si la conséquence à cela pourrait être un abaissement total ou partiel de la rame ou une défaillance du frein de sécurité.

*Comme des défauts isolés dans les systèmes électriques ne peuvent pas être exclus avec une certitude suffisante, il en résulte une obligation de redondance, ce qui veut dire qu'il faut prévoir pour chaque voiture un nombre suffisant de réseaux indépendants les uns des autres et séparés électriquement / mécaniquement de sorte que le réseau défectueux n'affecte par les réseaux restants et que la fonction de levage / guidage soit maintenue.*

Pour accroître la disponibilité, il convient que ces réseaux soient hors potentiel, c'est-à-dire non reliés directement avec la masse de la rame afin qu'ils ne puissent pas être déconnectés en cas de court-circuit à la masse.

Il faut prévoir d'autres dispositifs qui garantissent la capacité de puissance des réseaux nécessaire pour maintenir la fonction de levage/guidage (par exemple des batteries) et qui garantissent la sustentation et le freinage sécurisé d'une rame après son démarrage (voir aussi /MSB AG-BLT/, chapitre 6.3.3.1 et chapitre 6.3.3.3).

Il faut empêcher par un dispositif technique approprié la possibilité de déconnexion intempestive de tous les réseaux qui sont nécessaires pour le maintien de la fonction de levage/guidage et de la fonction de freinage pendant une mission, par exemple suite au déclenchement d'une instruction de désarmement centrale. Une instruction de désarmement ne doit pouvoir être exécutée que lorsque la rame est à l'arrêt et abaissée.

Les défauts ou les pannes dans la commande de désarmement ne doivent pas donner lieu à un désarmement non voulu. Un désarmement doit être possible même si la commande de désarmement n'est plus opérationnelle suite à un défaut ou une panne. L'accès aux dispositifs de désarmement correspondants doit être rendu difficile de sorte que seuls des opérateurs informés puissent provoquer leur déclenchement.

Il faut tenir compte de ce qui suit :

La justification d'une probabilité suffisamment faible d'une panne de l'alimentation en énergie du bord est considérée apportée s'il existe pour l'alimentation en énergie du bord une justification selon le chapitre 0 et si les justifications suivantes sont apportées :

1) Redondance suffisante

Une redondance suffisante veut dire que le nombre de réseaux indépendants les uns des autres et séparés électriquement et mécaniquement est suffisamment élevé pour que malgré une panne supposée du réseau, il reste toujours suffisamment d'énergie à bord pour que les fonctions de levage et de guidage puissent être maintenues conformément aux exigences résultant du concept de sécurité.

2) Séparation électrique et mécanique des réseaux

La séparation électrique et mécanique des réseaux est considérée prouvée si le respect des exi-

gences selon /EN 50124-1/ « Applications ferroviaires - Coordination de l'isolement » est justifié. Pour apporter cette justification, il faut réaliser des contrôles selon modèle-type des modules, des contrôles en fabrication lors de la construction de la rame et des essais de mise en service sur une rame.

### 3) Capacité de puissance des réseaux

Il faut prouver par un justificatif mathématique et pratique que les équipements prévus et existants remplissent leur rôle en vue de maintenir la capacité de puissance des réseaux en cas de panne totale ou partielle de l'alimentation en énergie du bord. Il faut apporter cette justification pour les profils de roulage représentatifs sous les conditions d'utilisation spécifiques au projet.

### 4) Désarmement

Il faut justifier au moyen des schémas et d'essais pratiques que l'instruction de désarmement centrale ne peut être exécutée que lorsque la rame est à l'arrêt et abaissée.

Pour la commande de désarmement, il faut réaliser une justification de la sécurité en se basant sur une analyse appropriée. Il faut prouver que toute panne supposée mène au côté sécurisé, c'est-à-dire au non-déclenchement du désarmement.

De plus, il faut justifier par un contrôle des plans de construction et des dispositifs de commande des rames que l'accès aux dispositifs de désarmement à commande manuelle est suffisamment difficile pour que seuls des opérateurs informés puissent provoquer l'exécution de l'instruction de désarmement.

## **Exigences relatives à l'exécution d'une instruction d'abaissement**

La commande d'abaissement centrale doit être générée et liée logiquement par une fonction ET avec la vitesse déterminée de manière autonome dans chaque unité de levage/guidage de telle sorte que ladite commande d'abaissement ne puisse être exécutée de manière décentralisée que lorsque la vitesse de la rame est inférieure à la vitesse d'abaissement autorisée.

Pour la commande d'abaissement, il faut apporter un justificatif prouvant que même avec toutes les pannes supposées, il existe une probabilité suffisante pour que l'instruction d'abaissement ne puisse être exécutée qu'au-dessous de la vitesse d'abaissement.

## **Défauts systématiques dans les dispositifs de régulation magnétique**

Il faut effectuer la justification selon EN 50128 et EN 50129 pour prouver que les défauts systématiques dans le matériel et, s'il y a lieu, dans le logiciel des dispositifs correspondants de mesure, de commande, de régulation et de surveillance des circuits de régulation magnétique sont suffisamment improbables.

Les dispositifs de diagnostic et de régulation sont à réaliser séparément sur le plan matériel.

## Maintien des propriétés relatives à la sécurité des circuits de régulation magnétique

*La sustentation électromagnétique représente un état régulé avec lequel un entrefer prédéfini est maintenu entre le paquet de tôles statoriques ou le rail de guidage latéral et les aimants de levage ou de guidage avec des tolérances données selon un bilan d'entrefer spécifique au projet.*

Des pannes dans la partie puissance ou dans le dispositif de mesure, commande, régulation et surveillance des circuits de régulation magnétique peuvent entraîner une augmentation de la force magnétique au point que l'entrefer devienne nul et que des forces non admissibles agissent sur la structure de la rame et de la voie. Par conséquent, il faut exclure ce type de panne avec une sécurité suffisante à l'aide d'un dispositif de surveillance à sécurité intrinsèque approprié.

S'il se produit une panne durable dans le dispositif de surveillance, celle-ci doit également entraîner une suppression du champ magnétique. Le dispositif de surveillance est à associer de manière autonome à chaque circuit de régulation magnétique.

Il faut justifier par une analyse des effets d'une panne que les dispositifs de surveillance des circuits de régulation à réaliser en sécurité intrinsèque, en cas de panne, initient immédiatement le processus de désactivation avec une probabilité suffisante.

Il faut justifier par un contrôle des schémas électriques et un contrôle pratique sur les circuits de régulation magnétique complets que les dispositifs de surveillance sont obligatoirement activés lors de la mise en circuit de la régulation de l'entrefer magnétique et qu'ils ne sont pas influençables depuis l'extérieur.

## Contournement de la foudre

Concernant la foudre, il faut définir au niveau de la rame pour les voitures en sustentation des chemins et des points de contournement de la foudre vers la voie.

## ESD

Les charges électrostatiques de la rame doivent être évacuées dans toutes les situations opérationnelles dans lesquelles il existe une possibilité de contact entre la rame et des personnes reliées au potentiel de la terre.

L'article 17, paragraphe 4 de /MbBO/ s'applique en conséquence.

## **Exigences relatives aux modules du système de levage / guidage**

# **Modules structurels du système de levage / guidage**

Les modules structurels du système de levage/guidage doivent être dimensionnés conformément à /MSB AG-FZ BEM/.

## **Structure du châssis et habillage du châssis**

### **Structure de châssis**

La fonctionnalité des composants nécessaires pour la dynamique de roulage et le franchissement des virages, points bas et sommets ainsi que les espaces libres correspondants doivent être configurés de manière à empêcher toute restriction du roulage de la rame sous des conditions environnementales définies selon /MSB AG-UMWELT/ ou spécifiquement au projet.

Les fixations et les liaisons doivent être accessibles pour les inspections.

Il faut prévoir des mesures contre la perte de pièces.

La structure de châssis doit être réalisée de telle sorte que la défaillance d'un composant ne donne pas lieu à un état critique pour la sécurité. Il faut justifier de cette propriété à l'aide d'une analyse des effets d'une panne (FMEA).

Il faut réaliser la structure de châssis de manière à garantir le comportement spécifié dans les cas de collision décrits dans le chapitre 8.4, /MSB AG-FZ BEM/.

### **Habillage du châssis**

Les pièces d'habillage doivent être dimensionnées de manière à résister aux conditions d'utilisation en tenant compte des charges de dimensionnement selon /MSB AG-FZ BEM/ et en tenant compte des formes des oscillations propres et du comportement résonant et en tenant également compte des sollicitations résultant des manipulations lors de l'entretien.

Dans la mesure où il doit être possible de déposer des pièces de l'habillage extérieur pour pouvoir accéder aux espaces de montage dans la partie inférieure du châssis pour des opérations d'entretien, il faut prévoir des fermetures qui signalent (par exemple visuellement) l'état actionné mais encore verrouillé et l'état non verrouillé.

## **Articulation de la caisse de wagon / suspension secondaire**

### **Suspension Z**

Le soutien des caisses de wagon est défini de manière statique et doit être réalisé avec un découplage dynamique du système de levage/guidage (*de préférence par des suspensions pneumatiques*). Il faut limiter le battement entre les châssis de sustentation et les caisses de wagon vers le haut et le bas.

### **Régulation du niveau / commande de la suspension pneumatique**

L'arrivée et l'évacuation de l'air dans le soufflet de la suspension pneumatique ne doivent être possibles que lorsque l'unité de contrôle commandée est active.

Il doit être possible de diminuer partiellement et de manière contrôlée la pression dans le soufflet de la suspension pneumatique.

Il faut prévoir une surveillance des pressions dans les conduites de distribution et dans les suspensions pneumatiques individuelles. Il convient qu'une panne soit signalée par le diagnostic de la rame en vue de l'entretien. Il convient que l'information de diagnostic identifie et localise clairement le module concerné. La réaction du système est à définir en fonction du projet.

### **Suspension Y**

Il faut tenir compte dans /MSB AG-FZ KIN/ des articulations dans le sens Y.

### **Stabilisateur de roulis**

Il faut tenir du roulis possible de la caisse de wagon dans /MSB AG-FZ KIN/.

Pour des raisons de confort, le roulis de la caisse de wagon doit être limité par rapport aux cadres de sustentation et conçu spécifiquement au projet.

En cas de vent latéral ou lors de l'accélération latérale maximale, il faut considérer une valeur maximale de  $1,5^\circ$  comme indication pour le roulis de la caisse de wagon.

### **Comportement en cas de panne**

Les pannes des modules pneumatiques et électriques individuels de la suspension Z en interaction avec les modules mécaniques de la suspension secondaire ne doivent pas entraîner une interruption du roulage. Il faut justifier de cette propriété à l'aide d'une analyse appropriée, voir chapitre 0.

Il faut vérifier la fonction et le comportement en cas de panne des modules pneumatiques et électriques de la suspension Z en interaction avec les modules mécaniques de la suspension secondaire dans le cadre de la mise en service de la rame.

Si la pression des suspensions pneumatiques devient inférieure à une valeur donnée, il doit se produire une séparation/déconnexion du soufflet de suspension pneumatique concerné de la conduite commune.

## Articulation magnétique

Il faut réaliser l'articulation magnétique de telle sorte que la défaillance d'une pièce individuelle n'affecte pas la sécurité et la disponibilité de la fonction de levage/guidage. Il faut justifier de cette propriété à l'aide d'une analyse appropriée.

*Cela veut dire que l'exploitation peut se poursuivre en cas de panne et que l'état sécurisé est maintenu.*

Les pannes doivent être identifiées par des inspections.

## Patin de levage

Il faut vérifier les valeurs limites des forces statiques et dynamiques en fonction du projet.

Il faut réaliser la suspension et l'amortissement des patins de levage et de leurs suspensions de manière à ne pas dépasser les charges limites en cas d'abaissement non régulé.

Les dommages du revêtement glissant ou de la suspension des patins de levage ne doivent pas entraîner une perte de la capacité de charge mécanique.

Les dommages ou l'usure doivent être identifiés par des inspections.

Il faut justifier du comportement en cas de panne à l'aide d'une analyse appropriée, voir chapitre 0.

Il faut justifier du glissement en référence aux critères d'usure et d'échauffement avec des prototypes et/ou dans une rame représentative.

Il faut justifier du comportement en cas de charge de choc par des essais ou des simulations numériques.

## **Modules fonctionnels du système de levage / guidage**

### **Fonction de levage**

#### **Régulation du levage**

Il faut réaliser une régulation décentralisée de l'entrefer de levage dans des modules autonomes redondants. En cas de violations des valeurs limites spécifiques au projet (par exemple entrefer minimum), le circuit de régulation doit se désactiver suffisamment vite pour exclure tout dépassement des charges théoriques spécifiques au projet pour la rame et la voie. Cette opération doit être réversible.

#### **Mesure de l'entrefer de levage**

L'entrefer de levage entre la surface des pôles des aimants de levage et la surface du paquet de tôles statoriques qui fait face à l'aimant de levage doit être mesuré sans contact par un système de mesure de l'entrefer de levage.

Il faut tenir compte lors de la conception du système de mesure de l'entrefer de levage de l'interstice d'allongement aux extrémités des supports de voie, des dispositifs de changement de voie, des transitions des supports sur les ouvrages porteurs primaires ainsi que des paquets de tôles statoriques voisins.

Il faut tenir compte des influences sur la précision de mesure de l'entrefer de levage.

Les exigences relatives à la mesure de l'entrefer de levage pour les propriétés des paquets de tôles statoriques sont à définir spécifiquement au projet, voir /MSB AG-FW ÜBG/.

#### **Production de force**

*L'équipement du châssis de sustentation avec les aimants de levage est représenté à titre d'exemple dans la Fig. 83.*

Le roulis des aimants de levage autour de l'axe X en l'état de sustentation et à limiter spécifiquement au projet. Il faut tenir compte de l'influence d'un éventuel roulis sur la répartition des forces et la mesure de l'entrefer.

Les pôles d'un aimant de levage doivent pouvoir être distribués électriquement sur au moins deux circuits de régulation séparés.

Les circuits de régulation peuvent permettre un mouvement translatore dans le sens Z et une rotation autour de l'axe Y.

**Comportement en cas de panne**

Les circuits de régulation du levage doivent présenter des dispositifs de surveillance qui, en cas de panne d'un composant relatif à la sécurité avec perte de redondance, désactivent le circuit de régulation suffisamment vite pour exclure tout dépassement des charges théoriques spécifiques au projet pour la rame et la voie.

En cas de panne d'un circuit de régulation de levage individuel, la fonction de levage doit être maintenue par un circuit de régulation redondant.

Dans le cas des pannes qui entraînent une défaillance de la fonction de levage magnétique au niveau d'un cadre de sustentation, l'installation technique de commande doit limiter automatiquement la portion de déplacement en fonction de la course de glissement admissible du patin de levage / plan de glissement. Dans ce cas, la fonction de levage du cadre de sustentation doit être prise en charge par un patin de levage. La réaction opérationnelle et la réparation sont à définir en fonction du projet.

En cas de court-circuit de l'enroulement du stator long d'un côté de la rame, il peut être toléré que la fonction de levage du côté longitudinal correspondant de la rame soit désactivée de manière réversible et que la rame s'abaisse unilatéralement de manière non régulée. La fonction de levage magnétique soit être rétablie automatiquement lorsque la rame a quitté la zone de l'enroulement en court-circuit.

La fonction de sustentation doit être garantie si la foudre frappe la rame. Les circuits de régulation individuels peuvent ici être désactivés pendant une courte durée, mais il ne doit pas se produire de pannes persistantes au niveau des modules individuels. Les circuits de régulation désactivés doivent ensuite se réactiver automatiquement.

**Signalisation de la panne, diagnostic**

En vue de la réparation, il faut identifier par le diagnostic de la rame une perte de redondance liée à la panne d'un module et la signaler.

Il convient que l'information de diagnostic identifie et localise clairement le module concerné.

Dans le cas de dispositifs relatifs à la sécurité qui ne présentent pas de dispositif de signalisation automatique d'une panne, la signalisation des pannes doit avoir lieu par des contrôles de fonctionnement / des inspections périodiques. Les critères de contrôle et les intervalles sont à déterminer par une analyse appropriée.

**Justificatifs**

Pour les modules du circuit de régulation magnétique, il faut fournir un contrôle de qualification réalisé avec des prototypes, lequel permet de justifier des caractéristiques : fonction, comportement en cas de panne, signalisation des pannes, compatibilité avec l'environnement.

Il faut effectuer une analyse appropriée pour justifier de la durabilité de la fonction de levage/guidage, voir chapitre 0.

Le comportement en cas de panne est à justifier par des pannes simulées des composants sur les cadres de sustentation individuels sur un banc d'essai et lors d'essais techniques en roulage.

---

Il faut vérifier la fiabilité des modules électroniques du circuit de régulation magnétique en déterminant le MTBF et en évaluant les données de cycle de vie avec des modules représentatifs après la mise en service.

La compatibilité du MTBF vérifiée à partir des données de cycle de vie et des hypothèses prévisionnelles de l'analyse est à justifier.

Il faut justifier de la stabilité de fonctionnement des circuits de régulation magnétique sur un banc d'essai avec sollicitation auxiliaire statique et dynamique.

## Fonction de guidage

### Régulation du guidage

Il faut réaliser une régulation décentralisée de l'entrefer de guidage dans des modules autonomes redondants.

### Mesure de l'entrefer de guidage

L'entrefer de guidage entre la surface des pôles des aimants de guidage et la surface du rail de guidage latéral doit être mesuré sans contact par un système de mesure de l'entrefer de guidage.

Il faut tenir compte lors de la conception du système de mesure de l'entrefer de guidage de l'interstice d'allongement aux extrémités des supports de voie et des transitions des supports sur les ouvrages porteurs primaires ainsi que des éléments de glissière voisins.

Il faut tenir compte des influences sur la précision de mesure de l'entrefer de guidage.

Les exigences imposées par la mesure de l'entrefer de guidage aux propriétés des rails de guidage latéraux sont à définir en fonction du projet.

### Production de force

*L'équipement du châssis de sustentation avec les aimants de guidage est représenté à titre d'exemple dans la Fig. 83.*

Le roulis des aimants de guidage autour de l'axe X en l'état de sustentation et à limiter spécifiquement au projet. Il faut tenir compte de l'influence d'un éventuel roulis sur la répartition des forces et la mesure de l'entrefer.

Les bobines d'un aimant de guidage doivent pouvoir être distribuées électriquement sur au moins deux circuits de régulation séparés.

Les circuits de régulation peuvent permettre un mouvement translatoire dans le sens y et une rotation autour de l'axe z.

### Comportement en cas de panne

Les circuits de régulation du guidage doivent chacun être équipés de dispositifs de surveillance qui désactivent le circuit de régulation en toute sécurité en cas de panne d'un composant relatif à la sécurité.

En cas de panne d'un circuit de régulation de guidage individuel, la fonction de guidage doit être maintenue par un circuit de régulation redondant.

Dans le cas des pannes qui entraînent une perte de la fonction de guidage électromagnétique au niveau d'un cadre de sustentation, l'installation technique de commande doit limiter automatiquement

la portion de déplacement en fonction de la course de glissement admissible de l'élément de glissement mécanique sur le rail de guidage latéral.

Après une panne de la fonction de guidage magnétique sur un cadre de sustentation, la fonction de guidage doit être réalisée par un élément de guidage magnétique. Les valeurs limites des charges qui se produisent ici ainsi que de l'usure admissible sont à définir spécifiquement au projet.

Les réactions en cas de foudre doivent être similaires à celles décrites au chapitre 0.

### **Signalisation de la panne, diagnostic**

La signalisation d'une panne doit être similaire à celles décrite au chapitre 0.

### **Justifications**

Les justifications sont à apporter conformément au chapitre 0 et de manière similaire au chapitre 0.

## **Alimentation en énergie de bord**

### **Fonctions et propriétés**

Il faut prévoir une alimentation durable en énergie du bord pour la réalisation des fonctions pérennes de « levage et guidage » et de « freinage sécurisé » ainsi que des autres systèmes de la rame relatifs à la sécurité.

Il faut tenir compte des conditions environnementales selon /MSB AG-UMWELT/ ou spécifiquement au projet.

La fonction durable doit également exister en cas de foudre et après un coup de foudre.

Les réseaux de bord doivent être réalisés de telle sorte que la rame puisse être abaissée en état de désarmement permanent sans qu'une surveillance de sécurité par le personnel soit nécessaire.

### **Sécurité électrique**

Les équipements d'alimentation en énergie du bord doivent satisfaire aux exigences suivantes

- Protection contre les courants corporels dangereux,
- Établissement et garantie de l'absence de tension lors de l'entretien,
- Protection contre les surcharges et les courts-circuits,

conformément aux dispositions des normes /EN 50153/ et /EN 50207/.

### **Alimentation électrique ininterrompible**

Il faut prévoir une alimentation électrique ininterrompible pour l'exécution d'un freinage forcé avec le frein de sécurité. Il faut ici tenir compte des conditions environnementales et opérationnelles les plus défavorables spécifiées.

Il doit exister une réserve d'énergie de bord spécifique au projet supplémentaire en cas de perturbation.

Il faut définir spécifiquement au projet une quantité d'énergie de bord accumulée suffisante pour le fonctionnement de l'éclairage de secours, de la ventilation de secours et des équipements de communication après un arrêt consécutif à une perturbation.

En cas d'utilisation de batteries, il faut prendre des mesures de protection antidéflagrantes en fonction du type de batterie et en conformité avec le concept de sécurité (*par exemple ventilation des batteries avec signalisation de la panne ainsi que surveillance de la température et poursuite du fonctionnement des ventilateurs après le désarmement*).

### **Fonctions de contrôle et de surveillance**

Une réaction automatique du système orientée vers la sécurité doit avoir lieu en cas de panne d'un ou de plusieurs dispositifs importants pour la sécurité de la rame (par exemple réseaux de bord ou ventilation de la batterie) dans une voiture.

Une réaction automatique du système orientée vers la sécurité doit avoir lieu, par exemple, si la quantité d'énergie minimale nécessaire dans un accumulateur d'énergie destiné à l'alimentation électrique ininterrompue n'est plus suffisante pour la réalisation d'un arrêt forcé avec le frein de sécurité suivi d'une durée de fonctionnement minimale des appareillages relatifs à la sécurité nécessaires à l'arrêt (*par exemple éclairage de secours, ventilation de secours, communication*).

### **Comportement en cas de panne**

La panne des modules individuels du réseau de bord ou la panne d'un réseau de bord individuel ne doit pas avoir d'effet sur le fonctionnement. Le roulage doit pouvoir se poursuivre jusqu'à la prochaine station prévue.

Il faut réaliser une tolérance des défauts par court-circuit à la terre par le biais de réseaux de pilotage intégré des transports avec surveillance de l'isolation, par exemple. Voir aussi le chapitre 0.

### **Signalisation de la panne, diagnostic**

Une perte de redondance suite à la panne d'un module doit être signalée par le diagnostic de la rame en vue de l'entretien.

Il convient que l'information de diagnostic identifie et localise clairement le module concerné.

### **Justifications**

Pour les modules spécifiques au TSM de l'alimentation en énergie du bord, il faut fournir un contrôle de qualification réalisé avec des prototypes, lequel permet de justifier de la fonction, du comportement en cas de panne, de la signalisation des pannes et de la compatibilité avec l'environnement.

Il faut effectuer une analyse appropriée pour justifier de la durabilité de la fonction, voir chapitre 0.

Le comportement en cas de panne est à justifier par des pannes simulées des composants, par exemple, sur une rame représentative lors d'essais techniques.

Il faut vérifier la fiabilité des modules électroniques destinés à l'alimentation des fonctions relatives à la sécurité en déterminant le MTBF à partir de l'évaluation des données de cycle de vie avec des modules représentatifs après la mise en service.

La compatibilité du MTBF vérifiée à partir des données de cycle de vie et des hypothèses prévisionnelles de l'analyse est à justifier.

## **Commande / surveillance relatives à la sécurité**

### **Généralités**

Les fonctions de commande du système de levage / guidage relatives à la sécurité comprennent :

- Transmission des instructions de commande de l'installation technique de commande aux dispositifs de régulation, de commande et de surveillance de la fonction de levage / guidage et de l'alimentation en énergie du bord,
- Génération des informations d'état relatives à la sécurité de la fonction de levage / guidage et de l'alimentation en énergie du bord et transfert à l'installation technique de commande.

### **Comportement en cas de panne**

La surveillance et la commande relatives à la sécurité sont à réaliser redondantes.

Une panne individuelle ne doit pas entraîner une perte ou une restriction des fonctions de commande / surveillance. Une réaction automatique vers le côté sécurisé doit se produire en cas de panne des fonctions de commande et de surveillance.

### **Signalisation de la panne, diagnostic**

Une perte de redondance doit être signalée par le diagnostic de la rame en vue de l'entretien.

Il convient que l'information de diagnostic identifie et localise clairement le module concerné.

### **Justifications**

Il faut procéder à une qualification des dispositifs de commande et de surveillance avec des prototypes ou avec une rame représentative.

La justification de la sécurité de la commande et de la surveillance de la fonction de levage/guidage et de l'alimentation en énergie de bord est à apporter conformément au chapitre 0.

## Effets du système de levage / guidage sur la voie

### Généralités

Les forces indiquées ci-après correspondent aux valeurs caractéristiques<sup>8</sup> des effets de la rame sur la voie au niveau des interfaces rame/voie.

### Types d'effets et combinaisons d'effets

*Les effets du système de levage / guidage sur la voie se produisent au niveau des points de jonction suivants :*

- *Aimant de levage - Paquet de tôles statoriques,*
- *Aimant de guidage – Rails de guidage latéraux,*
- *Patin de levage - Plan de glissement.*

*Les forces agissant sur la voie résultent des fonctions suivantes :*

- *Levage magnétique et mécanique,*
- *Guidage magnétique et mécanique,*
- *Propulsion et freinage avec la propulsion par stator long.*

*Les forces sont influencées par les effets suivants :*

- *Fonctionnement avec charge d'exploitation variable et conditions environnementales variables,*
- *Fonctionnement consécutif à des situations de panne et à des situations opérationnelles exceptionnelles,*
- *Fonctionnement avec utilisation du « frein de sécurité » avec les charges qui en résultent.*

Il faut tenir compte des effets sur la structure du système de levage/guidage conformément au chapitre 0 lors du dimensionnement des modules.

*Les effets variables de la rame sur la voie sont à prendre en compte lors du dimensionnement de la voie sur la base de /MSB AG-FW BEM/.*

Pour que les valeurs caractéristiques des effets supposées dans /MSB AG-FW BEM/ résultant du fonctionnement de la rame coïncident suffisamment avec les effets qui se produisent réellement, il

<sup>8)</sup> Valeur représentative importante d'un effet qui est supposée, avec une probabilité prédéfinie, ne pas être franchie dans un sens ou dans l'autre pendant la période de référence en considération de la durée d'utilisation de l'ouvrage porteur et de la situation de dimensionnement. En cas d'effet changeant, la valeur caractéristique correspond soit à une valeur supérieure qui n'est pas dépassée avec une probabilité prédéfinie pendant la période de référence fixée, soit à une valeur nominale donnée si la distribution des probabilités est inconnue (voir aussi DIN EN 1990).

ne faut pas dépasser les valeurs indiquées dans le chapitre 0 pour les forces induites par la rame dans la voie (tolérance admissible lors de la vérification des grandeurs d'influence 5 %).

Les grandeurs indiquées des valeurs caractéristiques des effets doivent pour chaque application être définies de manière obligatoire dans une spécification spécifique au projet.

Les grandeurs indiquées des valeurs caractéristiques des effets sont à vérifier par une mesure avec une rame représentative.

## Valeurs caractéristiques et schémas de charge

### Généralités

La grandeur de référence à utiliser pour les effets globaux induits dans la voie par le biais des aimants de levage et les aimants de guidage dans les directions x, y et z est la longueur type d'une voiture de la rame (voiture intermédiaire)  $L_{MS} = 24,768$  m (longueur occupée par l'aimant de levage).

Lors de la détermination de la grandeur de référence pour les effets locaux induits dans la voie par le biais des aimants de levage et les aimants de guidage dans les directions x, y et z, il faut tenir compte de la moitié de la longueur de l'aimant de levage  $L_{SYS, TM} / 2$ .

Pour la justification, il faut définir les états de chargement déterminants indiqués dans le Tableau 79 ci-après. Suivant le projet, il faut éventuellement tenir compte en plus d'une augmentation du poids de la rame consécutive à une accumulation de neige dans la structure de cette dernière.

Grandeur	Définition
Poids propre d'une rame	Poids de la voiture sans charge d'exploitation <sup>1)</sup>
Poids moyen de la rame	Poids de la voiture avec une charge normale <sup>2)</sup>
Poids autorisé de la rame	Poids de la voiture avec la charge maximale <sup>3)</sup>
Poids maximal de la rame	Poids de la voiture dans des situations opérationnelles exceptionnelles <sup>4)</sup>
<p>1) La charge d'exploitation est le poids des voyageurs avec leurs bagages ou du fret / conteneurs de fret</p> <p>2) Le poids moyen peut être fixé, par exemple, à une charge d'exploitation qui n'est pas dépassée dans 80 % des trajets. Celle-ci est à fixer en fonction du projet.</p> <p>3) Charge d'exploitation à la charge maximale prévue qui n'est dépassée que dans des situations opérationnelles exceptionnelles ; celle-ci est à fixer spécifiquement au projet, par exemple avec toutes les places assises occupées et 90 kg par voyageur plus 320 kg par m<sup>2</sup> de surface debout</p> <p>4) Charge d'exploitation maximale possible dans des situations opérationnelles exceptionnelles ; celle-ci est à fixer spécifiquement au projet, par exemple avec toutes les places assises occupées et 90 kg par voyageur plus 500 kg par m<sup>2</sup> de surface debout</p>	

Tableau 79 : Synthèse des états de chargement de la rame

## Poids propre et charge d'exploitation de la rame

Les valeurs caractéristiques des effets statiques résultant des états de chargement de la rame sont indiquées dans le Tableau 80 sous la forme de charges linéaires moyennes sur la longueur de la rame.

Les charges linéaires statiques indiquées dans le Tableau 80 sont à utiliser comme base pour la détermination des valeurs caractéristiques des effets au niveau de la rame.

Charge linéaire statique par m de longueur de la rame (longueur occupée par l'aimant de levage) sans neige en [kN/m]	Poids propre de la rame	Poids moyen de la rame	Poids autorisé de la rame	Poids maximum de la rame
stat $p_z$	19 <sup>1</sup> (21)	26	29	31
<sup>1</sup> concerne les rames de marchandises légères, une charge linéaire moyenne de 21 kN/m peut être supposée pour les rames de voyageurs.				

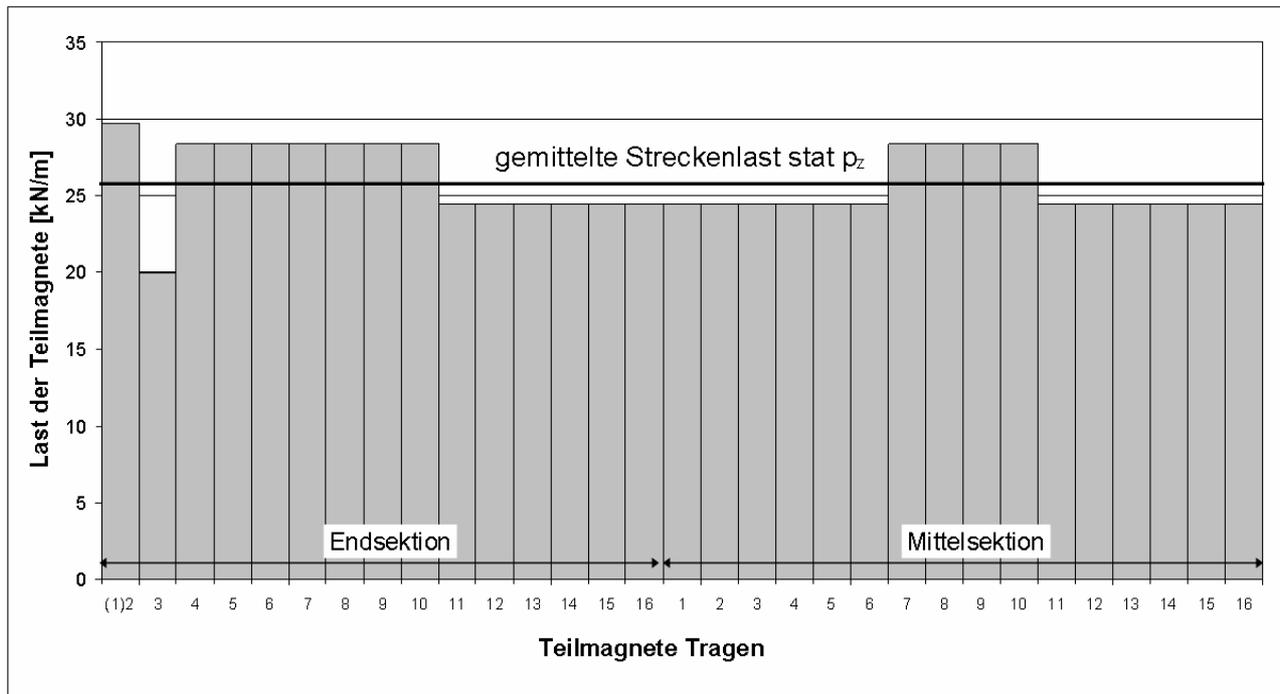
Tableau 80 : Charges linéaires statiques caractéristiques de la rame (moyennes)

Le poids admissible  $G_{\text{Sekt zul}}$  d'une section de la rame est à calculer à l'aide de l'équation suivante :

$$G_{\text{Sekt zul}} = \text{stat } p_z \cdot L_{\text{MS}} / g \text{ avec } g = 9,81 \text{ m/s}^2 .$$

Il faut réduire une augmentation locale possible de la charge linéaire  $\Delta \text{stat } p_z$  résultant d'une répartition inégale du poids de la rame sur sa longueur.

La Fig. 86 représente une courbe type de  $stat p_z \pm \Delta stat p_z$ .



**Charge de l'aimant partiel (kN/m)**

Charge linéaire moyenne  $stat p_z$

Voiture d'extrémité

Voiture intermédiaire

**Aimant partiel de levage**

Fig. 86: Courbe type de  $stat p_z \pm \Delta stat p_z$

La justification de  $stat p_z$  et  $\Delta stat p_z$  pour les états de charge déterminants est à réaliser par pesage. Les valeurs de  $stat p_z$  et  $\Delta stat p_z$  pour la rame avec charge d'exploitation peuvent ici être calculées en se basant sur le pesage de la rame non chargée.

## Charges quasi-statiques résultant de la dynamique de roulage

Les accélérations dans le sens  $y$  et  $z$  produites lors du franchissement des éléments du tracé virages, points bas et sommets ainsi que par la propulsion et le freinage de la rame provoquent des charges quasi-statiques variables dans le temps dans les directions  $x$ ,  $y$  et  $z$  ainsi que des moments autour des axes  $x$ ,  $y$  et  $z$ , lesquels sont influencés dans la direction  $z$  par la position du centre de gravité des voitures de la rame.

Ces effets sont à prendre en compte au niveau de la rame sous la forme de forces d'inertie dans les directions  $x$ ,  $y$  et  $z$  conformément à /MSB AG-FW BEM/.

Le centre de gravité d'une voiture de la rame dans la direction z ne doit pas dépasser les valeurs suivantes<sup>9</sup> :

- au poids propre de la rame : 600 mm au-dessus du plan de glissement,
- au poids moyen de la rame : 700 mm au-dessus du plan de glissement,
- au poids autorisé de la rame : 850 mm au-dessus du plan de glissement,
- au poids maximum de la rame : 950 mm au-dessus du plan de glissement.

### Charges quasi-statiques résultant du vent latéral (sans poussée verticale)

*Du fait de l'effet quasi-constant du vent latéral (valeur moyenne sur 5 s selon /MSB AG-UMWELT/) sur la rame, celle-ci transmet des charges quasi-statiques sur la voie. Le niveau de ces charges est déterminé par la vitesse du vent latéral, par la vitesse de la rame et par la hauteur et la géométrie du nez de la rame.*

*Ces effets résultant du vent latéral sur la rame sont à prendre en compte au niveau de la rame conformément à /MSB AG-FW BEM/.*

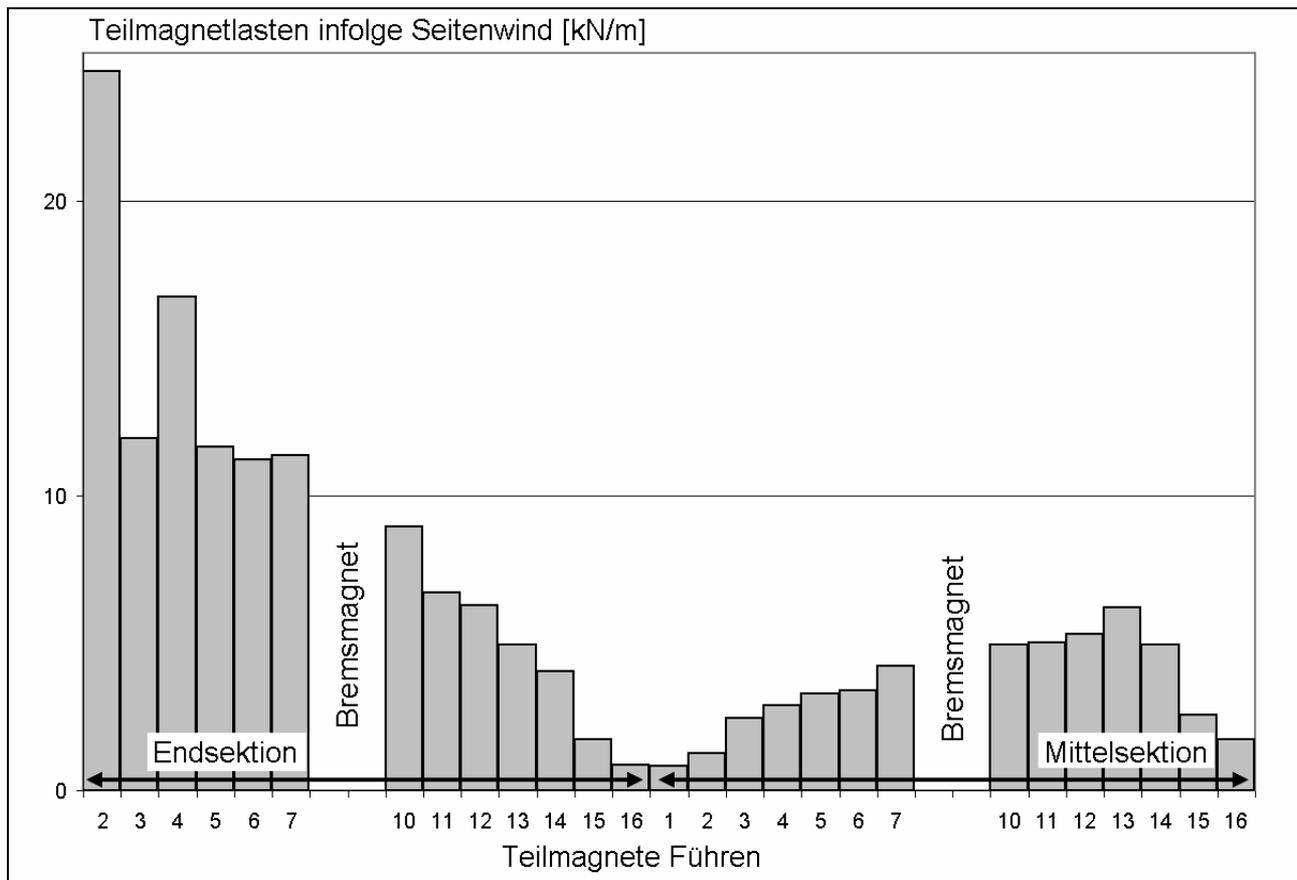
*Les effets indiqués dans les principes de dimensionnement de la voie et la distribution associée sur la longueur de la rame sont observés lorsque la charge linéaire locale maximale résultant du vent latéral dans le sens  $y$   $p_{y, SW}$  ne dépasse pas les valeurs indiquées dans le Tableau 81.*

	Charge linéaire locale maximale résultant du vent latéral en [kN/m]	Vitesse de la rame			
		200 km/h	300 km/h	400 km/h	500 km/h
$p_{y, SW}$	11,0	14,1	24,4	32,4	
$p_{z, SW}$	± 5,4	± 6,4	± 6,9	± 7,4	
Les charges s'appliquent pour une vitesse du vent latéral de 37 m/s selon la zone de charge au vent II à 20 m de hauteur au-dessus du sol.					

Tableau 81 : Effets résultant du vent latéral sur la rame

La justification des charges peut être effectuée par calcul et simulation de l'écoulement avec un modèle de simulation vérifié.

<sup>9)</sup> Les indications sont nécessaires sous cette forme pour le dimensionnement de la voie.



Charges des aimants partiels résultant du vent latéral (kN/m)

Voiture d'extrémité

Aimant de freinage

Aimant de freinage

Voiture intermédiaire

Aimants partiels de guidage

Fig. 87: Courbe type de  $p_{y, SW}$  avec  $v_{Fz0} = 400$  km/h et vent latéral = 37m/s

## Charges quasi-statiques résultant des forces de rappel dans le cas des petits rayons de virage

Des forces de rappel se produisent dans les virages à faible rayon entre les châssis de sustentation du système de levage/guidage et la caisse de wagon (réactions), lesquelles sont transmises à la voie sous la forme de charges quasi-statiques dans la direction  $y$ . Les charges maximales sont à chaque fois transmises des aimants de guidage aux extrémités et dans la zone du centre de la voiture.

Les effets indiqués dans les principes de dimensionnement de la voie et leur distribution sur la longueur de la rame (voir Extérieur de la courbe

**Voitures d'extrémité**

**Voitures intermédiaires**

Intérieur de la courbe

*Aimant de guidage*

*Aimant de freinage (WSB)*

*Les numéros 1 à 16 correspondent aux forces indiquées des aimants de guidage*

*+ => Force de traction des aimants de guidage à l'extérieur de la courbe*

*- => Force de traction des aimants de guidage à l'intérieur de la courbe*

*Voitures suivantes*

*Voiture de queue = voiture de nez*

*voitures intermédiaires suivantes comme la voiture intermédiaire représentée*

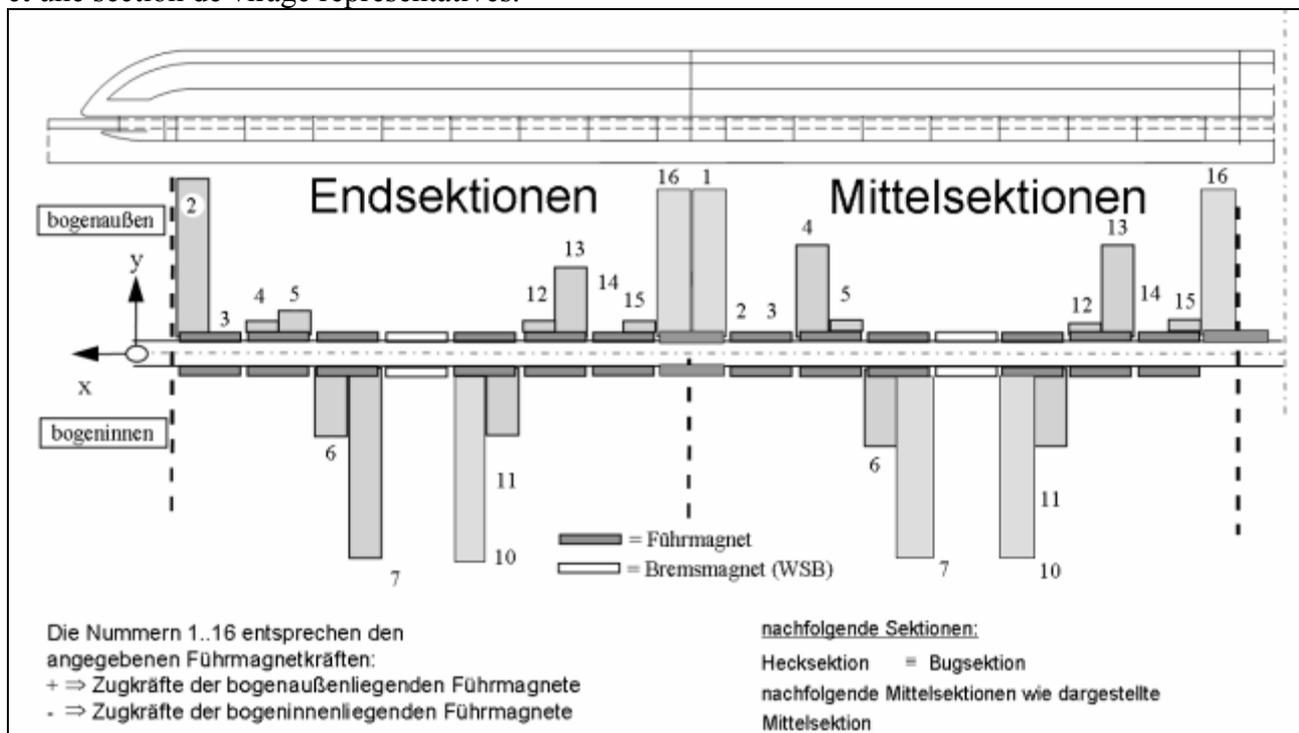
*Fig. 88) sont observés lorsque la réaction locale maximale résultant dans le sens  $y_{p_y, ZWG}$  ne dépasse pas les valeurs indiquées dans le Tableau 82.*

Valeurs caractéristiques de la force maximale résultant de la réaction dans les virages en [kN/m]	Rayon du virage $R_H = 350$ m	Rayon du virage $R_H = 1000$ m	Rayon du virage $R_H \geq 2000$ m
$p_{y, ZWG}$	21	7	0

Tableau 82 : Réaction locale maximale

Les forces peuvent être déterminées par calcul.

Il faut vérifier le calcul par une mesure de chacune des valeurs de la force de rappel dans une rame et une section de virage représentatives.



Extérieur de la courbe  
 Voitures d'extrémité  
 Voitures intermédiaires  
 Intérieur de la courbe

Aimant de guidage  
 Aimant de freinage (WSB)

Les numéros 1 à 16 correspondent aux forces indiquées des aimants de guidage  
 + => Force de traction des aimants de guidage à l'extérieur de la courbe  
 - => Force de traction des aimants de guidage à l'intérieur de la courbe

Voitures suivantes  
 Voiture de queue = voiture de nez  
 voitures intermédiaires suivantes comme la voiture intermédiaire représentée

Fig. 88: Courbe type de  $p_{y, ZWG}$

## Charges résultant de la propulsion et du freinage avec le stator long

Il faut utiliser pour l'effet global maximum sur la voie d'une voiture de la rame un effet qui se reproduit régulièrement sous la forme d'une force dans la direction x qui résulte du produit du poids autorisé de la rame avec l'accélération ou le ralentissement de freinage maximum autorisé de ( $a_x = 1,5 \text{ m/s}^2$ ) (voir Tableau 83).

*Celui-ci couvre également les situations de propulsion/freinage dans les montées/descentes.*

L'effet exceptionnel à utiliser comme effet global maximum sur la voie est une charge maximale dans la direction x de 250 kN / voiture (voir Tableau 83).

Valeurs caractéristiques résultant de la propulsion et du freinage avec la propulsion	
Effet se reproduisant régulièrement avec le poids autorisé de la rame ( $a_x \leq 1,5 \text{ m/s}^2$ )	$F_x = 110 \text{ kN / voiture}$
Effet exceptionnel par exemple en cas de défaillance de la fonction de propulsion	Cas 1 : $F_x = 185 \text{ kN / voiture}$ (rapport de distribution de 0,73 / 0,27 sur les côtés droit et gauche de la rame)
	Cas 2 : $F_x = 250 \text{ kN / voiture}$ (distribution régulière sur les côtés droit et gauche de la rame)

Tableau 83 : Forces de propulsion / freinage avec le stator long

Il faut tenir compte de la relation suivante entre l'effet local dans la direction z  $p_z$  et l'effet local dans la direction x  $p_x$  :

$$p_x \pm \Delta p_x = (p_z \pm \Delta p) \cdot a_x / g$$

## Charges maximales au niveau du point de jonction aimant de levage – paquet de tôles statoriques

### Charges induites

*Il se produit au niveau du point de jonction entre l'aimant de levage (TM) et le plan du stator une transmission magnétique de forces de traction quasi-statiques et dynamiques dans la direction z et, par le biais de la fonction de propulsion du stator long, une transmission magnétique des forces de poussée dans la direction x.*

Il faut tenir compte des valeurs caractéristiques suivantes pour les charges maximales par m de longueur de demi-aimant :

Situations de dimensionnement	Sens de l'effet	Charge par m d'aimant de levage
Force de traction statique maximale résultant - du poids total autorisé	Direction z	16 kN/m
Force de traction dynamique maximale résultant - du poids total autorisé - $a_y = 1,5 \text{ m/s}^2$ , $a_z = 1,2 \text{ m/s}^2$ ,	Direction z	20 kN/m

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Rame Partie IV Système de levage / de guidage

Doc. n° : 73388

Version finale

Date de publication

15.02.2007

Page 37

du vent latéral de 10m/s à 400 km/h		
Force de traction locale maximale en mode aimant partiel et - poids total autorisé - $a_y = 1,5\text{m/s}^2$ , $a_z = 1,2\text{m/s}^2$ , - vent latéral de 37m/s à 400 km/h, $F_{z\_dyn\_max}$	Direction z	45 kN/m
Force de poussée maximum de la propulsion sans pannes techniques ni défauts (max $a_x = 1,5\text{ m/s}^2$ ) résultant - du poids total autorisé (répartition inégale incluse)	Direction x	2,25 kN/m
Force de poussée maximum en cas de défaut de la propulsion (voir Tableau 83)	Direction x	Cas 1 : 5,5 kN/m
		Cas 2 : 5,0 kN/m
Force de poussée locale maximum en cas de panne d'un dispositif de régulation du levage	Direction x	4 kN/m

La force de levage maximale des aimants de levage est à limiter à 45 kN/m.

Tableau 84 : Charges maximales de l'aimant de levage

*Répartition locale des charges voir Condition : Aimant de guidage*

\* Les pôles d'extrémité EP supportent la moitié de la charge des pôles principaux

*Transposition du fait du moment de tangage avec  $p_x \neq 0$*

*Aimant de levage*

*Forces polaires de l'aimant de levage  $p_z/x, Pol$*

*Somme des effets globaux*

Fig. 89 et Demi-aimant en fonctionnement normal Demi-aimant avec charge « supplémentaire »

*Demi-aimant en fonctionnement normal*

*Demi-aimant en panne*

*Aimant i (3,096 m)*

*Aimant i+1 (3,096 m)*

\* Les pôles d'extrémité EP supportent la moitié de la charge des pôles principaux

*Condition*

Fig. 90.

## Excitations dynamiques

*La distribution locale des forces des aimants de levage dans la direction x présente une périodicité de la répartition des pôles qui agit sur la voie comme une onde de force se déplaçant le long de la voie à la vitesse de la rame  $v$ . Dans la voie, l'onde de force émise par la rame agit comme une force régulière localement impulsionnelle ayant une fréquence efficace  $f_e$ , laquelle dépend de la longueur d'onde de la force  $\lambda_e$  ou de son harmonique et de la vitesse de la rame.*

$$f_e = v / \lambda_e$$

Il faut tenir compte des effets suivants en rapport avec l'excitation dynamique de la voie :

Forces variables agissant constamment lors du passage de la rame :

- Géométrie des pôles des aimants de levage  
effet magnétique de la forme géométrique des pôles sur la surface polaire, par exemple des rainures pour les générateurs linéaires
- Géométrie de la disposition des pôles de l'aimant de levage dans le tracé d'un aimant de levage,  
tracé local de la force le long de l'aimant de levage
- Géométrie de la disposition des pôles de l'aimant de levage aux extrémités d'un aimant de levage,  
tracé local de la force dans la zone entre deux aimants de levage, ce qui résulte en une forme géométrique des pôles magnétiques différente dans la zone d'extrémité et dans la zone centrale

Force résultant du tangage des aimants de levage en raison des forces de propulsion transmises,  
torsion des aimants de levage individuels autour de l'axe y « position de travers » (Condition : *Ai-  
mant de guidage*)

\* *Les pôles d'extrémité EP supportent la moitié de la charge des pôles principaux*

*Transposition du fait du moment de tangage avec  $p_x \neq 0$*

*Aimant de levage*

*Forces polaires de l'aimant de levage  $p_{z/x, Pol}$*

*Somme des effets globaux*

- Fig. 89)

Forces variables agissant rarement lors du passage de la rame :

- Forces dans la zone de deux aimants de levage en cas de panne d'un dispositif de régulation ma-  
gnétique (Demi-aimant en fonctionnement normal *Demi-aimant avec charge « supplémen-*  
*taire »*

*Demi-aimant en fonctionnement normal*

*Demi-aimant en panne*

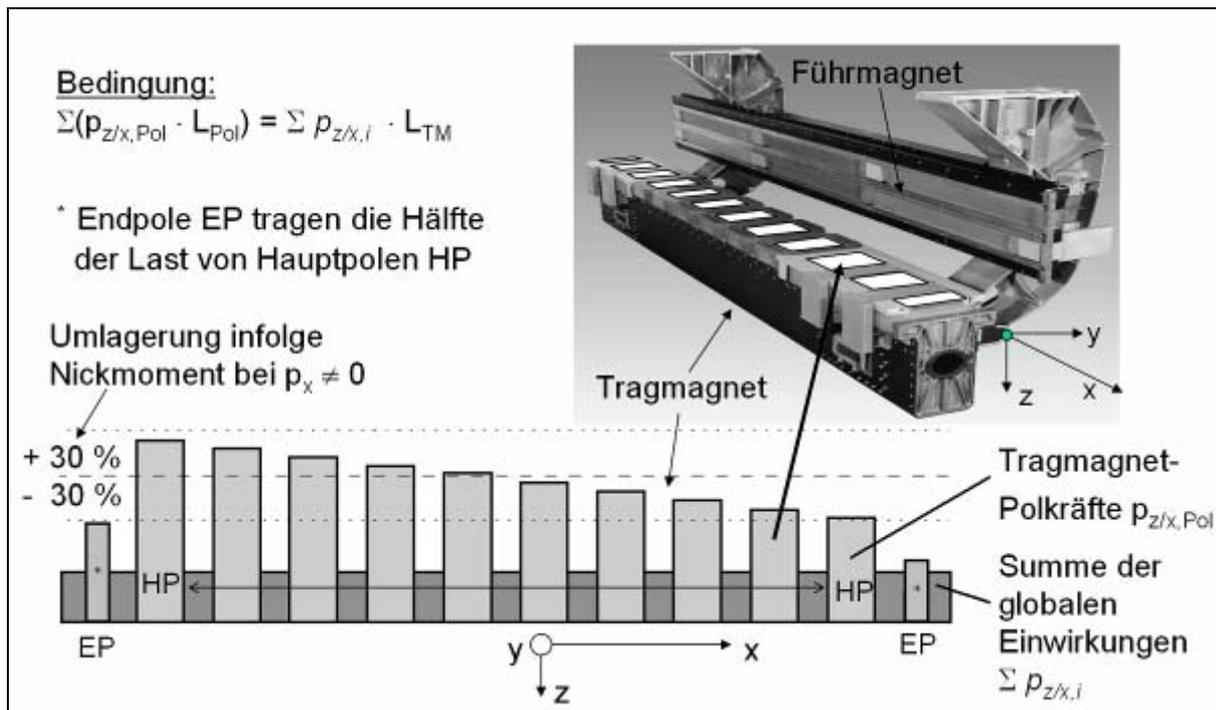
*Aimant i (3,096 m)*

*Aimant i+1 (3,096 m)*

\* *Les pôles d'extrémité EP supportent la moitié de la charge des pôles principaux*

*Condition*

- Fig. 90)



Condition :

Aimant de guidage

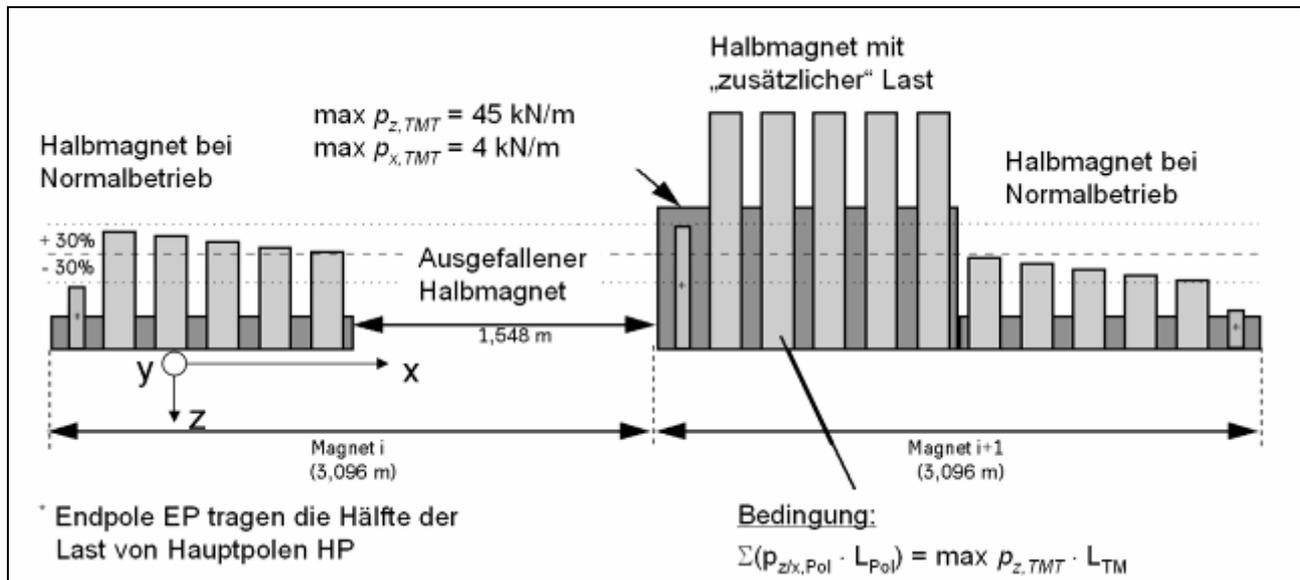
\* Les pôles d'extrémité EP supportent la moitié de la charge des pôles principaux

Transposition du fait du moment de tangage avec  $p_x \neq 0$

Aimant de levage

Forces polaires de l'aimant de levage  $p_{z/x, Pol}$   
 Somme des effets globaux

Fig. 89: Schéma de charge type d'un aimant de levage sans perturbation technique ni panne (exemple)



Demi-aimant en fonctionnement normal  
 « normale »

Demi-aimant avec charge « supplémentaire »

Demi-aimant en fonctionnement normal

Demi-aimant en panne

Aimant i (3,096 m)

Aimant i+1 (3,096 m)

\* Les pôles d'extrémité EP supportent la moitié de la charge des pôles principaux

Condition

Fig. 90: Schéma de charge type d'un aimant de levage avec panne du circuit de régulation magnétique de levage (exemple)

## Charges maximales au niveau du point de jonction aimant de guidage – rail de guidage latéral

### Charges induites

Une transmission des charges suivantes s'effectue au moins de jonction entre l'aimant de guidage (FM) et le rail de guidage latéral (SFS) :

- Forces de traction magnétiques quasi-statiques et dynamiques dans la direction y lors d'un fonctionnement sans panne technique ni défaillance,
- Forces de traction magnétiques quasi-statiques et dynamiques dans la direction y lors d'un fonctionnement avec des pannes ou des défaillances techniques,
- Forces de frottement dans la direction x résultant des forces de pression mécaniques en fonctionnement spécial.

Il faut tenir compte des valeurs caractéristiques suivantes pour les charges maximales par m de longueur d'aimant partiel :

Situations de dimensionnement	Sens de l'effet	Charge par m d'aimant de guidage
Force de traction maximale résultant du - poids total autorisé - $a_y = 1,5 \text{ m/s}^2$ , $a_x = 1,1 \text{ m/s}^2$ (WSV), - vent latéral de 10 m/s à 400 km/h, $R_H = 1000 \text{ m}$	Direction y	25 kN/m
Force de traction maximale en fonctionnement avec aimant partiel et - poids total autorisé - $a_y = 1,5 \text{ m/s}^2$ , $a_x = 1,1 \text{ m/s}^2$ (WSV), $R_H = 1000 \text{ m}$ - vent latéral de 37 m/s à 400 km/h, $F_{z\_dyn\_mittel}$	Direction y	32 kN/m <sup>10</sup>
- Force de pression quasi-statique maximale en cas de panne de la fonction de guidage magnétique sur un seul cadre de sustentation	Direction y	25 kN/m
- Force de frottement résultant de la force de frottement quasi-statique	Direction x	7,5 kN/m
<i>Le centre de gravité de la répartition des charges dans le sens z varie en fonction de l'exécution des aimants de guidage et en cas de panne des dispositifs de régulation du guidage</i>		

La force de guidage maximale d'un aimant de guidage doit être limitée à 16 kN/m dans le cas d'un pôle unique,  
à 32 kN/m pour un double pôle.

Tableau 85 : Charges linéaires maximales

<sup>10)</sup> Le dépassement de la force de guidage maximale de 32 kN/m donne lieu à un guidage latéral mécanique (voir chapitre 0).

*Répartition locale des charges et définition du pôle unique / double pôle voir la Fig. 91.*

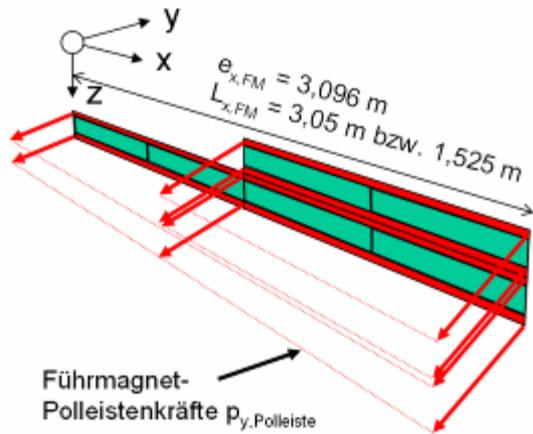
Il faut tenir compte des valeurs caractéristiques suivantes pour l'effort de tamponnement maximum :

Situations de dimensionnement	Sens de l'effet	Charge par aimant de guidage
- Effort de tamponnement dynamique maximum en cas de panne de la fonction de guidage magnétique sur un seul cadre de sustentation et en présence de vent latéral en bourrasques	Direction y	115 kN
- Force de frottement résultant de l'effort de tamponnement dynamique	Direction x	34,5 kN
<i>Le centre de gravité de la répartition des charges dans le sens z varient en fonction de l'exécution des aimants de guidage et en cas de panne des dispositifs de régulation du guidage</i>		

Tableau 86 : Effort de tamponnement maximum

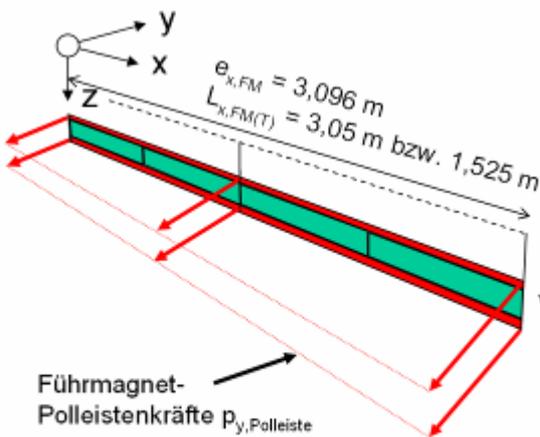
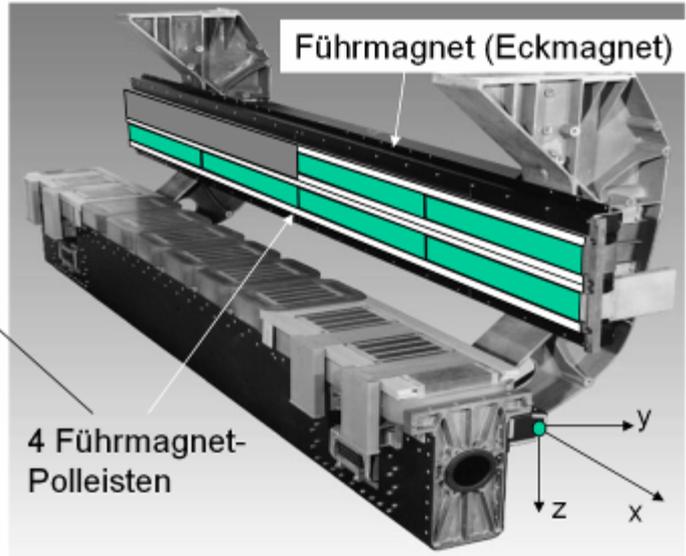
**Excitation dynamique**

*Il faut tenir compte au niveau de la voie des excitations possibles résultant de la disposition des aimants de guidage.*



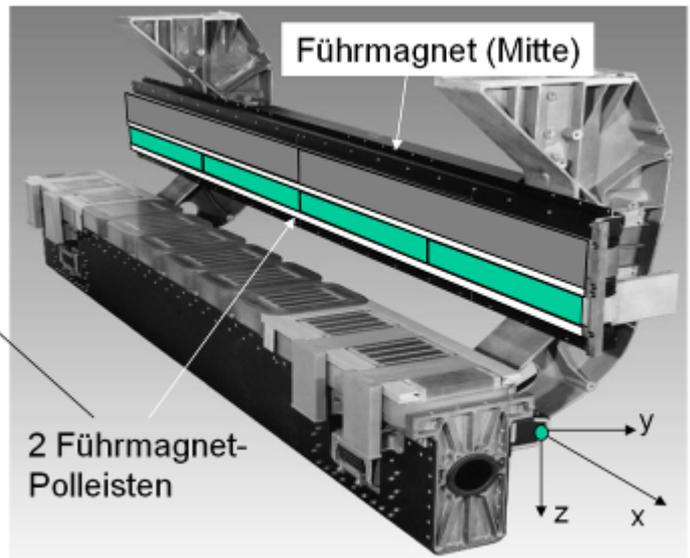
**Bedingung:**

$$\Sigma(p_{y,Polleiste} \cdot L_{Polleiste}) = \Sigma p_{y,i} \cdot e_{x,FM}$$



**Bedingung:**

$$\Sigma(p_{y,Polleiste} \cdot L_{Polleiste}) = \Sigma p_{y,i} \cdot e_{x,FM}$$



*Aimant de guidage (aimant d'extrémité)  
4 barrettes de pôles de l'aimant de guidage*

*Forces des barrettes de pôles de l'aimant de guidage  $P_{y,Polleiste}$*

Condition :

Aimant de guidage (centre)  
2 barrettes de pôles de l'aimant de guidage

Forces des barrettes de pôles de l'aimant de guidage  $P_{y,Polleiste}$

Condition :

Double pôle : Aimant de guidage (aimant d'extrémité) à droite

**Pôle unique : Aimant de guidage (aimant d'extrémité) à gauche**  
**Aimant de guidage (centre)**

Fig. 91: Schéma de charge type des aimants de guidage (exemple)

## Charges maximales au niveau du point de jonction patin de levage – plan de glissement

### Charges induites

En cas de panne du système de levage, il se produit au niveau du point de jonction entre le patin de levage et le plan de glissement (GL) une sollicitation du plan de glissement avec les charges suivantes :

dans la direction  $z$  (contrainte de pression) :

- charge proportionnelle quasi-statique et dynamique d'un cadre de sustentation en glissement
- effort de tamponnement transitoire d'un cadre de sustentation abaissé de manière non régulée

dans la direction  $x$  :

- force résultant de la charge dans la direction  $z$  et de l'indice de frottement.

Il faut tenir compte des valeurs caractéristiques suivantes pour les charges maximales résultant d'un patin de levage individuel :

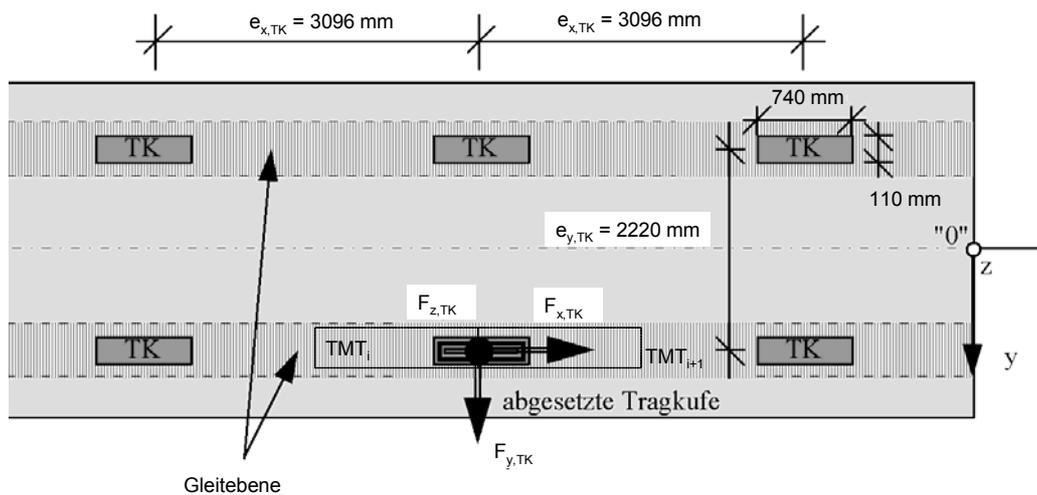
Valeurs caractéristiques des forces maximales du patin en [kN]		Sens de l'effet	Charge par patin de levage
Rame à l'arrêt avec 16° d'inclinaison transversale		y	14
Rame en sustentation	Force de pression quasi-statique et dynamique	z	50
		x	15 ou 25 en cas de frottement par adhérence
	Valeur limite de l'effort de tamponnement	z	100
		x	30
Patins de levage gelés		z	-50
		x	25

Tableau 87 : Forces maximales des patins de levage

*Répartition locale des charges voir Fig. 92.*

**Excitation dynamique**

*Les excitations résultant des effets locaux des patins de levage sont négligeables au niveau de la voie.*



*Patin de levage abaissé  
 Plan de glissement*

Fig. 92: Schéma de charges d'un patin de levage (exemple)

Dernière impression: 20.09.2007 15:50:00

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Rame**

### **Partie V**

### **Technique de freinage**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

## **Destinataires**

**Le présent document a été remis par la commission spéciale Rame à des fins de publication.**



## Table des matières

<b>Destinataires</b> .....	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>6</b>
Objectif et champ d'application.....	6
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	6
Abréviations et définitions.....	7
Lois, décrets, normes et directives .....	8
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	8
<b>Définitions (spécifiques à la rame)</b> .....	<b>9</b>
<b>Exigences générales relatives à la technique de freinage</b> .....	<b>12</b>
Systèmes partiels dispositifs .....	12
Fonction .....	15
Dimensionnement.....	19
Exigences de sécurité.....	19
Exigences relatives à l'alimentation en énergie du bord .....	21
Exigences relatives à l'exécution d'une instruction d'abaissement .....	21
Défauts systématiques dans les dispositifs de freinage.....	21
Prise en compte des paires de frottement.....	21
Aimant de freinage / Rail de guidage latéral .....	21
Patins de levage / Plan de glissement.....	22
<b>Exigences imposées aux dispositifs de freinage</b> .....	<b>23</b>
Production de la force de freinage.....	23
Fonctions et propriétés .....	23
Effet des pannes.....	23
Signalisation des pannes.....	23
Justifications .....	24
Commande et surveillance de l'effet de freinage .....	25
Fonctions et propriétés .....	25
Comportement en cas de panne .....	25
Justifications .....	25
<b>Effets des dispositifs de freinage sur la voie</b> .....	<b>26</b>

Généralités .....	26
Types d'effets et combinaisons d'effets.....	26
Forces et schémas de charge .....	27
Effets globaux sur la voie .....	27
Point de jonction aimant de freinage – rail de guidage latéral .....	27
Point de jonction patin de levage – Plan de glissement.....	28

### **Index des illustrations**

Fig. 1: <i>Vue latérale et vue transversale d'une rame avec identification des dispositifs de freinage (schéma de principe)</i> .....	10
Fig. 2: <i>Module magnétique (exemple de réalisation)</i> .....	10
Fig. 3: <i>Vue d'un aimant de freinage (exemple de réalisation), définition des principaux composants</i> .....	10
Fig. 4: <i>Patin de levage (exemple de réalisation)</i> .....	11
Fig. 5: <i>Systèmes partiels et dispositifs intervenant dans le freinage sécurisé (exemple de réalisation)</i> .....	14
Fig. 6: <i>Courbe de freinage du frein de sécurité pour une voiture de la rame (figure 10 de /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 8.5)</i> .....	19
Fig. 7: <i>Structure du projet des systèmes techniques relatifs à la sécurité (Partie I / exemple spécifique au projet)</i> .....	29
Fig. 8: <i>Structure du projet des systèmes techniques relatifs à la sécurité (Partie II / exemple spécifique au projet)</i> .....	30

### **Index des tableaux**

Tableau 1 : Valeurs caractéristiques suivantes pour les charges quasi-statiques maximales résultant d'un aimant de freinage individuel .....	27
Tableau 2 : Valeurs caractéristiques suivantes pour les charges quasi-statiques maximales résultant d'un patin de levage individuel.....	28

## Généralités

# Objectif et champ d'application

Les présents « Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique Rame Partie V - Technique de freinage » définissent les exigences relatives aux dispositifs de freinage de sécurité installés sur la rame.

Ils s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

Le système de freinage régulé « stator long » n'est pas concerné par le présent document (voir à ce sujet /MSB AG-GESAMTSYS/).

La partie V est à utiliser lors de la spécification, de l'exécution et de la justification des dispositifs de freinage des rames du TSM.

Les différences par rapport aux exigences et aux dispositions du présent document nécessitent, conformément à /MbBO/, de justifier d'une sécurité équivalente.

Cette partie V des « Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique Rame » comprend :

- Définition des dispositifs de freinage ;
- Exigences imposées aux dispositifs de freinage ;
- Effets des dispositifs de freinage sur la voie ;
- Description des interfaces avec d'autres systèmes (installation technique de commande, alimentation en énergie du bord).

Elle regroupe les exigences relatives à une technique de freinage sécurisée de la rame. Le document ne contient aucune description de la commande des freins ni de la surveillance des freins par l'installation technique de commande. Cette description se trouve dans /MSB AG-BLT/.

# Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure de la documentation est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Appendice 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/

- Appendice 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
- Appendice 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
- Appendice 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR/
- Appendice 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

La documentation relative à la rame contient les documents suivants :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie I : Exigences générales, document n° : 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie II : Dimensionnement, document n° : 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie III : Gabarit cinématique, document n° : 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie IV : Système de levage / de guidage, document n° : 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie V : Technique de freinage, document n° : 73389, /MSB AG-FZ BREMS/

## **Abréviations et définitions**

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

Les abréviations suivantes s'appliquent en complément de /MSB AG-ABK&DEF/ :

a	Ralentissement de freinage (valeur momentanée)
$F_G$	Force de freinage de la rame
$F_{Brems}$	Force de freinage de la rame sous l'effet des dispositifs de freinage
$F_W$	Traînée de la rame
$F_H$	Force de freinage d'arrêt
m	Masse de la rame
$m_b$	Partie abaissée de la masse de la rame
s	Variable locale
v	Vitesse (valeur momentanée)
$v_0$	Vitesse initiale de freinage

- $\mu_H$  Coefficient de frottement de la fonction frein d'arrêt  
 $\mu_{H \min}$  Coefficient de frottement minimal de la fonction frein d'arrêt sur voie gelée

## **Lois, décrets, normes et directives**

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## **Identification et caractère obligatoire des exigences**

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

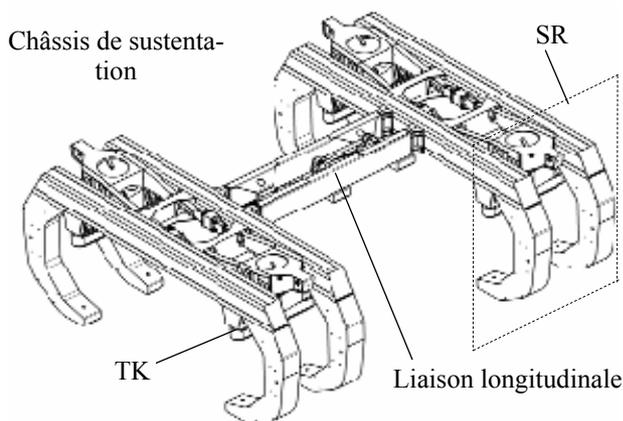
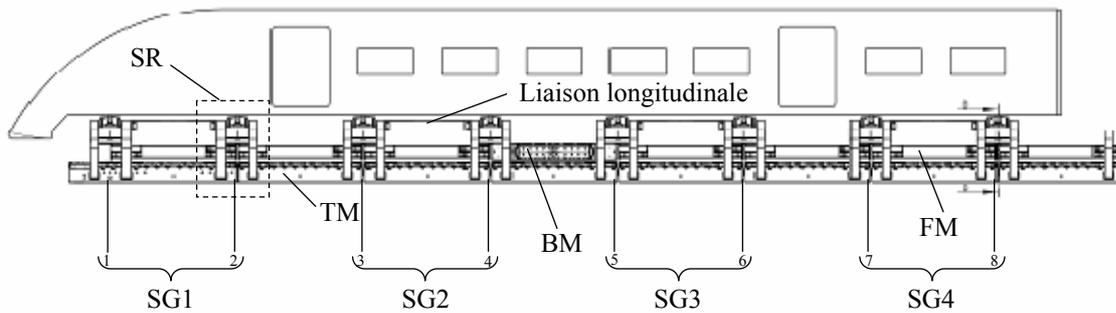
Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique*.

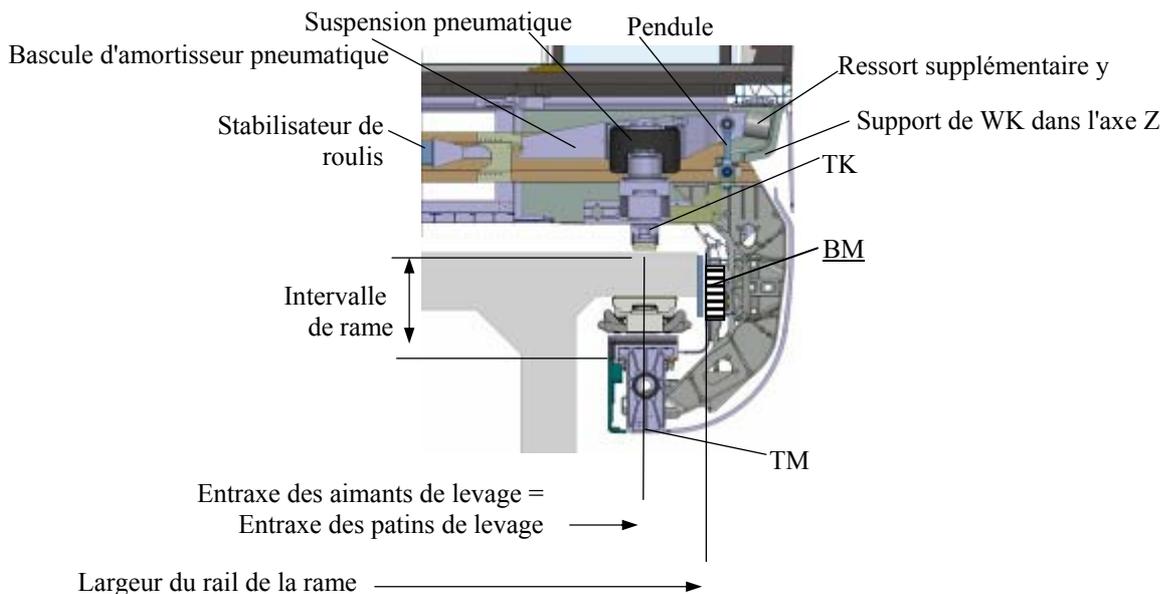
à des fins d'identification.

Si des remarques à propos de règles spécifiques au projet sont indiquées dans le présent document dans un cas particulier, cela veut dire qu'il faut convenir d'un accord entre le constructeur et l'opérateur (*par exemple dans un cahier des charges ou une règle contractuelle*) en impliquant le service d'homologation.

Définitions (spécifiques à la rame)



- SG = Châssis de sustentation
- SR = Cadre de sustentation (2 étriers de châssis + pièces de liaison)
- TM = Aimant de levage
- FM = Aimant de guidage
- BM = Aimant de freinage
- TK = Patin de levage
- WK = Caisse de wagon





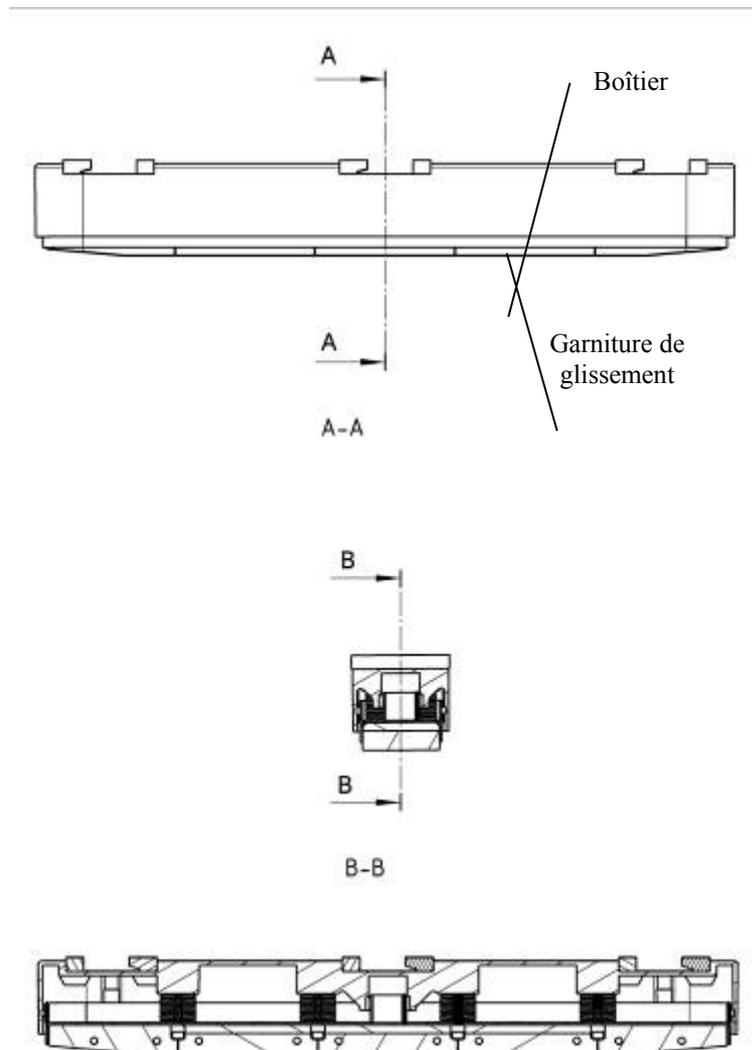


Fig. 96: *Patin de levage (exemple de réalisation)*

## Exigences générales relatives à la technique de freinage

# Systèmes partiels dispositifs

*Il faut appliquer la description dans /MSB AG-GESAMTSYS/.*

*La rame dispose des freins suivants :*

- *Fonction de freinage de la propulsion par stator long, utilisée en l'absence de panne (frein de service) ;*
- *Frein de sécurité, commandé par les dispositifs de la BLT qui se trouvent sur la rame.*

*La fonction de freinage de la propulsion par stator long n'est pas concerné par le présent document (voir à ce sujet /MSB AG-GESAMTSYS/).*

*Les présents principes d'exécution réglementent les exigences relatives aux dispositifs de freinage de la rame (frein de sécurité) et leurs effets sur la voie. La commande d'arrêt de la propulsion et les dispositifs de freinage propres à la rame ainsi que l'empêchement d'effets de superposition non autorisés sont assurés par l'installation technique de commande et ne sont pas l'objet des présents principes d'exécution<sup>11</sup>.*

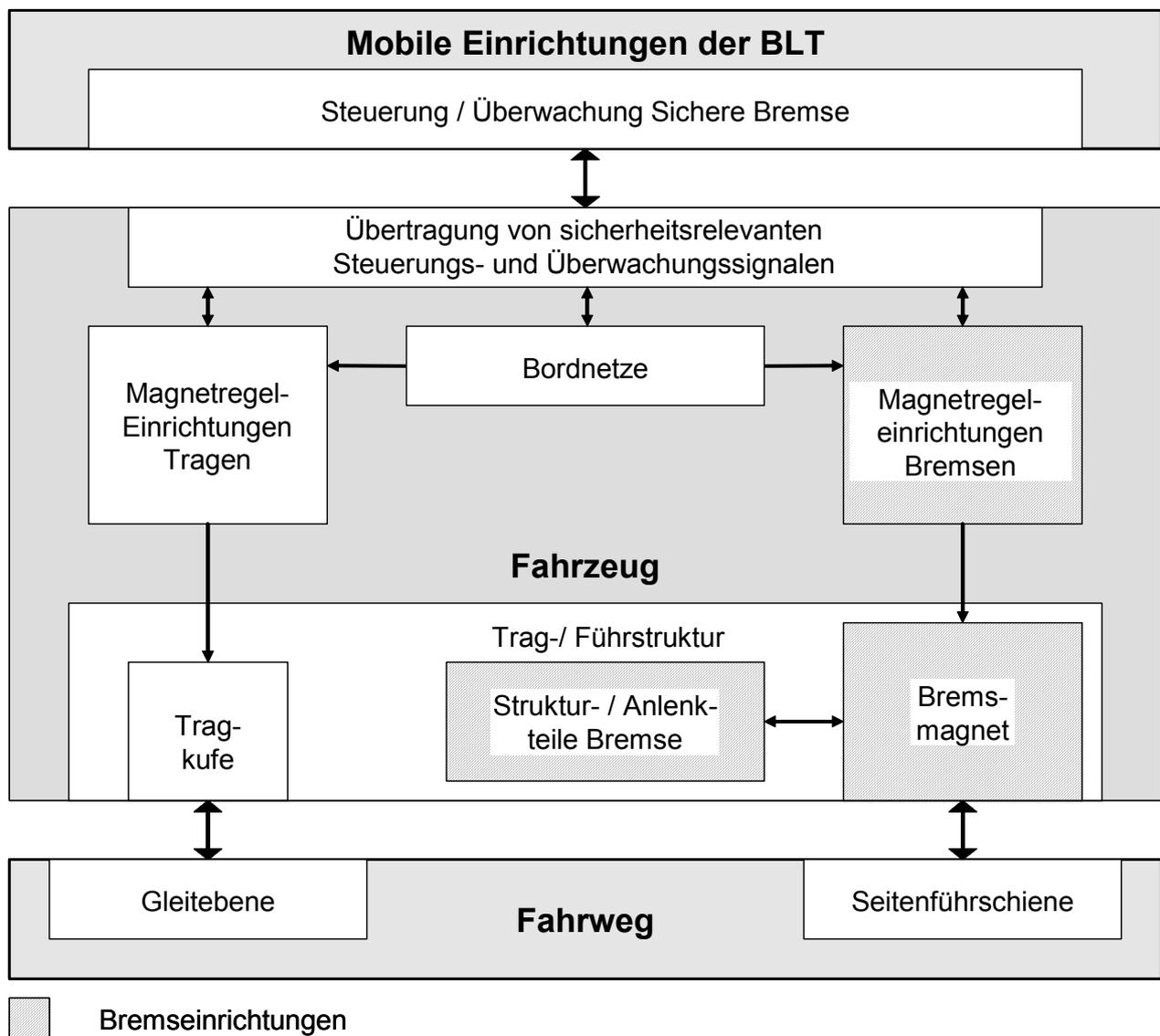
*Les systèmes partiels et les dispositifs qui participent au freinage sécurisé sont définis à titre d'exemple dans la Fig. 97. Dans cet exemple d'exécution, la transposition des fonctions de commande et de surveillance du freinage sécurisé à réaliser par la BLT est effectuée au niveau de la rame par l'intégration des systèmes partiels et des dispositifs ci-après :*

- *Les signaux de commande de la BLT destinés à activer la fonction de freinage et à commander l'effet de freinage sont transmis aux dispositifs de régulation magnétique du freinage.*
- *Les dispositifs de régulation magnétique du freinage régulent le courant des aimants de freinage et assurent la surveillance décentralisée des dispositifs de freinage correspondants.*
- *Les signaux de surveillance des dispositifs de régulation magnétique du freinage sont transmis à la BLT.*
- *Les aimants de freinage génèrent dans les rails de guidage latéraux de la voie des courants de Foucault dépendants de la vitesse qui produisent des forces de ralentissement sur les aimants de freinage. En plus de cela, les aimants de freinage génèrent des forces d'attraction sur les rails de guidage latéraux. Dans la plage de vitesse inférieure, les aimants de freinage viennent s'appliquer contre le rail de guidage latéral en raison des forces d'attraction et produisent des forces de friction entre les plaques de glissement des aimants de freinage et le rail de guidage latéral.*
- *Les forces qui agissent sur les freins sont amenées dans la rame par le biais des éléments d'articulation et de structure du frein.*
- *Le frein est désactivé par la BLT immédiatement avant d'atteindre l'immobilisation et des signaux de commande de la BLT aux dispositifs de régulation magnétique du levage provoquent l'abaissement de la rame sur le plan de glissement par le biais des patins de levage.*

<sup>11</sup> Les principes d'exécution décrivent les exigences indépendantes du projet en matière de réalisation du frein de sécurité en se basant sur les caractéristiques spécifiques à l'exécution du Transrapid.

- Les patins de levage assurent la fonction de frein d'arrêt.
- Les signaux de surveillance des réseaux de bord et dispositifs de régulation magnétique du levage sont transmis à la BLT.

La génération de la force de freinage selon le chapitre 0 (dans la Fig. 97 Aimant de freinage, éléments de structure et d'articulation des freins, dispositif de régulation magnétique du freinage) et la commande ainsi que la surveillance selon le chapitre 0 (dans la Fig. 97 Transmission des signaux de commande et des signaux de surveillance des freins depuis et vers la BLT, génération des informations d'état relatives à la sécurité dans les dispositifs de régulation magnétique) font partie des présents principes d'exécution (/MSB AG-FZ BREMS/).



Dernière impression 20.09.2007 15:50:00

**Dispositifs mobiles de la BLT**  
*Commande / surveillance du frein de sécurité*

*Transmission de signaux de commande et de surveillance relatifs à la sécurité*

*Dispositifs de régulation magnétique du levage*  
*Réseaux de bord*  
*Dispositifs de régulation magnétique du freinage*

**Rame**  
*Structure de levage/guidage*

*Patin de levage*  
*Éléments de structure / d'articulation des freins*  
*Aimant de freinage*

*Plan de glissement*  
**Voie**  
*Rail de guidage latéral*

*Dispositifs de freinage*

Fig. 97: *Systèmes partiels et dispositifs intervenant dans le freinage sécurisé (exemple de réalisation)*

Les fonctions de la BLT qui sont nécessaires pour l'utilisation du frein de sécurité

- Commande et surveillance du contrôle de frein,
- Commande et surveillance du frein de sécurité,
- Surveillance du profil maximum
- Surveillance du profil minimum,
- Localisation sécurisée,
- Coupure de propulsion sécurisée,

font partie des principes d'exécution BLT (/MSB AG-BLT/).

La structure de levage/guidage ainsi que les dispositifs de régulation magnétique du levage et du guidage font partie des principes d'exécution Technique de levage/guidage (/MSB AG-FZ TRA-FÜ/).

Le dimensionnement des éléments structurels des freins est indiqué dans /MSB AG-FZ BEM/.

## Fonction

Le frein de sécurité propre à la rame doit être conçu de telle sorte que la rame peut appliquer de façon autonome un freinage vers une zone d'arrêt donnée avec les équipements de l'installation technique de commande incorporés dans la rame.

Le frein de sécurité propre à la rame doit présenter les fonctions suivantes :

- effet de freinage pouvant être activé à tout moment par la BLT,
- niveau de freinage commandable par la BLT,
- fonction de frein d'arrêt.

Les Articles 13 et 20 du règlement MbBO s'appliquent à la fonction de frein d'arrêt. La mise en application doit faire l'objet d'une justification spécifique au projet. Il faut ici tenir compte des exigences de /MSB AG-GESAMTSYS/. Une position d'arrêt adoptée doit être conservée.

Le ralentissement de freinage est déterminé par la force de freinage efficace dépendante de la vitesse de la rame  $F_G$  lorsque la propulsion par stator long est désactivée et par le temps de développement du freinage  $t_e$  après l'activation par la BLT.

Règle générale à appliquer pour  $F_G$  :

$$F_G = F_{Brems} + F_W$$

avec  $F_{Brems}$  : Force de freinage de la rame sous l'effet des dispositifs de freinage

$F_W$  : Traînée de la rame

Le ralentissement de freinage est à vérifier par des essais techniques.

La force de freinage dépendante de la vitesse est calculée avec une masse  $m$  donnée de la rame par l'équation

$$F_G(v) = a(v) \cdot m.$$

La traînée  $F_W$  doit être vérifiée de la même manière que  $F_G$  par des essais techniques appropriés d'atterrissage de la rame non propulsée et non freinée.

La fonction de frein d'arrêt peut être réalisée en abaissant la rame sur les patins de levage.

- *La force de frein d'arrêt  $F_H$  est déterminée par la proportion abaissée de la masse de la rame  $m_b$  et l'indice de frottement  $\mu_H$  qui agit sur la surface de contact entre la rame et la voie.*
- *La fonction de frein d'arrêt est acquise lorsque la force de freinage d'arrêt est supérieure à la force agissant sur la rame à l'arrêt dans la direction  $x$ . Celle-ci se compose de la force descendionnelles dans le cas d'une inclinaison longitudinale et de la force aérodynamique par le vent dans la direction  $x$ .*
- *Il faut tenir compte d'un coefficient de sécurité  $> 1$  spécifique au projet lors de la justification de la fonction de frein d'arrêt.*
- *La courbe de freinage maximale et minimale pouvant être atteinte avec le frein de sécurité est représentée à titre d'exemple pour une voiture de la rame dans la*

**Force de freinage (kN/voiture)**

*F<sub>x</sub> = 360 kN/voiture (frottement d'adhérence) Force de freinage dynamique maximale*

*F<sub>x</sub> = 250 kN/voiture Glissement lors de la transition au frottement d'adhérence*

*F<sub>x</sub> = 215 kN/voiture Abaissement des patins de levage depuis le frottement glissant*

*F<sub>x</sub> = 110 kN/voiture (correspond au ralentissement de freinage de 1,5 m/s<sup>2</sup> avec le poids autorisé de la rame)*

*Zone de transition : frottement glissant → frottement d'adhérence*

*1 Courbe de freinage maximale (base pour le dimensionnement de la rame et de la voie)*

*2 Ligne de limitation du ralentissement admissible de 1,5 m/s<sup>2</sup>*

*3 Force de freinage minimale sur voie verglacée*

*4 Courbe de freinage minimale (base pour le profil de freinage sécurisé)*

*Force en cas d'effet inhabituel*

*Glissement sur les patins de levage*

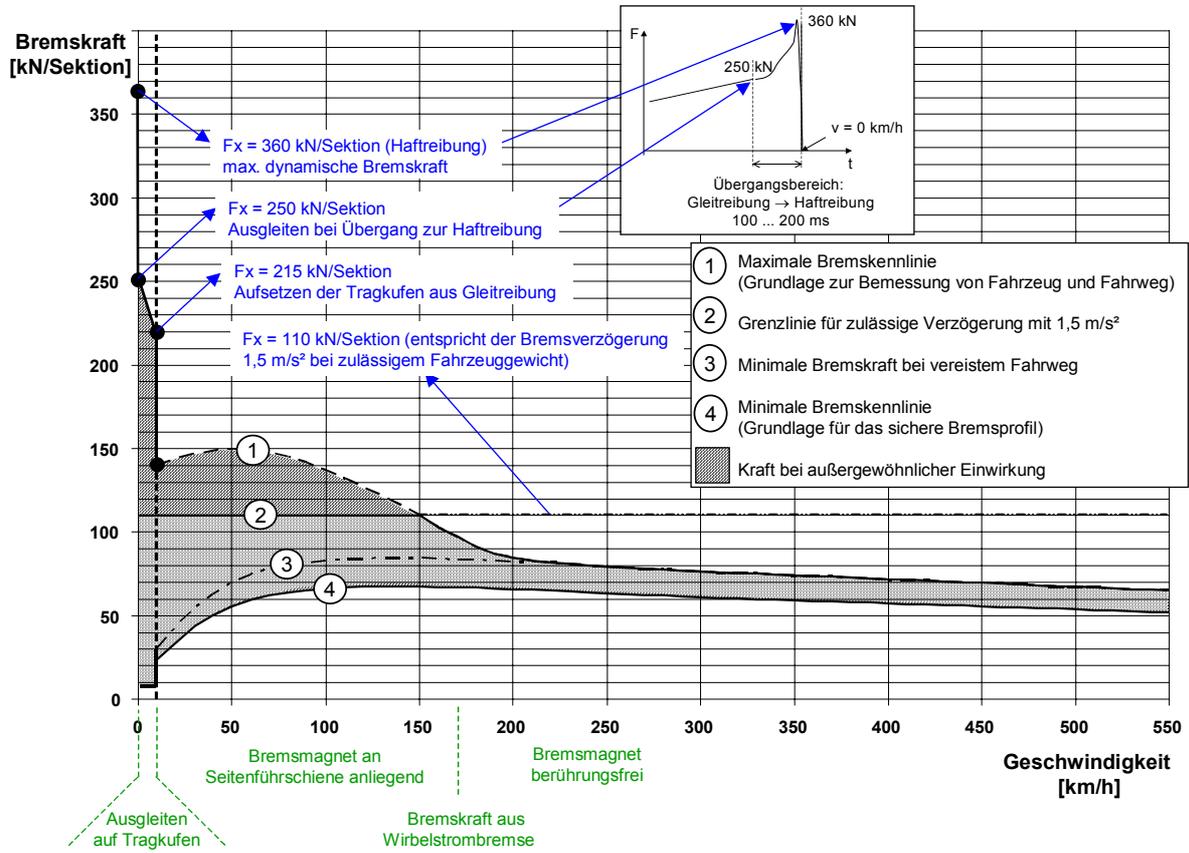
*Aimant de freinage appliqué sur le rail de guidage latéral*

*Force de freinage du frein à courant de Foucault*

*Aimant de freinage sans contact*

**Vitesse (km/h)**

- Fig. 98.
- Les valeurs limites sont à définir spécifiquement au projet en fonction des exigences de la BLT et du dimensionnement de la voie. Il faut respecter les valeurs fixées spécifiquement au projet.



**Force de freinage (kN/voiture)**

$F_x = 360$  kN/voiture (frottement d'adhérence) Force de freinage dynamique maximale

$F_x = 250$  kN/voiture Glissement lors de la transition au frottement d'adhérence

$F_x = 215$  kN/voiture Abaissement des patins de levage depuis le frottement glissant

$F_x = 110$  kN/voiture (correspond au ralentissement de freinage de  $1,5$  m/s<sup>2</sup> avec le poids autorisé de la rame)

Zone de transition : frottement glissant → frottement d'adhérence

1 Courbe de freinage maximale (base pour le dimensionnement de la rame et de la voie)

2 Ligne de limitation du ralentissement admissible de  $1,5$  m/s<sup>2</sup>

3 Force de freinage minimale sur voie verglacée

4 Courbe de freinage minimale (base pour le profil de freinage sécurisé)

Force en cas d'effet inhabituel

Glissement sur les patins de levage

Aimant de freinage appliqué sur le rail de guidage latéral

Force de freinage du frein à courant de Foucault

Aimant de freinage sans contact

**Vitesse (km/h)**

Fig. 98: Courbe de freinage du frein de sécurité pour une voiture de la rame (figure 10 de /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 8.5)

## Dimensionnement

- Il faut tenir compte lors du dimensionnement des charges qui sont transmises par les composants de la structure et les articulations des dispositifs produisant la force de freinage en utilisant les principes d'exécution de la rame, partie II (/MSB AG-FZ BEM/).
- Les charges doivent être documentées en fonction du projet.
- Pour les composants transmettant une charge, il faut apporter la justification de l'aptitude d'absorption des charges (justification de contrainte générale) et de résistance à la fatigue conformément aux indications dans la partie II (/MSB AG-FW BEM/).
- Les éléments de freinage doivent tenir pleinement compte des conditions géométriques additionnelles selon /MSB AG-FW GEO/. Il faut ici tenir compte du fait que les écarts de surface admissibles ne doivent pas avoir une influence critique sur l'effet de freinage.

## Exigences de sécurité

- Les systèmes techniques en rapport avec la sécurité doivent généralement être conçus et justifiés conformément à /DIN EN 50126/.

- *Une structure de cette tâche est représentée à titre d'exemple dans la Fig. 99 et la Fig. 100.*
- La commande et la fonction du frein de sécurité avec freinage voulu doivent être sécurisées dans toute la plage de vitesses pendant sa durée de vie (durée de vie assurée). Le taux de pannes admissible du frein de sécurité pendant une période de fonctionnement supposée (roulage et arrêt) est à déterminer par une analyse du risque.
- *Les mentions relatives à la méthode de réalisation de l'analyse du risque figurent dans les normes /prEN 50 126-2/ et /prR009-004/.*
- La plage de vitesses doit correspondre à la vitesse maximale pouvant être atteinte et doit inclure le profil de roulage maximum jusqu'à l'arrêt. La plage de vitesses peut être couverte par un ou plusieurs systèmes de freinage, par exemple un système de freinage par courant de Foucault combiné avec un frein à friction.
- La contrainte de durée de vie assurée doit couvrir les conditions additionnelles spécifiées les plus défavorables telles que la cargaison maximale, le vent arrière, une pente, les effets de l'environnement primaire, notamment les conditions météorologiques hivernales et la foudre, ainsi que les défaillances et les pannes techniques.
- Le frein de sécurité peut être réalisé avec des dispositifs de freinage redondants pour arriver au taux de panne exigé. Les pannes dans le frein de sécurité redondant ou un recul de la force de freinage en raison de défaillances techniques ne doivent pas influencer les propriétés de durée de vie assurée du frein de sécurité.
- Il faut justifier de la propriété de durée de vie assurée avant la mise en service du système au moyen d'une analyse appropriée, par exemple une analyse de l'arborescence des défauts. Cette justification théorique est à compléter par une vérification expérimentale des taux de pannes des modules supposés dans l'analyse ainsi que par des essais pratiques destinés à justifier du comportement en cas de panne de modules. Il faut réaliser une analyse des défauts ayant une cause commune dans le cadre de l'analyse.
- Pour le frein de sécurité, il faut procéder à une justification de la sécurité incluant une analyse du risque conformément à /DIN EN 50126/.
- *Les exigences et justifications relatives aux dispositifs de production de la force de freinage sont indiquées dans le chapitre 0.*
- *Les exigences et justifications relatives aux dispositifs de commande et de surveillance sont indiquées dans le chapitre 0.*
- Il faut définir le niveau SIL selon /EN 50129/ des équipements électroniques destinés à produire la force de freinage ainsi qu'à commander et surveiller l'effet de freinage en se basant sur l'analyse du risque et en tenir compte lors de la justification.
- Pour les logiciels dans les dispositifs de freinage, il faut tenir compte des niveaux d'exigence de sécurité des logiciels déterminés en se basant sur l'analyse du risque et en tenir compte de la justification selon /EN 50128/.

Il faut au moins tenir compte des défauts suivants dans ladite analyse :

- Défaut dans l'alimentation en énergie de bord,
- Exécution prématurée ou en retard d'une instruction d'abaissement,

- Erreur systématique (logiciel et matériel),
- Levage intempestif de la rame.

### **Exigences relatives à l'alimentation en énergie du bord**

- *Les propriétés du système de freinage sécurisé imposent des exigences fonctionnelles et sécuritaires à l'alimentation en énergie du bord, exigences dont il faut justifier qu'elles sont satisfaites. Voir / MSB AG-FZ TRAFÜ/.*
- Il faut prévoir une alimentation électrique ininterrompue pour l'exécution d'un freinage forcé avec le frein de sécurité. Il faut ici tenir compte des conditions environnementales et opérationnelles les plus défavorables spécifiées.

### **Exigences relatives à l'exécution d'une instruction d'abaissement**

- La commande d'abaissement doit être générée et liée logiquement par une fonction ET avec la vitesse déterminée de manière autonome dans chaque unité de levage/guidage de telle sorte que ladite commande d'abaissement ne puisse être exécutée de manière décentralisée que lorsque la vitesse de la rame est inférieure à la vitesse d'abaissement autorisée.
- Pour la commande d'abaissement, il faut apporter un justificatif prouvant que même avec toutes les pannes supposées, il existe une probabilité suffisante pour que l'instruction d'abaissement ne puisse être exécutée qu'au-dessous de la vitesse d'abaissement.

### **Défauts systématiques dans les dispositifs de freinage**

- Il faut effectuer la justification selon /DIN EN 50129/ pour prouver que les défauts systématiques dans le matériel et, s'il y a lieu, dans le logiciel des dispositifs relatifs à la sécurité destinés à la mesure, la commande, la régulation et la surveillance des circuits de régulation magnétique du frein de sécurité sont suffisamment improbables ou que leurs effets peuvent être maîtrisés.
- Les dispositifs de diagnostic et de régulation sont à réaliser séparément sur les plans matériel et logiciel.

## **Prise en compte des paires de frottement**

### **Aimant de freinage / Rail de guidage latéral**

- *L'effet de freinage du frein de sécurité est garanti par les forces mutuelles exercées par les composants aimant de freinage et rail de guidage latéral. L'effet de freinage est produit par l'effet du courant de Foucault et, dans la plage de vitesses inférieure, par frottement mécanique.*

- Lors du dimensionnement, il faut tenir compte des forces normales, des propriétés de frottement et de la pression de surface qui interviennent entre le rail de guidage latéral et la plaque de glissement.
- Il faut tenir compte de l'usure des plaques de glissement dans le programme d'entretien.
- Les propriétés de la paire de frottement plaque de glissement / rail de guidage latéral sont à définir et à justifier spécifiquement au projet. Des justificatifs d'un banc d'essai approprié peuvent être présentés à cet effet.

### **Patins de levage / Plan de glissement**

- *Les patins de levage et le plan de glissement entrent en contact mécanique en cas d'interruption de la fonction de levage mécanique.*

*Cela se produit*

- *lors de l'abaissement de la rame,*
- *lors d'un fonctionnement de secours du système de levage,*
- *en tant que fonction de freinage proportionnelle du freinage sécurisé aux faibles vitesses, par exemple  $\leq 10$  km/h (détermination en fonction du projet),*
- *en tant que fonction de frein d'arrêt.*
- Il faut tenir compte de l'usure des patins de levage dans le programme d'entretien.
- Les propriétés de la paire de frottement patins de levage / plan de glissement sont à définir et à justifier spécifiquement au projet. Des justificatifs d'un banc d'essai approprié peuvent être présentés à cet effet.

## Exigences imposées aux dispositifs de freinage

# Production de la force de freinage

### Fonctions et propriétés

*Les forces de freinage du frein de sécurité sont produites par :*

- *Les dispositifs de freinage qui provoquent des forces de freinage par le biais de l'interface avec la voie,*
- *Les dispositifs de freinage qui, à l'arrêt, produisent une force de freinage d'arrêt par le biais de l'interface avec la voie.*

### Effet des pannes

La panne d'un dispositif de freinage ne doit pas affecter la fonction des autres dispositifs de freinage.

Les pannes suivantes au sein d'un dispositif de freinage ne doivent pas dépasser une probabilité d'occurrence dont la fréquence par an et par rame est à déterminer préalablement au cours d'une analyse de risque :

- Les pannes qui entraînent une activation totale ou partielle du frein de sécurité sans instruction de la BLT,
- Les pannes qui entraînent un dépassement de la force de freinage maximale fixée,
- Les pannes qui ont pour effet que la force de freinage est inférieure au minimum fixé.

Il faut tenir compte des pannes des dispositifs de freinage lors du dimensionnement et de la réalisation du système de levage/guidage si elles ont un effet sur ce dernier.

Il faut tenir compte des pannes du système de levage/guidage lors du dimensionnement et de la réalisation des dispositifs de freinage si elles ont un effet sur ces derniers.

### Signalisation des pannes

Il faut signaler en sécurité intrinsèque les pannes des dispositifs de freinage ainsi que de la transmission de signaux vers / depuis la BLT.

Dans le cas de dispositifs de surveillance relatifs à la sécurité qui ne présentent pas de dispositif de signalisation automatique d'une panne, la signalisation des pannes doit avoir lieu par des contrôles de fonctionnement / des inspections périodiques.

Il faut respecter les durées de signalisation des pannes qui sont nécessaires pour tenir les taux de pannes prédéfinis selon l'analyse du risque.

Les critères et les intervalles de contrôle sont à déterminer par une analyse appropriée, par exemple une analyse de l'arborescence des défauts et une analyse des effets des pannes.

### **Justifications**

Pour les dispositifs de freinage, il faut fournir un contrôle de qualification réalisé avec des prototypes, lequel permet de justifier de la fonction, du comportement en cas de panne, de la signalisation des pannes et de la compatibilité avec l'environnement.

Les courbes de la force de freinage  $F_{\text{Brems}}$  en fonction de la vitesse, à la fois avec une pleine disponibilité des circuits de freinage et dans le cas du nombre maximum spécifiés de circuits de freinage en panne, ainsi que les courbes de la traînée  $F_W$  en fonction de la vitesse doivent être justifiées par des essais techniques avec une rame représentative sous des conditions environnementales et de charge d'exploitation données.

La courbe de la force de freinage  $F_{\text{Brems}}$  minimale efficace en fonction de la vitesse sous les conditions environnementales, de charge d'exploitation et de panne défavorables à prendre en compte peut être obtenue par calcul.

La justification de la force de freinage doit tenir compte des pannes qui sont incluses dans le taux de pannes acceptable selon l'analyse de risque (voir chapitre 0).

Il faut effectuer une analyse appropriée, par exemple une analyse de l'arborescence des défauts, pour justifier de la fonction à durée de vie assurée. Il faut réaliser une analyse des défauts ayant une cause commune dans le cadre de l'analyse.

Il faut justifier avec une analyse appropriée, par exemple une analyse de l'arborescence des défauts, que les événements suivants ne se produisent qu'avec une probabilité d'occurrence dont la fréquence par an et par rame est à déterminer préalablement au cours d'une analyse de risque :

- Freins totalement ou partiellement actifs sans commande ni régulation par la BLT,
- Force de freinage inférieure à une valeur exigée ou dépassement de la force de freinage maximale autorisée dans toute la plage de vitesses, y compris l'arrêt.

Le comportement en cas de panne est à justifier par des pannes simulées des composants lors d'essais techniques.

Il faut vérifier la fiabilité des dispositifs de freinage électroniques en déterminant le MTBF et en évaluant les données de cycle de vie avec des modules représentatifs en fonctionnement.

La compatibilité du MTBF vérifiée à partir des données de cycle de vie et des hypothèses prévisionnelles de l'analyse est à justifier.

## Commande et surveillance de l'effet de freinage

### Fonctions et propriétés

*Les fonctions de commande et de surveillance relatives à la sécurité du freinage sécurisé comprennent :*

- *La transmission des instructions de commande de la BLT aux dispositifs de freinage en vue d'activer la fonction de freinage et de commander l'effet de freinage.*
- *La génération d'informations d'état relatives à la sécurité en vue de surveiller les dispositifs de freinage et leur transmission à la BLT.*

*Les informations d'état ne concernant pas la sécurité (par exemple messages de diagnostic) ne font pas partie des présents principes d'exécution.*

### Comportement en cas de panne

Une panne isolée des dispositifs de commande/surveillance ne doit pas entraîner une perte ou une restriction des fonctions de commande / surveillance relatives à la sécurité.

La panne d'une fonction de commande/surveillance en rapport avec la sécurité suite la panne multiple de modules redondants doit donner lieu à une réaction de mise en sécurité automatique du système.

*Le déclenchement de cette réaction de mise en sécurité du système est garantie par l'installation technique de commande et n'est pas l'objet des présents principes d'exécution.*

### Justifications

Il faut procéder à une qualification des modules avec des prototypes ou avec une rame représentative.

Il faut tenir compte des dispositifs de commande et de surveillance dans l'analyse destinée à justifier de la probabilité d'occurrence d'un effet de freinage insuffisant ou imprévu (voir chapitre 6.1). Il faut réaliser une analyse des défauts ayant une cause commune dans le cadre de l'analyse.

## Effets des dispositifs de freinage sur la voie

### Généralités

- *Les forces indiquées ci-après correspondent aux valeurs caractéristiques des effets de la rame sur la voie au niveau des interfaces rame/voie.*

### Types d'effets et combinaisons d'effets

*Les effets des dispositifs de freinage sur la voie se produisent au niveau des points de jonction suivants :*

- *Aimant de freinage – Rail de guidage latéral,*
- *Patin de levage - Plan de glissement.*

*Les forces agissant sur la voie résultent des fonctions suivantes :*

- *effet de freinage magnétique par les courants de Foucault induits par l'aimant de freinage dans le rail de guidage latéral,*
- *force de traction magnétique sur le rail de guidage latéral faisant office de rail de réaction pour les aimants de freinage,*
- *effet de freinage mécanique par frottement entre l'aimant de freinage et le rail de guidage latéral,*
- *effet de freinage mécanique par frottement entre le patin de levage et le plan de glissement.*

L'influence des intempéries sur l'effet de freinage magnétique peut être négligée.

*L'effet de freinage mécanique est influencé par le coefficient de frottement effectif sous l'effet de différentes conditions environnementales.*

Il faut tenir compte des effets sur la structure des dispositifs de freinage et sur l'induction des forces dans le système de levage/guidage conformément au chapitre 0 lors du dimensionnement des modules.

Dans les principes de dimensionnement de la voie, il faut considérer les effets sur celle-ci comme des effets variables ou exceptionnels provenant de la rame.

Pour que les effets supposés dans les principes de dimensionnement de la voie résultant du fonctionnement de la rame coïncident suffisamment avec les effets qui se produisent réellement, il ne faut pas dépasser les valeurs indiquées dans le chapitre 0 pour les forces transmises par la rame (tolérance admissible lors de la vérification des grandeurs d'influence 5%).

Les grandeurs indiquées des valeurs caractéristiques des effets doivent pour chaque application être définies de manière obligatoire dans une spécification spécifique au projet.

Il faut justifier du niveau des effets par calcul ou par mesure avec une rame représentative.

## Forces et schémas de charge

### Effets globaux sur la voie

- La valeur caractéristique à respecter pour l'effet de freinage global maximum d'une voiture de la rame sur la voie est une force de 250 kN dans le sens x avec un poids total autorisé selon /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 9, et une vitesse  $v > 0$  km/h.
- Il faut tenir compte de l'effet de la transition du frottement de glissement au frottement d'adhérence lors du passage de  $v > 0$  km/h à  $v = 0$  km/h. Il peut ici se produire une force transitoire maximale de 360 kN dans le sens x avec une durée d'application de l'ordre de 100 ms à 200 ms.

### Point de jonction aimant de freinage – rail de guidage latéral

- *Il se produit au niveau du point de jonction entre l'aimant de freinage (BM) et le rail de guidage latéral (SFS) une transmission magnétique de forces de traction dans la direction y et une transmission magnétique et mécanique des forces de freinage dans la direction x.*
- Le matériau du rail de guidage latéral doit satisfaire aux exigences de /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 6.1.4.3.6. En plus de cela, il faut également tenir compte de la charge énergétique produite par les dispositifs de freinage sécurisé dans la SFS, laquelle est transformée en chaleur.
- *Les forces de freinage magnétique dans la direction x sont produites par les courants de Foucault induits par les aimants de freinage dans la SFS.*
- *Les forces de freinage mécaniques dans la direction x sont produites par les forces de frottement résultant des forces d'attraction magnétique entre le BM et la SFS.*
- Il faut tenir compte des valeurs caractéristiques suivantes pour les charges quasi-statiques maximales résultant d'un aimant de freinage individuel :

Nature de l'effet	Sens de l'effet	Charge par aimant de freinage	Charge par m de SFS
Force de traction	Direction y	50 kN	25 kN/m <sup>1)</sup>
Force longitudinale	Direction x	75 kN	37,5 kN/m

<sup>1)</sup> La charge peut être localement supérieure de 50 %

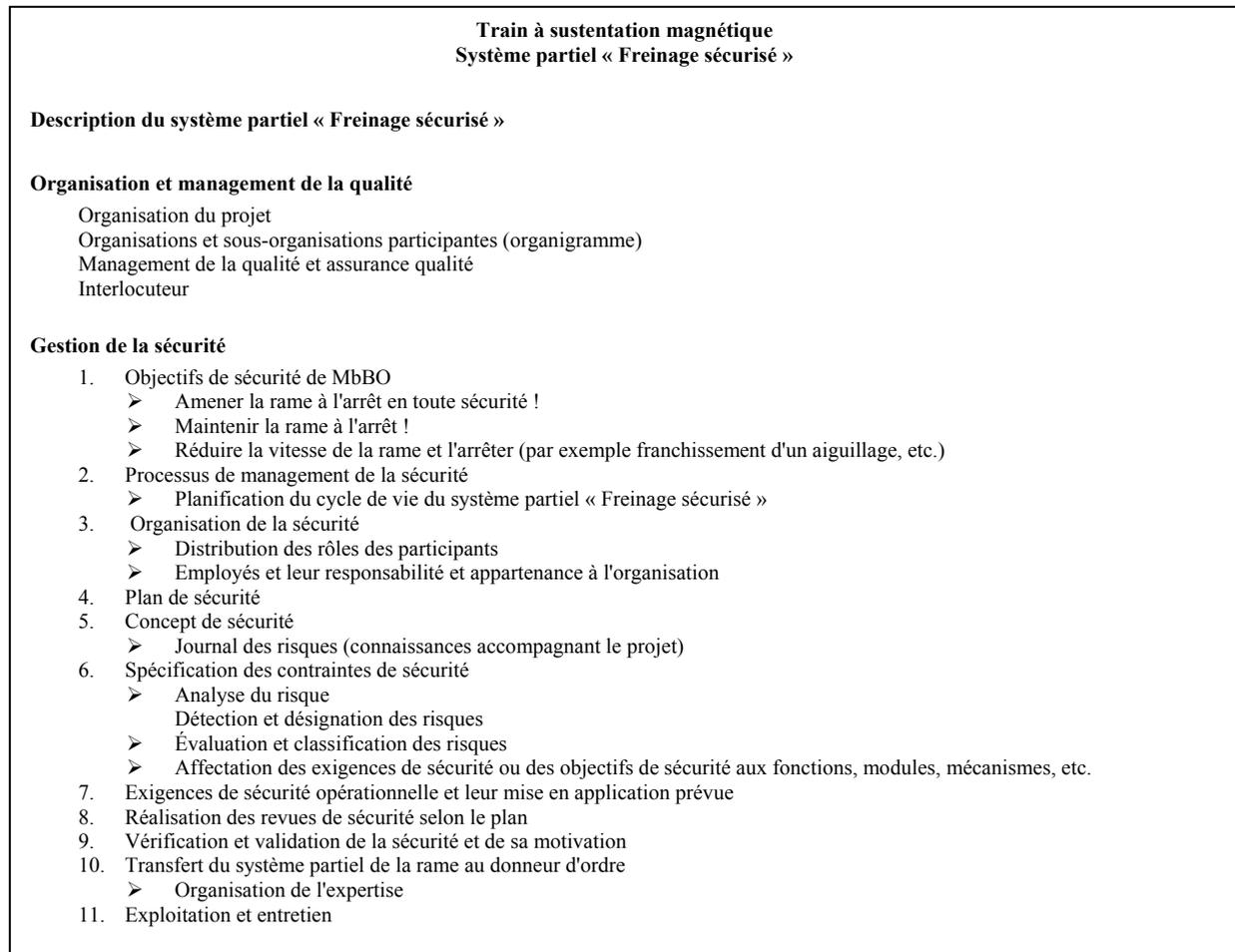
Tableau 88 : Valeurs caractéristiques suivantes pour les charges quasi-statiques maximales résultant d'un aimant de freinage individuel

**Point de jonction patin de levage – Plan de glissement**

- *Au point de jonction entre le patin de levage et le plan de glissement (GE), il se produit une transmission du poids quasi-statique dans le sens z et une force dans le sens x résultant du poids et du coefficient de frottement.*
- Il faut tenir compte des valeurs caractéristiques suivantes pour les charges quasi-statiques maximales résultant d'un patin de levage individuel :

Nature de l'effet	Sens de l'effet	Charge par patin de levage
Force de pression	Direction z	50 kN
Force longitudinale	Direction x	15 kN quasi-stationnaire avec $v > 0$ km/h max. 25 kN transitoire avec $v \rightarrow 0$ km/h

Tableau 89 : Valeurs caractéristiques suivantes pour les charges quasi-statiques maximales résultant d'un patin de levage individuel



*Fig. 99: Structure du projet des systèmes techniques relatifs à la sécurité (Partie I / exemple spécifique au projet)*

<b>Train à sustentation magnétique</b> <b>Système partiel « Freinage sécurisé »</b>	
<b>Justification de la sécurité fonctionnelle et technique</b>	
1.	Introduction
1.1	Principe légal
1.2	Normes
1.3	Exigences
2.	Justification du comportement fonctionnel correct du système partiel « Freinage sécurisé »
2.1	Description du système partiel « Freinage sécurisé » dans l'architecture du système
2.2	Définition des interfaces
2.2.1	Interfaces au sein du système partiel « Freinage sécurisé »
2.2.2	Interfaces du système partiel « Freinage sécurisé » dans le système rame/voie
2.2.3	Interface avec l'exploitation
2.2.4	Interfaces avec la rame
2.2.5	Interfaces avec le frein régulé
2.3	Réalisation des exigences imposées au système partiel « Freinage sécurisé »
2.3.1	Concept, calculs
2.3.2	Spécifications de test
2.3.4	Vérification, validation
2.4	Réalisation des exigences de sécurité imposées au « Freinage sécurisé »
2.4.1	Justification des objectifs de sécurité définis
2.4.2	Justification par le biais d'analyses de sécurité
	- Analyse des défauts communs
	- Analyse des pannes suite à un défaut
	- Analyse de l'arborescence des défauts
	- ...
2.4.3	Justification des fonctions de sécurité
	- Spécifications d'essai et rapport d'essai
2.5	Justification de la fonctionnalité correcte de la mécanique (TK, fixation, supports et attaches, GL)
2.5.1	Sécurité
2.5.2	Fiabilité
2.5.3	Disponibilité
2.5.4	Entretien
2.6	Justification du bon fonctionnement de la conduite, de la centrale de commande, de l'installation technique de commande
2.6.1	Réalisation de l'intégrité de la sécurité du logiciel
2.6.2	Signalisation des défauts
2.6.3	Processus de développement d'après modèle avec évaluation
2.6.4	Interaction entre logiciel/matériel et la technique de commande ou la mécanique
3.	Panne du système partiel « Freinage sécurisé » et ses effets vers l'intérieur et l'extérieur
3.1	Pannes isolées (redondances, réaction en cas de panne, propriétés imperdables)
3.1.1	Pannes dans le système partiel « Freinage sécurisé »
3.1.2	Pannes du système partiel « Freinage sécurisé »
3.2	Indépendance des modules dans le système partiel « Freinage sécurisé »
	- Influences physiques et fonctionnelles internes
	- Influences physiques et fonctionnelles externes
3.3	Signalisation des défauts isolés dans le système partiel « Freinage sécurisé »
3.4	Conduite et actions après la signalisation du défaut isolé
3.5	Effets des défauts multiples
	- Justification de la durée de vie assurée
	- ...
3.6	Mesures de protection contre les défauts systématiques
	- Management de la qualité
	- Gestion de la sécurité
4.	Influences externes sur le système partiel « Freinage sécurisé »
	- Influences physiques et fonctionnelles
	- Influences opérationnelles
	- Influences en rapport avec la sécurité
5.	Conditions d'utilisation relatives à la sécurité du système partiel « Freinage sécurisé » sur d'autres systèmes partiels et systèmes selon 2.2.
6.	Mise à l'épreuve de la sécurité

Fig. 100: Structure du projet des systèmes techniques relatifs à la sécurité (Partie II / exemple spécifique au projet)

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Propulsion et approvisionnement en énergie**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur  
auteur.  
Tous droits réservés

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Propulsion et approvisionnement en énergie à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Propulsion et approvision-  
nement en énergie

**Table des matières**

<b>Destinataires</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Aperçu des modifications</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Table des matières</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Généralités</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Objet du document et champ d'application .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abréviations et définitions.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Lois, décrets, normes et directives .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Exigences relatives au système</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Structure et construction.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Comportement en cas de panne .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences de sécurité.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Régulation / Commande .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Exigences relatives à l'alimentation en énergie</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Exigences relatives à la propulsion</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Convertisseur.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Régulation / commande de la propulsion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Commande de la propulsion.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Guidage de la rame .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Commande de portion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Régulation du courant.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Régulation / commande des convertisseurs .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Portion de propulsion.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Points de commutation .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Câbles de portion.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface avec l'enroulement du stator long.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Détection de la position des pôles en un endroit fixe .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Service</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Déroulement du service.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Personnel de service .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Maintenance .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Généralités

### Objet du document et champ d'application

Les présents principes d'exécution spécifient les propriétés techniques et opérationnelles générales d'un système partiel Propulsion et approvisionnement en énergie du train rapide à sustentation magnétique. Ceux-ci constituent la base pour la conception, la planification et l'homologation ainsi que la réalisation et l'exploitation des projets de train rapide à sustentation magnétique.

Les présents principes d'exécution ne s'appliquent qu'en relation avec /MSB AG-GESAMTSYS/ où sont définies les fonctions fondamentales de l'ensemble du système et des systèmes partiels associés.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

### Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR&IH/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

### Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

### Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publi-

cations ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

Il faut notamment respecter les normes suivantes pour la propulsion et l'approvisionnement en énergie :

/DIN VDE 0100/ Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V (Dispositions relatives à l'édification d'installations à courant fort avec des tensions nominales jusqu'à 1000 V)

/DIN VDE 0101/ Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV (Installations à courant fort avec des tensions alternatives nominales supérieures à 1 kV)

/DIN VDE 0105/ Betrieb von elektrischen Anlagen (Exploitation d'installations électriques)

/DIN EN 62305/ Protection contre la foudre

/DIN EN 50121/ Applications ferroviaires - Compatibilité électromagnétique

/DIN EN 60071/ Coordination de l'isolement (pour les tensions alternatives supérieures à 1 kV)

/DIN EN 60228/ Âmes des câbles isolés

/DIN VDE 0276/ Starkstromkabel mit extrudierter Isolierung (Câble pour courants forts avec isolant extrudé)

/DIN EN 60664/ Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension

/DIN EN 60909-0/ Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif - Partie 0 : calcul des courants

/DIN VDE 0888/ Lichtwellenleiter-Kabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen (Câbles à fibres optiques pour les installations de téléphonie et de traitement d'informations)

/DIN EN 60076/ Transformateurs de puissance

/DIN EN 60694/, Spécifications communes aux normes de l'appareillage à haute tension

/DIN EN 62271/, Appareillage à haute tension

/DIN EN 61642/ Réseaux industriels à courant alternatif affectés par les harmoniques - Emploi de filtres et de condensateurs shunt

/DIN EN 62040/ Alimentations sans interruption (ASI)

/DIN EN 61378-1/ Transformateurs de conversion

/DIN EN 50178/ Équipement électronique utilisé dans les installations de puissance

Les justificatifs de sécurité pour les fonctions du système partiel Propulsion et approvisionnement en énergie doivent en principe être apportés conformément à la norme /DIN EN 61508/ applicable.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique*

à des fins d'identification.

Le niveau d'obligation des exigences a été fixé sur la base de la norme /DIN 820-2/, annexe G, et pris en compte de façon correspondante dans la formulation des exigences.

## Exigences relatives au système

### Structure et construction

*Voir /MSB AG GESAMTSYS/, chapitre 6.1.2, propos de la structure. Ce document contient des explications à propos de la structure, des fonctions et des paramètres de configuration.*

*Les paragraphes 13, 14 et 15 du document /MSB AG GESAMTSYS/, chapitre 8, présentent en outre la construction et la structure de la propulsion et de l'approvisionnement en énergie.*

La propulsion et l'approvisionnement en énergie doivent être conçus en fonction du projet.

*La conception doit notamment se baser sur le programme d'exploitation, la séquence des trains, la configuration des trains, la vitesse théorique.*

*D'autres données de base selon /MSB AG GESAMTSYS/, chapitre 9 (Annexe 1) sont définies spécifiquement pour le projet.*

Il convient de configurer le système partiel Propulsion et approvisionnement en énergie de telle sorte que les unités fonctionnelles puissent être conçues, fabriquées, installées, mises en service et testées le plus indépendamment possible les unes des autres.

Pour la redondance fonctionnelle des pannes isolées des modules, les sections du stator doivent être distribuées sur au moins deux systèmes moteurs indépendants et disposées de telle sorte qu'au moins deux systèmes moteurs soient toujours affectés à une rame de TSM.

Une seule rame en sustentation doit se trouver dans une zone de propulsion.

Plusieurs rames de TSM abaissées doivent pouvoir se trouver dans une zone de propulsion.

*Une zone de propulsion peut être associée à des zones de portion fixes ou à certaines zones de portion au choix (chevauchement des zones).*

Il faut associer aux zones de propulsion des zones sécurisées par l'installation technique de commande.

Il convient généralement que les zones de propulsion soient des zones identiques aux zones sécurisées par l'installation technique de commande. Plusieurs zones de propulsion peuvent cependant être associées à une seule zone sécurisée par l'installation technique de commande ou inversement. Mais il ne doit jamais exister de zones de propulsion auxquelles n'est associée aucune zone sécurisée par l'installation technique de commande.

#### Procédé de changement de section

Le système de propulsion doit maîtriser le procédé de changement de section à définir spécifiquement pour le projet.

*Des exemples de procédé de changement de section sont les procédés en marche alternée ou en trois étapes.*

Il convient de prévoir un changement de section du stator aux endroits où il faut s'attendre à des sauts  $>90^\circ$  dans l'angle électrique du stator long (ce qui correspond à 1/2 répartition polaire) (par exemple ouvrages porteurs primaires). Des exceptions peuvent être définies spécifiquement au projet si la zone concernée est considérablement plus courte que la rame.

#### Procédé d'injection

Le système de propulsion doit maîtriser le procédé d'injection à définir spécifiquement pour le projet.

*Des exemples de procédé d'injection sont l'injection simple (injection de l'énergie de propulsion dans un système moteur depuis une sous-station) et double injection (injection simultanée de l'énergie de propulsion dans un système moteur depuis deux sous-stations différentes).*

### Exécution des portions de propulsion

Les portions de propulsion sont à réaliser sous la forme d'un système avec un point neutre isolé et détection de court-circuit à la terre.

*Avec un réseau mis à la terre, des courants de terre se produiraient en raison des sauts de potentiel du convertisseur. Le système IT permet ainsi de contrôler l'absence de défaut sur la portion de propulsion, stator long compris. Un simple défaut de terre ne provoque pas encore un court-circuit au niveau du système IT.*

Le conducteur de l'enroulement du stator long doit présenter des dispositifs de blindage à relier à la terre de manière appropriée de telle sorte qu'aucune tension non admissible ne puisse s'établir par le passage des aimants de levage de la rame de TSM.

*Le dispositif de blindage correspond sur le plan fonctionnel à un blindage de câble, mais il ne doit pas nécessairement être réalisé sous la forme d'un blindage au sens classique du terme. Des gaines extérieures conductrices à haute impédance sont également possibles, par exemple. Le passage de la rame et des aimants de levage provoque également des champs magnétiques alternés qui peuvent induire des tensions dans les dispositifs de blindage. Celles-ci peuvent donner lieu à des potentiels non admissibles aussi bien à l'intérieur des dispositifs de blindage que par rapport à la terre. Pour éviter cela, il faut réaliser une mise à la terre de préférence quasi-continue du blindage, par exemple par un contact du dispositif de blindage dans les rainures du stator. La mise à la terre du dispositif de blindage est une condition préalable à la détection des défauts de terre du conducteur de l'enroulement du stator long.*

## **Comportement en cas de panne**

En référence à /DIN EN 50160/, les courtes interruptions du réseau d'alimentation ayant une durée <1s ne doivent généralement pas donner lieu à une interruption du roulage ou à un retard dans l'horaire.

## **Exigences de sécurité**

Le système partiel Propulsion et approvisionnement en énergie ne doit prendre en charge aucune fonction de sécurisation du roulage dans le sens de la sécurité technique de signalisation.

*Les pannes ou les comportements erronés de la fonction de propulsion qui entraînent une violation du profil de roulage minimum ou maximum déclenchent un arrêt sécurisé de la propulsion par la BLT. Outre la violation du profil de roulage, l'instruction d'arrêt de la propulsion est également générée en cas de panne multiple de certains modules de l'installation technique de commande, par exemple en cas d'étincelage.*

Il faut prévoir dans le système partiel Propulsion et approvisionnement en énergie des dispositifs d'arrêt sécurisé de la propulsion (SIAB) qui inhibent avec suffisamment de sécurité le flux d'énergie de traction.

Le système de propulsion doit disposer de dispositifs de protection qui empêchent l'application de forces non autorisées sur la voirie et la rame de TSM. Les seuils de protection correspondants sont à déterminer en fonction du projet.

En plus de cela, la différence entre les forces de traction du stator de droite et de gauche ne doit pas devenir supérieure à la valeur indiquée dans /MSB AG GESAMTSYS/ chapitre 9, N° 7.

Les enroulements en court-circuit (enroulement statorique avec point neutre aux deux extrémités pour générer les forces de freinage) doivent être réalisés de manière suffisamment sûre s'ils sont pris en compte dans la détermination du profil de freinage sécurisé.

Les probabilités de panne admissibles pour les SIAB, les dispositifs de protection et les enroulements en court-circuit sont dérivées d'une analyse du risque spécifique au projet, voir /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 5.4.1 et chapitre 6.1.3.

## Régulation / Commande

La régulation et la commande de la propulsion doivent fonctionner de manière entièrement automatique conformément aux instructions et aux valeurs de consigne de la BLT.

*La BLT transmet à la propulsion les données de localisation nécessaires pour la régulation et la commande de la propulsion.*

Les exigences en matière de précision des informations de localisation et de position des pôles pour la propulsion sont à définir spécifiquement au projet.

Il faut établir une gestion appropriée de la configuration pour tous les paramètres de régulation et de commande ainsi que pour les logiciels de la propulsion.

Il faut justifier de la mise en oeuvre correcte des paramètres de régulation et de commande en rapport avec la sécurité (seuils de protection) dans le cadre de l'homologation/réception.

*Ces paramètres de projet interviennent, par exemple, dans le calcul des tronçons de liaison en rapport avec la sécurité.*

En cas de remplacement d'un module, il doit y avoir transfert/prise en charge de l'ensemble des paramètres techniques de régulation. Il faut exclure toute nécessité de réglage individuel de chacun des paramètres de régulation et de commande en cas de remplacement d'un module.

La propulsion doit respecter les indications de vitesse de la BLT en tenant compte de la précision de régulation.

*La propulsion déplace la rame de TSM en respectant les valeurs limites de vitesse prédéfinies par la BLT (voir 0) aussi vite que la puissance disponible le permet.*

La précision de régulation de la vitesse doit être déterminée spécifiquement pour le projet.

*Cette précision influence les vitesses pouvant être atteintes et ainsi les temps de déplacement.*

La propulsion doit réguler l'arrêt voulu avec une précision à définir spécifiquement au projet.

Les changements de section de stator doivent s'effectuer de telle sorte que la norme /ISO 2631/ relative aux accélérations de confort et aux à-coups dans le sens x soit respectée.

Pour la mise en service, il faut prévoir un mode de fonctionnement spécial qui permet de tester la BLT et la propulsion sans que la rame de TSM ne se déplace. Dans ce, il faut transmettre les valeurs simulées de la rame à la BLT.

Les données et les logiciels spécifiques au projet doivent être enregistrés de manière à ce qu'ils ne puissent pas être perdus en cas de panne électrique et que l'exploitation puisse reprendre sans intervention sur place lors du rétablissement de l'alimentation électrique.

## **Exigences relatives à l'alimentation en énergie**

*L'alimentation en énergie sert à fournir de l'énergie électrique selon les exigences des systèmes partiels du TSM. Les exigences sont pour l'essentiel couvertes par les normes électrotechniques en vigueur (voir /MSB AG-NORM&RILI/). Des exigences spécifiques au TSM sont en plus mentionnées dans le chapitre 5.*

Il faut respecter les normes du chapitre 4.4.

## Exigences relatives à la propulsion

### Convertisseur

#### Fonction

Les convertisseurs ont pour fonction de convertir l'énergie électrique de la tension et fréquences données en des systèmes triphasés ayant une tension et une fréquence continuellement régulées pour l'alimentation des enroulements du stator long.

Les convertisseurs et les câbles de portion doivent pouvoir être connectés ensemble et déconnectés les uns des autres par le biais de contacteurs.

#### Configuration

Les convertisseurs doivent être conçus pour la propulsion et le freinage avec un fonctionnement du moteur dans 4 quadrants.

Les convertisseurs doivent être conçus de manière à permettre une réinjection sur le réseau.

#### Installation

Les convertisseurs doivent être protégés contre tout accès non autorisé par une installation dans des postes électriques fermés.

### Régulation / commande de la propulsion

*Les fonctions de la régulation/commande de la propulsion sont décrites dans /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 6.1.2. Les exigences imposées aux fonctions sont en partie détaillées ci-après.*

#### Commande de la propulsion

Il faut tenir compte de la grandeur d'entrée suivante :

- Instruction de la validation de la propulsion par le BLT.

Il faut délivrer la grandeur de sortie suivante :

- Message d'état des classes de défaut (c'est-à-dire proportion de puissance disponible de la puissance totale) avec une grande fiabilité à la BLT.

Il faut réaliser la fonction de commande suivante :

- Armement et désarmement automatique du système partiel Propulsion et approvisionnement en énergie.

#### Guidage de la rame

La propulsion doit guider une rame au sein d'une zone de propulsion d'après les indications de la BLT.

Il faut traiter les grandeurs d'entrée suivantes (selon /MSB AG-GESAMTSYS/) :  
par la BLT :

- Lieu ciblé,
- Profil de vitesse prédéfini (limites supérieure et inférieure),
- Données de portion (pour détecter la position des dispositifs de changement de voie),

- Sens de déplacement voulu,
- Valeurs limites d'accélération,
- Mode de fonctionnement (voir /MSB AG-GESAMTSYS/, fig. 15),
- Reconnaissance de la rame ;  
de la détection du lieu dans la rame de TSM, transmission directe par radio :
- Emplacement de la rame,
- Signal de position de la rame,
- Reconnaissance de la rame.

La propulsion doit calculer les courbes de freinage voulues  $v_{\text{sol}(x)}$  pour atteindre les points ciblés prédéfinis selon /MSB AG-GESAMTSYS/ chapitre 5.4.1.2.4.2 en tenant compte du profil de roulage maximum.

Lors du calcul de la courbe de freinage voulue  $v_{\text{sol}(x)}$  pour les points ciblés selon /MSB AG-GESAMTSYS/ chapitre 5.4.1.2.4.2, il faut tenir compte de la puissance de freinage actuellement disponible de la propulsion afin de ne pas violer le profil de roulage maximum si la puissance de propulsion disponible est trop faible et qu'il ne soit ainsi pas nécessaire d'activer le frein de sécurité. Selon /MSB AG-GESAMTSYS/ chapitre 5.4.1.2.4.2, il est également possible qu'il existe dans un projet des points ciblés pour lesquels la propulsion ne peut pas satisfaire aux deux exigences mentionnées ci-dessus. Il s'agit ici de points ciblés de points d'arrêt opérationnels qui ne sont pas utilisés pour des raisons opérationnelles, mais pour des raisons techniques. Ces raisons techniques sont, par exemple, une panne totale dans le système de localisation, dans le système de transmission de données, dans la BLT ou dans la propulsion elle-même, ce qui veut dire que dans ces cas la propulsion est de toute façon généralement désactivée pour des raisons de sécurité. Ces points ciblés sont alors atteints en cas de besoin avec le frein de sécurité.

Les pannes de la propulsion qui surviennent lorsque le calcul du freinage voulu peuvent donner lieu à une violation du profil. Voir /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 6.1.3.2 pour le comportement du système en cas de violation du profil.

Il faut en outre disposer des fonctions suivantes :

- Régulation de l'immobilisation (régulation de l'emplacement lors de l'abaissement / du levage)
- Limitation de la vitesse, de l'accélération et des à-coups selon /MSB AG-GESAMTSYS/, chapitre 9.

## Commande de portion

La commande de portion doit activer/désactiver les commutateurs d'injection et de neutre en une position précise et surveiller les messages en retour.

### Protection du stator long

Il faut détecter les courts-circuits à la terre et les coupures. La section concernée du stator est à déconnecter.

Un court-circuit de l'enroulement doit être empêché avec une grande fiabilité par une surveillance des sections du stator destinée à détecter les courts-circuits à la terre et un déconnexion des courants de terre élevés, voir /MSB AG GESAMTSYS/, chapitre 5.4.

*Comme les câbles de l'enroulement du stator long sont équipés d'un blindage mis à la terre ou sont mis à la terre par leur surface, un court-circuit à la terre se produit avant un court-circuit. Du fait que le réseau n'est pas mis à la terre, un deuxième court-circuit à la terre est équivalent à un court-circuit. Les courts-circuits dans l'enroulement du stator long peuvent avoir des contre-réactions sur la fonction de levage de la rame de TSM et, à proximité du point neutre, provoquer un abaissement unilatéral de cette dernière. L'abaissement unilatéral est un cas de charge sans rapport avec la sécurité qui est pris en compte dans le dimensionnement de la voie et de la rame.*

En cas de court-circuit avéré à la terre, il faut couper le courant de court-circuit à la terre. Pour ce faire, il faut ouvrir galvaniquement l'enroulement du stator long au niveau du point d'injection et du point neutre (commutateur de point d'alimentation ou de point neutre). Le rétablissement doit être bloqué jusqu'à l'achèvement de la réparation de l'enroulement.

Le roulage doit pouvoir se poursuivre avec une propulsion unilatérale dans la section concernée. Il ne doit ici se produire aucune mise à la terre de la section défaillante du stator, car celle-ci pourrait provoquer un court-circuit de l'enroulement.

Il faut établir des consignes d'exploitation et d'entretien correspondant pour le verrouillage, la mise à la terre, la réparation et la remise en circuit.

Si tous les courts-circuits à la terre ne peuvent pas être détectés pendant le roulage, il faut en plus prévoir un contrôle quotidien des courts-circuits en-dehors du roulage.

Il doit être possible de contrôler la fonction de détection des défauts de terre. Les intervalles de contrôle sont à déterminer en fonction du projet.

#### Protection des portions de propulsion

Toutes les pièces d'équipement des portions de propulsion doivent être protégées conformément aux normes en vigueur (voir /MSB AG-NORM&RILI/). Il faut ici tenir compte du fait qu'il existe un système IT, notamment pour la détection des défauts de terre.

### **Régulation du courant**

Il doit être possible de faire fonctionner le moteur linéaire soit au rendement maximum, soit avec la poussée maximale.

Le courant du stator doit généralement être réglé en phase avec la tension de la roue polaire.

Une commande de puissance réactive / fluctuation du courant (courant du stator en avance de phase par rapport à la tension de la roue polaire) doit être possible en vue d'obtenir une force de poussée maximale en cas de limitation de la tension.

Si la fluctuation du courant est appliquée, il faut déterminer spécifiquement au projet la durée et l'amplitude des composantes de courant venant s'opposer au champ magnétique de levage de la rame de TSM dans une spécification d'interface avec le système partiel Rame.

Le courant du convertisseur et du stator doivent être limités conformément aux valeurs limites dynamiques et thermiques du convertisseur, des câbles de la portion et de l'enroulement du stator (protection de l'installation).

La poussée maximale doit pouvoir être limitée par un réglage de valeurs limites de courant appropriées (voir /MSB AG GESAMTSYS/, chapitre 9).

La tension de sortie de la sous-station doit être limitée aux valeurs maximales en vue de la protection de l'installation.

Deux convertisseurs doivent pouvoir alimenter simultanément un système moteur (double injection selon le chapitre 5.1).

## Régulation / commande des convertisseurs

Le convertisseur doit être protégé contre les surtensions, les surintensités, les températures excessives et les courts-circuits à la terre (protection de l'installation).

Suite à un arrêt du convertisseur lié à un défaut, une remise en circuit automatique doit être possible après l'élimination ou la disparition de la cause du défaut.

## Portion de propulsion

La transmission d'énergie de la sous-station vers le stator long doit s'effectuer par les câbles de portion et les postes de commande.

Lors de la conception des moyens opérationnels, il faut tenir compte de la charge réelle produit spécifique au TSM (fréquence et amplitude variables, fonctionnement intermittent, harmoniques).

## Points de commutation

Les points de commutation doivent être commandés à distance et réaliser une liaison commutable entre le câble de portion et les sections de stator.

Du point de vue fonctionnel, il faut différencier les commutateurs d'injection et de point neutre. Au besoin, ceux-ci doivent pouvoir être intégrés dans un bâtiment.

Les commutateurs de point neutre doivent eux aussi pouvoir être commandés à distance afin de pouvoir réaliser une séparation des phases de la section de stator en vue de vérifier l'absence de défaut de terre et aussi pour pouvoir poursuivre l'exploitation en cas de défaut de terre.

Les positions des commutateurs doivent être signalées.

## Câbles de portion

Il faut prévoir des câbles de portion pour la transmission de l'énergie de traction des sous-stations vers les points de commutation.

Il faut tenir compte des exigences particulières en matière de pose des câbles dans les tunnels selon les /Directives MSB-Tunnel/.

### Signalisation des défauts

Il faut détecter les courts-circuits à la terre et les coupures. Pour une réparation rapide, il doit être possible de délimiter le lieu du défaut sur une zone du câble entre les deux points d'injection (points de commutation) du stator long voisins du point de défaut.

### Comportement en cas de panne

Les défauts signalés doivent donner lieu à un arrêt automatique de l'alimentation du câble dans un équipement de commutation de sortie (équipement de commutation à la fin du câble de portion dans la sous-station) et à une déconnexion des commutateurs aux points de commutation.

## Interface avec l'enroulement du stator long

Il faut tenir compte des données indiquées dans /MSB AG-GESAMTSYS/ chapitre 6.1.2.3 ou les définir spécifiquement au projet.

## Détection de la position des pôles en un endroit fixe

Pour des examens spéciaux, il faut pouvoir réaliser une détection de la position des pôles en un endroit fixe (détection de la position de la rame par rapport à l'enroulement du stator long), laquelle

permet de détecter la position relative de la rame indépendamment des dispositifs de localisation de la rame elle-même. Il faut ici tenir compte de l'interface vers le système partiel Voie.

*Ce dispositif fait partie des « Autres ouvrages » selon /MSB AG-FW/ Partie 1.*

## Service

### Déroulement du service

Le service doit pouvoir se dérouler automatiquement selon /MSB AG-GESAMTSYS/.

L'armement (mise en état opérationnel) et le désarmement (mise en l'état dé-énergisé) de la propulsion doivent pouvoir être effectués par la BLT.

L'armement et le désarmement automatique du système d'approvisionnement en énergie doivent pouvoir être réalisés à distance.

La propulsion doit déplacer automatiquement les rames de TSM en fonction des indications de la BLT.

### Personnel de service

Comme les fonctions de propulsion nécessaires au service sont exécutées automatiquement d'après les indications de la BLT, aucun personnel de service ne doit être nécessaire pour la propulsion et l'approvisionnement en roulage normal.

### Maintenance

La maintenance du système partiel Propulsion et approvisionnement en énergie doit être intégrée dans la maintenance du système complet. Dans ce cadre, il faut établir un programme de maintenance.

Chaque module doit pouvoir être remplacé et contrôlé séparément.

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Installation technique de commande**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Installation technique de commande à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Installation technique de commande

**Table des matières**

<b>Destinataires .....</b>	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications.....</b>	<b>3</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>4</b>
<b>Généralités .....</b>	<b>6</b>
Objectif et champ d'application.....	6
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	6
Abréviations et définitions.....	6
Lois, décrets, normes et directives .....	7
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	7
<b>Présentation de l'installation technique de commande .....</b>	<b>8</b>
<b>Exigences relatives au système.....</b>	<b>10</b>
Exigences fondamentales .....	10
Vue d'ensemble du fonctionnement .....	10
Exigences fonctionnelles .....	13
Commande du déroulement du roulage.....	14
Commande sécurisée et indications.....	14
Génération des indications de trajet.....	14
Réglage de la voie .....	15
Génération et transmission des données de commande pour la rame.....	15
Fonctionnement automatique .....	17
Sécurité de la voie .....	17
Réservation des voies .....	18
Occupation des voies .....	18
Annulation de la réservation des voies.....	18
Fermeture des voies .....	19
Libération des fermetures de voie .....	19
Sécurité des installations de changement de voie .....	19
Sécurité des installations de porte de quai.....	20
Sécurisation de la rame .....	21
Surveillance de la redondance des fonctions de la rame en rapport avec la sécurité .....	21
Commande et surveillance du contrôle de frein .....	22
Commande et surveillance de l'approvisionnement en énergie de bord.....	22

Commande et surveillance du frein de sécurité .....	23
Sécurité des portes extérieures de la rame .....	24
Commande et surveillance de la sustentation .....	24
Arrêt forcé .....	25
Surveillance du profil de roulage .....	25
Surveillance du profil de roulage maximum .....	26
Surveillance du profil de roulage minimum .....	26
Désactivation sécurisée de la propulsion .....	27
Localisation de sécurité .....	28
Transmission de données .....	29
Transmission des données de sécurité .....	30
Transmission des données de propulsion .....	30
Transmission des données de diagnostic .....	30
Transmission de l'appel d'urgence d'un voyageur .....	31
Transmission d'une alerte incendie .....	31
Transmission vocale de service .....	31
Exigences en matière d'environnement .....	32
Diagnostic de la BLT .....	32
Signalisation des pannes au niveau des interfaces vers d'autres systèmes partiels .....	32
<b>Service .....</b>	<b>34</b>
Modes de fonctionnement de la BLT .....	34
« Service normal » .....	34
« Service anormal » .....	34
Maintenance de la rame à sustentation magnétique .....	35

**Index des illustrations**

<i>Figure 1 : Organisation et interfaces de l'installation technique de commande .....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2 : Vue d'ensemble des fonctions et flux de données de la BLT .....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 3 : Structure de la localisation .....</i>	<i>28</i>

## Généralités

### Objectif et champ d'application

Les présents principes d'exécution spécifient les propriétés de l'installation technique de commande d'un train rapide à sustentation magnétique. En combinaison avec les autres principes d'exécution et de dimensionnement, ceux-ci constituent la base pour la conception, la planification et l'homologation ainsi que la réalisation et l'exploitation des projets de train rapide à sustentation magnétique.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

### Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique composée de différents principes d'exécution.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR&IH/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

### Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

#### Définitions de la BLT

*Les définitions suivantes représentent des expressions spécifiques du vocabulaire de BLT.*

Service	Le service est l'ensemble des mesures techniques et non techniques qui servent à la préparation et à la réalisation des marches au moyen du train rapide à sustentation magnétique autorisé à cet effet.
Voie (technique de sécurité)	Succession ininterrompue et sans bifurcation de sections de voie qui est formée temporairement pour la commande, la surveillance et la sécurisation des marches. Une voie technique de sécurité se compose d'au moins une section de voie et possède toujours un sens de déplacement.
Section de voie	La voie constructive est divisée le long de l'axe de la voie en sec-

	tions de voie techniques de sécurité qui s'enchaîne sans interruption et sans se chevaucher du point de vue de la technique de commande. La section de voie est la plus petite unité servant à former les voies techniques de sécurité.
Élément de voie (technique de sécurité)	Dispositif fixe qui est associé de manière fixe à une section de voie pour la commande, la surveillance et la sécurisation des marches. En font partie les installations de changement de voie, les portes de quai et les dispositifs présents dans le gabarit.
Rame (technique de sécurité)	Rames de TSM et rames spéciales disposant d'une installation technique de commande. Les rames spéciales sans installation technique de commande ne sont ainsi pas des rames dans le sens de l'AG BLT.
Marches	Une marche désigne le déplacement d'un train, commandé, contrôlé et sécurisé techniquement, d'un point de départ à un point d'arrivée. Une marche commence par la réunion de toutes les conditions techniques et opérationnelles préalables à une marche. Une marche se termine conformément au plan en atteignant le point de destination et lorsque le train est à l'arrêt et sécurisé.

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique*

Les exigences qui sont (doivent être) remplies par d'autres systèmes partiels sont elles aussi rédigées en italique.

Le niveau d'obligation des exigences a été fixé sur la base de la norme /DIN 820, partie 2 E/, et pris en compte de façon correspondante dans la formulation des exigences.

## Présentation de l'installation technique de commande

Cette vue d'ensemble décrit l'organisation de « l'installation technique de commande » dans un réseau ferroviaire guidé, concrètement le train rapide à sustentation magnétique de type Transrapid. D'autres structures ou distributions fonctionnelles sont possibles et la présente vue d'ensemble ne doit pas constituer une restriction.

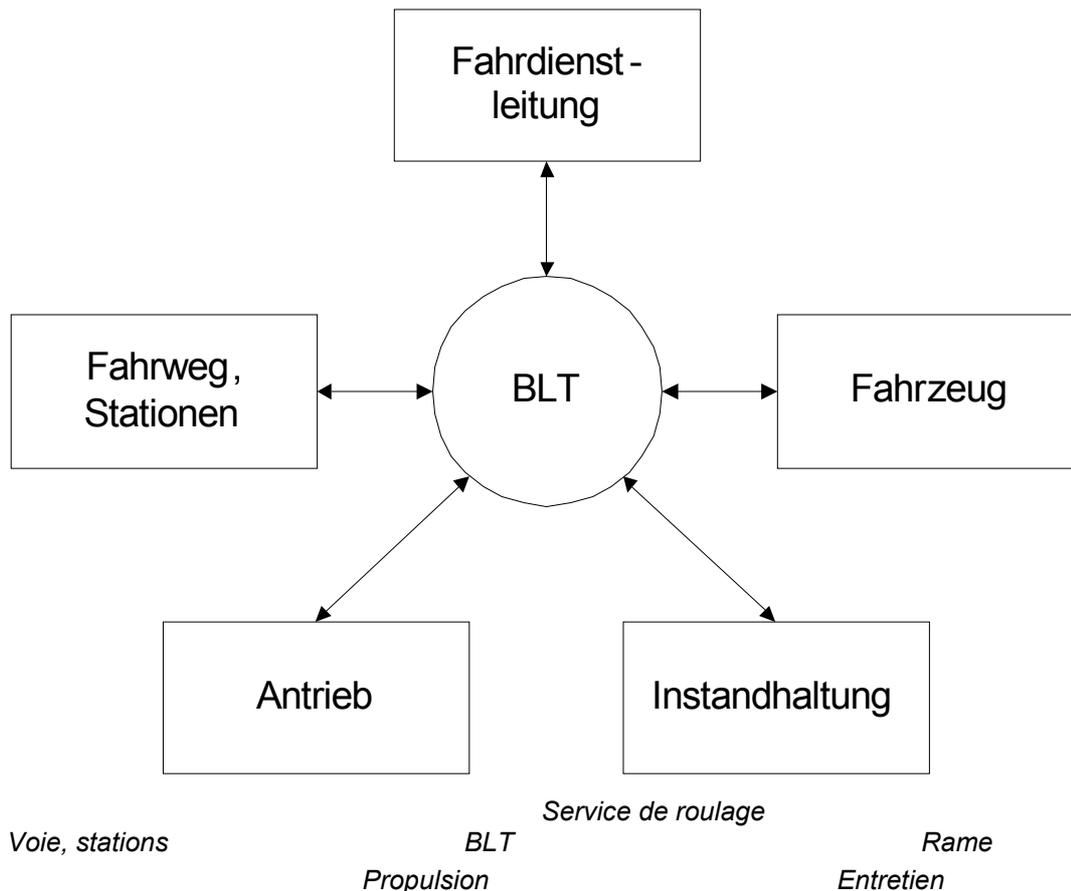


Figure 101 : Organisation et interfaces de l'installation technique de commande

L'installation technique de commande doit inclure les composants et les fonctions de sécurité, de contrôle et de commande des opérations de roulage.

La technique de gestion des infrastructures ne fait pas partie de l'installation technique de commande dans le sens des présents principes d'exécution et celle-ci se compose entre autres des éléments suivants :

- Technique de gestion des bâtiments, par exemple pour la commande de l'éclairage ou de la ventilation des bâtiments, stations, tunnels, etc.
- Postes de commande techniques, par exemple pour la commande et la surveillance des escaliers mécaniques ou des ascenseurs
- Dispositifs d'information pour les voyageurs
- Dispositifs de télécommunication.

L'installation technique de commande doit relier les parties du système de train rapide à sustentation magnétique de façon fonctionnelle pour former un système complet opérationnel.

*Les parties de système voisines et les niveaux opérationnels de la BLT sont les suivants :*

- *Service de roulage*
- *Voie et stations (y compris les installations de changement de voie et les points de référence pour la localisation)*
- *Rame (toutes les rames techniquement sécurisées)*
- *Propulsion et approvisionnement en énergie (postes avec unités de propulsion)*
- *Maintenance.*

*La BLT comprend la possibilité de commander le trafic des trains en mode automatique conformément à un tableau de marche préalablement établi. Des indications manuelles dans la BLT par le chef de sécurité doivent également être possibles.*

*Les composants de l'installation technique de commande peuvent être mobiles (par exemple compteur de sécurité pour une rame) ou stationnaires (par exemple compteur de sécurité pour une zone de voie).*

*Les composants stationnaires peuvent être divisés en composants centralisés d'un service centralisé et en composants décentralisés.*

*Les composants centralisés se divisent en zones de commande et d'affichages, en un système de tableau de marche et en un système de diagnostic, l'intégration de ces composants dans une interface de commande commune pouvant être prévue en fonction du projet.*

La configuration doit se faire dans le cadre de la projection selon les indications de l'opérateur.

## Exigences relatives au système

La BLT doit satisfaire aux exigences des normes /DIN EN 50126/, /DIN EN 50128/ et /DIN EN 50129/.

L'état sécurisé du système du train rapide à sustentation magnétique se caractérise en ce que chaque rame techniquement sécurisée, dans toutes les situations supposées de panne et d'urgence au sein d'une section de voie techniquement sécurisée, ne dépasse pas une vitesse dépendante de l'endroit avec des taux de risques donnés, ne franchit pas un point de danger donné et rejoint une zone d'arrêt en sustentation.

L'état de sécurisation technique complète du système se caractérise en ce que la réalisation des marches est entièrement sécurisée sur le plan technique et se déroule sans responsabilité du personnel. En plus de l'état de sécurisation technique complète du système, la BLT doit également permettre des niveaux de retour.

*Un niveau de retour peut, par exemple, être un mode de fonctionnement qui nécessite la responsabilité du personnel.*

*Les exigences qui en résultent pour la BLT seront décrites dans les chapitres suivants.*

## Exigences fondamentales

La commande de l'exploitation doit se dérouler conformément aux indications d'un concept d'exploitation à établir spécifiquement pour le projet.

Le chef de sécurité doit avoir la possibilité de laisser les indications de trajet se dérouler automatiquement.

Pour commander la marche, le chef de sécurité doit avoir la possibilité de saisir des indications manuelles.

La sécurité du déroulement des opérations de commande sous la responsabilité du personnel, *par exemple les interventions du chef de sécurité au niveau de la sécurité*, doit être assurée par des procédés opérationnels et techniques.

*Les procédés opérationnels et techniques se rapportent à la réglementation opérationnelle et la sécurisation technique des procédés.*

En fonctionnement sous la responsabilité du personnel, une commande de régulation du personnel ne doit pas pouvoir faire sortir la BLT de l'état sécurisé du système.

Les erreurs de commande de la part du personnel du service centralisé et de conduite ne doivent pas avoir d'effets sur l'aptitude fonctionnelle de la BLT.

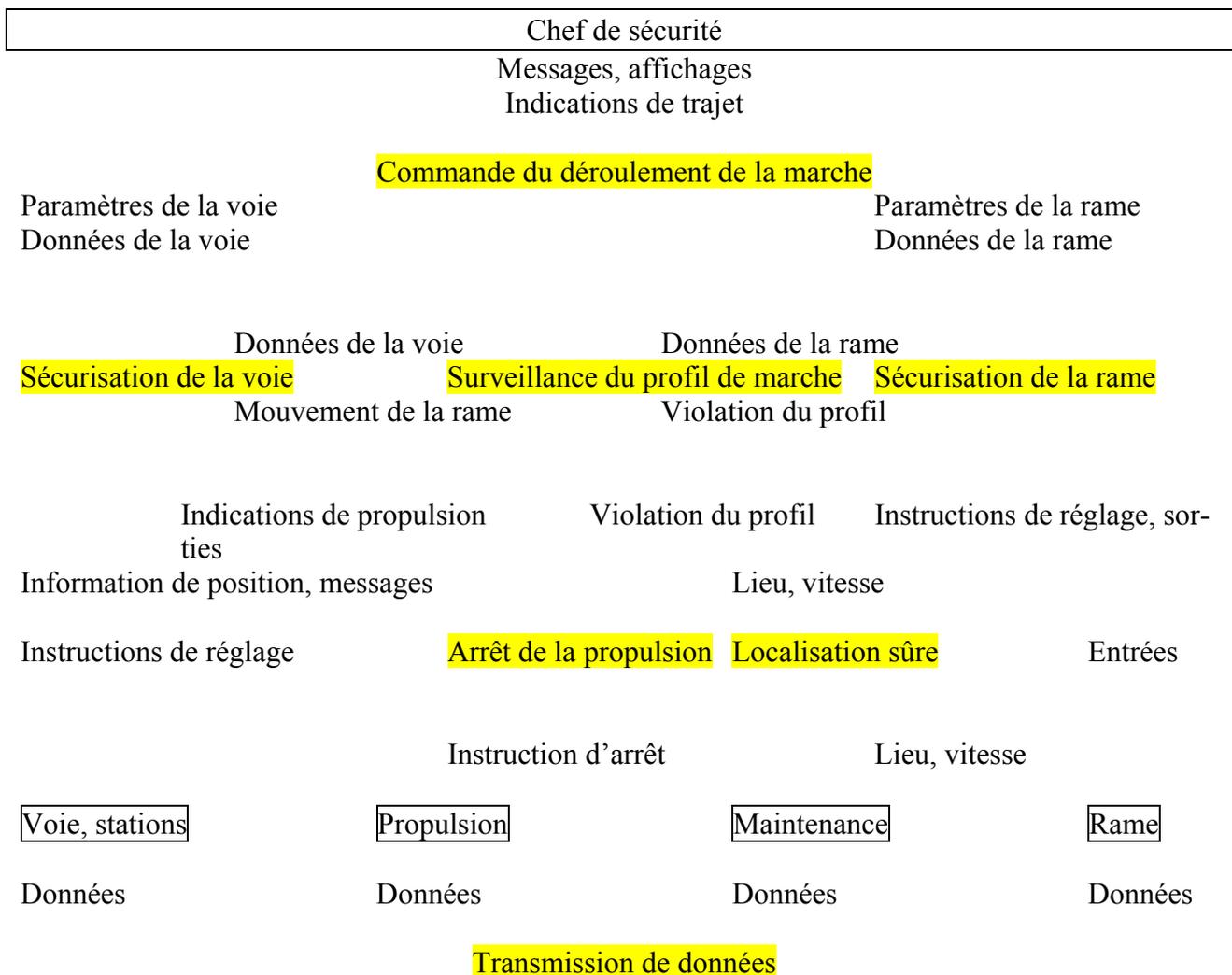
*Une erreur de saisie de la part du chef de sécurité, par exemple, ne doit pas provoquer un blocage du système de la BLT.*

*Des opérations de commande inappropriées pour la situation peuvent entraîner une restriction de l'exploitation. Les opérations de commande non réglementaires sous la responsabilité du personnel peuvent entraîner une restriction de la sécurité.*

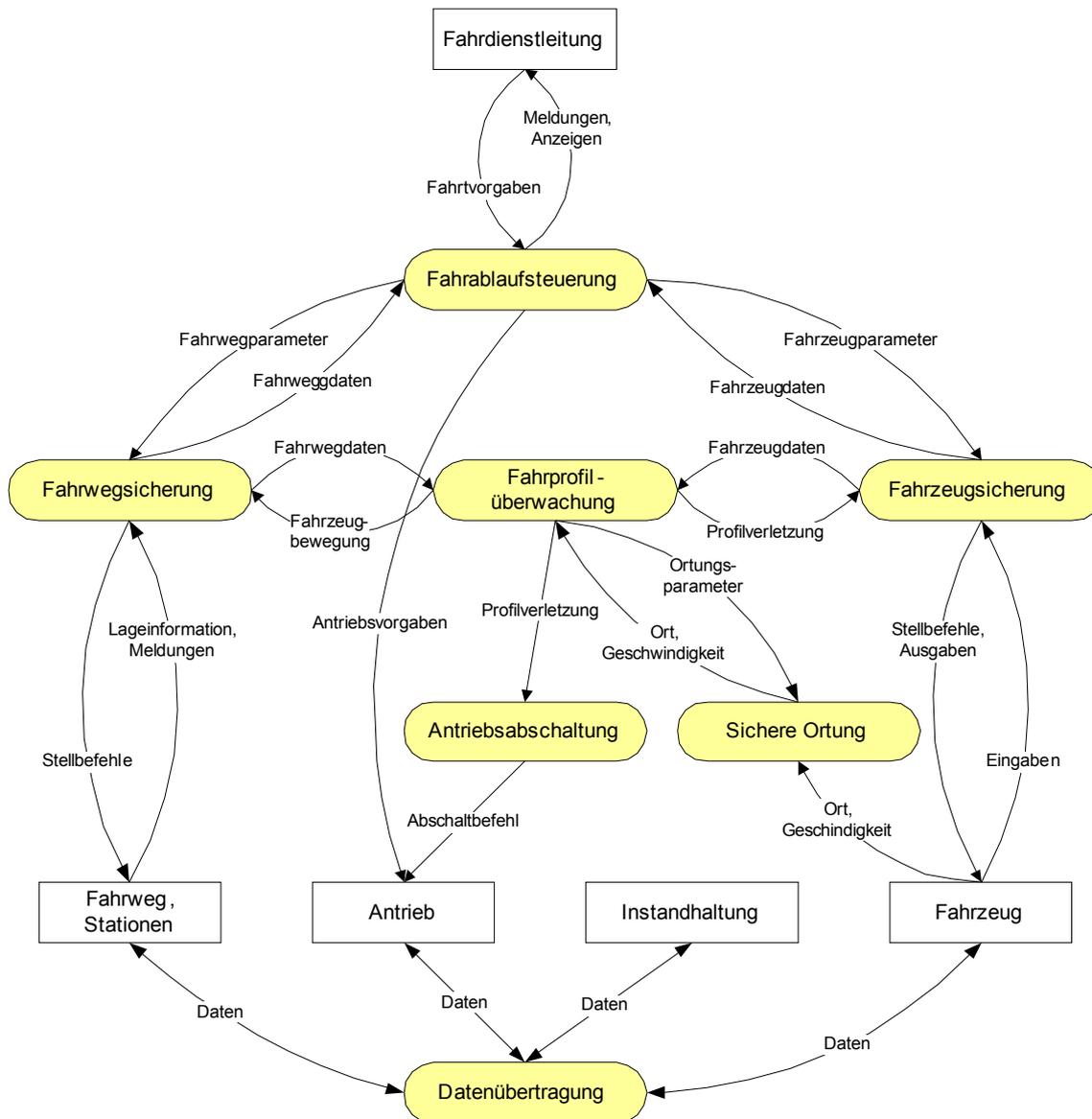
La BLT doit présenter une réaction avec tolérance de panne aux défauts isolés d'un composant et ne doit pas quitter le service normal.

## Vue d'ensemble du fonctionnement

La



*Figure 102* est une vue d'ensemble des fonctions et flux de données les plus importants de l'installation technique de commande. Les fonctions de la BLT sont représentées dans des ovales et celles des composants externes dans des cases rectangulaires.



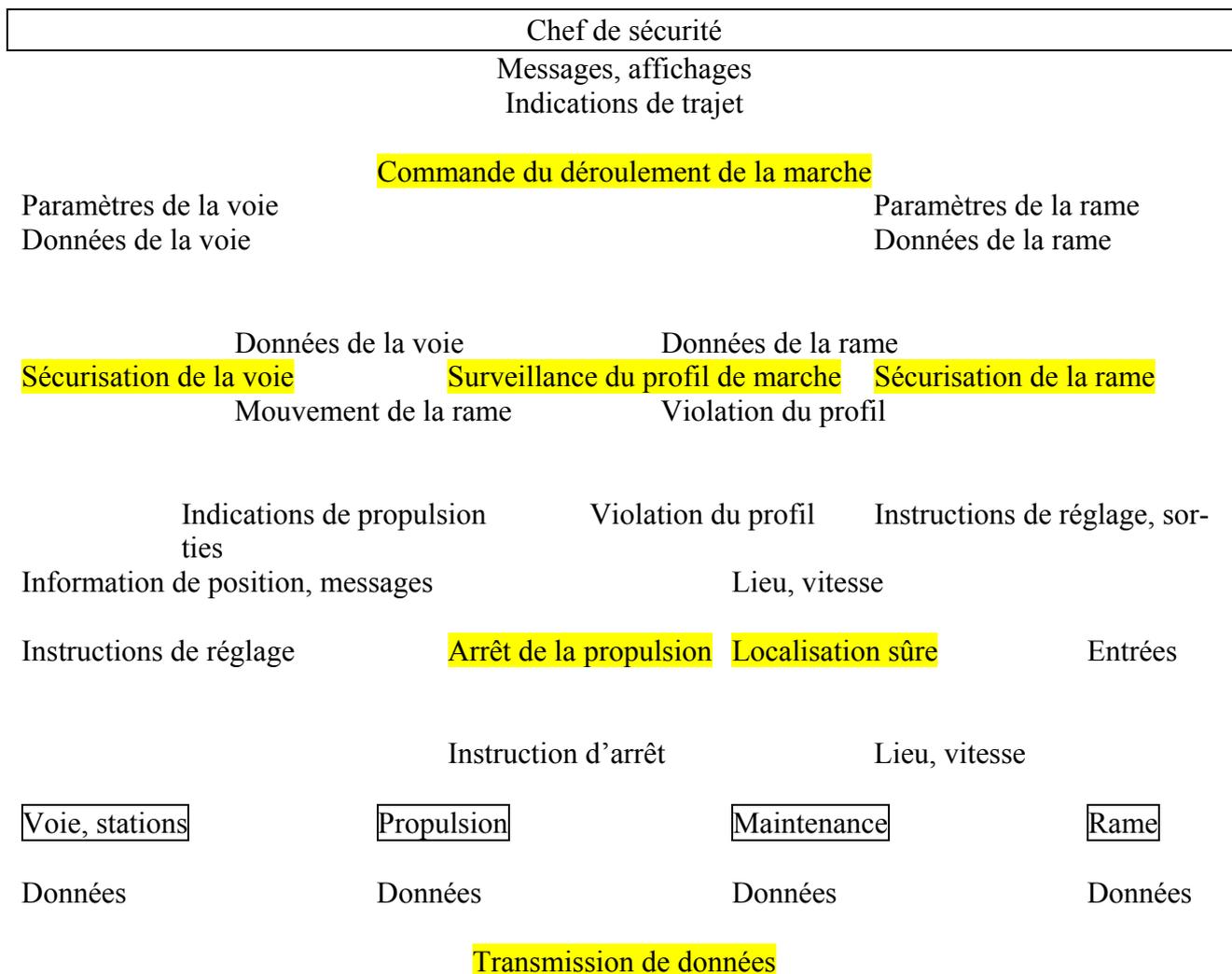


Figure 102 : Vue d'ensemble des fonctions et flux de données de la BLT

## Exigences fonctionnelles

Selon /DIN EN 50126/, les contraintes de sécurité imposées aux fonctions du train rapide à sustentation magnétique sont à déterminer dans une analyse du risque sous la responsabilité de l'exploitant et les résultats sont à affecter aux fonctions de la BLT.

*Les fonctions de la BLT sont divisées en fonctions en rapport avec la sécurité et sans rapport avec la sécurité, suivant le risque qui se produit en cas de défaillance de ladite fonction. Cette division doit s'effectuer dans le cadre de l'analyse du risque menée spécifiquement pour le projet et des contraintes de sécurité qui en résultent pour les fonctions respectives.*

*Les fonctions de sécurisation de la rame, de sécurisation de la voie, de localisation sécurisée, de surveillance du profil de marche et d'arrêt sécurisé de la propulsion font généralement partie des fonctions de la BLT en rapport avec la sécurité.*

L'état sécurisé du système doit être maintenu en cas de défaillance des fonctions en rapport avec la sécurité.

Conformément aux contraintes de sécurité déterminées spécifiquement pour le projet, la défaillance d'une fonction vers le côté dangereux doit être suffisamment improbable.

Les fonctions en rapport avec la sécurité sont à réaliser et à justifier conformément aux contraintes de sécurité respectivement spécifiées.

Les fonctions de la BLT en rapport avec la sécurité doivent pouvoir être décomposées en étapes articulées les unes aux autres.

## Commande du déroulement du roulage

### Commande sécurisée et indications

*Les opérations de commande en rapport avec la sécurité s'appuient sur une indication sans erreur de l'état du processus pendant les commandes.*

Les états des équipements et dispositifs mobiles dans les zones de la voie dans lesquelles ont lieu des marches techniquement sécurisées doivent être signalés par la technique de sécurité. En font notamment partie :

- Installations de changement de voie
- Portes de quai.

*Suivant le projet, il est possible de définir des zones (par exemple des installations de maintenance) dans lesquelles ont lieu des marches qui ne sont techniquement pas totalement sécurisées.*

Il faut signaler par la technique de sécurité les sections de voie occupées par une rame et réservées pour une rame.

En cas d'arrêt de la propulsion, cette situation doit être signalée au service de roulage.

Il faut prévoir une procédure de saisie d'instruction sécurisée pour les opérations de commande sous la responsabilité du personnel, par exemple pour la libération de sections de voie fermées ou pour la mise en service de rames.

### Génération des indications de trajet

*Il faut créer spécifiquement pour le projet un programme d'exploitation qui contient les données nécessaires au fonctionnement automatique. Les indications du tableau de marche sont dérivées du programme d'exploitation.*

Les tableaux de marche doivent pouvoir être établis automatiquement en se basant sur les indications de tableau de marche.

Il doit également être possible d'établir des tableaux de marche manuellement.

Les tableaux de marche doivent se présenter sous une forme qui leur permet d'être utilisés comme données d'entrées pour le fonctionnement automatique.

*Les tableaux de marche doivent être établis de telle sorte que l'exploitation puisse si possible se dérouler sans arrêt aux points d'arrêt opérationnels.*

*Les données suivantes, par exemple, peuvent être importantes dans un tableau de marche : numéro de ligne, numéro de route, destination, lieu de départ et heure de départ.*

Les indications de trajet pour les rames du TSM et la voie doivent pouvoir être générées automatiquement à partir des tableaux de marche.

Il doit également être possible de saisir manuellement les indications de trajet dans le service centralisé.

En variante, les indications de trajet pour la rame à sustentation magnétique doivent pouvoir être saisies manuellement dans la rame.

*Il peut s'agir d'indications de trajet telles que la vitesse et le sens de déplacement.*

La BLT doit pouvoir enregistrer dans un journal le déroulement réel des trajets.

*Les trajets journalisés peuvent être transformés en tableaux de marche.*

#### **Interface externe :**

Les indications de propulsion doivent être transmises à la propulsion.

Celles-ci incluent des indications relatives à la voie réservée, au profil de roulage et aux valeurs limites pour le roulage.

Suivant le projet, il doit être possible de générer et de transmettre d'autres données de commande pour l'activation ou la désactivation de fonctions de propulsion, par exemple des instructions de libération et d'armement ou de désarmement.

#### **Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

En cas de défaillance des indications de trajet générées automatiquement, il doit toujours être possible de saisir manuellement des indications de trajet dans le service centralisé.

*En cas de défaillance des indications de trajet générées automatiquement, le fonctionnement conforme au tableau de marche ne pourra peut-être pas être maintenu par le chef de sécurité, car une réalisation manuelle plus longue de toutes les indications de trajet sera nécessaire.*

#### **Réglage de la voie**

Il doit être possible, par une opération de commande, de saisir une instruction de permutation pour les éléments mobiles individuels de la voie.

Le réglage de tous les éléments mobiles de la voie d'une liaison départ-destination prédéfinie doit être possible.

La mise en application des exigences de réservation de voie et des réglages de voie résultant des indications départ-destination doit s'effectuer en tenant compte des conditions de sécurité de la voie.

#### **Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

*Si les instructions de permutation pour les éléments mobiles individuels de la voie ne sont plus possibles, ces derniers ne peuvent alors plus être positionnés à distance.*

Si les instructions de permutation pour les éléments mobiles individuels de la voie ne sont plus possibles, il doit toujours être possible de réaliser des roulages sur la voie réglée.

*S'il est devenu impossible d'indiquer une liaison départ-destination, la voie ne peut alors plus être réglée automatiquement.*

S'il est devenu impossible d'indiquer une liaison départ-destination, les instructions de permutation des éléments mobiles individuels de la voie doivent toujours être possibles.

#### **Génération et transmission des données de commande pour la rame**

*Suivant le projet, il est possible de générer et de transmettre des données de commande pour l'activation ou la désactivation de fonctions de la rame, par exemple la climatisation, les feux de la rame, l'éclairage intérieur.*

Les données de commande doivent pouvoir être générées automatiquement en fonction du lieu et du temps.

Il doit également être possible de saisir manuellement les données de commande.

Il doit être possible de transmettre les données de commande du service centralisé vers la rame.

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Les interruptions de la transmission des données de commande ne doivent pas entraîner une défaillance du fonctionnement de la BLT.

Une panne de la transmission des données de commande ne doit pas entraîner une réaction technique de sécurité immédiate de la BLT.

**Fonctionnement automatique**

*Le fonctionnement automatique veut dire qu'aucune opération de commande de la part du personnel n'est nécessaire pour la réalisation d'une marche. Le chef de sécurité démarre une seule fois un programme donné pour les marches, lequel se présente sous la forme d'un tableau de marche. Le tableau de marche est alors automatiquement parcouru.*

Les tableaux de marche, qui doivent pouvoir être enregistrés dans la BLT et de nouveau en être extraits, constituent la base de la commande automatique des marches.

Les indications de trajet générées à partir des tableaux de marche pour les rames du TSM et la voie doivent pouvoir être exécutées automatiquement, sans opérations de commande manuelles.

*Cela inclut aussi, par exemple, le déclenchement de la réservation des rames (chapitre 0) et le positionnement des aiguillages (chapitre 0).*

La commande automatique des marches doit se dérouler indépendamment de la sécurité technique et sans contre-réaction de la part de celle-ci.

En fonctionnement automatique, l'exécution des instructions de trajet doit avoir lieu en tenant compte des conditions de sécurité technique complète.

Seules des commandes de régulation, c'est-à-dire des opérations de commande sans responsabilité du personnel, peuvent être exécutées automatiquement en fonctionnement automatique.

Des opérations de commande manuelles du chef de sécurité doivent être possibles en fonctionnement automatique.

Le fonctionnement automatique doit être conçu de telle sorte que le départ des rames à sustentation magnétique soit ponctuel en l'absence de perturbations.

Les écarts par rapport au tableau de marche, par exemple les retards, doivent être détectés automatiquement et signalés.

En cas d'écart par rapport au tableau de marche, il convient de rétablir automatiquement la situation prévue.

*Cela peut être réalisé en raccourcissant les temps d'arrêt, par exemple. Les mesures nécessaires ou autorisées à cet égard sont fixées en fonction du projet.*

**Sécurité de la voie**

La sécurité de la voie doit inclure toutes les voies sur lesquelles doivent avoir lieu des marches sous la responsabilité technique de la sécurité.

*Il peut s'agir des voies des portions libres, des stations, des installations d'arrêt et de maintenance.*

Les informations sur la sécurité de la voie doivent être à la disposition du service centralisé.

*Les états de la sécurité de la voie sont visualisés dans le service centralisé.*

Les dispositifs fixes qui violent le gabarit doivent être inclus dans la sécurisation de la voie.

*Les dispositifs fixes dans ce sens peuvent notamment être les portes de hangar et les installations de lavage.*

Des exceptions sont possibles spécifiquement au projet lors des marches sous la responsabilité du personnel.

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Une panne totale de la sécurité de la voie doit entraîner un arrêt forcé en une zone d'arrêt.

**Réservation des voies**

Il faut réserver une voie en vue de la réalisation d'un roulage.

La réservation d'une voie en vue d'une marche consiste à régler les éléments mobiles de la voie, à sécuriser techniquement, sans lacunes et entièrement la voie à parcourir et à affecter celle-ci exclusivement à une rame.

Une voie réservée ne doit contenir que la rame à laquelle est affectée cette réservation.

Les sections de voie des voies réservées ne doivent pas être réservées pour d'autres marches.

*Cela permet de garantir qu'aucune autre rame techniquement sécurisée ne peut emprunter une voie réservée.*

La BLT doit garantir qu'une rame techniquement sécurisée ne quitte pas la voie qui lui est réservée. Le positionnement des installations de changement de voie doit être impossible dans les sections de voie réservées.

*Cela s'applique au positionnement des installations de changement de voie soit par le système, soit par intervention manuelle.*

**Occupation des voies**

La BLT doit signaler et considérer qu'une section de voie est occupée lorsqu'une rame techniquement sécurisée s'y trouve.

Une section de voie ne doit être signalée et considérée comme étant non occupée que lorsque la rame techniquement sécurisée l'a complètement quittée.

Les sections de voie occupées par une rame doivent uniquement être incluses dans une réservation de voie pour cette rame techniquement sécurisée.

Les commandes de régulation ne doivent pas modifier l'état d'occupation.

**Annulation de la réservation des voies**

Une fois que la rame techniquement sécurisée a complètement quitté une section de voie réservée, il convient que la réservation de cette section soit automatiquement annulée.

*Cette exigence peut être une condition préalable spécifique au projet pour la réalisation d'un fonctionnement automatique.*

Dans une pente où l'énergie cinétique de la rame ne suffit pas pour atteindre la prochaine zone d'arrêt dans le sens du déplacement, il faut maintenir la réservation de la voie jusqu'à ladite zone d'arrêt (y compris celui-ci) jusqu'à ce que la prochaine zone d'arrêt dans le sens du déplacement puisse être atteint avec l'énergie cinétique de la rame.

Les voies réservées doivent pouvoir être annulées manuellement.

Les voies réservées doivent pouvoir être annulées par des indications de trajet automatiques (chapitre 0).

Les réservations de voie peuvent être annulées si aucune rame ne se trouve dans la voie réservée.

Les réservations de voie peuvent être annulées lorsque la rame qui se trouve dans la voie réservée est sécurisée à l'arrêt.

Les réservations de voie peuvent être annulées lorsque la voie réservée n'est pas nécessaire pour atteindre une zone d'arrêt.

**Fermeture des voies**

Il doit être possible de fermer manuellement des sections de voie.

Les réservations de voie sur des sections de voie fermées ne doivent être effectuées que sous la responsabilité du personnel.

Une fermeture de voie ne doit pouvoir être effectuée dans une voie réservée.

*Il faut ainsi empêcher, par exemple, qu'une fermeture de voie n'entraîne l'arrêt d'une rame ailleurs qu'à une zone d'arrêt.*

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Il convient que les fermetures de voie soient automatiquement rétablies après une panne et un rétablissement de la sécurisation de la voie.

*Suivant le projet et en fonction de l'analyse du risque ou de la complexité de l'installation, ce rétablissement automatique peut également être exigé.*

Si aucun rétablissement automatique de la fermeture de la voie n'a lieu après une panne de la sécurisation de la voie, il faut signaler au service de roulage que le rétablissement de la fermeture de la voie doit être effectué sous la responsabilité du personnel.

**Libération des fermetures de voie**

Une fermeture de voie manuelle doit être libérée sous la responsabilité du personnel.

La libération des sections de voie fermées manuellement doit s'effectuer individuellement.

**Sécurité des installations de changement de voie**

*De manière générale, on établit une distinction entre les installations de changement de voie qui ne nécessitent aucune interruption de circulation (aiguillages) et les installations de changement de voie qui nécessitent une interruption de circulation (plates-formes pivotantes et roulantes).*

Une installation de changement de voie en position finale sécurisée doit avoir atteint une position finale, être verrouillée et sécurisée contre tout changement de position.

Les installations de changement de voie ne doivent être incluses dans les réservations de voie que lorsqu'elles se trouvent en position finale sécurisée.

Les installations de changement de voie ne doivent être franchies que lorsqu'elles se trouvent en position finale sécurisée.

Il doit être impossible de modifier la position d'une installation de changement de voie dans une voie réservée.

Il doit être impossible de modifier la position d'un aiguillage sur lequel se trouve une rame.

Le positionnement d'une plate-forme roulante ou pivotante sur laquelle se trouve une rame n'est autorisée que lorsque celle-ci se trouve entièrement sur la plate-forme roulante ou pivotante et qu'elle est immobilisée de manière sécurisée.

Il doit être possible de valider manuellement la commande sur site de l'installation de changement de voie.

La validation de la commande manuelle sur site de l'installation de changement de voie ne doit être possible que lorsque cette dernière n'est pas incluse dans la réservation d'une voie.

L'installation de changement de voie ne doit pas être incluse dans la réservation d'une voie après la validation manuelle de la commande sur site.

Il doit être possible de bloquer manuellement une installation de changement de voie contre un positionnement manuel.

Une installation de changement de voie dont le positionnement est bloqué ne doit de nouveau être libérée pour en changer la position que sous la responsabilité du personnel.

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

La panne de la fonction de sécurité ne doit pas entraîner la libération du processus de positionnement.

*La construction des installations de changement de voie doit garantir qu'une sortie automatique de la position finale sécurisée est impossible sans validation par le dispositif de sécurité.*

Si une position finale sécurisée est atteinte après une opération de positionnement et qu'aucune autre validation n'est transmise, l'installation de changement de voie doit toujours pouvoir être franchie même après une panne de la signalisation de position de finale ou du dispositif de sécurité.

*La position finale sécurisée de l'installation de changement de voie doit être maintenue indépendamment des pannes affectant la commande, la surveillance ou l'approvisionnement en énergie.*

Si le positionnement des installations de changement de voie est bloqué, il convient que ces blocages soient levés automatiquement après une panne et un rétablissement de la sécurisation de l'installation de changement de voie.

*Suivant le projet et en fonction de l'analyse du risque ou de la complexité de l'installation, ce rétablissement automatique peut également être exigé.*

Si aucune annulation automatique de ces blocages n'a lieu après une panne de la sécurisation, il faut signaler au service de roulage que l'annulation de ce blocage doit être effectuée sous la responsabilité du personnel.

**Sécurité des installations de porte de quai**

Les portes de quai en position finale sécurisée doivent être fermées, verrouillées et protégées contre l'ouverture.

Une section de voie comprenant des portes de quai ne doit être franchie que lorsque toutes les portes de quai se trouvent en position finale sécurisée.

L'installation technique de commande ne doit libérer l'ouverture des portes de quai que lorsque la rame à sustentation magnétique est en face de celles-ci et immobilisée de manière sécurisée.

*Une porte de quai ne doit pouvoir s'ouvrir automatiquement que lorsqu'une porte de rame se trouve en face de celle-ci et qu'une largeur de passage minimale est garantie entre la porte de quai et la porte de rame.*

La rame à sustentation magnétique ne doit pouvoir se lever et démarrer que lorsque toutes les portes de quai se trouvent en position finale sécurisée.

*Suivant le projet, une commande sur site des portes de quai peut être prévue pour l'entretien de celles-ci ou des stations.*

Si une commande sur site des portes de quai est réalisée spécifiquement au projet, il doit être possible de valider celle-ci manuellement.

La validation de la commande sur site ne doit être possible que lorsque la voie comprenant des portes de quai n'est pas incluse dans la réservation d'une voie.

La voie comprenant des portes de quai ne doit pas être incluse dans la réservation d'une voie après la validation manuelle de la commande sur site.

*Des exigences spécifiques au projet peuvent être définies si d'autres entrées ou sorties sont prévues en plus des portes de quai, par exemple en fonction de l'analyse du risque.*

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

La panne de la fonction de sécurité ne doit pas entraîner la libération de l'ouverture.

*La conception des portes de quai doit garantir qu'une sortie automatique de la position finale sécurisée ne puisse pas être possible sans une validation par l'équipement de sécurité.*

La panne de la signalisation de la position finale sécurisée doit être détectée par la BLT.

*La panne de la signalisation de la position finale sécurisée d'une porte de quai doit donner lieu à une réaction technique spécifique au projet. Il peut ici être tenu compte de la situation opérationnelle, par exemple entrée, sortie ou arrêt.*

*Les portes de quai dont la commande ou la signalisation est défectueuse doivent pouvoir être verrouillées individuellement et manuellement sur site (en-dehors de la BLT et sous la responsabilité du personnel).*

*La commande et la surveillance de la porte de quai concernée sont ainsi shuntées.*

### **Sécurisation de la rame**

*La sécurisation de la rame doit surveiller et commander les fonctions relatives à la sécurité et les états des rames à sustentation magnétique décrits ci-après.*

*Pour ce faire, elle doit réaliser, par exemple, le levage, l'abaissement, la surveillance de l'approvisionnement en énergie de bord et la commande des freins de sécurité par le biais de la commande de la rame.*

*Un module spécifique au projet de ces fonctions et états peut s'avérer nécessaire pour d'autres rames techniquement sécurisées.*

### **Surveillance de la redondance des fonctions de la rame en rapport avec la sécurité**

*Le système partiel Rame signale à la BLT qu'il n'existe aucune panne ni perte de redondance des fonctions de la rame en rapport avec la sécurité, par exemple levage/guidage, freinage sécurisé et approvisionnement en énergie de bord.*

La BLT doit surveiller en permanence les messages du système partiel Rame relatifs à l'absence de panne et à la pleine redondance des fonctions de la rame en rapport avec la sécurité.

*Le contrôle proprement dit des fonctions de la rame en rapport avec la sécurité est réalisé par le système partiel Rame sans impulsion de la BLT.*

La BLT doit déclencher une réaction technique de sécurité lors de la réception du message.

La réaction technique de sécurité doit se dérouler progressivement en plusieurs étapes.

*Exemple de déroulement de la réaction technique de sécurité en plusieurs étapes :*

- 1. Arrêt forcé à une station de service (poursuite du roulage par les points d'arrêt opérationnels et les stations)*
- 2. Inhibition (poursuite du roulage par les points d'arrêt opérationnels)*
- 3. Arrêt forcé à la zone d'arrêt actuelle (pas de poursuite du roulage)*

Les étapes et le déroulement de la réaction technique de sécurité de la BLT sont à définir spécifiquement au projet.

Les déroulements et les temps concrets doivent être définis au niveau de l'interface entre la BLT et le système partiel Rame.

### **Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Si une panne ou une perte de redondance des fonctions de la rame en rapport avec la sécurité est signalée lors de l'armement de la rame, la BLT doit alors réagir immédiatement par une inhibition de la rame à sustentation magnétique concernée.

*La perte complète de la surveillance redondante des fonctions de la rame provoque au maximum un arrêt forcé à la zone d'arrêt actuelle.*

**Commande et surveillance du contrôle de frein**

*Les exigences suivantes ne s'appliquent que si les rames techniquement sécurisées sont équipées d'un frein de sécurité actif, par exemple avec des circuits de freinage à courant de Foucault.*

La BLT doit surveiller le déclenchement à intervalles donnés du contrôle du fonctionnement de certains composants du frein de sécurité (contrôle du frein).

La BLT doit veiller à ce que le contrôle du frein ne s'effectue pas pendant le roulage.

La BLT doit veiller à ce que le contrôle du frein s'effectue après chaque armement de la rame jusqu'à écoulement de la durée de signallement d'une panne.

Une réaction technique de sécurité doit être initiée si le contrôle du frein n'est pas déclenché après l'armement de la rame ou jusqu'à l'écoulement de la durée de signallement d'une panne.

La réaction technique de sécurité doit avoir lieu en plusieurs étapes avant l'écoulement de la durée de signallement d'une panne.

La BLT doit veiller à ce que la rame ne puisse se lever et démarrer qu'après un contrôle positif du frein.

Le contrôle du frein doit pouvoir être déclenché manuellement.

*Cela est nécessaire, par exemple, après des travaux d'entretien sur les composants du frein de sécurité.*

Le contrôle du frein doit pouvoir être déclenché automatiquement d'après le tableau de marche.

*Pour maintenir la disponibilité opérationnelle, il convient d'effectuer le contrôle du frein en temps voulu avant l'écoulement de la durée de signallement d'une panne.*

**Commande et surveillance de l'approvisionnement en énergie de bord****État de charge de l'approvisionnement en énergie du bord**

*Le système partiel Rame doit communiquer un message à la BLT lui indiquant que l'état de charge nécessaire pour réaliser le roulage, y compris un arrêt avec le frein de sécurité, est garanti.*

La BLT doit surveiller l'état de charge de l'approvisionnement en énergie du bord signalé par la rame à sustentation magnétique.

*Cela permet de garantir que toutes les fonctions en rapport avec la sécurité, par exemple la sustentation et le freinage sécurisé, peuvent être exécutées conformément aux spécifications.*

La BLT doit déclencher une réaction technique de sécurité lors de la réception du message.

Suivant la conception de l'approvisionnement en énergie du bord, il faut définir spécifiquement au projet si cette réaction technique de sécurité doit être un arrêt forcé ou un arrêt immédiat.

La BLT doit empêcher que la rame arrêtée ne puisse se lever et démarrer après l'annulation du message.

**Perte de redondance de l'approvisionnement en énergie du bord**

*En cas de perte de redondance de l'approvisionnement en énergie du bord, le système partiel Rame transmet un message à la BLT.*

La BLT doit surveiller la redondance de l'approvisionnement en énergie du bord signalé par la rame à sustentation magnétique.

*Après le démarrage d'une rame, l'approvisionnement en énergie du bord doit ici garantir la sustentation et le freinage sécurisé jusqu'au prochain arrêt.*

En cas de message signalant une perte de redondance, la BLT doit empêcher qu'une rame à sustentation magnétique arrêtée ne puisse se lever et démarrer.

**Approvisionnement externe en énergie de bord**

Suivant le projet, il faut intégrer dans la commande et la surveillance par la BLT les composants des rames à sustentation magnétique destinés à l'approvisionnement externe en énergie de bord.

En cas d'utilisation de pantographes, il faut par exemple générer un signal de validation de sécurité pour ceux-ci.

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

En cas de perte des fonctions de commande et de surveillance de l'approvisionnement en énergie du bord ou d'une partie des fonctions, la BLT doit réagir par une inhibition de la rame à sustentation magnétique concernée si celle-ci est abaissée.

Si la perte des fonctions de commande et de surveillance de l'approvisionnement en énergie du bord ou d'une partie des fonctions a lieu pendant le roulage, il doit se produire un arrêt forcé à la zone d'arrêt actuelle.

*Après le démarrage d'une rame, l'approvisionnement en énergie du bord doit ici garantir la sustentation et le freinage sécurisé jusqu'au prochain arrêt.*

**Commande et surveillance du frein de sécurité**

*La rame doit être équipée d'un frein de sécurité ou freinage sécurisé. Le frein de sécurité permet de l'arrêter en toute sécurité en présence de perturbations de la propulsion ou de certaines pannes de la BLT.*

Le frein de sécurité doit être commandé et surveillé par la BLT.

En cas d'arrêt forcé avec le frein de sécurité, la propulsion doit en principe être désactivée avant d'émettre l'instruction de freinage.

Suivant l'endroit, l'action simultanée du frein de sécurité et de la propulsion doit être possible dans des cas exceptionnels.

*Les endroits correspondants sont à déterminer en fonction du projet.*

*Ces cas exceptionnels sont autorisés, par exemple, lorsque les charges de la voie, les charges de la rame et les valeurs d'accélération prédéfinies ne sont pas dépassées.*

*Le système partiel Rame surveille les circuits de freinage de la rame à sustentation magnétique et transmet à la BLT un message indiquant qu'une fonction suffisante des circuits de freinage est garantie.*

Sur réception de ce message, la BLT doit déclencher un arrêt forcé à la prochaine station service.

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Une panne de la fonction « Commande et surveillance du frein de sécurité » doit provoquer une activation maximale du frein de sécurité.

*Cela provoque un arrêt non régulé de la rame sans atteindre une zone d'arrêt.*

*Une panne totale de la localisation ou certaines combinaisons de pannes (pannes multiples) du matériel de la BLT provoque une activation maximale du frein de sécurité, ce qui peut entraîner une superposition de courte durée des forces de traction ou de freinage de la propulsion avec le freinage sécurisé.*

La probabilité d'occurrence et la durée maximale de la superposition des forces de freinage de la propulsion et du frein de sécurité sont à déterminer spécifiquement au projet.

*Cette superposition doit être considérée comme une charge spéciale lors du dimensionnement de la voie et de la rame en fonction de sa probabilité d'occurrence et de sa durée maximale.*

Les pannes de redondance ne doivent pas entraîner une activation ou une désactivation intempestive du frein de sécurité.

**Sécurité des portes extérieures de la rame**

Les portes extérieures de la rame en position finale sécurisée doivent être fermées, verrouillées et protégées contre l'ouverture.

La rame à sustentation magnétique ne doit pouvoir se lever et démarrer que lorsque toutes ses portes extérieures se trouvent en position finale sécurisée.

L'installation technique de commande ne doit libérer l'ouverture des portes extérieures de la rame à sustentation magnétique que lorsque cette dernière est immobilisée de manière sécurisée.

Cette libération des portes doit exclusivement avoir lieu en des endroits prévus et sur les côtés autorisés.

Le déclenchement de la libération des portes doit pouvoir être effectué automatiquement ou manuellement au moins par le service de roulage.

La position finale sécurisée des portes extérieures de la rame doit être signalée au service centralisé.

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

La panne de la fonction Sécurité des portes extérieures de la rame doit avoir pour conséquence que les portes sont considérées comme étant non verrouillées par la BLT et que cette dernière réagit par une inhibition de la rame à sustentation magnétique concernée.

La panne de la fonction de sécurité ne doit pas entraîner la libération de l'ouverture.

*La conception des portes extérieures de la rame doit garantir qu'une sortie automatique de la position finale sécurisée ne puisse pas être possible sans une validation par l'équipement de sécurité.*

La panne de la signalisation de la position finale sécurisée doit être détectée par la BLT.

*La panne de la signalisation de la position finale sécurisée d'une porte extérieure de la rame doit donner lieu à une réaction technique spécifique au projet. Il peut ici être tenu compte de la situation opérationnelle, par exemple en roulage ou à l'arrêt.*

*Les portes dont la commande ou la signalisation est défectueuse doivent pouvoir être verrouillées individuellement et manuellement sur site (en-dehors de la BLT et sous la responsabilité du personnel).*

*La commande et la surveillance de la porte extérieure concernée de la rame sont ainsi shuntées.*

**Commande et surveillance de la sustentation**

*La fonction Commande et surveillance de la sustentation est la partie installation technique de commande de la fonction de sustentation.*

La BLT doit commander et surveiller le levage et l'abaissement de la rame à sustentation magnétique.

La BLT doit garantir que le levage de la rame à sustentation magnétique ne peut être validé que lorsque toutes les conditions techniques de sécurité relatives au roulage sont remplies et que l'ordre de démarrage est donné.

*Le verrouillage des portes extérieures de la rame, par exemple, fait partie des conditions techniques de sécurité relatives au roulage. Des conditions techniques de sécurité relatives au roulage supplémentaires peuvent être définies pour le projet spécifique.*

La BLT doit garantir que l'annulation de la validation du levage de la rame à sustentation magnétique ne peut avoir lieu que lorsque toutes les conditions techniques de sécurité relatives à l'abaissement sont remplies.

*Une vitesse de rame inférieure à une vitesse d'abaissement définie pour la BLT est un exemple de condition technique de sécurité relative à l'abaissement. Des conditions techniques de sécurité relatives à l'abaissement supplémentaires peuvent être définies pour le projet spécifique.*

Des conditions techniques de sécurité doivent également être remplies pour l'annulation de la validation du levage.

*Celles-ci incluent par exemple un message de la part de la propulsion indiquant que le roulage est terminé.*

Après la validation du levage de la rame à sustentation magnétique par la BLT, la fonction de sustentation doit être surveillée continuellement jusqu'au prochain abaissement.

S'il est signalé à la BLT que la fonction de sustentation de la rame ne peut plus être maintenue, la BLT doit alors initier un arrêt forcé vers la prochaine station de service. Si aucune zone d'arrêt ayant les caractéristiques d'une station de service n'est atteinte dans un délai à définir spécifiquement au projet, il faut alors initier un arrêt forcé.

*Il est supposé ici que la fonction de sustentation est maintenue jusqu'à la fin de l'arrêt forcé à la station de service.*

Les rames à sustentation magnétique doivent être abaissées pendant le changement de voyageurs.

### **Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

La perte totale de la fonction de sustentation doit entraîner une annulation de la validation du levage.

*L'abaissement de la rame doit alors s'effectuer sous la responsabilité de la fonction de sustentation de la rame.*

### **Arrêt forcé**

*Les arrêts forcés sont générés automatiquement par les fonctions de la BLT.*

Les arrêts forcés doivent pouvoir être déclenchés manuellement.

Un arrêt forcé manuel doit pouvoir être déclenché par le personnel du service centralisé et dans la rame à sustentation magnétique.

*Suivant le projet, un arrêt forcé manuel peut être déclenché en d'autres endroits, par exemple au niveau des stations.*

*Les arrêts forcés manuels peuvent être réalisés sous la forme d'un arrêt forcé à la zone d'arrêt actuelle ou sous la forme d'un arrêt immédiat.*

*Les arrêts forcés automatiques peuvent être réalisés sous la forme d'un arrêt forcé à la station de service, d'un arrêt forcé à la zone d'arrêt actuelle ou d'un arrêt immédiat.*

*L'arrêt forcé à la zone d'arrêt actuelle peut également être réalisé sous la forme d'un arrêt forcé réversible.*

Suivant le projet, il faut définir si un redémarrage immédiat est autorisé après l'annulation d'un arrêt forcé manuel et l'immobilisation de la rame à sustentation magnétique ou si celui-ci doit être initié par de nouvelles indications de trajet.

### **Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Les pannes de la fonction d'arrêt forcé doivent provoquer une réaction technique de sécurité.

## **Surveillance du profil de roulage**

La BLT doit surveiller le maintien de la vitesse de la rame dans une bande de vitesses autorisée.

*La bande de vitesses autorisée se trouve entre le profil de roulage maximum correspondant à la vitesse maximale autorisée localement et le profil de roulage minimum correspondant à la vitesse minimale locale pour gagner la zone d'arrêt actuelle.*

La bande de vitesses autorisée doit également être calculée par la BLT en tenant compte de la situation de trafic actuelle, par exemple à partir de la position des aiguillages et des points de ralentissement.

### **Surveillance du profil de roulage maximum**

La BLT doit veiller à ce que les points de danger ne soient pas franchis et à respecter le profil de roulage limite.

Pour ce faire, il faut définir dans la BLT un profil de roulage maximum dépendant de l'endroit pour chaque point de danger.

Pour déterminer le profil maximum, la BLT doit tenir compte des propriétés importantes du système comme, par exemple, les temps de réaction, les caractéristiques du frein de sécurité et le tracé. En cas de violation du profil de roulage maximum, la propulsion doit être désactivée en toute sécurité et il doit se produire un freinage forcé réversible avec le frein de sécurité jusqu'à la zone d'arrêt actuelle.

Une interruption du freinage forcé ne doit avoir lieu que lorsque le profil de roulage maximum n'est plus dépassé.

### **Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Les pannes de la surveillance du profil de roulage maximum doivent provoquer un arrêt forcé.

Une panne totale de la surveillance du profil de roulage maximum doit provoquer un arrêt immédiat.

### **Surveillance du profil de roulage minimum**

La BLT doit veiller à ce que la rame à sustentation magnétique peut atteindre la zone d'arrêt actuelle en sustentation, même en l'absence de propulsion.

Pour ce faire, il faut définir dans la BLT un profil de roulage minimum dépendant de l'endroit pour chaque zone d'arrêt.

Pour déterminer le profil de roulage minimum, la BLT doit tenir compte des propriétés importantes du système comme, par exemple, le profil de sustentation sécurisé, les temps de réaction et le tracé. En cas de violation du profil minimum, la BLT doit déclencher un arrêt sécurisé des forces de freinage de la propulsion.

*Le frein de sécurité peut être utilisé pour arrêter la rame à sustentation magnétique en atteignant la zone d'arrêt.*

La BLT doit veiller à ce que la rame à sustentation magnétique soit abaissée après avoir atteint la zone d'arrêt.

Une annulation de la désactivation de la propulsion ne doit avoir lieu que lorsque le profil de roulage minimum n'est plus franchi.

*La surveillance du profil de roulage minimum n'est pas possible immédiatement après le départ d'une station. Il faut prévoir des possibilités d'évacuation spécifiques au projet et un approvisionnement en énergie de bord externe pour les zones de démarrage utilisées en exploitation.*

La surveillance du profil de roulage minimum doit être activée automatiquement lorsque le profil de roulage minimum de la zone d'arrêt suivant la zone de démarrage est dépassé.

La surveillance du profil de roulage minimum doit pouvoir être désactivée manuellement.

*La désactivation du profil de roulage minimum est nécessaire, par exemple, lorsqu'il faut se déplacer au-dessous des profils de roulage minimums correspondants pour des raisons opérationnelles.*

## Désactivation sécurisée de la propulsion

*La propulsion du système de train rapide à sustentation magnétique réalise la conversion à la fois de l'énergie de traction et de l'énergie de freinage.*

Le système partiel Propulsion et approvisionnement en énergie doit être équipé de dispositifs d'arrêt sécurisé de la propulsion qui permettent d'inhiber en toute sécurité aussi bien le flux d'énergie de traction que le flux d'énergie de freinage.

La BLT doit déclencher une désactivation sécurisée du flux d'énergie de propulsion :

- En cas de violation du profil de roulage minimum ou maximum (chapitre 0)
- Avant d'effectuer un freinage forcé avec le frein de sécurité (chapitre 0)
- En cas de panne de la transmission des données de sécurité (chapitre 0)
- En cas d'arrêt immédiat.

Suivant la cause de l'arrêt, il faut que l'énergie de propulsion soit désactivée avec certitude dans la zone à désactiver de la section dans un laps de temps donné après l'apparition de la cause de l'arrêt. S'il existe une cause de désactivation et qu'une rame à sustentation magnétique se trouve

- simultanément dans plusieurs zones de propulsion, par exemple pendant le changement de zone, ou
- dans une zone de propulsion qui peut être alimentée par plusieurs convertisseurs,

il faut alors garantir qu'aucun des convertisseurs ne peut alimenter ces zones.

La désactivation sécurisée de la propulsion peut être réversible ou non.

Si la cause de désactivation a disparu dans le cas d'une désactivation réversible de la propulsion, cette dernière doit alors automatiquement de nouveau être libérée par la BLT.

*Les causes de désactivation réversible de la propulsion sont, par exemple, un freinage forcé en cas de violation du profil de roulage et la panne temporaire de la transmission des données de sécurité.*

Il ne doit pas y avoir de libération automatique de la propulsion par le BLT après les désactivations irréversibles de la propulsion.

*Les désactivations irréversibles de la propulsion se produisent en cas d'arrêt immédiat, par exemple suite à une panne totale de la fonction de localisation sécurisée (chapitre 0) ou une panne totale de la surveillance du profil de roulage maximum (chapitre 0)*

Après une désactivation irréversible de la propulsion, cette dernière doit être libérée manuellement par le chef de sécurité.

### **Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

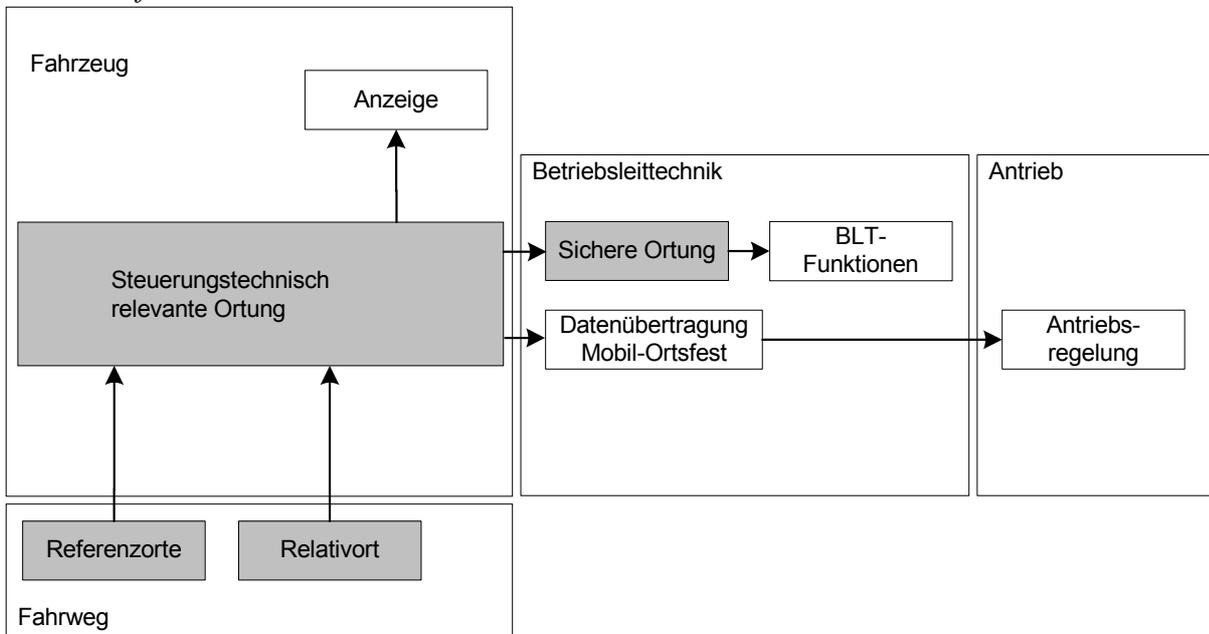
Une panne totale de la fonction Désactivation sécurisée de la propulsion doit déclencher l'arrêt du flux d'énergie de propulsion.

Le déroulement de ce déclenchement est à définir au niveau de l'interface entre la BLT et la propulsion.

*Si la panne totale de la fonction de désactivation sécurisée de la propulsion se produit pendant l'opération de freinage de la propulsion, la rame risque parfois de s'arrêter avant la zone d'arrêt actuelle, mais quand même à l'intérieur de la voie réservée.*

## Localisation de sécurité

Conformément à /MSB AG-GESAMTSYS/, la localisation de sécurité est constituée des composants Localisation de sécurité de la BLT et de ses interfaces destinés à la localisation technique de sécurité et aux fonctions de la BLT.



Rame

Afficheur

Localisation concernant la technique de sécurité

Lieux de référence      Lieu relatif

Voie

Installation technique de commande

Localisation sécurisée      Fonctions de la BLT

Transmission de données mobile-fixe

Propulsion

Régulation de la propulsion

Figure 103 : Structure de la localisation

Pour réaliser une opération de roulage avec une sécurité technique totale, la BLT doit connaître à tout moment les aspects techniques de sécurité du lieu et de la vitesse ainsi que le sens de déplacement de chaque rame (localisation sécurisée).

Le lieu sécurisé comprend la présence des informations sécurisées de lieu, de vitesse et de sens de déplacement.

Les informations de lieu, de vitesse et de sens de déplacement sont considérées sécurisées après un roulage de mise en service réussi.

*Les informations de lieu délivrées par la localisation relative à la technique de sécurité sont contrôlées par la BLT, par exemple par des contrôles de plausibilité, par superposition avec les données prédéfinies et comparaison des informations de lieu individuelles.*

*Certains défauts fonctionnels, par exemple la détection du sens de déplacement, ne peuvent être détectés que pendant le déplacement.*

Un roulage de mise en service doit être effectué après l'armement de la rame à sustentation magnétique, après une panne de la fonction de localisation sécurisée ou lorsque le temps d'immobilisation a dépassé le temps de signalisation d'une panne.

Les tolérances admissibles pour l'information de localisation doivent être définies en fonction des propriétés spécifiques du procédé de localisation choisi et des dispositions spécifiques au projet.

Les tolérances admissibles pour la vitesse de la rame doivent être définies en fonction des propriétés spécifiques du procédé de localisation choisi et des dispositions spécifiques au projet.

Les tolérances admissibles pour la détection du sens de déplacement doivent être définies en fonction des propriétés spécifiques du procédé de localisation choisi et des dispositions spécifiques au projet.

*Chaque procédé de localisation présente des tolérances physiques. Celles-ci sont liées à la structure et au procédé de localisation choisie. Ces tolérances influent la conception du système ou d'autres fonctions du système, par exemple la précision d'arrêt. Ces exigences sont prises en compte lors de la sélection du procédé de localisation.*

La réservation de voie existante pour la rame doit être maintenue en cas de panne totale de la fonction de localisation sécurisée.

Une réservation de voie pour cette rame après une panne totale de la fonction de localisation sécurisée ne doit pouvoir être déclenchée que si un lieu sécurisé est de nouveau connu pour cette rame.

*Un lieu sécurisé peut être connu, par exemple, s'il est déterminé sous la responsabilité du personnel et s'il a été saisi par une opération de commande sous la responsabilité du personnel.*

### **Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

La redondance de la fonction de localisation de sécurité ou de ses fonctions partielles doit mener au maximum à un arrêt forcé.

Une panne totale de la fonction Désactivation sécurisée de la propulsion doit déclencher l'arrêt du flux d'énergie de propulsion.

## **Transmission de données**

*La transmission de données entre les composants de la BLT se caractérise par le volume de données, le taux de répétition, la disponibilité, le taux d'erreurs binaires et la classification en transmissions en rapport avec la sécurité et non en rapport avec la sécurité.*

*La transmission de données se déroule*

- *entre les composants fixes et fixes et*
- *entre les composants fixes et mobiles de la BLT.*

Les exigences relatives à la transmission de données sont à définir spécifiquement au projet.

*Le nombre de rames à desservir simultanément, par exemple, fait partie des exigences spécifiques au projet.*

**Transmission des données de sécurité**

Il faut définir des procédés de transmission appropriés pour la communication relative à la sécurité dans les systèmes de transmission fermés ouverts en se basant sur les exigences imposées à la transmission des données relatives à la sécurité.

*Il faut définir spécifiquement au projet et pour chaque transmission de données s'il s'agit d'un système de transmission de données fermé ou ouvert dans la sens de la norme /DIN EN 50159/.*

*Les exigences en matière de mesures de sécurité dans le système de transmission diffèrent en fonction de cette détermination.*

Lors de la transmission de données relatives à la sécurité, il faut détecter avec certitude les informations falsifiées (falsification de l'identité de l'émetteur, erreur de type valeur falsifiée) et les erreurs de temps (retard excessif des données, erreur de séquence).

Lors de la transmission commune de données relatives à la sécurité et non relatives à la sécurité, il faut garantir l'absence de rétroaction sur les données relatives à la sécurité.

*La priorité de la transmission des données relatives à la sécurité peut entraîner des restrictions pour la transmission des données non relatives à la sécurité.*

Il convient que la transmission non sécurisée de données de la BLT soit ouverte pour une utilisation par d'autres systèmes partiels.

*Suivant le projet, les fonctions de transmission de la BLT peuvent être utilisées, par exemple, pour la transmission d'informations et de communications des voyageurs entre le service centralisé et la rame à sustentation magnétique.*

*La priorité de la transmission des données nécessaires au fonctionnement entre les composants de la BLT peut entraîner des restrictions pour l'utilisation par d'autres systèmes partiels.*

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Une panne de la transmission des données relatives à la sécurité entre les composants fixes et mobiles pendant que la rame est en déplacement doit provoquer une désactivation sécurisée de la propulsion.

S'il se produit en plus une violation du profil, il faut alors effectuer un freinage forcé réversible jusqu'à la zone d'arrêt actuelle selon le chapitre 0.

**Transmission des données de propulsion**

Il convient que la transmission de données de la BLT puisse transmettre les données de localisation relatives à la technique de sécurité.

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Une panne de la transmission des données relatives à la technique de sécurité de la localisation vers la régulation de la propulsion ne doit pas entraîner une réaction technique de sécurité immédiate de la BLT.

*La précision technique de commande d'arrêt voulu de la propulsion peut en être affectée.*

**Transmission des données de diagnostic**

Il convient que la transmission de données de la BLT puisse transmettre les données de diagnostic des systèmes partiels fixes et mobiles à des dispositifs de diagnostic centralisés.

Les exigences relatives à la transmission de données de diagnostic sont à définir spécifiquement au projet.

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Une panne de la transmission des données de diagnostic ne doit pas entraîner une réaction technique de sécurité immédiate de la BLT.

**Transmission de l'appel d'urgence d'un voyageur**

*Chaque rame à sustentation magnétique est équipée de dispositifs d'appel d'urgence de voyageur.*

Un appel d'urgence de voyageur actionné dans la rame à sustentation magnétique doit être signalé dans le service centralisé.

Il faut indiquer la rame à sustentation magnétique d'où provient l'appel d'urgence de voyageur.

*Le rôle de la BLT se limite à la transmission de l'appel d'urgence.*

En plus de l'appel d'urgence de voyageur, il faut également prévoir une liaison vocale entre l'initiateur de l'appel d'urgence et le personnel du service central responsable des appels d'urgence.

Cette liaison vocale doit pouvoir être utilisée simultanément et indépendamment pour la transmission vocale de service (chapitre 0).

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

La réaction de la BLT en cas de panne de la fonction d'appel d'urgence de voyageur est à définir spécifiquement au projet.

*Une panne de la transmission de données de la BLT entre les composants fixes et mobiles entraîne également une panne de la fonction d'appel d'urgence de voyageur.*

**Transmission d'une alerte incendie**

*Chaque rame à sustentation magnétique est équipée de dispositifs d'alerte incendie.*

Une alerte incendie déclenchée dans la rame doit être signalée dans le service centralisé.

Il faut indiquer la rame d'où provient l'alerte incendie.

*Il est possible de définir en fonction du projet si une alerte incendie spécifique pour chaque section est nécessaire, par exemple.*

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

La réaction de la BLT en cas de panne de la fonction d'alerte incendie est à définir spécifiquement au projet.

*Une panne de la transmission de données de la BLT entre les composants fixes et mobiles entraîne également une panne de la fonction d'alerte incendie.*

**Transmission vocale de service**

*Chaque rame à sustentation magnétique est équipée d'une transmission vocale bidirectionnelle entre la rame et le service centralisé.*

*Celle-ci peut être utilisée pour la communication avec le conducteur lors des roulages de maintenance ou lors de la mise en service de la rame à sustentation magnétique.*

Cette transmission vocale de service doit pouvoir être utilisée simultanément et indépendamment pour la liaison vocale d'appel d'urgence de voyageur (chapitre 0).

La qualité de la transmission vocale doit être suffisante pour les applications de service, par exemple du point de vue de la compréhensibilité en présence de bruits de fond.

**Comportement en cas de panne, effet d'une panne**

Une panne de la transmission vocale de service ne doit pas affecter le fonctionnement de la BLT.

Une panne de la transmission de données de la BLT entre les composants fixes et mobiles entraîne également une panne de la transmission vocale de service.

*En cas de panne de la liaison vocale, il existe une possibilité de communication entre le personnel roulant et le service centralisé par le biais d'un système de radiocommunication commercial différent.*

## **Exigences en matière d'environnement**

*Les conditions environnementales avec leurs valeurs limites sont définies dans les Principe d'exécution du TSM, Système complet, Annexe 3 /MSB AG-UMWELT/.*

La BLT doit être opérationnelle au sein des valeurs limites définies dans /MSB AG-UMWELT/.

## **Diagnostic de la BLT**

Les pannes des composants de la BLT doivent être signalées et indiquées dans le service centralisé. *Cela concerne également les pannes des unités fonctionnelles et des canaux de communication redondants, et ce même s'il n'existe pas encore de restrictions de la disponibilité.*

Le diagnostic doit permettre la localisation des unités en panne et délivrer les informations nécessaires à cet effet.

En cas de détection de la panne de composants qui ne font pas partie de la BLT, il convient que celle-ci soit signalée par le diagnostic de la BLT.

*Il faut définir spécifiquement au projet si l'affichage des messages de diagnostic doit être effectué par le chef de sécurité ou sur le dispositif de diagnostic central.*

## **Signalisation des pannes au niveau des interfaces vers d'autres systèmes partiels**

*Suivant le projet, il peut s'avérer approprié de traiter partiellement ou totalement avec l'installation technique de commande les pannes des dispositifs d'autres systèmes partiels s'il existe de toute façon une interface correspondante.*

Il faut définir à chaque interface entre l'installation technique de commande et un autre dispositif la part fonctionnelle de la BLT à la signalisation de la panne de l'autre dispositif.

*Conformément au principe selon lequel les fonctions sans rapport avec la sécurité doivent être réalisées séparément de celles ayant un rapport avec la sécurité, la signalisation de la panne d'un autre dispositif ne doit être transmise à l'installation technique de commande que dans des cas particuliers fondés.*

Lors de la signalisation de la panne d'autres dispositifs par l'installation technique de commande, il faut définir si le message signalant la panne

- concerne la disponibilité ou
- concerne la sécurité.

Si la signalisation de la panne d'un autre dispositif par l'installation technique de commande présente une importance pour la sécurité, il faut alors définir spécifiquement au projet au niveau de l'interface le taux de pannes attendu de l'autre dispositif ainsi qu'une durée de signalisation maximale de la panne.

*L'affectation du taux de pannes attendu et de la durée de signalisation maximale doit permettre de justifier de la sécurité de manière relativement indépendante du côté de l'installation technique de commande et du côté de l'autre dispositif.*

*L'autre système partiel doit garantir le respect de la durée de signalisation maximale de la panne. Cela peut être réalisé par des auto-tests automatiques, par exemple, ou encore par des règles ou des justificatifs opérationnels qui garantissent la sollicitation régulière de l'autre dispositif, par exemple le détecteur de fin de course d'un dispositif de changement de voie.*

## Service

### Modes de fonctionnement de la BLT

*Les modes de fonctionnement sont des modes définis et clairement délimités les uns par rapport aux autres, qui se distinguent de par les mesures techniques et non-techniques qu'ils utilisent pour la réalisation des trajets.*

La BLT doit permettre les modes de fonctionnement suivants des rames à sustentation magnétique :

#### **Service normal**

#### **Service anormal**

*Les zones qui ne sont pas sécurisées par des dispositifs de la BLT et dans lesquelles les mouvements des rames sont exclusivement effectués sous la responsabilité du personnel constituent une exception.*

La BLT doit permettre des modes de fonctionnement pour les rames spéciales.

Les modes de fonctionnement pour les rames spéciales sont à définir en fonction du projet.

#### **« Service normal »**

Le service normal doit être entièrement sécurisé par la BLT.

En service normal, les indications de roulage pour le trajet doivent soit être communiquées automatiquement, soit pouvoir être délivrées manuellement par le chef de sécurité.

En service normal, les indications de roulage pour la rame doivent soit être communiquées automatiquement, soit pouvoir être délivrées manuellement par le chef de sécurité ou depuis un dispositif de commande de la rame.

#### **« Service anormal »**

*En mode « Service anormal », il existe une sécurisation technique complète de la voie et les fonctions de la BLT Commande du déroulement du roulage, Sécurité de la voie, Surveillance du profil de roulage, Désactivation de la transmission et Localisation sécurisée ne sont ainsi pas affectées. La surveillance des signaux d'état situés sur la rame et concernant pour la sécurité (surveillés par la fonction de la BLT Sécurité de la rame) n'est pas disponible en totalité. Ce mode de fonctionnement peut par exemple être nécessaire pour les trajets de convoyage vers une installation de maintenance. La responsabilité pour le matériel de la rame ainsi que du choix de ce mode de fonctionnement et des indications de trajet revient au personnel d'exploitation ou de maintenance selon les prescriptions à définir.*

En service anormal, les indications de roulage pour le trajet doivent soit être communiquées automatiquement, soit pouvoir être délivrées manuellement par le chef de sécurité.

En service anormal, les indications de roulage pour la rame doivent pouvoir être délivrées soit manuellement par le chef de sécurité, soit depuis un dispositif de commande de la rame.

En service anormal, les obstacles (définis spécifiquement au projet) qui empêchent un roulage de la rame dans un service totalement sécurisé du point de vue technique doivent être ignorés par la BLT et, si nécessaire, il faut prendre des mesures de sécurisation appropriées à définir spécifiquement pour le projet.

*En « service anormal », la BLT doit ignorer, par exemple, l'absence du message de verrouillage des portes de la rame.*

Les règles spéciales pour les zones de maintenance définir en fonction du projet.

## **Maintenance de la rame à sustentation magnétique**

La BLT doit disposer d'un mode de maintenance pour la rame à sustentation magnétique.

*La sécurité technique n'est pas totalement assurée en mode maintenance. La responsabilité pour le matériel de la rame ainsi que du choix du mode de maintenance et des indications de trajet revient au personnel d'exploitation ou de maintenance selon les prescriptions à définir.*

En mode maintenance, une désactivation sécurisée de la propulsion doit être déclenchée par la BLT. Le levage de la rame à sustentation magnétique doit être possible en mode maintenance malgré l'inhibition appliquée.

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Voie**

### **Partie I**

### **Exigences de niveau supérieur**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

**Destinataires :**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Voie à des fins de publication.

**Aperçu des modifications :**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Voie.

**Table des matières**

<b>Destinataires</b> : .....	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications</b> : .....	<b>3</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>9</b>
Objectif et champ d'application.....	9
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	9
Abréviations et définitions.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Lois, décrets, normes et directives .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de train rapide à sustentation magnétique doit être définie obligatoirement en fonction du projet. Identification et caractère obligatoire des exigences .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Installations de service</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Exigences de niveau supérieur</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences générales relatives à l'aptitude à la maintenance.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Superstructures de la voie</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Infrastructures de la voie</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Stator long .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rails de guidage latéraux / Plans de guidage latéraux .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Glissières / Plans de glissement.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Composants de l'approvisionnement externe en énergie de bord .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Barres bus .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Transmission d'énergie inductive .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Composants du système de localisation .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Équipement de voie spécifique au type de construction .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Appuis de la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mise à la terre / protection contre la foudre .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

**Principes d'exécution**

Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Recouvrements des écartements entre les supports .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>En cas d'exigences particulières imposées au montage et à la manipulation, celles-ci sont à définir dans le cadre d'une directive de montage et de réception. Autres ouvrages.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Conception de la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Installations de changement de voie.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Ouvrages spéciaux.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tunnel.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Structures porteuses primaires.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Périphérie de la ligne.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences fonctionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences relatives à la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

---

Justification .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Manipulation, transport et montage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Management de la qualité et assurance qualité</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification de la compatibilité de la voie avec le système complet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Documentation</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Justification des sous-ensembles / composants .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exigences spécifiques au projet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Documents techniques pour l'exécution de la construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Répertoire de l'équipement technique de la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Documents pour la maintenance .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Annexe I-A Dimensions maximales pour les superstructures de la voie</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Annexe I-B Disposition de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique (informative)</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Annexe I-C Paquet de tôles statoriques et enroulement moteur (informative)</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Annexe I-D Différentes fixations redondantes des paquets de tôles statoriques (exemples)</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Annexe I-E Systèmes de support des superstructures de voie</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

**Index des illustrations**

Figure 1 : Vue d'ensemble des installations de service .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 2 : Système de coordonnées local et global .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 3 : Vue d'ensemble des espaces d'installation de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 4 : Types de superstructures de la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 5 : Types d'infrastructures de la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 6 : Équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 7 : Modes de construction/types des installations de changement voie ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 8 : Dimensions maximales de la section transversale pour voie standard de type I (exemple) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 9 : Dimensions maximales de la section transversale pour voie standard de type II (exemple) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 10 : Dimensions maximales de la section transversale pour voie standard de type III (exemple) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 11 : Disposition de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 12 : Exemple de réalisation d'un paquet de tôles statoriques.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 13 : Exemple d'un enroulement moteur triphasé .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 14 : Exemple de différentes fixations redondantes d'un paquet de tôles statoriques sur un bras en porte-à-faux en béton .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 15 : Exemple de différentes fixations redondantes d'un paquet de tôles statoriques sur un bras en porte-à-faux en acier .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 16 : Exemple de disposition des supports pour les systèmes de support à une et deux travées	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

**Index des tableaux**

Tableau 1 : Formes verbales employées .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
---	-------------------------------------

## Généralités

# Objectif et champ d'application

Les présents « Principes d'exécution Voie Partie I - Exigences de niveau supérieur » contient les exigences générales indépendantes du projet du système partiel « Voie » et décrit ses interfaces avec les autres systèmes partiels du train rapide à sustentation magnétique en se basant sur les principes d'exécution du système complet /MSB AG-GESAMTSYS/.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

Les exigences techniques générales imposées à la voie se basent pour l'essentiel sur les expériences acquises avec des modes de construction déjà éprouvés de la voie. Pour les nouveaux modes de construction, il faut justifier de cette conformité stricte à ces exigences ou alors indiquer, en accord avec les autorités de surveillance compétentes, des exigences appropriées compatibles avec l'ensemble du système.

La partie I des principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique Voie comprend :

- les exigences fondamentales ;
- les exigences constructives ;
- les exigences relatives aux justifications ;
- les exigences relatives aux manipulations, au transport et au montage ;
- les exigences relatives à l'assurance qualité et à la documentation.

Selon MbBO (pour une application en Allemagne) et les autres dispositions en vigueur, la voie doit être réalisée de telle sorte qu'elle satisfait aux exigences en matière de sécurité et de réglementation. Ces exigences sont satisfaites lorsque la voie est conforme aux dispositions du MbBO ou, si celui-ci ne contient aucune disposition correspondante, aux règles généralement reconnues de la technique qui peuvent être transposées (voir à ce sujet l'Article 3 Paragraphe (1) du MbBO).

De plus, elle doit satisfaire aux exigences fonctionnelles spécifiques au système qui sont décrites dans les principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique Voie.

Tous les écarts par rapport aux exigences des principes d'exécution de la voie nécessitent une justification de la compatibilité avec l'ensemble du système et l'accord des autorités de surveillance compétentes.

## Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR&IH/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

ainsi que les documents secondaires également applicables :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie I : Exigences générales, document n° : 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie II : Dimensionnement, document n° : 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie III : Gabarit cinématique, document n° : 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie IV : Système de levage / de guidage, document n° : 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Rame, Partie V : Technique de freinage, document n° : 73389, /MSB AG-FZ BREMS/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Propulsion et approvisionnement en énergie, document n° : 50998, /MSB AG-ANT/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Installation technique de commande, document n° : 53328, /MSB AG-BLT/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie I : Exigences de niveau supérieur, document n° : 57284, /MSB AG-FW ÜBG/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie II : Dimensionnement, document n° : 57288, /MSB AG-FW BEM/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie III : Géométrie, document n° : 41727, /MSB AG-FW GEO/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie IV : Tracé, document n° : 60640, /MSB AG-FW TRAS/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie V : Levé, document n° : 60641, /MSB AG-FW VERM/
- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie, Partie VI : Maintenance, document n° : 63842, /MSB AG-FW IH/

Les contenus des parties I à VI des Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Voie sont regroupés ci-après :

### Partie I Exigences de niveau supérieur

- Description de la structure et des sous-ensembles du système partie Voie ;

- Définition des exigences fonctionnelles et constructives imposées aux composants/sous-ensembles individuels ;
- Définition des exigences relatives à la justification ;
- Définition des mesures d'assurance qualité nécessaires ;
- Exemple de variantes d'exécution techniquement éprouvées ;
- 

#### PARTIE II Dimensionnement

- Définition des effets sur la voie (y compris les interactions rame / voie) ;
- Définition des valeurs limites pour la justification de la voie (capacité de charge, fatigue des matériaux et aptitude à l'usage) ;
- Définition des déformations admissibles ;
- Indications relatives à la justification ;

#### Partie III Géométrie

- Définition de la forme géométrique voulue de la voie et des écarts admissibles par rapport à celle-ci (tolérances sous la forme de décalages, changements d'inclinaison et espacement des niveaux fonctionnels) ;
- Définition des points de mesure pour le levé des niveaux fonctionnels ;

#### Partie IV Tracé

- Indications relatives au tracé de la voie ;
- Définition des éléments de tracé et des paramètres de tracé autorisés ;

#### Partie V Levé

- Description de l'utilisation des systèmes de coordonnées existants ;
- Exigences relatives au système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique ;
- Exigences relatives au procédé de mesure ;

#### Partie VI Maintenance

- Exigences générales relatives à la maintenance de la voie ;
- Exigences fondamentales relatives au déroulement des opérations de maintenance ;
- Exigences fondamentales relatives à l'établissement et au contenu des programmes de maintenance pour les groupes de la voie (y compris les exigences relatives au personnel de maintenance) ;
- Définition des exigences relatives aux rames spéciales circulant sur la voie ;

## **Abréviations et définitions**

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes.

Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

### La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de train rapide à sustentation magnétique doit être définie obligatoirement en fonction du projet. Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique*.

Le niveau d'obligation des exigences a été fixé sur la base de la norme /DIN 820/, partie 2, annexe G, et pris en compte de façon correspondante dans la formulation des exigences.

Le **Error! Reference source not found.** contient les formes verbales utilisées à cet effet extraites de /DIN 820/, tableaux G1 à G4. La forme verbale supplémentaire « doit » / « ne doit pas » a été ajoutée en complément.

Signification	Forme verbale	Périphrase (à utiliser seulement dans des cas exceptionnels)	Application
Exigence : Commandement	doit	est à... est nécessaire il est nécessaire que ... doit seulement ... autorisé <b>il est indispensable</b>	... pour les exigences ayant un caractère obligatoire ou qui sont à respecter scrupuleusement.

**Principes d'exécution**

Voie

Exigence : Interdiction	ne doit pas	n'est pas permis, [autorisé], [admis] il est interdit il ne faut pas il ne doit pas	
Exigence : commandement faiblement limité	doit		L'exigence présente initialement un caractère obligatoire, mais des écarts sont tolérés dans des cas exceptionnels fondés.  Les écarts nécessaires au cas par cas sont à motiver par l'utilisateur avec consignation et il faut justifier d'une sécurité équivalente ainsi que de la compatibilité du système.
Exigence : interdiction faiblement limité	ne doit pas		
Recommandation	devrait, il convient que	il est recommandé que ... est généralement ...	Lorsqu'une possibilité parmi plusieurs est particulièrement recommandée, sans mentionner ni exclure les autres possibilités, ou lorsqu'une possibilité est déconseillée (forme négative) sans toutefois être interdite.
	ne devrait pas	non recommandé <b>il convient d'éviter</b>	
Admissibilité	peut	est autorisé est admissible ... aussi ...	... pour indiquer une manipulation autorisée.
	il n'est pas nécessaire de ...	il est inutile de ne nécessitant pas de ...	
Possibilité	peut	être à même de il est possible que ... peut se ... est en mesure de ...	... pour indiquer des possibilités et des capacités.
	ne peut pas	n'est pas à même de il est impossible que ... ... ne peut pas se ...	

Tableau 90 : Formes verbales employées

**Installations de service**

Les installations fixes du train rapide à sustentation magnétique sont appelées des installations de service. Elles englobent la voie ainsi que les autres constructions et les dispositifs fixes tels que les postes et les stations, par exemple.

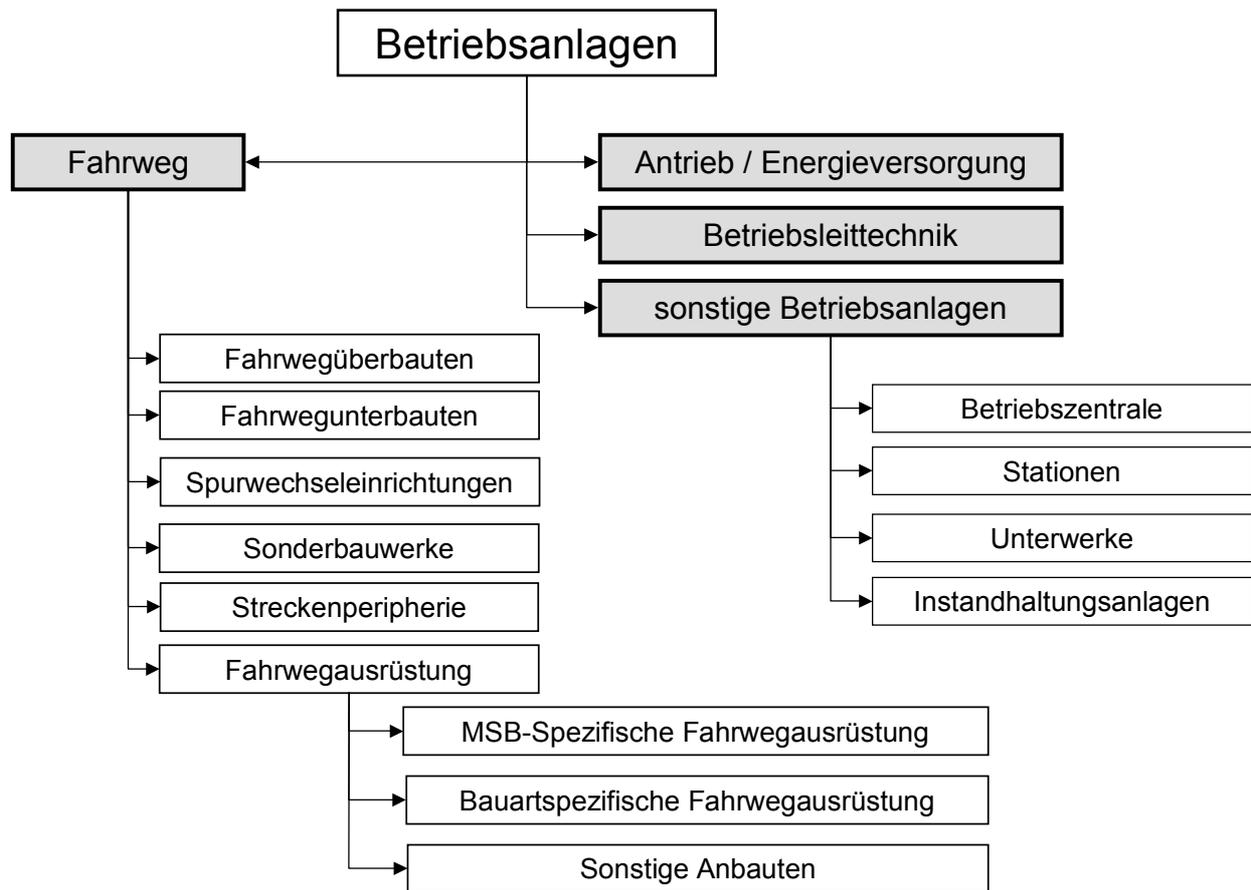


Figure 104 : Vue d'ensemble des installations de service

<b>Installations de service</b>	
Voie	Propulsion / approvisionnement en énergie Installation technique de commande Autres installations de service
Superstructures de la voie Infrastructures de la voie Dispositifs de changement de voie Ouvrages spéciaux Périphérie de la ligne Équipement de la voie	Services centralisés Stations Postes Installations de maintenance
	Équipement de la voie spécifique au TSM Équipement de la voie spécifique au mode de construction Autres ouvrages

## Exigences de niveau supérieur

### Généralités

Ci-après sont définies les exigences prioritaires applicables à tous les sous-ensembles et composants de la voie du système TSM. Les éléments supérieurs de la voie faisant partie des installations de service sont indiqués dans la **Error! Reference source not found.**.

### Exigences fonctionnelles

Les exigences fonctionnelles qui concernent tous les composants/sous-ensembles de la voie sont les suivantes :

- La voie doit absorber avec fiabilité et acheminer dans le sol de fondation tous les effets résultant de l'exploitation et de l'environnement.
- Seuls des composants/sous-ensembles doivent être utilisés dans l'exploitation du TSM. Le cas contraire, il faut justifier la compatibilité du système complet.
- La voie doit satisfaire en toute fiabilité aux exigences en matière d'aptitude à l'utilisation pendant la durée d'utilisation demandée sous les conditions additionnelles spécifiées. La durée d'utilisation est à déterminer en fonction du projet. Il peut être supposé une valeur indicative de 80 ans.
- Il faut exclure toute panne spontanée de la voie et/ de ses éléments.
- Les ouvrages de construction doivent être conçus avec tolérance aux pannes et signalisation des pannes ou alors avec redondance et signalisation des pannes.
- Il faut exclure toute violation de l'espace libre suite à une défaillance/panne d'un composant ou d'un sous-ensemble (rupture, déformation non autorisée) et ainsi une perte de fonctionnalité.
- Les modifications liées à la déformation, à l'inclinaison et/ou au décalage dans les niveaux fonctionnels suite à des défaillances (par exemple d'éléments de fixation) doivent pouvoir être détectées par des contrôles en cours d'exploitation avant de dépasser les déformations, inclinaisons et/ou décalages admissibles.

### Exigences relatives à la construction

Les exigences constructives de niveau supérieur à prendre en compte lors de la conception et de l'exécution de tous les composants/sous-ensembles de la voie sont les suivantes :

- Tous les composants/sous-ensembles sont à réaliser de telle sorte qu'ils résistent en toute fiabilité et avec certitude aux contraintes spécifiées sous les conditions environnementales spécifiques au projet pendant toute leur durée d'utilisation.
- Il faut construire la voie de telle sorte que les niveaux fonctionnels, sous l'effet simultané des influences de la rame et de l'environnement, ne présentent aucun écart non admissible par rapport au tracé de la courbe spatiale.
- Les opérations de roulages ne doit pas être affecté de manière non admissible par les oscillations possibles de la voie - définies par les propriétés dynamiques (rigidité, répartition des masses, amortissement).

- Il faut tenir compte des exigences spécifiques au projet résultant de l'environnement en accord avec les autorités de surveillance compétentes. En font notamment partie les effets du vent, de la température, des précipitations, du verglas et des tremblements de terre.
- Tous les composants/sous-ensembles de la voie doivent être construits de telle sorte que les émissions qui concernent l'environnement ne dépassent pas les valeurs autorisées (voir les dispositions et la législation en vigueur, y compris le MbB0). Il faut prendre des mesures supplémentaires si les limites d'émission admissibles le long d'un tracé ne peuvent pas être respectées.
- Le caractère approprié des matériaux et des procédés de fabrication prévus est à prouver par des analyses correspondantes et/ou des certificats / attestations / certificats d'homologation.
- En cas d'utilisation de la voie dans des tunnels et des espaces fermés, il faut observer lors du choix des matériaux les exigences actuelles en matière de protection contre les incendies et les catastrophes sur les voies dans les tunnels ou les espaces fermés. Les exigences détaillées sont à définir en fonction du projet.
- La position de la voie est définie par les courbes spatiales de chacune des voies fixées dans le cadre du tracé spécifique au projet et les indications correspondantes de l'inclinaison de la voie  $\alpha$ . Les systèmes de coordonnées (locaux et globaux) définis pour la position de ces courbes spatiales et l'exécution (fabrication et montage) de la voie sont représentés dans la **Error! Reference source not found.** Le système de coordonnées local (système de coordonnées de pose des supports) est expliqué dans les Principes d'exécution de la voie Partie III « Géométrie » /MSB AG-FW GEO/. Le système de coordonnées global (système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique) est expliqué dans les Principes d'exécution de la voie Partie V « Levé » /MSB AG-FW VERM/.
- La numérotation des composants/sous-ensembles de la voie et les autres détails importants (disposition des supports, type, etc.) sont à relever dans la documentation de maintenance et dans la liste des ouvrages.
- La maintenance de la voie et notamment des superstructures de la voie et de son équipement doit être possible depuis le côté supérieur de la voie (par exemple au moyen de rames spéciales). La construction de la voie doit être sans entretien et facile à réparer et doit permettre une inspection la plus automatisée possible.

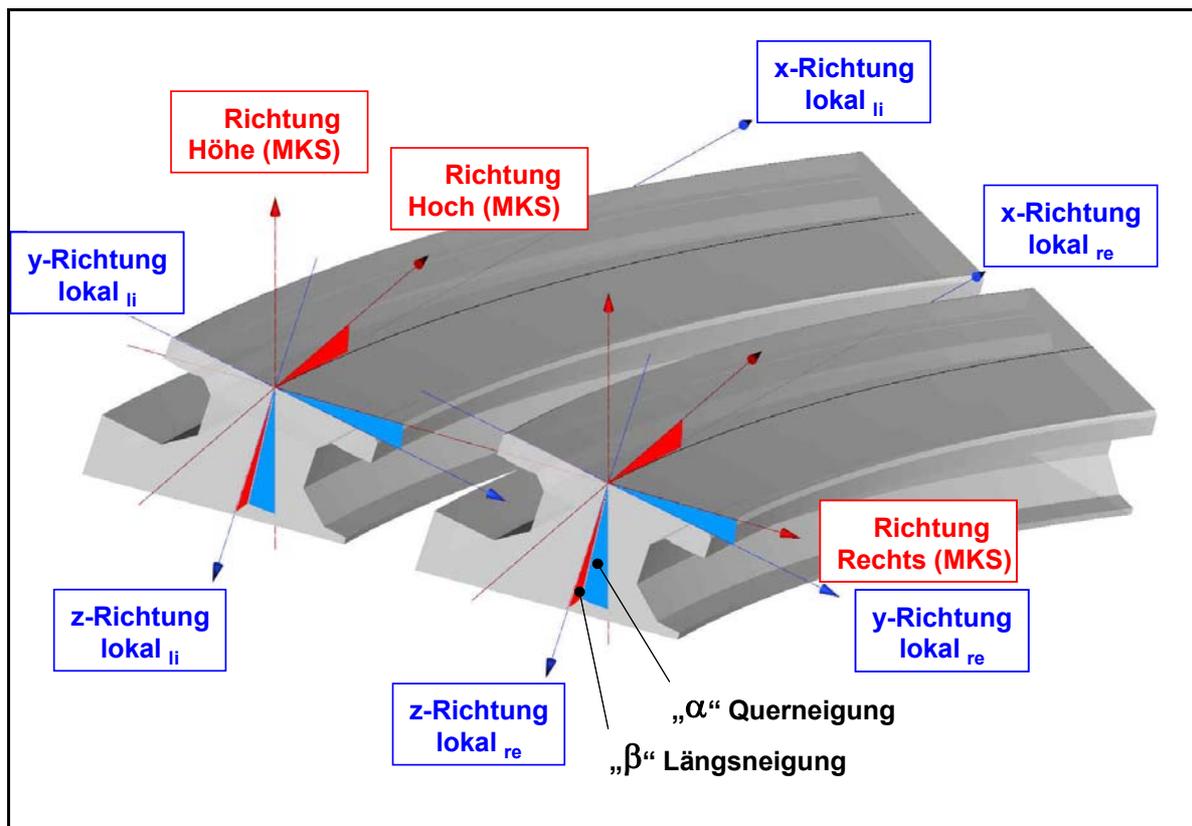


Figure 105 : Système de coordonnées local et global

*Sens de l'élévation (MKS)*

*Sens x local gauche*

*Sens de la hauteur (MKS)*

*Sens x local droit*

*Sens y local gauche*

*Sens vers la droite (MKS)*

*Sens y local droit*

*Sens z local gauche*

*Sens z local droit*

*« α » inclinaison transversale*

*« β » inclinaison longitudinale*

- La définition prioritaire du gabarit (la délimitation de l'espace utile, la limitation cinématique de la rame, la limite pour les éléments montés en position fixe et l'entraxe des voies) se trouve dans /MSB AG-GESAMTSYS/. Le cas échéant, les écarts par rapport à celle-ci doivent faire l'objet d'un accord par les autorités compétentes. Les espaces d'installation de l'équipement de la voie sont définis dans /MSB AG-GESAMTSYS/.
- Les espaces d'installation de l'équipement de la voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique sont représentés dans la **Error! Reference source not found.** ci-après. Les dimensions des espaces d'installation sont définis dans /MSB AG-FW GEO/ en se basant sur /MSB AG-GESAMTSYS/.
- Il convient de respecter les dimensions maximales des superstructures de voie indiquées en annexe comme valeurs indicatives pour les types de voie standard.

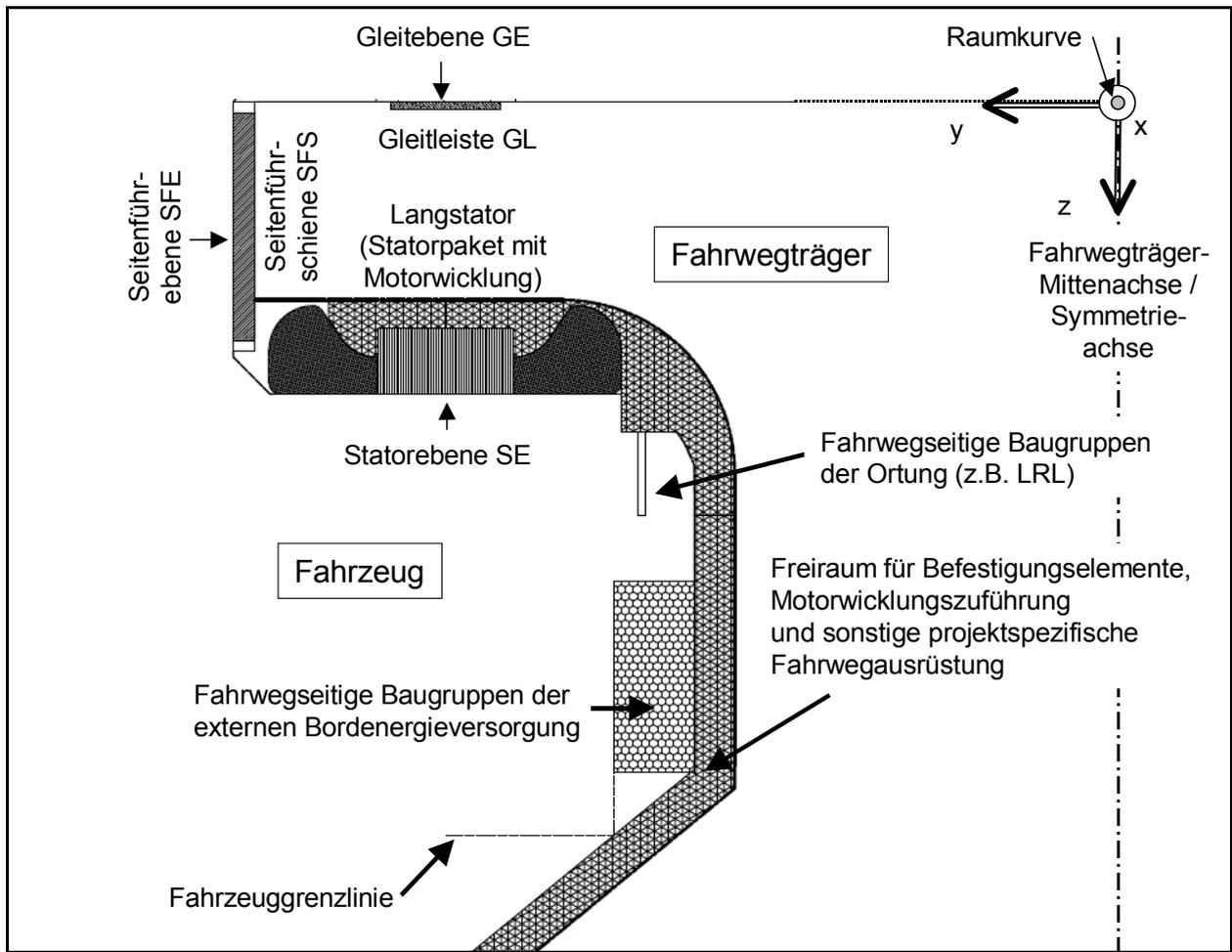


Figure 106 : Vue d'ensemble des espaces d'installation de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique

Plan de glissement GE  
Glissière GL

Courbe spatiale

Plan de guidage latéral SFE

Rail de guidage latéral SFS

Stator long (paquet de tôles statoriques avec enroulement moteur)

Support de voie

Axe central du support de voie /  
axe de symétrie

Plan du stator

Sous-ensembles de localisation  
côté voie (par ex/ LRL)

Rame

Espace libre pour les éléments de fixation,  
l'acheminement de l'enroulement moteur et  
d'autres équipements de la voie spécifiques au projet

Sous-ensembles côté voie de l'approvisionnement  
externe en énergie de bord  
Ligne de délimitation de la rame

- Les longueurs hors tout des superstructures de la voie sont à déduire de l'écart de 86 mm entre les phases individuelles de l'enroulement moteur, lequel résulte de la répartition des pôles du moteur à stator long de 258 mm (3 x 86 mm) et de la longueur hors tout de 1032 mm obtenue ainsi à titre d'exemple d'un paquet de 12 tôles statoriques standard de 86 mm (n x 86 mm).
- Il en résulte par exemple les longueurs de travées normales hors tout suivantes (voir **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.**), pour les superstructures de la voie :
  - Type de voie I :  $n \cdot 24,768 \text{ m}$  ou  $n \cdot 30,960 \text{ m}$  (24 ou 30 · 1,032 m) ;
  - Type de voie II :  $n \cdot 12,384 \text{ m}$  (12 · 1,032 m) ;
  - Type de voie III :  $6,192 \text{ m}$  (6 · 1,032 m);  
(avec  $n = 1$  pour les supports de travée et  $n \geq 2$  pour les supports de deux travées et plus)
- Les longueurs hors tout doivent se rapporter à la courbe spatiale. Dans le cas des voies en virage, point bas et sommet, il faut tenir compte des longueurs différentes qui se produisent au niveau fonctionnel pour des raisons géométriques /MSB AG-FW GEO/ et /MSB AG-FW TRA/.
- Une voie dont le gradient se trouve au moins à 3,5 m au-dessus du terrain est appelée une « voie surélevée ».

*Le type de voie I est généralement employé pour celle-ci.*
- Une voie dont le gradient est compris entre 1,25 m et 3,50 m au-dessus du terrain est appelée une « voie de niveau ».

*Le type de voie II ou III est généralement employé pour celle-ci. La hauteur de gradient minimale d'une voie de niveau dépend de l'inclinaison transversale en présence, de la zone de montage et des conditions annexes spécifiques au projet (par exemple accumulations de neige possibles).*

## Justification

Les exigences suivantes en matière de justification s'appliquent en priorité pour tous les composants/sous-ensemble de la voie :

- La justification des constructions se base sur « Principes de planification des ouvrages porteurs » énoncés dans l'Eurocode EN 1990 et dans la norme DIN 1055-100.
- La justification des composants et sous-ensembles électriques se base sur les normes DIN VDE 0100 DIN VDE 0101.
- Il faut tenir compte des remarques contenues dans la « Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (ELTN - Liste spécifique aux chemins de fer des conditions techniques de construction) » de l'office fédéral des chemins de fer.
- Pour tous les composants et les sous-ensembles de la voie, il faut réaliser la justification en tenant compte des effets l'environnement et de l'exploitation spécifiés dans /MSB AG-FW BEM/, des conditions annexes supplémentaires spécifiques au projet (durée d'utilisation, paramètres de fonctionnement, etc.) et en respectant les règles reconnues de la technique à l'aide de la méthodologie suivante :
  - justification théorique (calculs) ;
  - justification empirique (mesures des contraintes / tests sur banc d'essai).
- En l'absence de réglementation par les dispositions existantes (par exemple principes d'exécution de la voie, normes, directives, etc.), il faut déterminer des procédés de justification ainsi que leurs paramètres et en convenir avec les autorités de surveillance compétentes.
- Il faut respecter les exigences des principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique lors de la justification des composants/sous-ensembles normalisés indépendants du projet. S'il est impossible de respecter ces exigences dans des cas exceptionnels fondés, il faut alors apporter la justification d'une sécurité équivalente et la justification de l'aptitude à l'utilisation.
- Il faut notamment tenir compte lors de la justification de la voie de l'excitation dynamique de celle-ci provoquée par la rame (voir /MSB AG-FW BEM/).
- Il faut vérifier la résistance à l'environnement et les autres propriétés comme, par exemple, les effets sur l'aérodynamisme, les effets sur le bruit, etc.
- Il faut tenir compte des influences possibles dans le temps (par exemple tassement des revêtements anticorrosion dans le cas des liaisons vissées précontraintes, fluage des éléments sous contrainte) lors de la justification sur le côté sécurisé.
- Si les valeurs limites des contraintes de certains composants/sous-ensembles ne sont pas indiquées, il faut alors les déterminer par des essais sur banc (par exemple essais de composants, essais de matériau).
- Les modes de constructions, composants et sous-ensembles non éprouvés ne peuvent être utilisés pour l'exploitation commerciale qu'après avoir été contrôlés et qualifiés lors d'un essai d'exploitation sous des conditions additionnelles proches de l'application.

- Dans le cas de matériaux, modes de construction, composants ou sous-ensembles non éprouvés ou encore de combinaisons non éprouvées de ceux-ci, il faut apporter la justification de la compatibilité avec l'ensemble du système.
- Les sollicitations et groupes de sollicitations essentiels déterminés par des analyses théoriques doivent pouvoir être vérifiés avec justification par des mesures.
- Les hypothèses théoriques utilisées dans la justification, notamment les effets qui n'ont éventuellement pas encore été justifiés en exploitation d'essai, doivent être vérifiés par des mesures dans le cadre de la mise en service.
- Le niveau de sécurité de la voie doit correspondre au moins au niveau de sécurité des systèmes de transports publics guidés sur voie comparables.
- Suivant le projet, des exigences supplémentaires relatives à la sécurité peuvent résulter pour la voie et ses composants/sous-ensembles de l'analyse du risque menée spécifiquement au projet sur la base de la norme DIN EN 50126.
- Lors de la justification, il faut examiner le comportement consécutif à une défaillance de tous les composants/sous-ensembles (par exemple par une FMEA).
- Une défaillance des composants/sous-ensembles est à exclure avec une fiabilité suffisante en tenant compte des conséquences de la défaillance et de l'aspect économique. Pour les constructions à sûreté intégrée (exclusion des défauts), il faut généralement tenir compte des exigences supplémentaires suivantes relatives à la justification :
  - Les sollicitations essentielles déterminées par des analyses théoriques et le groupes de sollicitations supposées lors de la justification sont à vérifier par des essais avant l'adoption de l'exploitation commerciale.
  - Les propriétés qui sont décisives pour le fonctionnement des composants/sous-ensembles (par exemple matériau, absence de fissure, respect de certaines dimensions, précontrainte des vis) doivent être connues en tant que caractéristiques critiques. Il faut réaliser pour ces caractéristiques un contrôle dont la teneur est adaptée à l'importance du composant.
- Des constructions à tolérance de panne peuvent être obtenues par une exécution robuste, par exemple :
  - Les composants/sous-ensembles ne cèdent pas brutalement et/ou avertissent de la perte d'une capacité de charge suffisante par des déformations ou la formation de fissures « importantes » / opportunes.
- (20) La justification des constructions à tolérance de panne peut être effectuée par des analyses des effets des défauts (comportement en cas de défaillance du composant), par exemple :
  - En cas de défaillance théoriquement supposée (par exemple brutale) d'un composant, il faut justifier que le transfert de charge permet de maintenir avec fiabilité la capacité de charge et l'aptitude à l'utilisation de tous les composants et sous-ensembles qui se trouvent dans le flux des forces pendant le reste de la durée d'utilisation ou jusqu'à la réparation.
  - Le transfert de charge peut ici s'effectuer par le biais de trajets de charge redondants variés ou homogènes. En cas de défaillance d'un composant, il est toléré que les forces

soient retransmises par le biais de trajets de charge qui subissent des contraintes opérationnelles même à l'état intact (redondance « active »).

- Dans le cas des trajets de force redondants qui ne subissent pas de contraintes opérationnelles directes à l'état intact (redondance « passive »), il faut uniquement tenir compte dans cet état des effets de l'environnement et des effets indirects de l'exploitation (par exemple oscillations des supports).
  - Les situations de défaillance pour lesquelles il faut apporter une justification sont à définir en accord avec les autorités compétentes chargées de la surveillance pour tous les composants/sous-ensembles concernés en tenant compte de la maintenance (possibilité de détection des défaillances, intervalles de contrôle, etc.).
  - Dans le cas d'une signalisation fiable des défauts, une conception d'exploitation fixe pour un profil d'utilisation spécifique au projet des composants/sous-ensembles qui se trouvent dans le flux des forces en présence de la situation de défaillance respective à prendre en compte avec indication du changement de charge admissible (passages de rame) est suffisante. Il faut justifier de la signalisation/détection fiable du défaut dans le cadre de la maintenance de la voie.
- Il faut définir entièrement et clairement les exigences à satisfaire en matière de qualité des composants/sous-ensembles.
  - Si les méthodes d'évaluation destinées à contrôler la qualité exigée des composants/sous-ensembles ne sont pas encore indiquées dans les normes, etc. existantes concernées, il faut alors les définir en accord avec les autorités compétentes chargées de la surveillance. Il faut pouvoir justifier de l'application de ces méthodes lors de l'évaluation.
  - La fabrication/le montage sont à réaliser de manière à respecter les conditions additionnelles sur lesquelles se base la justification. Pour ce faire, il faut établir des instructions de fabrication / de montage dans lesquelles sont définis les procédés et les outils à employer, toutes les valeurs à respecter des paramètres ainsi que les tolérances admissibles des paramètres.
  - Il faut justifier de la position correcte de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique avant la mise en service de la voie par un contrôle du gabarit et par un contrôle des écarts de grande longueur et courts ainsi que des décalages.
  - Le respect des exigences générales ci-après est en outre une condition préalable à la fiabilité et à l'aptitude à l'utilisation de la voie :
    - Des personnes qualifiées sont chargées du développement, de la construction et de la justification.
    - L'exécution est assurée par un personnel soigneusement formé et qualifié.
    - Une surveillance et un contrôle professionnels sont assurés dans les ateliers de fabrication, les centres de production et sur le chantier.
    - La voie est utilisée conformément aux hypothèses du projet.
    - Les éléments de la voie sont entretenus de manière professionnelle. Le constructeur doit impérativement établir un programme de maintenance à cet effet.

## Manipulation, transport et montage

Les constructeurs doivent établir des instructions détaillées pour la manipulation, le transport, le montage et le démontage de tous les éléments de voie. Celles-ci doivent tenir compte des conditions additionnelles spécifiques (conception, effets liés au transport, etc.).

L'établissement d'instructions détaillées pour la manipulation, le transport, le montage et le démontage n'est pas nécessaire pour les composants/sous-ensembles subordonnés éprouvés.

Toutes les opérations de fabrication/montage sont à documenter dans le cadre de la justification.

## Exigences générales relatives à l'aptitude à la maintenance

Il faut respecter les exigences fondamentales ci-après relatives à l'aptitude à la maintenance des composants et des sous-ensembles de la voie :

Tous les sous-ensembles et composants de la voie doivent être configurés de manière à ce que l'effort de maintenance soit le plus faible possible. Pour ce faire, il faut accorder la préférence à des constructions à tolérance de panne, robustes et si possible redondantes.

- Les composants et sous-ensembles de la voie sont à réaliser sans entretien et faciles à réparer.
- La maintenance n'est à prévoir que lorsqu'elle est inévitable (par exemple pièces mobiles des installations de changement de voie) ou lorsqu'elle présente des avantages économiques et/ou opérationnels par rapport au contrôle / à la réparation.
- Concernant la maintenance, il faut déjà tenir compte des exigences du chapitre 5.3.3 dans /MSB AG-GESAMTSYS/ et /MSB AG-BTR&IH/ lors de la construction des composants et des sous-ensembles de la voie.
- Les défauts doivent se signaler de manière à pouvoir être reconnus avec fiabilité par des procédures de contrôle correspondantes.
- Les défaillances des composants/sous-ensembles doivent pouvoir être détectées de manière fiable en tenant compte de la construction individuelle dans le cadre des mesures de surveillance selon /MSB AG-BTR&IH/ et il doit être possible de rétablir l'état normal par des réparations.
- La panne d'un composant ou d'un sous-ensemble isolé ne doit pas entraîner une restriction ou un arrêt des opérations de roulage.  
*Remarque : une limitation des opérations de roulage est possible si le remplacement de supports de voie complets n'est pas totalement à exclure.*
- L'objectif essentiel du développement et de la fabrication de la voie est de réduire, dans l'idéal d'éviter les réparations.
- Une fabrication soignée, dépourvue de défauts et d'erreurs (avec l'assistance d'un système d'assurance qualité) doit permettre d'obtenir un niveau de qualité élevé de la voie.
- Tous les sous-ensembles et les composants sont à concevoir pour résister à l'exploitation en tenant compte des effets de l'exploitation et de l'environnement pendant la durée d'utilisation respectivement prévue.

- Il faut accorder la préférence aux conceptions architecturales qui permettent une inspection largement automatisée en cours d'exploitation.
- Si la détection directe d'une défaillance n'est pas assurée, il faut alors justifier qu'il est possible de détecter indirectement un éventuel défaut (par exemple par des changements de décalage aux niveaux fonctionnels) avant que ne se produise un état non admissible.
- Les sous-ensembles et composants de la voie doivent être réalisés de manière à ce que l'effort de maintenance soit le plus faible possible.
- Il faut identifier les sous-ensembles et les composants de manière à permettre une affectation sans équivoque dans le cadre de l'interprétation d'un procédé d'inspection automatique et que les ordres de travail puissent être exécutés explicitement.
- Il faut définir spécifiquement au projet la période disponible pour la maintenance.

## Superstructures de la voie

### Généralités

Les superstructures de la voie constituent les rails de circulation de la voie. La subdivision des superstructures de la voie est représentée dans la **Error! Reference source not found.**.

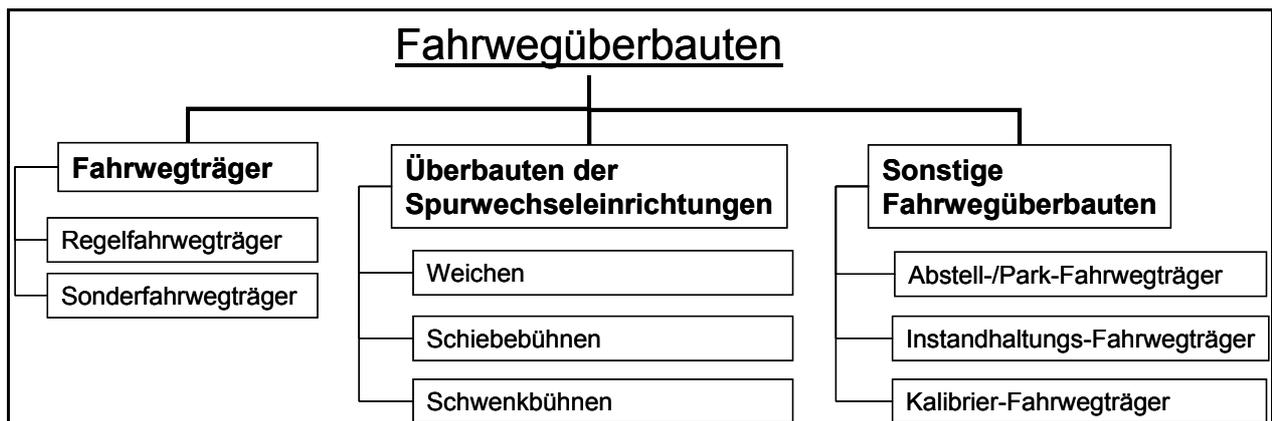


Figure 107 : Types de superstructures de la voie

#### Superstructures de la voie

*Support de voie*

*Superstructures des dispositifs de changement de voie*

*Autres superstructures de la voie*

*Support de voie standard*

*Aiguillages*

*Support de voie d'arrêt / de stationnement*

*Support de voie spécial*

*Plates-formes roulantes*

*Support de voie de maintenance*

*Plates-formes coulissantes*

*Support de voie de calibrage*

- Lors de la planification des lignes du train rapide à sustentation magnétique, il faut travailler avec les types de supports de voie standard suivants (voir **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.**):
  - Support de voie de type I : Poutres à travée(s) simple / multiples avec des longueurs de système de  $> \approx 16$  m ;
  - Support de voie de type II : Poutres à travée(s) simple / multiples avec des longueurs de système de  $\leq \approx 16$  m ;
  - Support de voie de type III : Dalles à travées multiples avec des faibles longueurs de système, par exemple de  $\approx 6$  m ;

- La détermination du type de support de voie et des longueurs de système correspondants doit se faire en fonction du projet.
- Les types de support de voie I et II sont généralement posés à discrétion sur des piliers avec des semelles individuelles. Les forces d'appui du type de support de voie III sont généralement redirigées dans le terrain de fondation par l'intermédiaire des semelles continues.
- Les « modes de construction » suivants ont fait leurs preuves pour les supports de voie :
  - *Construction en béton (support / dalle en béton avec bras en porte-à-faux (en béton) intégré) ;*
  - *Construction en acier (support / dalle en acier avec bras en porte-à-faux (en acier) intégré) ;*
  - *Construction hybride (support / dalle hybride comme support avec modules en acier fixés sur celui-ci en tant que bras en porte-à-faux).*

*D'autres modes de construction telles que la construction composite, par exemple, sont également possibles.*

- Les « modes de construction » possibles se rapportent à l'exécution architecturale des superstructures de la voie (⇒ spécifique au type de construction).

## Exigences fonctionnelles

Les exigences fonctionnelles déterminantes relatives aux superstructures de la voie sont :

- une supposition fiable des effets de l'exploitation et de l'environnement et leur transmission dans les infrastructures de la voie ;
- une supposition fiable de l'équipement de la voie spécifique au TSM ;
- une supposition fiable des autres équipements de la voie dépendant du type et du mode de construction ;
- la garantie de la précision de positionnement requise de l'équipement de la voie spécifique au TSM (tolérances et déformations).

•

## Exigences relatives à la construction

Les exigences relatives à la construction des superstructures de la voie sont :

- La section transversale des superstructures de la voie sont respecter les indications des **Error! Reference source not found., Error! Reference source not found., Error! Reference source not found.** und **Error! Reference source not found.** ainsi que les espaces d'installation de l'équipement technique de la voie selon /MSB AG-FW GEO/, tous les raccords de l'équipement de la voie devant être accessibles et doivent pouvoir être entretenus.
- Le dépassement des sections transversales indiquées dans les **Error! Reference source not found., Error! Reference source not found., Error! Reference source not found.** und **Error! Reference source not found.** est autorisé si la compatibilité avec l'ensemble du système est justifiée. Les longueurs de support sont uniquement indiquées à titre d'exemple (voir chapitre **Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.**).
- Le choix des matériaux (y compris la protection anticorrosion) est à effectuer conformément à l'état de la technique en tenant compte de la durée d'utilisation exigée.
- Les efforts de maintenance ainsi que les effets acoustiques indésirables (émissions sonores) sont à minimiser par une configuration optimale de la section transversale et de la surface.
- Pour garantir la durabilité et réduire l'effort de maintenance, il faut observer les exigences générales en matière de protection anticorrosion par la construction.
- Il faut garantir la facilité d'accès à tous les composants porteurs pour la maintenance.
- Les caissons creux/espaces creux doivent être configurés de telle sorte qu'aucune inspection à l'intérieur de ceux-ci ne soit nécessaire (par exemple support de caisson creux en acier fermé).
- Il faut configurer le drainage du dessus des superstructures de la voie de telle sorte que toutes les eaux pluviales puissent s'écouler depuis le côté supérieur de la voie. Un drainage par le biais des rails de guidage latéraux est autorisé. Dans les zones rectilignes de la voie, il faut réaliser une inclinaison transversale de la voie de 1,15° (ce qui correspond à 2 %) pour le drainage.
- Il faut fermer les interstices transversaux entre les supports de voie successifs (par exemple par un couvre-joint) si leur taille peut dépasser 20 mm (grandeurs influentes : déformation des infrastructures, modification de la longueur de la superstructure en raison de la température ainsi que contraction et fluage du béton) et dans les sections de la ligne où les vitesses de

passage selon le profil de roulage local réel sont  $> 150$  km/h. Il faut définir en fonction du projet si cette exécution est nécessaire ainsi que les zones concernées par celle-ci.

- Il faut éviter les interstices longitudinaux et les autres ouvertures sur le dessus de la voie.
- Il faut prévoir des points de raccordement appropriés pour permettre la pose de composants sur les superstructures de la voie (par exemple par des espaces libres dans la cage d'armature). Si ces raccords influencent les justificatifs statiques spécifiques au projet des superstructures de la voie (capacité de charge et résistance à la fatigue) pour l'homologation du type, il faut alors déjà tenir compte de ces raccords lors de l'établissement de ces justificatifs.
- Les superstructures de la voie sont à numéroter explicitement conformément aux indications spécifiques au projet. La numérotation d'une voie doit ici être continue. Les numéros sont à apposer de manière durable et bien lisible sur le dessus des superstructures de la voie (le cas échéant au-dessus du point d'appui associé). Il est recommandé d'apposer en plus la numérotation sur le côté. Il faut accorder la numérotation des superstructures et celle des infrastructures de la voie.
- La construction est à exécuter de telle sorte que les inspections des superstructures de la voie puissent le plus possible être réalisées à l'aide de procédés automatisés (par exemple interprétation d'enregistrements vidéo).
- La construction est à réaliser de telle sorte que les opérations de réparation qui ne peuvent pas être prévues à long terme (préavis  $< 3$  mois) puissent être réalisées dans la période disponible à cet effet sous toutes les conditions environnementales possibles du projet.

•

## Justification

Il faut tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

Il faut notamment tenir compte des exigences suivantes :

- (1) En complément des justificatifs théoriques, il faut effectuer la qualification des propriétés suivantes superstructures de la voie par des essais techniques :
  - Justification du comportement dynamique et des sollicitations dynamiques lors du passage de la rame de  $v = 0$  km/h (rame en sustentation) à  $v = v_{\max}$ ;
  - Justification d'une capacité de charge et d'une résistance opérationnelle suffisantes ;
  - Justification de l'aptitude fonctionnelle ;
  - Respect des valeurs limites des émissions sonores selon /MSB AG-GESAMTSYS/ ;
  - Justification de l'aptitude à la maintenance (possibilité d'inspection, accessibilité, etc.).
- (2) Il faut faire appel aux expériences et aux connaissances des qualifications antérieures (par exemple lors d'un essai d'exploitation, de l'utilisation des projets d'application) lors de la justification des nouvelles superstructures de voie.

•

## Manipulation, transport et montage

**Principes d'exécution**

- Pour le transport et le montage des superstructures de la voie, il faut utiliser des dispositifs adaptés au type de construction correspondant afin d'éviter les dommages mécaniques et les déformations persistantes.
- Il faut optimiser le processus de montage et de positionnement précis des superstructures de la voie du point de vue de la précision, de l'indépendance aux intempéries et de la rapidité. Il faut établir à cet effet des instructions de montage et de positionnement avec toutes les indications nécessaires.

## Infrastructures de la voie

### Généralités

Les infrastructures de la voie sont nécessaires pour :

- franchir la différence de hauteur entre les superstructures de la voie et le terrain (piliers de voie) ;
- retransmettre les forces provenant des superstructures de la voie dans le sol de fondation en tenant compte des modifications techniques.

Les constructions en béton et en acier ont actuellement fait leurs preuves pour les piliers. D'autres modes de construction sont toutefois également possibles.

Les fondations de la voie sont généralement réalisées en béton.

La configuration des infrastructures de la voie dépend avant tout des exigences en matière de rigidité qui sont déterminées par les déformations et les torsions admissibles selon /MSB AG-FW BEM/.

La configuration esthétique des infrastructures doit se soumettre aux exigences fonctionnelles et constructives ci-après.

La subdivision des infrastructures de la voie est représentée dans la **Error! Reference source not found.**

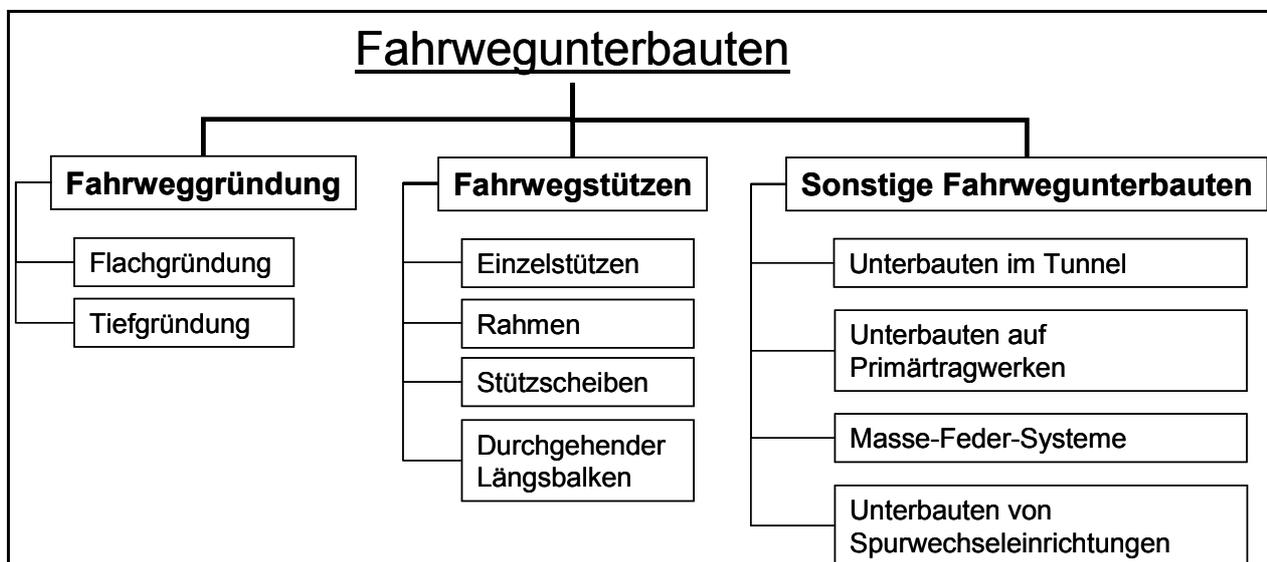


Figure 108 : Types d'infrastructures de la voie

<b>Infrastructures de la voie</b>		
<i>Fondation de voie</i>	<i>Piliers de voie</i>	<i>Autres infrastructures de la voie</i>
<i>Fondation à plat</i>	<i>Piliers individuels</i>	<i>Infrastructures en tunnel</i>

*Fondation profonde**Cadres**Infrastructures sur des ouvrages porteurs primaires**Plaques d'appui  
Poutres longitudinales  
d'un seul tenant**Systèmes masse/ressort  
Infrastructures des dispositifs  
de changement de voie*

## Exigences fonctionnelles

Les exigences fonctionnelles déterminantes relatives aux infrastructures de la voie sont :

- Les infrastructures de la voie doivent absorber directement les effets des superstructures de la voie par le biais des appuis de la voie et les retransmettre en toute fiabilité dans le sol de fondation (prise en charge fiable des superstructures de la voie).
- Les composants/sous-ensembles de l'équipement de voie (par exemple câbles d'arrivée de l'enroulement moteur et de l'approvisionnement en énergie de bord externe) sont à accueillir de manière fiable.
- Les infrastructures de la voie doivent garantir à long terme la précision de positionnement des superstructures de la voie.
- 

## Exigences relatives à la construction

Il faut tenir compte des exigences architecturales suivantes lors de la conception des infrastructures de la voie :

- Il faut généralement prévoir des dispositifs de protection selon le concept de sécurité spécifique au projet pour prévenir la collision de rames et d'appareils au niveau des voies de circulation qui se croisent et parallèles.
- Il faut éviter les infrastructures séparées pour des superstructures de voie successives.
- Il faut prévoir des points de fixation dimensionnés selon les règles généralement reconnues de la technique pour le raccordement du système parafoudre des superstructures de la voie à l'armature de l'infrastructure de la voie.
- La configuration des transitions entre :
  - les ouvrages spéciaux et la voie standard qui s'y rattache,
  - les voies à pose discrète et continue et
  - les voies composées de systèmes masse-ressort et d'une voie qui s'y rattache
 nécessite une justification de la compatibilité avec le système complet.
- Il faut prévoir des dispositions architecturales appropriées pour permettre la pose ultérieure éventuelle de composants sur les infrastructures de la voie (par exemple par des espaces libres dans la cage d'armature). Celles-ci sont à déterminer en fonction du projet.
- Il faut prévoir des possibilités de fixation sur tous les piliers pour la pose des câbles vers le stator long et pour l'approvisionnement en énergie de bord externe.

- Les superstructures des deux rails constituant la double voie doivent reposer sur des infrastructures de voie communes disposées dans le sens radial par rapport à l'axe du tracé.
- Des variations, par exemple en cas d'élargissement de l'entraxe des rails ou en cas d'utilisation du support de voie de type III sont autorisées. Les zones les plus sensibles des infrastructures de voie (par exemple l'environnement des appuis de voie) doivent être configurés de telle sorte que les dommages puissent être reconnus dans le cadre de l'interprétation d'une inspection automatisée de la voie

## Justification

Il faut tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

L'attention est ici notamment attirée sur les exigences suivantes :

- Il faut tenir compte des aspects suivants spécifiques au projet lors du dimensionnement des infrastructures de voie :
  - Effets des superstructures de la voie, de l'environnement et de l'exploitation ;
  - Déformations admissibles ;
  - Système statique correspondant des superstructures de voie ;
  - Les conditions locales du sol de fondation ;
  - les hauteurs de gradient locales des voies.
- Lors du dimensionnement de la fondation, il faut également tenir compte de la vitesse de sollicitation (élevée) et des forces dynamiques (fréquence, amplitude) provenant des superstructures de la voie.
- En l'absence d'expériences avec un type de construction des infrastructures, il faut apporter des justifications théoriques et/ou empiriques approfondies.
- 

## Manipulation, transport et montage

*Les infrastructures de la voie sont généralement construites en béton coulé sur place. En cas d'utilisation d'éléments préfabriqués (éléments préfabriqués en béton, piliers en acier, piliers composites), il faut établir des instructions de manipulation, de transport et de montage correspondantes.*

## Équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique

### Généralités

L'expression « équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique » désigne communément tous les composants et sous-ensembles qui sont nécessaires pour l'exploitation du train rapide à sustentation magnétique, et ce indépendamment du mode de construction de la voie (voir **Error! Reference source not found.** et **Error! Reference source not found.**).

Les éléments de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique sont :

- Stator long ;
- Rails de guidage latéraux ;
- Glissières ;
- Composants de l'approvisionnement externe en énergie de bord situés sur la voie ;
- Composants de localisation situés sur la voie ;
- Protection contre la foudre et mise à la terre de l'équipement de la voie.

Les exigences générales imposées aux éléments de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique sont décrites ci-après.

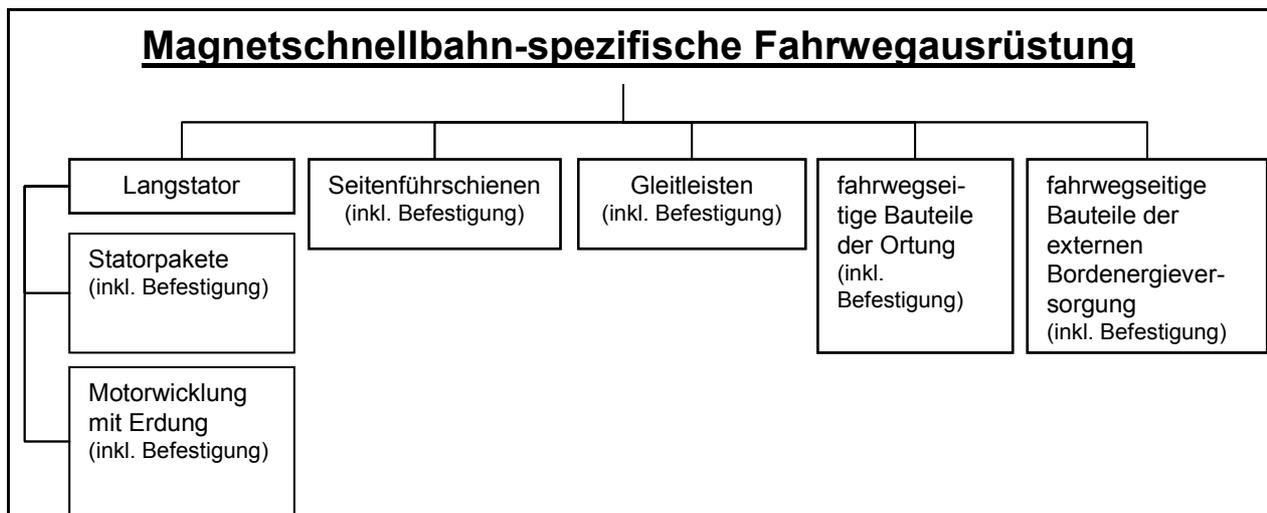


Figure 109 : Équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique

#### Équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique

##### Stator long

Paquets de tôles statoriques (y compris la fixation)

Enroulement moteur avec mise à la terre (y compris la fixation)

Rails de guidage latéraux (y compris la fixation)

Glissières (y compris la fixation)

*Composants de localisation situés sur la voie (y compris la fixation)*

*Composants de l'approvisionnement externe en énergie de bord situés sur la voie (y compris la fixation)*

# Stator long

## Généralités

*Le stator long fait partie de la voie et sert à la propulsion des rames de TSM.*

*Il se compose des éléments suivants :*

- Paquet de tôles statoriques, constitué de :
  - un paquet de tôles électriques munies de rainures pour recevoir l'enroulement moteur et pour recevoir des éléments intégrés en vue de la fixation à la superstructure de voie (la **Error! Reference source not found.** en annexe illustre un exemple de paquet de tôles statoriques) ;
  - les éléments intégrés pour la fixation du paquet de tôles statoriques à la superstructure de la voie (par exemple traverses à encoche) ;
  - le revêtement de protection (protection anticorrosion).
- Éléments pour la fixation des paquets de tôles statoriques aux superstructures de la voie (par exemple vis) ;
- Enroulement moteur triphasé (la **Error! Reference source not found.** illustre à titre d'exemple une section du stator long avec un enroulement moteur dont les câbles ont été posés individuellement l'un derrière l'autre) ;
- Dispositif de mise à la terre de l'enroulement moteur et maintien supplémentaire ce celui-ci dans les rainures du paquet de tôles statoriques (par exemple manchons de mise à la terre et câble de mise à la terre associé).

*La **Error! Reference source not found.** et la **Error! Reference source not found.** en annexe illustrent des exemples de solutions de fixation redondante des paquets de tôles statoriques.*

*Du fait de sa disposition sur le côté inférieur de la voie, le stator long est protégé contre la foudre directe. Il faut toutefois garantir l'évacuation des décharges électriques provoquées par la foudre dans le système de mise à la terre de l'ouvrage porteur par le biais de la fixation afin d'éviter les dommages résultant des effets indirects de la foudre.*

## Exigences fonctionnelles

### Paquet de tôles statoriques

Il faut configurer l'interface entre le paquet de tôles statoriques et l'enroulement moteur de telle sorte que ce dernier soit parfaitement maintenu dans sa position sous tous les effets pris en compte selon /MSB AG-FW BEM/.

Le paquet de tôles statoriques doit remplir les fonctions suivantes :

- Guidage du flux magnétique produit par les aimants de levage de la rame avec absorption et redirection des forces produites par le flux magnétique (forces de levage) ;
- Absorption et redirection des forces d'accélération et de freinage ;

- Formation de la surface de référence (plan du stator) pour la mesure de l'entrefer entre le paquet de tôles statoriques et l'aimant de levage ;
- Formation de la surface de référence pour la surveillance de la voie (par exemple surveillance de la position par mesure du décalage) ;
- Formation de la suite dents / encoches pour la localisation de la rame ;
- Formation de la géométrie dents / encoches pour la modulation du flux en vue de l'induction d'une tension électrique dans les générateurs linéaires de la rame (approvisionnement en énergie de bord).

### **Fixation des paquets de tôles statoriques**

Il faut tenir compte des exigences suivantes pour la fixation des paquets de tôles statoriques aux superstructures de la voie :

- La fixation des paquets de tôles statoriques doit retenir le paquet de tôles statoriques en toute fiabilité dans la position définie (voir /MSB AG-FW GEO/) sur la durée d'utilisation exigée spécifiquement au projet en tenant compte de tous les effets de l'environnement et de l'exploitation selon /MSB AG-FW BEM/.
- S'il est impossible d'exclure la défaillance d'un et/ou de plusieurs éléments de fixation, il faut alors garantir une opération de roulage sûre et sans restrictions pour une période à définir spécifiquement au projet.
- La défaillance des éléments de fixation doit pouvoir être détectée de manière fiable dans le cadre des mesures de surveillance selon /MSB AG-BTR&IH/ et il doit être possible de rétablir l'état normal par des réparations.
- Il faut empêcher avec certitude un dépassement des variations de position admissibles du paquet de tôles statoriques /MSB AG-FW GEO/.

### **Enroulement moteur**

- L'enroulement moteur sert à générer un champ électrique progressif dont l'interaction avec le champ magnétique des aimants de levage de la rame permet de générer une force de poussée pour l'accélération et le ralentissement de la rame.
- Les forces de poussée sont transmises à l'ouvrage porteur par le biais des paquets de tôles statoriques et de leur fixation.

## **Exigences relatives à la construction**

### **Paquet de tôles statoriques**

- Les composants du paquet de tôles statoriques (paquets de tôles, revêtement et éléments de fixation intégrés) doivent être réalisés et assemblés de manière à garantir avec certitude la durée d'utilisation selon /MSB AG-GESAMTSYS/ en considération des effets de l'environnement et de l'exploitation.
- Il faut concevoir la construction en vue d'un effort d'entretien le plus faible possible.
- La qualité de la tôle électrique employée doit satisfaire aux exigences de /MSB AG-GESAMTSYS/.

- Le facteur d'empilage du paquet de tôles ne doit pas être inférieur à 0,97 selon EN 10106.
- Il faut tenir compte des dimensions déterminantes du paquet de tôles selon /MSB AG-GESAMTSYS/ ;
- Longueur du paquet de tôles statoriques :
  - La longueur hors tout d'un paquet de tôles statoriques est de 1032 mm.
  - Du fait des longueurs différentes entre le côté intérieur d'un virage et le côté extérieur d'un virage, des longueurs différentes du paquet de tôles statoriques sont nécessaires pour la réalisation de la forme géométrique de la voie.
- Il convient que les écarts mécaniques au niveau des surfaces frontales des paquets de tôles statoriques dans la travée du support soient compris entre 0,5 mm et 2 mm. Il convient de respecter une largeur de bande maximale de 0 à 10 mm dans la zone des petits rayons horizontaux et au niveau des installations de changement de voie. Les longueurs requises des paquets de tôles statoriques individuels et leur disposition sur la voie sont déterminées spécifiquement au projet et elles doivent être compatibles avec le système de levage/guidage de la rame.
- La forme géométrique du paquet de tôles statoriques monté doit satisfaire aux exigences définies dans /MSB AG-FW GEO/ pour les tolérances du plan du stator (en tenant compte des tolérances des surfaces de fixation sur la voie à définir spécifiquement au projet).
- La géométrie uniforme dents / encoches doit respecter la trame de 86 mm.
- Le matériau du revêtement (protection anticorrosion) est à choisir en tenant compte de la durée d'utilisation exigée et des conditions environnementales spécifiques au projet. Il faut garantir par une protection et une fabrication appropriées que l'épaisseur de couche admissible sur le plan du stator n'est pas dépassée et que l'entrefer mécanique n'est ainsi pas réduit de manière inadmissible. Le revêtement ne doit pas modifier les propriétés électriques et électromécaniques du paquet de tôles. La protection anticorrosion doit entièrement entourer le paquet de tôles statoriques. Elle doit en outre présenter une ductilité durable et une faible abrasion.
- L'épaisseur maximale admissible de la protection anticorrosion sur le plan du stator ne doit pas dépasser 1,8 mm (y compris toutes les tolérances, dépouilles, etc.).
- L'espace d'installation admissible du paquet de tôles statoriques est représenté dans la **Error! Reference source not found.** et dans /MSB AG-FW GEO/.
- Les dimensions des éléments de fixation intégrés sont à définir en fonction du type de fixation, des exigences statiques et en tenant compte des aspects de la maintenance.
- Les surfaces de contact entre le bras en porte-à-faux du support de voie et les éléments intégrés de fixation du paquet de tôles statoriques (par exemple traverse à encoches) doivent être configurées de telle sorte que les forces provenant de l'environnement et de l'exploitation ne puissent pas provoquer un décalage non admissible des paquets de tôles statoriques.
- Les surfaces de contact entre la fixation des paquets de tôles statoriques et la surface de raccordement à l'ouvrage porteur doivent présenter les paramètres de friction qui ont servi de base pour le dimensionnement afin de pouvoir transmettre les forces résultant des effets à prendre en compte.

### Fixation des paquets de tôles statoriques

- La fixation doit être amovible avec un effort justifiable et sans endommager les structures voisines.
- Il faut définir spécifiquement au projet s'il faut prévoir des mesures de protection sur des sections de la voie à définir spécifiquement au projet (par exemple au niveau des intersections avec d'autres voies) pour empêcher la chute d'éléments de fixation détachés avec pour conséquence une mise en danger des tiers.
- Les éléments de fixation dont une défaillance ne peut pas être exclue doivent pouvoir être remplacés facilement (pendant une pause de l'exploitation) en cas de défaillance.
- Il faut tenir compte de la construction de raccordement spécifique à l'architecture (bras en porte-à-faux de la voie et éléments intégrés pour la fixation des paquets de tôles statoriques) lors du développement et du dimensionnement des éléments de fixation.
- L'espace de montage disponible pour la fixation des paquets de tôles statoriques (voir **Error! Reference source not found.** et /MSB AG-FW GEO/) est à définir en accord avec le fournisseur des paquets de tôles statoriques et le fournisseur des supports de voie. Il faut apporter une justification individuelle de la compatibilité avec le système complet.
- Il faut utiliser des matériaux et des procédés de fabrication qui permettent d'exclure avec un effort justifié les défauts systématiques pouvant mener à une défaillance de la liaison (par exemple fragilisation due à l'hydrogène).
- En plus de la durée d'utilisation requise, il faut également tenir compte des conditions environnementales en présence lors du choix des matériaux (corrosion et vieillissement).

### Enroulement moteur

- Il faut concevoir l'enroulement moteur de manière à atteindre la durée d'utilisation exigée en considération des effets spécifiques de l'environnement et de l'exploitation.
- Il faut exclure toute violation de l'espace libre admissible pendant la durée d'utilisation exigée (en considération des effets spécifiques de l'environnement et de l'exploitation).
- Il faut tenir compte des propriétés mécaniques et géométriques du câble utilisé pour l'enroulement moteur lors de la conception spécifique au projet de la fixation et du montage (fixation dans les rainures du paquet de tôles en tenant compte de la mise à la terre de l'enroulement moteur et de la géométrie dents/encoches).
- Il faut respecter le rayon de courbure minimum du câble de l'enroulement moteur et l'espace de montage minimum de ce dernier selon la **Error! Reference source not found.**, /MSB AG-FW GEO/ et /MSB AG-GESAMTSYS/.
- Les exigences relatives à la fonction électrique de l'enroulement moteur sont définies dans /MSB AG-GESAMTSYS/.
- Les exigences relatives à la mise à la terre de l'enroulement moteur résultent de la protection du stator long et sont à relever dans les Principes d'exécution du TSM, Propulsion et approvisionnement en énergie /MSB AG-ANT/.
- Pour des raisons de protection incendie, les câbles de l'enroulement moteur doivent être autextincteurs.

- Des exigences supplémentaires peuvent être définies spécifiquement au projet pour le matériau de l'enroulement moteur dans les tunnels et les stations (espaces fermés - toxicité en cas d'incendie).
- L'exécution de la mise à la terre et des points de raccordement pour l'enroulement du moteur sont à définir spécifiquement au projet, les points de raccordement pour la mise à la terre et l'enroulement du moteur devant être intégrés dans l'équipement de mise à la terre/parafoudre de la voie.
- Il faut garantir par une disposition indéformable de l'enroulement moteur au niveau des joints du support que le mouvement des supports dans le sens x, y et z, résultant de l'exploitation et de l'environnement, n'entraîne pas une violation de l'espace de montage admissible ni une perte de l'aptitude à l'utilisation pendant la durée d'utilisation.
- La détermination de la position des phases de l'enroulement moteur doit comporter la justification de la compatibilité avec le système complet (voir à ce sujet /AG MSB-GESAMTSYS/ chapitre 8.2 figure 5).
- Un exemple d'un enroulement moteur triphasé est indiqué en annexe (**Error! Reference source not found.**).
- Il faut configurer l'interface entre le paquet de tôles statoriques et l'enroulement moteur de telle sorte que ce dernier soit parfaitement maintenu dans sa position sous tous les effets pris en compte selon /MSB AG-FW BEM/.

## Justification

### Paquet de tôles statoriques

Outre les exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie, il faut également tenir particulièrement compte des exigences ci-après spécifiques aux composants/sous-ensembles et imposées au paquet de tôles statoriques :

- (1) Les points essentiels de la justification sont les suivants :
  - Justification de la limite d'endurance en tenant compte des sollicitations dynamiques ;
  - Justification de la conformité des cotes, de la qualité et de la limite d'endurance du revêtement ;
  - Justification des propriétés électriques et électromagnétiques.
- (2) Pour garantir la qualité de chaque paquet de tôles statoriques individuel, il faut établir un justificatif de contrôle qui contient tous les critères de réception à justifier avec indication des tolérances admissibles. Les contrôles de réception doivent faire l'objet d'un compte-rendu.
- (3) Tous les paquets de tôles statoriques sont à identifier explicitement, individuellement et de manière durable afin de garantir le suivi.

### Fixation des paquets de tôles statoriques

Outre les exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie, il faut également tenir particulièrement compte des exigences ci-après spécifiques aux composants/sous-ensembles et imposées à la fixation des paquets de tôles statoriques :

- Il faut également produire des justifications pour les situations de défaillance ou la défaillance des éléments de fixation n'est pas à exclure. Les situations de défaillance dont il faut tenir compte en relation avec le système de détection sont à déterminer ici après la justification de la compatibilité et en accord avec les autorités compétentes chargées de la surveillance.
- Il faut justifier pour les situations de défaillance à prendre en compte que tous les composants et sous-ensembles qui se trouvent dans le flux des forces sont conçus pour la totalité de la durée d'utilisation spécifique au projet.
- Dans le cas d'une signalisation fiable des défauts, une conception d'exploitation fixe des composants/sous-ensembles qui se trouvent dans le flux des forces en présence de la situation de défaillance respective à prendre en compte avec indication du changement de charge admissible (passages de rame) est suffisante. Il faut justifier de la signalisation/détection fiable du défaut dans le cadre de la maintenance de la voie.

### **Enroulement moteur**

Outre les exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie, il faut également tenir particulièrement compte des exigences ci-après spécifiques aux composants/sous-ensembles et imposées à l'enroulement moteur :

- Il faut justifier du respect du comportement thermique spécifié du stator par des mesures en cours d'exploitation.
- Les charges théoriques supposées et l'aptitude à l'utilisation sont à justifier par des mesures à la fois lors du développement sur des prototypes et lors de la mise en service sur le système réalisé.
- Il faut justifier de la capacité de transport du courant de la ligne et du blindage ainsi que de la résistance diélectrique de l'enroulement.
- Il faut justifier la durabilité de la fixation de l'enroulement ainsi que le caractère indéformable de la tête de bobine par des essais techniques.
- Il faut justifier de la résistance matérielle et structurelle de l'enroulement moteur par la sollicitation mécanique au niveau de la jonction des supports.
- Il faut justifier du respect de la résistance aux pointes de tension dues à la foudre selon /MSB AG-UMWELT/ et les éventuelles indications spécifiques au projet.
- La valeur efficace continue admissible du courant ainsi que la valeur maximale admissible du courant sont à justifier par des essais techniques en tenant compte du temps de cycle et du temps d'activation spécifiques au projet.
- Il faut justifier du fonctionnement de la protection du stator long (détection des courts-circuits à la terre).

## **Manipulation, transport et montage**

### **Paquet de tôles statoriques**

- Il faut établir des instructions de manipulation (transport et stockage) et de montage pour le paquet de tôles statoriques. Il faut ici essentiellement tenir compte des points suivants :

- Il faut prévenir les dommages mécaniques par des moyens de transport et d'emballage anti-chocs appropriés.
- Les surfaces d'entreposage temporaire sont à configurer de telle sorte que les paquets de tôles statoriques ou les emballages de transport qui les contiennent puissent être déposés et repris sans être endommagés.
- Les paquets de tôles statoriques doivent être posés en usine sur les superstructures de la voie.
- En cas de pose ultérieure des paquets de tôle statoriques sur le chantier, il faut éventuellement établir des documents d'exécution supplémentaires (instructions de montage et spécifications de réception), prouver la compatibilité avec le système complet par un justificatif et les remettre pour contrôle aux autorités compétentes chargées de la surveillance.

### **Fixation des paquets de tôles statoriques**

- Il faut spécifier le processus de montage ainsi que les paramètres de montage dans des instructions de transport, de stockage et de montage.
- Il faut définir, surveiller et documenter les paramètres de montage tels que les couples/angles de serrage, par exemple.
- Il ne faut pas réutiliser les éléments de liaison qui ont déjà été utilisés une fois (par exemple vis, rondelles, écrous). Dans des cas exceptionnels (par exemple utilisation d'inserts scellés filetés dans le béton, voir **Error! Reference source not found.**), il faut justifier que les éléments de fixation peuvent être réutilisés avant de remplacer ceux-ci ou les paquets de tôles statoriques.

### **Enroulement moteur**

- Les indications détaillées pour le montage, le transport et le stockage temporaire sont à définir spécifiquement au projet et au type de construction sous la forme d'instructions de montage.
- Les espaces libres à l'intérieur de la ligne de délimitation du gabarit cinématique de la rame selon /MSB AG-GESAMTSYS/ (selon accord en fonction du projet, éventuellement aussi au-delà de celui-ci) sont disponibles pour la confection et/ou la pose de l'enroulement depuis la voie.
- Les dispositifs de montage de l'enroulement de stator long doivent satisfaire aux exigences relatives aux rames spéciales.

# Rails de guidage latéraux / Plans de guidage latéraux

## Généralités

*Les rails de guidage latéraux sont des éléments de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique qui sont nécessaires pour absorber les effets mécaniques et électromécaniques des rames et des rames spéciales.*

*Le principe de disposition des rails de guidage latéraux sur les bras en porte-à-faux des superstructures de la voie peut être relevé dans la **Error! Reference source not found.** et dans /MSB AG-FW GEO/.*

## Exigences fonctionnelles

### Rails de guidage latéraux

Les rails de guidage latéraux doivent satisfaire aux exigences fonctionnelles suivantes :

- Guidage du flux magnétique des aimants de guidage et de freinage ;
- Possibilité de production de courants de Foucault en interaction avec les aimants de freinage ;
- Absorption des forces magnétiques générées par les aimants de guidage et de freinage dans la structure des bras en porte-à-faux ;
- Absorption des forces induites par les rames spéciales et transmission de ces forces dans la structure des bras en porte-à-faux ;
- Guidage mécanique en cas de défaillance de la fonction de guidage magnétique des aimants de guidage ;
- Guidage mécanique des aimants de freinage appliqués sur le rail de guidage latéral, absorption et évacuation des forces ;
- Formation d'une surface de référence pour la mesure de l'entrefer entre l'aimant de guidage et le rail de guidage latéral ;
- Formation de la surface de référence pour la surveillance de la voie (par exemple détection des décalages et/ou changements de décalage) ;
- Dérivation des surtensions résultant de l'effet de la foudre sur la rame ;
- Fonction parafoudre pour l'enroulement moteur.

### Fixation des rails de guidage latéraux

- Les éléments de fixation doivent retransmettre de manière fiable les forces des rails de guidage latéraux dans les bras en porte-à-faux des superstructures de la voie.
-

## Exigences relatives à la construction

### Rails de guidage latéraux

- Les rails de guidage latéraux doivent suivre le tracé de la courbe spatiale (inclinaison transversale, sommets/points bas, virages).
- Il existe une possibilité de disposition polygonale des rails de guidage latéraux en justifiant de la compatibilité avec le système complet et en tenant compte du type de construction correspondant du support.
- Il faut garantir la détection des modifications géométriques et/ou des décalages par des dispositifs d'inspection avant que les valeurs limites autorisées de ces déformations soient atteintes.
- Le choix des matériaux pour les rails de guidage latéraux est prédéfini dans /MSB AG-GESAMTSYS/.
- Géométrie :
  - Épaisseur :  $t_{SFS} \geq 30$  mm
  - Hauteur :  $h_{SFS} \geq 300$  mm
  - Longueur : des rails de guidage latéraux ayant la même longueur que le support présentent des avantages liés au système.  
Des longueurs inférieures peuvent être réalisées suivant le projet.
- Il faut fournir une justification de la compatibilité avec le système complet pour les rails de guidage latéraux dont la longueur des segments est inférieure à environ 3,0 m. Il faut arrondir les bords des rails de guidage latéraux au niveau des jointures à l'intérieur d'une travée de support ou de la jointure des supports conformément aux indications dans /MSB AG-FW GEO/.
- Les exigences en matière de planéité et de précision de positionnement des rails de guidage latéraux sont regroupées dans /MSB AG-FW GEO/.
- Il faut munir les rails de guidage latéraux d'un revêtement qui subit le moins de dommages possibles par les sollicitations mécaniques et qui garantit une résistance suffisante aux agressions corrosives de l'environnement (voir DIN EN ISO 12 944 Parties 1 - 8 et TL 918300, Page 87).
- Il faut justifier que le revêtement est approprié en vue de la mesure de l'entrefer de guidage réalisée au niveau de la rame (détecteurs d'entrefer de guidage).
- Il faut respecter les coefficients de friction selon /MSB AG-FW BEM/.
- Les rails de guidage latéraux sont à raccorder au système parafoudre de la rame.

### Fixation des rails de guidage latéraux

- Les éléments de fixation des rails de guidage latéraux doivent être conçus en fonction du type de construction choisi de telle sorte qu'ils résistent avec fiabilité et certitude à toutes les sollicitations de l'environnement et de l'exploitation à prendre en compte pendant la durée d'utilisation exigée (voir /MSB AG-GESAMTSYS/).
- La fixation des rails de guidage latéraux ne doit pas affecter le fonctionnement des capteurs d'entrefer de guidage. Les zones de mesure de l'entrefer de guidage sont représentées dans /MSB AG-FW GEO/. Si des éléments de fixation sont impérativement nécessaires dans ces zones, il faut alors justifier que la construction est appropriée en vue de la mesure de l'entrefer de guidage.

- Il faut optimiser la fixation en vue de l'aptitude à la maintenance (accessibilité pour les inspections et les réparations).

- 

## Justification

### Rails de guidage latéraux

Il faut tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

### Fixation des rails de guidage latéraux

Outre les exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie, il faut également tenir particulièrement compte des exigences selon le **Error! Reference source not found.** (fixation des paquets de tôles statoriques).

## Manipulation, transport et montage

- Les rails de guidage latéraux et leurs éléments de fixation spécifiques au type de construction doivent être manipulés de manière appropriée.
- En tant que composants intégrés dans la structure porteuse des superstructures de la voie ou des bras en porte-à-faux, les rails de guidage latéraux sont généralement fixés en usine aux supports de voie ou aux dalles de voie.
- En cas de pose ultérieure, il faut établir des documents d'exécution (instructions de montage, spécifications de réception), prouver la compatibilité avec le système complet par un justificatif et les remettre pour contrôle aux autorités compétentes chargées de la surveillance.

## Glissières / Plans de glissement

### Généralités

*Les glissières sont des éléments de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique qui sont nécessaires en service normal pour évacuer les forces mécaniques de la rame immobilisée abaissée sur les patins de levage et pour absorber les effets mécaniques des rames spéciales. En fonctionnement perturbé, les forces des patins de levage des rames en mouvement doivent être retransmises dans les superstructures de la voie.*

### Exigences fonctionnelles

La glissière doit satisfaire aux exigences fonctionnelles suivantes :

- La glissière et ses éléments de fixation doivent être réalisés de telle sorte qu'ils résistent avec fiabilité aux sollicitations mécaniques et thermiques spécifiées sous les conditions environnementales spécifiques au projet pendant la durée d'utilisation exigée selon /MSB AG-GESAMTSYS/.

- Formation d'un plan de glissement à tolérance de panne ayant une propriété de surface à définir spécifiquement au projet pour le support/glissement mécanique par les patins de levage de la rame ;
- Absorption des forces résultant des patins de levage dans les directions x, y et z, y compris les contraintes résultant des variations de température, ainsi que transmission de celles-ci dans les superstructures de la voie ;
- Absorption des forces résultant des rames spéciales dans les directions x, y et z et transmission de celles-ci dans les superstructures de la voie.

## Exigences relatives à la construction

### Glissière / Plan de glissement

- La glissière peut être configurée comme suit :
  - comme partie intégrée dans le support ou dans la dalle (par exemple une partie de la tôle de recouvrement) ;
  - fixée par scellement, vissage ou rivetage sur le bras en porte-à-faux ;
  - fixée indirectement au bras en porte-à-faux (par exemple sous la forme d'un composant intégré à un module fonctionnel).

La position du plan de glissement est représentée dans la **Error! Reference source not found.** et dans /MSB AG-FW GEO/.
- Le plan de glissement doit suivre le tracé de la courbe spatiale en tenant compte de l'inclinaison transversale.
- Il existe une possibilité de disposition polygonale des éléments du plan de glissement en justifiant de la compatibilité avec le système complet.
- La glissière doit être réalisée en acier. Il faut produire une justification si d'autres matériaux sont utilisés.
- Il faut ici munir les plans de glissement d'un revêtement qui subit le moins de dommages possibles par les sollicitations mécaniques et qui garantit une résistance élevée contre les agressions corrosives de l'environnement, même sous contrainte mécanique (voir DIN EN ISO 12 944 Parties 1 - 8 et TL 918300, Page 87 pour les plans de glissement métalliques).
- Géométrie :
  - Épaisseur : suivant les exigences statiques
  - Largeur :  $b_{GL} \geq 150 \text{ mm}$
  - Longueur : des éléments de plan de glissement ayant la même longueur que le support présentent des avantages liés au système.
    1. Des longueurs inférieures peuvent être réalisées suivant le projet.
- Il faut fournir une justification approfondie de la compatibilité avec le système complet pour les éléments du plan de glissement dont la longueur des segments est inférieure à environ 3,0 m.
- Les exigences en matière de planéité et de précision de positionnement du plan de glissement sont regroupées dans /MSB AG-FW GEO/.
- Il faut garantir la détection des modifications géométriques et/ou des décalages par des dispositifs d'inspection (selon /MSB AG-GESAMTSYS/) avant que les valeurs limites autorisées de ces déformations soient atteintes.

- Il faut respecter les valeurs maximales indiquées pour les coefficients de friction selon /MSB AG-FW BEM/. Les coefficients de friction minimums à respecter sont à déterminer en fonction du projet.
- Les éléments de plan de glissement métalliques sont à raccorder de manière appropriée au système parafoudre de la rame.

### **Fixation des glissières**

- La fixation est à réaliser en fonction du type de construction choisi.
- Il faut optimiser la fixation en vue de l'aptitude à la maintenance (accessibilité pour les inspections et les réparations).

## **Justification**

### **Glissière / Plan de glissement**

Il faut tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

### **Fixation des glissières**

Outre les exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie, il faut également tenir particulièrement compte des exigences selon le **Error! Reference source not found.** (fixation des paquets de tôles statoriques) lors de la justification de la fixation du plan de glissement.

## **Manipulation, transport et montage**

- Les glissières et leurs éléments de fixation spécifiques au type de construction doivent être manipulés de manière appropriée.
- En tant que composants intégrés dans la structure porteuse des superstructures de la voie ou des bras en porte-à-faux, elles sont généralement fixées en usine aux supports de voie ou aux dalles de voie.
- En cas de pose ultérieure, il faut établir des documents d'exécution séparés (instructions de montage, spécifications de réception), prouver la compatibilité avec le système complet par un justificatif et les remettre pour contrôle aux autorités compétentes chargées de la surveillance.

# Composants de l'approvisionnement externe en énergie de bord

## Généralités

*L'approvisionnement externe en énergie de bord sert à la transmission d'énergie électrique dans la rame dans les zones de la voie où le roulage s'effectue dans la plage de vitesses inférieure (par exemple dans les stations et les zones d'accélération voisines, aux points d'arrêt opérationnels choisis, aux points d'arrêt pour évacuation, aux installations d'arrêt et dans les installations de maintenance).*

*Les sections de la voie dotées d'un approvisionnement externe en énergie de bord sont déterminées spécifiquement au projet.*

*Configurations possibles de l'approvisionnement externe en énergie de bord :*

- Transmission du courant par contact : installation à barre de distribution composée d'une barre-bus (voie) et d'un pantographe (rame) ;
- transmission d'énergie sans contact par induction.
- L'espace d'installation pour les sous-ensembles côté voie de l'approvisionnement externe en énergie de bord est représenté dans la **Error! Reference source not found.** et dans /MSB AG-FW GEO/.

*Les exigences définies dans le présent document pour l'approvisionnement externe en énergie de bord sont à compléter spécifiquement au projet par les exigences des systèmes partiels Voie, Rame et Propulsion, lesquelles sont spécifiques au projet (charges, géométrie, propriétés électriques, détails de la construction).*

## Barres bus

### Exigences fonctionnelles

Les barres-bus et leurs éléments de fixation doivent être réalisés de telle sorte qu'ils résistent avec fiabilité aux sollicitations mécaniques et éventuellement thermiques spécifiées sous les conditions environnementales spécifiques au projet pendant la durée d'utilisation exigée selon /MSB AG-GESAMTSYS/.

Les barres-bus doivent ici satisfaire aux exigences fonctionnelles suivantes :

- Formation d'une surface de contact pour le pantographe de la rame ;
- Absorption des forces de contact résultant des pantographes dans les directions x, y et z et transmission de celles-ci dans l'ouvrage porteur ;
- Transmission d'énergie pour l'approvisionnement ininterrompue de la rame en énergie ;
- Il faut garantir la détection de variations géométriques et/ou de décalages non admissibles.
- 

### Exigences relatives à la construction

- Les barres-bus sur le support de voie doivent se composer de profilés de barre-bus reliés entre eux par le biais d'éléments d'assemblage fixes et extensibles qui sont fixés au support de voie au moyen d'attaches pour barre-bus.

*Remarque : il convient que les éléments d'assemblage soient fournis avec les profilés de barre-bus. Il convient que les attaches pour barre-bus soient fournies avec les supports de voie.*

- La fixation des profilés de barre-bus aux attaches pour barre-bus doit être réalisée par une construction d'assemblage (isolateur).  
*Remarque : il convient que cette construction d'assemblage soit fournie avec les profilés de barre-bus ;*
- Il faut disposer, construire et justifier des attaches de barre-bus pour chaque type de support de voie et d'installation de changement de voie.
- Il faut tenir compte des mouvements de la superstructure de la voie (dans les directions x, y et z) lors du dimensionnement et de la disposition des éléments d'assemblage fixes et extensibles.
- Les barres-bus, les constructions d'assemblage et leurs fixations aux attaches pour barre-bus sont à concevoir sans jeu et durables.
- Les attaches pour barre-bus et leurs fixations aux à la voie sont à concevoir sans jeu et durables.
- Il faut prévoir une isolation suffisante des composants conducteurs électriques.
- La position des points d'injection du système de barre-bus est à accorder avec les points d'injection de l'enroulement moteur après justification de la compatibilité avec le système complet.
- Il faut prévoir des constructions de fixation (par exemple des rails d'ancrage) sur les superstructures et infrastructures de la voie pour la pose des câbles au niveau des points d'injection.
- Il faut exclure toute violation de l'espace libre réservé à la rame par la barre-bus (par exemple suite à une défaillance de la fixation de la barre-bus).
- La défaillance des éléments de fixation individuels ne doit pas entraîner une perte de l'aptitude à l'utilisation ou de la capacité de charge et doit pouvoir être détectée.
- La position et les dimensions de l'espace libre pour les barres-bus et leurs éléments de fixation sont à relever dans la **Error! Reference source not found.** et dans /MSB AG-FW GEO/.

## Justification

Outre les exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie, il faut également tenir particulièrement compte des exigences selon le **Error! Reference source not found.** (fixation des paquets de tôles statoriques).

Il faut notamment tenir compte des exigences suivantes :

- Le dimensionnement s'effectue en utilisant à chaque fois les dispositions spécifiques au projet relatives à l'interface pantographe / barre-bus en se basant sur les effets prioritaires de l'environnement et de l'exploitation spécifiés dans /MSB AG-FW BEM/.
- Il faut prendre en compte la tenue aux vibrations des superstructures de la voie (en fonction du type de construction de la voie, de la rame et de la vitesse de passage) ainsi que la tenue aux vibrations propres des attaches de barre-bus et des sous-ensembles/composants des barres-bus lors du dimensionnement et de la disposition de ceux-ci.
- Les charges théoriques et l'aptitude à l'utilisation sont à justifier par des mesures à la fois lors du développement sur des prototypes et lors de la mise en service sur le système réalisé ;

- Il faut tenir compte des déformations liées à la température des superstructures de la voie (élongations, déformations verticales et latérales).

**Manipulation, transport et montage**

- Les indications détaillées pour le montage, le transport et le stockage temporaire sont à définir spécifiquement au projet et au type de construction sous la forme d'instructions de montage.
- 

**Transmission d'énergie inductive**

*La transmission d'énergie inductive est encore en cours de développement. Les exigences spécifiques à ce sous-ensemble seront rajoutées à la fin du développement.*

## Composants du système de localisation

### Généralités

Les sous-ensembles montés sur la voie fournissent aux sous-ensembles du système de localisation installés dans la rame des informations explicites sur l'emplacement absolu et l'orientation de la voie.

La transmission d'informations de la voie vers la rame peut être réalisée par différents systèmes. Une solution réalisée est la transmission de données par le biais des butées de référence (LRL) sur la voie et des capteurs (lecteurs INKREFA) sur la rame.

Les LRL se composent d'une plaque en matière plastique dont les dimensions sont actuellement d'environ 260 mm x 150 mm x 5 mm (L x H x P).

Elles sont fixées au support par des attaches.

### Exigences fonctionnelles

- Fourniture d'une information de référence codée (point de référence) pour la détermination au niveau de la rame de l'emplacement absolu et de l'orientation de la rame selon /MSB AG-GESAMTSYS/ (par exemple par le biais de butées de référence);
- Il faut tenir compte de la disposition des phases de l'enroulement moteur et des exigences applicables à l'installation technique de commande lors de la détermination de la position exacte des points de référence (voir aussi /MSB AG-GESAMTSYS/).

### Exigences relatives à la construction

- Les exigences relatives à la construction des sous-ensembles de localisation sur la voie découlent de la technique de transmission choisie.  
*Une transmission d'informations sans contact dans la rame (en cas d'utilisation de butées de référence) peut être supposée ici.*
- Les positions des sous-ensembles de localisation sur la voie dans le sens longitudinal de celle-ci sont à prédéfinir spécifiquement au projet.
- Un point de référence doit généralement être repéré de chaque côté de la voie par trois butées de référence (ce qui veut dire que chaque point de référence est marqué par 6 butées de référence).
- La fixation du sous-ensemble à la voie s'effectue par des attaches spéciales, par exemple des portes-butées de référence (portes-LRL), qui sont à réaliser par le fabricant de la superstructure de la voie en fonction du type de construction.
- L'espace libre pour les sous-ensembles de la voie est indiqué dans la **Error! Reference source not found.** et dans /MSB AG-FW GEO/.
- Il faut justifier que toute défaillance des éléments de fixation (attaches) est exclue ou détectable en temps voulu.
- Il faut tenir compte des déformations liées à la température des superstructures de la voie (élongations, déformations verticales et latérales).
- Il faut tenir compte lors de la construction à la fois des excitations dynamiques spécifiques au type de construction des attaches et de leurs fixations ainsi que des vibrations engendrées par le passage de la rame.

## Justification

- Outre les exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie, il faut également tenir particulièrement compte des exigences selon le chapitre **Error! Reference source not found.** (fixation des paquets de tôles statoriques).
- Il faut prendre en compte la tenue aux vibrations des superstructures de la voie ainsi que la tenue aux vibrations propres des sous-ensembles/composants de localisation de la voie et de leur fixation lors du dimensionnement et de la disposition de ceux-ci et de leurs éléments de fixation.

- 

## Manipulation, transport et montage

- Les indications détaillées pour le montage, le transport et le stockage temporaire sont à définir spécifiquement au projet et à l'exécution sous la forme d'instructions de montage.
- Il convient de ne monter les sous-ensembles et composants de localisation sur la voie qu'après avoir terminé le montage des superstructures de la voie.
- Il faut définir spécifiquement au projet si les sous-ensembles et composants de localisation montés sur la voie sont à monter avant ou après la pose de l'enroulement moteur et, le cas échéant, lesquels sont à monter avant et lesquels après.

## Équipement de voie spécifique au type de construction

### Généralités

*Les sous-ensembles/ composants de l'équipement de voie dont la nécessité et la configuration constructive dépendent du type et du mode de construction de la voie et qui ne sont pas spécifiques au train rapide à sustentation magnétique sont désignés ci-après par le terme générique équipement de voie spécifique au type de construction.*

*Les principaux éléments/sous ensembles de l'équipement de voie spécifique au type de construction sont :*

- Appuis de la voie/supports ;
- Dispositifs de mise à la terre et de protection contre la foudre ;
- Recouvrements des écartements entre les supports ;
- Autres ouvrages.
- 

### Appuis de la voie

#### Exigences fonctionnelles

Les forces et moments externes et internes provenant des superstructures de la voie doivent être transmis de manière fiable dans les infrastructures de la voie par le biais des appuis de voie/supports en tenant compte des conditions additionnelles spécifiées (par exemple déformation des infrastructures de la voie).

#### Exigences relatives à la construction

Les principales exigences relatives à la construction des appuis de la voie sont :

- La conception de la construction des appuis de voie est à choisir en fonction de la conception statique de l'ensemble du système superstructures/infrastructures de la voie.
- Il faut choisir des systèmes de support appropriés correspondant au système statique des superstructures de la voie (la **Error! Reference source not found.** représente des exemples d'arrangements supports éprouvés de systèmes à une et deux travées).
- La détermination de la disposition des appuis sur le tracé (succession des appuis fixes / libres des supports successifs et en relation avec le soutien des ouvrages porteurs primaires et des autres superstructures de la voie (par exemple installations de changement de voie)) nécessite une justification de la compatibilité avec le système complet.
- Les appuis de la voie et notamment les ancrages doivent être d'exécution robuste.
- Il faut exclure toute restriction non admissible de la fonction de l'appui de voie concerné par la défaillance des éléments individuels de celui-ci.
- Les appuis de voie doivent pouvoir être identifiés explicitement. Cela doit être possible sans démontage des composants.
- Des éléments de haubanage supplémentaires sont interdits sur les appuis de voie discrets. Pour garantir le positionnement, il faut choisir ici un espacement suffisamment grand des appu-

is de voie dans la direction y (« écartement des appuis ») en tenant compte de tous les paramètres de tracé et effets spécifiques au projet.

- Dans le cas des effets et combinaisons d'effet occasionnels, il est possible de garantir le positionnement requis par le biais de dispositifs de maintien supplémentaires qui ne sont pas sollicités par l'exploitation lors d'un service normale selon /MSB AG-FW BEM/ (c'est à dire qui sont inactifs).
- L'usure des appuis de voie mobiles est à réduire par un choix approprié des matériaux.
- Les défauts, dommages ainsi que l'usure des appuis doivent pouvoir être détectés et diagnostiqués visuellement de l'extérieur sans ouvrir des habillages (par exemple automatisati-on).
- Il faut configurer les appuis de voie de telle sorte qu'en cas d'affaissement de l'ouvrage, les superstructures de la voie puissent être réajustées le plus rapidement possible avec le moins d'effort possible. Les cotes de réajustage sont à déterminer en fonction du projet. Il faut tenir compte des décalages admissibles entre les superstructures de la voie selon /MSB AG-FW GEO/ lors du choix des étapes d'ajustage.

*Des valeurs indicatives de  $\pm 10$  mm (voie de niveau) à  $\pm 20$  mm (voie surélevée avec une hauteur de pilier d'environ 5 m) peuvent être utilisées dans les directions y et x en fonction des types de voie. Une valeur indicative de -20 mm peut être utilisée dans le sens z.*

- En cas de dépassement des valeurs limites admissibles pour les déformations et les décalages, il faut essayer de réaliser une compensation en réajustant les appuis de voie. En cas d'impossibilité, il faut garantir un remplacement aisé des pièces d'usure.
- Si les effets des tremblements de terre ou d'une collision entre des trafics qui se croisent ne sont pas à exclure, il faut alors empêcher un déplacement non admissible des superstructures de la voie par des éléments de blocage appropriés supplémentaires sur les appuis de voie.
- La position des appuis de voie mobiles dans le sens x doit pouvoir être contrôlée (par exemple automatiquement).
- Le bord inférieur de l'appui de voie doit se trouver au-dessus du bord supérieur du terrain. Valeur indicative pour l'écart minimum entre le terrain et le bord inférieur de l'appui : 20 cm
- En cas de raccordement direct des superstructures de la voie aux infrastructures de la voie (par exemple scellement direct des dalles de voie et des infrastructures de voie), il faut garantir la durabilité et la sécurité par une construction robuste et à tolérance de panne.
- Les superstructures de la voie ne doivent pas être soulevées de plus de 5 mm pour la réalisation des réparations sur les appuis. Il faut définir le point d'application des vérins pour le levage des superstructures de la voie et l'identifier sur le support.
- Il faut éviter des mesures secondaires comme, par exemple, le démontage de l'enroulement lors de l'entretien des appuis de voie.
- Sur les voies surélevées, la maintenance (inspection et éventuellement remplacement des pièces d'usure) doit être possible depuis les superstructures de la voie (rame spéciale).

## Justification

Il faut tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

Il faut notamment tenir compte des exigences suivantes :

- Lors du dimensionnement des superstructures et infrastructures de la voie, il faut indiquer les coefficients de friction supposés des appuis de voie mobiles en précisant leurs dépendances et leurs valeurs limites.
- Il faut justifier des coefficients de friction supposés pour les appuis de voie. Il faut tenir compte de la vitesse de déplacement des appuis de voie lors de l'estimation théorique de l'usure de ceux-ci (justificatif d'aptitude à l'utilisation).
-

**Manipulation, transport et montage**

- Il est recommandé de monter entièrement les appuis de voie des supports de voie posés de manière discrète sur les superstructures de voie et de sceller l'ancrage des appuis dans les creux de l'infrastructure de voie à prévoir à cet effet dans le cadre du positionnement précis des superstructures de la voie.
- Il faut protéger les appuis contre les dommages lors du transport des superstructures de la voie.
- Il faut établir des instructions de montage pour la fixation des appuis de voie aux superstructures et infrastructures de la voie.

# Mise à la terre / protection contre la foudre

## Généralités

*Il faut prévoir des installations de mise à la terre et d'équilibrage des potentiels efficaces afin de garantir un fonctionnement fiable et non perturbé.*

*La dérivation des surtensions résultant de l'effet de la foudre sur la rame est prise en charge par les niveaux fonctionnels de la voie.*

*En plus des prescriptions générales relatives à la conception des installations de mise à la terre et de protection contre la foudre de DIN VDE 0100, DIN 18014, DIN VDE 0101 et DIN VDE 0185, il faut tenir compte des exigences suivantes.*

## Exigences fonctionnelles

- (1) Pour la protection des personnes et contre les effets des charges électrostatiques, ainsi que dans un souci de compatibilité électromagnétique (CEM), les effets électriques provenant :
  - des coups de foudre,
  - des différences de potentiel et
  - des courants de fuite à la terre et de défaut liés au système de tous les composants et sous-ensembles de la voiedoivent être évacués dans la terre par le biais d'une installation de mise à la terre et de protection contre la foudre des superstructures et infrastructures de la voie. Il faut inclure ici tous les composants et sous-ensembles conducteurs d'électricité de la voie.
- (2) Toutes les liaisons électriques sont à réaliser de telle sorte qu'elles résistent en toute fiabilité aux contraintes spécifiées sous les conditions environnementales spécifiques au projet pendant toute leur durée d'utilisation.
- (3) Pour l'interface voie/rame, il faut réaliser la voie de telle sorte que les niveaux fonctionnels de la voie garantissent :
  - la mise à la terre de la rame abaissée
  - la dérivation des surtensions résultant de l'effet de la foudre sur la rame.

•

## Exigences relatives à la construction

- Les rails de guidage latéraux fixés aux superstructures de la voie et les glissières métalliques éventuellement présentes sont à inclure dans le système de protection contre la foudre en tant que dispositifs de captage de la foudre.
- Les équipements de la voie pour lesquels les normes en vigueur imposent des raccords de mise à la terre et de protection contre la foudre doivent être intégrés dans le système parafoudre des superstructures de la voie.

Le câble de mise à la terre de l'enroulement moteur doit être intégré dans le système de protection contre la foudre et de mise à la terre au début et à la fin du support ainsi que des deux côtés du support de voie. Pour les supports de voie de type III, il convient de ne pas dépasser les écarts de 30 m entre deux points de raccordement dans le sens longitudinal de la voie.

*Remarque : il faut déjà tenir compte des points de raccordement correspondants sur le sys-*

*tème de mise à la terre / de protection spécifiques au projet contre la foudre lors de la construction des supports.*

- Le système de mise à la terre / parafoudre des superstructures de la voie est à relier avec celui des infrastructures de la voie. Pour ce faire, il faut sortir les fils de mise à la terre des superstructures et infrastructures de la voie à chaque point d'appui vers les points de raccordement extérieurs de manière à pouvoir établir une liaison électriquement conductrice. Pour les supports de voie de type III, il faut prévoir ceci au niveau de chaque premier et dernier disque d'appui.
- Pour les opérations de contrôle et de mesure ainsi que pour les dispositifs externes intégrés dans le système de mise à la terre et qui doivent être inclus dans ce dernier, il faut prévoir dans la zone inférieure des piliers des points de raccordement au système de mise à la terre / de protection contre la foudre. La position exacte et le nombre de ces points de raccordement sont à définir spécifiquement au projet.
- Les aciers d'armature ayant pour fonction l'évacuation des courants de la foudre sont à identifier dans les plans d'armature.
- Les aciers d'armature ayant pour fonction l'évacuation des courants de la foudre doivent être reliés électriquement et durablement entre eux conformément aux règles reconnues de la technique.
- Il faut tenir compte des espaces libres définis dans /MSB AG-GESAMTSYS/ et /MSB AG-FW GEO/.
- Les points de raccordement et/ou de liaison qui se trouvent à l'extérieur doivent pouvoir être inspectés visuellement sans démonter les habillages (par exemple à l'aide d'un traitement d'image automatique).
- Toutes les liaisons électriques sont à réaliser de telle sorte qu'elles résistent en toute fiabilité aux contraintes spécifiées sous les conditions environnementales spécifiques au projet pendant toute leur durée d'utilisation.
- Il faut garantir une protection mécanique suffisante des câbles de liaison électrique extérieurs lors du dimensionnement.

## Justification

Il faut tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

Il faut notamment tenir compte des exigences suivantes :

- La conception du système de mise à la terre et de protection contre la foudre est à réaliser et à documenter de manière professionnelle conformément à l'état de la technique (dimensionnement et exécution / construction).
- Il faut faire vérifier par les autorités compétentes chargées de la surveillance ou éventuellement par leurs experts si les mesures prévues sont appropriées.
- Il faut apporter une justification de la compatibilité avec le système complet pour la planification de l'exécution.
- Après avoir terminé la voie, il faut effectuer une mesure échantillonnée de la résistance de terre des infrastructures de la voie (terre de fondation) et de la résistance de passage entre les

superstructures et les infrastructures de la voie en accord avec les autorités chargées de la surveillance et consigner les résultats dans un compte-rendu.

### **Manipulation, transport et montage**

- Les liaisons électriques entre les superstructures de voie et entre les infrastructures de la voie sont à réaliser sur site.
- Il faut tenir compte de l'accessibilité des points de raccordement lors de la conception de la construction.
- Il est recommandé d'utiliser des câbles de raccordement confectionnés à l'avance.

## Recouvrements des écartements entre les supports

### Généralités

*Il faut fermer les interstices transversaux entre les supports de voie successifs selon le chapitre 7.3 9, car ceux-ci peuvent donner lieu à des charges aérodynamiques non admissibles pour la rame (variations de pression dans la zone sous le nez).*

*Les exigences techniques relatives au recouvrement des écartements nécessaire à cet effet sont spécifiées ci-après.*

### Exigences fonctionnelles

- Il faut réduire / empêcher les fluctuations de pression entre le dessus de la voie et le plancher de la rame lors du passage de cette dernière au-dessus des interstices entre supports.

- 

### Exigences relatives à la construction

Les exigences relatives à la construction des recouvrements des écartements entre supports sont :

- Choix approprié du matériau et des liaisons ;
- Choix approprié de la protection anticorrosion ;
- Prise en compte des mouvements de la voie (température et déformations des infrastructures) ;
- Construction robuste et à tolérance des pannes de tous les composants et sous-ensembles ;
- Effort d'entretien le plus faible possible ;
- Optimisation de la contrôlabilité ;
- Réduction au minimum des effets négatifs possibles sur l'aérodynamisme et le bruit ;
- Prise en compte des oscillations de la voie ;
- Prise en compte des contre-réactions mécaniques et fonctionnelles possibles sur la voie ;
- Les espaces de montage possibles sont à définir en fonction du type de construction ;
- Exclusion des violations de l'espace libre conséquentes de la défaillance des composants ;
- Réduction au minimum des accumulations d'eau pluviales ;
- Prise en compte des effets aérodynamiques résultant du passage de la rame (pression/aspiration) ;
- Le dessus des superstructures de la voie doit être plan.

### Justification

Il faut tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

## Manipulation, transport et montage

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Voie Partie I – Exigences de niveau supérieur

Doc. n° : 57284 Version finale Date de publication 15.02.2007

Page 60

**En cas d'exigences particulières imposées au montage et à la manipulation, celles-ci sont à définir dans le cadre d'une directive de montage et de réception. Autres ouvrages**

## Généralités

*La désignation « autres ouvrages » regroupe tous les sous-ensembles/composants supplémentaires qui sont fixés aux superstructures et/ou infrastructures de la voie et qui n'ont pas encore été traités dans les chapitres précédents concernant l'équipement de la voie.*

*Exemples de ces autres ouvrages :*

- Dispositifs de maintenance (par exemple échelles et balustrades de protection) ;
- Ouvrages rapportés temporaires pour les essais de sous-ensembles/composants neufs ;
- Dispositifs destinés à l'évacuation des voyageurs.
- 

## Exigences fonctionnelles

- Les autres ouvrages doivent être réalisés de telle sorte qu'ils résistent avec fiabilité à toutes les sollicitations sous les conditions d'exploitation et d'environnement spécifiques au projet pendant la durée d'utilisation requise.
- Les autres ouvrages doivent être réalisés de telle sorte qu'ils n'aient aucune contre-réaction non autorisée sur l'exploitation.
- Les exigences fonctionnelles spécifiques imposées aux sous-ensembles et aux composants des autres ouvrages sont à définir au cas par cas.
- 

## Conception de la construction

La construction des autres ouvrages est à concevoir en fonction des besoins spécifiques et en tenant compte des aspects généraux suivants :

- Choix approprié du matériau et des liaisons ;
- Choix approprié de la protection anticorrosion ;
- Construction robuste et à tolérance des pannes ;
- Effort d'entretien le plus faible possible ;
- Réduction au minimum des effets négatifs possibles sur l'aérodynamisme et le bruit ;
- Prise en compte des vibrations de la voie résultant des effets des charges dynamiques provenant de l'exploitation et de l'environnement ;
- Prise en compte des contre-réactions mécaniques et fonctionnelles possibles sur la voie ;
- Prise en compte des déformations plastiques et élastiques possibles de la voie ;

- Prise en compte des contre-réactions fonctionnelles possibles sur l'ensemble du système (par exemple système radioélectrique) ;
- Les espaces de montage possibles, la forme géométrique et les tolérances admissibles dans la zone de la voie sont à définir spécifiquement au projet ;
- Les violations de l'espace libre résultant de la défaillance de composants sont à exclure par la construction.

## Justification

Il faut généralement tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

Il faut notamment tenir compte des exigences suivantes :

- Il faut apporter une justification de la compatibilité avec le système complet pour toutes les constructions.
- Suivant la nature et la construction des autres ouvrages, il faut éventuellement tenir compte d'autres exigences pour la justification.
- Les charges supposées et l'aptitude à l'utilisation sont à justifier par des mesures à la fois lors du développement sur des prototypes et lors de la mise en service sur le système réalisé.

- 

## Manipulation, transport et montage

- Les autres ouvrages sont à manipuler et à monter de manière professionnelle.
- En cas d'exigences particulières imposées au montage et à la manipulation, celles-ci sont à définir dans le cadre d'une directive de montage et de réception.

## Installations de changement de voie

### Généralités

Les modes de construction / types des installations de changement de voie sont regroupés dans la **Error!**  
Reference source not found..

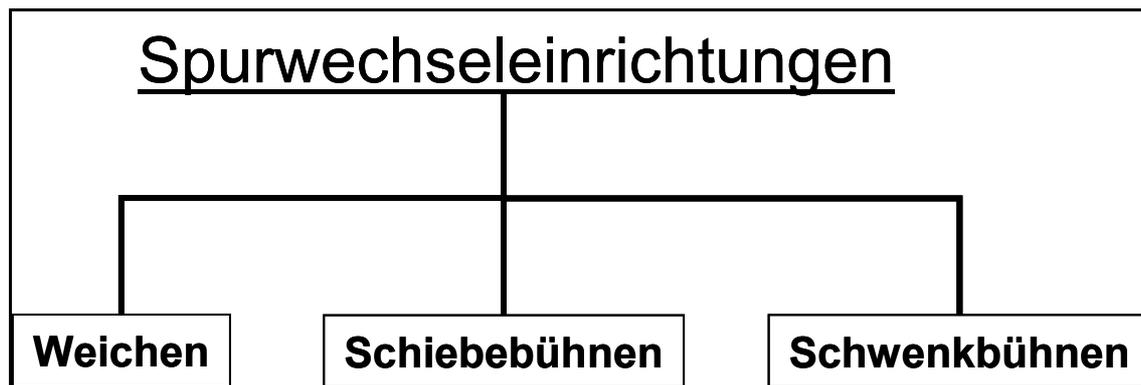


Figure 110 : Modes de construction/types des installations de changement de voie

#### Dispositifs de changement de voie

##### Aiguillages

Plates-formes roulantes

Plates-formes pivotantes

L'utilisation de chacun des types d'installation de changement de voie dépend des exigences opérationnelles.

Celles-ci peuvent être divisées en

- Installations de changement de voie qui ne nécessitent pas d'interruption du roulage (aiguillages et liaisons de jonction sous la forme de combinaisons d'aiguillages) et
- Installations de changement de voie qui nécessitent une interruption du roulage (plates-formes roulantes, plates-formes pivotantes).

Les aiguillages en position de changement de direction peuvent être franchis à des vitesses différentes suivant la forme géométrique (ligne de courbure) (classification habituelle : aiguillages à circulation lente et aiguillages à circulation rapide, voir /MSB AG-FW TRAS/). Une combinaison d'aiguillages permet de réaliser des liaisons de jonction qui permettent de passer d'une voie sur une voie parallèle (voir /MSB AG-FW TRAS/). Les installations de changement de voie se composent généralement des sous-ensembles principaux suivants :

- Superstructure de voie (par exemple support courbe avec support transversal de roulage et sommier) ;

- *Éléments de réglage (généralement mécanismes d'entraînement électromécaniques) ;*
- *Dispositifs de verrouillage ;*
- *Pontage des joints de dilatation ;*
- *Dispositifs de détection et de commande ;*
- *Approvisionnement en énergie ;*
- *Coffret de commutation ;*
- *Équipement de la voie.*

## Exigences fonctionnelles

Il faut tenir compte des exigences fonctionnelles suivantes du point de vue de la sécurité opérationnelle (intégration dans l'installation technique de commande) et de la disponibilité :

- Les installations de changement de voie doivent permettre un changement de voie sûr et fiable des rames et des rames spéciales.
- L'information « Installation de changement de voie pouvant être franchie en toute sécurité » est requise par la BLT pour le contrôle.

Pour ce faire, l'installation de changement de voie doit délivrer les signaux requis pour la BLT.

- La position finale sécurisée de l'installation de changement de voie doit être maintenue indépendamment des pannes affectant la détection, la surveillance ou l'approvisionnement en énergie.
- La construction des installations de changement de voie doit garantir qu'une sortie de la position finale sécurisée est impossible sans validation par la BLT.
- Une panne affectant un sous-ensemble électrique, électronique ou électromagnétique isolé dans les installations de positionnement et de verrouillage, la commande, le contrôle ou l'approvisionnement en énergie, doit rester sans effet sur la signalisation correcte de l'état (position finale sécurisée) et de la position de l'installation de changement de voie (par exemple position en ligne droite) à la BLT.
- La signalisation correcte de l'état (position finale sécurisée) et de la position de l'installation de changement de voie (par exemple position en ligne droite) à la BLT doit avoir lieu même en cas de défaillance d'un sous-ensemble mécanique individuel.
- Il faut intégrer un dispositif de diagnostic en ligne.
- Il faut prévoir un dispositif de positionnement sur site des installations de changement de voie (mode positionnement local).
- 

## Exigences relatives à la construction

- Le remplacement de la construction doit être pris en compte dès la planification si la durée d'utilisation de l'installation de changement de voie ne coïncide pas avec la durée d'utilisation de la voie.
- Le temps nécessaire pour le remplacement des sous-ensembles/composants de l'installation de changement de voie doit correspondre aux dispositions opérationnelles additionnelles. Celles-ci sont à fixer en fonction du projet.

- Il faut tenir compte des temps de positionnement spécifiques au projet lors du dimensionnement des éléments d'entraînement des installations de changement de voie.
- Il faut exclure par la commande et la surveillance qu'une erreur de comportement d'un mécanisme de positionnement individuel puisse affecter la capacité de charge et l'aptitude à l'utilisation des installations de changement de voie ou de leurs composants et sous-ensembles (par exemple par une surveillance de la synchronicité). Il faut relever les effets du comportement erroné dans la justification des installations de changement de voie.
- Les dispositifs de positionnement et de verrouillage des installations de changement de voie sont à réaliser avec des sous-ensembles robustes, si possible à faible entretien et à tolérance des pannes.
- Il faut garantir une alimentation électrique ininterrompue pour la sécurité des installations de changement de voie.
- Tous les sous-ensembles/composants doivent être configurés/intégrés de manière à ce que l'effort de maintenance soit le plus faible possible.
- Il faut réaliser la redondance fonctionnelle des mécanismes d'entraînement en vue d'obtenir un haut niveau de disponibilité des installations de changement de voie.
- Les infrastructures de voie des installations de changement de voie au niveau du sol se composent de la fondation avec des éléments d'accueil et de verrouillage des traverses de la voie.
- Les infrastructures de voie des installations de changement de voie surélevées se composent de la fondation, de piliers et de dalles de tête de pilier avec des éléments d'accueil et de verrouillage des traverses de la voie.
- Le système statique des installations de changement de voie est à définir en fonction des exigences statiques et techniques du système (par exemple ligne de courbure). La détermination du système statique nécessite une justification de la compatibilité avec le système complet.
- Les exigences relatives au tracé au niveau des installations de changement de voie sont définies dans /MSB AG-FW TRAS/.
- Les exigences géométriques des niveaux de fonction sont définies dans /MSB AG-FW GEO/.
- Les supports destinés à évacuer les forces d'appui sont à équiper de sécurités de maintien/de levage et de verrouillages qui maintiennent l'installation de changement de voie avec fiabilité dans la position requise en tenant compte de tous les effets de l'exploitation et de l'environnement.
- Il faut utiliser des éléments de voie courts comme éléments intermédiaires entre les superstructures de voie mobiles des installations de changement de voie et les infrastructures de la voie rattachée ou l'extrémité mobile d'une installation de changement de voie connexe (sommiers ;  $L \geq 1,032$  m). Il faut intégrer dans ces sommiers les sous-ensembles de verrouillage et éventuellement de pontage des écarts.
- Il faut utiliser des produits les plus robustes possible pour les sous-ensembles et les composants des installations de changement de voie.
- Pour garantir un fonctionnement sans défaut en hiver, il faut éventuellement chauffer les dispositifs de positionnement sensibles à la neige et à la glace et les protéger contre les accumulations et le tassement de la neige.
- Les eaux pluviales doivent généralement être évacuées de manière à exclure tout givrage entre les pièces mobiles.

- La structure de la commande de l'installation de changement de voie et la structure des interfaces destinées à sécuriser les installations de changement de voie sont à définir spécifiquement au projet en accord avec l'installation technique de commande. Il faut prévoir des espaces de montage appropriés.
- La commande et la surveillance des dispositifs de positionnement et de verrouillage (pour atteindre la position prédéfinie par le BLT) s'effectuent généralement sur demande par la BLT. Il faut prévoir un dispositif de positionnement manuel des installations de changement de voie.
- Il faut prévoir des bâtiments (si possible normalisés - éventuellement des aménagements dans les bâtiments existants) pour les dispositifs de commande, de sécurisation et d'alimentation électrique à proximité immédiate des installations de changement de voie.  
*Ces bâtiments font partie de la périphérie de la voie.*
- Il faut prévoir des dispositifs d'accueil appropriés pour le retour des câbles de l'enroulement du stator long entre l'extrémité mobile et l'extrémité fixe d'un aiguillage.
- Il est recommandé de prévoir une possibilité d'éclairage pour les installations de changement de voie. Le montage d'une surface de travail (par exemple une grille) sous les supports de passage peut s'avérer judicieux dans le cas des installations de changement de voie surélevées. Celle-ci sert à accélérer les opérations d'entretien pendant les pauses de l'exploitation.
- Il faut justifier de la compatibilité entre l'écart transversale produit à l'extrémité de l'aiguillage (vers la voie rattachée) avec les exigences relatives au système complet.
-

## Justification

Il faut généralement tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

Il faut notamment tenir compte des exigences suivantes :

- La justification lors de l'essai et de la mise en service des installations de changement de voie doit accorder une attention particulière à l'intégration de celles-ci dans la BLT.
- Il faut justifier du respect des temps de positionnement exigés de chaque installation de changement de voie posée.
- Il faut définir spécifiquement au projet la fréquence de positionnement sur laquelle doit se baser le dimensionnement.
- Les indications relatives à la fiabilité requise des sous-ensembles/composants (par exemple indices MTBF) sont à définir spécifiquement au projet.
- La puissance électrique nécessaire au fonctionnement des installations de changement de voie est à déterminer spécifiquement au projet pour le dimensionnement de l'approvisionnement en énergie.
- Il faut apporter pour les installations de changement de voie la justification de la position correcte des équipements de voie spécifiques au train rapide à sustentation magnétique pour chaque état opérationnel possible à prendre en compte (par exemple positions de changement de direction et de ligne droite pour les aiguillages).
- 

## Manipulation, transport et montage

- Il faut à chaque fois établir des instructions pour le transport approprié et le montage sans défaut des installations de changement de voie.

## Ouvrages spéciaux

# Tunnel

## Généralités

*Les exigences relatives aux tunnels sont à relever dans /MSB AG-GESAMTSYS/.*

# Structures porteuses primaires

## Généralités

*Le terme « structure porteuse primaire » regroupe tous les ouvrages qui font office de construction intermédiaire et reçoivent les superstructures de la voie à la place de l'infrastructure de voie habituelle en évacuant leurs charges dans le sol de fondation par le biais de leur propre fondation. Les structures porteuses primaires sont généralement utilisées pour couvrir des portées importantes (par exemple viaducs).*

## Exigences fonctionnelles

- Les exigences fonctionnelles applicables aux structures porteuses primaires correspondent à celles imposées aux infrastructures de la voie (voir chapitre **Error! Reference source not found.**).
- De plus, il peut s'avérer nécessaire de prendre en compte des exigences spécifiques au lieu et/ou au projet pour accueillir certains sous-ensembles de la périphérie de la ligne.

## Exigences relatives à la construction

- L'accueil nécessaire des éléments/sous-ensembles du reste de l'équipement de voie ou de la périphérie est à définir spécifiquement au projet en justifiant de la compatibilité avec le système complet.
- La nécessité de prévoir des passerelles latérales pour l'évacuation des personnes et d'autres dispositifs de sauvetage est à définir individuellement en fonction du concept de sécurité et d'exploitation spécifique au projet.
- L'appui fixe des structures porteuses primaires à deux travées ou plus doit être disposé dans la zone centrale de la structure porteuse primaire.
- En présence de portées importantes, les interstices apparaissant au niveau de la transition vers la voie rattachée sont à limiter par des mesures à définir spécifiquement au projet de telle sorte que les valeurs limites indiquées dans /MSB AG-FW BEM/ et /MSB AG-FW GEO/ ne soient pas dépassées. Il faut ici essentiellement tenir compte des décalages et/ou déformations liés à la température de la voie sur la structure porteuse primaire dans la direction x et y ainsi que des différents tassements dans la direction z par rapport à la voie rattachée.
- Il faut respecter les exigences spécifiques au projet pour le service hivernal (par exemple chute de neige lors du déblaiement des intersections).

## Justification

Il faut généralement tenir compte des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

Il faut notamment tenir compte des exigences suivantes :

- Il faut justifier du comportement dynamique de la structure porteuse primaire.
- Il faut justifier des tassements, interstices d'allongement et changements d'inclinaison au niveau de la transition vers la voie rattachée.
- Il faut justifier des sollicitations et de l'aptitude à l'utilisation par des mesures lors de la mise en service sur le système réalisé, mesures dont l'étendue est à convenir avec les autorités chargées de la surveillance.
- Il faut justifier par des mesures les écarts théoriques supposés provoqués par les variations de température de l'ouvrage dans la géométrie des plans fonctionnels (entre la structure porteuse primaire et la voie rattaché).

### **Manipulation, transport et montage**

- Il faut établir des instructions spécifiques au projet pour le transport approprié et le montage sans défaut des composants et sous-ensembles individuels sur la structure porteuse primaire.

## Périphérie de la ligne

# Généralités

*La périphérie de la ligne comprend*

- les petites installations requises pour des raisons techniques, qui doivent être implantées à proximité du tracé (par exemple mâts radioélectriques, postes de commande), et
- les autres installations nécessaires qui sont positionnées à côté de la voie (par exemple mur d'isolation phonique, protection visuelle, protection contre les écarts, etc.).

*Font notamment partie de la périphérie de la ligne :*

- Coffrets électriques de la propulsion ;
- Coffrets électriques des installations de changement de voie ;
- Mâts radioélectriques ;
- Chemins de câbles ;
- Clôtures ;
- Ouvrages anticollision ;
- Ouvrages anti-bruit ;
- Ouvrages de protection visuelle ;
- Murs porteurs, auges.

•

## Exigences fonctionnelles

Les exigences fonctionnelles imposées aux installations de la périphérie de la ligne résultent de leurs tâches et de ce fait varient individuellement.

Les installations doivent cependant toutes être réalisées de sorte qu'elles

- résistent à toutes les sollicitations sous les conditions d'exploitation et d'environnement spécifiques au projet (comme, par exemple, les sollicitations résultant des effets aérodynamiques, des secousses, prise en compte de l'oscillation propre) de manière fiable pendant la durée d'utilisation exigée et
- n'aient aucune contre-réaction non tolérée sur l'exploitation.

•

## Exigences relatives à la construction

- Les exigences relatives à la construction des sous-ensembles/composants de la périphérie de la ligne sont à définir spécifiquement au projet.
- Il faut apporter une justification de la compatibilité avec le système complet pour les composants de la périphérie de la ligne.
- Cela concerne notamment aussi la disposition des composants et des sous-ensembles dans la planification.

-

## Justification

- (1) Les justifications pour les installations en périphérie de la ligne sont à réaliser conformément à l'état de la technique en tenant compte des effets possibles spécifiques au train rapide à sustentation magnétique.
- (2) Il faut généralement tenir compte ici des exigences de niveau supérieur mentionnées dans le chapitre **Error! Reference source not found.** à propos de la justification de la voie.

- 

## Manipulation, transport et montage

- (1) Si elles ne sont pas encore définies dans le plan d'exécution, il faut établir pour chaque installation de la périphérie de la voie des instructions de manipulation, de transport et de montage. Celles-ci peuvent être ignorées en présence de composants/sous-ensembles subordonnés éprouvés.

-

## Management de la qualité et assurance qualité

### Généralités

*Une assurance qualité complète dans toutes les phases, depuis la planification jusqu'à la fabrication et l'utilisation de la voie est nécessaire pour pouvoir garantir le respect des exigences imposées à la voie.*

*Ces phases sont les suivantes :*

- Développement ;*
- Planification (planification du projet / de l'exécution de la ligne et des installations) ;*
- Justification (dimensionnement et qualification) ;*
- Production (fabrication, équipement, transport et montage) ;*
- Mise en service et essai de fonctionnement ;*
- Entretien (inspection, maintenance, réparation) ;*

*Les mesures destinées à garantir la qualité requise de la voie sont à définir dans un système prioritaire de management de la qualité (QS) qui s'inspire des normes DIN ISO 9000 et suivantes. Ce système doit prendre en compte tous les aspects de l'assurance qualité et il est à convenir entre le fournisseur et les autorités compétentes chargées de la surveillance directement après le début du projet (par exemple sous la forme de spécifications de contrôle, d'instructions de contrôle ou d'instructions de travail).*

Par le biais du management de la qualité, le fournisseur/fabricant doit s'assurer que

- (1) le respect des exigences techniques et de sécurité est garanti, justifié et documenté pendant tout le développement et la fabrication. L'objectif de l'assurance qualité est de garantir et de documenter le respect des exigences minimales par contrôle des justifications requises. C'est la condition indispensable à une intégration correcte du système partiel voie dans l'ensemble du système.
- (2) la documentation relative à la qualité est disponible pour la partie qu'il livre.
- (3) les risques pour la qualité, qui dépendent du projet, sont analysés et que des mesures individuelles appropriées sont définies.  
*Il convient que l'analyse ait lieu avant le début du projet et en collaboration entre les systèmes partiels (voie, rame, propulsion/approvisionnement en énergie et BLT), les autorités compétentes chargées de la surveillance et les maîtres d'oeuvre. Il faut ici une nouvelle fois comparer toutes les interfaces du système partie voie avec les autres systèmes partiels.*
- (4) une évaluation et éventuellement une adaptation des mesures fixées soit effectuée à intervalles donnés (par exemple à la fin de chacune des phases du projet) ou en présence de faits inattendus.
- (5) les résultats de l'assurance qualité soient documentés sous une forme appropriée (rapports de contrôle, journal des résultats, etc.), puissent être suivis, archivés et délivrés sous une forme appropriée lors de leur utilisation ultérieure.
- (6) l'utilisation de la voie puisse se dérouler conformément aux exigences spécifiques au projet.

*En détail, il est recommandé à cet effet que*

- (1) toutes les exigences nécessaires soient spécifiées.*
- (2) les règles et modèles de conception nécessaires soient établies et adaptées aux techniques et technologies du projet.*
- (3) soient définies et utilisés des méthodes, procédés et outils pour justifier que toutes les exigences ont été vérifiées (par exemple par analyse, contrôle, test, revue de conception, audit).*
- (4) il existe pour chaque sous-ensemble/composant une exigence de qualité donnée qui permet de justifier que l'élément a été conçu et réalisé de telle sorte que toutes les exigences spécifiques au projet en matière d'environnement et d'exploitation soient satisfaites en toute fiabilité.*
- (5) la conception soit réalisable et reproductible et que le produit qui en résulte soit vérifiable et utilisable dans les limites d'utilisation prédéfinies.*
- (6) des mesures de surveillance raisonnables soient adoptées pour l'approvisionnement des composants, matériaux, éléments logiciels et matériels et prestations.*
- (7) il peut être prouvé que la fabrication, l'intégration, les tests et l'entretien soient réalisés de telle sorte que le produit fini correspond à la configuration valide.*
- (8) un système de surveillance des non-conformités soit mis en place et maintenu afin de pouvoir réaliser un suivi systématique de celles-ci et empêcher leur récurrence.*
- (9) des enregistrements de la qualité soient effectués et analysés pour identifier les tendances en temps voulu pour des mesures de prévention / de correction et en rendre compte.*
- (10) tous les moyens de contrôle et outils nécessaires pour le contrôle, la mesure et le test des sous-ensembles/composants sont présents et sont régulièrement calibrés pour garantir leur précision.*
- (11) des procédés et des instructions sont adoptés pour l'identification, la distinction, la manipulation, l'emballage, la conservation, le stockage et le transport de tous les sous-ensembles/composants.*

## **Justification de la compatibilité de la voie avec le système complet**

La justification de la compatibilité des composants et sous-ensembles de la voie avec le système complet est à planifier et à réaliser spécifiquement au projet.

La responsabilité en revient au fournisseur de la voie ou du composant/sous-ensemble correspondant.

*La justification sert à la fois à garantir l'aptitude à l'utilisation (disponibilité, aptitude à la maintenance, fonctionnalité) du composant/sous-ensemble correspondant lors de son utilisation au sein du système complet et à garantir le fonctionnement du système complet lors de l'utilisation du composant/sous-ensemble correspondant.*

La justification de la compatibilité avec le système complet inclut le contrôle du respect des exigences techniques minimales imposées au système

- (1) par les documents de développement et de construction.
  - (2) relatives au tracé (contrôle dynamique du roulage, contrôle géométrique du tracé, contrôle de la distribution des appuis et de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique qui y est lié).
  - (3) relatives aux documents de planification et d'exécution spécifiques au projet, y compris la disposition prévue de l'équipement de voie et de la périphérie de ligne.
  - (4) relatives aux processus de fabrication et de montage.
  - (5) relatives aux sous-ensembles et composants réalisés de la voie.
  - (6) relatives aux mesures à définir spécifiquement au projet (par exemple bruit, confort de roulage, aérodynamique, secousses, interaction voie/rame).
- - Il faut au moins apporter les justifications suivantes pour le contrôle du respect des exigences techniques minimales imposées aux sous-ensembles et composants réalisés de la voie :
  - (7) Justification de l'assurance qualité en usine (par exemple contrôle géométrique des supports de voie) ;
  - (8) Justification de la réalisation d'un contrôle intermédiaire de la voie après le positionnement précis comme condition préalable à une validation de la circulation de rames spéciales guidées par le voie (et ensuite de l'installation sur le chantier de l'équipement de la voie) ;
  - Le contrôle intermédiaire de la voie doit au moins comprendre les points suivants :
    - constatation de résultats positifs des contrôles de la qualité des matériaux de construction ou des éléments de construction dans le cadre de l'exécution de la construction ;
    - un contrôle visuel des composants même difficilement accessibles, essentiellement de la fixation des composants et sous-ensembles porteurs et de transmission des charges (par exemple appuis, bras en porte-à-faux) ;
    - la documentation du contrôle et de tous les écarts constatés par rapport à l'état voulu.
  - (9) Justification de la réalisation d'un contrôle technique final de la voie après avoir terminé l'installation de l'équipement de la voie comme condition préalable à une validation de la circulation des rames ;
  - Le contrôle technique final de la voie doit au moins comprendre les points suivants :
    - la constatation et la documentation de l'élimination de tous les défauts et dommages ainsi que des écarts par rapport aux documents de planification ;
    - le relevé tridimensionnel géodésique de la courbe spatiale du tracé avec les écarts par rapport à « l'état voulu » (ci celui-ci n'a pas déjà été effectué à la fin du montage) ;
    - le relevé tridimensionnel géodésique de la position de la fondation et du plan d'appui des supports/dalles (ci celui-ci n'a pas déjà été effectué à la fin du montage) ;
    - la justification du respect des exigences techniques minimales imposées au système (selon /MSB AG-FW ÜBG/ et /MSB AG-FW GEO/);
    - la documentation du contrôle et de tous les écarts constatés par rapport à l'état voulu ;

- la documentation des résultats d'un contrôle éventuellement répété après la correction des écarts.

- 

*Le contrôle technique final sert entre autres également à constater « l'état zéro » (état de la voie avant la mise en service), lequel sert de base pour l'évaluation des effets de toutes les modifications survenant ultérieurement.*

*Après avoir terminé ce contrôle et après la mise en service des rames, il faut rapidement effectuer les essais de roulage du système de mesure automatisé et affecter à celui-ci les données de mesure géodésiques.*

- Les mesures exigées dans ce chapitre sont nécessaires du point de vue technique. Elles forment une partie de l'ensemble du contrôle de réception.
- Les inspections et des contrôles réalisés au cours de la fabrication des composants peuvent être considérés comme faisant partie de la réception technique s'il peut être supposé qu'aucune modification importante n'est intervenue entre temps.

## Documentation

# Généralités

La documentation de la voie comprend :

- (1) les documents techniques des composants et sous-ensembles de la voie ;
- (2) la documentation des conditions additionnelles spécifiques au projet ;
- (3) les documents techniques pour la réalisation de la construction (y compris la documentation de l'assurance qualité) ;
- (4) les documents pour l'entretien de la voie.

•

## Justification des sous-ensembles / composants

- (1) Les justificatifs de stabilité statique (justificatif de capacité de charge, justificatif de fatigue des matériaux), la justification de l'aptitude à l'utilisation et les dessins correspondants sont à établir en tenant compte des règles généralement reconnues de la technique. Les justificatifs de sécurité statique assistés par ordinateur sont soumis à la « Directive pour l'établissement et le contrôle des justificatifs de sécurité statique assistés par ordinateur » /RI-EDV-AP-2001/.

•

## Exigences spécifiques au projet

Les conditions additionnelles spécifiques au projet (exigences et indications) applicables à la voie sont à définir dans une spécification de projet de voie.

Cette spécification doit au moins contenir les éléments suivants :

- (1) complément spécifique au projet des principes d'exécution de la voie ;
- (2) répertoire spécifique au projet de l'équipement technique de la voie ;
- (3) concept / programme d'entretien avec interface vers le concept / programme d'entretien de niveau supérieur du système complet ;
- (4) définitions à propos de l'équipement de la voie (position et codage des butées de référence, position et disposition des paquets de tôles statoriques, position et disposition de l'enroulement moteur, définition des zones avec approvisionnement externe en énergie de bord) ;
- (5) définition des points d'arrêt ;
- (6) établissement un profil de vitesse maximale et limite à partir des dimensions de la voie ;
- (7) analyse des effets de l'environnement (par exemple de la neige et de la glace sur la hauteur de gradient minimale et/ou traversées des infrastructures).

•

## Documents techniques pour l'exécution de la construction

Outre les documents de construction et les justifications des sous-ensembles/composants de la voie et des ouvrages voisins (dessin du composant avec cotes correspondantes, justification de l'aptitude à l'utilisation, justification de la durabilité, etc.), les documents techniques relatifs à l'exécution de la construction doivent notamment comprendre :

- (1) Des documents à propos des installations de la périphérie de la ligne et des ouvrages accompagnant la ligne (concernant le respect des exigences techniques du système) ;
- (2) Des documents à propos des transitions entre les ouvrages spéciaux / constructions spéciales et la voie normale (concernant le respect des exigences techniques du système) ;
- (3) Des documents à propos des interfaces de la voie avec les stations et les points d'arrêt (pour garantir le respect des exigences techniques du système) ;
- (4) Des documents relatifs à l'exécution de l'ensemble du système de protection contre la foudre et de mise à la terre, y compris tous les câbles et raccords à l'intérieur des superstructures et infrastructures de la voie ;
- (5) Les programmes d'assurance qualité du fabricant de la voie pour la réalisation d'une voie (procédures destinées à garantir que les exigences techniques en matière de système et de sécurité sont respectées) ;
- (6) Les résultats de l'assurance qualité en usine (par exemple contrôle géométrique des supports de voie à l'usine de fabrication) ;
- (7) Les résultats du positionnement précis ;
- (8) Le tracé (projection horizontale, gradient, inclinaison transversale) ;
- (9) Les programmes d'entretien pour les composants et sous-ensembles individuels de la voie ;
- (10) Les documents relatifs aux ouvrages rapportés sur la voie dans le répertoire des équipements de voie spécifiques au projet.

## Répertoire de l'équipement technique de la voie

Il faut établir un répertoire de l'équipement technique de la voie dans le cadre du plan d'exécution.

Ce document doit contenir au moins les informations suivantes dans le kilométrage croissant de chaque voie :

- Données de tracé (courbe spatiale, rayons, radiales, inclinaison transversale, hauteur de gradient au-dessus du terrain, etc.) ;
- Infrastructure (avec numérotation des composants, référence de positionnement par rapport à la courbe spatiale et indications à propos des ouvrages spéciaux, installations et changement de voie et systèmes masse-ressort) ;
- Supports (avec numérotation des composants, référence de positionnement par rapport à la courbe spatiale, indication de la longueur exacte du support et disposition des appuis) ;

- Disposition des paquets de tôles statoriques (pour chaque support, avec indication de l'écart nominal au niveau de la transition entre supports, désignation des paquets de tôles statoriques utilisés et éventuellement la disposition des modules en complément) ;
- Position de l'enroulement moteur par rapport à la phase (en référence au rainurage des paquets de tôles statoriques) et définition des entrées et sorties de câbles (en référence aux infrastructures) ;
- Sous-ensembles côté voie du système de localisation avec référence par rapport à la position de l'enroulement moteur (par exemple disposition et codage des butées de référence) ;
- Zones d'arrêt ;
- Zones munies d'un approvisionnement externe en énergie de bord (avec définition des arrivées de câble sur les infrastructures).

Il convient que le répertoire de l'équipement technique de la voie doit soit complété spécifiquement au projet par des indications supplémentaires à propos de la périphérie de la voie (par exemple antennes radioélectriques, chemins de câbles, ouvrages de protection, etc.).

## Documents pour la maintenance

voir /MSB AG-FW IH/

## Annexe I-A Dimensions maximales pour les superstructures de la voie

Les figures suivantes indiquent les dimensions maximales pour les superstructures de voie pour les types de voie standard I, II et III. Il faut tenir compte de ces dimensions en plus des exigences relatives aux espaces libres selon la **Error! Reference source not found.** lors du développement de nouvelles superstructures de voie.

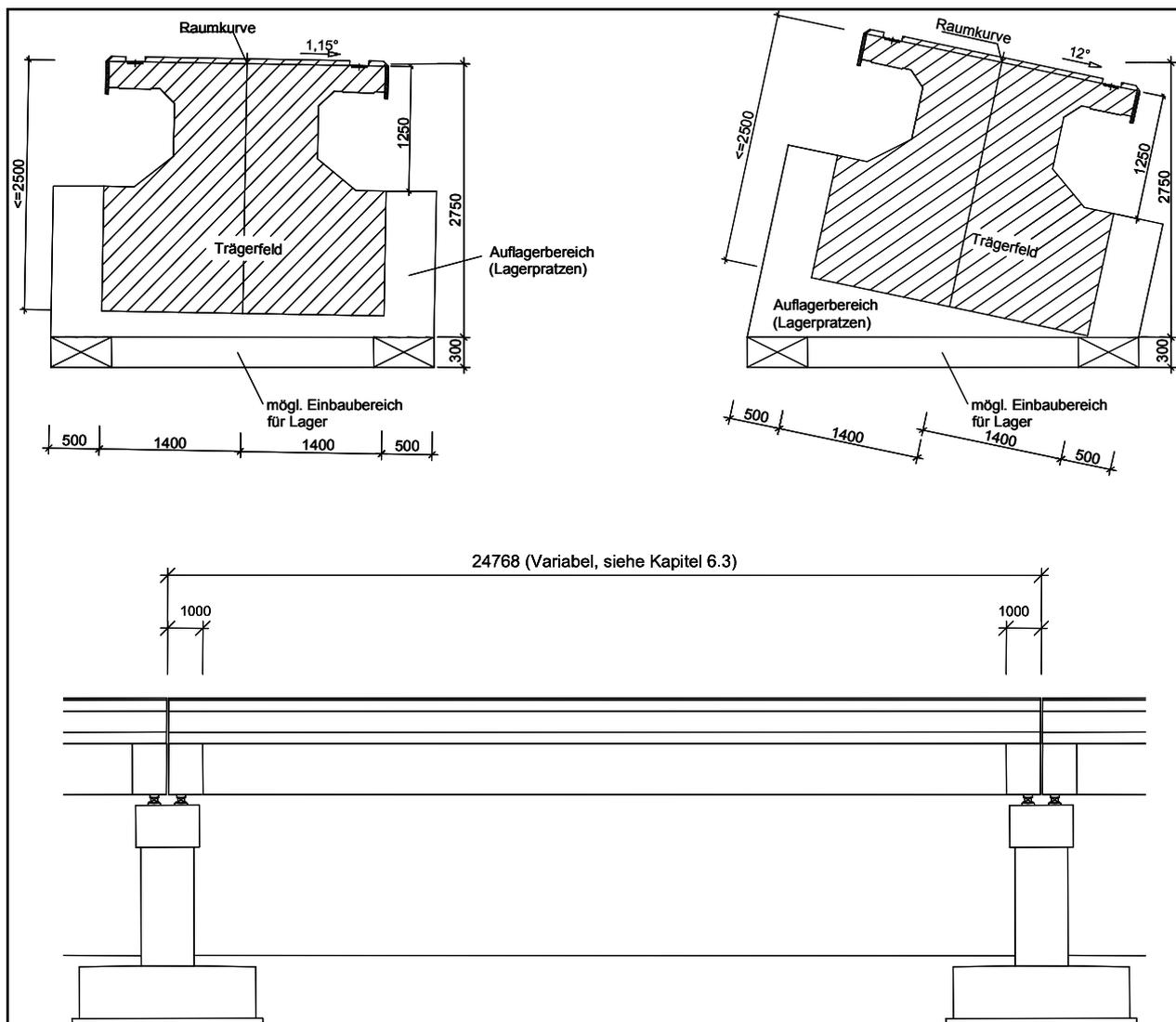


Figure 111 : Dimensions maximales de la section transversale pour voie standard de type I (exemple)

*Courbe spatiale*  
*Travée*  
*Zone d'appui (griffes d'appui)*  
*Zone de montage possible pour le support*

*Courbe spatiale*  
*Travée*  
*Zone d'appui (griffes d'appui)*  
*Zone de montage possible pour le support*

24768 (variable, voir chapitre 6.3)

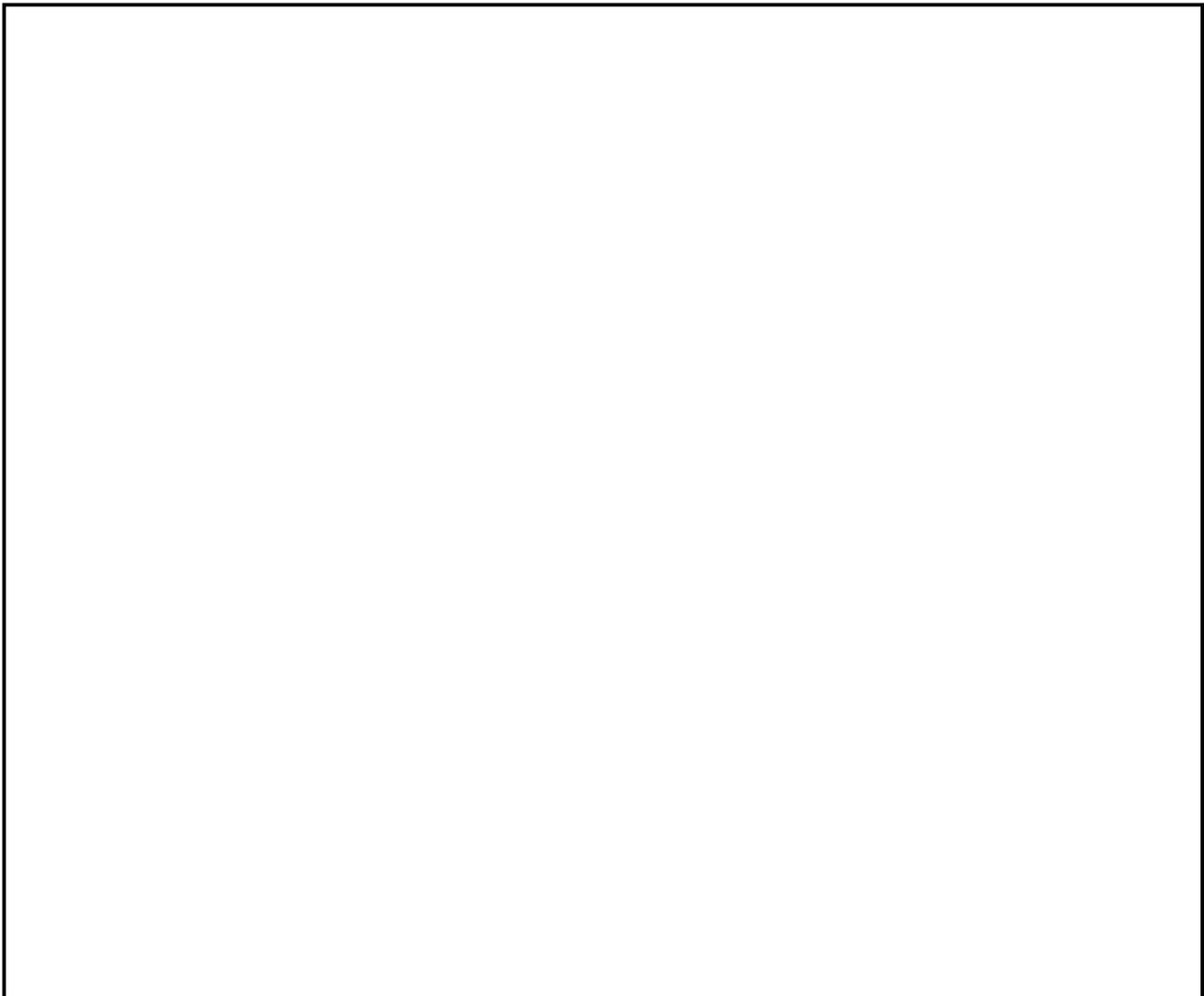


Figure 112 : Dimensions maximales de la section transversale pour voie standard de type II (exemple)

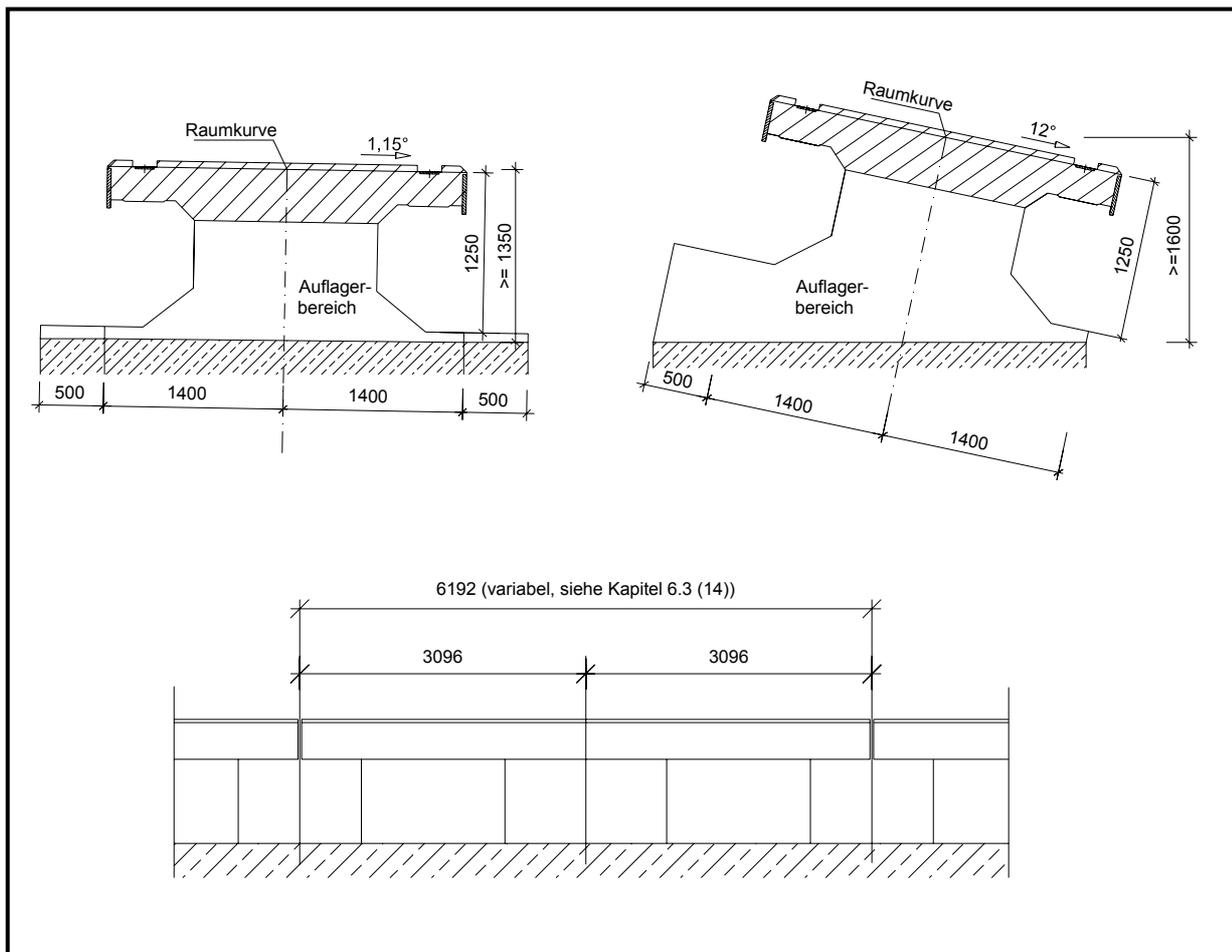


Figure 113 : Dimensions maximales de la section transversale pour voie standard de type III (exemple)

Courbe spatiale  
Zone d'appui

Courbe spatiale  
Zone d'appui

6192 (variable, voir chapitre 6.3 (14))

## Annexe I-B Disposition de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique (informative)

La **Error! Reference source not found.** représente un exemple de disposition de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique sur la traverse.

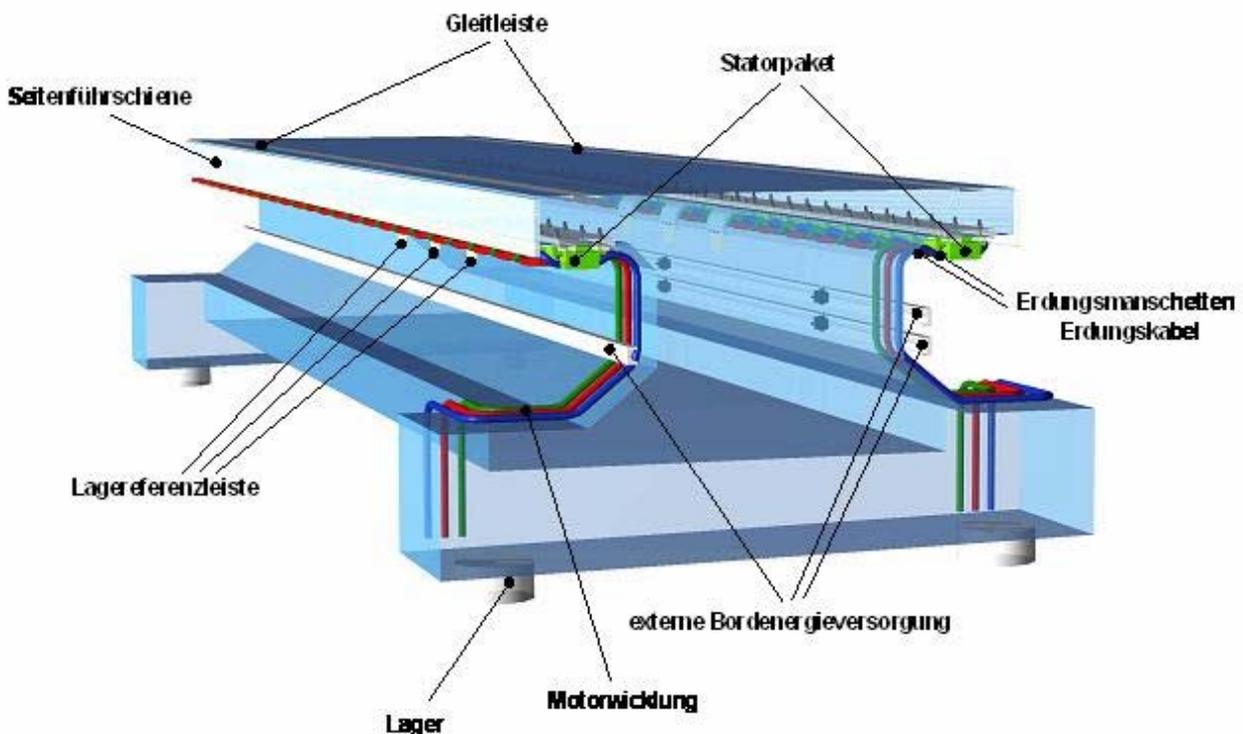


Figure 114 : Disposition de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique

<i>Rail de guidage latéral</i>	<i>Glissière</i>	<i>Paquet de tôles statoriques</i>
<i>Butée de référence</i>		<i>Manchons de mise à la terre</i>
<i>Enroulement moteur</i>		<i>Câble de mise à la terre</i>
<i>Support</i>	<i>Approvisionnement externe en énergie de bord</i>	

## Annexe I-C Paquet de tôles statoriques et enroulement moteur (informative)

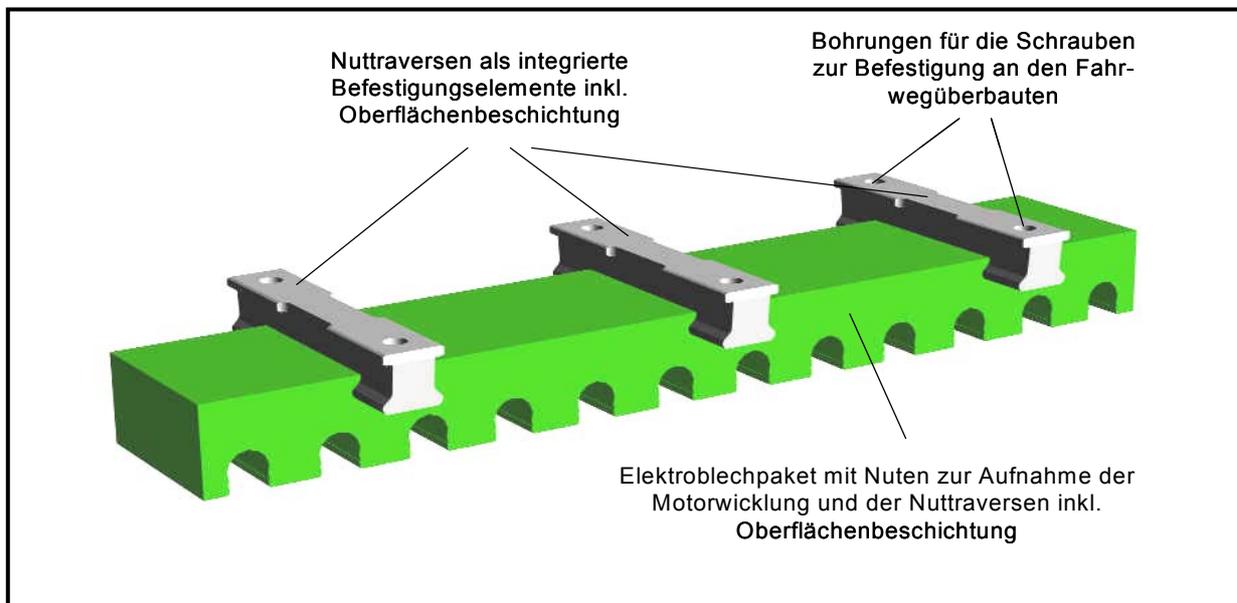


Figure 115 : Exemple de réalisation d'un paquet de tôles statoriques

*Traverses à encoches faisant office d'éléments de fixation intégrés, revêtement de surface compris*

*Orifices pour les vis de fixation aux superstructures de la voie*

*Paquet de tôles électriques avec rainures pour recevoir l'enroulement moteur et les traverses à encoches, revêtement de surface compris*

**Position basse**   **Position centrale**   **Position haute**

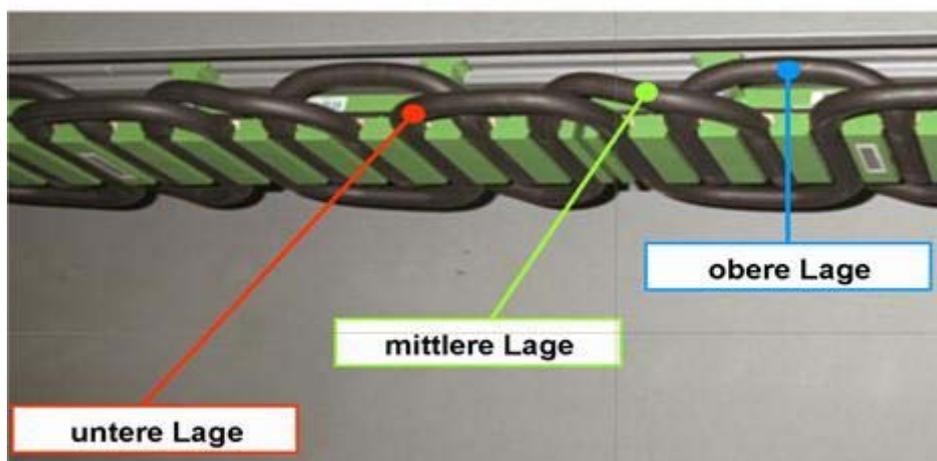


Figure 116 : Exemple d'un enroulement moteur triphasé

## Annexe I-D Différentes fixations redondantes des paquets de tôles statoriques (exemples)

Les figures ci-après représentent des exemples de réalisation de différentes fixations redondantes des paquets de tôles statoriques. Les solutions illustrées (**Error! Reference source not found.** et **Error! Reference source not found.**) ont été employés avec les prototypes de l'Installation d'essai du Transrapid dans l'Emsland (TVE) ou sur la ligne opérationnelle de Shanghai.

Avec ces solutions, la fixation primaire se compose d'un assemblage vissé précontraint (fixation primaire). La redondance se compose des encoches du côté du bras en porte-à-faux et des bras en porte-à-faux des traverses à encoches au niveau des paquets de tôles statoriques. En cas de défaillance des assemblages vissés, le paquet de tôles statoriques vient s'appuyer sur les encoches des bras en porte-à-faux. Le jeu entre les bras en porte-à-faux des traverses à encoches et la surface des fixations côté support est suffisamment important pour permettre une détection automatique conformément aux « Principes d'exécution de la voie Partie III » /MSB AG-FW GEO/ et aux « Principes d'exécution de la voie Partie VI » /MSB AG-FW IH/.

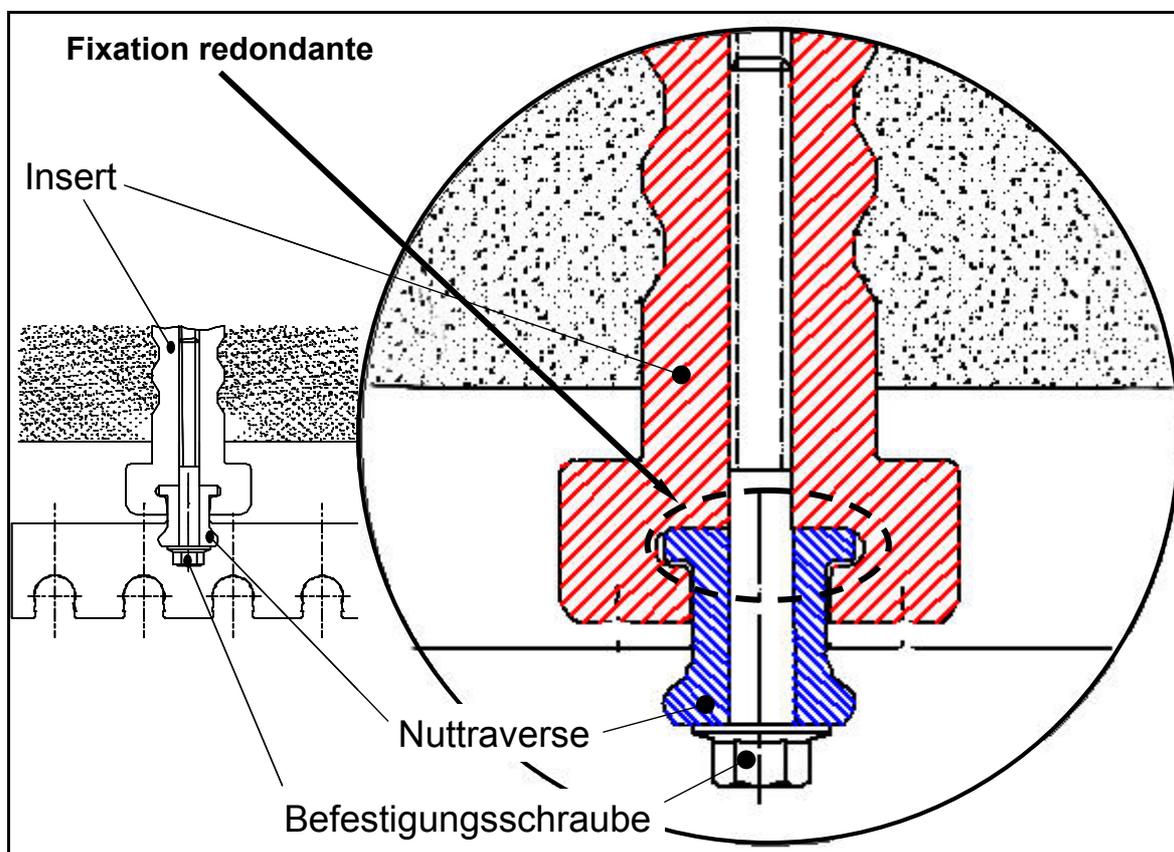


Figure 117 : Exemple de différentes fixations redondantes d'un paquet de tôles statoriques sur un bras en porte-à-faux en béton

Traverse à encoches  
Vis de fixation

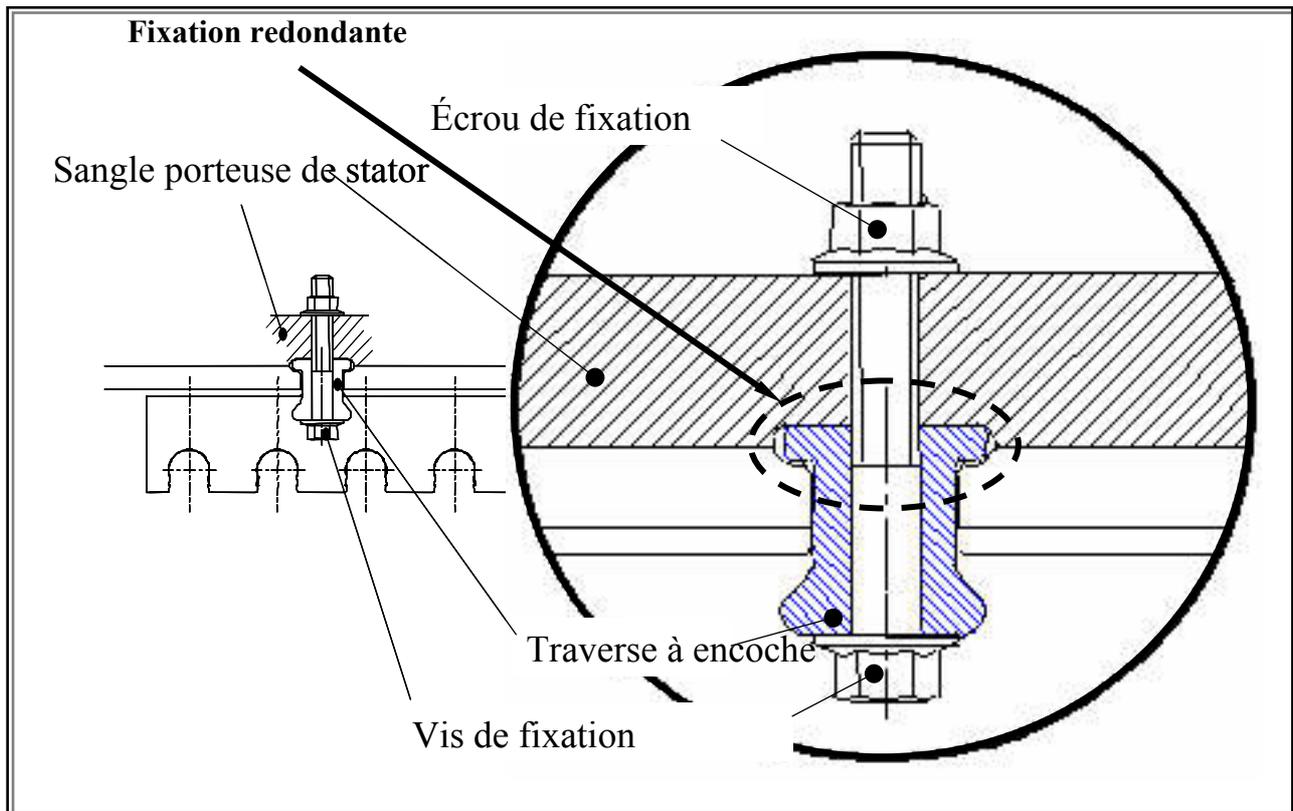


Figure 118 : Exemple de différentes fixations redondantes d'un paquet de tôles statoriques sur un bras en porte-à-faux en acier

## Annexe I-E Systèmes de support des superstructures de voie

La **Error! Reference source not found.** représente des exemples de systèmes de support possibles des supports à une et deux travées.

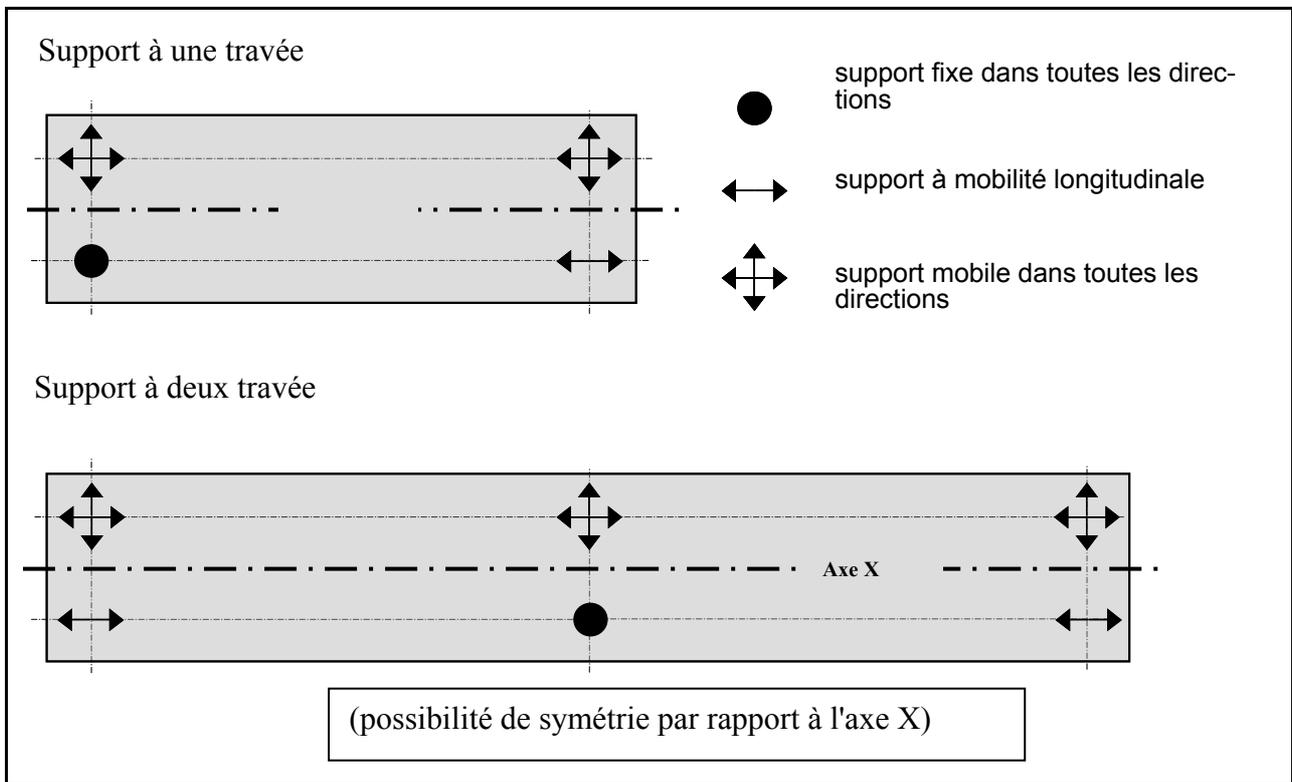


Figure 119 : Exemple de disposition des supports pour les systèmes de support à une et deux travées

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Voie**

### **Partie II**

### **Dimensionnement**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Voie à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007, version finale, commission spéciale Voie.

**Table des matières**

<b>Destinataires</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Aperçu des modifications</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>19</b>
Objet du document et champ d'application .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Principes d'exécution.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abréviations et définitions.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Lois, décrets, normes et directives .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Références .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Situations de dimensionnement</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Situations de dimensionnement liées à la rame .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Situations de dimensionnement fréquentes .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Situations de dimensionnement peu fréquentes et exceptionnelles .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Situations de dimensionnement liées à la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Situations de dimensionnement liées aux phénomènes environnementaux naturels .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>defined.</b>	
Situations de dimensionnement liées à l'environnement .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Vitesses et accélérations</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Valeurs limites des vitesses de déplacement.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Valeurs limites des accélérations .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Effets sur la voie</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Répartition des effets.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets permanents.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets variables .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets exceptionnels.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Combinaisons d'effets .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interfaces de transmission des forces rame – voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Désignation et numérotation des éléments magnétiques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface Aimant de levage – Stator long .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Fonctions .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Géométrie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Interface Aimant de guidage – Rail de guidage latéral.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Fonctions .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Géométrie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface Aimant de freinage – Rail de guidage latéral .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Fonctions .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Géométrie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface Patin de levage – Glissière.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Fonctions .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Géométrie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Autres interfaces.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Augmentation dynamique des contraintes .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Facteurs d'influence sur l'augmentation dynamique .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Facteurs d'influence de la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Facteurs d'influence de la rame.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Principaux mécanismes d'excitation.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mécanisme d'excitation I .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mécanisme d'excitation II .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mécanisme d'excitation III .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mécanisme d'excitation IV .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mécanisme d'excitation V .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mécanisme d'excitation VI .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Propriétés d'atténuation.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Calcul des contraintes dynamiques.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Augmentations dynamiques résultant de la régulation magnétique.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Variation dans le temps des forces magnétiques.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Excitation des formes particulières par la régulation magnétique.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Augmentations dynamiques résultant des conditions de roulage.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Calcul mathématique des contraintes dynamiques.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Calcul des contraintes dynamiques à l'aide des coefficients d'oscillation.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation calculés selon une méthode mathématique.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation certifiés par des essais techniques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Limitation des augmentations dynamiques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

<b>Valeurs caractéristiques des effets</b> .....	Error! Bookmark not defined.
Effets permanents.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Charges propres (G1).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Précontraintes / contraintes prévues (G2).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Fluage et retrait du béton (G3) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Forces de pression de l'eau permanentes (G4) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mouvements probables du terrain de fondation (G5).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Superstructures de la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Infrastructures de la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poussée de terre (G6) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets variables .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets variables générés par la rame.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Système de coordonnées des effets .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poids de la rame (poids propre et charge d'exploitation) (Q1, Q2).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Centre de gravité de la rame .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Position du centre de gravité de la rame dans le sens x (Q3).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Position du centre de gravité de la rame dans le sens y (Q4).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Position du centre de gravité de la rame dans le sens z.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets variables fréquents (Q1...Q10) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets résultant du freinage et de l'accélération (Q1/Q2) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets dans le sens y.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Précontrainte de l'aimant de guidage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Accélération latérale libre (Q1, Q2) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Efforts latéraux générés par la dynamique de guidage (Q5).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Réactions pour les petits rayons horizontaux $R_H$ (Q6).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Forces des aimants de guidage résultant d'une propulsion unilatérale .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets dans le sens z (Q1 .. Q3) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Accélération dans le sens z.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Freinage et accélération .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Situations opérationnelles particulières .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abaissement régulé de la rame avec $v = 0$ km/h (Q1, Q2) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rame abaissée (Q1, Q2).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rame soulevée et sustentation stationnaire (Q1, Q2) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets aérodynamiques générés par la rame (Q7, Q8) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Croisement de deux trains (Q7a) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Passage en tunnel (Q7b).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets sur les bâtiments proches du tracé / tunnels (Q7c).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poussée verticale (Q8a).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effet direct de pression / succion sur la voie (Q8b).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets du vent sur la rame (Q9) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effet résultant du vent latéral sur la rame (Q9a) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poussée verticale aérodynamique en raison du vent (Q9b) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Vent en cas d'influences aérodynamiques défavorables .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effet de température dû à la propulsion (Q10).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets variables non fréquents (Q11a..Q11k).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Dépassement de la charge d'exploitation (Q11a) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Panne d'un circuit de régulation des aimants de levage (Q11b).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Panne du circuit de régulation des aimants de levage voisins (Q11c).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Panne d'un circuit de régulation des aimants de guidage (Q11d).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Panne du circuit de régulation des aimants de guidage voisins (Q11e) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Utilisation des « freins de sécurité » de la rame (Q11f) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralité .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Cas particulier.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Différences de vitesse (Q11g).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Défauts de fonctionnement de la propulsion (Q11h).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Panne unilatérale de la propulsion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Autres défauts de fonctionnement de la propulsion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abaissement unilatéral de la rame (Q11i) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Situation de dimensionnement 1 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Situation de dimensionnement 2 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Démarrage / Contact des aimants (Q11j).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Aimants de levage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Aimants de guidage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Soulèvement des patins de levage soudés par le gel (Q11k).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poids de la rame plus élevé - neige sur la rame (Q11l).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets causés par la maintenance (Q30) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Température provenant de l'environnement (Q50) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Fluctuations de température dans les superstructures de voie (Q50a) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Variation linéaire de température (Q50b) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Superstructures de la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Infrastructures de la voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Réchauffement inégal des éléments de construction dû à l'environnement (Q50c).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Vent sur la structure porteuse (Q51) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Vent sur la structure porteuse avec du trafic .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Vent sur la structure porteuse sans trafic .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Charges de neige et de glace (Q52) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Forces de pression de l'eau variables (Q53).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Charges de chantier dues au vent (Q54) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Travaux de maintenance (Q55).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chantiers (Q56) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets au niveau des installations de changement de voie (Q57) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformation élastique des aiguillages courbes (Q57a).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets générés par la propulsion (Q57b).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Résistance au déplacement des paliers (Q58) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Défaillance d'éléments de la structure porteuse (Q59) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poussée de terre résultant d'effets variables (Q60) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets exceptionnels.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets exceptionnels provoqués par les rames.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets résultant de violations de l'espace libre (A1).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Vent de sécurité sur la rame (A2).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets exceptionnels causés par la maintenance (A3) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Vent de sécurité sur la structure porteuse (A4).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mouvements possibles du terrain de fondation (A5) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Collisions .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Collision avec des rames guidées sur voie (A6) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Collision avec des véhicules routiers (A7).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poussée de glace, pression thermique de la glace, collision avec des navires (A8).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Séismes (A9) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Schémas de charge de la rame</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Schémas de charge globaux .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Forces d'inertie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Vent sur la rame .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Schémas de charge locaux .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface Aimant de levage – Stator long (paquet de tôles statoriques) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets provenant des situations de dimensionnement fréquentes (Q1...Q10)...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets provenant des situations de dimensionnement non fréquentes.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Panne d'un circuit de régulation magnétique Levage (Q11b) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Double panne de circuits de régulation magnétique Levage (Q11c) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Autres situations de dimensionnement non fréquentes (Q11a, Q11d à Q11i)...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Dynamique locale d'un élément de construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface Aimant de guidage – Rail de guidage latéral.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets provenant des situations de dimensionnement fréquentes (Q1...Q10)...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets provenant des situations de dimensionnement non fréquentes.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Panne d'un circuit de régulation magnétique Guidage (Q11d) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Double panne de circuits de régulation magnétique Guidage (Q11e) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Dynamique locale d'un élément de construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface Aimant de freinage – Rail de guidage latéral .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Situation de dimensionnement non fréquente (Q11f).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Dynamique locale d'un élément de construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface Patin de levage – Glissière.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets provenant des situations de dimensionnement fréquentes (Q1...Q10)...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets provenant des situations de dimensionnement non fréquentes.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Double panne de circuits de régulation magnétique Levage (Q11c) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Utilisation des « freins de sécurité » de la rame (Q11f) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abaissement unilatéral de la rame (Q11i) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Dynamique locale d'un élément de construction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Autres interfaces.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Certificats</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Certificat concernant les états limites de la capacité de charge .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Facteurs partiels de sécurité des effets.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Facteur de combinaison .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Certificat concernant les états limites d'utilisabilité.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Déformations globales des infrastructures de voie à pose discrète .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations dans le sens z .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets générés par la rame .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutre à travée simple N = 1 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutres à deux travées avec la même largeur d'appui N = 2.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutres à deux travées avec des largeurs d'appui différentes.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutre à travées multiples N > 2 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Variation de température .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutre à travée simple N = 1 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutres à deux travées avec la même largeur d'appui N = 2.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutres à deux travées avec des largeurs d'appui différentes.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutre à travées multiples N > 2 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations spécifiques au matériau de construction.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations dans le sens y .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets générés par la rame .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutre à travée simple N = 1 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutres à deux travées avec la même largeur d'appui N = 2.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutres à deux travées avec des largeurs d'appui différentes N = 2.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutre à travées multiples N > 2 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Variation de température .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutre à travée simple N = 1 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutres à deux travées avec la même largeur d'appui N = 2.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutres à deux travées avec des largeurs d'appui différentes N = 2.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Poutre à travées multiples N > 2 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations spécifiques au matériau de construction.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Vent.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations dans le sens x .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Trafic.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Température .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Fluage et retrait.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Vent.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations suite à une torsion autour de l'axe des x .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations locales autorisées des supports de voie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Déformations autorisées des dalles de voie.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations dynamiques en cas d'excitation des fréquences propres .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Décalages autorisés des plans fonctionnels .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets variables à appliquer .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Décalages autorisés au niveau du plan du stator et du plan de glissement .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Décalages autorisés au niveau du plan des rails de guidage latéraux .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Certificat relatif aux interstices au niveau des joints du support dans le sens x .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Effets variables à appliquer .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interstice normal .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Variations élastiques des interstices provoquées par le trafic.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Valeurs limites pour les interstices dans le sens x .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Certificat relatif à l'absence de contraintes.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Autres interstices .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations élastiques et plastiques des infrastructures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations des infrastructures dans le sens x .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations des infrastructures dans le sens y .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations plastiques des infrastructures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations élastiques des infrastructures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations des infrastructures dans le sens z .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations plastiques des infrastructures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations élastiques des infrastructures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations des semelles continues.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations des structures porteuses primaires.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Déformations en cas de collision avec la voie.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Fatigue du matériau.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Conditions générales spécifiques au train rapide à sustentation magnétique ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface Stator long – Aimant de levage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Interface Rail de guidage latéral – Aimant de guidage.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Annexe</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Annexe II-A : Affectation des effets aux interfaces.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Annexe II-B : Coefficients d'oscillation calculés selon une méthode mathématique.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>defined.</b>	
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Champ d'application .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Exemples d'utilisation .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

---

Exemple de schéma des coefficients d'oscillation.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Généralités .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Schéma des coefficients d'oscillation pour les poutres à travée unique avec $L_{St} = 12,384$ m	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation pour une rame à 2 voitures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation pour une rame à 4 voitures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation pour une rame à 6 voitures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation pour une rame à 10 voitures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Schéma des coefficients d'oscillation pour les poutres à travée unique avec $L_{St} = 24,768$ m	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation pour une rame à 2 voitures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation pour une rame à 4 voitures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation pour une rame à 6 voitures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Coefficients d'oscillation pour une rame à 10 voitures .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Annexe II-C : Valeurs limites des éléments du tracé.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Annexe II-D : Valeurs limites générales des déformations.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Annexe II-E : Tableaux illustrant les forces magnétiques en cas de vent latéral (Q9a)...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Annexe II-F : Calcul des forces polaires des aimants de levage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

**Index des illustrations**

- Figure 1 - Interfaces rame – voie ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 2 - Désignation des éléments magnétiques (levage et guidage) ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 3 - Géométrie type des effets aimant de levage – stator long ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 4 - Géométrie type des effets aimant de guidage – rail de guidage latéral ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 5 - Géométrie type des effets aimant de freinage – rail de guidage latéral ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 6 - Géométrie type des effets patin de levage – glissière Error! Bookmark not defined.**
- Figure 7 - Systèmes de coordonnées des effets ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 8 - Rapport entre accélérations et paramètres de tracé.. Error! Bookmark not defined.**
- Figure 9 - Superpositions avec la précontrainte de l'aimant de guidage . Error! Bookmark not defined.**
- Figure 10 - Répartition type des réactions pour les rayons horizontaux étroits  $R_H$ ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 11 - Répartition type des forces des aimants de guidage pour  $a_{x,WSV}$ .. Error! Bookmark not defined.**
- Figure 12 - Charges additionnelles types dans le sens z suite à un freinage/une accélération ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 13 - Répartition type des effets de pression / succion appliqués sur la face supérieure de la voie..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 14 - Schéma de charge type pour la poussée verticale aérodynamique ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 15 - Courbe type de l'évolution de la force dynamique des patins de levage par rapport au temps ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 16 – Fonction temporelle type simplifiée de l'abaissement régulé de la rame ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 17 - Fonction type de l'accélération sur le temps au cours du glissement sur les patins de levage ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 18 - Évolution de la force de freinage des « freins de sécurité » .. Error! Bookmark not defined.**
- Figure 19 - Rapport des forces dans le sens x sur la vitesse en cas de défaut de fonctionnement de la propulsion..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 20 - Schéma de charge global de la rame en sustentation ..... Error! Bookmark not defined.**
- Figure 21 - Schéma de charge type de la répartition des forces de  $p_{z,az}$  conformément à la formule ( 15)..... Error! Bookmark not defined.**

- Figure 22 - Schéma de charge type de la répartition des forces de  $p_{y,ay}$  conformément à la formule ( 10)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 23 - Schéma de charge type de la répartition des forces de  $p_{z,ay}$  conformément à la formule ( 11)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 24 - Schéma de charge global de la rame qui s'abaisse / à l'arrêt **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 25 - Schéma de charge global pour la situation de dimensionnement Q11i..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 26 - Schéma de charge global « vent » et « poussée verticale » pour une rame en sustentation ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 27 - Schéma de charge type pour  $p_{y,w}$  avec  $v_w = 25$  m/s et  $v_{Fzg} = 500$  km/h ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 28 - Schéma de charge type pour  $p_{z,w}$  avec  $v_w = 25$  m/s et  $v_{Fzg} = 500$  km/h ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 29 - Schéma de charge type d'un aimant de levage en service, sans défaillance technique ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 30 - Schéma de charge type en cas de panne d'un circuit de régulation magnétique Levage (Q11b)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 31 - Schéma de charge type d'un aimant de guidage (aimant d'extrémité)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 32 - Schéma de charge type d'un aimant de guidage (aimant central) **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 33 - Schéma de charge type en cas de panne d'un circuit de régulation magnétique Guidage (Q11d)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 34 - Schéma de charge type en cas de double panne de circuits de régulation magnétique Guidage (Q11e)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 35 - Schéma de charge type des aimants de freinage (avec ou sans contact) .... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 36 - Schéma de charge type des patins de levage ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 37 - Déformation autorisée des poutres à travée unique dans le sens z, due à une rame ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 38 - Flexion dans le sens z des travées à deux poutres avec la même largeur d'appui ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 39 - Déformations plastiques des infrastructures dans le sens y (exemple)**Error! Bookmark not defined.**
- Figure 40 - Déformations élastiques des infrastructures dans le sens y (exemple 1)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 41 - Déformations élastiques des infrastructures dans le sens y (exemple 2)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 42 – Passage d'une rame sur une poutre à travée unique avec la grandeur d'évaluation  $w$  au centre de la travée..... **Error! Bookmark not defined.**

- Figure 43 - Courbe d'évolution contraintes / temps suite au passage d'une rame sur une poutre à travée unique..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 44 - Supports de voie pour un exemple d'utilisation – Vue en coupe d'une travée ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 45 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 2 voitures .. **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 46 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 2 voitures ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 47 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 4 voitures .. **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 48 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 4 voitures ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 49 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 6 voitures .. **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 50 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 6 voitures ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 51 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 10 voitures **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 52 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 10 voitures ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 53 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 2 voitures .. **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 54 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 2 voitures ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 55 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 4 voitures .. **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 56 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 4 voitures ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 57 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 6 voitures .. **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 58 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 6 voitures ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 59 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 10 voitures **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 60 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 10 voitures ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 61 - Forces polaires des aimants de levage ; exemple pour les aimants de levage normaux ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figure 62 - Forces polaires des aimants de levage ; exemple pour les aimants de levage de tête / queue ..... **Error! Bookmark not defined.**

**Index des tableaux**

**Tableau 1 - Valeurs limites des accélérations dans le sens x, y et z ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 2 - Effets permanents ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 3 - Effets variables (fréquents / peu fréquents) générés par la rame Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 4 - Autres effets variables ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 5 - Effets exceptionnels ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 6 - Situations d'effets types pour la formation des principales combinaisons .. Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 7 - Coefficients de frottement types aimant de freinage – rail de guidage latéral (voie sèche)..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 8 - Coefficients de frottement types patin de levage – glissière (voie sèche) .... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 9 - Coefficient d'atténuation D en % de l'atténuation critique..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 10 - Effets statiques moyens types résultant du poids de la rame.... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 11 - Forces maximales dans le sens x résultant de la propulsion et du freinage ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 12 - Répartition type des forces magnétiques issues de  $a_y$  sur la longueur de la rame ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 13 - Réactions types  $p_{y,ZWG,i}$  pour les petits rayons horizontaux Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 14 - Répartition type des forces des aimants de guidage pour  $a_{x,WSV}$  ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 15 - Répartition type des forces des aimants de levage pour  $a_z$  sur toute la longueur de la rame ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 16 - Forces de poussée verticale types des voitures de tête / de queue ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 17 - Forces types de pression (+) et de succion (-) appliquées sur la face supérieure de la voie ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 18 - Vitesses du vent [m/s] en fonction de la hauteur de la voie Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 19 - Forces de poussée verticale types induites par le vent latéral sur les voitures de tête ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 20 - Fluctuations et variations linéaires de température ..... Error! Bookmark not defined.**

**Tableau 21 - Pression dynamique  $q_{W,Tragwerk}$  sur la structure porteuse..... Error! Bookmark not defined.**

<b>Tableau 22 - Effets types provoqués par la poussée verticale de la rame sous l'action du vent de sécurité .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 23 - Facteurs partiels de sécurité des effets .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Tableau 24 - Facteurs de combinaison <math>\psi_i</math> des effets .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 25 - Affectation des effets aux plans fonctionnels.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 26 - Largeurs d'appui et longueurs de rame du schéma des coefficients d'oscillation présenté à titre d'exemple .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 27 - Valeurs limites des combinaisons des éléments du tracé .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 28 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 29 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 30 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 31 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 32 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 33 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 34 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 35 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 36 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 37 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 38 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 39 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 40 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 41 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 42 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 43 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Tableau 44 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 0$  km/h,  $v_W = 25 \dots 40$  m/s..... **Error! Bookmark not defined.**

Tableau 45 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 0$  km/h,  $v_W = 10 \dots 25$  m/s..... **Error! Bookmark not defined.**

Tableau 46 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 0$  km/h,  $v_W = 25 \dots 40$  m/s..... **Error! Bookmark not defined.**

Tableau 47 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 0$  km/h,  $v_W = 10 \dots 25$  m/s..... **Error! Bookmark not defined.**

Tableau 48 - Forces polaires des aimants de levage sans transfert **Error! Bookmark not defined.**

Tableau 49 - Forces polaires des aimants de levage avec un transfert de 30 % (aimants de levage normaux) ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tableau 50 - Forces polaires des aimants de levage avec un transfert de 30 % (aimants de levage de tête / queue) ..... **Error! Bookmark not defined.**

## Généralités

# Objet du document et champ d'application

- Les principes spécifiques au système décrits dans le présent principe d'exécution concernant le dimensionnement et la certification de la voie du train rapide à sustentation magnétique (y compris les ouvrages de construction proches du tracé<sup>12</sup>) sont indépendants du projet<sup>13</sup>.
- Ces principes s'appliquent en tant que consignes de dimensionnement au sens d'une disposition légale pour les voies (voir également /MSB AG-FW ÜBG/).
- La base de ces principes sont les exigences générales applicables aux systèmes du document /MSB AG-GESAMTSYS/ et les exigences de niveau supérieur applicables à la voie du document /MSB AG-FW ÜBG/.
- Il convient de ne pas tenir compte ici d'un éventuel potentiel disponible concernant une configuration spéciale pour une capacité de transport plus importante<sup>14</sup>, par exemple. À cet effet, les certificats techniques de construction requis doivent être présentés au cas par cas en accord avec les autorités de surveillance compétentes.
- La détermination des exigences spécifiques au système applicables à la voie (par exemple valeurs limites des déformations) se base pour l'essentiel sur les expériences avec les modes de construction de voies éprouvés jusqu'ici.
- Pour les nouveaux modes de construction, l'applicabilité illimitée de ces exigences doit être vérifiée. Le cas échéant, les exigences appropriées doivent être définies en accord avec les autorités de surveillance compétentes.
- Les principes spécifiques au système pour la configuration des voies du train rapide à sustentation magnétique incluent les indications concernant :
  - les documents à utiliser ;
  - la description des effets à prendre en compte ;
  - les valeurs caractéristiques et représentatives de ces effets ;
  - la géométrie (schémas d'action et points d'application) de ces effets ;
  - les principes de démonstration du comportement dynamique de la voie ;
  - les indications relatives à la certification de la stabilité, l'utilisabilité et la fatigue du matériau par rapport aux exigences et valeurs limites correspondantes.
- Les principes de détermination des valeurs caractéristiques et représentatives des effets se trouvent dans le document /MSB AG-GESAMTSYS/.

---

<sup>12</sup> Dans la mesure où il faut prendre en compte des effets spécifiques au système (par ex. effets aérodynamiques).

<sup>13</sup> S'applique aux utilisations dans le trafic régional et grandes lignes en Allemagne selon le document /MSB AG-GESAMTSYS/. Les conditions générales dépendant du projet, telles que les conditions locales climatiques (vent, température, etc.) et géologiques (séismes, terrain de fondation, etc.), et les exigences d'exploitation doivent être déterminées en fonction du projet.

<sup>14</sup> Augmentation par exemple par accroissement de la charge d'exploitation ou augmentation du nombre de voitures ( $n > 10$ ).

- Tous les éléments de construction et modules de la voie, y compris ceux pour lesquels aucune indication de configuration n'est prévue dans le présent principe d'exécution, doivent être dimensionnés et certifiés selon les règles techniques généralement reconnues, en accord avec les autorités de surveillance compétentes.
- Pour les éléments de construction et les modules suivants de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique, les exigences supplémentaires relatives à la certification doivent être déterminées en fonction du projet et du type de construction :
  - Enroulement du stator long, fixation comprise ;
  - Équipement de la voie pour le calcul de la position de la rame, fixation comprise ;
  - Équipement de la voie pour l'approvisionnement externe en énergie de bord, fixation comprise.

- La voie doit être conçue conformément au règlement MbBO<sup>15</sup> ou à d'autres prescriptions nationales comparables, de manière à satisfaire aux exigences de sécurité et d'ordre public. Ces exigences sont respectées si la voie est conforme aux prescriptions du règlement MbBO ou, si celui-ci ne contient pas de prescriptions correspondantes, aux règles techniques généralement reconnues (voir à cet effet le § 3, paragraphe (1), du règlement MbBO).
- Le dimensionnement et la construction doivent être exécutés sur la base des indications suivantes, de manière à ce que la stabilité et l'utilisabilité soient garanties du point de vue de l'économie et de la compatibilité environnementale pendant la durée d'exploitation requise. La structure doit être conçue de manière à ce que les dépenses d'entretien nécessaires pour la garantie du respect de ces exigences soient minimales (pour les exigences à cet égard, voir le document /MSB AG-FW ÜBG/).
- Si au moins le même niveau de sécurité que dans le cas du respect des règles techniques généralement reconnues doit être certifié, il est permis de déroger aux règles techniques généralement reconnues. La preuve du même niveau de sécurité au moins doit être présentée aux autorités de surveillance compétentes (voir à cet égard le § 3, paragraphe (2), du règlement MbBO).
- Tous les écarts par rapport aux exigences du présent document nécessitent l'approbation des autorités de surveillance compétentes et une preuve de compatibilité au sein de l'ensemble du système et entre les différentes parties du système apportée par les fournisseurs.
- Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

## Principes d'exécution

- Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.
- Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :
  - Principe d'exécution du TSM, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions du TSM, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives du TSM, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RIL/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales du TSM, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation et de maintenance du TSM, document n° : 69061, /MSB AG-BTR/
  - Annexe 5 : Bruit du TSM, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

---

<sup>15</sup> S'applique à l'utilisation en Allemagne.

## **Abréviations et définitions**

- Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## Lois, décrets, normes et directives

- Le respect des lois, décrets, normes et directives cités dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ est impératif.
- Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes.
- Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.
- La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

- Toutes les valeurs chiffrées contenues dans le présent principe d'exécution (par exemple valeurs caractéristiques des effets générés par la rame, dimensions, etc.) se basent sur le tableau du document /MSB AG-GESAMTSYS/ concernant les grandeurs caractéristiques du système et les exécutions types décrites. Les indications de grandeurs sont réparties dans ce tableau entre les constantes du système / valeurs limites du système et les grandeurs caractéristiques variables spécifiques au projet.
- Pour chaque projet d'application, il convient de vérifier si les indications contenues dans le présent document concernant les exécutions types sont pertinentes.
- Les valeurs variables spécifiques au projet à appliquer doivent dans tous les cas être documentées dans une spécification des valeurs à utiliser spécifique au projet.
- Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.
- Dans les chapitres suivants
  - les exigences sont identifiées par une écriture standard et
  - les explications et les exemples par un texte en *italique*

## Références

- Principes d'exécution du TSM

/MSB AG-GESAMTSYS/	Principe d'exécution du système complet de TSM, Doc. n° 50630
/MSB AG-ABK&DEF/	Principe d'exécution du système complet de TSM, Annexe 1 : Abréviations et définitions concernant le TSM Doc. n° 67536
/MSB AG-NORM&RILI/	Principe d'exécution du système complet de TSM, Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives concernant le TSM Doc. n° 67539
/MSB AG-FW ÜBG/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie I : Exigences de niveau supé- rieur Doc. n° 57284
/MSB AG-FW GEO/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie III : Géométrie Doc. n° 41727
/MSB AG-FW TRAS/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie IV : Tracé Doc. n° 60640
/MSB AG-FW VERM/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie V : Levé Doc. n° 60641
/MSB AG-FW IH/	Principe d'exécution du TSM, Voie, Partie VI : Maintenance Doc. n° 63842

- Autres références

- 

- /R 1/ Mangerig ; Zapfe : WEP Projekt 28 - Studie zum temperaturoptimierten Einfeld-Fahrwegträger im Weiterentwicklungsprogramm Magnetschwebbahntechnologie (Étude sur les supports de voie avec poutre à travée simple optimisés du point de vue de la température dans le cadre du programme de développement continu de la technologie de train à sustentation magnétique) - Septembre 2002
- /R 2/ Lutzenberger, S. ; Lutzens J. : Grundsatzuntersuchungen zur Bestimmung des vertikalen globalen Schwingbeiwert (Études de principe pour la détermination du coefficient d'oscillation global vertical)  $\varphi_{Bg,z}$  von Transrapid Fahrwegträgern (des supports de voie du Transrapid),

Endbericht (Rapport final), Statisches System Einfeldträger mit (Système statique de poutre à travée simple avec)  $L_{St} = L_{Sys} = 24,768$  m. Im Auftrag der Transrapid International GmbH, 2005.

/R 3/ Lutzenberger, S. ; Lutzens J. : Grundsatzuntersuchungen zur Bestimmung des vertikalen globalen Schwingbeiwert (Études de principe pour la détermination du coefficient d'oscillation global vertical)  $\varphi_{Bg,z}$  von Transrapid Fahrwegträgern (des supports de voie du Transrapid), Endbericht (Rapport final), Statisches System Einfeldträger mit (Système statique de poutre à travée simple avec)  $L_{St} = L_{Sys} = 12,384$  m. Im Auftrag der Transrapid International GmbH, 2006.

/R 4/ Lutzenberger, S. ; Lutzens J. : Grundsatzuntersuchungen zur Bestimmung des vertikalen globalen Schwingbeiwert (Études de principe élargies pour la détermination du coefficient d'oscillation global vertical)  $\varphi_{Bg,z}$  von Transrapid Fahrwegträgern für Lastbild NEU (des supports de voie du Transrapid pour le schéma de charge NEU), Endbericht (Rapport final), Statisches System Einfeldträger mit (Système statique de poutre à travée simple avec)  $L_{St} = L_{Sys} = 24,768$  ou  $12,384$  m. Im Auftrag der Transrapid International GmbH, 2006.

## Situations de dimensionnement

### Généralités

- Ci-après sont indiquées les situations de dimensionnement spécifiques au train rapide à sustentation magnétique à prendre en compte pour le dimensionnement de la voie.
- Les détails concernant les possibilités de combinaisons des effets appliqués à la rame figurent dans le chapitre 0 et dans les chapitres 0 et 0.

## Situations de dimensionnement liées à la rame

### Situations de dimensionnement fréquentes

- (1) Les situations de dimensionnement fréquentes de la rame incluent toutes les situations liées à la rame, sans tenir compte des pannes ou des dysfonctionnements des modules. Elles sont présentées ci-après et doivent être prises en compte lors de la certification.
- (2) Levage et abaissement de la rame à  $v_{Fzg} = 0$  km/h (y compris la sustentation stationnaire brève pour une durée d'environ 30 s)  $\Rightarrow 0$  ;
- (3) Rames côte à côte dans les tronçons de ligne prévus à cet effet (stations avec  $|\alpha| \leq 3^\circ$  et  $|s| \leq 0,5 \%$ ) ;
- (4) Ralentissement maximal sur un rail et accélération maximale sur l'autre rail à chaque point de la voie lorsque deux rames avancent dans un sens de circulation opposé (ceci couvre également le roulage dans le même sens de circulation comme mode d'exploitation en parallèle) ;
- (5) Configuration des différents rails (par exemple dans le cas des voies à deux rails) pour les deux sens de circulation ;
- (6) Indépendamment du projet, les rames avec  $n = 2 \dots 10$  voitures ( $\approx 50$  m ... 250 m) doivent être prises en compte ;
- (7) Poids de la rame sans ou avec charge d'exploitation (poids de la rame) selon le document /MSB AG-GESAMTSYS/ (voir également le chapitre  $\Rightarrow 0$ ) ;
- (8) Trajets en ligne droite avec des sommets et des points bas et les trajets sinueux avec des sommets et des points bas pour les conditions de service « mode stationnaire », « accélération » et « décélération », y compris dans tous les cas le vent relatif et les efforts latéraux dynamiques <sup>16</sup>)  $\Rightarrow 0 \dots 0$  ;
- (9) Fonctionnement en cas de vent stationnaire et vent en rafales  $\Rightarrow 0$  ;
- (10) Passage à proximité d'ouvrages de construction proches du tracé et autres ouvrages  $\Rightarrow 0$  ;
- (11) Traversée d'un tunnel avec « entrée dans le tunnel », « circulation dans le tunnel » et « sortie du tunnel »  $\Rightarrow 0$  ;
- (12) Croisement de deux trains en sens de circulation contraire à chaque point de la voie  $\Rightarrow 0$ .

---

<sup>16</sup> Inclut également le franchissement de déviations ponctuelles et permanentes (décalages et « ondulations »).

## Situations de dimensionnement peu fréquentes et exceptionnelles

- (1) Les situations de dimensionnement suivantes liées à la voie résultent de pannes ou de dysfonctionnements des modules et doivent être prises en compte en général comme des situations de dimensionnement peu fréquentes ou exceptionnelles, qui se rapportent aux différents éléments de la voie.
- (2) Arrêt dans le cas le plus défavorable selon le document /MSB AG-GESAMTSYS/ : rames à l'arrêt ou arrêtées côte à côte et rames avançant au ralenti en tout point de la voie en dehors des zones d'arrêt prévues à cet effet (la vitesse de déplacement est inférieure à la vitesse de conception déterminée pour les situations de dimensionnement fréquentes en fonction du projet et du tracé) ;
- (3) Rames à l'arrêt ou arrêtées côte à côte en dehors des stations dans les tronçons de ligne prévus à cet effet (zones d'arrêt de service et zones de voie définies reliées à des zones de quai selon le document /MSB AG-GESAMTSYS/) avec  $|\alpha| \leq 12^\circ$  et  $|s| \leq 0,5\%$  (en cas de possibilité de verglas) et  $|s| \leq 5\%$  (sans possibilité de verglas) ;
- (4) Abaissement de l'ensemble de la rame sur les patins de levage à  $v_{Fzg} > 0 \text{ km/h} \Rightarrow 0$  ;
- (5) Freinage avec les freins de sécurité propres de la rame (dans les courbes et les lignes droites, les sommets ou les points bas) après une panne de l'entraînement par stator long ou d'autres dysfonctionnements selon le document /MSB AG-GESAMTSYS/ (dans les cas extrêmement rares sur les deux rails en même temps dans le même sens de circulation)  
 $\Rightarrow 0$  ;
- (6) Déconnexion ou panne des aimants  $\Rightarrow 0 \dots 0$  ;
- (7) Application simultanée du système de freinage normal (propulsion) et des freins de sécurité ;
- (8) Propulsion différenciée (accélération / décélération) sur les deux côtés d'un rail en dehors des zones de changement de section motrice dans le cas du procédé en marche alternée  $\Rightarrow 0$  ;
- (9) « Décrochage » de la propulsion (glissement / mouvement pendulaire)  
 $\Rightarrow$ , couvert par les forces dynamiques au point 0 ;
- (10) Freinage par enroulement en court-circuit avant des points de danger (par exemple dans la zone de raccordement des quais dans le cas des gares de terminus ou avant des installations de changement de voie)  $\Rightarrow$  couvert par le point 0 ;
- (11) Abaissement unilatéral de la rame  $\Rightarrow 0$  ;
- (12) Contact / démarrage des aimants  $\Rightarrow 0$ .

## Situations de dimensionnement liées à la voie

- (1) *Selon le document /MSB AG-FW ÜBG/, on suppose que, du fait de la configuration et de l'entretien de la voie (sécurité pendant toute la durée de vie ; safe life), aucune panne / dysfonctionnement imprévu(e) lié(e) à la voie qui pourrait entraîner des effets de plus grande ampleur ne peut survenir.*
- (2) Les effets / contraintes dus à des éventuelles pannes / dysfonctionnements au niveau de la voie (par exemple répartition de charge modifiée en cas de redondances activées) doivent être pris en compte.

## Situations de dimensionnement liées aux phénomènes environnementaux naturels

- (1) Les situations de service liées à l'environnement avec des effets dus au vent (sur la rame et la voie), à la température et aux séismes doivent être prises en compte selon les exigences spécifiques au projet.
- (2) Si des effets de plus grande ampleur surviennent par rapport aux valeurs limites des effets dus à l'environnement dans les projets d'application fixées dans le document /MSB AG-GESAMTSYS/, ils doivent être pris en compte en conséquence.

## **Situations de dimensionnement liées à l'environnement**

- (1) Les conditions environnementales spécifiques au projet, comme par exemple les croisements entre des voies de circulation, doivent être prises en compte.

## Vitesses et accélérations

# Valeurs limites des vitesses de déplacement

- (1) Lors de la conception de la voie, selon le document /MSB AG-GESAMTSYS/, la vitesse limite de la voie en fonction du lieu à fixer en fonction du projet  $v_{Fzg,FW,grenz}(x)$  et la vitesse maximale sur la voie en fonction du lieu à fixer en fonction du projet  $v_{Fzg,FW,hochst}(x)$  doivent être prises en compte. Les valeurs maximales spécifiques au train rapide à sustentation magnétique sont les suivantes :
- Vitesse limite de la voie maximale en fonction du lieu :  $\max v_{Fzg,FW,grenz}(x) \leq 530 \text{ km/h}$  ;
  - Vitesse maximale sur la voie en fonction du lieu :  $\max v_{Fzg,FW,hochst}(x) \leq 500 \text{ km/h}$  ;
- (2) *La vitesse limite de la voie en fonction du lieu  $v_{Fzg,FW,grenz}(x)$  définit le cours en fonction du lieu de la vitesse maximale autorisée sur une voie tracée, sur la base des effets maximums relevés lors du dimensionnement de la voie, dans des situations de dimensionnement peu fréquentes ou exceptionnelles.*
- (3) *La vitesse maximale sur la voie en fonction du lieu  $v_{Fzg,FW,hochst}(x)$  définit le cours en fonction du lieu de la vitesse maximale autorisée sur une voie tracée, sur la base des effets maximums relevés lors du dimensionnement de la voie, dans les situations de dimensionnement fréquentes.*
- (4) La vitesse limite de la voie en fonction du lieu peut être dépassée dans des conditions particulières (par exemple limitation de la vitesse du vent autorisée) au cas par cas, à des fins de démonstration et de qualification. Pour ce faire, un certificat particulier spécifique au projet et approuvé par les autorités de surveillance compétentes est nécessaire.
- (5) *La vitesse maximale en fonction du lieu  $\max v_{Fzg,häufig}(x)$  ne doit pas dépasser la vitesse maximale sur la voie en tant que situation de dimensionnement fréquente, en tenant compte de toutes les tolérances de vitesse et du tracé local.*
- (6) *La vitesse minimale en fonction du lieu  $\min v_{Fzg,häufig}(x)$  doit être atteinte impérativement en tant que situation de dimensionnement fréquente, en tenant compte de toutes les tolérances de vitesse et des exigences de confort en fonction du projet.*
- (7) *Les vitesses maximales et minimales en fonction du lieu sont déterminées en fonction du projet sur la base des profils de roulage réels.*
- (8) *Dans quelques rares situations, la vitesse minimale en fonction du lieu  $\min v_{Fzg,häufig}(x)$  peut ne pas être atteinte et la vitesse maximale en fonction du lieu  $\max v_{Fzg,häufig}(x)$  peut être dépassée ( $v_{Fzg,selten}(x) < \min v_{Fzg,häufig}(x)$  et  $v_{Fzg,selten}(x) > \max v_{Fzg,häufig}(x)$ ).*

## Valeurs limites des accélérations

- (1) Les valeurs limites des accélérations pour les situations de dimensionnement fréquentes et peu fréquentes figurent dans le Tableau 91 ci-dessous.

Sens	Désignation	Valeurs limites
x	Accélération et freinage	$- 1,5 \text{ m/s}^2 \leq \mathbf{a_x} \leq + 1,5 \text{ m/s}^2$
y	Accélération latérale libre	$- 1,5 \text{ m/s}^2 \leq \mathbf{a_y} \leq + 1,5 \text{ m/s}^2$
z	Accélération normale (y compris $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )	$+ 9,21 \text{ m/s}^2 \leq \mathbf{a_z} \leq + 11,01 \text{ m/s}^2$ (issu de $g - 0,6 \text{ m/s}^2$ ou $g + 1,2 \text{ m/s}^2$ )
<p>Les accélérations divergentes doivent être prises en compte dans les situations de dimensionnement suivantes :</p> <p>a) Dans le cas des aiguillages, il convient d'utiliser l'accélération latérale libre avec <math>a_y = 2,0 \text{ m/s}^2</math>, à condition qu'une autre valeur divergente ne soit pas fixée en fonction du projet.</p> <p>b) Dans le cas d'une rame arrêtée dans une inclinaison latérale <math>\alpha = 12^\circ</math> (<math>v_{Fz0} = 0 \text{ km/h}</math>), cela donne par exemple une accélération latérale libre de <math>a_y = -2,04 \text{ m/s}^2</math>, et dans les cas particuliers <math>a_y = -2,70 \text{ m/s}^2</math> avec <math>\alpha = 16^\circ</math> (Q11g).</p> <p>c) Augmentation de l'accélération longitudinale en cas de défaut de fonctionnement de la propulsion (Q11h) et en cas d'utilisation des « freins de sécurité » (Q11f).</p>		

**Tableau 91 - Valeurs limites des accélérations dans le sens x, y et z**

## Effets sur la voie

# Répartition des effets

- (1) Les effets à prendre en compte (F) sont répartis dans les tableaux suivants sur la base de la norme /EN 1990/ en effets permanents (G), variables (Q) et exceptionnels (A). La base utilisée pour les effets figure dans le document /MSB AG-GESAMTSYS/. Le cas échéant, des compléments sont nécessaires ou des suppressions sont admises en fonction du projet.
- (2) Les effets variables sont répartis en effets fréquents (en général : fréquence > 1 fois par semaine) et peu fréquents (en général : fréquence < 1 fois par an).

## Effets permanents

### Définition :

Conformément à la norme /EN 1990/, un effet permanent (G) est un effet dont on suppose qu'il s'exerce pendant toute la durée d'utilisation et dont la variation dans le temps en termes d'ampleur par rapport à une valeur moyenne est négligeable, ou bien pour lequel la variation qui va jusqu'à atteindre une valeur limite donnée a toujours lieu dans le même sens (uniformément).

N°	Effets permanents	Chapitre
G1	Charges propres des éléments de construction	0
G2	Précontrainte / contrainte prévue	0
G3	Fluage et retrait (par ex. du béton)	0
G4	Forces de pression de l'eau permanentes	0
G5	Mouvements probables du terrain de fondation	0
G6	Poussée de terre permanente	0

**Tableau 92 - Effets permanents**

## Effets variables

### Définition :

Conformément à la norme /EN 1990/, un effet variable (Q) est un effet dont la variation dans le temps de l'ampleur n'est pas négligeable, ou dont la variation n'a pas toujours lieu dans le même sens.

N°	Effets	Chapitre
<u>Effets fréquents</u>		
Q1	Forces d'inertie, y compris dynamique résultant du poids propre de la	0
Q2	Forces d'inertie, y compris dynamique résultant de la charge d'exploita-	0
Q3	Répartition inégale du poids de la rame dans le sens x	0
Q4	Répartition inégale du poids de la rame dans le sens y	0
Q5	Dynamique de guidage (forces dynamiques résultant du système de	0
Q6	Réactions dans les rayons étroits	0
Q7a	Forces aérodynamiques résultant du croisement de deux trains	0
Q7b	Forces aérodynamiques résultant de la traversée d'un tunnel	0
Q7c	Forces aérodynamiques sur les ouvrages de construction proches du	0
Q8a	Effets résultant du vent relatif : Poussée verticale	0
Q8b	Effets résultant du vent relatif : Pression / Succion	0
Q9a	Efforts latéraux dus au vent résultant de l'environnement naturel	0
Q9b	Poussée verticale due au vent résultant de l'environnement naturel	0
Q10	Effet de température dû à la propulsion	0
<u>Effets peu fréquents</u>		
Q11a	Poids de la rame plus élevé	0
Q11b	Panne d'un circuit de régulation magnétique Levage	0
Q11c	Double panne de circuits de régulation magnétique Levage	0
Q11d	Panne d'un circuit de régulation magnétique Guidage	0
Q11e	Double panne de circuits de régulation magnétique Guidage	0
Q11f	Utilisation des « freins de sécurité »	0
Q11g	Différence de vitesse	0
Q11h	Défauts de fonctionnement de la propulsion	0
Q11i	Effets résultant d'un court-circuit de l'enroulement	0
Q11j	Démarrage / contact des aimants	0
Q11k	Soulèvement des patins de levage gelés sur le plan de glissement	0
Q11l	Poids de la rame plus élevé résultant de la présence de neige sur la	0

Tableau 93 - Effets variables (fréquents / peu fréquents) générés par la rame

N°	Effets	Chapitre
Q30	Effets causés par la maintenance	0
Q50a	Température résultant de l'environnement : variations de température	0
Q50b	Température résultant de l'environnement : variations linéaires de température	0
Q50c	Température résultant de l'environnement : échauffement inégal des éléments de construction	0
Q51	Vent sur la structure porteuse	0
Q52	Charges de neige et de glace	0
Q53	Forces de pression de l'eau variables	0
Q54	Charges de chantier dues au vent	0
Q55	Travaux de maintenance	0
Q56	Chantiers	0
Q57a	Installations de changement de voie : flexion élastique des aiguillages	0
Q57b	Installations de changement de voie : forces d'inertie résultant du déplacement	0
Q58	Résistance au déplacement des paliers	0
Q59	Défaillance d'éléments de la structure porteuse	0
Q60	Poussée de terre résultant d'effets variables	0

Tableau 94 - Autres effets variables

## Effets exceptionnels

### Définition :

*Conformément à la norme /EN 1990/, un effet exceptionnel (A) est un effet de courte durée en général, mais dont l'ordre de grandeur est significatif, et qui peut survenir pendant la durée d'utilisation prévue de la structure porteuse, avec une faible probabilité cependant.*

N°	Effets	Chapitre
<u>Effets générés par la rame</u>		
A1	Effets résultant de violations de l'espace libre	0
A2	Vent de sécurité sur la rame (v=0 km/h)	0
<u>Autres effets exceptionnels</u>		
A3	Maintenance	0
A4	Vent de sécurité sur la structure porteuse	0
A5	Mouvements possibles du terrain de fondation	0
A6	Collision avec des rames guidées sur rail	0
A7	Collision avec des véhicules routiers	0
A8	Poussée de glace, pression thermique de la glace, collision avec des navires	0
A9	Séismes	0

**Tableau 95 - Effets exceptionnels**

## Combinaisons d'effets

- (1) On entend par combinaison d'effets au sens de la norme /EN 1990/ la totalité des valeurs de dimensionnement pour la preuve de la fiabilité de la structure porteuse pour un état limite, en tenant compte de la simultanéité de leur apparition.
- (2) Les effets doivent être combinés en tenant compte des possibilités indiquées ci-dessous dans le Tableau 96, de manière à pouvoir en déduire les sollicitations respectives défavorables pour le dimensionnement.
- (3) Afin de tenir compte du fait que certains effets ne surviennent pas en même temps dans leur ampleur maximale selon une probabilité suffisante, les facteurs de réduction ou de combinaison indiqués dans les chapitres suivants peuvent être utilisés.

Effets		Situations d'effets 1)		Remarques :
Effets permanents G selon le tableau 2		avec	-	
Effets générés par la rame				
Q1	Poids propre de la rame	max	min	Concernant 2) Pour la preuve de stabilité de service, une charge d'exploitation partielle certifiée peut être utilisée (voir chap. 0).
Q2	Charge d'exploitation 2)	max	min	
Q3	Répartition inégale du poids de la rame dans le sens x et y	3)		
Q4				
Q5	Efforts latéraux dynamiques résultant de la dynamique de guidage 4)	avec	sans	Concernant 3) voir chap.0
Q6	Réactions dans les rayons étroits 5)	avec	-	
Q7	Efforts latéraux aérodynamiques 6)	avec	sans	Concernant 4) résultant de déformations de la voie et des tolérances de la voie
Q8	Effets résultant du vent relatif 6)	avec	sans	
Q10	Effet de température dû à la propulsion	avec	sans	Concernant 5) en fonction du rayon sur le plan x-y
Q11	Effets peu fréquents	avec	sans	
Effets générés par l'environnement naturel				Concernant 6) en fonction de la vitesse de déplacement
Q9	Effet du vent sur la rame 6)	avec	sans	
Q50	Température résultant de l'environnement	avec	sans	Concernant 7) voir chap. 0
Q51	Vent sur la structure porteuse	avec	sans	
Q52	Charges de neige et de glace	avec	sans	Concernant 8) voir chap 0
Q53	Forces de pression de l'eau variables	avec	sans	
Q60	Poussée de terre résultant d'effets variables	avec	sans	
Autres effets				
Q30	Effets causés par la maintenance 7)	avec	sans	
Q55	Travaux de maintenance 8)	avec	sans	
Q57a	Déformation élastique des aiguillages courbes	avec	sans	
Q58	Résistance au déplacement des paliers	avec	sans	
Q59	Défaillance d'éléments de la structure porteuse	avec	sans	

Tableau 96 - Situations d'effets types pour la formation des principales combinaisons



# Interfaces de transmission des forces rame – voie

## Généralités

- (1) *Les interfaces de transmission des forces rame – voie (voir Figure 120)*
  - *Aimant de levage – Stator long,*
  - *Aimant de guidage – Rail de guidage latéral,*
  - *Aimant de freinage – Rail de guidage latéral et*
  - *Patin de levage – Glissière,*

*sont décrites dans les chapitres suivants.*
- (2) *Les indications mentionnées dans le document /MSB AG-GESAMTSYS/ servent de base à cet effet. En dehors de ces interfaces, seules des forces aérodynamiques (pression / succion) sont en général transmises de la rame à la voie.*
- (3) *Par ailleurs, le cas échéant dans la zone des autres éléments d'équipement de la voie (par exemple approvisionnement externe en énergie de bord), des forces à déterminer au cas par cas peuvent être transmises.*
- (4) *Les forces d'inertie des rames spéciales sont généralement dirigées vers la voie également par l'intermédiaire des interfaces susmentionnées.*
- (5) *La géométrie des modules d'interfaces au niveau de la voie est déterminée dans les documents /MSB AG-FW ÜBG/ et /MSB AG-FW GEO/. En outre, les mesures et dimensions spécifiques au système, qui décrivent les interfaces de transmission des forces entre la rame et la voie, sont indiquées pour les exécutions types.*
- (6) *D'autres indications relatives aux interfaces figurent au chapitre 0 dans la description des schémas de charge.*
- (7) *Dans l'annexe au chapitre 0, les effets de la rame sur la voie sont affectés aux différentes interfaces dans le Tableau 115.*
- (8) *En tant que grandeurs de référence pour la longueur de la rame, les longueurs occupées par l'aimant de levage doivent être utilisées pour le calcul des contraintes :*
  - *Voitures d'extrémité :  $L_{ES} = L_{TM-B, ES} = 23,753$  m*
  - *Voitures intermédiaires :  $L_{MS} = L_{TM-B, MS} = 24,768$  m*

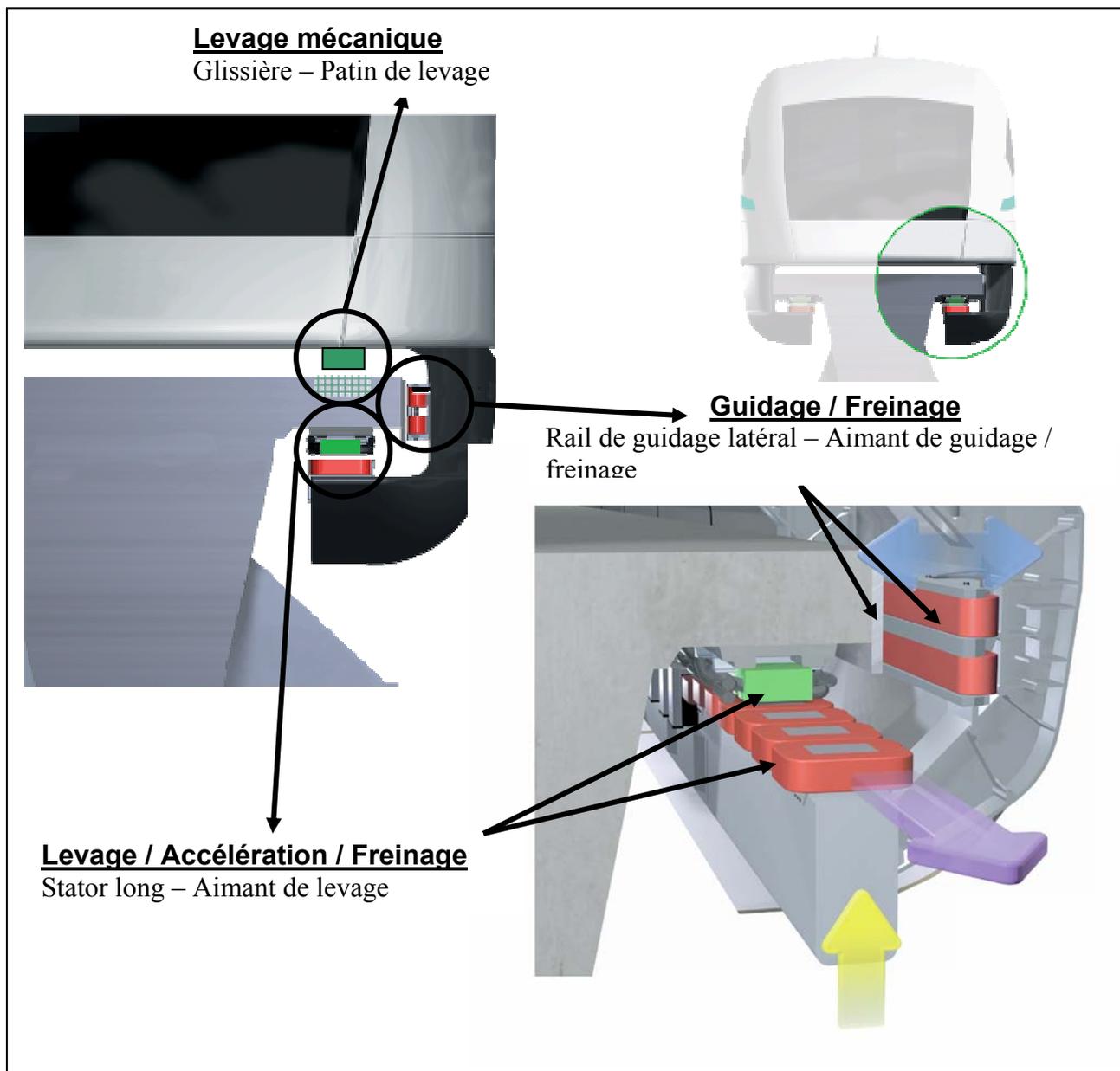


Figure 120 - Interfaces rame – voie

## Désignation et numérotation des éléments magnétiques

- (1) La désignation et la numérotation des éléments magnétiques Levage TMT et Guidage FMT pour les voitures d'extrémité et les voitures intermédiaires sont indiquées dans la Figure 121.
- (2) À cet égard, il convient de distinguer le côté gauche (li) et le côté droit (re) de la rame / de la voie.

**Principes d'exécution**

Voie

- (3) Pour les rames conformes à l'état actuel de la technique, les éléments magnétiques Guidage FMT 1 et FMT 16 ne sont pas valables pour les voitures d'extrémité, car les aimants de guidage ne vont pas au-delà des voitures.
- (4) Les éléments magnétiques Levage TMT (1) et TMT (16) des voitures d'extrémité correspondent au prolongement des aimants de tête ou de queue.

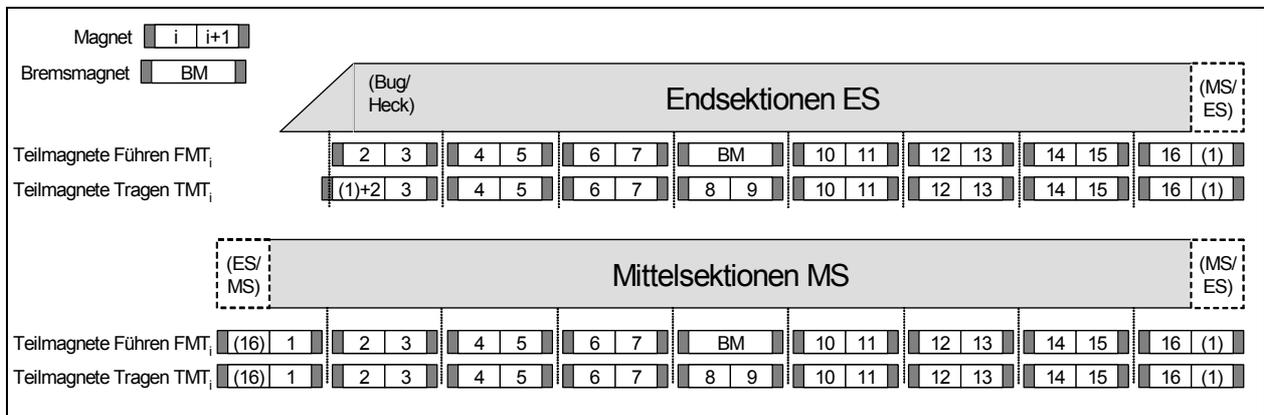


Figure 121 - Désignation des éléments magnétiques (levage et guidage)

*Aimant**Aimant de freinage**(Tête / Queue)**Voitures d'extrémité (ES)**Éléments magnétiques Guidage FMT<sub>i</sub>**Éléments magnétiques Levage TMT<sub>i</sub>**Voitures intermédiaires (MS)**Éléments magnétiques Guidage FMT<sub>i</sub>**Éléments magnétiques Levage TMT<sub>i</sub>***Interface Aimant de levage – Stator long****Fonctions**

- (1) Seules des forces de traction électromagnétiques dans le sens +z et des forces longitudinales électromagnétiques dans le sens ±x sont transmises par l'interface aimant de levage – stator long (voir Figure 120) située des deux côtés au niveau de la voie et de la rame, suite à la propulsion et au freinage.
- (2) En cas de panne d'un élément magnétique, l'élément magnétique voisin prend en général le relais pour la transmission des forces de l'élément magnétique défaillant (Q11b). En cas de panne des éléments magnétiques voisins, le patin de levage associé prend en charge les forces des éléments magnétiques défaillants (Q11c).

**Géométrie**

- (1) La géométrie des aimants de levage et des composants de transmission des forces des aimants de levage (noyaux polaires) est représentée dans la Figure 122.
- (2) Au sens du présent principe d'exécution, la longueur de la rame correspond à la « longueur occupée par l'aimant de levage »  $L_{TM-B}$ . La « longueur occupée par l'aimant de levage »  $L_{TM-B}$  d'une voiture résulte de la somme des longueurs de système des aimants de levage disponibles  $L_{sys, TM}$ . La « longueur occupée par l'aimant de levage »  $L_{TM-B}$  pour les rames avec  $n$  voitures ( $n \geq 2$ ) est la suivante, en tenant compte des longueurs occupées par les aimants de levage pour les voitures d'extrémité et les voitures intermédiaires :  $L_{TM-B} = 2 \cdot L_{TM-B, ES} + (n-2) \cdot L_{TM-B, MS}$
- (3) Les aimants de levage normaux possèdent 10 pôles principaux et 2 pôles d'extrémité (exception : exécution type des aimants de tête et de queue avec 2 pôles principaux supplémentaires).
- (4) La longueur de système des aimants de levage normaux est de 3 096 mm (exception : exécution type des aimants de tête / de queue :  $L_{sys, TM} = 3 629$  mm).
- (5) La plus petite unité de système par rapport à la force de l'aimant de levage est :  $L_{sys, TMT} = 1 548$  mm =  $L_{sys, TM} / 2$  (exception : exécution type au niveau de la tête / queue :  $L_{sys, TMT, Bug/Heck} = 2 081$  mm).
- (6) Les dimensions indiquées doivent être utilisées pour tous les rayons du tracé de la voie.

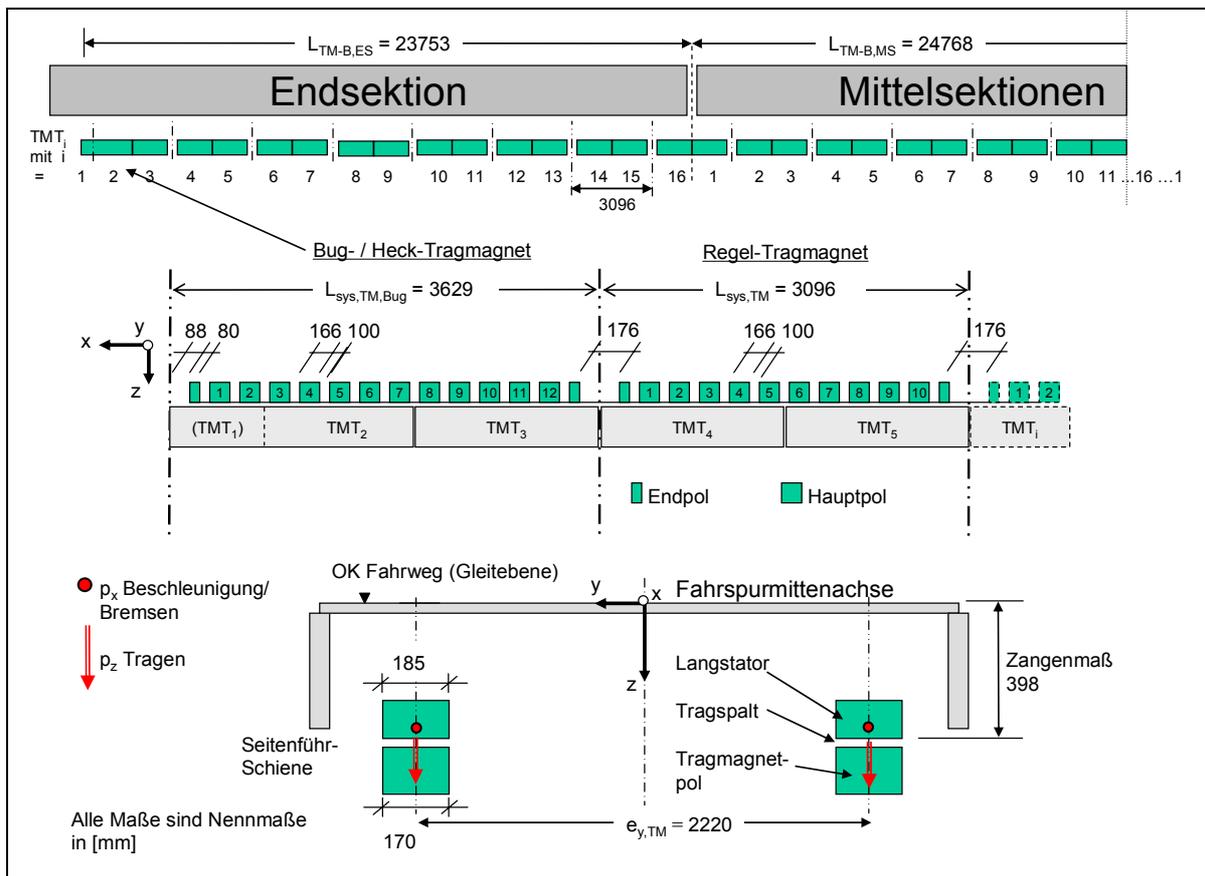


Figure 122 - Géométrie type des effets aimant de levage – stator long

Voiture d'extrémité

Voitures intermédiaires

TMT<sub>i</sub> avec i

Aimant de levage de tête / de queueAimant de levage normal

Pôle d'extrémité

Pôle principal

Bord supérieur de la voie (plan de glissement)

 $\rho_x$  accélération / freinage

Axe central de la voie

 $\rho_z$  levage

Intervalle

Stator long

Entrefer de levage

Pôle de l'aimant de levage

Rail de guidage latéral

Toutes les mesures sont des mesures nominales en [mm]

**Interface Aimant de guidage – Rail de guidage latéral****Fonctions**

- (1) Des forces de traction électromagnétiques dans le sens y résultant des effets dans le sens y sont transmises par l'interface aimant de guidage – rail de guidage latéral (voir Figure 123) située des deux côtés au niveau de la voie et de la rame.
- (2) Dans des situations peu fréquentes (par exemple en cas de « panne des circuits de régulation magnétique Guidage » (Q11d, Q11e) ou de cumul défavorable d'effets extrêmes), des forces de pression mécaniques locales s'appliquent dans le sens y, ainsi que des forces de frottement dans le sens +x.

**Géométrie**

- (1) Les forces magnétiques et mécaniques sont transmises par 2 ou 4 barrettes de pôles (PL) présentes sur toute la longueur aux rails de guidage latéraux (voir Figure 123). Dans le sens longitudinal, des entrefers de 46 mm ( $2 \cdot 23$  mm) sont présents tous les 3,096 m (longueur système de l'aimant de guidage  $L_{sys,FM} = 3,096$  m). La longueur des barrettes de pôles de transmission des forces est  $L_{PL,FM} = 3,050$  m ou  $L_{PL,FMT} = 1,525$  m. L'agencement des aimants de guidage et des pôles des aimants de guidage ou des éléments magnétiques sur la longueur de la rame est variable. Un agencement type des différents aimants de guidage est représenté dans la Figure 123.
- (2) Les forces mécaniques en cas de double panne des circuits de régulation magnétique de guidage voisins sont transmises à la voie par les butées d'attaque au niveau des extrémités des aimants de guidage ( $b_{z,AL} = 283$  mm ;  $b_{x,AL} = 5$  mm ; voir Figure 153).
- (3) Pour le calcul des effets résultant du frottement, des coefficients de frottement types entre l'aimant de guidage et le rail de guidage latéral figurent dans le Tableau 97.
- (4) Les longueurs occupées par les aimants de guidage  $L_{FM-B,ES}$  et  $L_{FM-B,MS}$  peuvent être déduites de la Figure 124.
- (5) Les dimensions indiquées doivent être utilisées pour tous les rayons du tracé de la voie.

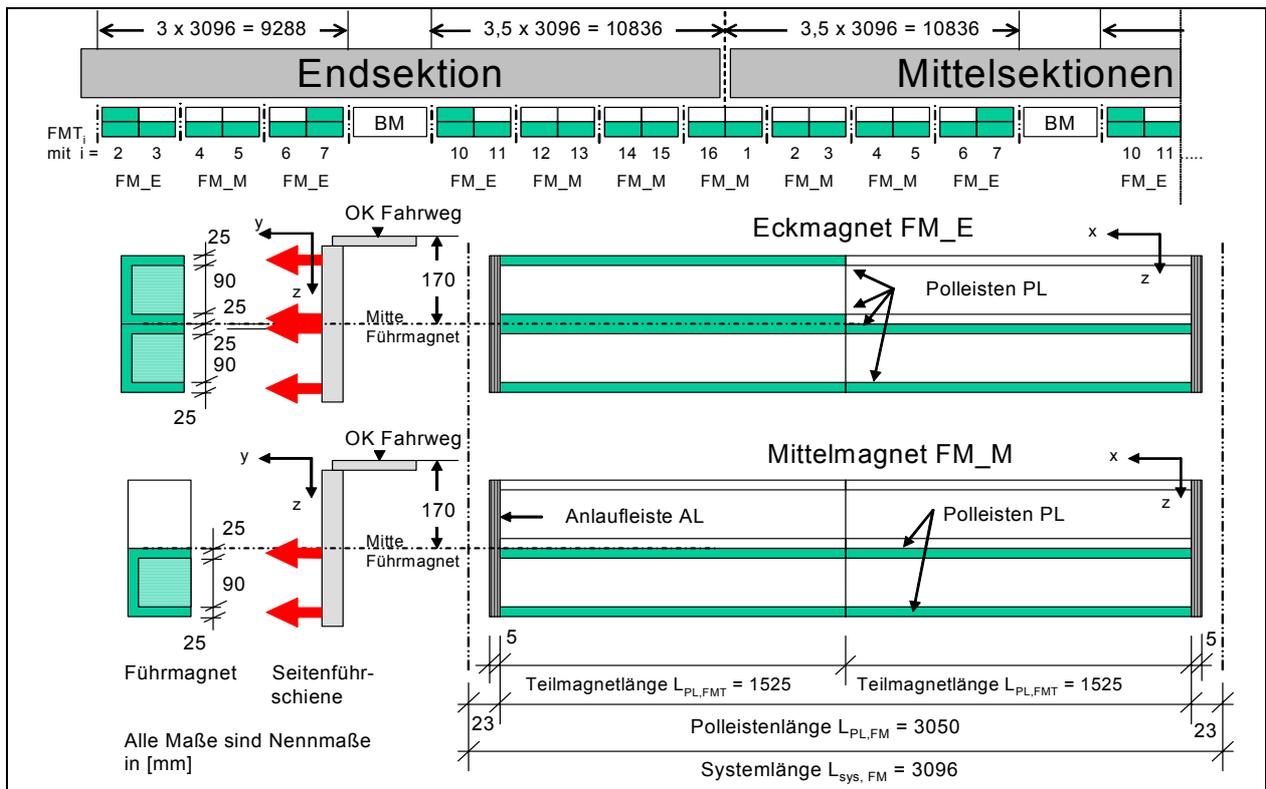


Figure 123 - Géométrie type des effets aimant de guidage – rail de guidage latéral

Voiture d'extrémité

Voitures intermédiaires

FMT<sub>i</sub> avec i

Bord supérieur de la voie

Aimant d'extrémité FM<sub>E</sub>

Barrettes de pôles PL

Centre

Aimant de guidage

Bord supérieur de la voie

Aimant central FM<sub>M</sub>

Butée d'attaque AL

Barrettes de pôles PL

Centre

Aimant de guidage

Aimant de guidage

Rail de guidage latéral

Longueur d'élément magnétique

Longueur d'élément magnétique

Longueur des barrettes de pôles

Longueur du système

Toutes les mesures sont des mesures nominales en [mm]



## Interface Aimant de freinage – Rail de guidage latéral

### Fonctions

- (1) Des forces de traction électromagnétiques dans le sens  $y$  et des forces longitudinales dans le sens  $+x$  sont transmises par l'interface aimant de freinage – rail de guidage latéral (voir Figure 124) située des deux côtés au niveau de la voie et de la rame, en cas de panne du moteur à stator long pour le freinage de la rame, de même que des forces de frottement mécaniques dans le sens  $+x$  si les aimants de freinage sont appliqués.

### Géométrie

- (1) Un agencement type des aimants de freinage dans le sens  $x$  et la géométrie type des noyaux polaires de transmission des charges sont représentés dans la Figure 124.
- (2) L'écartement moyen des aimants de freinage dans le sens  $x$  est alors le suivant :  $e_{x,BM} = 24,768 \text{ m}$ .

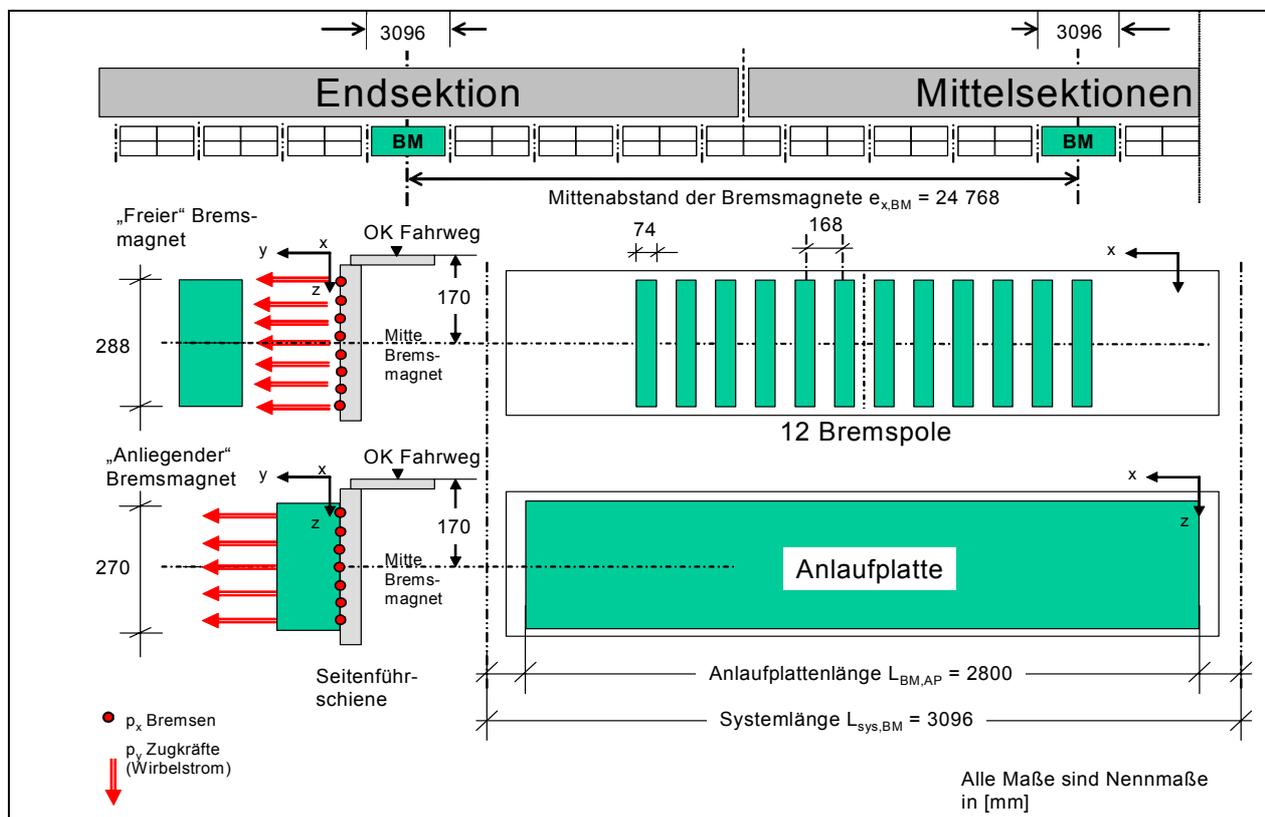


Figure 124 - Géométrie type des effets aimant de freinage – rail de guidage latéral

Voiture d'extrémité

Voitures intermédiaires

Écartement moyen des aimants de freinage

Aimant de freinage « libre »

Bord supérieur de la voie

Centre

*Aimant de freinage**12 pôles de freinage**Aimant de freinage « appliqué »**Bord supérieur de la voie**Centre**Aimant de freinage**Plateau de tampon**Rail de guidage latéral**Longueur du plateau de tampon**Longueur du système* *$p_x$  freinage* *$p_y$  forces de traction (courant de Foucault)**Toutes les mesures sont des mesures nominales en [mm]*

- (3) Les coefficients de frottement maximums à appliquer en fonction de la vitesse de déplacement  $\mu_{\text{BM-SFS}}$  entre l'aimant de freinage et le rail de guidage latéral figurent dans le Tableau 97.

	Frottement d'adhérence	Frottement de glissement							
		$v \rightarrow 0$	10	20	30	50	100	200	> 300
$v_{\text{Fzg}}$ [km/h]	0								
$\mu_{\text{BM-SFS}}$ [-]	0,50	0,30	0,25	0,22	0,20	0,18	0,14	0,12	0,10

**Tableau 97 - Coefficients de frottement types aimant de freinage – rail de guidage latéral (voie sèche)**

## Interface Patin de levage – Glissière

### Fonctions

- (1) Des forces dans le sens z et des forces de frottement dans le sens  $\pm x$  et dans le sens  $\pm y$  sont transmises par l'interface patin de levage – glissière (voir Figure 125) située des deux côtés au niveau de la voie et de la rame (en général lorsque  $v_{Fzg} = 0$  km/h, dans les situations de dimensionnement peu fréquentes lorsque  $v_{Fzg} \geq 0$  km/h).
- (2) La marche à suivre pour le calcul des effets à prendre en compte est décrite dans les chapitres suivants.
- (3) Pour le calcul des effets dans le sens x résultant du frottement, il convient d'utiliser les coefficients de frottement maximums à appliquer en fonction de la vitesse de déplacement  $\mu_{TK-GL}$  entre le patin de levage et la glissière figurant dans le Tableau 98.

$v_{Fzg}$ [km/h]	Frottement d'adhérence	Frottement de glissement							
		$v \rightarrow 0$	10	20	30	50	100	200	> 300
$\mu_{TK-GL}$ [-]	0,50 *	0,30 **	0,24	0,21	0,20	0,18	0,14	0,12	0,10

\* Coefficient pour la prise en compte du frottement d'adhérence  
 \*\* Le coefficient de frottement max. pour  $v_{Fzg} \rightarrow 0$  km/h doit être vérifié en fonction du projet.

Tableau 98 - Coefficients de frottement types patin de levage – glissière (voie sèche)

### Géométrie

- (1) Un agencement type des patins de levage au niveau de la rame avec les dimensions types des patins de levage est représenté dans la Figure 125.

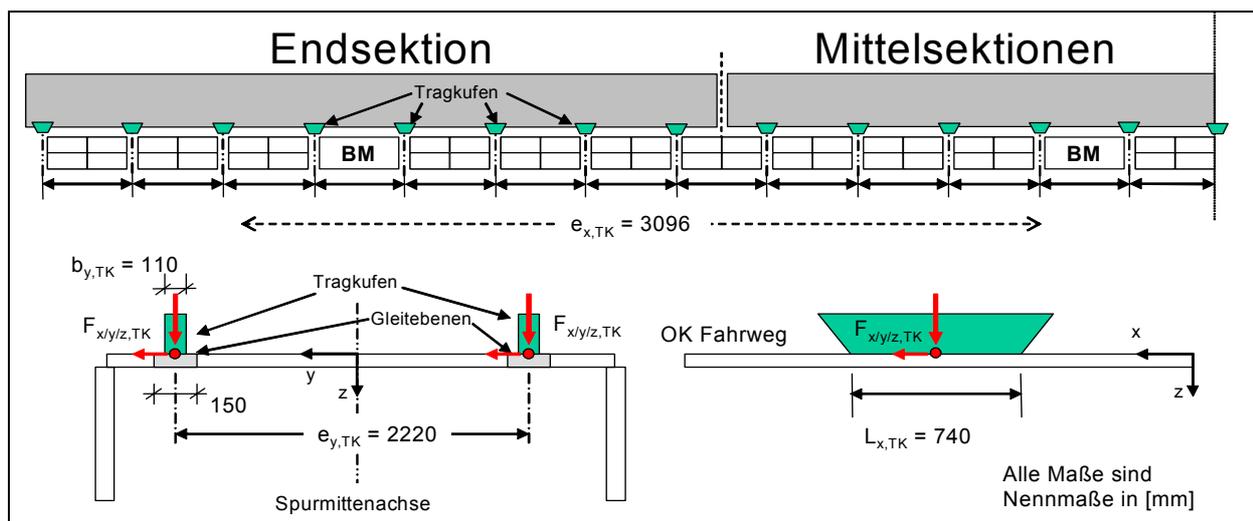


Figure 125 - Géométrie type des effets patin de levage – glissière

Voiture d'extrémité

Voitures intermédiaires

Patins de levage

*Patins de levage*

*Plans de glissement*

*Bord supérieur de la voie*

*Axe central de la voie*

*Toutes les mesures sont des mesures nominales en [mm]*

## **Autres interfaces**

- (1) *Les interfaces avec les éléments de construction de l'approvisionnement externe en énergie de bord et avec les éléments de construction servant au calcul de la position de la rame (localisation) sont décrites dans le document /MSB AG-FW ÜBG/.*
- (2) Les valeurs caractéristiques des effets doivent être déterminées en fonction du projet et du type de construction.

# Augmentation dynamique des contraintes

## Généralités

- (1) *Les effets transitoires sur la voie provoquent généralement des oscillations / vibrations, qui entraînent à leur tour une augmentation des contraintes statiques sur la voie (augmentation dynamique), ainsi qu'une diffusion de bruit et de bruit de structure (secousses).*

## Facteurs d'influence sur l'augmentation dynamique

### Généralités

- (1) *Les paramètres et valeurs caractéristiques décrits ci-après influencent le comportement dynamique et la réaction dynamique de la voie en cas de passage d'une rame et donc l'ampleur des augmentations dynamiques.*

### Facteurs d'influence de la voie

- (1) Fréquences propres et formes particulières de la structure de la voie  
*Le comportement dynamique de la voie et son excitabilité sont principalement déterminés par les fréquences propres et les formes particulières associées le long des plans fonctionnels et par le schéma de charge. Les fréquences propres et les formes particulières globales et locales dépendent de la masse, de la rigidité, du système statique et des conditions de positionnement des structures.*
- (2) Propriétés d'atténuation de la structure de la voie  
*Les propriétés d'atténuation de la voie influencent de manière importante l'ampleur des augmentations dynamiques, surtout en cas d'excitation harmonique. Les propriétés d'atténuation dépendent des matériaux utilisés et des propriétés de construction de la structure. Une connaissance aussi précise que possible des propriétés d'atténuation respectives de la voie est nécessaire pour le calcul mathématique des contraintes dynamiques.*
- (3) Précision de positionnement des plans fonctionnels  
*Plus les écarts géométriques par rapport au positionnement idéal de la voie sont importants (par exemple imprécisions de positionnement du stator long, décalage au niveau des extrémités des supports), plus les augmentations dynamiques des contraintes sont prévisibles (pour les écarts de positionnement admis, voir le document /MSB AG-FW GEO/).*

### Facteurs d'influence de la rame

- (1) Schéma de charge de la rame et régularités géométriques associées  
*Le schéma de charge de la rame est déterminant pour l'ampleur de l'augmentation dynamique en cas de charge intermittente.  
Les fréquences d'excitation possibles de la rame en fonction de la vitesse de déplacement découlent des régularités géométriques dans le schéma de charge et de la configuration des aimants de levage / des pôles magnétiques.*
- (2) Vitesse de déplacement de la rame  
*En fonction de la vitesse de déplacement, des oscillations considérablement amplifiées des supports de voie peuvent survenir. Les augmentations dynamiques sont surtout prévisibles dans le cas des vitesses de déplacement résonantes, des vitesses de déplacement élevées (charge intermittente) et des vitesses de déplacement faibles (marche au ralenti / sustentation stationnaire).*
- (3) Propriétés dynamiques de la rame  
*Tous les facteurs qui déterminent ensemble la variation dans le temps des forces magnétiques (comme par exemple l'entrefer) influent sur l'augmentation dynamique des contraintes subies par la voie.*

## Principaux mécanismes d'excitation

- (1) Les mécanismes déterminants spécifiques au système et leurs facteurs d'influence sont traités ci-après.

### Mécanisme d'excitation I

- (1) Charge intermittente de la voie due au passage de la rame : l'ampleur de la charge dynamique augmente avec la vitesse de déplacement pour les longueurs de rame, les géométries de voie et les vitesses de déplacement constatées. Cet effet peut être pertinent notamment pour les vitesses de déplacement élevées.

### Mécanisme d'excitation II

- (1) Les régularités géométriques de la rame (longueur de l'aimant de levage  $L_{TM}$  ; longueur de voiture de la rame  $L_{ES/MS}$ ) provoquent une excitation périodique de la voie, dont la fréquence dépend de la vitesse de déplacement. Ceci peut entraîner une augmentation des oscillations de la voie. L'excitation harmonique de la voie peut également provoquer des secousses dans le terrain de fondation.
- (2) Les longueurs d'ondes déterminantes  $\lambda_i$  de l'effet découlent de la géométrie et de l'ordre des effets au niveau de la rame (par exemple aimants de levage et pôles magnétiques de levage ou aimants de guidage et pôles magnétiques de guidage). Les longueurs d'ondes types pour les effets dans le sens  $z$  sont par exemple  $\lambda_i = L\lambda_i$  où  $i = 1; 2 \dots$  et  $L\lambda = 3,096 \text{ m} ; 24,768 \text{ m} ; 49,536 \text{ m}$ .
- (3) Avec l'aide de l'équation (1), il est possible de calculer les fréquences d'excitation correspondantes en fonction de la vitesse.

$$f_{\text{Anregung}} = v_{\text{Fzg}} / \lambda_i \text{ [Hz]} \quad (1)$$

- (4) Il en résulte pour la voie une multitude de fréquences d'excitation, qui peuvent être à l'origine d'augmentations dynamiques résonantes au niveau des fréquences propres de la voie (voir à cet effet le chapitre 0 (4)).

### Mécanisme d'excitation III

- (1) Oscillations périodiques des forces magnétiques transmises de la rame à la voie par la formation encoches / dents du stator long.
- (2) En raison de dimensions réduites, celles-ci provoquent une excitation périodique de la voie, dont la fréquence dépend de la vitesse de déplacement, surtout au niveau des structures ayant des longueurs d'influence courtes et avec des vitesses de déplacement faibles.

### Mécanisme d'excitation IV

- (1) Les oscillations de la rame peuvent provoquer des variations périodiques des charges de la rame. Les causes possibles d'une excitation des oscillations de la rame sont décrites ci-après.
- (2) Oscillation de la rame provoquée par certains paramètres (mécanisme d'excitation IV.a) :  
Une longueur de support de voie régulière et finie peut entraîner la modification périodique de la rigidité de la voie sous les aimants de levage (par exemple zone des appuis, travée des supports). Si une fréquence d'excitation due à la vitesse de déplacement et à la largeur d'appui des supports de voie apparaît à proximité d'une fréquence propre de la rame ou de la voie, il peut en résulter une augmentation des oscillations de la rame et donc également de la voie.

- (3) Excitation due à la « rugosité de la voie » (mécanisme d'excitation IV.b) :  
*Les divergences des plans fonctionnels par rapport à la position de consigne (par exemple imprécisions de positionnement des paquets de tôles statoriques ou décalages au niveau des joints du support) entraînent une excitation dynamique de la rame lors du passage de la rame, et donc des oscillations de la rame, qui ont à nouveau pour conséquence une répercussion sur la voie.*

**Mécanisme d'excitation V**

- (1) *Les effets dynamiques résultant de la régulation de la rame et donc dans le couplage de la rame à la voie peuvent entraîner une augmentation trop forte des oscillations, notamment lors de la marche au ralenti / en sustentation stationnaire et en particulier dans la zone des fréquences propres de la structure de la voie.*
- (2) *Les forces alternées associées peuvent être limitées par des mesures effectuées par exemple au niveau de prototypes de voies.*

**Mécanisme d'excitation VI**

- (1) Excitations dues à des effets peu fréquents, comme par exemple un dysfonctionnement de la régulation de l'entraînement du moteur linéaire à stator long (« glissement », « mouvement pendulaire »), un abaissement contrôlé de la rame lors de l'utilisation des « freins de sécurité » ou le démarrage d'un aimant de levage au niveau du paquet de tôles statoriques.

**Propriétés d'atténuation**

- (1) *Il est recommandé, du point de vue d'une réduction des augmentations dynamiques, d'utiliser des modes de construction / des structures ayant des propriétés d'atténuation élevées.*
- (2) *Le coefficient d'atténuation selon la norme EN 1991-2:2003, tab. 6.6, ou bien les valeurs d'atténuation calculées de manière expérimentale peuvent être utilisés s'ils sont représentatifs de manière démontrable pour le cas d'application concerné et qu'ils sont approuvés par les autorités de surveillance compétentes.*
- (3) *Si les coefficients d'atténuation selon le point (2) n'existent pas, il est alors possible d'utiliser les valeurs indiquées dans le Tableau 99 pour les analyses dynamiques en tant que coefficients d'atténuation conservatifs D en % de l'atténuation critique (facteur d'atténuation).*

<b>Structure porteuse / Élément de construction en</b>	<b>Coefficient d'atténuation conservatif D [%]</b>
Structures d'acier soudées	0,3
Structures d'acier vissées	0,4 .. 0,6 (en fonction de la structure)
Béton armé	0,6
Béton précontraint	0,6
Acier composite	0,6
Terrain de fondation	spécifique au projet

Tableau 99 - Coefficient d'atténuation D en % de l'atténuation critique

**Calcul des contraintes dynamiques****Généralités**

- (1) Les exigences générales applicables à la certification des effets dynamiques figurent dans les normes suivantes :
  - DIN Rapport technique 101 chap.- 6.4 ; annexe H ;
  - DIN 1055-100, chap. 5.4
  - Eurocodes (par exemple EN 1990 - chap. 4.1.5 ; chap. 5.1.3 et EN 1991-2 - chap. 6.4)
- (2) Lors du calcul des contraintes dynamiques, tous les effets résultant des conditions de roulage et le cas échéant des phénomènes environnementaux naturels (vent, séisme) doivent être pris en compte avec leurs propriétés spécifiques.
- (3) L'augmentation locale consécutive à la régulation magnétique doit être prise en compte conformément au chapitre 0.
- (4) Lors de la détermination mathématique des contraintes dynamiques avec utilisation de programmes de calcul adéquats, il convient de tenir compte des indications du chapitre 0.
- (5) Les effets dynamiques peuvent être considérés comme des effets quasi statiques lorsqu'il existe des coefficients d'oscillation approuvés par les autorités de surveillance de la construction compétentes.
- (6) Afin de certifier l'utilisabilité de la voie du point de vue de son comportement sous l'effet des oscillations, les exigences du chapitre 0 doivent être prises en compte pour la compatibilité du système avec les amplitudes des oscillations.
- (7) Les contraintes dynamiques dans la zone de résonance doivent être limitées de façon démontrable au moyen de mesures adéquates (par exemple atténuation au moyen d'amortisseurs / atténuateurs d'oscillations), de manière à ce que l'utilisabilité, la stabilité et la stabilité de service puissent être certifiées en tenant compte des contraintes de résonance pour la durée d'exploitation requise en fonction du projet.
- (8) Les hypothèses théoriques et les résultats de calcul doivent être vérifiés selon le document /MSB AG-FW ÜBG/ au moyen d'une mesure des contraintes dynamiques.

**Augmentations dynamiques résultant de la régulation magnétique****Variation dans le temps des forces magnétiques**

- Pour respecter l'entrefer nécessaire au niveau des interfaces entre l'aimant de levage et le stator long et entre l'aimant de guidage et le rail de guidage latéral, les forces magnétiques sont réglées en fonction des conditions d'entrefer locales et temporaires (voir les tolérances admises de la voie selon le document /MSB AG-FW GEO/).
- La variation dans le temps qui en résulte (« dynamique ») des forces magnétiques (forces de réaction dues aux tolérances de positionnement du stator long et des rails de guidage latéraux, glissement, mouvement pendulaire) doit être prise en compte pour les démonstrations locales dans la zone des interfaces (aimant de levage – stator long, aimant de guidage – rail de guidage latéral) pour un élément magnétique de levage ou de guidage respectivement (voir chapitres 7.3 et 9.3).
- Pour la certification, il convient alors d'appliquer les coefficients d'augmentation suivants  $\varphi_{RI}$  :

$$\min \varphi_{RI,x/y/z} = 0,8 \quad \text{et} \quad \max \varphi_{RI,x/y/z} = 1,2$$

- Les valeurs limites supérieures indiquées au chapitre 9 pour les effets statiques en tant que forces de levage limites des aimants de levage et de guidage doivent être utilisées. À cet égard, les augmentations max  $\varphi_{RI,x/y/z}$  sont déjà respectées.

**Excitation des formes particulières par la régulation magnétique**

- (1) En marche au ralenti et en sustentation stationnaire notamment, les formes particulières des éléments de la voie peuvent être excités par des forces magnétiques variables résultant de la régulation de l'entrefer. Les contraintes et les déformations résultant de ces excitations doivent faire l'objet d'une certification.
- (2) La nature / méthode de la certification doit être convenue avec les autorités de surveillance compétentes.
- (3) *Les possibilités de certification sont les suivantes :*
  - *Certification théorique par des calculs dynamiques FEM, par exemple par analyse de réponse de fréquence ; (les forces d'excitation et les plages de fréquences associées doivent être déterminées à cette fin en accord avec les autorités de surveillance compétentes et en fonction du projet.)*
  - *Dans la mesure où aucune valeur n'est fixée avec les autorités de surveillance compétentes en fonction du projet, il est possible d'utiliser, pour évaluer les augmentations dynamiques, les forces d'excitation comme forces à variation harmonique dans les fréquences propres du support avec des amplitudes de force maximales de  $\Delta p_z = \Delta p_y = \pm 1 \text{ kN/m}$ . À cet égard, la plage de fréquences allant de 0 à 30 Hz est déterminante.*
  - *Mesure des déformations dynamiques et des contraintes d'un prototype de support avec vérification simultanée du comportement du système.*
  - *Essai des éléments de la voie en banc d'essai.*
- (4) En plus d'une démonstration mathématique, une qualification des structures de la voie par un essai technique du comportement dynamique et une mesure des contraintes dynamiques en circulation au ralenti et en sustentation stationnaire est requise.

**Augmentations dynamiques résultant des conditions de roulage****Calcul mathématique des contraintes dynamiques**

- (1) Pour le calcul mathématique des contraintes dynamiques à démontrer, il convient d'utiliser les schémas de charge du chapitre 0. En outre, les facteurs d'influence et les mécanismes d'excitation décrits ci-dessus doivent être pris en compte.
- (2) Les modèles pour les structures de voie doivent être choisis de manière à ce que la géométrie, la rigidité, les conditions de positionnement et les répartitions de masses, ainsi que les caractéristiques dynamiques (fréquences propres, formes particulières, atténuation) soient configurées de façon suffisamment proche de la réalité. À cet égard, les structures doivent être configurées au moyen de méthodes adéquates, comme par exemple la méthode des éléments finis. Les paramètres des supports de voie doivent varier dans leur largeur de bande globale (ou spécifique au projet). L'atténuation doit être évaluée de façon conservative selon le chapitre 0. Si nécessaire, il convient également d'inclure l'influence des infrastructures de la voie et la fondation de la voie lors du calcul des contraintes dynamiques. L'analyse de la réaction globale des supports de voie peut en général se faire avec des modèles de poutres.
- (3) L'illustration de l'excitation périodique résultant de la formation encoches – dents du stator long peut se faire au moyen d'une transmission de forces accrue (réduite) des forces magnétiques pour une correspondance de position avec les dents (encoches) du stator long. À cet égard, il convient de supposer du point de vue de la sécurité que la transmission totale des forces a lieu par l'intermédiaire des « dents » du stator long.
- (4) Les effets générés par la rame doivent illustrer de façon suffisamment précise les caractéristiques de la rame (par exemple géométrie des aimants de levage / de guidage). Les mécanismes d'excitation déterminants doivent notamment être couverts par ces hypothèses.
- (5) *Si les fréquences propres de la voie sont connues, il est possible de déterminer, à l'aide de l'équation (1), les vitesses de déplacement auxquelles une excitation résonante de la structure de la voie est prévisible.*

- (6) Afin de tenir compte des augmentations dynamiques résultant de la régulation magnétique à de faibles vitesses de déplacement et en sustentation stationnaire, les indications du chapitre 0 doivent être respectées.
- (7) Si des modèles sont utilisés pour les autres effets dynamiques (par exemple vent, séisme), ils doivent refléter de façon aussi précise que possible l'ampleur, la position, la direction et le cours de la variation locale et dans le temps, la fréquence de répétition et les fréquences d'activation des différents éléments de l'effet.
- (8) Pour la réalisation du calcul de simulation dynamique, il convient de choisir une procédure d'intégration temporelle qui garantit une qualité de résultat suffisante. L'étendue de la durée doit être choisie de façon suffisamment précise.
- (9) Les calculs de simulation doivent être réalisés jusqu'à la vitesse de conception maximale pour un nombre suffisant de vitesses (par exemple avec une grille de vitesse de  $\Delta v_{Fzg} = 1$  m/s). Il convient notamment d'analyser les plages de vitesse auxquelles les fréquences d'excitation de la rame coïncident avec les fréquences propres de la voie. À cet égard, la prolongation de la période du procédé d'intégration temporelle choisi doit être prise en compte lors du calcul de la vitesse de résonance.

## Calcul des contraintes dynamiques à l'aide des coefficients d'oscillation

### Généralités

- (1) *En général, l'impact des effets non stationnaires sur la voie peut être déterminé au moyen de preuves quasi statiques, dans la mesure où les effets sont multipliés avec les coefficients d'oscillation  $\varphi$ .*
- (2) *Les coefficients d'oscillation doivent couvrir à cet égard les principaux effets de l'excitation en fonction de l'atténuation.*
- (3) *Les augmentations dynamiques peuvent en général être calculées par des coefficients d'oscillation globaux  $\varphi_{Bg}$  et des coefficients d'oscillation locaux  $\varphi_{Bl}$  :*
  - *Les coefficients d'oscillation globaux  $\varphi_{Bg}$  se rapportent à cet égard aux contraintes dans le sens de support principal (sens x, y et z) du support de voie et doivent également être pris en compte lors de la configuration des infrastructures.*
  - *À proximité immédiate des interfaces entre la rame et la voie, il en découle en général, en fonction des conditions de construction locales (conditions de rigidité et d'atténuation) et des schémas de charge des effets à prendre en compte (géométrie et fréquence), des augmentations dynamiques localement plus élevées, dont il faut tenir compte au moyen de coefficients d'oscillation locaux  $\varphi_{Bl}$ . Les coefficients d'oscillation locaux doivent donc par exemple être pris en compte dans la zone du bras en porte-à-faux des supports de voie discrets et au niveau des éléments de voie courts, comme par exemple les dalles de voie.*
- (4) *La variation dans le temps des forces magnétiques est prise en compte par les coefficients d'oscillation locaux indiqués au chapitre 0.*
- (5) *Du point de vue de l'utilisabilité de la voie, il convient de viser un coefficient d'oscillation maximal de 1,5 comme limite supérieure pour l'augmentation dynamique des contraintes.*
- (6) *Les coefficients d'oscillation peuvent être calculés de façon mathématique ou expérimentale en tenant compte des indications données dans les sections suivantes.*

### Coefficients d'oscillation calculés selon une méthode mathématique

- (1) *Il est possible de déduire les coefficients d'oscillation dépendant de la construction à partir des contraintes dynamiques déterminées mathématiquement. Ces coefficients peuvent être utilisés pour le dimensionnement des éléments de la voie lorsque les hypothèses sont confirmées par les autorités de*

surveillance compétentes. Les indications concernant le calcul mathématique des contraintes dynamiques (consignes et conditions générales) sont regroupées à cet effet dans le chapitre 0.

- (2) Pour les systèmes de poutres à travée simple avec des largeurs d'appui types, des schémas de dimensionnement indépendants de la construction sont par exemple donnés à l'annexe II-B pour le coefficient d'oscillation global  $\varphi_{Bg,z}$  pour les effets dans le sens vertical, en fonction de l'atténuation selon le tableau 1 et de la longueur de la rame (2, 4, 6 et 10 voitures) ; les limites d'application de ces schémas y sont expliquées. Dès lors que l'on ne dispose pas de connaissances plus précises, il convient de ne pas utiliser pour les effets horizontaux et pour les moments de torsion actifs des coefficients d'oscillation inférieurs à  $\varphi_{Bg,z}$  et  $\varphi_{Bg,z,WSE}$ , conformément à l'annexe II-B.
- (3) Dès lors que l'on ne dispose pas de connaissances plus précises ou qu'il n'existe pas d'analyses mathématiques spécifiques, il convient de ne pas utiliser pour les systèmes de poutres à deux travées ayant des largeurs d'appui identiques des coefficients d'oscillation inférieurs à ceux utilisés pour les systèmes de poutres à travée simple.

### **Coefficients d'oscillation certifiés par des essais techniques**

- (1) L'utilisation de coefficients d'oscillation calculés et certifiés par des essais techniques est autorisée lorsque les conditions générales suivantes sont remplies :
  - La construction des supports de voie à certifier est similaire aux constructions de voie déjà éprouvées (rigidité, répartition des masses, largeurs d'appui, systèmes de positionnement).
  - Les conditions générales opérationnelles de la certification par essai technique (géométrie et équipement de la rame et paramètres de fonctionnement et de tracé) couvrent les exigences spécifiques au projet.
  - Les vitesses de déplacement découlant de l'équation (1), pour lesquelles une excitation résonante de la structure de la voie est prévisible, sont couvertes par les essais.
- (2) Le niveau de connaissance actuel concernant les coefficients d'oscillation certifiés par essai technique et les conditions générales associées peut être demandé auprès des autorités de surveillance compétentes.

### **Limitation des augmentations dynamiques**

- (1) La réponse dynamique de la voie doit être limitée par des mesures adaptées, comme par exemple l'augmentation de l'atténuation (par exemple utilisation d'amortisseurs d'oscillations), si :
  - les déformations admises selon le paragraphe 10.3 sont dépassées,
  - la durée d'utilisation requise suite à l'augmentation dynamique des contraintes ne peut être atteinte, et / ou
  - le comportement du système couplé rame / voie n'est pas compatible avec le système.

## Valeurs caractéristiques des effets

# Effets permanents

### Charges propres (G1)

- (1) Les charges propres des éléments de construction doivent être déterminées conformément aux normes et prescriptions correspondantes.
- (2) Pour les composants de l'équipement spécifiques au train à sustentation magnétique, les valeurs suivantes sont utilisées :
  - Stator long, y compris enroulement moteur, mise à la terre et fixation : 1,4 kN/m<sup>17)</sup>
  - Rails de guidage latéraux, glissières : <sup>18)</sup>
  - Éléments de construction de l'approvisionnement externe en énergie de bord, fixation comprise : 0,25 kN/m
  - Supplément pour les autres éléments de l'ouvrage : 0,10 kN/m
- (3) Les effets susmentionnés résultant des différents composants de l'équipement de voie spécifique au train à sustentation magnétique doivent être démontrés par des mesures de poids.

### Précontraintes / contraintes prévues (G2)

- (4) *La précontrainte des structures porteuses en béton précontraint est un effet permanent. Pour des raisons pratiques, elle peut cependant être considérée autrement (voir EN 1992). La contrainte au sens de G2 peut par exemple être une déformation du support forcée par le poids propre ou la précontrainte contre un appui.*
- (5) *La précontrainte peut être produite par des éléments de précontrainte, des haubans (par exemple pour les dalles de voie), la modification des conditions de positionnement, une surcharge ou d'autres mesures.*
- (6) La précontrainte et la contrainte prévues doivent être prises en compte.

### Fluage et retrait du béton (G3)

- (7) Le fluage et la relaxation dépendent des effets et doivent donc être affectés dans les combinaisons d'effets actives.
- (8) Les effets du fluage et du retrait peuvent être pris en compte si les contraintes deviennent plus favorables. Ils doivent être pris en compte lorsque les contraintes deviennent plus défavorables sous leur impact.

### Forces de pression de l'eau permanentes (G4)

- (9) Les effets de la pression permanente de l'eau doivent être pris en compte selon les prescriptions et les normes correspondantes.

---

<sup>17)</sup> par côté du support de voie

<sup>18)</sup> Les charges propres des rails de guidage latéraux et des glissières doivent être calculées conformément aux exigences générales (dimensions et matériaux) du document /MSB AG-FW ALLG/, en tenant compte de la configuration de construction correspondante.

**Mouvements probables du terrain de fondation (G5)****Superstructures de la voie**

- (1) Les valeurs à utiliser pour le dimensionnement des superstructures de la voie concernant les mouvements probables du terrain de fondation correspondent aux valeurs limites des déformations admises des infrastructures de la voie (voir chapitre 0). Ces valeurs doivent être utilisées dans la situation la plus défavorable correspondante.
- (2) Au cas par cas (par exemple pour les systèmes de passage avec des largeurs d'appui courtes), il est toutefois possible de réduire les mouvements probables du terrain de fondation à appliquer en accord avec les autorités de surveillance compétentes et si la compatibilité avec la rame est démontrée. À cet égard, il convient de veiller par des opérations de maintenance à ce que la voie soit réajustée avant le dépassement des valeurs réduites.
- (3) Avant d'atteindre la valeur limite du système de tassement (déterminée dans le certificat d'utilisabilité), les paliers doivent être réajustés. Si cette valeur limite du système est utilisée comme mouvement probable du terrain de fondation, la valeur  $\gamma_Q = 1,0$  peut être utilisée pour les superstructures de la voie (voir également la norme ENV 1991-3: C2.3).

**Infrastructures de la voie**

- (10) Les infrastructures de la voie doivent être conçues de manière à ce que les mouvements probables du terrain de fondation puissent être compensés dans tous les cas par un réajustement des appuis (voir également le document /MSB AG-FW ÜBG/, chapitre 10.2.2).
- (11) Les positions des appuis après le réajustement des appuis doivent être prises en compte lors de la certification de la voie (points d'application des forces d'appui).

**Poussée de terre (G6)**

- (12) La poussée de terre doit être déterminée et certifiée selon les règles techniques généralement reconnues.

## Effets variables

### Effets variables générés par la rame

#### Système de coordonnées des effets

- Les effets suivants se rapportent aux systèmes de coordonnées cartésiens représentés dans la Figure 126.
- À cet effet, voir également les documents /MSB AG-FW TRAS/, /MSB AG-FW VERM/.

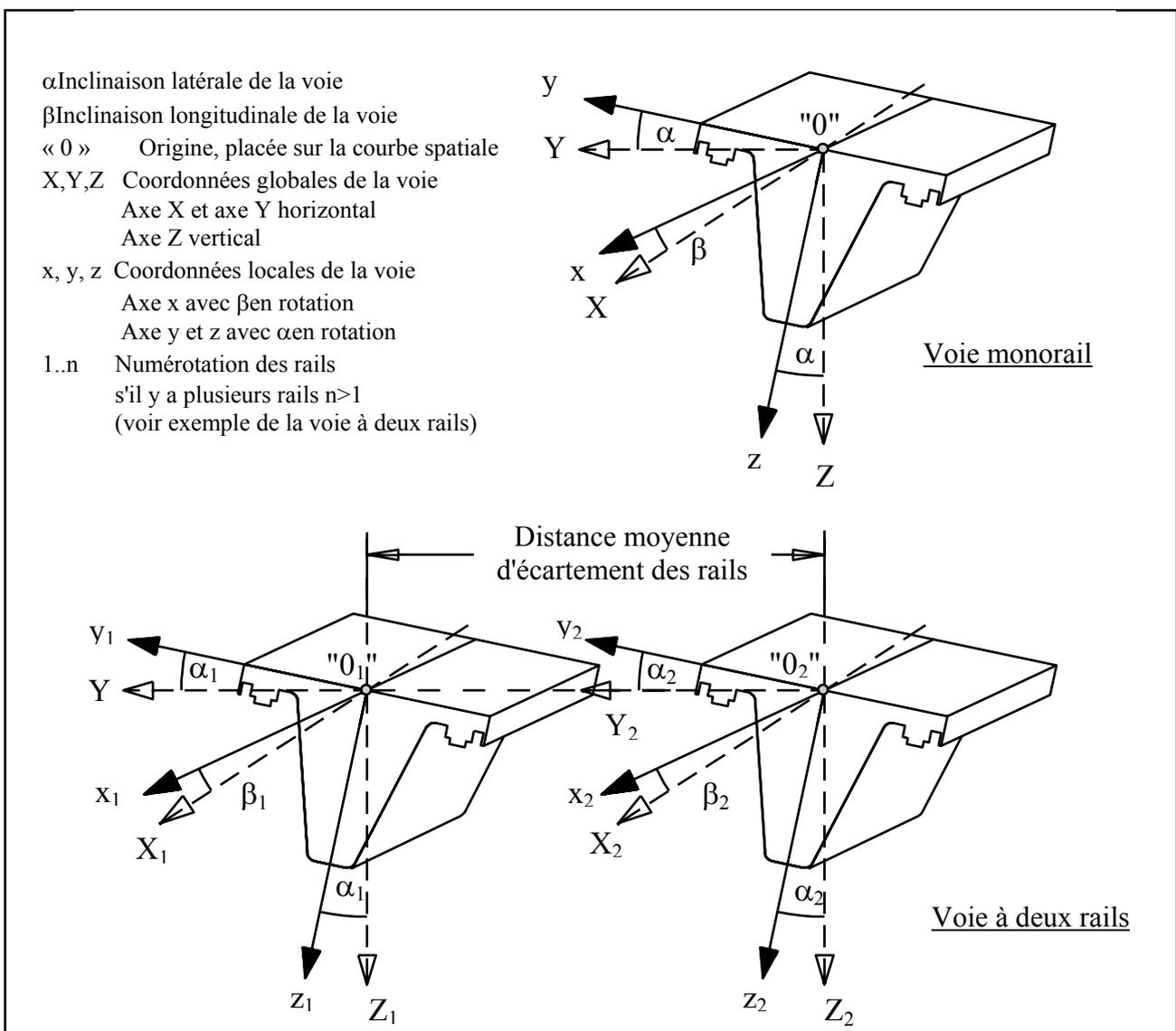


Figure 126 - Systèmes de coordonnées des effets

**Poids de la rame (poids propre et charge d'exploitation) (Q1, Q2)**

- (13) En tant qu'effet statique résultant du poids de la rame (poids propre de la rame et charge d'exploitation), il convient d'utiliser pour le dimensionnement de la voie les forces d'inertie  $\bar{p}_z$  selon le Tableau 100, conformément au document /MSB AG-GESAMTSYS/.
- (14) On calcule la moyenne des charges linéaires indiquées pour le poids de la rame sur la longueur occupée par l'aimant de levage  $L_{TM-B}$  (voir Figure 122). Pour le dimensionnement de la voie, il convient de déterminer, à partir de ces charges linéaires moyennes et en application des équations et des tableaux des chapitres suivants, les effets locaux sur la longueur de la rame.
- (15) Une possible répartition inégale des charges d'exploitation dans les sens x et y (Q3, Q4) doit être prise en compte conformément aux chapitres 0 et 0.
- (16) *L'application des charges linéaires moyennes ou de simplifications spécifiques des schémas de charge ci-après est admise, s'il est certifié que les contraintes déterminées sont conformes du point de vue de la sécurité après la simplification.*

Désignation	Charge linéaire statique moyenne [kN/m]	Fréquence *
Poids propre de la rame EG (poids minimal de la rame)	$\bar{p}_{z, EG} = 21,0$ **	-
Poids moyen de la rame MG (avec une charge normale)	$\bar{p}_{z, MG} = 26,0$ ***	80 %
Poids de la rame autorisé ZG (avec charge maximale)	$\bar{p}_{z, ZG} = 29,0$ ***	20 %
Poids maximal de la rame HG (par exemple en cas d'incendie, évacuation d'une voiture) ****	$\bar{p}_{z, HG} = 31,0$	-
<b>Remarques</b>		

*	Les fréquences indiquées doivent être vérifiées et adaptées le cas échéant pour chaque projet.
**	En fonction du projet, en cas d'utilisation de rames plus légères, une charge linéaire réduite peut être déterminée pour le poids propre de la rame (par exemple rame de fret légère avec $\bar{p}_{z, EG} = 19,0$ kN/m).
***	Pour le certificat relatif à la fatigue, il est possible d'utiliser plus simplement, à la place des effets résultant du poids moyen de la rame MG (80 %) et du poids de la rame autorisé ZG (20 %), un poids de la rame $MG^* = \bar{p}_{z, MG^*} = 26,7$ kN/m (100 %).
****	La classification du poids maximal de la rame HG comme effet fréquent, peu fréquent ou exceptionnel doit être déterminée en fonction du projet. En général, le poids maximal de la rame est considéré comme un effet exceptionnel.

**Tableau 100 - Effets statiques moyens types résultant du poids de la rame**

**Centre de gravité de la rame****Position du centre de gravité de la rame dans le sens x (Q3)**

- (17) *Le centre de gravité du poids de la rame peut se déplacer sous l'effet d'une répartition inégale de la charge d'exploitation et du poids propre de la rame dans le sens x (Q3). Cette répartition inégale est répercutée sur la structure de la rame (par exemple répartition des charges sur les systèmes de suspension pneumatique) au niveau des aimants de levage et de guidage et est prise en compte dans les tableaux d'effets suivants (par exemple Tableau 105).*
- (18) Pour les rames de transport de fret, il convient de veiller à ce que, au moyen de consignes de chargement spécifiques au projet, un chargement inégal dans le sens x n'entraîne pas de répartitions défavorables des charges, comme indiqué dans le Tableau 105.

**Position du centre de gravité de la rame dans le sens y (Q4)**

- (19) *Le centre de gravité du poids de la rame peut se déplacer sous l'effet d'une répartition inégale de la charge d'exploitation dans le sens y (Q4). Toutefois, ce déplacement du centre de gravité est négligeable, en supposant que les charges linéaires sont celles indiquées dans le Tableau 100.*
- (20) Pour les rames de transport de fret, l'opérateur doit veiller à ce qu'aucun chargement inégal n'ait lieu dans le sens y, au moyen de consignes de chargement spécifiques au projet.

**Position du centre de gravité de la rame dans le sens z**

- La position la plus élevée du centre de gravité de la rame sur le plan de la glissière est la suivante :
  - avec le poids minimal de la rame  $s_{z,EG} = - 600 \text{ mm} ;$
  - avec le poids moyen de la rame  $s_{z,MG} = - 700 \text{ mm} ;$
  - avec le poids de la rame autorisé  $s_{z,ZG} = - 850 \text{ mm} ;$
  - avec le poids maximal de la rame  $s_{z,HG} = - 950 \text{ mm}.$

Ces positions du centre de gravité doivent être prises en compte pour les forces d'inertie dans le sens x et le sens y.

## Effets variables fréquents (Q1...Q10)

## Généralités

- Le lien entre les paramètres de tracé, la vitesse de déplacement et les accélérations est défini par les rapports suivants :

- Accélération  $a_x(x)$  dans le sens  $x$  résultant du démarrage et du freinage

$$|a_x(x)| \leq 1,5 \text{ m/s}^2 \quad (2)$$

- Accélération latérale libre  $a_y(x)$  dans le sens  $y$

$$a_y(x) = \frac{v(x)^2}{|R_H(x)|} \cdot \cos \alpha(x) \cdot \cos^2 \beta(x) - \left( g \cdot \cos \beta(x) + \frac{v(x)^2}{-R_{V,K/W}(x)} \right) \cdot \sin \alpha(x) \quad (3)$$

- Accélération normale  $a_z(x)$  dans le sens  $z$

$$a_z(x) = \frac{v(x)^2}{|R_H(x)|} \cdot \sin \alpha(x) \cdot \cos^2 \beta(x) + \left( g \cdot \cos \beta(x) + \frac{v(x)^2}{-R_{V,K/W}(x)} \right) \cdot \cos \alpha(x) \quad (4)$$

où :

$a_x(x)$ , $a_y(x)$ , $a_z(x)$	[m/s <sup>2</sup> ]	accélérations en fonction du lieu, agissant dans le sens des axes de coordonnées locaux ;
$v(x)$	[m/s]	vitesse de déplacement en fonction du lieu ;
$R_H(x)$	[m]	rayon horizontal de la courbe spatiale en fonction du lieu en projection horizontale ;
$R_V(x)$	[m]	rayon vertical de la courbe spatiale en fonction du lieu dans la pente avec  $R_{V,K}$ : sommet (+) et $R_{V,W}$ : point bas (-) ;
$\alpha(x)$	[°]	angle de rotation de la voie autour de l'axe $x$ en fonction du lieu (inclinaison latérale de la voie) ;
$\beta(x)$	[°]	angle de rotation de la voie autour de l'axe $y$ en fonction du lieu (inclinaison longitudinale de la voie) ;

- Le rapport entre les effets  $F$ , les accélérations  $a$  et la masse de la rame  $m$  est donné par la loi de Newton :

$$F = m \cdot a \quad (5)$$

- Le rapport entre les accélérations et les paramètres de tracé est représenté dans la Figure 127. La possibilité de superposition d'éléments de tracé est limitée par le critère  $R_{x,y}$  indiqué dans le document /MSB AG-FW TRAS/. Les valeurs limites des combinaisons possibles sont regroupées à l'annexe II-C.
- Les effets maximums possibles sur la voie sont déterminés par la limitation des accélérations autorisées selon le chapitre 0. En fonction du projet, les valeurs d'accélération peuvent diverger vers le bas (limitation des accélérations autorisées).
- Les équations ( 3 ) et ( 4 ) s'appliquent également à une rame à l'arrêt.

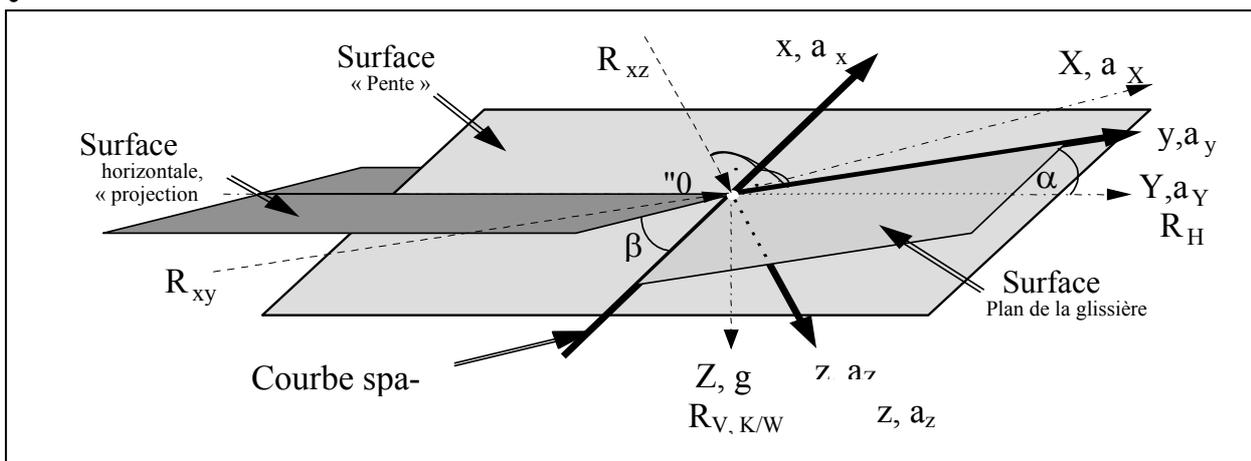


Figure 127 - Rapport entre accélérations et paramètres de tracé

### Effets résultant du freinage et de l'accélération (Q1/Q2)

- (21) La force de poussée installée dans chaque tronçon de voie respectif et la force longitudinale maximale admise qui en résulte  $\max. a_x$  conformément au Tableau 91 doivent être appliquées en tant qu'effet variable fréquent dans le sens x.
- (22) La force dans le sens x dépend du lieu et tient compte des tronçons d'accélération (démarrage et freinage), des tronçons récurrents, des montées, des descentes et de la traînée aérodynamique (vent contraire compris).
- (23) En tant que force limite dans le sens x dans les situations de dimensionnement fréquentes, il convient de tenir compte d'une force de 110 kN par voiture intermédiaire par rapport au poids de la rame autorisé (voir également le Tableau 101, ligne 3).
- (24) Les effets à prendre en compte résultant de la propulsion (freinage / accélération) pour  $\max a_x = 1,5 \text{ m/s}^2$  figurent dans le Tableau 101 pour les différents poids de la rame.

Effets statiques $\max p_{x, \text{Schub}}$ dans les situations de dimensionnement fréquentes résultant du :		
1	poids minimal de la rame	$\max p_{x, Q1/Q2, EG} = \bar{p}_{Z, EG} / g \cdot \max a_x = 3,2 \text{ kN/m}$
2	poids moyen de la rame	$\max p_{x, Q1/Q2, MG} = \bar{p}_{Z, MG} / g \cdot \max a_x = 4,0 \text{ kN/m}$
3	poids de la rame autorisé	$\max p_{x, Q1/Q2, ZG} = \bar{p}_{Z, ZG} / g \cdot \max a_x = 4,5 \text{ kN/m}$ (valeur limite)

4	poids maximal de la rame	$\max p_{x,Q1/Q2,HG} = \max p_{x,Q1/Q2,ZG} = 4,5 \text{ kN/m}$ (valeur limite)
---	--------------------------	--

**Tableau 101 - Forces maximales dans le sens x résultant de la propulsion et du freinage**

(25) Il convient d'utiliser l'effet  $p_{x,Q1/Q2}$  selon le point ( 6) comme valeur de dimensionnement.

$$p_{x,Q1/Q2} = \max p_{x,Q1/Q2} \quad (6)$$

(26) Dans la zone en dehors du changement de section motrice, on utilise :

$$p_{x,links} = p_{x,rechts} = 0,5 \cdot p_x \quad (7)$$

(27) Dans le cas du procédé en marche alternée (WSV), 73 % de la force de freinage ou de propulsion installée ou de la force limite susmentionnée doivent être soustraits sur un côté du support dans la zone de changement de section motrice. Pour ces zones, on utilise :

$$p_{x,links} = 0 \quad \text{et} \quad p_{x,rechts} = 0,73 \cdot p_x \quad (8)$$

$$\text{ou} \quad p_{x,links} = 0,73 \cdot p_x \quad \text{et} \quad p_{x,rechts} = 0 \quad (9)$$

(28) L'écartement du centre de gravité dans le sens z provoque un moment autour de l'axe y (moment de tangage) lors du freinage et de l'accélération, qui entraîne une charge dans le sens z (voir chapitre 0).

(29) L'introduction unilatérale des effets selon l'équation ( 8) et ( 9) entraîne des effets supplémentaires sur les rails de guidage latéraux. Les forces des éléments magnétiques correspondantes doivent être prises en compte conformément au chapitre 0.

(30) La dynamique de l'élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte.

**Effets dans le sens y**

**Généralités**

(31) Les points d'application des forces de l'aimant de guidage doivent être déduits de la description de l'interface du chapitre 0 (Figure 123) et des schémas de charge du chapitre 0.

**Précontrainte de l'aimant de guidage**

- (1) Des forces magnétiques de guidage (forces de traction) sont transmises des deux côtés de la voie par l'interface aimants de guidage – rails de guidage latéraux pour le système de guidage (« précontrainte de l'aimant de guidage »). En tant que forces « internes », elles ne produisent aucune force de réaction dans les paliers des supports et agissent comme une force de précontrainte. La précontrainte maximale de l'aimant de guidage s'applique avec  $p_{y,Vor} = 3,6 \text{ kN/m}$ .
- (2) La précontrainte latérale doit être superposée aux autres effets dans le sens y. Le procédé de superposition est représenté dans la Figure 128.
- (3) La dynamique de l'élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte.

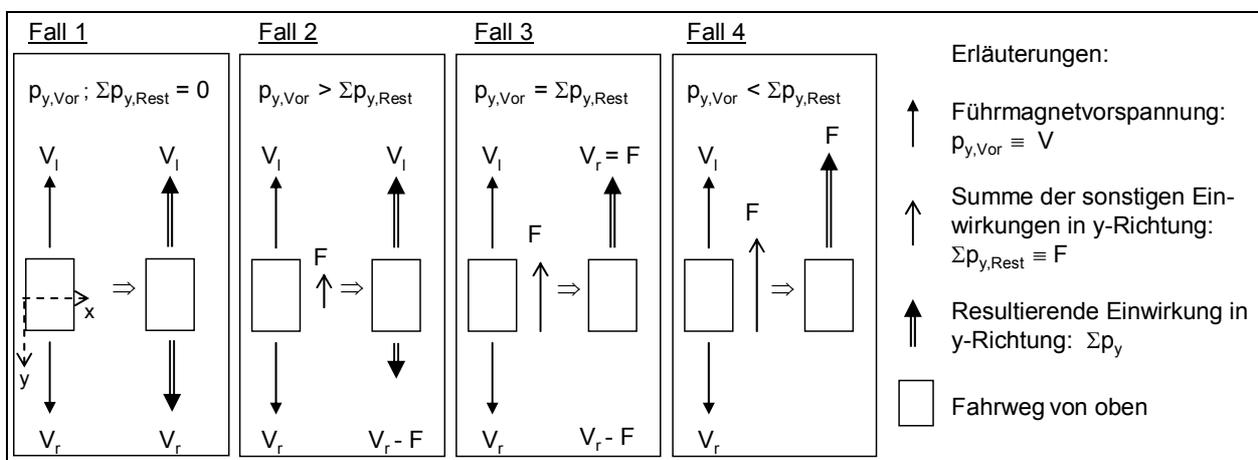


Figure 128 - Superpositions avec la précontrainte de l'aimant de guidage

Cas 1Cas 2Cas 3Cas 4

Explications :

Précontrainte de l'aimant de guidage

Somme des autres effets dans le sens y

Effet résultant dans le sens y

Voie vue du dessus

**Accélération latérale libre (Q1, Q2)**

- (32) En tant qu'effet variable supplémentaire dans le sens y généré par la rame, on applique l'accélération latérale libre  $a_y$  (force centrifuge), conformément à l'équation ( 3) et l'équation ( 5).
- (33) Les effets statiques à appliquer doivent être calculés pour les éléments magnétiques individuels de guidage  $FMT_i$  à partir de l'équation ( 10).
- (34) La dynamique de l'élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte.
- (35) La répartition des forces magnétiques de guidage sur la longueur de la rame en fonction de l'affectation des aimants de guidage (voir Figure 123) figure en pourcentage par les facteurs  $k_{y,ay,i}$  dans le Tableau 102.

$$P_{y,ay,FMT_i,EG/MG/ZG/HG} = \bar{p}_{Z,EG/MG/ZG/HG} \cdot \frac{L_{ES/MS}}{L_{FMT}} \cdot \frac{a_y}{g} \cdot \frac{k_{y,ay,i}}{100} \quad \text{en [kN/m]} \quad (10)$$

- (36) Sous l'effet de l'écartement du centre de gravité  $s_z$  de la rame (voir chapitre 0) et de la force centrifuge  $p_{y,ay}$ , un couple de section apparaît autour de l'axe x, qui est redirigé dans la voie par l'intermédiaire des aimants de levage. Les effets résultant de l'accélération latérale libre  $\pm p_{z,ay,FMT_i}$  doivent être calculés à l'aide de l'équation ( 11) et Tableau 102, où  $z_{FM} = 0,17$  m pour les différents éléments magnétiques de levage  $TMT_i$ .

$$\pm P_{z,ay,TMT_i,EG/MG/ZG/HG} = \bar{p}_{Z,EG/MG/ZG/HG} \cdot \frac{L_{ES/MS}}{L_{TMT_i}} \cdot \frac{a_y}{g} \cdot \frac{\pm k_{z,ay,i}}{100} \cdot \frac{(|s_z| + z_{FM})}{e_{y,TM}} \quad \text{en [kN/m]} \quad (11)$$

FMT <sub>i</sub> TMT <sub>i</sub>	Voitures d'extrémité															
	(1) *	2	3	4	5	6	7	BM	10	11	12	13	14	15	16	
$k_{y,ay,i}$ [%]	-	7	7	8	7	8	11	-	-	11	8	7	9	8	5	4
$k_{z,ay,i}$ [%]	5	10	6	6	6	6	7	9	8	6	6	6	6	5	7	7
FMT <sub>i</sub> TMT <sub>i</sub>	Voitures intermédiaires															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	10	11	12	13	14	15	16	
$k_{y,ay,i}$ [%]	4	5	7	8	7	8	11	-	-	11	8	7	8	7	5	4
$k_{z,ay,i}$ [%]	7	7	5	6	5	5	7	8	8	7	5	5	6	5	7	7

\*  $TMT_1$  est exprimé comme exécution type du prolongement de  $TMT_2$  (cf. Figure 122).

**Tableau 102 - Répartition type des forces magnétiques issues de  $a_y$  sur la longueur de la rame**

**Efforts latéraux générés par la dynamique de guidage (Q5)**

- (1) Les efforts dynamiques latéraux SK permettant de tenir compte de la dynamique de guidage sur la base des tolérances globales pour la voie des rails de guidage latéraux sont appliqués conformément à la formule ci-dessous :

$$\pm p_{y,SK} = \pm \left( 1 + \frac{v_{Fzg} \text{ [km/h]}}{500 \text{ [km/h]}} \right) \quad \text{en [kN/m]} \quad (12)$$

- (2) Lorsque la rame est abaissée avec  $v_{Fzg} = 0$ , il convient d'estimer que  $p_{y,SK} = 0$ .
- (3) *L'effet  $p_{y,SK}$  est une action dynamique et contient par conséquent la dynamique globale de l'élément de construction.*
- (1) La dynamique locale d'un élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte.

**Réactions pour les petits rayons horizontaux  $R_H$  (Q6)**

- (1) Pour les petits rayons horizontaux, les effets divers dans le sens y résultant des actions locales des aimants de guidage, déterminées par la géométrie de la rame, doivent être superposés.
- (2) Les réactions caractéristiques à appliquer pour le rayon horizontal pertinent figurent dans le Tableau 103. En complément, la répartition des effets est représentée dans la Figure 129.
- (3) La dynamique de l'élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte.

$p_{y,ZWG,i}$ [kN/m]	Voitures d'extrémité		Voitures intermédiaires	
	$R_H = 350$ m	$R_H = 1000$ m	$R_H = 350$ m	$R_H = 1000$ m
$p_{y,ZWG,1}$	-	-	18,0	7
$p_{y,ZWG,2}$	21,0	7	0	0
$p_{y,ZWG,3}$	0	0	0	0
$p_{y,ZWG,4}$	1,0	0	6,0	0
$p_{y,ZWG,5}$	2,0	0	1,0	0
$p_{y,ZWG,6}$	-4,5	0	-5	-1
$p_{y,ZWG,7}$	-21,0	-7	-21,0	-6
BM	-	-	-	-
$p_{y,ZWG,10}$	-21,0	-7	-21,0	-6
$p_{y,ZWG,11}$	-4,5	0	-5	-1
$p_{y,ZWG,12}$	1,0	0	1,0	0
$p_{y,ZWG,13}$	7,0	0	6,0	0
$p_{y,ZWG,14}$	0	0	0	0
$p_{y,ZWG,15}$	1,0	0	1,0	0
$p_{y,ZWG,16}$	18,0	7	18,0	7

Les valeurs intermédiaires peuvent être interpolées ou extrapolées de façon linéaire.

Tableau 103 - Réactions types  $p_{y,zWG,i}$  pour les petits rayons horizontaux

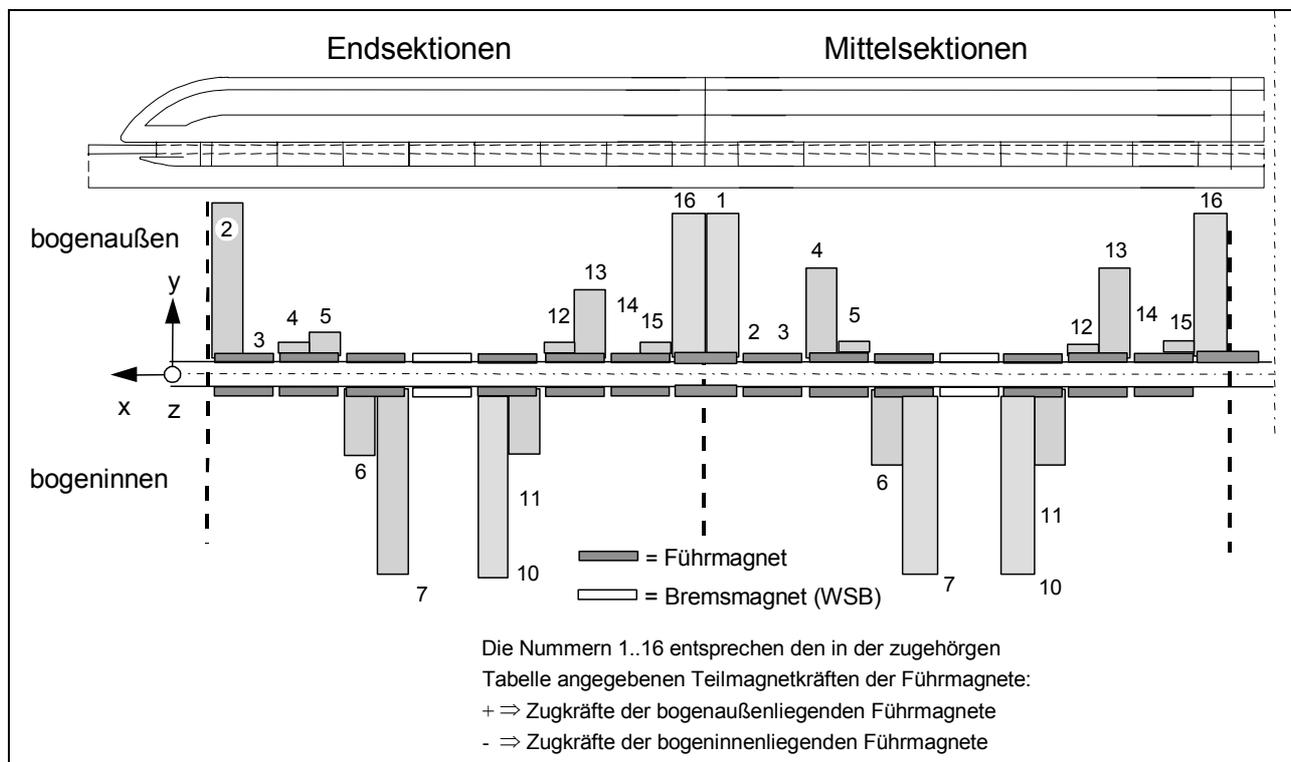


Figure 129 - Répartition type des réactions pour les rayons horizontaux étroits  $R_H$

Voitures d'extrémité

Voitures intermédiaires

Extérieur de l'arc

Intérieur de l'arc

Aimant de guidage

Aimant de freinage (WSB)

Les numéros 1..16 correspondent aux forces des éléments magnétiques des aimants de guidage indiquées dans les tableaux afférents :

- + Forces de traction des aimants de guidage placés à l'extérieur de l'arc
- Forces de traction des aimants de guidage placés à l'intérieur de l'arc

**Forces des aimants de guidage résultant d'une propulsion unilatérale**

- Le couple autour de l'axe des z induit par une propulsion unilatérale (par exemple conformément au chapitre 0 procédé en marche alterné) est transmis à la voie via les aimants de guidage.
- Les effets à appliquer doivent être déterminés conformément à la formule ( 13) et au Tableau 104 pour les aimants de guidage représentés sur la figure Figure 121 ; dans ce cadre, l'accélération constatée au point (x) de la voie vorh.  $a_{x,WSV}$  doit être utilisée.

$$p_{y,a_{x,WSV},FMT_i,EG/MG/ZG/HG} = \frac{vorh a_{x,WSV}(x)}{0,73 \cdot a_{x,max}} \cdot \frac{\bar{p}_{Z,EG/MG/ZG/HG}}{\bar{p}_{Z,ZG}} \cdot p_{y,a_{x,WSV},i,ZG} \quad (13)$$

en [kN/m]

Où  $\max a_x = + 1,5 \text{ m/s}^2$  ou  $- 1,5 \text{ m/s}^2$ ,  $a_{x,WSV} (x) \leq 0,73 \cdot \max a_x$

et  $p_{y,axWSV,i,ZG}$  est conforme au Tableau 104 ;

- Suite à l'accouplement mécanique des aimants, les forces des aimants de guidage peuvent s'appliquer simultanément sur le côté droit (r) et gauche (l) du support, sous la forme de forces de traction (cf. Figure 130).
- La dynamique de l'élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte.

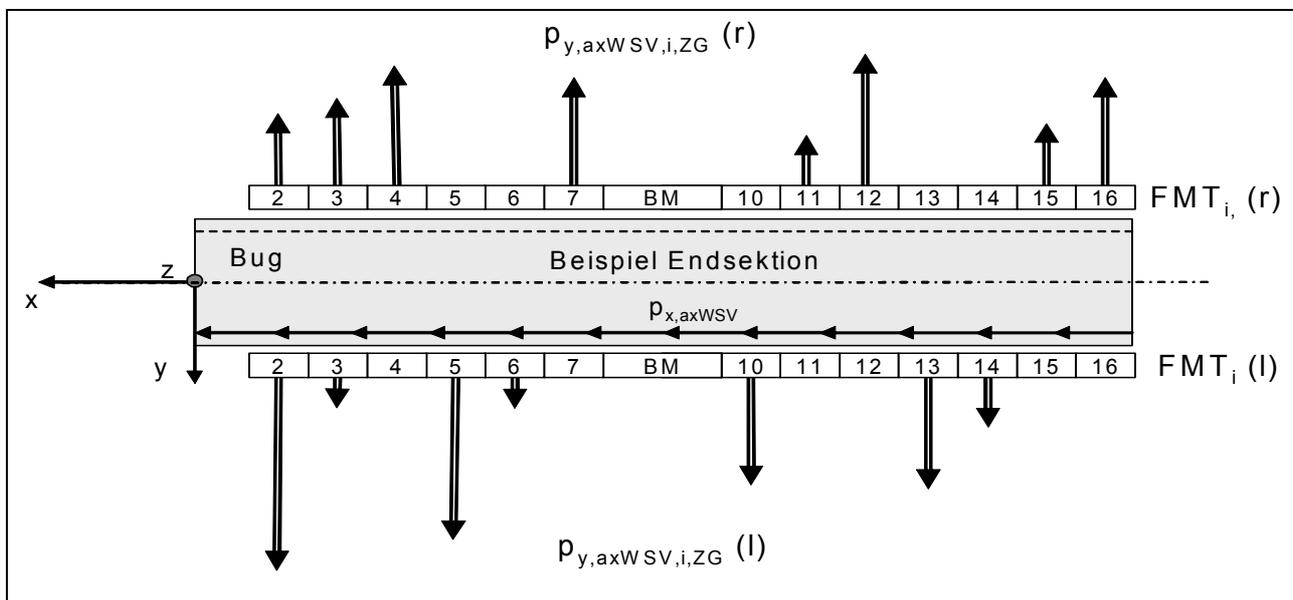


Figure 130 - Répartition type des forces des aimants de guidage pour  $a_{x,WSV}$

Exemple voiture d'extrémité

FMT <sub>i</sub> en [kN/m]	Voitures d'extrémité															
	-	2	3	4	5	6	7	BM	10	11	12	13	14	15	16	
$p_{y,axWSV,i,ZG} (r)$	-	2,2	3,7	4,7	0	0	4,5	-	-	0	1,1	5,6	0	0	1,4	4,4
$p_{y,axWSV,i,ZG} (l)$	-	8,5	0,5	0	6,2	0,5	0	-	-	4,6	0	0	4,8	1,1	0	0
FMT <sub>i</sub> en [kN/m]	Voitures intermédiaires															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	10	11	12	13	14	15	16	
$p_{y,axWSV,i,ZG} (r)$	0	0	1,7	4,3	0	0	4,7	-	-	0	1,1	5,8	0	0	1,4	4,4
$p_{y,axWSV,i,ZG} (l)$	5	0,8	0	0	6,2	0,6	0	-	-	4,8	0	0	4,9	1,1	0	0

Les effets indiqués dans ce tableau sont définis pour le poids autorisé de la rame conformément au Tableau 100 et l'accélération de propulsion / freinage maximale autorisée conformément au Tableau 91.

La balance des forces des voitures d'extrémité n'est pas assurée (transmission d'une force résiduelle par l'accouplement de voiture).

**Tableau 104 - Répartition type des forces des aimants de guidage pour  $a_{x,WSV}$**

## Effets dans le sens z (Q1 .. Q3)

## Accélération dans le sens z

- Les effets résultant du poids de la rame en raison de  $a_z$  (cf. formule ( 4)) dans le sens z doivent être déterminés à l'aide des formules ( 14) et ( 15) ci-dessous et de leur répartition sur la longueur de la rame telle que représentée dans le Tableau 105 (cf. chapitre 0).

$$P_{z,a_z,EG/MG/ZG/HG} = \bar{p}_{z,EG/MG/ZG/HG} \cdot \frac{a_z}{g} \quad \text{en [kN/m]} \quad (14)$$

- Les valeurs limites pour  $a_z$  figurent dans le Tableau 91.
- Les forces correspondantes pour les éléments magnétiques individuels  $TMT_i$  conformément à la Figure 121 doivent être déterminées en appliquant la formule ( 15). La répartition inégale en raison de la position du centre de gravité de la rame dans le sens x conformément au chapitre Tableau 105, est prise en compte dans la répartition des effets des éléments magnétiques indiquée au moyen des facteurs  $k_{z,az,i}$  (cf. 0).

$$P_{z,az,TMT_i,EG/MG/ZG/HG} = 0,5 \cdot \bar{p}_{z,EG/MG/ZG/HG} \cdot \frac{L_{ES/MS}}{L_{TMT_i}} \cdot \frac{a_z}{g} \cdot \frac{k_{z,az,i}}{100} \quad \text{en [kN/m]} \quad (15)$$

- La dynamique de l'élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte.

TMT <sub>i</sub>	Voitures d'extrémité															
	1 *	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$k_{z,az,i}$ [ %]	10	10	5	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6
TMT <sub>i</sub>	Voitures intermédiaires															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$k_{z,az,i}$ [ %]	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6

\* TMT<sub>1</sub> est exprimé comme exécution type du prolongement de TMT<sub>2</sub> (cf. Figure 122).

Tableau 105 - Répartition type des forces des aimants de levage pour  $a_z$  sur toute la longueur de la rame

## Freinage et accélération

- (1) Les moments de tangage des caisses de wagon sur l'axe des y, générés par l'écart du centre de gravité dans le sens z (cf. chapitre 0) lors du freinage et de l'accélération, doivent être pris en compte en fonction du schéma de charge (contraintes ajoutées ou enlevées) conformément à la Figure 131 (circuits de câblage de la suspension pneumatique) (voir également à ce propos la répartition des forces résultant du basculement de la structure de levage/guidage conformément au chapitre 0).
- (2) Ce schéma de charge est superposé de façon défavorable aux contraintes statiques appliquées à la voie selon le chapitre 0.
- (3) La dynamique de l'élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte.

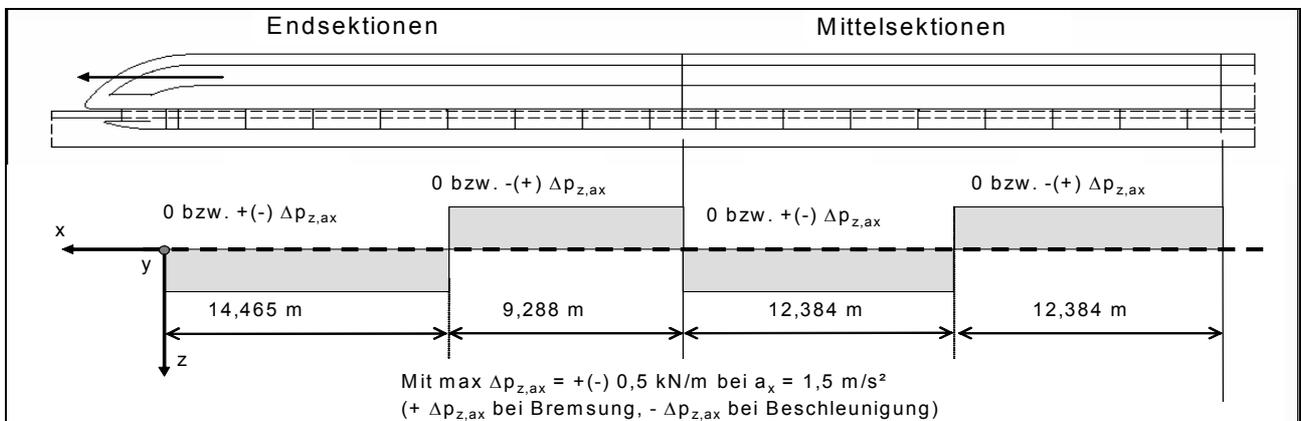


Figure 131 - Charges additionnelles types dans le sens z suite à un freinage/une accélération

Voitures d'extrémité

Voitures intermédiaires

bzw. = ou

Avec formule où

(+ formule en cas d'accélération, - formule en cas de freinage)

## Situations opérationnelles particulières

### Abaissement régulé de la rame avec $v = 0$ km/h (Q1, Q2)

- (1) Lors de l'abaissement régulé dans les stations et les installations de service, des effets dynamiques sont générés sur la voie par le biais des patins de levage. Les effets statiques produits par un patin de levage sont déterminés comme suit :

$$F_{z,TK,j/j+1} = (p_{z,az,TMT_j} + p_{z,az,TMT_{j+1}}) \cdot L_{sys,TMT}; \quad \text{en [kN]} \quad (16)$$

avec  $p_{z,az,TMT}$  conforme à la formule ( 15) et  $j = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15$

- (2) La dynamique de l'élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte.
- (3) La fonction temporelle de l'abaissement régulé à prendre en compte figure dans la Figure 135 du chapitre 0.
- (4) Les forces générées par l'inclinaison longitudinale et/ou latérale de la voie en raison du coefficient de frottement  $\mu$  (cf. Tableau 98) pour un patin de levage  $F_{x/y,TK}$  dans le sens x et/ou y, qui sont limitées par les forces maximales en fonction du coefficient de frottement  $\max F_{x/y,TK}$ , sont appliquées conformément aux formules (17) et (18).

$$F_{y,TK} = F_{z,TK} \cdot \frac{a_y}{a_z} \quad \text{où} \quad \max F_{y,TK} = \mu \cdot F_{z,TK}; \quad \text{en [kN]} \quad (17)$$

et

$$F_{x,TK} = F_{z,TK} \cdot \frac{a_x}{a_z} \quad \text{où} \quad \max F_{x,TK} = \mu \cdot F_{z,TK}; \quad \text{en [kN]} \quad (18)$$

### Rame abaissée (Q1, Q2)

- (1) *Les effets résultant de l'état de service « rame abaissée » sont couverts par les effets générés par le procédé d'abaissement régulé (cf. chapitre 0).*

### Rame soulevée et sustentation stationnaire (Q1, Q2)

- (1) Les forces magnétiques définies dans le chapitre précédent s'appliquent.
- (2) La dynamique de l'élément de construction et la dynamique de régulation conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte. Dans ce cadre, il convient principalement de tenir compte de l'excitation éventuelle des fréquences propres de la voie par la régulation des aimants (cf. chapitre 0).

**Effets aérodynamiques générés par la rame (Q7, Q8)****Croisement de deux trains (Q7a)**

- (1) *Les forces supplémentaires des aimants de guidage dues au croisement de deux trains sont jugées négligeables si la distance moyenne d'écartement des rails est respectée.*

**Passage en tunnel (Q7b)**

- (1) Effets produits directement par la rame  
En raison du tunnel, l'espace disponible pour le déplacement de l'air est réduit (section du tunnel). Les valeurs indiquées pour la pression et la succion dans le Tableau 107 doivent être majorées de 10 %.
- (2) Effets indirects dus à la modification de la pression environnante  
Une modification de la pression de 5500 Pa n'a d'impact que sur les cavités pressurisées (par exemple caissons hermétiquement scellés des supports de voie). Ces effets ne doivent pas être superposés à l'augmentation de la valeur de pression / succion. Il est conseillé de ne pas intégrer de constructions de voie pressurisées dans les sections de voie dans lesquelles des variations de pression de ce type sont prévisibles.
- (3) Effets indirects liés aux ondes réfléchies de pression / succion  
Les effets générés par les ondes réfléchies de pression / succion sont négligeables.
- (4) Répartition inégale de la pression / Tourbillons d'air  
Les valeurs caractéristiques des effets possibles en rapport avec une répartition inégale de la pression et des tourbillons d'air doivent être définies en fonction du projet, en tenant compte des conditions générales constatées (section du tunnel, longueur du tunnel, vitesse de déplacement).

**Effets sur les bâtiments proches du tracé / tunnels (Q7c)**

- (1) Les effets sur les bâtiments proches du tracé doivent être définis sur la base de la norme EN 1991-2, chapitre 6.6, en fonction de la largeur de la rame. Pour ce faire, la largeur de la rame de chemin de fer est estimée à 3,07 m et celle de la rame de TSM à 3,70 m.
- (2) Les valeurs pour des vitesses plus élevées doivent être déterminées par extrapolation par rapport au carré de la vitesse.
- (3) Le facteur  $k_1$  issu de la norme EN 1991-2, chapitre 6.6 pour la prise en compte d'une forme aérodynamique favorable doit être remplacé par  $k_1 = 0,6$  (rame profilée).
- (4) Les autres coefficients doivent être appliqués conformément à la norme EN 1991-2, chapitre 6.6.
- (5) Les augmentations dynamiques dues à des formes particulières doivent être documentées.

**Poussée verticale (Q8a)**

- (1) Les forces indiquées dans le Tableau 106 doivent être appliquées en fonction de la vitesse de déplacement  $v$  conformément à la Figure 133 dans le sens  $z$  pour les voitures de tête / queue.

$v$	$p_{z,A,1}$	$p_{z,A,2}$
[km/h]	[kN/m]	[kN/m]
0	0	0
200	-0,8	0,5
300	-1,8	1,2
400	-3,2	2,1
500	-5,0	3,2

**Tableau 106 - Forces de poussée verticale types des voitures de tête / de queue**

- (2) Les forces continues de poussée verticale ci-dessous doivent être appliquées pour les voitures intermédiaires :

$$p_{z,A,3}(v) = \frac{p_{z,A,1}(v)}{3} \quad \text{en [kN/m]} \quad (19)$$

- (3) Les forces de poussée verticale ne doivent être appliquées que si elles ont une action défavorable.  
 (4) Les forces de poussée verticale réduisent les charges verticales. Le coefficient d'oscillation minimal (par exemple  $1/(\varphi_{z,Bg})$ ) doit être pris en compte dans le cadre du certificat relatif au positionnement.  
 (5) Les effets Q8a et Q9b ne doivent pas être appliqués en même temps.  
 (6) Q8a doit être considéré comme un effet générant de la fatigue.

**Effet direct de pression / succion sur la voie (Q8b)**

- (1) *Des effets de pression et de succion agissent sur la voie à proximité directe de la rame. Ces derniers sont fonction de la vitesse de déplacement et de l'emplacement spécifique sur la section de la voie.*  
 (2) Une contrainte de pression / succion conforme à la répartition représentée sur la Figure 132 s'applique sur la face supérieure de la voie. Les grandeurs d'influence afférentes pour  $v = 500$  km/h (530 km/h) figurent dans le Tableau 107.  
 (3) Les valeurs pour les autres vitesses de déplacement doivent être déterminées par interpolation par rapport au carré de la vitesse.

$v$	$q_{D/S,OG,1}$	$q_{D/S,OG,2}$	$q_{D/S,OG,3}$
0 km/h	0 kN/m <sup>2</sup>	0 kN/m <sup>2</sup>	0 kN/m <sup>2</sup>
500 km/h	+ 14 kN/m <sup>2</sup>	- 7 kN/m <sup>2</sup>	+ 7 kN/m <sup>2</sup>

530 km/h	+ 16 kN/m <sup>2</sup>	- 8 kN/m <sup>2</sup>	+ 8 kN/m <sup>2</sup>
----------	------------------------	-----------------------	-----------------------

Tableau 107 - Forces types de pression (+) et de succion (-) appliquées sur la face supérieure de la voie

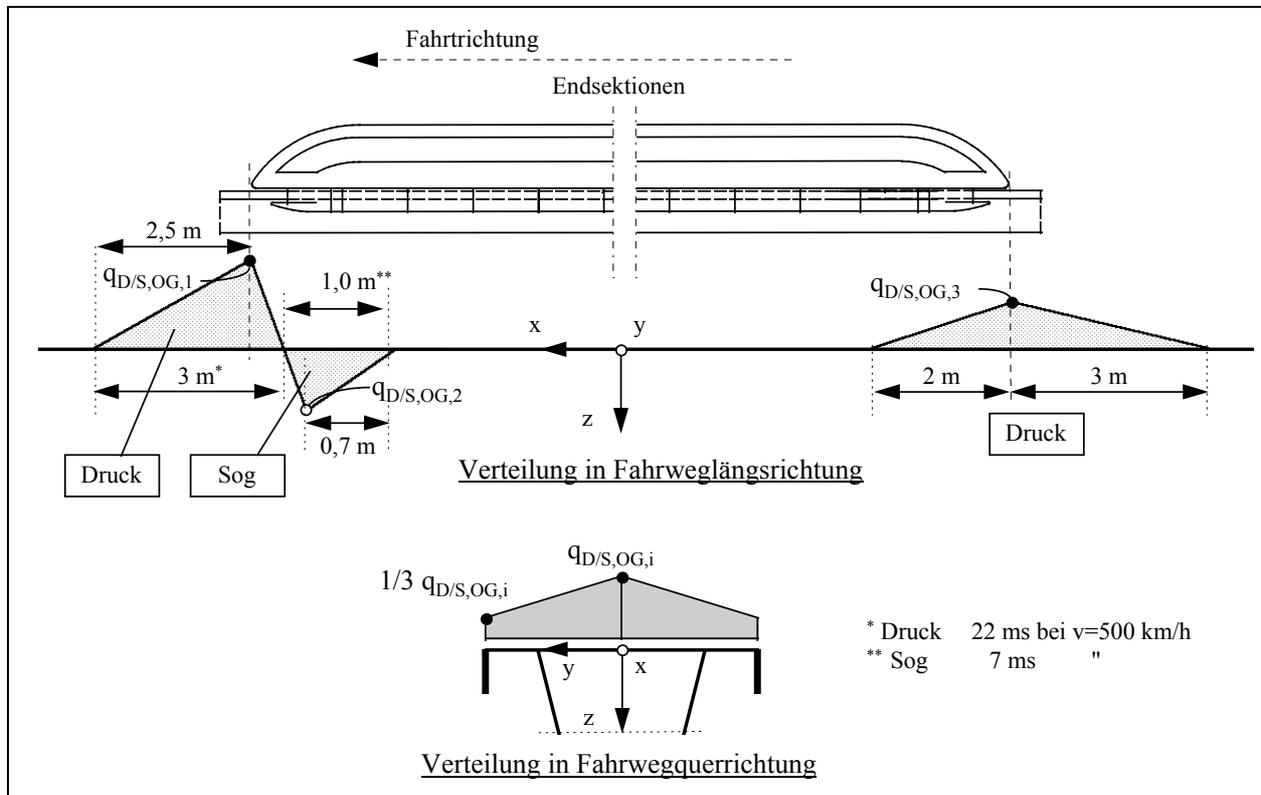


Figure 132 - Répartition type des effets de pression / succion appliqués sur la face supérieure de la voie

Sens de déplacement

Voitures d'extrémité

Pression      Succion      Répartition dans le sens longitudinal de la voie      Pression

\* Pression 22 ms à v = 500 km/h

\*\* Succion 7 ms

Répartition dans le sens transversal de la voie

- (4) Pour les autres emplacements sur le support de voie, les effets de pression / succion doivent éventuellement être définis à part ; pour ce faire, le schéma sur les contraintes de pression en cas de passage d'une rame de la figure 6 du document /DIN rapport technique 101/ doit être utilisé.
- (5) La dynamique de l'élément de construction conforme au chapitre 0 doit être prise en compte.

### Effets du vent sur la rame (Q9)

#### Généralités

- (1) Sont présentés ci-dessous les effets appliqués sur la rame statique et en mouvement en raison du vent (texte de base /MSB AG-UMWELT/).

- (2) Le vent peut aussi bien provoquer des forces latérales dans le sens y que, au niveau du point d'application de la force du vent, des couples autour de l'axe des x et des z ou que des forces de poussée verticale dans le sens z.
- (3) Les grandeurs et les points d'application des effets générés par le vent sur la rame dépendent de :
- la vitesse de déplacement  $v_{Fzg}$
  - la vitesse du vent  $v_{W,b}$  ou  $v_{W,m}$
  - la géométrie de la rame (valeur c)
- (4) La vitesse de déplacement et les vitesses du vent constatées dépendent du projet et du site spécifique.

### Effet résultant du vent latéral sur la rame (Q9a)

- (1) Sont utilisées comme base pour les vitesses du vent à prendre en compte lors de la conception de la voie les vitesses nominales de vent en rafale arrondies présentées ci-dessous (moyenne sur 5 sec.)  $v_{b,10}$  à  $h_{W,Gelände} = 10$  m, relevées une fois dans l'année :
- Zone de vent I  $v_{W,b,10} = 27$  m/s
  - Zone de vent II <sup>19</sup>  $v_{W,b,10} = 30$  m/s
  - Zone de vent III  $v_{W,b,10} = 34$  m/s
  - Zone de vent IV  $v_{W,b,10} = 38$  m/s
- (2) Par rapport à la vitesse de base  $v_{W,m,10}$  (moyenne sur 10 min. à une altitude de 10 m et sur 10 ans) avec une vitesse du vent  $v_{W,m,10} = 25$  m/s, un facteur de rafale de 1,44 (par exemple WZ II :  $(30 \text{ m/s})^2 / (25 \text{ m/s})^2 = 1,44$ ) existe par rapport aux forces du vent pour WZ II. Ce facteur permet de tenir compte d'une augmentation dynamique des contraintes appliquées sur la voie sous l'action d'un vent « constant » (moyenne sur 10 min ; vitesse de base) sur la rame.
- (3) Les vitesses nominales en rafale à d'autres hauteurs  $h_W$  (en m) au-dessus de la surface du terrain doivent être calculées à l'aide de la formule ( 20) avec  $z_W = \text{env. } 1,3$  m, puis arrondies à un nombre entier.

$$\frac{v_{W,b,h_W}}{v_{W,b,10}} = \left( \frac{h_W}{10 \text{ m}} \right)^{0,11} \quad \text{avec } h_W = h_{G, \text{Gelände}} + z_W \text{ en [m/s]} \quad (20)$$

- (4) Un couple de section s'applique autour de l'axe des x en raison de la résultante de la force du vent dans le sens z. Le couple de forces qui est alors généré dans le sens z est transmis dans la voie par l'intermédiaire des aimants de guidage, et doit être pris en compte.

<sup>19</sup> Principales zones de vent utilisées en règle générale pour le dimensionnement des voies dans les applications en Allemagne.

- (5) Les forces des aimants de levage et de guidage à appliquer doivent être sélectionnées dans les tableaux (Tableau 108 ... Tableau 118) de l'annexe IIE en fonction des vitesses de déplacement et des vitesses du vent (cf. par exemple Tableau 136). Les forces pour les autres vitesses de déplacement doivent être déterminées pour  $v_{Fzg} < 500$  km/h grâce à une interpolation linéaire. En ce qui concerne les vitesses de déplacement  $v_{Fzg} > 500$  km/h, les forces doivent être définies par une extrapolation par rapport au carré de la vitesse de déplacement.

Vitesse du vent avec $h_{G,Gelände} \leq 4,0$ m dans la zone de vent				Vitesse du vent avec $4,0 \text{ m} < h_{G,Gelände} \leq 13,0 \text{ m}$ dans la zone de vent				Vitesse du vent avec $13,0 \text{ m} < h_{G,Gelände} \leq 20,0 \text{ m}$ dans la zone de vent			
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
25	28	32	36	28	31	36	40	29	33	37	42

Tableau 108 - Vitesses du vent [m/s] en fonction de la hauteur de la voie

### Poussée verticale aérodynamique en raison du vent (Q9b)

- (1) Les forces de la poussée verticale sous l'effet du vent latéral dépendent de la vitesse de déplacement et de la vitesse du vent, et doivent être appliquées conformément au Tableau 109.
- (2) La géométrie correspondante doit être estimée conformément à la Figure 133.

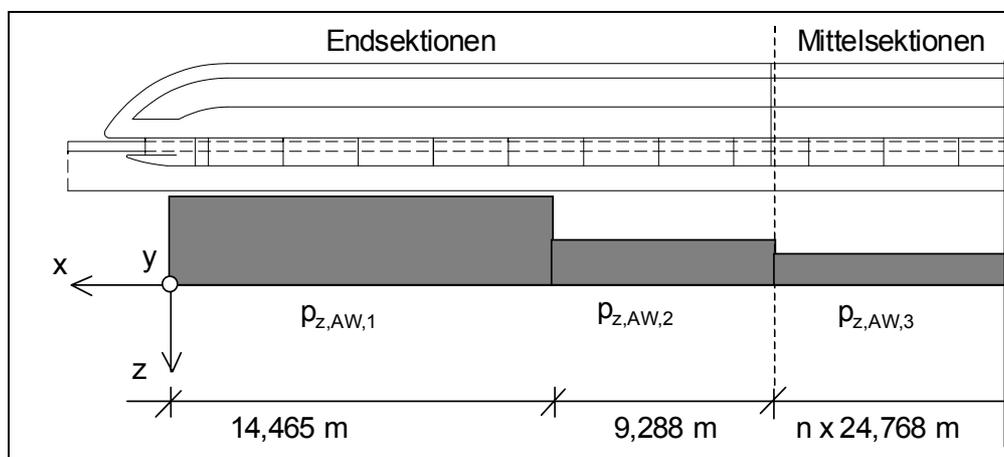


Figure 133 - Schéma de charge type pour la poussée verticale aérodynamique

Voitures d'extrémité

Voitures intermédiaires

- (3) Les forces de poussée verticale réduisent les charges verticales et ne doivent être appliquées que si elles ont une action défavorable.
- (4) Les forces continues de poussée verticale ci-dessous doivent être appliquées pour les voitures intermédiaires :

$$p_{z,AW,3}(v) = \frac{p_{z,AW,1}(v)}{3} \quad \text{en [kN/m]} \quad (21)$$

- (5) Les forces de poussée verticale aérodynamique de la voiture de queue sont plus faibles que celles de la voiture de tête. C'est la raison pour laquelle les valeurs pénalisantes, à savoir celles de la voiture de tête, sont également appliquées pour la voiture de queue.

## Principes d'exécution

- (6) Les effets induits par Q8a et Q9b ne doivent pas être pris en compte simultanément, car l'effet Q9b contient l'effet Q8a.

v <sub>w</sub> [m/s]	v <sub>Fzg</sub> = 0 km/h		v <sub>Fzg</sub> = 200 km/h		v <sub>Fzg</sub> = 300 km/h		v <sub>Fzg</sub> = 400 km/h		v <sub>Fzg</sub> = 500 km/h		v <sub>Fzg</sub> = 530 km/h	
	P <sub>z,AW,1</sub>	P <sub>z,AW,2</sub>	P <sub>z,AW,1</sub>	P <sub>z,AW,2</sub>	P <sub>z,AW,1</sub>	P <sub>z,AW,2</sub>	P <sub>z,AW,1</sub>	P <sub>z,AW,2</sub>	P <sub>z,AW,1</sub>	P <sub>z,AW,2</sub>	P <sub>z,AW,1</sub>	P <sub>z,AW,2</sub>
40	-2,4	-1,5	-7,5	-9,6	-8,1	-8,9	-9,0	-6,9	-10,2	-5,1	-10,6	-4,5
39	-2,3	-1,4	-7,2	-9,2	-7,8	-8,3	-8,6	-6,4	-9,8	-4,6	-10,2	-4,1
38	-2,2	-1,4	-6,9	-8,7	-7,4	-7,8	-8,3	-5,9	-9,5	-4,2	-9,9	-3,7
37	-2,1	-1,3	-6,6	-8,3	-7,1	-7,2	-8,0	-5,4	-9,2	-3,7	-9,6	-3,3
36	-2,0	-1,2	-6,3	-7,9	-6,8	-6,7	-7,7	-4,9	-8,9	-3,3	-9,2	-2,9
35	-1,9	-1,1	-6,0	-7,5	-6,5	-6,2	-7,4	-4,5	-8,6	-2,9	-8,9	-2,5
34	-1,8	-1,1	-5,7	-7,1	-6,2	-5,7	-7,1	-4,1	-8,2	-2,6	-8,6	-2,2
33	-1,6	-1,0	-5,4	-6,7	-5,9	-5,2	-6,8	-3,6	-7,9	-2,2	-8,3	-1,8
32	-1,6	-1,0	-5,1	-6,3	-5,6	-4,8	-6,5	-3,2	-7,6	-1,9	-8,0	-1,5
31	-1,5	-0,9	-4,8	-5,8	-5,3	-4,3	-6,2	-2,9	-7,4	-1,6	-7,7	-1,3
30	-1,4	-0,8	-4,5	-5,3	-5,1	-3,9	-6,0	-2,5	-7,1	-1,3	-7,4	-1,0
29	-1,3	-0,8	-4,2	-4,9	-4,8	-3,5	-5,7	-2,2	-6,8	-1,1	-7,2	-0,7
28	-1,2	-0,7	-4,0	-4,5	-4,6	-3,1	-5,5	-1,9	-6,5	-0,8	-6,9	-0,5
27	-1,1	-0,7	-3,7	-4,1	-4,3	-2,8	-5,2	-1,6	-6,3	-0,6	-6,7	-0,3
26	-1,0	-0,6	-3,5	-3,7	-4,1	-2,4	-5,0	-1,3	-6,0	-0,4	-6,4	-0,1
25	-0,9	-0,6	-3,2	-3,3	-3,9	-2,1	-4,8	-1,1	-5,8	-0,2	-6,2	0,1
24	-0,9	-0,5	-3,0	-3,0	-3,7	-1,8	-4,5	-0,8	-5,6	0	-5,9	0,3
23	-0,8	-0,5	-2,8	-2,6	-3,5	-1,6	-4,3	-0,6	-5,4	0,2	-5,7	0,4
22	-0,7	-0,5	-2,6	-2,3	-3,3	-1,3	-4,1	-0,4	-5,1	0,3	-5,5	0,6
21	-0,7	-0,4	-2,4	-2,0	-3,1	-1,1	-3,9	-0,3	-4,9	0,5	-5,3	0,7
20	-0,6	-0,4	-2,2	-1,7	-2,9	-0,8	-3,7	-0,1	-4,8	0,6	-5,1	0,8
19	-0,5	-0,3	-2,1	-1,5	-2,7	-0,7	-3,5	0	-4,6	0,7	-4,9	0,9
18	-0,5	-0,3	-1,9	-1,2	-2,6	-0,5	-3,4	0,2	-4,4	0,8	-4,8	1,0
17	-0,4	-0,3	-1,8	-1,0	-2,4	-0,3	-3,2	-0,3	-4,3	0,9	-4,6	1,1
16	-0,4	-0,2	-1,6	-0,8	-2,2	-0,2	-3,0	0,4	-4,1	1,0	-4,5	1,2
15	-0,3	-0,2	-1,5	-0,6	-2,1	-0,1	-2,9	0,5	-4,0	1,1	-4,4	1,3
14	-0,3	-0,2	-1,4	-0,5	-2,0	0	-2,8	0,6	-3,9	1,2	-4,3	1,4
13	-0,3	-0,2	-1,2	-1,3	-1,8	0,1	-2,7	0,6	-3,8	1,3	-4,2	1,5
12	-0,2	-0,1	-1,1	-1,2	-1,7	0,2	-2,6	0,7	-3,7	1,3	-4,2	1,6
11	-0,2	-0,1	-1,0	-0,1	-1,6	0,3	-2,5	0,8	-3,7	1,4	-4,1	1,7
10	-0,2	-0,1	-0,9	0	-1,5	0,3	-2,4	0,8	-3,7	1,5	-4,1	1,8

Tableau 109 - Forces de poussée verticale types induites par le vent latéral sur les voitures de tête

**Vent en cas d'influences aérodynamiques défavorables**

- (1) Dans le secteur des entrées et des sorties des tunnels, sur les viaducs et sous l'action d'autres influences aérodynamiques défavorables, des effets plus importants doivent être pris en compte de manière spécifique au projet.
- (2) Les effets résultant des vitesses de vent plus élevées potentielles dans le secteur de l'entrée et de la sortie des tunnels et sur les viaducs doivent être limités (par exemple par des mesures de protection contre le vent) de telle sorte que les effets visés dans les chapitres 0 et 0 ne soient pas dépassés. En outre, les influences aérodynamiques comme celles constatées dans les zones exposées doivent être prises en compte conformément aux règles des normes et des prescriptions en vigueur.

**Effet de température dû à la propulsion (Q10)**

- (1) Une différence de température maximale de
$$\max \Delta T_{\text{Antrieb}} = 15 \text{ K}$$
doit être respectée entre les paquets de tôles statoriques du stator long.<sup>20</sup>
- (2) La différence de température est causée par la propulsion et doit être superposée à la différence de température causée par l'environnement. Pour cet effet, un nombre de périodes d'oscillation maximal  $SS(\Delta T_{\text{Antrieb}}) = 2 \text{ SS/jour}$  doit être appliqué. Les périodes d'oscillation correspondent à 2 phases avec des opérations de roulage condensées (matin et soir).

---

<sup>20</sup> Si les effets dans le sens x ne sont transmis que par le frottement au niveau des zones de contact de liaison de la fixation du paquet de tôles statoriques dans le bras en porte-à-faux du support de voie (par exemple raccord à vis précontraint), la force maximale constatée sous l'effet de la température en fonction de la propulsion et de l'environnement est définie sur la base de la force de précontrainte maximale et du coefficient de frottement maximal (frottement d'adhérence).

**Effets variables non fréquents (Q11a...Q11k)****Généralités**

- (1) Les effets variables non fréquents résultant de la rame ci-dessous doivent être pris en compte comme les effets variables fréquents au regard du niveau de sécurité lorsque :
  - aucune inspection de la voie ne doit avoir lieu juste après l'apparition de l'effet et/ou
  - l'apparition de l'effet n'est pas signalée et qu'aucune inspection ne peut par conséquent être réalisée.
- (2) Si tout risque en matière de sécurité, par exemple en raison d'éléments redondants ou d'un transfert de charge, etc., peut être exclu, il est possible, avec l'accord de l'autorité de surveillance compétente, d'appliquer le cas échéant un facteur partiel de sécurité réduit afin de tenir compte de la faible probabilité d'occurrence des effets non fréquents.
- (3) Lors de la formation des combinaisons conformément au chapitre 0, les effets non fréquents doivent être appliqués comme des effets principaux, avec  $\gamma_F = 1,35$ .
- (4) Les augmentations dynamiques conformes au chapitre 0 doivent être prises en compte pour chacun des effets ci-dessous hors mention contraire explicite.

**Dépassement de la charge d'exploitation (Q11a)**

- (1) *Un dépassement possible de la charge d'exploitation en situation de service exceptionnelle, comme en cas d'incendie avec une évacuation dans les voitures voisines, est couvert par le « poids maximal de la rame ».*

**Panne d'un circuit de régulation des aimants de levage (Q11b)**

- (1) *En cas de panne d'un circuit de régulation magnétique Levage MRET, la force de levage proportionnelle des éléments magnétiques défectueux est transmise à la voie par les éléments magnétiques voisins.*
- (2) Pour les certificats locaux concernant ces aimants de levage voisins sur une longueur  $L_{\text{sys,TMT}} = 1,548$  m, les effets magnétiques maximum ci-dessous (force de levage limite des aimants de levage<sup>21</sup>) sont appliqués :
  - Dans le sens z :  $\max p_{z,\text{TMT},\text{Q11b}} = 45,0$  kN/m
  - Dans le sens x :  $\max p_{x,\text{TMT},\text{Q11b}} = \pm 4,0$  kN/m
- (3) Le facteur de régulation correspond à  $\phi_{\text{RI}} = 1,0$ .
- (4) Le schéma de charge afférent est représenté sur la Figure 149.
- (5) *Pour les certificats globaux, des charges équivalentes peuvent être utilisées au lieu des valeurs limites des forces des aimants de levage indiquées ci-dessus, à définir sur la base des effets globaux conformes au chapitre 0.*

---

<sup>21</sup> La force de levage limite résulte de la force magnétique maximale des demi-aimants, elle-même déterminée par la combinaison d'effets la plus défavorable appliquée sur la rame (pannes y comprises) dans la position la plus défavorable de la rame.

**Panne du circuit de régulation des aimants de levage voisins (Q11c)**

- (1) En cas de panne du circuit de régulation des aimants de levage voisins, le patin de levage afférent s'abaisse sur la glissière. Les effets locaux maximum induits par le patin de levage (y compris la dynamique locale de l'élément de construction) à appliquer sont :
- Charge de tamponnement  $\max F_{z,TK,Sto\beta} = 100 \text{ kN}$
  - Charge quasi-statique  $\max F_{z,TK,stat} = 50 \text{ kN}$
- (2) La valeur maximale est limitée à 100 kN dans la situation la plus défavorable pour la rame. Les répercussions dynamiques peuvent par exemple être attestées à l'aide de l'évolution charge/temps conformément à la Figure 134.
- (3) La force afférente dans le sens des x, résultant de l'effort de tamponnement susvisé et des coefficients de frottement maximum conformément au Tableau 98 doit être appliquée comme suit :
- due à la charge de tamponnement (avec  $\mu_{TK-GL} = 0,30$ )  $\max F_{x,TK,Sto\beta} = 30 \text{ kN}$
  - due à la charge quasi-statique (avec  $\mu_{TK-GL,Haft} = 0,50$ )  $\max F_{x,TK,stat} = 25 \text{ kN}$
- (4) Le coefficient de frottement peut être réduit selon la vitesse de déplacement minimale en fonction du lieu, conformément au Tableau 98.
- (5) Suite au frottement entre le patin de levage et le plan de glissement, le patin de levage s'échauffe. La chaleur maximale pouvant être accumulée dans les garnitures de glissement des patins de levage s'élève à 650 kJ. Lorsqu'une rame est à l'arrêt, cette chaleur provoque un réchauffement de la glissière / du plan de glissement dans la zone des patins. L'augmentation de température qui en résulte doit être déterminée en fonction du type de construction spécifique.

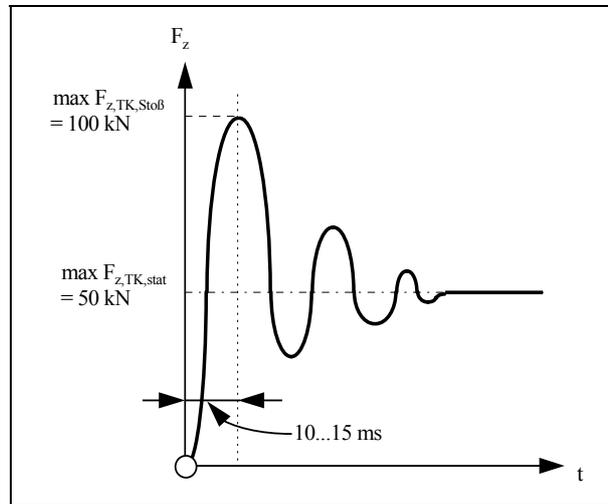


Figure 134 - Courbe type de l'évolution de la force dynamique des patins de levage par rapport au temps

- (6) Les déformations locales provoquées par la charge de tamponnement doivent être définies. Le certificat de compatibilité avec la rame doit être réalisé pour les déformations prévisibles.
- (7) Les charges de surface doivent être déterminées comme suit, en fonction des dimensions indiquées dans la Figure 125 :

$$\max q_{z,TK} = \max F_{z,TK} / (L_{TK} \cdot b_{TK}) \quad (22)$$

$$\max q_{x,TK} = \mu \cdot \max F_{z,TK} / (L_{TK} \cdot b_{TK}) \quad (23)$$

- (8) *Pour les certificats globaux, des charges équivalentes peuvent être utilisées au lieu des valeurs limites des forces des patins de levage indiquées ci-dessus, à définir sur la base des effets globaux conformes au chapitre 0.*

### Panne d'un circuit de régulation des aimants de guidage (Q11d)

- (1) *En cas de panne d'un circuit de régulation magnétique Guidage MREF, la force de guidage proportionnelle des éléments magnétiques défectueux (cf. schéma de charge) est assurée par les éléments magnétiques voisins des aimants de guidage voisins.*
- (2) Pour les certificats locaux, les forces magnétiques maximales suivantes doivent être appliquées pour cet effet, dans le sens y (force de levage limite des aimants de guidage) :
- $\max p_{y,FMT} = 16$  kN/m pour les aimants de guidage dont les pôles magnétiques sont en bas
  - $\max p_{y,FMT} = 32$  kN/m pour les aimants de guidage dont les pôles magnétiques sont en bas et en haut
- (3) Le schéma de charge afférent est représenté sur la Figure 152 (chapitre 0).
- (4) *Pour les certificats globaux, des charges équivalentes peuvent être utilisées au lieu des valeurs limites des forces des aimants de guidage indiquées ci-dessus, à définir sur la base des effets globaux conformes au chapitre 0.*

### Panne du circuit de régulation des aimants de guidage voisins (Q11e)

- (1) *En cas de panne des deux circuits de régulation magnétique d'un cadre de sustentation, les butées d'attaque des aimants de guidage du côté opposé transmettent les forces de guidage proportionnelles de façon mécanique aux rails de guidage latéraux (force de pression).*
- (2) L'effort de tamponnement local maximal sur le rail de guidage latéral (dynamique locale de l'élément de construction y comprise) doit être appliqué comme suit pour les certificats locaux :
- $\max F_{y,FM,Q11e1} = 63$  kN (avec  $\gamma_F = 1,35$ ) sans vent
  - $\max F_{y,FM,Q11e2} = 115$  kN (avec  $\gamma_F = 1,00$ )<sup>22</sup> avec du vent ( $v_W = 25$  m/s)
- (3) En termes de probabilité d'occurrence, l'effet  $F_{y,FM,Q11e2}$  doit être classé comme « effet exceptionnel ».
- (4) La force maximale afférente dans le sens x est déterminée comme suit sur la base de l'effort de tamponnement susvisé et du coefficient de frottement maximal de  $\mu_{FM,SFS} = 0,3$  à  $v \Rightarrow 0$  km/h :

$$\max F_{x,FM} = \mu_{FM,SFS} \cdot \max F_{y,FM} \quad (24)$$

- (5) Le coefficient de frottement peut être réduit selon la vitesse en service minimale en fonction du lieu, conformément au Tableau 97.
- (6) La géométrie de l'effet est représentée dans la Figure 153.
- (7) *L'augmentation de température due au guidage mécanique (démarrage) est couverte par l'effet résultant des « freins de sécurité ».*
- (8) *Pour les certificats globaux, des charges équivalentes peuvent être utilisées au lieu des valeurs limites des forces de démarrage des aimants de guidage indiquées ci-dessus, à définir sur la base des effets globaux conformes au chapitre 0.*

<sup>22</sup> Lorsque l'aptitude à l'utilisation et la sécurité ne doivent pas subir de perturbation inadmissible, preuves à l'appui, des déformations plastiques locales respectant  $\max F_{y,FM,Q11e2}$  peuvent être autorisées avec l'accord de l'autorité de surveillance compétente.

## Utilisation des « freins de sécurité » de la rame (Q11f)

### Généralité

(1) *En cas de panne du système de freinage normal (moteur du stator long), les freins de sécurité de la rame (géométrie et disposition des aimants de freinage sur la rame, cf. Figure 124) sont activés. Le freinage s'applique en deux parties distinctes en ce qui concerne les effets sur la voie (cf. Figure 137) :*

- *Partie I : Transmission sans contact des forces de freinage par courant de Foucault (aimant de freinage « libre »)*
- *Partie II : Contact entre les aimants de freinage et les rails de guidage latéraux*

(2) Les forces de freinage peuvent être réduites pour la rame à vide en fonction du poids le plus réduit entre le poids propre de la rame et le poids total autorisé (cf. chapitre 0).

(3) Pour la section I ( $\approx 200 \text{ km/h} \leq v_{Fzq} \leq 530 \text{ km/h}$ ), les effets ci-dessous doivent être pris en compte :

Transmission sans contact des forces de freinage par courant de Foucault  $F_{x,BM,I}$ , où les forces de traction magnétiques augmentent à mesure que la vitesse diminue :

$$\max F_{x,BM,I} = 63 \text{ kN/voiture} \dots \approx 85 \text{ kN/voiture}^{23}$$

Force de traction magnétique afférente  $p_{y,BM,I}$  sur le rail de guidage latéral, qui agit, comme la force de précontrainte des aimants de guidage, comme une « force intérieure », calculée comme suit en fonction des tolérances et des rayons :

$$\max p_{y,BM,I} \leq 37,5 \text{ kN/m}$$

Pour les aimants de levage présents dans la zone des freins à courant de Foucault, une répartition inégale de la force des aimants de levage de 30 %, conformément à la Figure 148, doit être appliquée. Cette combinaison doit également être prise en compte pour la section de freinage II présentée ci-dessous.

(4) Pour la section II ( $0 \text{ km/h} < v_{Fzq} < \approx 200 \text{ km/h}$ ), les effets ci-dessous doivent être pris en compte :

À  $v_{Fzq} < \approx 200 \text{ km/h}$ , les aimants de freinage entrent en contact avec les rails de guidage latéraux. La somme des forces de frottement qui agissent alors dans le sens x, avec la force décroissante des aimants de freinage, est limitée à une force de freinage maximale  $\max F_{x,BM,II}$ , de :

$$\max F_{x,BM,II} \leq 110 \text{ kN/voiture}$$

La force de traction maximale dans le sens y,  $\max p_{y,BM,II}$ , correspond à :  $\max p_{y,BM,II} = 37,5 \text{ kN/m}$

Aucune force de pression dans le sens y n'est constatée. Si la valeur  $\max p_{y,BM,II}$  est utilisée,  $\varphi_{RI} = 1,0$  peut être appliqué.

À  $v_{Fzq} = 5 \text{ km/h}$ , la commande d'abaissement est activée et la rame s'abaisse de façon régulée sur la voie. La vitesse de la rame correspond à  $v_{Fzq} = 0 \text{ km/h}$  lorsque le patin de levage entre en contact avec le plan de glissement. La transmission des forces des patins de levage est réalisée conformément au chapitre 0, en tenant compte du coefficient d'oscillation afférent. La fonction temporelle de l'abaissement régulé de la rame est représentée dans la Figure 135. Cette dernière doit être prise en compte pour le certificat de la dynamique dans le sens x et z.

<sup>23</sup> Les valeurs intermédiaires peuvent être déduites par une interpolation linéaire.

- (5) L'augmentation de température des rails de guidage latéraux induite par les aimants de freinage  $\Delta T_{BM\_SFS} \leq 8 \text{ K}$  doit être appliquée pour une rame de 10 voitures. Cette augmentation de température doit être superposée aux effets de température provenant de l'environnement, conformément au chapitre 0.
- (6) Le schéma de charge des aimants de freinage est représenté sur la Figure 154.
- (7) Comme pour le freinage et l'accélération au niveau du stator long, l'utilisation des « freins de sécurité » provoque des moments de tangage autour de l'axe des y. La répartition des forces dans le sens z qui en résulte doit être prise en compte comme il convient.

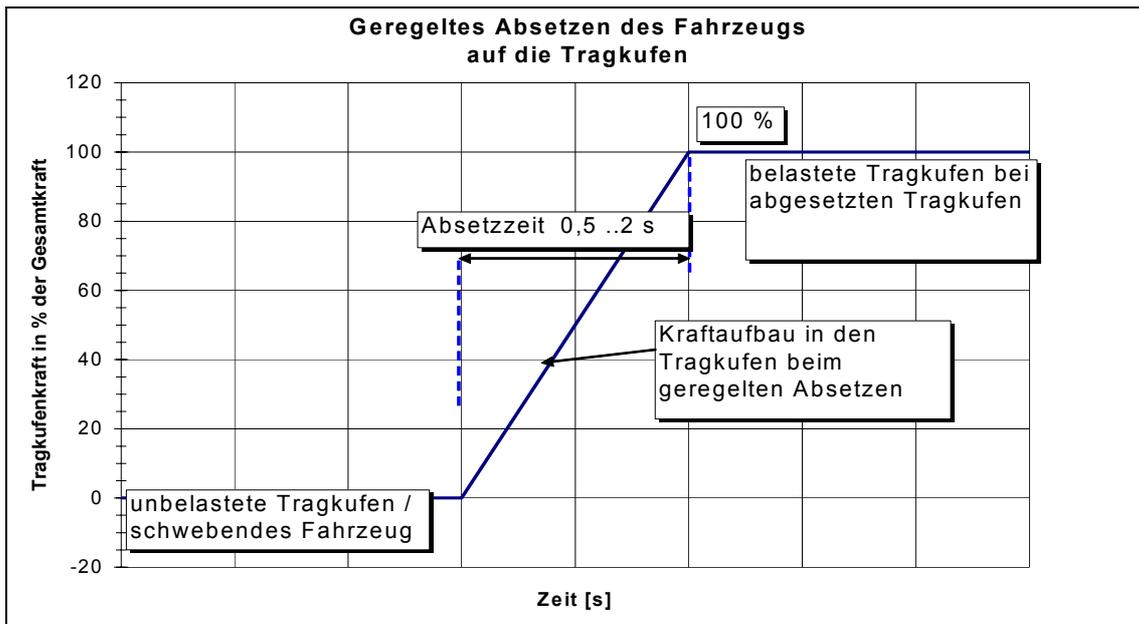


Figure 135 – Fonction temporelle type simplifiée de l'abaissement régulé de la rame

*Abaissement régulé de la rame sur les patins de levage*

*Force des patins de levage, en % de la force totale*

*Patins de levage hors charge / rame en sustentation      Durée d'abaissement 0,5 .. 2 s      Patins de levage en charge, patins de levage abaissés*

*Force croissante dans les patins de levage lors de l'abaissement régulé*

*Temps [s]*

### Cas particulier

- (1) Sont considérées comme des situations de dimensionnement exceptionnelles le dépassement de la force de freinage par les aimants de freinage (cf. Figure 137 : ligne 1) et le glissement  $v_{Fzg} \Rightarrow 0$  de la rame abaissée sur les patins de levage, au poids autorisé de la rame (cf. Figure 137 : zone  $v_{Fzg} < 10 \text{ km/h}$ ) et  $\gamma_Q = 1,0$ .
- (2) Lors du dimensionnement de la voie pour ces cas particuliers, le déroulement temporel de l'accélération  $a_x$  indiqué dans la Figure 136 ci-après, lors de la transition entre frottement de glissement et frottement d'adhérence doit être pris en compte.

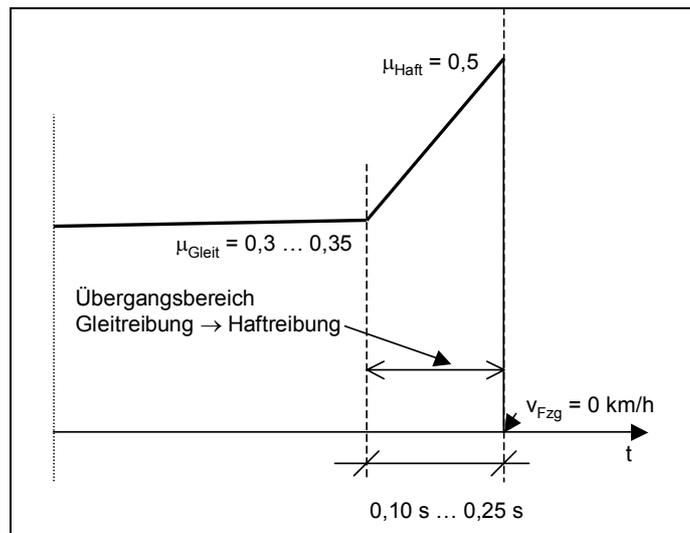


Figure 136 - Fonction type de l'accélération sur le temps au cours du glissement sur les patins de levage

Zone de transition

Frottement de glissement -> Frottement d'adhérence

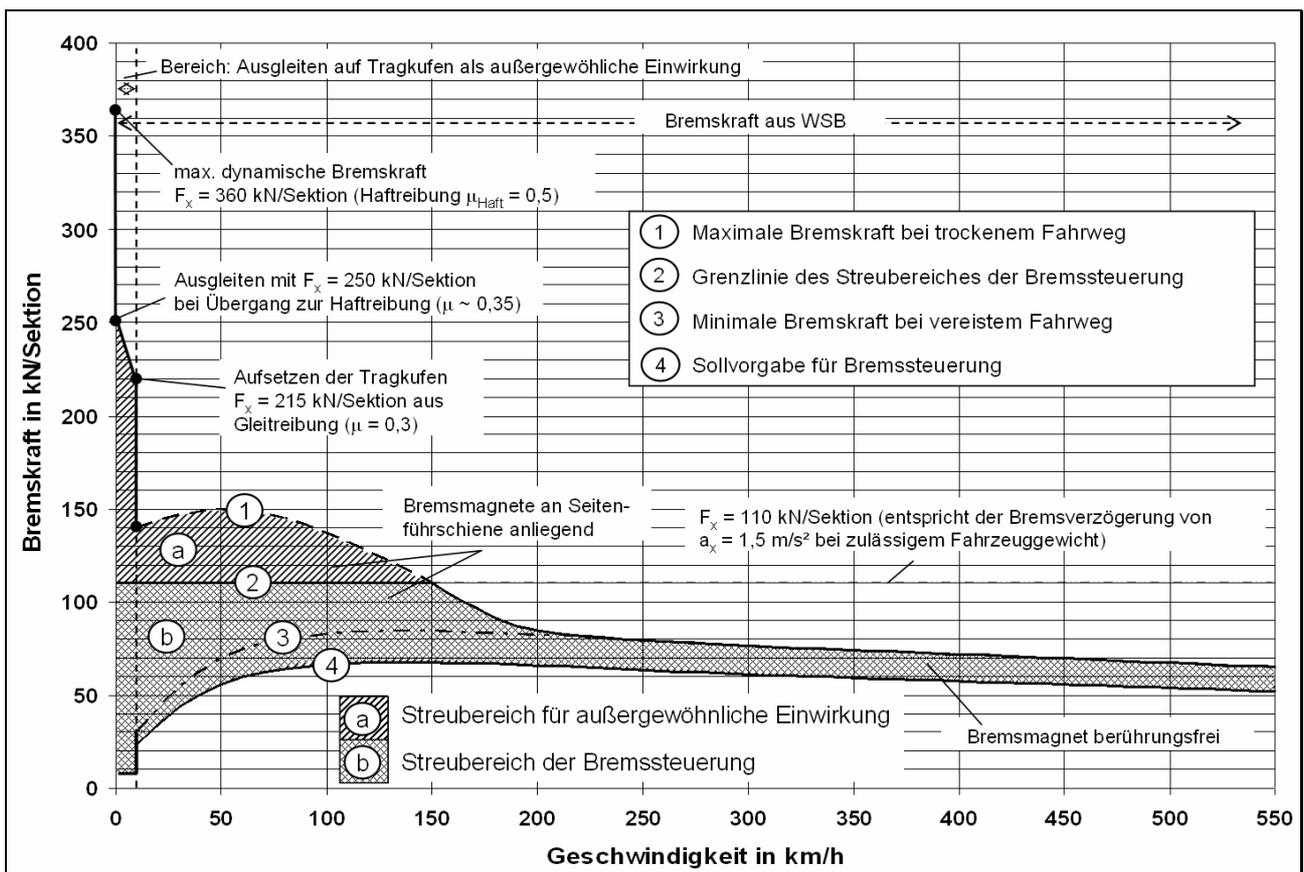


Figure 137 - Évolution de la force de freinage des « freins de sécurité »

Force de freinage en kN/voiture

*Zone : Glissement sur les patins de levage, comme effet exceptionnel*

*Force de freinage due à WSB*

*Force de freinage dynamique max.*

$F_x = 360 \text{ kN/voiture}$  (frottement d'adhérence )

*Glissement avec  $F_x = 250 \text{ kN/voiture}$*

*lors de la transition avec le frottement d'adhérence*

*Abaissement des patins de levage*

$F_x = 215 \text{ kN/voiture}$ , en raison du frottement de glissement

*Aimants de freinage installés sur les rails de guidage latéraux*

$F_x = 110 \text{ kN/voiture}$  (pour un ralentissement de freinage de  $a_x = 1,5 \text{ m/s}^2$  au poids autorisé de la rame)

*Aimant de freinage sans contact*

1 *Force de freinage maximale sur voie sèche*

2 *Ligne limite de la zone de dispersion de la commande de freinage*

3 *Force de freinage minimale sur voie gelée*

4 *Valeur de consigne pour la commande de freinage*

a *Zone de dispersion pour les effets exceptionnels*

b *Zone de dispersion de la commande de freinage*

*Vitesse en km/h*

### **Différences de vitesse (Q11g)**

- (1) Les effets résultants des différences de vitesse (par exemple rame arrêtée en dehors d'une station ou rame à vitesse réduite sur une voie présentant une inclinaison latérale de  $12^\circ$  ( $a_y \Rightarrow 2,04 \text{ m/s}^2$ )), en tant qu'effets variables non fréquents, doivent être pris en compte comme les effets variables fréquents (voir à ce sujet le chapitre 0).

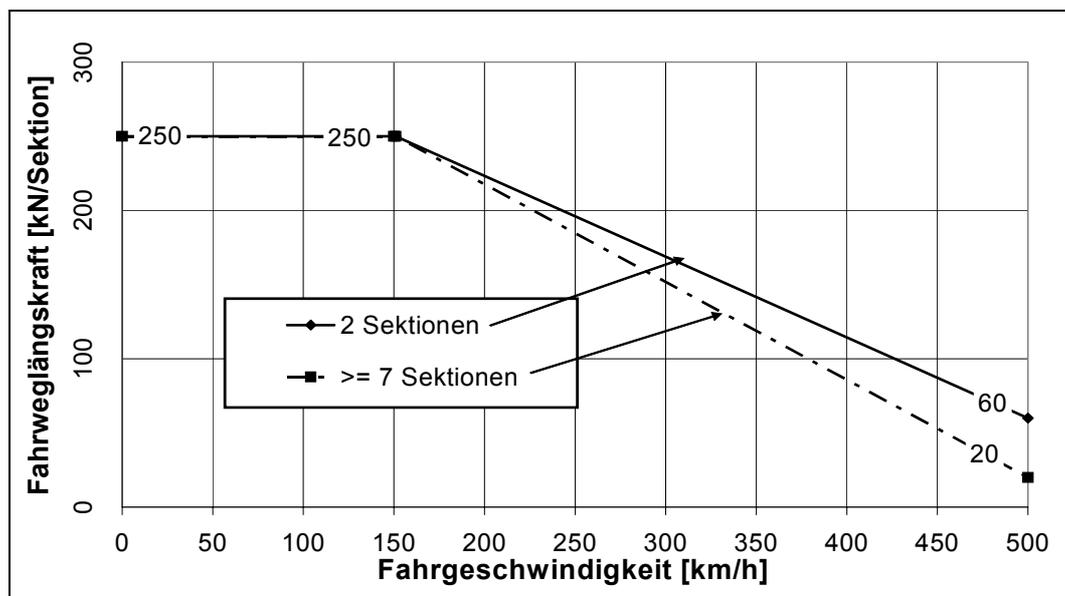
## Défauts de fonctionnement de la propulsion (Q11h)

### Panne unilatérale de la propulsion

- (1) Le défaut de fonctionnement « panne unilatérale de la propulsion » doit être pris en compte conformément au chapitre 0 (effets dans les zones de changement de section motrice dans le cas du procédé en marche alterné) et est ainsi couvert.

### Autres défauts de fonctionnement de la propulsion

- (1) En cas de répartition latérale inégale défavorable 0,73/0,27, une force de poussée maximale de  $F_{x,Q11h1,HG} = 185$  kN/voiture intermédiaire<sup>24</sup> doit être prise en compte. Ainsi, les forces ci-dessous sont constatées pour chaque côté de la voie :
- $\max p_{x,Q11h1,HG, rechts/links} = 0,73 \cdot 185 \text{ kN} / 24,768 \text{ m} = 5,5 \text{ kN/m}$
  - $\min p_{x,Q11h1,HG, links/rechts} = 0,27 \cdot 185 \text{ kN} / 24,768 \text{ m} = 2,0 \text{ kN/m}$  (sans dynamique)
- (2) La force ci-après doit être prise en compte en cas de défaut de fonctionnement, en tant qu'effet maximal consécutif dans le sens x qui agit uniformément sur les deux côtés de la voie :
- $$p_{x,Q11h2} = 250 \text{ kN} / \text{voiture intermédiaire} = 250 \text{ kN} / 24,768 \text{ m} = \text{env. } 10,0 \text{ kN/m}$$
- (3) Un rapport type (simplifié) entre l'effet dû à un défaut de fonctionnement de la propulsion, la vitesse de déplacement et la longueur de la rame (nombre de voitures) est par exemple représenté dans la Figure 138. Pour la réalisation d'un certificat indépendant de tout projet, la diminution indiquée peut être appliquée.
- (4) En termes de probabilité d'occurrence, l'effet  $p_{x,Q11h2}$  doit être considéré comme exceptionnel ( $\gamma_Q = 1,0$ ).
- (5) La nécessité de tenir compte de ces effets et l'importance de la diminution potentielle doivent à chaque fois être confirmées au cas par cas pour chaque projet spécifique.
- (6) Les forces issues des moments de tangage doivent être prises en compte conformément au chapitre 0.



<sup>24</sup> Les effets pour les autres poids de rame sont les suivants :  $F_{x,Q11h1,ZG} = 180$  kN/voiture intermédiaire,  $F_{x,Q11h1,MG} = 170$  kN/voiture intermédiaire et  $\max F_{x,Q11h1,EG} = 150$  kN/voiture intermédiaire

Figure 138 - Rapport des forces dans le sens x sur la vitesse en cas de défaut de fonctionnement de la propulsion

Force due à la longueur de la rame [kN/voiture]

2 voitures

>= 7 voitures

Vitesse de déplacement [km/h]

## Abaissement unilatéral de la rame (Q11i)

### Généralités

- (1) En cas de court-circuit de l'enroulement du stator long, les deux situations de dimensionnement ci-dessous doivent être prises en compte en ce qui concerne les effets sur la voie.

### Situation de dimensionnement 1

- (1) Un court-circuit de l'enroulement se produit alors que la rame se trouve au-dessus du lieu du court-circuit ; ce dernier est situé à proximité du point central de l'enroulement (changement de section motrice) et la vitesse de déplacement correspond à  $v \geq 25$  km/h. Dans cette situation, la rame s'abaisse d'un côté sur le plan de glissement du support de la voie. Les patins de levage entrent alors en contact les uns après les autres avec les glissières. Le côté de la rame opposé au court-circuit reste en sustentation.

- (2) Compte-tenu du poids de la rame, les charges linéaires unilatérales  $q_{z,abs}$  et  $q_{z,int.}$  doivent être prises en compte conformément à la formule ci-dessous :

- Côté qui s'abaisse :

$$q_{z,Q11i,abs} = 0,5 \cdot \text{stat } p_z \cdot a_z / g \quad (25)$$

- Côté « intact » (en sustentation) :

$$q_{z,Q11i,int.} = 0,5 \cdot \text{stat } p_z \cdot a_z / g \quad (26)$$

- (3) Les autres effets (par exemple la force centrifuge) doivent être superposés conformément au chapitre 0. Les forces du patin pour le côté qui s'abaisse sont définies avec l'entraxe des patins de levage =  $e_{x,TK}$  :

$$F_{z,TK,Q11i} = q_{z,Q11i,abs} \cdot e_{x,TK} \quad (27)$$

- (4) Le coefficient de frottement en fonction de la vitesse est représenté sur la Tableau 98.
- (5) En outre, un coefficient d'oscillation de  $\max \varphi_{B,z,Q11i} = 1,8$  doit être pris en compte pour le côté qui s'abaisse. Le coefficient d'oscillation appliqué dans le sens z pour le côté opposé, intact, correspond à  $\min \varphi_{B,z,Q11i} = 0,9$ .
- (6) L'effet résultant de la propulsion, conformément au chapitre 0, peut être positif (freinage), négatif (accélération) ou nul.
- (7) Un couple autour de l'axe des z est créé par les forces différentes s'appliquant dans le sens x sur le côté intact et sur le côté qui s'abaisse. Ce couple génère des forces sur le rail de guidage latéral afin d'assurer l'équilibre (sens y). Des forces des aimants de guidage similaires à celles présentées au chapitre I 0 s'appliquent. Les autres effets dans le sens y sont définis comme les effets fréquents.
- (8) Seule la combinaison avec le poids de la rame est utilisée comme effet variable principal.

**Situation de dimensionnement 2**

- (1) *Le lieu du court-circuit ne se trouve pas à proximité du centre de l'enroulement de câbles ou la rame circule au-dessus d'un lieu de court-circuit existant.*
- (2) *Cette situation de dimensionnement applique des forces de freinage du côté du court-circuit au niveau de l'interface aimant de levage - stator long, qui sont globalement couvertes par les forces sur l'axe des x résultant de a) et, localement, par les forces sur l'axe des x induites par Q11b.*

**Démarrage / Contact des aimants (Q11j)****Aimants de levage**

- (1) *La surveillance de l'entrefer minimal du côté de la rame empêche le démarrage des aimants de levage au niveau du paquet de tôles statoriques, qui générerait des forces.*
- (2) *Le démarrage éventuel en cas de superposition des conditions générales défavorables (tolérances de la voie, état de déplacement et de contrainte de l'aimant de levage), est couvert par les effets visés au chapitre 0.*

**Aimants de guidage**

- (1) *Lorsque la force de levage limite des aimants de guidage conformément au chapitre 0 est dépassée, un contact avec les aimants de guidage opposés est possible.*
- (2) *Les effets résultant du contact des aimants de guidage sont couverts par les effets conformes au chapitre 0 « Panne du circuit de régulation des aimants de guidage voisins (Q11e) ».*

**Soulèvement des patins de levage soudés par le gel (Q11k)**

- (3) *Les forces de traction et de poussée générées par le dégagement d'un patin de levage soudé par le gel sont transmises à la structure porteuse par l'intermédiaire de la glissière.*
- (4) *Les effets maximum résultant du soulèvement des patins de levage soudés par le gel sont appliqués localement avec les forces indiquées ci-dessous :*
  - Force de traction dans le sens z  $F_{z,Q11k} = 50,0 \text{ kN / patin}$
  - Force de poussée dans le sens x  $F_{x,Q11k} = 25,0 \text{ kN / patin}$
- (5) *Dans la situation la plus défavorable, il convient d'estimer que les aimants de levage localement affectés au patin de levage soudé par le gel n'absorbent aucune force (cf. chapitre 0).*

**Poids de la rame plus élevé - neige sur la rame (Q11l)**

- (1) *Suite à une accumulation de neige sur la rame, une augmentation de la charge linéaire causée par la rame, correspondant aux valeurs indiquées ci-dessous, doit être prise en compte :*
  - $\Delta p_{z,EG,Q11l(1)} = 1,6 \text{ kN/m} \rightarrow \text{rare (non fréquent)}$
  - $\Delta p_{z,EG,Q11l(2)} = 3,2 \text{ kN/m} \rightarrow \text{exceptionnel}$
- (2) *La probabilité d'occurrence et les valeurs caractéristiques à appliquer doivent être déterminées pour chaque projet spécifique (voir également à ce sujet /MSB AG-FW IH/ ; Supports de référence, surveillance).*
- (3) *L'écart du centre de gravité de la neige accumulée dans le sens z correspond à  $s_{z,Q11l} = 400 \text{ mm}$ .*

## **Effets causés par la maintenance (Q30)**

- (1) Les contraintes, y compris les augmentations dynamiques potentielles résultant de la maintenance (dont les rames spéciales, charges d'exploitation et appareils afférents), ne peuvent être quantifiées.

## Température provenant de l'environnement (Q50)

### Généralités

- (1) Les règles et procédures de détermination des effets de température sur les ponts, y compris leurs éléments de construction, sont définies dans le document /DIN rapport technique 101/ chapitre V. Les valeurs caractéristiques des effets peuvent, dans la mesure où elles peuvent être transmises aux éléments de la voie de train rapide à sustentation magnétique, être tirées de ce document. Les effets de température causés par l'utilisation ne sont pas contenus dans ce dernier.
- (2) *Dans la suite de ce texte, on entend :*
  - par fluctuation de la température une modification uniforme de la température du centre de gravité de tous les éléments de construction (cf. /DIN rapport technique 101/ chapitre V, 6.3.1.3)
  - par variation linéaire de la température une variation linéaire de la température entre les bords opposés d'un élément de construction (cf. /DIN rapport technique 101/ chapitre V, 6.3.1.3)
  - par réchauffement inégal des éléments de construction un écart (différence de température) entre les températures du centre de gravité de certains éléments de construction qui n'ont pas une composition uniforme ou qui sont constitués de plusieurs matériaux différents (cf. /DIN rapport technique 101/ chapitre V, 6.3.1.6)
- (3) Les coefficients de dilatation thermique des matériaux de construction figurent dans le document /DIN rapport technique 101/.

### Fluctuations de température dans les superstructures de voie (Q50a)

- (1) Si aucune détermination plus précise de la température extérieure minimale et maximale n'est réalisée, les valeurs caractéristiques indiquées dans le Tableau 110 (colonne 1) peuvent être utilisées pour les projets réalisés en Europe centrale. Ces dernières se réfèrent à des températures extérieures s'échelonnant de -24 °C à +37 °C à une fréquence de récurrence de 50 ans.
- (2) Pour le calcul des jeux de palier et des joints (de dilatation), les valeurs du Tableau 110 doivent être majorées de 25 %.
- (3) La possibilité de réduction des effets présentés dans le Tableau 110 doit être décidée au cas par cas en accord avec l'autorité de surveillance compétente.

### Variation linéaire de température (Q50b)

#### Généralités

- (1) *Les variations de température à prendre en compte dépendent entre autres de la nature de la surface, de la géométrie et des conditions climatiques.*
- (2) *Les formules ci-dessous s'appliquent pour les valeurs limites afférentes :*

$\Delta T_M$  Variation linéaire de température  $T_o - T_u$  ou  $T_l - T_r$

$T_o$  Température de la membrure supérieure

$T_u$  Température de la membrure inférieure

$T_l$  Température du bord gauche de la section porteuse

$T_r$  Température du bord droit de la section porteuse

(Pour les sections pleines, les valeurs du bord de la section doivent être utilisées pour  $T_o$  et  $T_u$ .)

**Superstructures de la voie**

- (1) *Les valeurs caractéristiques des variations linéaires de température figurent dans le document /DIN rapport technique 101/ chapitre V, 6.3.1.4, pour plusieurs groupes de superstructures de la voie et diverses épaisseurs de revêtements de ponts. Ces valeurs constituent les valeurs limites supérieures de la variation linéaire de température pour les exemples représentatifs de la géométrie des ponts routiers et ferroviaires.*
- (2) En outre, les informations ci-dessous doivent être prises en compte pour les supports de voie des trains à sustentation magnétique :
  - Type de voies I et II  
Pour les supports de voie à pose discrète, les valeurs caractéristiques indiquées dans le Tableau 110 (colonne 2) peuvent être utilisées si les sections et surfaces sont comparables. La possibilité d'application de ces valeurs doit être confirmée au cas par cas par les autorités de surveillance compétentes.
  - Type de voies III et autres types de construction des voies  
Pour les systèmes à dalles de voies et les autres types de construction de voie qui ne sont pas couverts par les valeurs figurant dans le Tableau 110, des valeurs doivent être déterminées en accord avec l'autorité de surveillance compétente (le cas échéant par un calcul théorique sur la base de simulations).
  - Voies en tunnel  
Pour les voies en tunnel, aucune variation de température due à l'environnement ne doit normalement être appliquée.
  - Installations de changement de voie  
Cf. Tableau 110
- (3) Pour garantir une position optimale de la voie pendant les principaux horaires de fonctionnement, à définir pour chaque projet spécifique, une variation linéaire de la température  $T_0 - T_U$  prévue pendant ces horaires pour la détermination de la position théorique des supports doit être prise en compte pour définir la courbure théorique. Une position optimale de la voie est ainsi déterminée sur la base de cette variation de température (c'est-à-dire que la position de la voie correspond, sous une contrainte appliquée par la rame, à la pente de la voie).
- (4) Des hypothèses de température doivent être mises au point avec les autorités de surveillance compétente pour les sections non représentées dans le Tableau 110, en appliquant le Tableau 110 et les autres expériences et connaissances recueillies. Le cas échéant, ces hypothèses doivent être confirmées par des mesures.

**Infrastructures de la voie**

- (1) Les effets de température provenant de l'environnement pour les infrastructures de la voie doivent être relevés dans le document /DIN rapport technique 101/ chapitre V, 6.3.2.

**Réchauffement inégal des éléments de construction dû à l'environnement (Q50c)**

- (1) Une variation de température  $\Delta T = \pm 15$  K doit être utilisée comme variation entre les éléments en acier et en béton dans les cas décrits dans le document /DIN rapport technique 101/ chap. 6.3.1.6.
- (2) Lorsque les éléments en acier et en béton sont associés sur toute leur surface (par exemple SFS ou GL sur des supports en béton), une variation de température de  $\Delta T = \pm 10$  K doit être appliquée si aucune variation de température plus faible ne peut être attestée.
- (3) Pour les éléments de construction pour lesquels une augmentation de température est générée par la circulation, les réchauffements inégaux susvisés doivent être superposés à ces derniers.

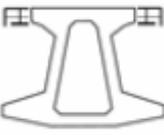
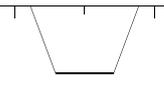
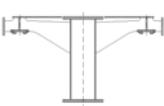
Type de construction	Section	Fluctuation de température $T_N$	Variation linéaire de température $\Delta T_{z,My}$ , verticale [K]	Variation linéaire de température $\Delta T_{y,Mz}$ , latérale [K]
		1	2	3
Construction en béton (Hauteur : 2 m)		$-15\text{ °C} \leq T_N \leq 35\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 17$	$-10 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 10$
Construction en acier (Hauteur : 2 m)		$-20\text{ °C} \leq T_N \leq 50\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 25$	$-17 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 17$
Construction mixte I (Hauteur : 2 m)		$-15\text{ °C} \leq T_N \leq 35\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 15$	$-10 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 10^*$
Construction mixte II (Hauteur : 2,2 m)		$-15\text{ °C} \leq T_N \leq 35\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 10$	$-10 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 10^*$
Construction en béton (Hauteur : 1 m)		$-15\text{ °C} \leq T_N \leq 35\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 17$	$-5 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 5$
Construction en acier (Hauteur : 1 m)		$-20\text{ °C} \leq T_N \leq 50\text{ °C}$	$-8 \leq \Delta T_{z,My} \leq 25$	$-13 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 13$
Acier souple (poutres sollicitées en flexion IxH : 0,45 m x 1,5 m)		$-20\text{ °C} \leq T_N \leq 50\text{ °C}$	$-10 \leq \Delta T_{z,My} \leq 20$	$-10 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 10$
Les valeurs caractéristiques des effets de température indiquées ont été déterminées en appliquant les indications du document /DIN rapport technique 101/, les résultats des calculs théoriques de /R 1/ et les résultats de mesure du TVE.				
* Au niveau de la section porteuse en béton				

Tableau 110 - Fluctuations et variations linéaires de température

## Vent sur la structure porteuse (Q51)

### Vent sur la structure porteuse avec du trafic

- (1) Les effets provoqués par le vent sur la structure porteuse en cours de trafic sont appliqués conformément au document /DIN rapport technique 101/.
- (2) Il est supposé que la voie est insensible aux vibrations en ce qui concerne les effets du vent ; dans le cas contraire, des certificats plus précis sont nécessaires.
- (3) Le vent s'applique à l'horizontale.
- (4) Pour les voies à deux rails, les rails individuels doivent être dimensionnés pour toute la charge de vent appliquée dans les deux sens.
- (5) Est considérée comme la surface de prise au vent pour le vent qui agit sur une structure porteuse supportant du trafic la zone de la voie non recouverte par la rame.
- (6) Les pressions dynamiques à prendre en compte pour les vitesses nominales de vent en rafale  $v_{b,10}$  (moyenne sur 5 sec., une fois par an) dans les zones de vent I, II, III et IV à plusieurs hauteurs de pente au-dessus du sol figurent dans le Tableau 111.
- (7) Les facteurs de forme et autres facteurs de détermination des grandeurs d'influence du vent sur la structure porteuse doivent être relevés dans les prescriptions existantes pour les différents ouvrages de construction.

Hauteur de pente $h_{G,Gelände}$		WZ I		WZ II		WZ III		WZ IV	
		$v_w$ [m/s]	$q_{w,Tragwerk}$ [kN/m <sup>2</sup> ]						
≤ 4,0 m	25	0,40	28	0,50	32	0,65	36	0,80	
> 4,0 m ... 13,0 m	28	0,50	31	0,60	36	0,80	40	1,00	
> 13,0 m ... 20,0 m	29	0,55	33	0,70	37	0,85	42	1,10	

Tableau 111 - Pression dynamique  $q_{w,Tragwerk}$  sur la structure porteuse

### Vent sur la structure porteuse sans trafic

- (1) Les effets provoqués par le vent sur la structure porteuse sans trafic sont certifiés conformément au document /DIN rapport technique 101/.
- (2) Il est supposé que la voie est insensible aux vibrations en ce qui concerne les effets du vent ; dans le cas contraire, des certificats plus précis sont nécessaires.

## Charges de neige et de glace (Q52)

- (1) Avec du trafic :  
La hauteur de neige supposée en cas de trafic est de 10 cm. Une charge de surface de  $q_{Schnee} = 0,5$  kN/m<sup>2</sup> doit être prise en compte ; cela correspond à un poids spécifique de 5 kN/m<sup>3</sup> (neige humide).
- (2) Sans trafic :  
En ce qui concerne la neige sans trafic, les valeurs du document /DIN rapport technique 101/ doivent être utilisées. Cette combinaison d'effets est couverte par les effets générés par la circulation pour les supports de voie.

## Forces de pression de l'eau variables (Q53)

- Les forces de pression de l'eau variables sont prises en compte en fonction des conditions locales.

### **Charges de chantier dues au vent (Q54)**

- Les effets sur les chantiers dus au vent doivent être pris en compte comme des effets variables sur la base du document /DIN rapport technique 101/.

### **Travaux de maintenance (Q55)**

- Les effets dus aux travaux de maintenance (par exemple suite au levage de la structure porteuse pour remplacer des appuis et des pièces d'appui) ou à des états similaires doivent être pris en compte.

### **Chantiers (Q56)**

- (1) Les effets résultant des travaux de construction et de montage sont pris en compte pour le dimensionnement des structures porteuses.
- (2) Les effets ci-dessous doivent être appliqués localement afin de tenir compte des effets générés par le montage des paquets de tôles statoriques et de l'enroulement du stator long pour la certification des paquets de tôles statoriques et de leur fixation à la structure de la rame :
  - $\text{dyn } p_z = -5,0 \text{ kN/m}$
  - $\text{dyn } p_x = 5,0 \text{ kN/m}$

### **Effets au niveau des installations de changement de voie (Q57)**

#### **Déformation élastique des aiguillages courbes (Q57a)**

- Les contraintes de flexion induites par la déformation forcée des aiguillages courbes et par les forces de mise en place doivent être calculées en fonction de la ligne de flexion des aiguillages concernés.

#### **Effets générés par la propulsion (Q57b)**

- Des effets générés par la propulsion des installations de changement de voie (aiguillages courbes, plates-formes roulantes) en termes de réactance de masse, de frottement et de défaut de synchronisation des points d'action des réglages doivent être pris en compte.

### **Résistance au déplacement des paliers (Q58)**

- Les effets résultant du frottement des paliers doivent être pris en compte conformément aux règles techniques de construction en vigueur.

### **Défaillance d'éléments de la structure porteuse (Q59)**

- (1) Il convient de certifier que la voie reste praticable pendant une durée à définir, même en cas de défaillance de certains éléments de la structure porteuse.
- (2) Les mesures requises à cette fin (par exemple redondance) et la certification doivent être déterminées en accord avec les autorités de surveillance compétentes.

## **Poussée de terre résultant d'effets variables (Q60)**

- La poussée de terre générée par les effets variables doit être prise en compte conformément aux règles généralement reconnues de la technique.

## Effets exceptionnels

### Généralités

- (1) Les stratégies et règles relatives à la protection des constructions de la voie contre les effets exceptionnels identifiables ou impossibles à identifier figurent dans les normes et règles pertinentes (par exemple EN 1991).

### Effets exceptionnels provoqués par les rames

#### Effets résultant de violations de l'espace libre (A1)

- (1) *Compte-tenu des mesures décrites dans le document /MSB AG-GESAMTSYS/ visant à éviter les violations de l'espace libre, les effets sur les voies résultant des violations de l'espace libre n'ont pas besoin d'être analysés.*

#### Vent de sécurité sur la rame (A2)

- (1) Un certificat de stabilité supplémentaire tenant compte du vent maximum constaté sur 100 ans (« vent de sécurité ») doit être réalisé pour la situation de service « voie avec une rame à l'arrêt ». Le vent de sécurité sur la rame est appliqué avec les vitesses nominales de vent en rafale suivantes  $v_{b,10}$  (moyenne sur 5 sec.) à une hauteur de 10 m et avec une probabilité d'occurrence d'une fois tous les 100 ans :
- Zone de vent I  $v_{b,10} = 36$  m/s
  - Zone de vent II  $v_{b,10} = 40$  m/s
  - Zone de vent III  $v_{b,10} = 46$  m/s
  - Zone de vent IV  $v_{b,10} = 52$  m/s
- (2) Les forces de poussée verticale induites pour la rame par ces vitesses de vent sont déterminées conformément au Tableau 112. Les effets sont définis conformément au chapitre 0.
- (3) Les forces des aimants de guidage  $p_{y,SW,FMTi}$  et les forces afférentes résultant du couple autour de l'axe des x doivent être déterminées conformément au chapitre 0 et à l'annexe II-E.

Effets en kN/m		Hauteur de pente		
		$h_{G,Gelände} \leq 4,0$ m	$4,0$ m < $h_{G,Gelände} \leq 13,0$ m	$13,0$ m < $h_{G,Gelände} \leq 20,0$ m
<u>Zone de vent I</u>	$p_{z,SA,1}$	-1,8	-1,9	-2,2
	$p_{z,SA,2}$	-1,1	-1,1	-1,4
<u>Zone de vent II</u>	$p_{z,SA,1}$	-2,2	-2,3	-2,7
	$p_{z,SA,2}$	-1,4	-1,4	-1,7
<u>Zone de vent III</u>	$p_{z,SA,1}$	-2,8	-3,1	-3,6
	$p_{z,SA,2}$	-1,7	-1,9	-2,3
<u>Zone de vent IV</u>	$p_{z,SA,1}$	-3,6	-3,9	-4,6
	$p_{z,SA,2}$	-2,3	-2,4	-2,8

Tableau 112 - Effets types provoqués par la poussée verticale de la rame sous l'action du vent de sécurité

**Effets exceptionnels causés par la maintenance (A3)**

- (1) Les contraintes générées par la maintenance ne doivent pas être certifiées pour la voie.
- (2) Conformément au document /MSB AG-FW ÜBG/, toutes les rames spéciales, charges d'exploitation et appareils doivent être dimensionnés de telle manière que les contraintes dues à la maintenance soient couvertes par les contraintes de la rame de TSM.

**Vent de sécurité sur la structure porteuse (A4)**

- (1) Les effets de vent conformes au document /DIN rapport technique 101/ annexe N.2, sont appliqués comme effets dus au vent de sécurité (SW) sur la structure porteuse.

**Mouvements possibles du terrain de fondation (A5)**

- (1) Les mouvements possibles du terrain de fondation doivent être pris en compte conformément aux règles de la technique généralement reconnues et aux conditions locales de la voie en termes de stabilité et d'utilisabilité (cf. chapitre 0).

**Collisions****Généralités**

- (1) Le cas échéant, des certificats complémentaires de projet spécifique doivent être établis pour les constructions de la voie, en tenant compte des effets exceptionnels provoqués par une collision.
- (2) Les mesures possibles visant à éviter les collisions et/ou les certificats requis en ce qui concerne les collisions avec les supports et les piliers figurent dans les règles existantes (par exemple /DIN rapport technique 101/).
- (3) Par exemple, pour tous les supports et piliers, une charge causée par la collision d'une rame de 500 kN au minimum doit être appliquée dans le sens le plus défavorable, y compris à proximité des surfaces d'exploitation agricole. La charge est appliquée dans le sens horizontal à 1,25 m au-dessus de la surface du sol et est considérée comme un effet exceptionnel. Une armature double et la mise en place d'une couche de blocage spécifique ne sont pas nécessaires.
- (4) Les mesures sélectionnées visant à éviter les collisions et/ou les certificats requis afin de tenir compte des collisions avec les supports de voie doivent être retenus pour chaque situation d'application en accord avec l'autorité de surveillance compétente, conformément aux règles de la technique généralement reconnues.
- (5) *L'annexe B de la norme prEN 199117:2005 contient des consignes relatives à la planification et à la réalisation de certificats concernant les risques.*

**Collision avec des rames guidées sur voie (A6)**

- (1) Les exigences à prendre en compte en ce qui concerne les collisions des rames guidées sur voie (rames ferroviaires) doivent être déterminées en accord avec l'autorité de surveillance compétente.
- (2) *Des informations relatives au certificat concernant les effets exceptionnels dus aux collisions figurent dans le document /DIN rapport technique 101/ ainsi que dans la norme prEN 199117:2005, chapitre 4.4 et dans l'annexe nationale afférente.*

**Collision avec des véhicules routiers (A7)**

- (1) Les effets exceptionnels liés à la collision des véhicules routiers avec les infrastructures porteuses et les superstructures de voies doivent être pris en compte sur la base de la norme EN 1991-1-7, chapitre 4.3.
- (2) De plus, les appuis de la voie doivent être dimensionnés pour les forces équivalentes d'action simultanée présentées ci-dessous, à des fins d'attestation de la stabilité en cas de collision de véhicules routiers avec des appuis de voie, sous l'aspect de la sécurité des personnes :
  - Force équivalente dans le sens y :  $F_{Y,Anprall,Lager} = 1000 \text{ kN}$  ;
  - Force équivalente dans le sens z :  $F_{Z,Anprall,Lager} = -300 \text{ kN}$  ;
- (3) La durée d'action des forces équivalente correspond à 60 ms.
- (4) *Les forces équivalentes s'appliquent pour les supports de voie à pose discrète en acier et en béton, présentant des caractéristiques de construction (rigidité, répartition des masses) analogues à celles du TVE.*
- (5) La possibilité de transmission des forces équivalentes à d'autres conditions générales (voie et données relatives aux rames) ou d'application de forces équivalentes différentes doit être attestée auprès de l'autorité de surveillance compétente.
- (6) Les déformations autorisées pour les effets exceptionnels suite à une collision avec des appuis et des supports de voie conformément au chapitre 0 doivent être respectées.

**Poussée de glace, pression thermique de la glace, collision avec des navires (A8)**

- (1) Les effets à appliquer et les procédures de certification à utiliser doivent être définis au cas par cas avec l'autorité de surveillance compétente.
- (2) *Les effets exceptionnels résultant des collisions avec des navires figurent dans la norme EN 1991-1-7, chapitre 4.6.*

**Séismes (A9)**

- (1) En règle générale, les conditions de conception conformes aux dispositions techniques relatives à la construction en vigueur et aux règles de la technique généralement reconnues (par exemple Eurocode EN 1998 « Calcul des structures pour leur résistance aux séismes ») peuvent être appliquées.
- (2) En cas de doute, il convient de déterminer avec l'autorité de surveillance compétente les effets dus aux séismes qui doivent être pris en compte.

## Schémas de charge de la rame

## Généralités

- (1) Les schémas de charge ci-dessous doivent être appliqués en fonction des dimensions de la structure à examiner pour la réalisation d'un certificat global et/ou local concernant la voie.

## Schémas de charge globaux

## Forces d'inertie

- (1) Les schémas de charge des forces d'inertie du côté de la rame (ainsi que les charges latérales dynamiques et les réactions) dans le sens x, y et z conformément au chapitre 0 sont représentés dans les figures Figure 139, Figure 143 et Figure 144.
- (2) Les effets globaux  $p_x^*$ ,  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  ainsi que  $m_x$ ,  $m_y$  et  $m_z$ , en fonction de la rame, permettent d'établir les forces d'interface  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$ ,  $F_x$ ,  $F_y$ , et  $F_z$ .

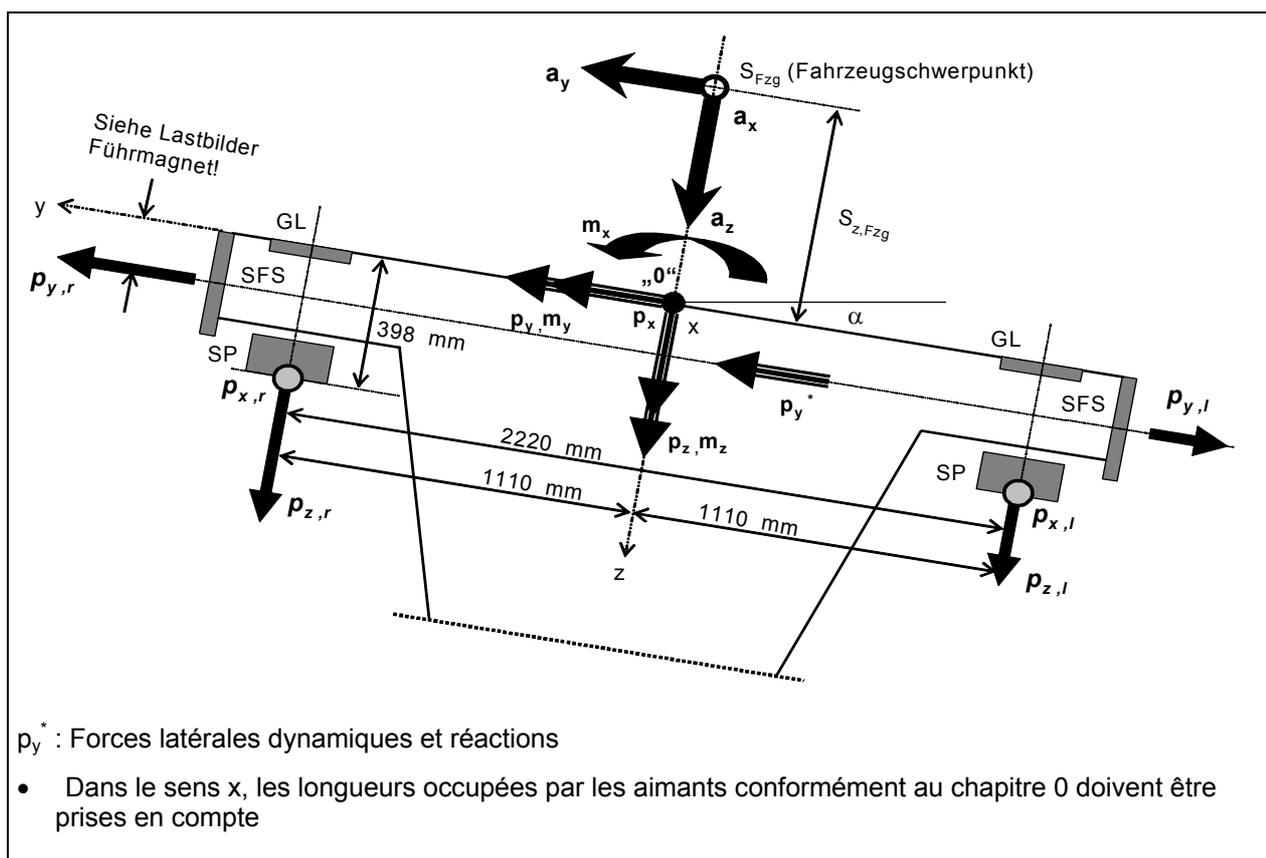


Figure 139 - Schéma de charge global de la rame en sustentation

Cf. schémas de charge des aimants de guidage !  
(Centre de gravité de la rame)



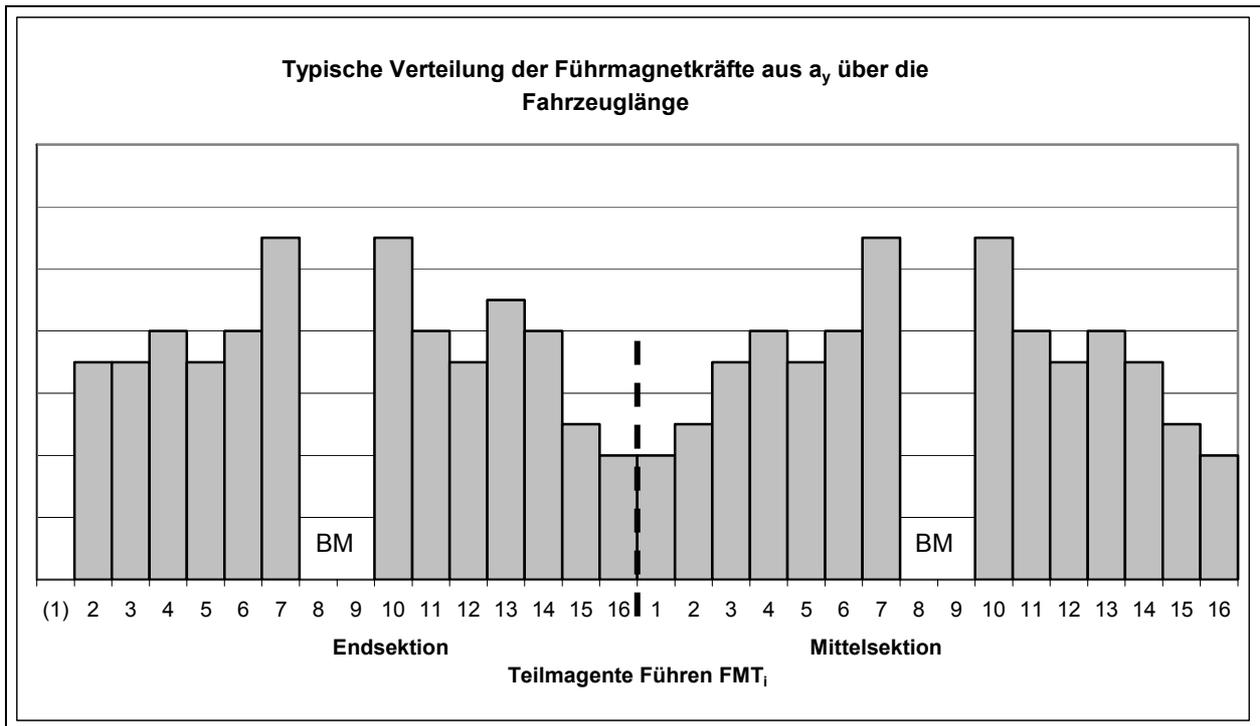


Figure 141 - Schéma de charge type de la répartition des forces de  $p_{y,ay}$  conformément à la formule ( 10)

Répartition type des forces des aimants de guidage pour  $a_y$  sur toute la longueur de la rame  
 Voiture d'extrémité      Éléments magnétiques Guidage FMT<sub>i</sub>      Voiture intermédiaire

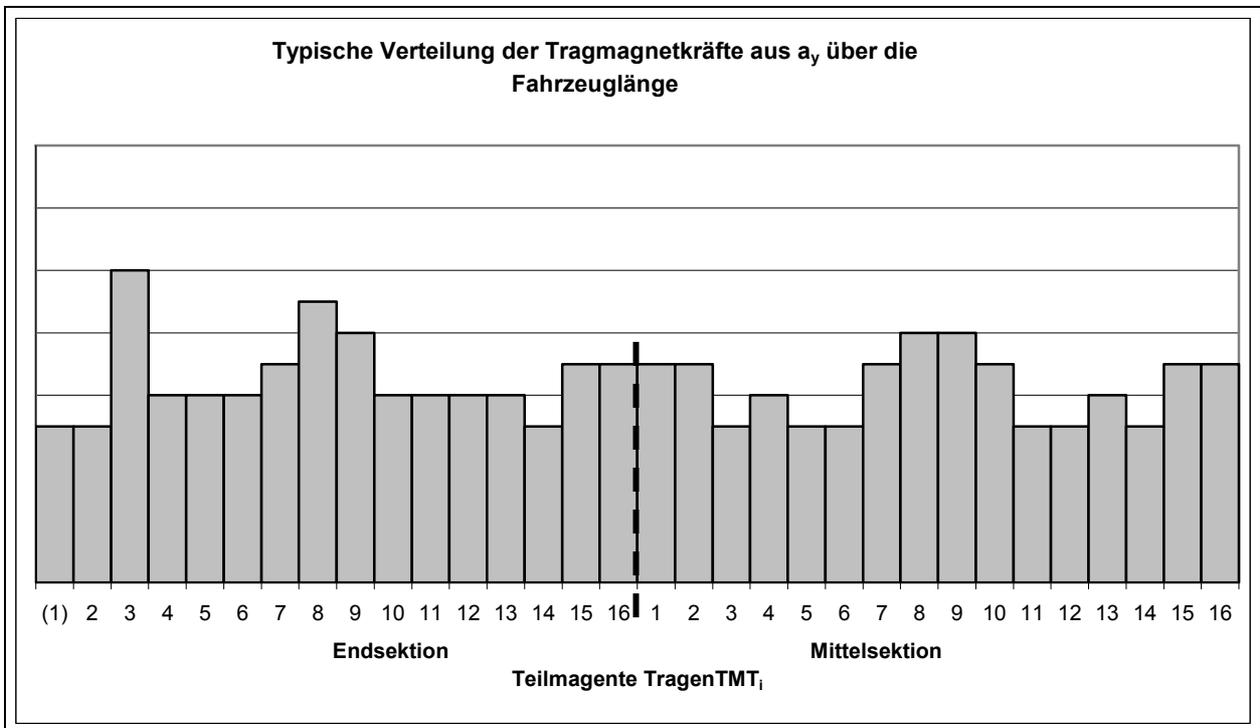


Figure 142 - Schéma de charge type de la répartition des forces de  $p_{z,ay}$  conformément à la formule ( 11)

Répartition type des forces des aimants de levage pour  $a_y$  sur toute la longueur de la rame  
Voiture d'extrémité      Éléments magnétiques Levage TMT<sub>i</sub> Voiture intermédiaire

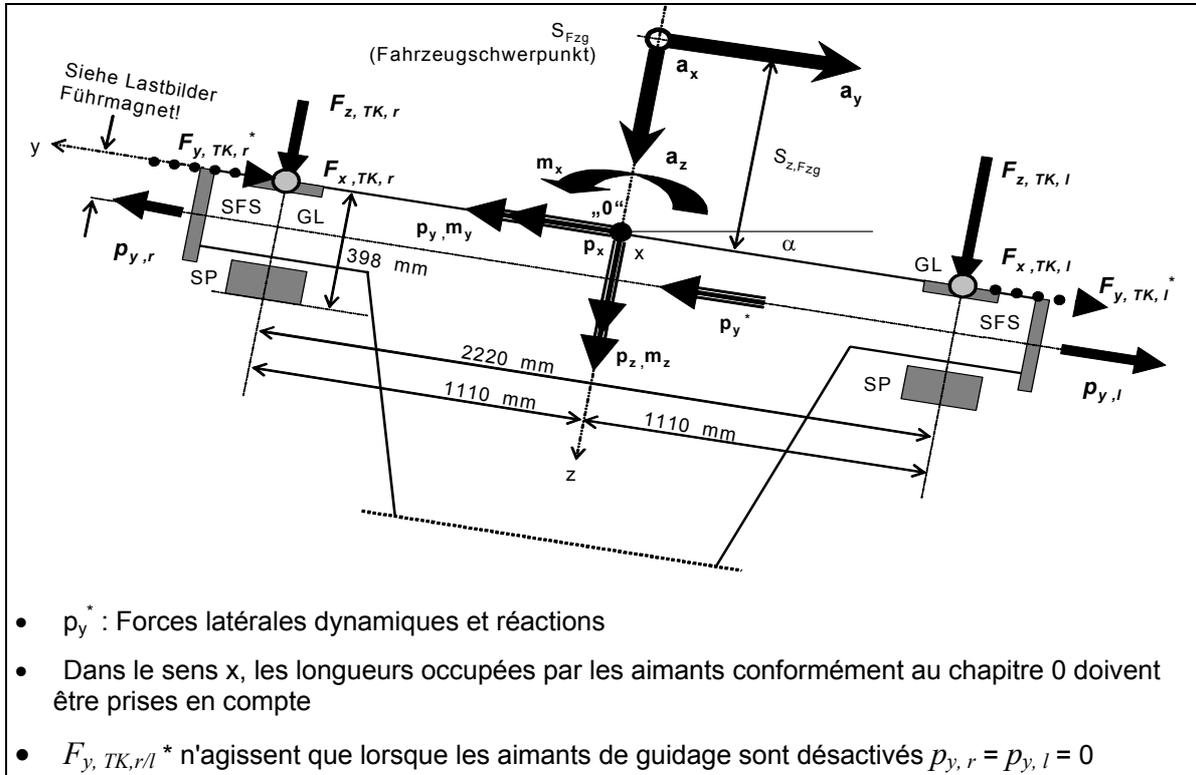
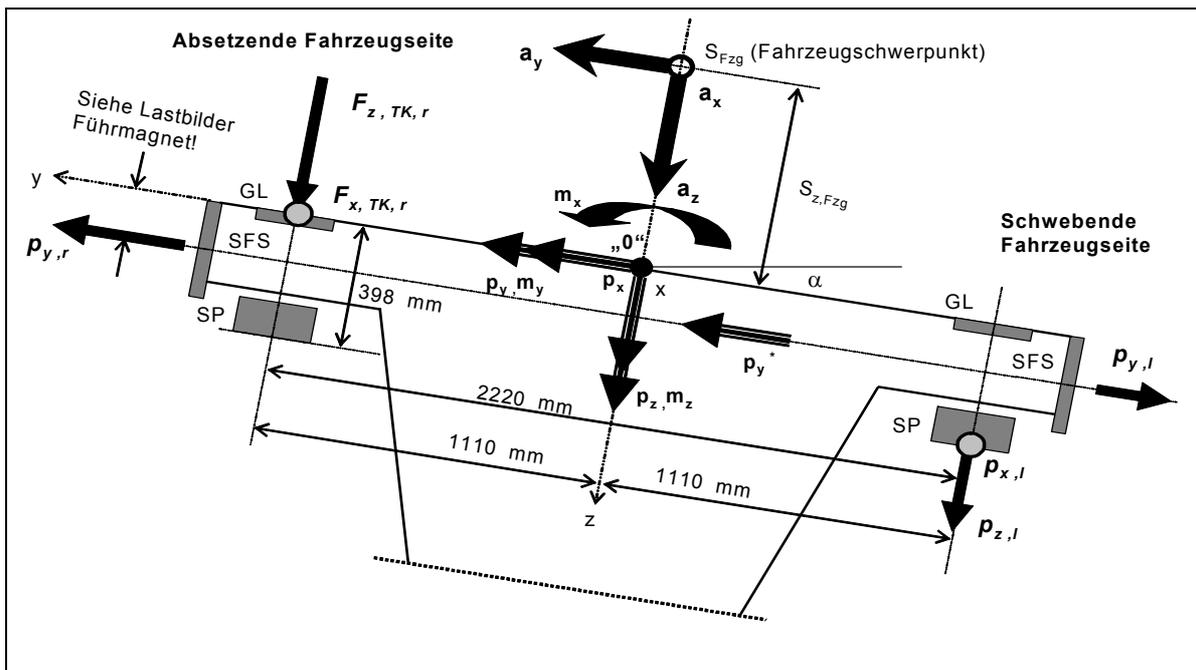


Figure 143 - Schéma de charge global de la rame qui s'abaisse / à l'arrêt

Cf. schémas de charge des aimants de guidage !  
(Centre de gravité de la rame)



- $p_y^*$  : Forces latérales dynamiques et réactions
- Dans le sens x, les longueurs occupées par les aimants conformément au chapitre 0 doivent être prises en compte

**Figure 144 - Schéma de charge global pour la situation de dimensionnement Q11i**

*Cf. schémas de charge des aimants de guidage !*

**Côté de la rame qui s'abaisse**

*(Centre de gravité de la rame)*

**Côté de la rame en sustentation**

## Vent sur la rame

- (1) Le schéma de charge des effets induits par le « vent sur la rame » et par la « poussée verticale » conformément au chapitre 0 doit être relevé dans la Figure 145.
- (2) Les effets globaux  $p^*$ ,  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  ainsi que  $m_x$ ,  $m_y$  et  $m_z$ , en fonction de la rame, permettent d'établir les forces d'interface  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$ ,  $F_x$ ,  $F_y$ , et  $F_z$ .

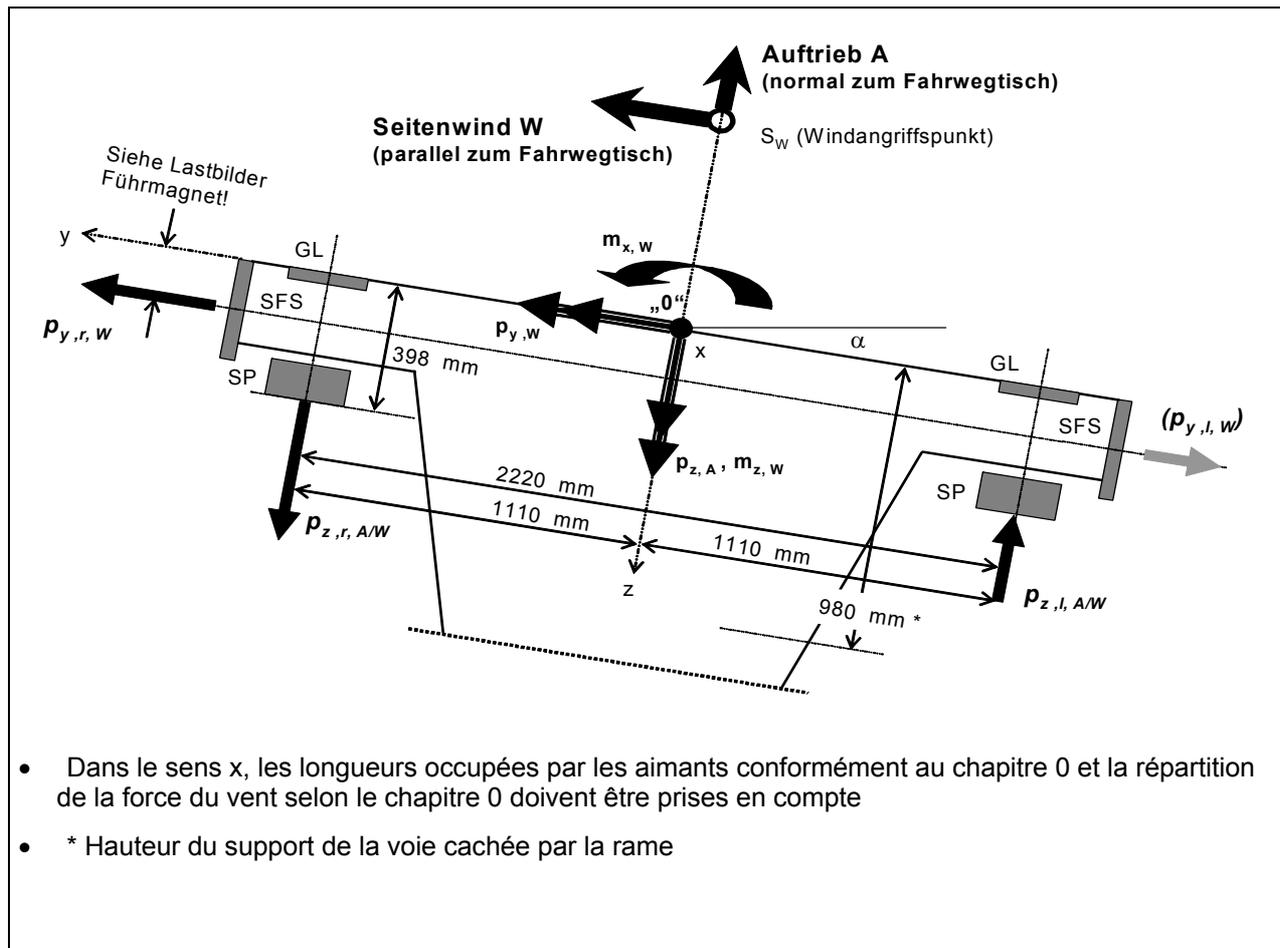


Figure 145 - Schéma de charge global « vent » et « poussée verticale » pour une rame en sustentation

Cf. schémas de charge des aimants de guidage !

**Vent latéral W (parallèle à la table de la voie)**

**Poussée verticale (perpendiculaire à la table de la voie)**

$S_w$  (point d'application du vent)

- (3) Le schéma de charge global des effets résultant du « vent sur la rame » et de la « poussée verticale » doit être déterminé conformément à la Figure 144 pour la situation de service non fréquente « Abaissement unilatéral de la rame suite à un court-circuit de l'enroulement ».
- (4) La Figure 143 s'applique comme il convient pour la rame abaissée.

- (5) Les illustrations ci-après représentent la répartition des forces des aimants de levage et de guidage sous l'effet d'un vent latéral sur la longueur de la rame. Les différentes dimensions doivent être calculées à partir des formules indiquées.

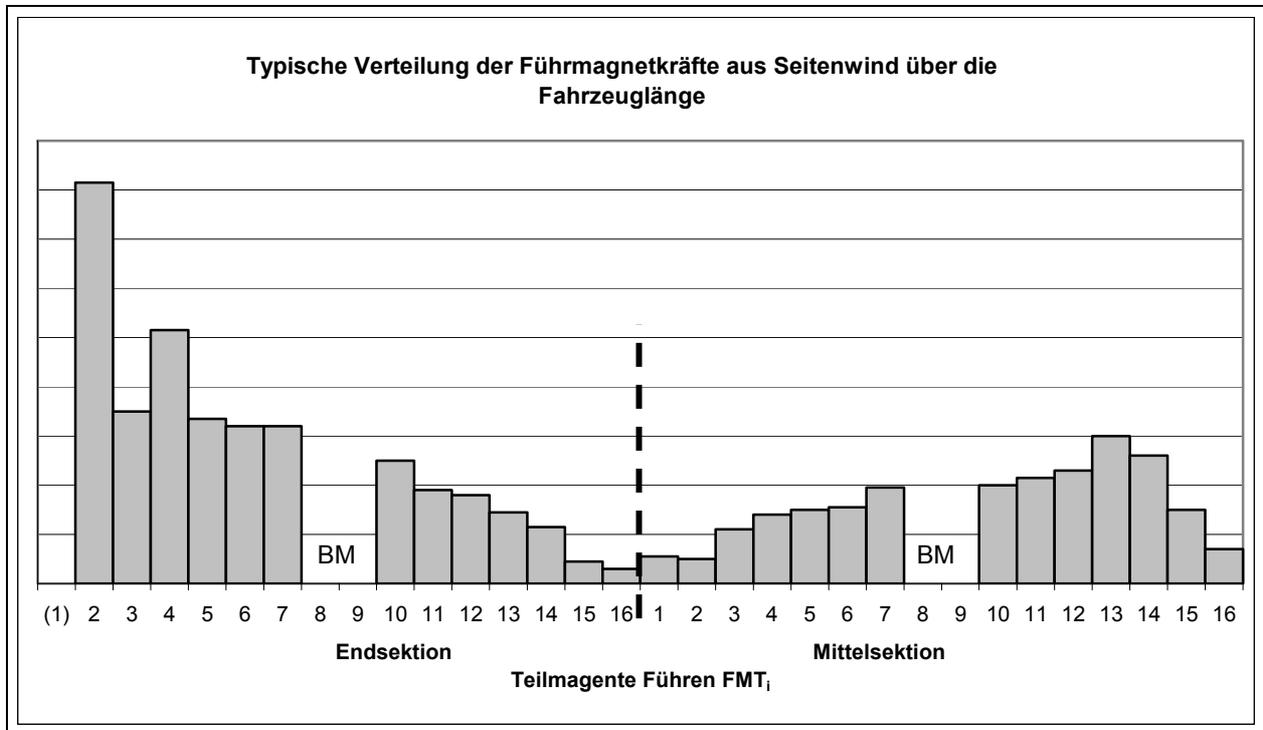


Figure 146 - Schéma de charge type pour  $p_{y,w}$  avec  $v_w = 25 \text{ m/s}$  et  $v_{Fzg} = 500 \text{ km/h}$

Répartition type des forces des aimants de guidage dues au vent latéral sur toute la longueur de la rame  
 Voiture d'extrémité      Éléments magnétiques Guidage FMT<sub>i</sub>      Voiture intermédiaire

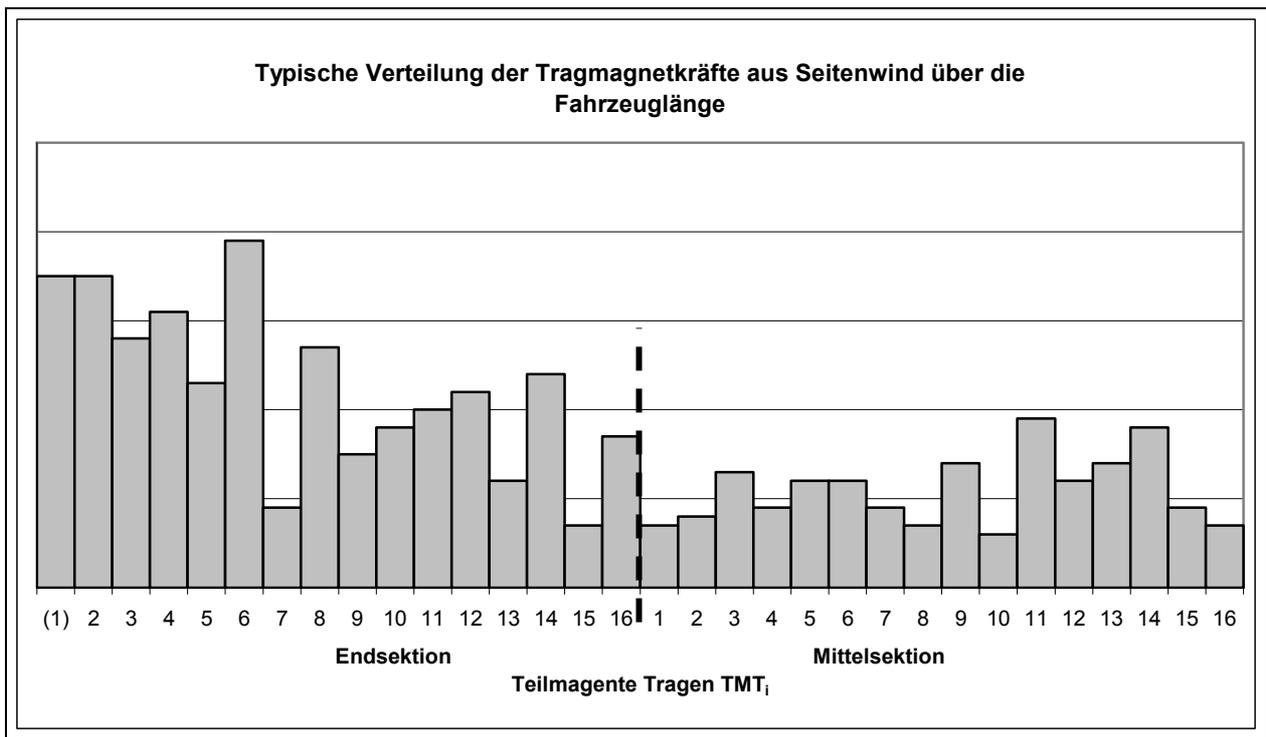


Figure 147 - Schéma de charge type pour  $p_{z,W}$  avec  $v_w = 25 \text{ m/s}$  et  $v_{Fzg} = 500 \text{ km/h}$

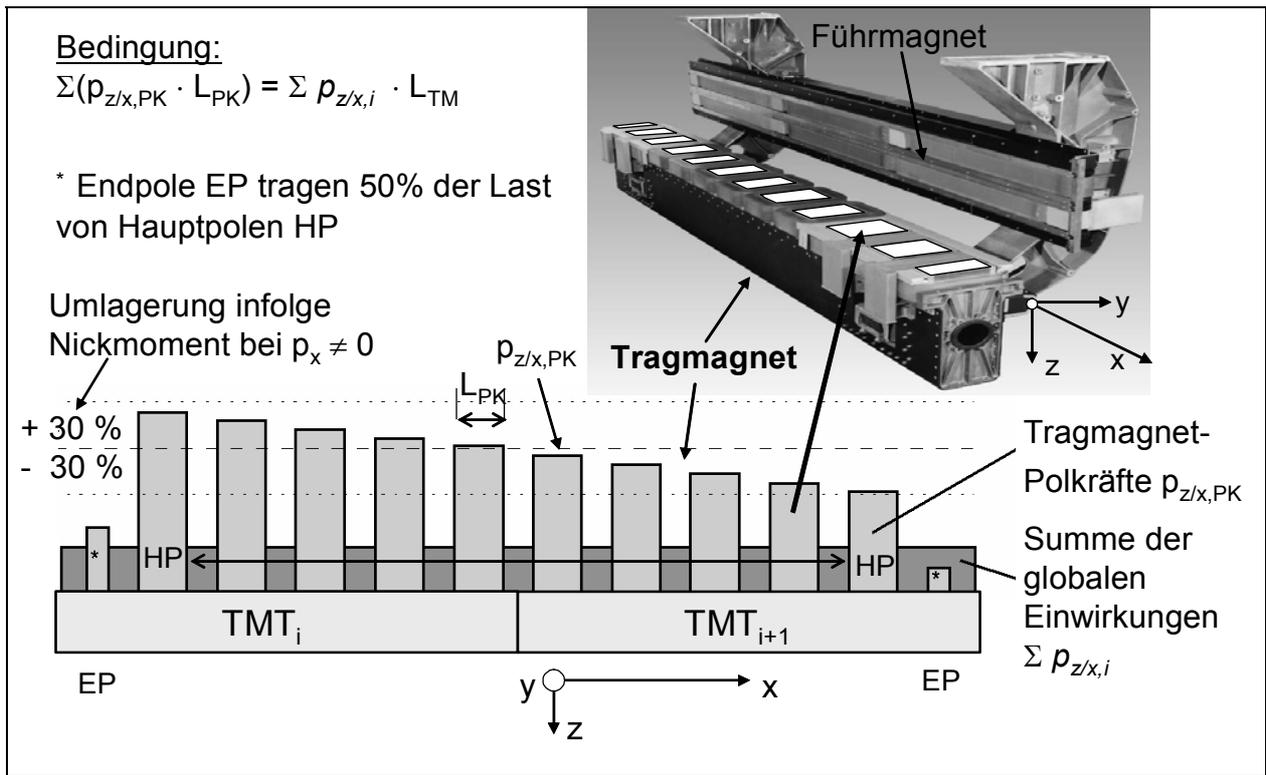
Répartition type des forces des aimants de levage dues au vent latéral sur toute la longueur de la rame  
 Voiture d'extrémité      Éléments magnétiques Levage TMT<sub>i</sub> Voiture intermédiaire

## Schémas de charge locaux

### Interface Aimant de levage – Stator long (paquet de tôles statiques)

#### Effets provenant des situations de dimensionnement fréquentes (Q1...Q10)

- (1) Dans le cadre des situations de dimensionnement variables fréquentes, les forces d'interface locales de la rame sont calculées en tenant compte de l'emplacement des groupes de combinaisons éventuellement constatés au niveau de la rame et provoquant des effets globaux.
- (2) Pour les certificats locaux, le facteur de la dynamique de régulation doit être pris en compte en plus de la dynamique de l'ouvrage (cf. chapitre 0). Pour ce faire, la longueur unitaire minimale s'élève à 1,548 m (longueur d'un élément magnétique). En tenant compte de la charge globale, une augmentation ou une diminution des effets peut être appliquée pour 2 éléments magnétiques voisins au maximum.
- (3) Lors de la transmission simultanée des forces dans le sens x par le stator long, un transfert des forces supplémentaire de 30 % au max (cf. Figure 148) à la poussée maximale, liée à l'inclinaison des aimants de levage, doit être prise en compte. Si la poussée est inférieure, ce transfert peut être réduit de façon linéaire en fonction de la force de poussée réellement constatée.
- (4) La géométrie des effets (cf. Figure 148) doit être superposée de manière défavorable aux effets constatés aux interfaces entre les rails de guidage latéraux et les aimants de guidage.
- (5) *Le schéma de charge est également applicable pour les certificats globaux ; cela signifie que la somme des forces reste neutre.*
- (6) *Un aimant de levage standard est représenté sur les illustrations ci-après. Le premier et le dernier aimant d'une rame (aimants de tête) peuvent être munis de deux pôles supplémentaires (cf. également Figure 122).*
- (7) *Informations relatives à la détermination des forces polaires, avec 30 % de transfert : cf. annexe chapitre 0.*



**Condition :**

\* Les pôles d'extrémité EP supportent 50 % de la charge des pôles principaux HP  
 Transfert en raison du moment de tangage lorsque  $p_x \neq 0$

Aimant de guidage

**Aimant de levage**

Forces polaires de l'aimant de levage

Somme des effets globaux

## Effets provenant des situations de dimensionnement non fréquentes

### Panne d'un circuit de régulation magnétique Levage (Q11b)

- (1) La géométrie des effets en cas de panne d'un MRET est représentée dans la Figure 149.
- (2) L'effet correspondant doit être appliqué localement comme une valeur maximale.

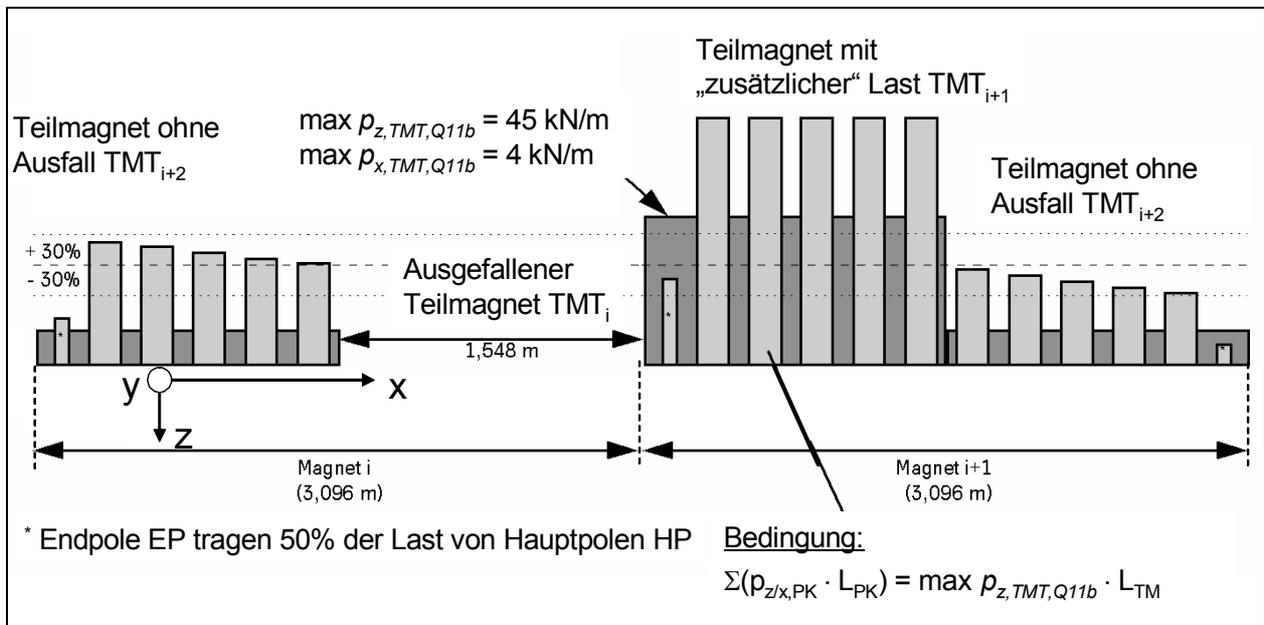


Figure 149 - Schéma de charge type en cas de panne d'un circuit de régulation magnétique Levage (Q11b)

Élément magnétique sans défaillance

Élément magnétique en panne

Élément magnétique avec une charge « supplémentaire »

Élément magnétique sans défaillance

Aimant *i*

Aimant *i+1*

\* Les pôles d'extrémité EP supportent 50 % de la charge des pôles principaux HP

Condition :

### Double panne de circuits de régulation magnétique Levage (Q11c)

- (1) La double panne des circuits de régulation des aimants de levage sur un cadre de sustentation conduit à un effet induit par le patin de levage du cadre de sustentation (cf. 0).

### Autres situations de dimensionnement non fréquentes (Q11a, Q11d à Q11i)

- (1) Les situations de dimensionnement Q11a, Q11d à Q11i doivent être traitées conformément à la Figure 148.

## Dynamique locale d'un élément de construction

Cf. chapitre 0.

## Interface Aimant de guidage – Rail de guidage latéral

### Effets provenant des situations de dimensionnement fréquentes (Q1...Q10)

- (1) Dans le cadre des situations de dimensionnement variables fréquentes, les forces d'interface locales de la rame sont calculées en tenant compte de l'emplacement des groupes de combinaisons éventuellement constatés au niveau de la rame et provoquant des effets globaux. Dans ce cadre, il convient de noter que les forces de guidage ne peuvent être transmises que par les forces de traction magnétiques.
- (2) Pour les certificats locaux, le facteur de la dynamique de régulation  $\varphi_{RI}$  doit être pris en compte en plus de la dynamique de l'ouvrage (cf. chapitre 0). En tenant compte de la charge globale, une augmentation ou une diminution des effets peut être appliquée au maximum pour 2 éléments magnétiques voisins.
- (3) Cette géométrie des effets doit être superposée de la manière la plus défavorable aux effets au niveau de l'interface entre le stator long et l'aimant de levage.

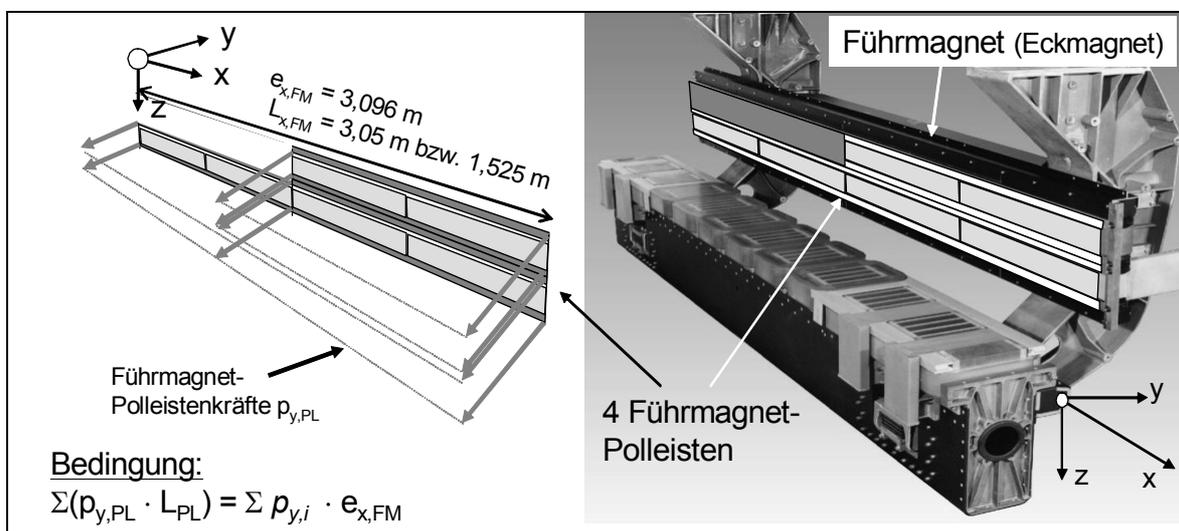


Figure 150 - Schéma de charge type d'un aimant de guidage (aimant d'extrémité)

Forces des barrettes de pôles de l'aimant de guidage

Condition :

Aimant de guidage (aimant d'extrémité)

4 barrettes de pôles de l'aimant de guidage

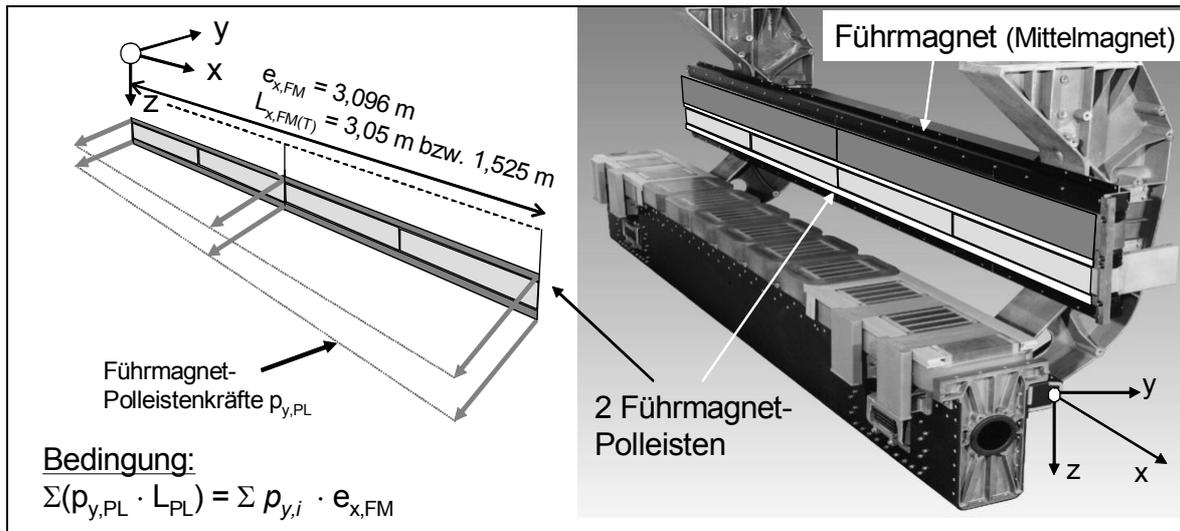


Figure 151 - Schéma de charge type d'un aimant de guidage (aimant central)

Forces des barrettes de pôles de l'aimant de guidage

Condition : Aimant de guidage (aimant central)

2 barrettes de pôles de l'aimant de guidage

Effets provenant des situations de dimensionnement non fréquentes

Panne d'un circuit de régulation magnétique Guidage (Q11d)

- (1) La géométrie des effets en cas de panne d'un circuit de régulation magnétique Guidage (MREF) est représentée dans la Figure 152.

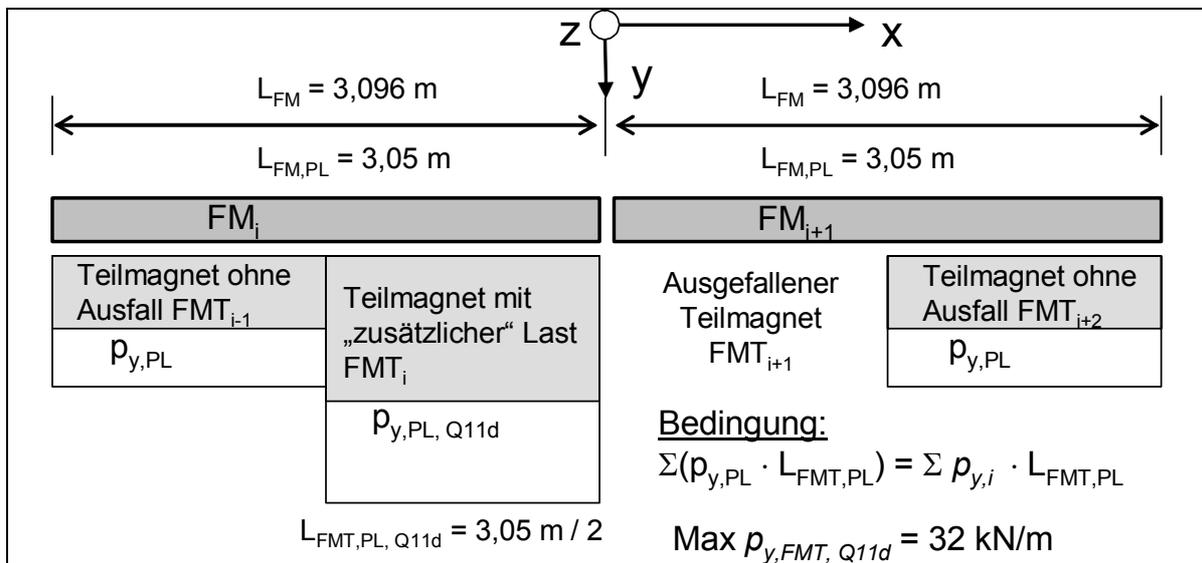


Figure 152 - Schéma de charge type en cas de panne d'un circuit de régulation magnétique Guidage (Q11d)

Élément magnétique sans défaillance

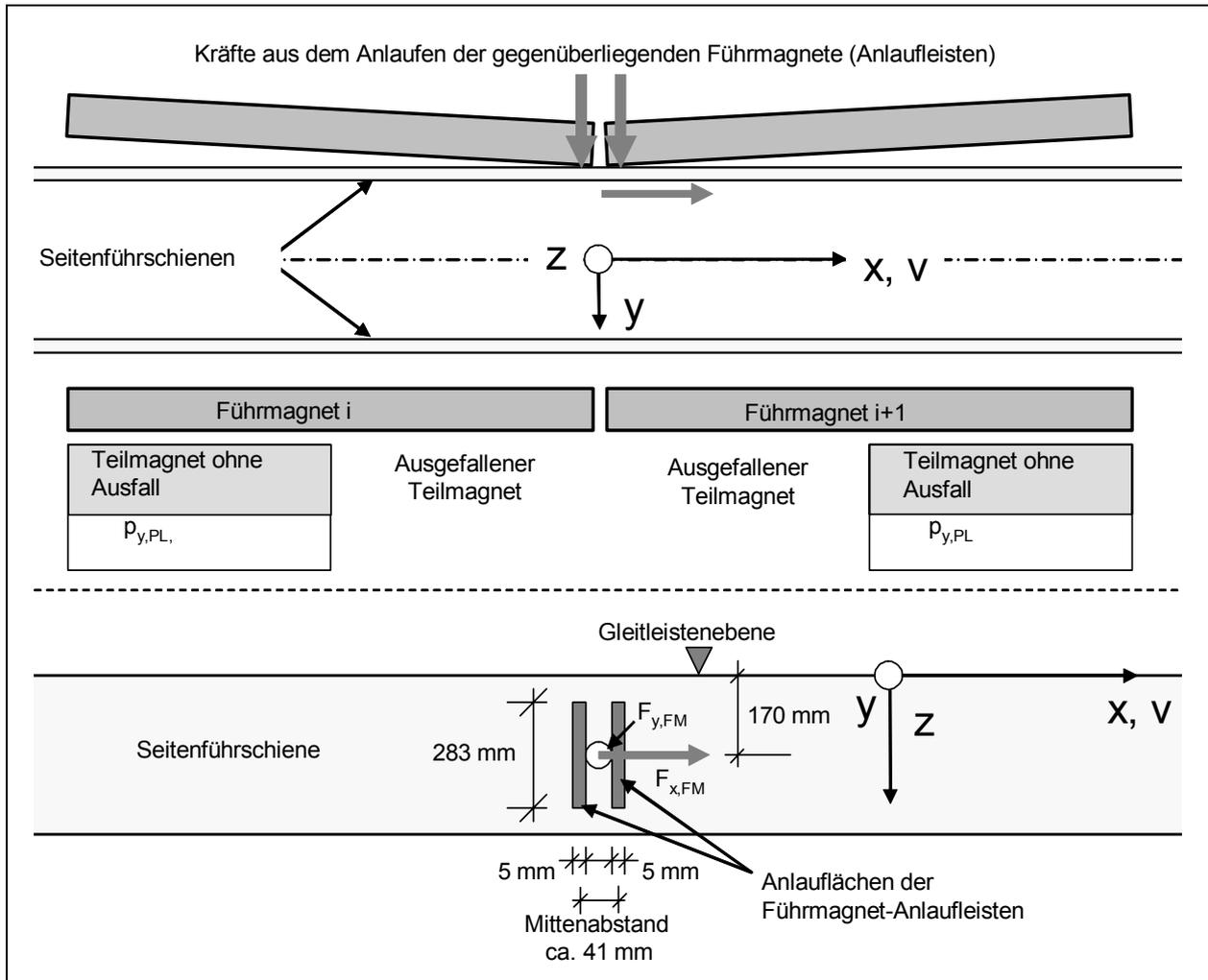
Élément magnétique avec une charge « supplémentaire »

Élément magnétique en panne

*Élément magnétique sans défaillance Condition :*

**Double panne de circuits de régulation magnétique Guidage (Q11e)**

- (1) La panne de deux circuits de régulation magnétique Guidage voisins de deux aimants de guidage voisins conduit à un effet provoqué par les aimants de guidage opposés (démarrage des aimants de guidage).
- (2) La géométrie des effets pour cet effet local est représentée dans la Figure 153.



**Figure 153 - Schéma de charge type en cas de double panne de circuits de régulation magnétique Guidage (Q11e)**

*Forces générées par le démarrage des aimants de guidage opposés (butées de démarrage)*

*Rails de guidage latéraux*

*Aimant de guidage i                      Aimant de guidage i+1*

*Élément magnétique sans défaillance*

*Élément magnétique avec une charge « supplémentaire »*

*Élément magnétique en panne*

*Élément magnétique sans défaillance*

*Plan de la glissière*

*Rail de guidage latéral*

*Écartement moyen env. 41 mm*

*Surfaces de démarrage des butées de démarrage de l'aimant de guidage*

### **Dynamique locale d'un élément de construction**

- (1) Pour les effets provoqués par une double panne de circuits de régulation magnétique Guidage (démarrage des aimants de guidage) conformément au chapitre 0, aucun facteur d'augmentation dynamique supplémentaire ne doit être appliqué afin de tenir compte de la dynamique locale d'un élément de construction, car les charges de tamponnement maximales tiennent déjà compte d'une dynamique possible.

## Interface Aimant de freinage – Rail de guidage latéral

### Situation de dimensionnement non fréquente (Q11f)

- (1) La géométrie des effets pour les effets résultant des aimants de freinage avec ou sans contact est représentée dans la Figure 154.
- (2) En tant qu'effets variables non fréquents, les effets générés par les aimants de freinage doivent être superposés aux effets correspondant du système de levage/guidage, en tenant compte des conditions visées dans les 0 et 0 (cf. également 0).

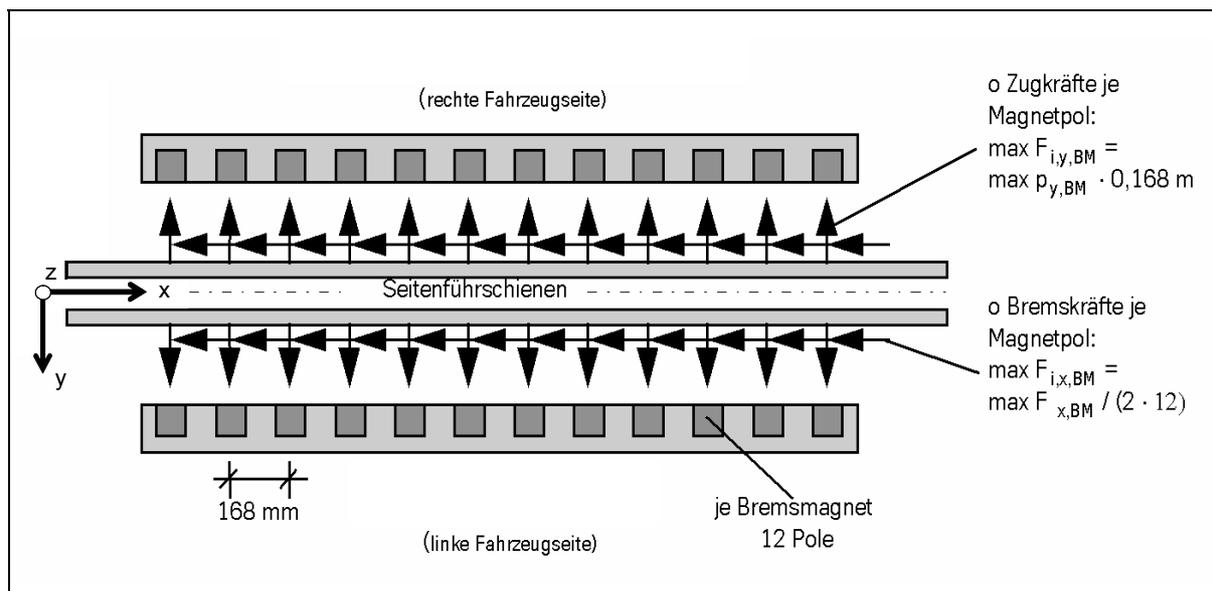


Figure 154 - Schéma de charge type des aimants de freinage (avec ou sans contact)

(Côté droit de la rame)

Rails de guidage latéraux

(Côté gauche de la rame) Par aimant de freinage 12 pôles

Forces de traction par pôle magnétique :

Forces de freinage par pôle magnétique :

## Dynamique locale d'un élément de construction

Cf. chapitre 0.

## Interface Patin de levage – Glissière

### Effets provenant des situations de dimensionnement fréquentes (Q1...Q10)

- (1) Le schéma de charge des patins de levage suite aux effets dus aux situations de service fréquentes (rame à l'arrêt en cours d'abaissement ou rame à l'arrêt abaissée) est représenté dans la Figure 155 (cf. également le chapitre 0).
- (2) Tous les effets induits par la rame sont ici transmis à la voie par l'intermédiaire des patins de levage.

### Effets provenant des situations de dimensionnement non fréquentes

#### Double panne de circuits de régulation magnétique Levage (Q11c)

- (1) L'effort de tamponnement maximal visé au chapitre 0 est utilisé comme effet résultant du patin de levage. Il convient alors d'estimer que les 2 éléments magnétiques de levage directement affectés au patin de levage ( $TMT_i$  et  $TMT_{i+1}$ ) sont inactifs.

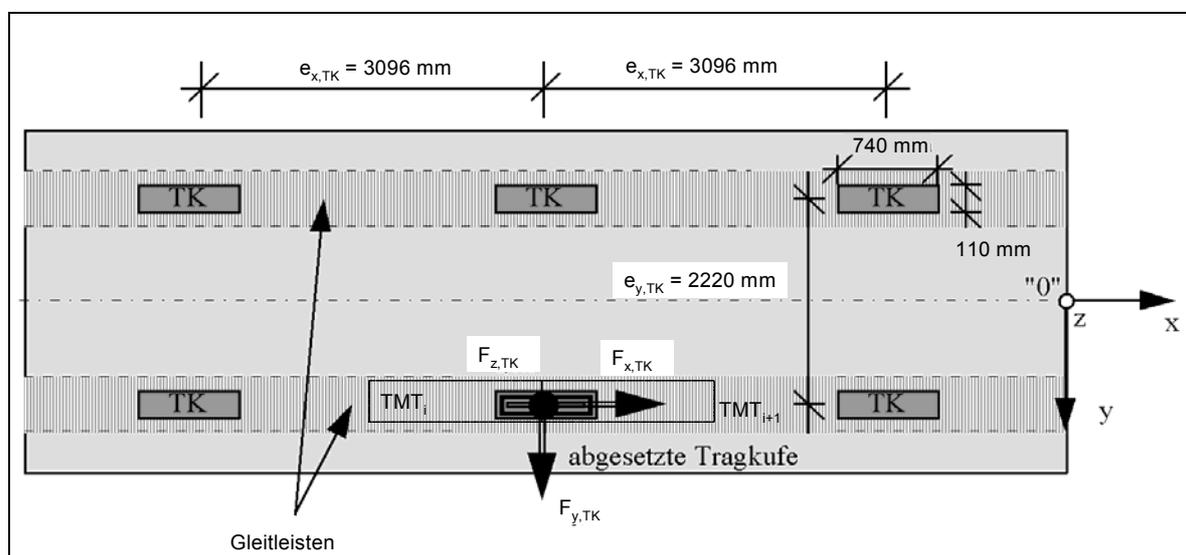


Figure 155 - Schéma de charge type des patins de levage

*Patin de levage abaissé  
Glissières*

#### Utilisation des « freins de sécurité » de la rame (Q11f)

- (1) Les schémas de charge de la Figure 155 et de la Figure 143 s'appliquent pour la situation de dimensionnement « rame qui s'abaisse » des « freins de sécurité ».

#### Abaissement unilatéral de la rame (Q11i)

- (1) Dans la situation de dimensionnement « abaissement unilatéral de la rame », les patins installés sur un côté de la rame sont en position de levage (cf. également Figure 144).

**Dynamique locale d'un élément de construction**

- (1) Aucun facteur d'augmentation dynamique supplémentaire permettant de tenir compte de la dynamique locale d'un élément de construction ne doit être utilisé pour la situation de service non fréquente « double panne de circuits de régulation magnétique Levage » car la charge de tamponnement maximale appliquée par les patins de levage tient déjà compte d'une dynamique possible.

**Autres interfaces**

- (1) Les informations relatives aux effets et aux schémas de charge des autres interfaces entre les rames et les voies (par exemple approvisionnement externe en énergie de bord) doivent être déterminées pour chaque projet spécifique. L'utilisation de ces informations doit être autorisée par l'autorité de surveillance compétente.

## Certificats

# Généralités

- (1) Les exigences relatives à la certification figurent dans les normes /EN 1990/ ou DIN 1055, partie 100.
- (2) En principe, les certificats ci-dessous doivent être établis :

### Certificats concernant les états limites de la capacité de charge

- Certificat relatif à la résistance (certificat de contrainte) des éléments de construction, des sections transversales et des raccords
- Certificat relatif à la stabilité de la structure porteuse
- Certificat relatif au positionnement
- Certificat relatif à la fatigue des matériaux (certificat relatif à la stabilité de service suite à des dommages cumulés ou certificat relatif aux étendues de contraintes équivalentes à des dommages)

### Certificats concernant les états limites d'utilisabilité

- Certificat relatif aux valeurs limites des déformations spécifiques aux trains rapides à sustentation magnétiques
  - Certificat relatif aux répercussions dynamiques
  - Certificat relatif aux valeurs limites spécifiques des matériaux
- (3) En cas de dispositions équivoques en ce qui concerne la possibilité de transmission à la voie du train rapide à sustentation magnétique, l'accord de l'autorité de surveillance compétente doit être obtenu dans tous les cas.
  - (4) Pour la réalisation des certificats susvisés, il est recommandé d'établir des tableaux récapitulatifs des effets appliqués aux différents tronçons de voie à certifier (le cas échéant sous une forme simplifiée), sur la base des effets résumés dans les présents principes d'exécution et en tenant compte des informations spécifiques aux différents projets au regard des paramètres de service et de tracé déterminants. En fonction de la méthode de certification sélectionnée, ces tableaux peuvent servir à représenter individuellement les combinaisons d'effets déterminants. Ils doivent être agréés par l'autorité de surveillance compétente dans le cadre du contrôle des certificats.
  - (5) Des opérations de maintenance spécifiques adaptées au mode d'exécution particulier de la voie permettent de garantir que la sécurité et l'aptitude à l'utilisation de la voie sont bien préservées au cours de l'ensemble de la durée d'utilisation prévue (pour un projet spécifique).
  - (6) Les remarques générales relatives aux effets présentées ci-dessous doivent être prises en compte lors de la réalisation des certificats :
    - Les forces d'inertie doivent être calculées en fonction des accélérations et des vitesses de déplacement autorisées (min  $v_{Fzg}$ , max  $v_{Fzg}$ ).
    - Le poids propre de la rame indiqué au chapitre 0 pour les voitures intermédiaires et d'extrémité tient compte des rames de marchandises et des rames de voyageurs.
    - Les augmentations dynamiques des effets doivent être prises en compte. Les facteurs dynamiques et les forces latérales dynamiques n'ont pas besoin d'être appliqués lorsque  $v_{Fzg} = 0$  km/h. Néanmoins, la dynamique de régulation doit tout de même être utilisée.
    - Les effets issus de causes découlant les unes des autres doivent être appliqués en commun.
    - Dans le profil de freinage indiqué pour les « freins de sécurité » de la rame, les effets doivent être classés comme étant rares. En ce qui concerne le processus de freinage, l'abaissement à  $v_{Fzg} \leq 5$  km/h en tant qu'évènement rare ne doit être pris en compte que dans des tronçons définis (espace limité dans et juste avant la zone d'arrêt).

- 
- En tant que situation de dimensionnement exceptionnelle, l'abaissement à  $v_{Fzg} > 5$  km/h avec glissement de la rame abaissée doit être pris en compte dans tous les tronçons de la voie (arrêt dans le cas le plus défavorable).
  - Le cas échéant, les effets causés par la maintenance doivent être pris en compte et faire l'objet d'un certificat (à ce sujet, cf. également /MSB AG-FW ÜBG/). Les effets éventuellement causés par la maintenance de la voie doivent si nécessaire être classés comme effets variables ou exceptionnels en fonction de la probabilité de leur occurrence.
  - Dans le cadre de la certification d'infrastructures de voie communes pour des voies à deux rails, un facteur d'atténuation peut être appliqué pour les effets résultant du vent latéral en ce qui concerne le 2<sup>e</sup> rail (cf. EN 1991-1-4).
- (7) Une adaptation du facteur de sécurité est possible, avec l'accord de l'autorité de surveillance compétente, afin de tenir compte de la faible probabilité d'occurrence des situations de service non fréquentes. En fonction de la probabilité d'occurrence et des conséquences potentielles, il se peut qu'une inspection de la voie ne soit pas indispensable.
- (8) Il est possible de simplifier les effets et/ou les schémas de charge s'il est manifeste ou s'il peut être certifié que cette simplification n'a aucun impact en termes de sécurité.

# Certificat concernant les états limites de la capacité de charge

## Généralités

- (1) Des certificats doivent être réalisés pour les effets résultant des paramètres opérationnels et du tracé (par exemple, avec les supports de voie droits  $a_y = 0$ ) dans les limites définies par le MbBO et avec les valeurs limites définies pour le poids de la rame, l'accélération et d'autres effets.
- (2) Les grandeurs de mesure pour les principaux cas de charge / principales situations de dimensionnement résultant des effets, suite à une combinaison des effets produits en même temps, doivent être déterminées pour le certificat concernant les états limites de la capacité de charge.
- (3) Les règles de combinaison sont résumées de la norme EN 1990/ chap. 6.4.3. Si l'effet principal ne peut être identifié, tous les effets variables doivent être considérés tour à tour comme l'effet variable principal. Les combinaisons destinées au dimensionnement des situations exceptionnelles se basent soit sur un effet exceptionnel explicite, soit sur la situation (état) après un évènement exceptionnel.
- (4) Les combinaisons peuvent être simplifiées. Néanmoins, il convient de prouver que les combinaisons simplifiées n'ont aucun impact en termes de sécurité par rapport aux combinaisons de base.

## Facteurs partiels de sécurité des effets

- (1) Les facteurs partiels de sécurité des effets pour le certificat concernant les états limites de la capacité de charge figurent dans le Tableau 113 ci-après.
- (2) Lors de la composition des cas de charge ou de leurs combinaisons, il convient d'affecter les facteurs partiels de sécurité appropriés aux valeurs représentatives et caractéristiques des effets, conformément aux Eurocodes et aux remarques concernant le Tableau 113.
- (3) *Le facteur partiel de sécurité des effets tient compte, conformément à la norme 5, partie 100 :*
  - *de la possibilité de variation défavorable des effets (étendue et répartition des effets),*
  - *de la possibilité de suppositions théoriques imprécises pour les effets, et*
  - *de l'incertitude en ce qui concerne la détermination des effets.*
- (4) *Les facteurs partiels de sécurité sont affectés aux effets ci-dessous :*
  - *effets permanents*  $\Rightarrow \gamma_G$
  - *effets variables (fréquents et non fréquents)*  $\Rightarrow \gamma_Q$
  - *effets exceptionnels*  $\Rightarrow \gamma_A$
- (5) En fonction des dommages locaux, les facteurs de sécurité visés dans le Tableau 113 sont autorisés pour les effets exceptionnels (A).
- (6) Si des contraintes plus faibles sont constatées à l'échelle locale, il convient de vérifier si une légère modification du système ou de la géométrie des effets induit des contraintes plus élevées ou appliquées dans un autre sens (changement de signe). Le cas échéant, il faut prévoir des majorations pour les contraintes locales.

Coefficient partiel de sécurité $\gamma$		Action	Désignation	Situations *		
				G/Q	A	
<b>Effets permanents G1 ... G6 :</b> cf. Eurocodes et rapports techniques DIN						
<b>Effets variables générés par la rame</b>						
Q1...Q6	Forces d'inertie résultant du poids autorisé et maximal de la rame, réactions, dynamique de guidage	Défavorable	$\gamma_{Qi}$	1,35	1	1)
		Favorable	$\gamma_{Qi}$	1,0 / 0	0	
Q7...Q8	Effets aérodyn. provenant de $v_{Fzg}$	Défavorable	$\gamma_{Qi}$	1,35	1	1)
		Favorable	$\gamma_{Qi}$	0	0	
Q9	Effets aérodyn. générés par le vent sur la rame	Défavorable	$\gamma_{Qi}$	1,5	1	1)
		Favorable	$\gamma_{Qi}$	0	0	
Q10	Effet de température dû à la propulsion	Défavorable	$\gamma_{Qi}$	1,35	1	1)
		Favorable	$\gamma_{Qi}$	0	0	
Q11	Effets générés par des pannes ou des défaillances techniques	Défavorable	$\gamma_{Qi}$	1,35	0	2)
		Favorable	$\gamma_{Qi}$	0	0	
<b>Autres effets variables</b>						
Q30	Effets causés par la maintenance	Défavorable	$\gamma_{Qi}$	1,5	1	2)
		Favorable	$\gamma_{Qi}$	0	0	
Q50 ... Q60	o général	Défavorable	$\gamma_{Qi}$	1,5	1	3)
		Favorable	$\gamma_{Qi}$	0	0	
	o avec les valeurs limites certifiées	Défavorable	$\gamma_{Qi}$	1,35	1	
		Favorable	$\gamma_{Qi}$	0	0	
<b>Effets exceptionnels</b>						
A1...A9	Général		$\gamma_{Ai}$		1	4)
* G/Q : situations permanentes et variables ; A : situations exceptionnelles						
Suite du tableau en page suivante.						

Tableau 113 - Facteurs partiels de sécurité des effets

Suite du tableau : Facteurs partiels de sécurité des effets

Remarques

- 1) En fonction des valeurs limites des effets induits par la rame (par exemple poids propre de la rame, charges d'exploitation, accélérations autorisées), qui ont été définies conformément à la version en vigueur des règles applicables, et avec l'accord de l'autorité de surveillance compétente, le facteur partiel de sécurité  $\gamma_{Qi} = 1,35$  peut être appliqué. Dans ce cadre, la classification des états possibles en ce qui concerne le poids de la rame conformément au Tableau 100 doit être prise en compte.
- 2) Les effets au niveau de la rame générés par des pannes ou des défaillances techniques sont des événements rares ou très rares par rapport aux éléments individuels de la voie (par exemple supports de voie). Ils peuvent être considérés comme des effets secondaires en raison de la faible probabilité de leur occurrence. Une superposition de plusieurs effets de ce type conformément au Tableau 93 n'est pas nécessaire. Le cas échéant, une diminution du facteur partiel de sécurité est possible, avec l'accord de l'autorité de surveillance compétente, afin de tenir compte de cette faible probabilité d'occurrence. Il n'est pas nécessaire de tenir compte d'une superposition des effets au niveau de la rame résultant des situations de dimensionnement non fréquentes Q11 (a...k) avec des effets exceptionnels A1...A9, en raison de leur faible probabilité d'occurrence.
- 3) Si les effets de température provenant de l'environnement sont définis par des mesures garanties, une valeur réduite peut être utilisée au lieu de  $\gamma_{Q50} = 1,50$  ; cette autre valeur doit être déterminée en accord avec l'autorité de surveillance compétente (par exemple  $\gamma_{Q50} = 1,35$ ). En cas de superposition des charges de neige / glace indiqués dans le 0 (valeur limite en tenant compte de l'espace libre entre la rame et la voie) et des charges de circulation, une valeur de  $\gamma_{Q50} = 1,00$  peut être appliquée.
- 4) La nécessité de créer des situations de dimensionnement exceptionnelles par rapport aux effets résultant de la maintenance doit être vérifiée au cas par cas et décidée en accord avec l'autorité de surveillance compétente.

## Facteur de combinaison

(1) Lors de la création de combinaisons d'effets conformément aux règles de combinaison figurant dans la norme /EN 1990/, les facteurs de combinaisons  $\psi$  résumés dans le tableau ci-dessous doivent être utilisés afin de tenir compte de la simultanéité et de la probabilité d'occurrence des effets, en appliquant les remarques afférentes.

(2) Les facteurs de combinaison des effets variables sont affectés aux groupes ci-dessous en fonction de la probabilité de leur occurrence :

- pour les effets variables  $\Rightarrow \psi_0$
- pour les effets moins fréquents (1/an)  $\Rightarrow \psi_{1'}$
- pour les effets fréquents (1/semaine)  $\Rightarrow \psi_1$
- pour les effets quasi-permanents  $\Rightarrow \psi_2$

Facteurs de combinaison $\psi$		$\psi_0$	$\psi_{1'}$	$\psi_1$	$\psi_2$	Remarques
Effets générés par la rame						
Q1 / Q2	Forces d'inertie dynamiques résultant du poids de la rame	1	1	1	1	
Q3 / Q4	Répartition inégale de la charge d'exploitation	1	1	1	0	
Q5	Dynamique de guidage (forces latérales dyn.)	1	1	1	1	
Q6	Réactions dans les rayons étroits	1	1	1	1	
Q7	Forces latérales aérodynamiques	1	1	1	0	
Q8	Effets résultant du vent relatif	1	1	1	1	
Q9	Effets du vent sur la rame	0,6	0,6	0,5	0	4)
Q10	Effet de température dû à la propulsion	1	1	1	1	
Q11a..k	Effets générés par des pannes ou des défaillances techniques	1	0	0	0	5) 6)
Q11l	Poids de la rame plus élevé résultant de la présence de neige sur la rame	0,7	0,2	0,2	0	
Autres effets variables						
Q30	Effets causés par la maintenance					1)
Q50	Température résultant de l'environnement	0,6	0,8	0,6	0,5	4) 5) 7) 8)
Q51	Vent sur la structure porteuse	0,6	0,6	0,5	0	4)
Q52	Charges de neige et de glace	0,7	0,2	0,2	0	
Q53	Forces de pression de l'eau variables					2)
Q54	Charges de chantier dues au vent					2)
Q55	Travaux de maintenance					2)
Q56	Chantiers					2)
Q57	Effets au niveau des installations de changement de voie	1,0	1,0	1,0	1,0	
Q58	Résistance au déplacement des paliers					2)
Q59	Défaillance d'éléments de la structure porteuse					2) 3)
Q60	Poussée de terre résultant d'effets variables					2)
Suite du tableau en page suivante.						

**Tableau 114 - Facteurs de combinaison  $\psi_i$  des effets**

Suite du tableau : Facteurs de combinaison  $\psi_i$  des effets

Remarques

- 1) Les facteurs de combinaison des effets résultant de la maintenance doivent être déterminés au cas par cas et convenus en accord avec l'autorité de surveillance compétente.
- 2) Les facteurs de combinaison pour les différents effets doivent être relevés dans la norme /EN 1990/ ou dans les ouvrages réglementaires, normes et dispositions pertinents, ou définis au cas par cas en accord avec l'autorité de surveillance compétente.
- 3) Une défaillance due par exemple à un raccord vissé ou à un autre élément de construction doit être considérée comme un effet permanent, sauf s'il convient de garantir qu'une maintenance convenable peut être réalisée immédiatement après apparition du défaut.
- 4) Lorsque Q9 et Q51 sont utilisés comme effet variable principal, le facteur de combinaison  $\psi_0 = 0,5$  peut être appliqué pour Q50b+c. La réciproque est vraie.
- 5) Si des effets de température induits par les aimants de freinage BM, les patins de levage TK et les éléments de guidage mécaniques MFE sont superposés à des effets de température résultant de l'environnement, le réchauffement inégal généré par l'environnement (Q50c) entre les différents éléments de construction peut être abaissé à la moitié de sa valeur.
- 6) En raison de la faible probabilité d'occurrence, les effets Q11a, Q11b, Q11c, Q11d, Q11e, Q11g, Q11i (cas 1), Q11j, Q11k peuvent être utilisés comme des effets variables principaux pour la création des combinaisons d'effets pour les autres effets, en ce qui concerne les facteurs de combinaison  $\psi_1'$  ou  $\psi_1$ . Les effets Q11a..k n'ont pas besoin d'être appliqués simultanément. Si l'effet Q11l doit être pris en compte de façon spécifique à un projet, Q11l(1) doit être combiné aux autres Q11, contrairement à Q11l(2).
- 7) La variation maximale de température entre la membrure supérieure et la membrure inférieure du support et la variation maximale de température entre le côté droit et le côté gauche du support, ne doivent pas être prises en compte simultanément à leur valeur maximale. En cas de superposition des variations de température, une diminution d'1/3 peut être appliquée pour l'une des deux variations.
- 8) En cas de superposition des variations de température d'un support conformément au chapitre 0 avec des effets issus du trafic, la valeur appropriée pour  $\Delta T$  conformément au Tableau 110 doit être utilisée.
- 9) Pour les certificats à l'état limite d'utilisabilité, les effets induits par Q11a .. Q11k ne doivent pas être appliqués.

# Certificat concernant les états limites d'utilisabilité

## Généralités

- (1) *Sont indiquées ci-dessous les valeurs limites spécifiques du train rapide à sustentation magnétique pour les déformations de la voie, ainsi que les règles relatives à la certification. Ces dernières constituent le niveau de l'expérience et décrivent généralement, lorsqu'elles sont respectées, des voies aptes à l'utilisation et compatibles avec le système.*
- (2) *Les déformations, décalages, déports et variations des interstices autorisés sont définis comme suit pour les surfaces fonctionnelles plan du stator SE, plan des rails de guidage latéraux SFE et plan de glissement GLE ou pour la position de la courbe spatiale dans les trois sens du système de coordonnées local :*
  - *déformations autorisées de faible ou de grande amplitude des supports de la voie, dues aux effets (par exemple flexion globale des supports)*
  - *décalages autorisés des surfaces fonctionnelles dus aux effets, au niveau des joints du support et dans la travée du support*
  - *déformations autorisées élastiques et plastiques des infrastructures de la voie (variation de grande amplitude de la position des surfaces fonctionnelles)*
- (3) *En plus des déformations statiques générées par les effets de la rame, le comportement dynamique (réaction aux oscillations) influence l'aptitude à l'utilisation de la voie. Les exigences à ce sujet figurent dans le chapitre 0.*
- (4) *Les combinaisons d'effet pour les états limites d'utilisabilité sont généralement déterminées sur la base des formules présentées dans la norme /EN 1990/.*
- (5) Les facteurs de combinaison généraux sont mentionnés dans le Tableau 114.
- (6) En outre, les modèles de charge, les effets et les combinaisons d'effets spécifiques du train rapide à sustentation magnétique doivent être pris en compte conformément aux chapitres ci-dessous.
- (7) Les effets induits par Q11a à Q11k ne doivent pas être appliqués.
- (8) En plus de ces exigences spécifiques au train rapide à sustentation magnétique, les règles de surveillance de la construction pertinentes en termes d'attestation de l'utilisabilité doivent être prises en compte (par exemple la limite des contraintes de compression et de la largeur des fissures dans les ouvrages en béton).
- (9) Dans la mesure où les chapitres ci-après ou l'annexe (chapitre 0) n'établissent aucune exigence pertinente relative aux valeurs limites et combinaisons d'effets spécifiques au train à sustentation magnétique en rapport avec le certificat d'utilisabilité, un certificat de compatibilité avec la rame doit être apporté au regard des valeurs limites et des combinaisons alors appliquées.
- (10) Une attestation de compatibilité avec la rame doit être apportée dans chaque cas particulier lorsque les modes et formes de construction utilisés n'ont pas encore été qualifiés pour le certificat d'utilisabilité.

## Déformations globales des infrastructures de voie à pose discrète

### Généralités

- (1) *Une accélération latérale libre maximale correspondant à  $a_y = \pm 1,5 \text{ m/s}^2$  est utilisée comme base pour les valeurs limites de déformation établies ci-dessous.*
- (2) Pour les supports de voie à pose discrète, le certificat relatif aux déformations globales des surfaces fonctionnelles peut généralement être réalisé au moyen d'une justification du déport du centre de gra-

vité des supports de voie si les déformations des surfaces fonctionnelles sont négligeables par rapport aux déformations du support de la voie.

- (3) Des augmentations dynamiques maximales des flexions autorisées de 20 % dans le sens x et de 40 % dans le sens y sont utilisées comme base pour les certificats statiques présentés ci-dessous en ce qui concerne les flexions dans le sens y et z. Si les analyses dynamiques mettent en évidence des augmentations dynamiques plus élevées, les flexions statiques doivent être réduites de telle sorte que les déformations autorisées indiquées ci-après ne soient pas dépassées, en tenant compte de l'augmentation dynamique disponible.
- (4) Il convient de certifier au cas par cas la mesure dans laquelle un accroissement de la flexion statique est autorisé pour les petites augmentations dynamiques.

## Déformations dans le sens z

### Effets générés par la rame

#### Généralités

- (1) Le certificat relatif à la flexion autorisée dans le sens z doit être réalisé pour toutes les situations de tracé, tous les modes de construction de support et tous les systèmes statiques, sous les contraintes imposées aux supports visées ci-dessous (cf. chapitre 0) :
 
$$p_{z,fz} = \bar{p}_{z,ZG} = 29 \text{ kN/m}$$
- (2) Les valeurs limites de déformation dans le sens z indiquées ci-dessous doivent être prises en compte pour les systèmes statiques correspondants. De manière générale, la largeur d'appui des supports de voie  $L_{St}$  est utilisée pour le certificat relatif aux déformations globales des superstructures de la voie. En fonction des conditions d'appui des supports de voie,  $L_{St}$  peut être différente dans le sens y et dans le sens z.
- (3) *Les déformations autorisées indiquées correspondent à une distorsion tangentielle aux extrémités des supports de  $\vartheta_y = 0,0008$  degré.*
- (4) L'évolution admissible des déformations (par exemple flexion maximale) des supports présentant une rigidité alternée doit être déterminée au cas par cas.
- (5) La flexion maximale réelle sous l'action du poids moyen de rame  $\bar{p}_{z,MG} = 26 \text{ kN/m}$ , avec application de la contrainte à toutes les travées de support, doit être utilisée pour la détermination de la courbure théorique hors charge des supports de la voie dans le sens z, conformément à /MSB AG-FW GEO/.

#### Poutre à travée simple N = 1

- (1) Flexion maximale autorisée au centre de la travée d'une poutre à travée unique :

$$\max f_{z,Fzg} \leq L_{St} / 4000 \quad (28)$$

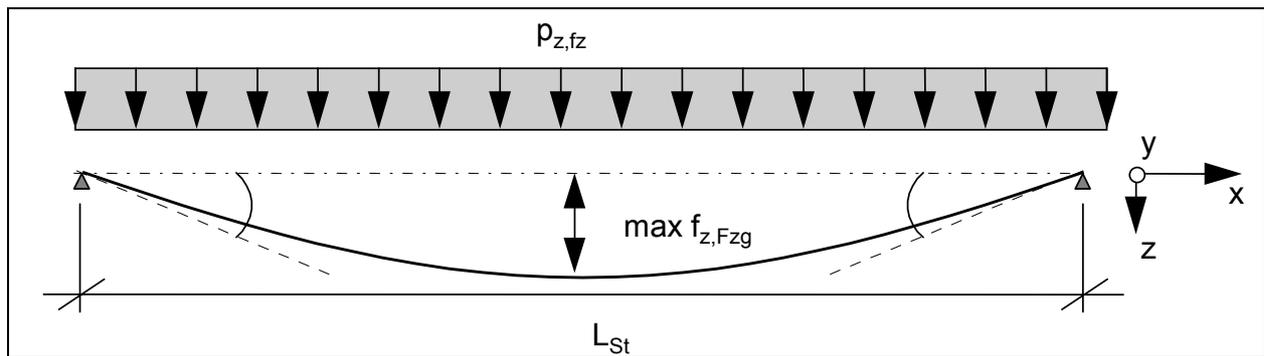


Figure 156 - Déformation autorisée des poutres à travée unique dans le sens  $z$ , due à une rame

**Poutres à deux travées avec la même largeur d'appui N = 2**

- (1) Flexion maximale autorisée de la travée avec  $x_{\max fz} = 0,421 \cdot L_{St}$ , où les deux travées de la poutre sont sollicitées :

$$\max f_{z,Fzg} \leq L_{St} / 4800 \quad (29)$$

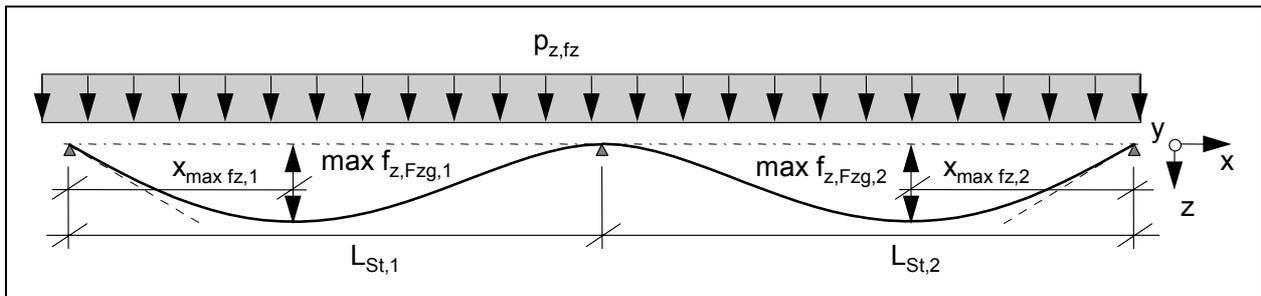


Figure 157 - Flexion dans le sens z des travées à deux poutres avec la même largeur d'appui

**Poutres à deux travées avec des largeurs d'appui différentes**

- (1) Les valeurs de section transversale des travées doivent être sélectionnées de telle sorte que, lorsque les deux travées sont sollicitées, les exigences appliquées aux poutres à deux travées avec la même largeur d'appui (cf. chapitre 0) soient respectées pour chaque travée.

**Poutre à travées multiples N > 2**

- (1) Les valeurs de section transversale des poutres à plus de deux travées doivent être sélectionnées de telle sorte que, lorsque toutes les travées sont sollicitées, les exigences suivantes soient respectées :
- Travées extérieures : valeur limite identique à celle des poutres à deux travées
  - Travées intérieures : valeur limite identique à celle des poutres à travée unique

**Variation de température**

- (1) Les déformations dues aux variations de température entre la membrure supérieure et la membrure inférieure ne doivent pas dépasser les valeurs limites ci-dessous (cf. également à ce sujet le chapitre 0).
- (2) Si, lors de la détermination de la courbure théorique hors charge, une variation de température  $\Delta T_0$  est déjà prise en compte (par exemple  $\Delta T_0 = 7$  K, ce qui signifie que la position théorique hors charge est modifiée sous l'effet d'une variation de température de 7 K), cette « variation nominale de température » peut être utilisée comme il convient dans le cadre du certificat relatif aux déformations dues aux variations de température conforme au chapitre 0.

**Poutre à travée simple N = 1**

$$t_o > t_u : \quad \max f_z \Delta_T = L_{St} / 6500 \quad (30)$$

$$t_o < t_u : \quad \max f_z \Delta_T = + L_{St} / 5400 \quad (31)$$

**Poutres à deux travées avec la même largeur d'appui N = 2**

$$t_o > t_u : \quad \max f_z \Delta_T = L_{St} / 8000 \quad (32)$$

$$t_o < t_u : \quad \max f_z \Delta_T = + L_{St} / 6500 \quad (33)$$

**Poutres à deux travées avec des largeurs d'appui différentes**

- (1) Les valeurs de section transversale des travées doivent être sélectionnées de telle sorte que, lorsque  $\Delta T$  est appliquée sur les deux travées, les exigences appliquées aux poutres à deux travées avec la même largeur d'appui (chapitre 0) soient respectées pour chaque travée.

**Poutre à travées multiples N > 2**

- (1) Les valeurs de section transversale des poutres à plus de deux travées doivent être sélectionnées de telle sorte que, lorsque  $\Delta T$  est appliquée sur les deux travées, les exigences suivantes soient respectées :
  - Travées extérieures : valeur limite identique à celle des poutres à deux travées
  - Travées intérieures : valeur limite identique à celle des poutres à travée unique

**Déformations spécifiques au matériau de construction**

- (1) Les variations de grande amplitude par rapport à la position théorique des supports de voie induites par les caractéristiques spécifiques des matériaux de construction (par exemple fluage / contraction du béton) doivent être estimées à l'aide des méthodes de calcul reconnues pour la durée d'utilisation requise.
- (2) Les valeurs calculées doivent être analysées au sein de la plage de tolérance admissible pour les variations de grande amplitude déterminée dans les principes d'exécution Géométrie de la voie /MSB AG-FW GEO/.

**Déformations dans le sens y****Effets générés par la rame****Généralités**

- (1) Le certificat relatif à la flexion autorisée dans le sens y doit être réalisé pour toutes les situations de tracé, tous les modes de construction de support et tous les systèmes statiques, sous les contraintes imposées aux supports visées ci-dessous :

$$p_{y,fy} = \bar{p}_{z,zG} \cdot \max a_y / g = 29 \text{ kN/m} \cdot 1,5 \text{ m/s}^2 / 9,81 \text{ m/s}^2 = 4,5 \text{ kN/m}$$

- (2) Les déformations autorisées des supports se réfèrent à des supports de rigidité constante. Quant aux supports de voie présentant des rigidités variables (par exemple rigidité alternée), l'évolution autorisée de leurs déformations doit être déterminée au cas par cas.

**Poutre à travée simple N = 1**

- (1) Flexion maximale autorisée dans le sens y identique à la Figure 156 au centre de la travée :

$$\max f_{y,Fzg} \leq | L_{St} / 15000 | \quad (34)$$

**Poutres à deux travées avec la même largeur d'appui N = 2**

- (1) Flexion maximale autorisée dans le sens y identique à la Figure 157 dans la travée de poutre avec  $x = 0,421 \cdot L_{St}$  :

$$\max f_{y,Fzg} \leq | L_{St} / 18000 | \quad (35)$$

**Poutres à deux travées avec des largeurs d'appui différentes N = 2**

- (1) Les valeurs de section transversale des travées doivent être sélectionnées de telle sorte que, lorsque les deux travées sont sollicitées, les exigences appliquées aux poutres à deux travées avec la même largeur d'appui (cf. chapitre 0) soient respectées pour chaque travée.

**Poutre à travées multiples N > 2**

- (1) Les valeurs de section transversale des poutres à plus de deux travées doivent être sélectionnées de telle sorte que, lorsque toutes les travées sont sollicitées, les exigences suivantes soient respectées :
- Travées extérieures : valeur limite identique à celle des poutres à deux travées
  - Travées intérieures : valeur limite identique à celle des poutres à travée unique

**Variation de température****Généralités**

- (1) Les déformations dues aux variations de température entre le côté gauche et le côté droit du support de la voie ne doivent pas dépasser les valeurs limites ci-dessous (cf. également à ce sujet le chapitre 0).

**Poutre à travée simple N = 1**

$$\max f_{y,\Delta T} = \pm L_{St} / 5800 \quad (36)$$

**Poutres à deux travées avec la même largeur d'appui N = 2**

$$\max f_y \Delta_T = \pm L_{St} / 6960 \quad (37)$$

**Poutres à deux travées avec des largeurs d'appui différentes N = 2**

- (1) Les valeurs de section transversale des travées doivent être sélectionnées de telle sorte que les exigences appliquées aux poutres à deux travées avec la même largeur d'appui (cf. chapitre 0) soient respectées pour chaque travée.

**Poutre à travées multiples N > 2**

- (1) Les valeurs de section transversale des poutres à plus de deux travées doivent être sélectionnées de telle sorte que les exigences suivantes soient respectées :
- Travées extérieures : valeur limite identique à celle des poutres à deux travées
  - Travées intérieures : valeur limite identique à celle des poutres à travée unique

**Déformations spécifiques au matériau de construction**

- (1) Les variations de grande amplitude par rapport à la position théorique des supports de voie induites par les caractéristiques spécifiques des matériaux de construction (par exemple fluage / contraction du béton) doivent être estimées à l'aide des méthodes de calcul reconnues pour la durée d'utilisation requise.
- (2) Les valeurs calculées doivent être analysées au sein de la plage de tolérance admissible pour les variations de grande amplitude déterminée dans le document /MSB AG-FW GEO/.

**Vent**

- (1) Les déformations supplémentaires des supports de voie en raison du vent peuvent être supportées par le système si les exigences visées au chapitre 0 et au chapitre 0 en termes de rigidité et de vitesses maximales du vent (cf. Q9) de la zone de vent II jusqu'à une hauteur de  $h_{G, \text{Gelände}} = 20$  m (cf. Tableau 108), sans préjudice de la remarque 7 du Tableau 113, sont respectées. Dans ce cas, un certificat relatif aux déformations causées par le vent n'est pas nécessaire.
- (2) Lorsque les vitesses du vent sont plus élevées, les dispositions du chapitre 0 doivent être prises en compte. Dans ce cas, la compatibilité du système doit être certifiée.

**Déformations dans le sens x****Trafic**

- (1) Les variations d'interstices autorisées doivent être respectées entre les supports de la voie (cf. chapitre 0).
- (2) *Des variations des interstices dans le sens x peuvent par exemple être provoquées par des déformations des supports de la voie dans la zone de la butée x (par exemple flexion transversale des pattes de l'appui ou causée par la déformation élastique de l'appui en lui-même).*

**Température**

- (1) Les variations d'interstices autorisées doivent être respectées entre les supports de la voie (cf. chapitre 0).

**Fluage et retrait**

- (1) Les variations d'interstices autorisées doivent être respectées entre les supports de la voie (cf. chapitre 0).

**Vent**

- (1) Les déformations des supports de la voie dans le sens x sous l'action du vent sont négligeables.

## Déformations suite à une torsion autour de l'axe des x

- (1) *En raison de l'écart du centre de gravité de la rame par rapport au point central de poussée de la rame dans le sens y et z, une torsion de la section transversale des supports autour de l'axe des x est provoquée par l'application des effets dans le sens y et z.*
- (2) *Cette torsion provoque un déport des surfaces fonctionnelles dans le sens y et z. Le déport dans le sens y est négligeable.*
- (3) Pour simplifier, le déport des surfaces fonctionnelles dans le sens z en raison de la torsion est limité par les règles suivantes :
  - a) La déformation mathématique  $f_{z,rot,x}$  du plan du stator dans le sens z en raison de la torsion peut excéder la déformation autorisée dans le sens z générée par les effets verticaux (cf. chapitre 0) en tout point d'une valeur correspondant à 20 % de la déformation autorisée conformément au chapitre 0.
  - b) Si la déformation statique réelle mathématique sous l'action des effets verticaux est inférieure à la valeur limite en vertu du chapitre 0, la déformation due à la torsion peut s'élever au maximum à 50 % de la valeur limite conforme au chapitre 0, où la limite visée au a) ne doit pas être dépassée.
  - c) La charge linéaire statique  $p_{y,fy} = 4,5$  kN/m, conformément au chapitre 0, doit être appliquée comme effet au niveau du centre de gravité de la rame.

## Déformations locales autorisées des supports de voie

- (1) Les déformations locales des superstructures de la voie ne doivent pas conduire à un positionnement inadmissible de l'un quelconque des modules (absence de contact).
- (2) *Les valeurs limites concernant les positions autorisées des rails de guidage latéraux, des glissières et du stator long sont définies dans les documents /MSB AG-GESAMTSYS/ et /MSB AG-FW GEO/.*
- (3) Pour le plan du stator, un décalage maximal de 4 mm dans le sens z entre deux paquets de tôles statoriques est temporairement autorisé, à titre particulier (par exemple si une fixation redondante « active » est disponible).
- (4) De manière générale, les supports de voie dont les surfaces fonctionnelles GLE et SFE sont interrompues à une fréquence (distance) inférieure à 6,192 m ne sont pas concernées par les valeurs limites de décalages fixées ci-dessous. Dans ce cas, des valeurs limites en fonction de la construction doivent être définies en justifiant de la compatibilité avec la rame.

## Déformations autorisées des dalles de voie

- (1) *En raison de la largeur d'appui plus faible des dalles de voie (env. 6 m), les critères de décalage entre les différentes dalles sont généralement déterminants (cf. chapitre 0).*
- (2) Étant donné que, en général, les dalles de voie sont posées sur des semelles continues sans indication statique supplémentaire, la déformation globale de tout le système dalles / semelles doit être analysée au cas par cas.

## Déformations dynamiques en cas d'excitation des fréquences propres

- (1) *L'excitation par la rame des formes particulières de la voie peut générer des amplitudes d'oscillation dynamique dans les plans fonctionnels, qui peuvent provoquer la déconnexion des aimants en augmentant l'entrefer (cf. également le chapitre 0 à ce sujet).*
- (2) *Lorsque ces amplitudes d'oscillation sont limitées à  $\pm 3$  mm au maximum, aucune déconnexion des aimants n'est à prévoir.*
- (3) Dans tous les cas, la compatibilité du système doit être certifiée par un essai technique.

## Décalages autorisés des plans fonctionnels

### Effets variables à appliquer

- (1) Les effets Q1 ÷ Q60 (sans Q11) ou ceux visés dans les chapitres 0 et 0, avec  $\gamma_i = 1,0$ , les facteurs de combinaison  $\psi_i$  conformément au Tableau 114 et les combinaisons d'effets mentionnés dans la norme /EN 1990/.
- (2) Les valeurs limites indiquées ci-dessous s'appliquent indépendamment du type et de la réalisation des infrastructures de la voie, et donc également en cas d'infrastructure séparée au niveau des joints du support.

### Décalages autorisés au niveau du plan du stator et du plan de glissement

- (1) Suite à la charge de trafic dans le sens x (force de freinage) conformément au chapitre 0 (Q1+Q2), générés par la déformation élastique des infrastructures de la voie :  
$$\text{zul. } \Delta V_{z,1} = 0,4 \text{ mm}$$
- (2) Suite à la charge de trafic conformément au chapitre 0 (Q1+Q2), générés par la déformation élastique des superstructures, des appuis et des infrastructures de la voie :  
$$\text{zul. } \Delta V_{z,1} = 0,6 \text{ mm}$$
- (3) Suite à la déformation plastique des infrastructures de la voie :  
$$\text{zul. } \Delta V_{z,3} = 0,5 \text{ mm}$$

### Décalages autorisés au niveau du plan des rails de guidage latéraux

- (1) Suite à la charge de trafic dans le sens y conformément au chapitre 0 (Q1+Q2), générés par la flexion élastique des supports et suite à la déformation élastique et plastique des infrastructures (affaissements du sol de fondation, déformations plastiques de fluage et de retrait) :  
$$\text{zul. } \Delta V_{y,1} = 0,3 \text{ mm}$$

## Certificat relatif aux interstices au niveau des joints du support dans le sens x

### Effets variables à appliquer

- (1) Les effets Q1 ÷ Q60 (seul l'effet Q11(f) est appliqué comme effet Q11) ou ceux visés dans le chapitre 0, avec  $\gamma_i = 1,0$ , les facteurs de combinaison  $\psi_i$  conformément au Tableau 114 et les combinaisons d'effets mentionnés dans la norme /EN 1990/.

### Interstice normal

#### Variations élastiques des interstices provoquées par le trafic

- (1) Les valeurs ci-dessous doivent être prises en compte comme valeurs limites pour la variation des interstices dans le sens x au niveau des surfaces fonctionnelles, suite aux déformations élastiques des infrastructures et des supports de la voie (écart par rapport aux emplacements d'appui de la voie dans le sens longitudinal, conformément au document /MSB AG-GESAMTSYS/) :

a) périodiquement, en situation opérationnelle fréquente, à savoir en propulsion et en freinage : max  $\Delta S_{x,Q1/Q2} = 10 \text{ mm}$

b) en situation opérationnelle non fréquente et exceptionnelle : max  $\Delta S_{x,Q11/A} = 20 \text{ mm}$

### Valeurs limites pour les interstices dans le sens x

- (1) Le certificat relatif à l'interstice maximal max  $S_x$  doit être réalisé avec  $\Delta T_r$  et le certificat relatif à l'interstice minimal min  $S_x$  avec  $\Delta T_f$ .
- (2) min/max  $S_x$  conformément au document /MSB AG-FW GEO/
- (3) Le cas échéant, un interstice minimal entre les composants fonctionnels de 5 mm doit être assuré par des mesures de construction (par exemple amortisseurs de forces longitudinales).

### Certificat relatif à l'absence de contraintes

- (1) L'absence de contraintes au niveau des supports de voie doit être certifiée avec  $\Delta T_N$  conformément au chapitre 0. Si ce certificat ne peut être réalisé, les forces de compression doivent être prises en compte.

### Autres interstices

- (1) Des interstices plus importants sont autorisés pour les installations de changement de voie, les constructions de jonction des voies sur des structures porteuses primaires, etc., en cas de déroulement ininterrompu du stator long (valeurs limites, cf. /MSB AG-FW-GEO/).

## Déformations élastiques et plastiques des infrastructures

### Généralités

- (1) *Les déformations élastiques et plastiques des infrastructures de voie (par exemple appuis, fondations, sol de fondation) génèrent un angle de flambage  $\eta$  (cf. Figure 158 .. Figure 160) au niveau des points d'appui des supports de la voie des surfaces fonctionnelles spécifiques du train rapide à sustentation magnétique. Cet angle de flambage est limité au niveau des surfaces fonctionnelles grâce à la définition, en fonction de la longueur du système, de déformations autorisées des infrastructures de la voie dans toutes les directions.*
- (2) *Si les écarts de positionnement des infrastructures de la voie autorisés sont dépassés (= déplacement possible du sol de fondation), un ajustement des appuis de la voie est requis afin d'assurer la compatibilité du système.*
- (3) En général, la longueur du système des portées des supports pour la direction concernée doit être utilisée comme longueur de référence  $L_{Sys}$ . En fonction des conditions d'appui des supports de voie,  $L_{Sys}$  peut être différente dans le sens y et dans le sens z. Pour les appuis au niveau desquels les supports de la voie présentent des longueurs inégales ( $L_{Sys,1} \neq L_{Sys,2}$ ), la moyenne des deux distances doit être utilisée pour définir les déformations autorisées des infrastructures.
- (4) Les déformations des infrastructures sont limitées par les dispositions du chapitre ci-dessous. Ces limites correspondent à des déformations différentielles, ou à des écarts de positionnement des différents points d'appui. En ce qui concerne le gabarit, les déformations absolues par rapport à la courbe spatiale doivent également être certifiées. Ce certificat doit aussi être apporté pour les situations de dimensionnement non fréquentes.
- (5) Les combinaisons d'effets conformes aux formulées présentées dans le chapitre 0 doivent être appliquées pour définir les déformations des infrastructures.

- (6) Dans ce cadre, les facteurs partiels de sécurité pour les valeurs caractéristiques des effets doivent être appliqués avec  $\gamma_i = 1,0$ .

**Déformations des infrastructures dans le sens x**

- (1) Les déformations élastiques et plastiques des infrastructures dans le sens x doivent être limitées de telle sorte que les valeurs limitées indiquées dans le chapitre 0 (par exemple absence de contraintes) soient respectées.

## Déformations des infrastructures dans le sens y

### Déformations plastiques des infrastructures

- (1) Les valeurs limites ci-après doivent être respectées pour les déformations des infrastructures de voie dans le sens y, aussi bien pour les poutres à travée unique que pour celles à travées multiples :
- Appuis avec joints de support :  $\Delta y_{St,1,plas} = \pm L_{Sys} / 6000$  (38)
  - Appuis médians pour les poutres à travées multiples :  $\Delta y_{St,2,plas} = \pm L_{Sys} / 4500$  (39)
- (2) Lorsque la valeur limite est dépassée, la position des supports de la voie doit être ajustée.

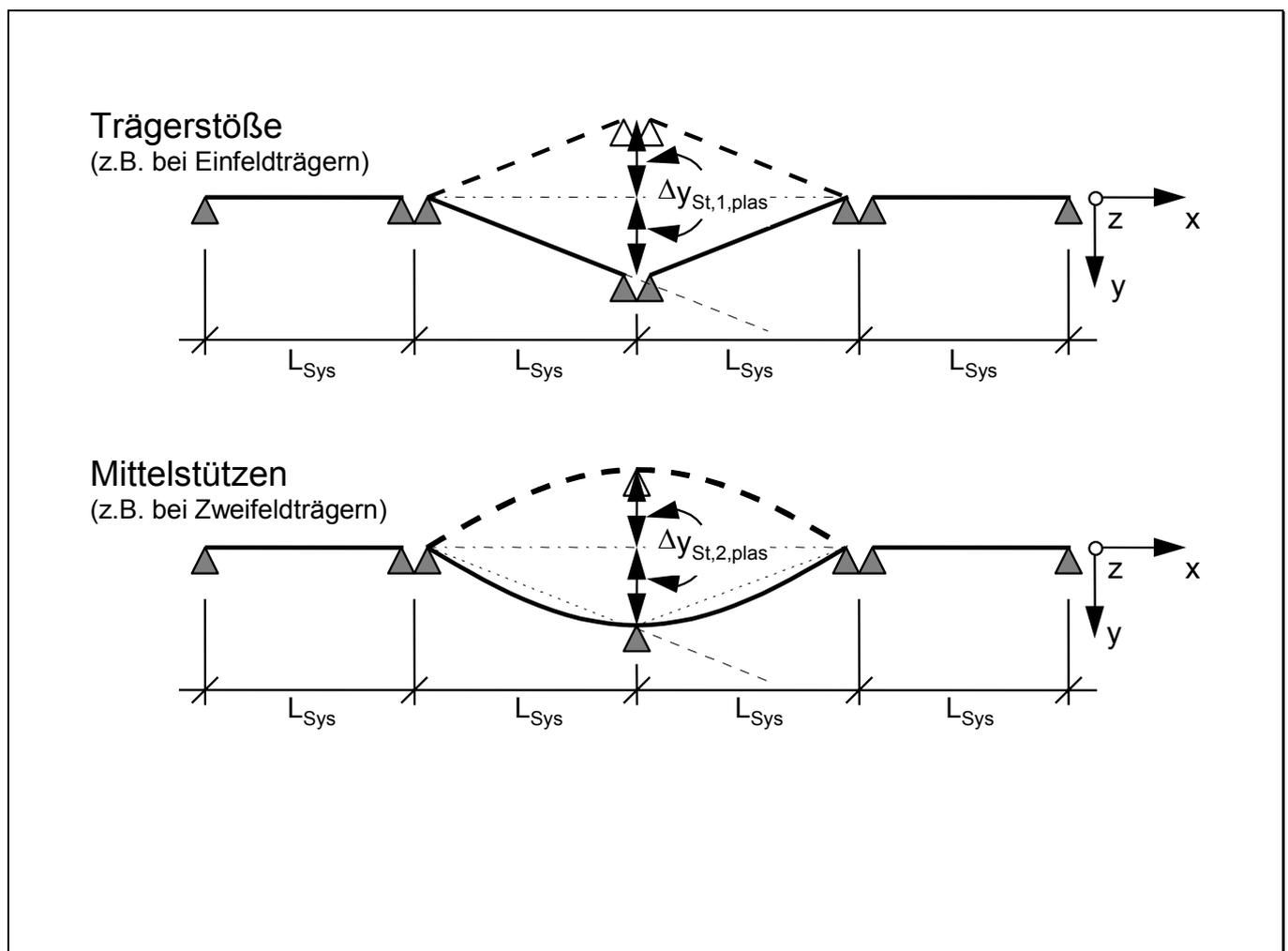


Figure 158 - Déformations plastiques des infrastructures dans le sens y (exemple)

*Joins de support  
(par exemple pour les poutres à travée unique)  
Appuis médians  
(par exemple pour les poutres à deux travées)*

### Déformations élastiques des infrastructures

(1) Les valeurs limites ci-dessous doivent être respectées pour la déformation élastique des infrastructures dans le sens y sous l'action des effets variables Q1 ÷ Q10 et Q50 ÷ Q60 :

- Appuis avec joints de support  $\Delta y_{St,1,elas} = \pm L_{Sys} \cdot (0,0013 - 1/ 6000) \cdot k$  (40)

- Appuis médians pour les poutres à travées multiples  $\Delta y_{St,2,elas} = \pm L_{Sys} \cdot (0,0015 - 1/ 4500) \cdot k$  (41)

avec  $k = h_{G,Gelände} [m] / 20 m$ ,  $h_{G,Gelände} \geq 3 m$  et  $k \leq 1$

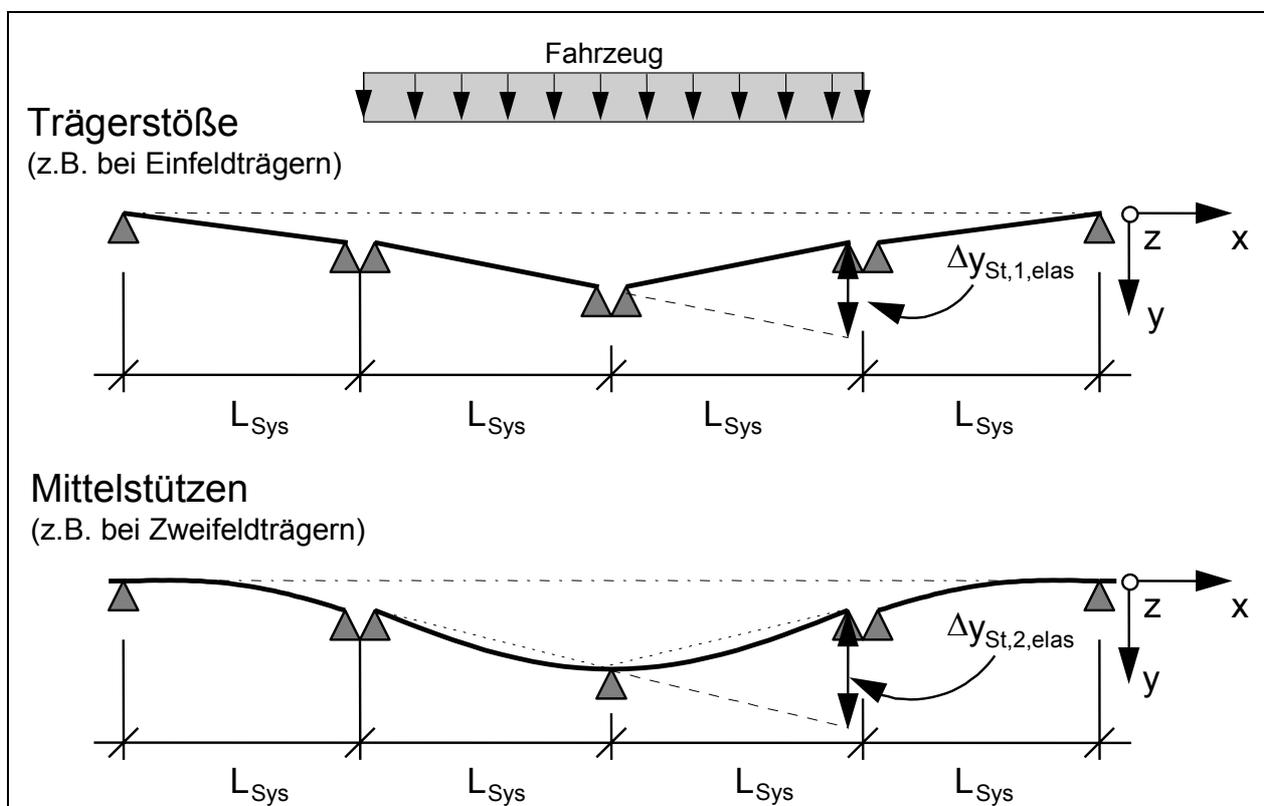


Figure 159 - Déformations élastiques des infrastructures dans le sens y (exemple 1)

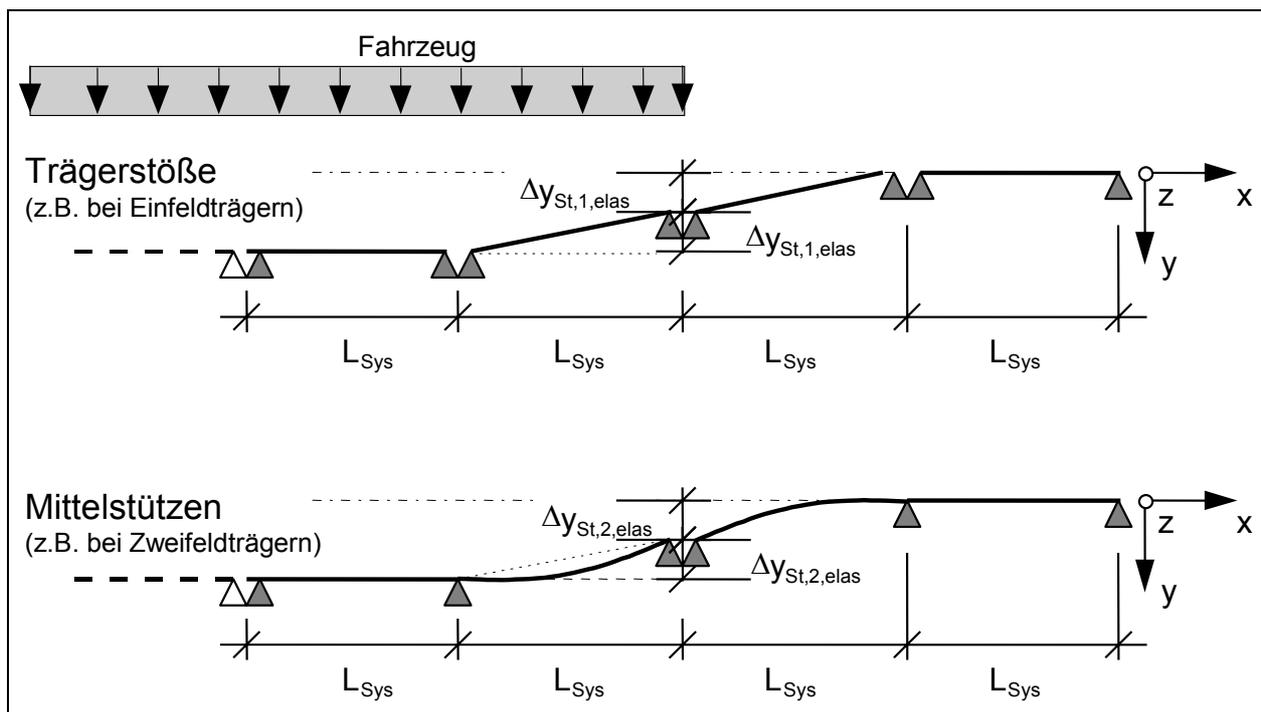


Figure 160 - Déformations élastiques des infrastructures dans le sens y (exemple 2)

Rame

Joint de support

(par exemple pour les poutres à travée unique)

Appuis médians

(par exemple pour les poutres à deux travées)

## Déformations des infrastructures dans le sens z

### Déformations plastiques des infrastructures

- (1) Les valeurs limites ci-après doivent être respectées pour les déformations plastiques des infrastructures dans le sens z (représentation identique à la Figure 158), aussi bien pour les poutres à travée unique que pour celles à travées multiples :

- Appuis avec joints de support  $\Delta z_{St,1,plas} = \pm L_{Sys} / 6000$  (42)

- Appuis médians pour les poutres à travées multiples  $\Delta z_{St,2,plas} = \pm L_{Sys} / 4500$  (43)

- (2) Lorsque la valeur limite est dépassée, la position des supports de la voie doit être ajustée.

### Déformations élastiques des infrastructures

- (1) Les valeurs limites ci-dessous doivent être respectées pour la déformation élastique des infrastructures dans le sens z sous l'action des effets variables Q1 ÷ Q10 et Q50 ÷ Q60 (représentation identique à celle de la Figure 159 et de la Figure 160) :

- Appuis avec joints de support  $\Delta z_{St,1,elas} = \pm L_{Sys} / 6000$  (44)

- Appuis médians pour les poutres à travées multiples  $\Delta z_{St,2,elas} = \pm L_{Sys} / 4500$

( 45)

## Déformations des semelles continues

- (1) L'évaluation des déformations des semelles continues (par exemple des voies constituées de dalles) doit être réalisée au cas par cas. En général, la limite appliquée pour les décalages autorisés au niveau des plans fonctionnels (plans du stator, des rails de guidage latéraux et de glissement) est utilisée (cf. chapitre 0).
- (2) *Les formules et illustrations du chapitre 0 ne s'appliquent pas ici.*

## Déformations des structures porteuses primaires

- (1) Les déformations autorisées des structures porteuses primaires (par exemple viaducs avec supports de voie « posés » en mode de construction en profondeur / en surface) doivent être limitées de telle sorte que les exigences susvisées concernant
  - l'angle de rotation tangentielle finale  $\vartheta$  (cf. Figure 156 et Figure 157),
  - les entrefers et
  - les décalagessoient respectées.
- (2) Si l'autorité de surveillance compétente donne son accord, les valeurs limites de flexion de la structure porteuse dans le sens z, définies au chapitre 0, peuvent être doublées (c'est-à-dire augmentation de 100 % hors charge, flexion de 100 % en charge) dans des cas exceptionnels justifiés, si la condition générale selon laquelle le positionnement de la voie sur la structure porteuse primaire permet une augmentation générale de 100 % est respectée.
- (3) La compatibilité des déformations des structures porteuses primaires avec la rame doit être attestée.

## Déformations en cas de collision avec la voie

- (1) Si une collision sur la voie doit être prise en compte conformément au chapitre 0, les décalages résiduels entre les « plans fonctionnels » (plan du stator, plan des rails de guidage latéraux) au niveau des joints des supports après une collision avec les appuis ou les supports de la voie ne doivent pas excéder 3 mm.

## Fatigue du matériau

### Généralités

- (1) Les principes généraux concernant la réalisation du certificat relatif à la stabilité de service / fatigue des matériaux (situations de contrainte avec les courbes de Wöhler afférentes, facteurs de sécurité partiels côté résistance, etc.), doivent être relevés dans la norme /EN 1990/, dans les normes et directives pertinentes ainsi que dans les autres règles techniques autorisées et dans le document /MSB AG-FW ÜBG/.
- (2) Les paramètres sélectionnés en fonction de la construction doivent être démontrés lors de la certification.

### Conditions générales spécifiques au train rapide à sustentation magnétique

- (1) Hors disposition contraire spécifique au projet, les indications types ci-dessous s'appliquent pour le certificat relatif à la fatigue des matériaux :
  - Poids de la rame Q1...Q4 et fréquences conformément au chapitre 0
  - 130 passages par rail et par jour (base : env. 20 heures/jour avec 6 passages/heure)
  - 80 ans d'utilisation avec 365 jours/an
  - Accélération latérale libre  $a_y = -0,5 \text{ m/s}^2 \dots 1,5 \text{ m/s}^2$
  - Accélération verticale (avec g)  $a_z = 9,21 \text{ m/s}^2 \dots 11,01 \text{ m/s}^2$
  - Contrainte dans le sens x conformément au Tableau 101, avec la possibilité d'une organisation par palier, spécifique au projet, des forces longitudinales sur la base de la configuration de la propulsion pour une conception spécifique au projet (par exemple des infrastructures de la voie).
  - En tenant compte de la dynamique conformément au chapitre 0
  - En tenant compte des schémas de charge globaux / locaux afférents
  - En tenant compte de la dynamique de guidage (forces latérales dynamiques) et des réactions
  - En tenant compte du vent relatif
  - En tenant compte des valeurs fréquentes des effets variables provenant de l'environnement<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> En général, les valeurs fréquentes des effets générés par l'environnement (hebdomadaires) n'ont pas une importance prépondérante dans le certificat relatif à la fatigue en raison du nombre réduit de périodes d'oscillation.

- En tenant compte de la contrainte de flexion des aiguillages résultant de l'opération de déplacement dans la position de bifurcation
  - Avec un poids de rame majoré en raison de la neige (la fréquence et l'importance de la charge doivent être définies de manière spécifique au projet)
  - Sans tenir compte des effets générés par les situations de service non fréquentes
  - Sans tenir compte des effets exceptionnels
- (2) Les conditions visées aux chapitre 0 et 0 s'appliquent pour les éléments de construction porteurs locaux au niveau des interfaces stator long - aimant de levage et rails de guidage latéraux - aimant de guidage.

## Interface Stator long – Aimant de levage

- Configuration en fonction du projet des éléments de construction et des modules conformément au chapitre 0 ;
- En tenant compte de la répartition des pôles de l'aimant de levage conformément au chapitre 0 ;
- En cas de configuration indépendante de tout projet des éléments de construction et des modules, les valeurs limites des effets doivent être prises en compte ;
- En tenant compte de la dynamique de l'ouvrage et de la dynamique de régulation<sup>26</sup>).

## Interface Rail de guidage latéral – Aimant de guidage

- Configuration en fonction du projet des éléments de construction et des modules conformément au chapitre 0 ;
- La plus petite unité de prise en compte de la dynamique de régulation est l'élément magnétique (1 525 mm). Les interruptions des barrettes de pôles constatées dans le sens x entre deux aimants de guidage voisins et dans les aimants de guidage sont négligeables ;
- En cas de configuration indépendante de tout projet des éléments de construction et des modules, les valeurs limites des effets doivent être prises en compte ;
- En tenant compte de la dynamique de l'ouvrage et de la dynamique de régulation<sup>27</sup>).

---

<sup>26</sup> Dans ce cadre, le facteur permettant de tenir compte de la dynamique de régulation ne doit être appliqué de manière défavorable que pour une interface.

<sup>27</sup> Identique à la note de bas de page 15

**Annexe**

## Annexe II-A : Affectation des effets aux interfaces

N°	Effets générés par la rame / la propulsion	SE	SFE	GL	Remarques
<u>Situations de dimensionnement fréquentes</u>					
Q1	Forces d'inertie, y compris dynamique résultant du poids propre de la	x	x	x	
Q2	Forces d'inertie, y compris dynamique résultant de la charge d'exploitati-	x	x	x	
Q3	Répartition inégale du poids de la rame dans le sens x	x	x	x	
Q4	Répartition inégale du poids de la rame dans le sens y	x		x	
Q5	Dynamique de guidage (forces dynamiques résultant du système de gui-		x		
Q6	Réactions dans les rayons étroits		x		
Q7a	Forces aérodynamiques résultant du croisement de deux trains		x		
Q7b	Forces aérodynamiques résultant de la traversée d'un tunnel	(x)	(x)	(x)	
Q7c	Forces aérodynamiques sur les ouvrages de construction proches du tracé				
Q8a	Effets résultant du vent relatif : Poussée verticale	x			
Q8b	Effets résultant du vent relatif : Pression / Succion	(x)	(x)	(x)	
Q9a	Efforts latéraux dus au vent résultant de l'environnement naturel	x	x	x	
Q9b	Poussée verticale due au vent résultant de l'environnement naturel	x			
Q10	Effet de température dû à la propulsion	x			
<u>Situations de dimensionnement non fréquentes</u>					
Q11a	Poids de la rame plus élevé	x	x	x	
Q11b	Panne d'un circuit de régulation magnétique Levage	x			
Q11c	Double panne de circuits de régulation magnétique Levage			x	
Q11d	Panne d'un circuit de régulation magnétique Guidage		x		
Q11e	Double panne de circuits de régulation magnétique Guidage		x		
Q11f	Utilisation des « freins de sécurité »	x	x	x	
Q11g	Différences de vitesse	x	x	(x)	
Q11h	Défauts de fonctionnement de la propulsion	x	(x)		
Q11i	Effets résultant d'un court-circuit de l'enroulement	x		x	
Q11j	Démarrage des aimants	x			
Q11k	Soulèvement des patins de levage soudés par le gel			x	
Q11l	Poids de la rame plus élevé résultant de la présence de neige sur la rame	x	x	x	
Effets exceptionnels (idem)					

Tableau 115 - Affectation des effets aux plans fonctionnels



## Annexe II-B : Coefficients d'oscillation calculés selon une méthode mathématique

### Généralités

- (1) Les schémas de coefficients d'oscillation donnés ci-après à titre d'exemple contiennent, indépendamment des constructions, modes de construction et types de construction, le coefficient d'oscillation global  $\varphi_{Bg,z}$  ou  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique, avec des largeurs d'appui  $L_{St} = 12,384$  m et  $L_{St} = 24,768$  m. Les coefficients d'oscillation indiquent alors l'augmentation dynamique suite aux effets de la rame en mouvement dans le sens z.
- (2) Les illustrations ci-après représentent par exemple les contraintes  $E$  appliquées au centre des support (par exemple flexion, conditions de cisaillement, tensions) et la principale courbe d'évolution contraintes / temps suite au passage d'une rame, ainsi que les grandeurs d'évaluation afférentes.

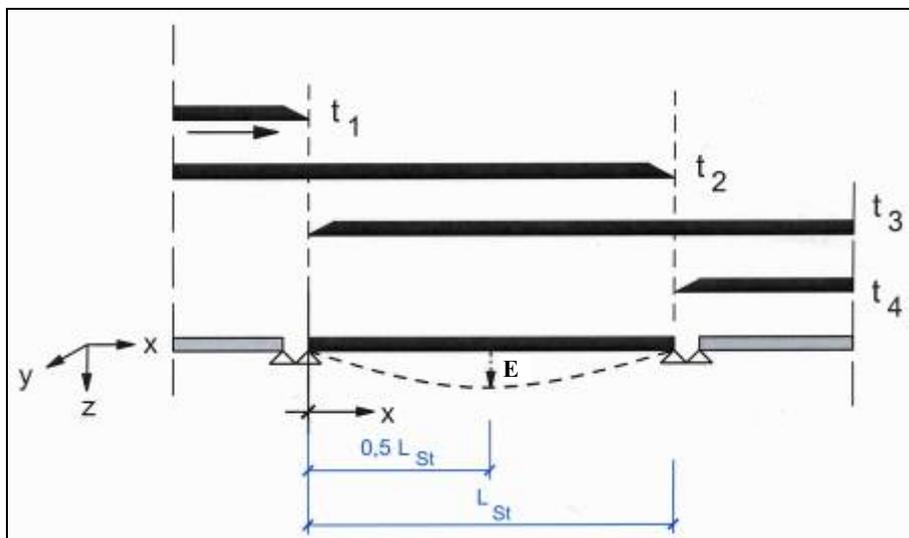


Figure 161 – Passage d'une rame sur une poutre à travée unique avec la grandeur d'évaluation  $w$  au centre de la travée

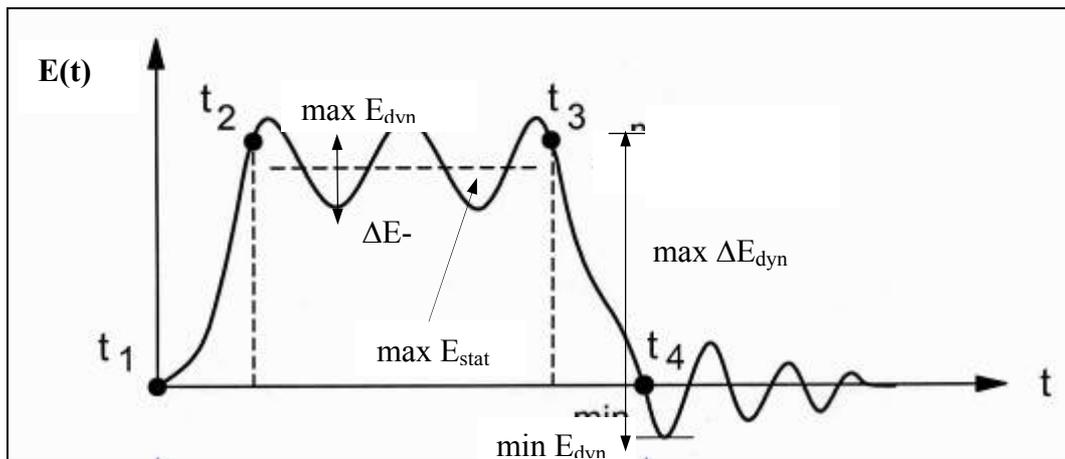


Figure 162 - Courbe d'évolution contraintes / temps suite au passage d'une rame sur une poutre à travée unique

- (3) Des modèles de calcul idéalisés sont utilisés pour réaliser les schémas. Ils tiennent compte des augmentations dynamiques dues aux excitations intermittentes et harmoniques (« choc » et « résonnance »), cf. à ce sujet /R2/, /R3/ et /R4/.
- (4) Les schémas se basent sur les paramètres ci-dessous :
- Largeur d'appui EFT avec :  $L_{St} = 12,384 \text{ m}$  et  $L_{St} = 24,768 \text{ m}$
  - Longueurs de rame : 2 ; 4 ; 6 ; 10 voitures
  - Facteur d'atténuation  $D$  : 0 % ; 0,3 % ; 0,6 % ; 1,6 %
  - Schémas de charge de la rame : conformes au chapitre 0
- (5) Les grandeurs d'évaluation ci-dessous sont couvertes par les schémas :
- Flexion  $\max/\min w_{dyn}$
  - Moment de flexion  $\max/\min M_{y,dyn}$
  - Force transversale  $\max/\min V_{z,dyn}$
- (6) Les schémas ont été élaborés pour attester les valeurs suivantes :
- Coefficient d'oscillation pour la certification de l'utilisabilité et de la capacité de charge
- $$\varphi_{Bg,z} = \frac{\max E_{dyn}}{\max E_{stat}}$$
- Coefficient d'oscillation pour la certification de la fatigue des matériaux, afin de définir l'amplitude maximale des contraintes :
- $$\varphi_{Bg,z,WSE} = \frac{(\max E_{dyn} - \min E_{dyn})}{\max E_{stat}}$$
- (7) Les coefficients d'oscillation sont déterminés grâce à la valeur adimensionnelle  $k$  dans les schémas. La valeur  $k$  est calculée comme suit en fonction de la largeur d'appui  $L_{St}$ , de la vitesse de déplacement  $v_{Fzg}$  et de la première fréquence propre de flexion verticale  $f_{z,1}$  du support de la voie :

$$k = \frac{L_{St}}{v_{Fzg}} \cdot f_{z,1}$$

## Champ d'application

- (1) Le champ d'application ci-dessous s'applique pour les schémas des coefficients d'oscillation (Figure 164 à Figure 179) :
- Largeur d'appui quasiment égale à la longueur du système  $L_{St} \approx L_{Sys}$  ;
  - Poutre à travée unique et appui rigide avec une répartition de masse  $\mu$  et une résistance à la flexion  $EI$  quasiment constantes ;
  - quasiment rigide au cisaillement ( $GA_V \rightarrow \infty$ ) ;
  - Application de l'atténuation (facteur d'atténuation  $D = 0\%$  ;  $0,3\%$  ;  $0,6\%$  ;  $1,6\%$ ) ;  
(Pour les valeurs intermédiaires, utiliser la valeur de facteur d'atténuation inférieure suivante.)
  - Schémas de charge des rames conformes au chapitre 9 ;
  - Les pôles magnétiques d'extrémité supportent au moins 25 % de la charge des pôles magnétiques principaux ;
  - Application des effets générés par la rame uniquement sur les composants verticaux, globalement dans le sens  $z$  ;
  - Utilisation de la flexion  $w$ , du moment de flexion  $M_y$  et de la force transversale  $V_z$  ;

- En règle générale, les schémas ne s'appliquent pas pour les vitesses de rames auxquelles l'interaction rame – voie doit être prise en compte en raison de la régulation des aimants (faibles vitesses de déplacement  $v_{Fzg} < 50$  m/s), notamment en cas de sustentation stationnaire  $v_{Fzg} = 0$  m/s.
- (2) Les coefficients d'oscillation de la fatigue des matériaux  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  servent à déterminer l'amplitude maximale des contraintes  $\max \Delta E_{dyn} = \varphi_{Bg,z,WSE} \cdot \max E_{stat} = \max E_{dyn} - \min E_{dyn}$ , qui ne doit être appliquée qu'une seule fois pour chaque passage de rame. Si une classification collective est réalisée, il convient de vérifier si les amplitudes doubles disponibles de l'évolution des contraintes en raison des oscillations  $\Delta E_{dyn}$  sont inférieures à la « limite de coupure ». Cette assertion est valable si, pour  $\Delta E_{dyn}$  :

$$\Delta E_{dyn} = 2 \cdot \gamma_{Fl} \cdot \max E_{stat} \cdot (\varphi_{Bg,z} - 1) < \Delta E_{cut-off-limit} / \gamma_{Mf}$$

Si cette condition n'est pas remplie et lorsqu'aucune plage « limite de coupure » ne s'applique pour les matériaux ou pour les éléments soumis au cisaillement, ces amplitudes d'oscillation doivent en outre être prises en compte dans le cadre des certificats relatifs à la fatigue des matériaux.

## Exemples d'utilisation

- (1) L'exemple ci-dessous est présenté afin d'illustrer l'utilisation des schémas des coefficients d'oscillation, pour des supports de voie de type I construits en béton ou en acier.
- (2) L'exemple se base sur les paramètres ci-dessous :
- Vue en coupe des travées conformément à la Figure 163 ;
  - Indications en termes de rigidité  $EI$  et de répartition des masses  $\mu$  conformément à /R1/ ;
  - Poutres à travée unique avec une largeur d'appui de  $L_{St} = 24,768$  m ;
  - Facteur d'atténuation de  $D = 0,6$  % pour les supports en béton précontraint ;
  - Facteur d'atténuation de  $D = 0,3$  % pour les supports en acier soudés ;
  - Longueur de la rame : 4 voitures ;
  - $\max v_{Fzg} = 450$  km/h = 125 m/s ;

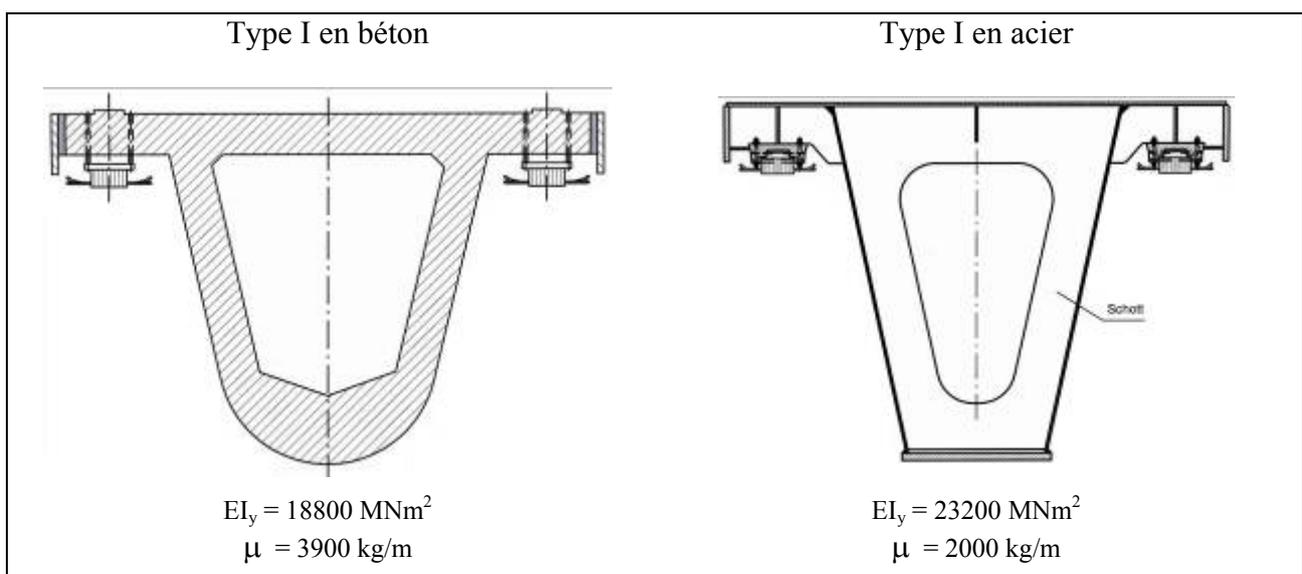


Figure 163 - Supports de voie pour un exemple d'utilisation – Vue en coupe d'une travée

*Cloison étanche*

(3) Détermination de la valeur k pour le relevé des coefficients d'oscillation globaux à partir des schémas

- Pour le support de voie de type I en béton :

$$f_{z,1} = \frac{\pi}{2 \cdot 24,768^2} \cdot \sqrt{\frac{1,88 \cdot 10^{10}}{3900}} = 5,62 \text{ Hz} \rightarrow k = \frac{L_{St} \cdot f_{z,1}}{V_{Fz9}} = \frac{24,768 \cdot 5,62}{125} = 1,11$$

$$\Rightarrow \text{cf. Figure 174 : } \varphi_{Bg,z} = 1,15 + 1,0 \cdot (1,4 - k) = 1,44$$

$$\Rightarrow \text{cf. Figure 175 : } \varphi_{Bg,z,WSE} = 1,8$$

- Pour le support de voie de type I en acier :

$$f_{z,1} = \frac{\pi}{2 \cdot 24,768^2} \cdot \sqrt{\frac{2,32 \cdot 10^{10}}{2000}} = 8,72 \text{ Hz} \rightarrow k = \frac{24,768 \cdot 8,72}{125} = 1,73$$

$$\Rightarrow \text{cf. Figure 174 : } \varphi_{Bg,z} = 1,15$$

$$\Rightarrow \text{cf. Figure 175 : } \varphi_{Bg,z,WSE} = 1,3$$

(4) Le chapitre 0 s'applique pour la sélection du coefficient d'atténuation.

(5) Les fréquences propres réelles (mesurées) peuvent différer des fréquences propres définies par calcul. Dans ce cas, les autres résultats doivent être adaptés comme il convient.

**Exemple de schéma des coefficients d'oscillation****Généralités**

- (1) Sont représentés sur les schémas ci-après des exemples de coefficients d'oscillation  $\varphi_{Bg,z}$  et  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les largeurs d'appui et longueurs de rame indiquées dans le Tableau 116.
- (2) Les courbes de mesure du coefficient d'oscillation ont été définies comme résultat des analyses conduites conformément à /R2/, R3/ et /R4/ pour différentes zones de k et pour les valeurs d'atténuation examinées ; ces courbes tiennent compte des augmentations dynamiques dues aux excitations intermittentes et harmoniques provoquées par le passage d'une rame.

Largeur d'appui	Longueur de rame	Page
$L_{St} = 12,384 \text{ m}$	2 voitures	Figure 164 et Figure 165
	4 voitures	Figure 166 et Figure 167
	6 voitures	Figure 168 et Figure 169
	10 voitures	Figure 170 et Figure 171
$L_{St} = 24,768 \text{ m}$	2 voitures	Figure 172 et Figure 173
	4 voitures	Figure 174 et Figure 175
	6 voitures	Figure 176 et Figure 177
	10 voitures	Figure 178 et Figure 179

Tableau 116 - Largeurs d'appui et longueurs de rame du schéma des coefficients d'oscillation présenté à titre d'exemple

Schéma des coefficients d'oscillation pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384 \text{ m}$

Coefficients d'oscillation pour une rame à 2 voitures

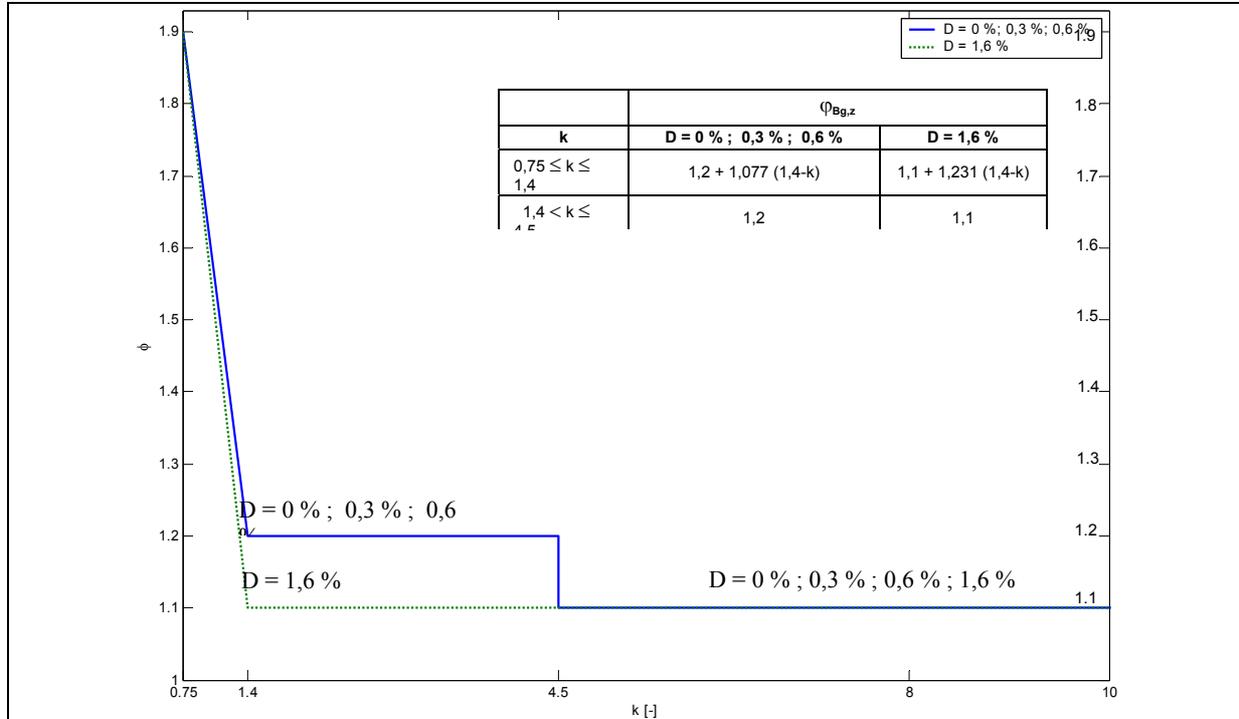


Figure 164 -  $\phi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384 \text{ m}$  – Rame à 2 voitures

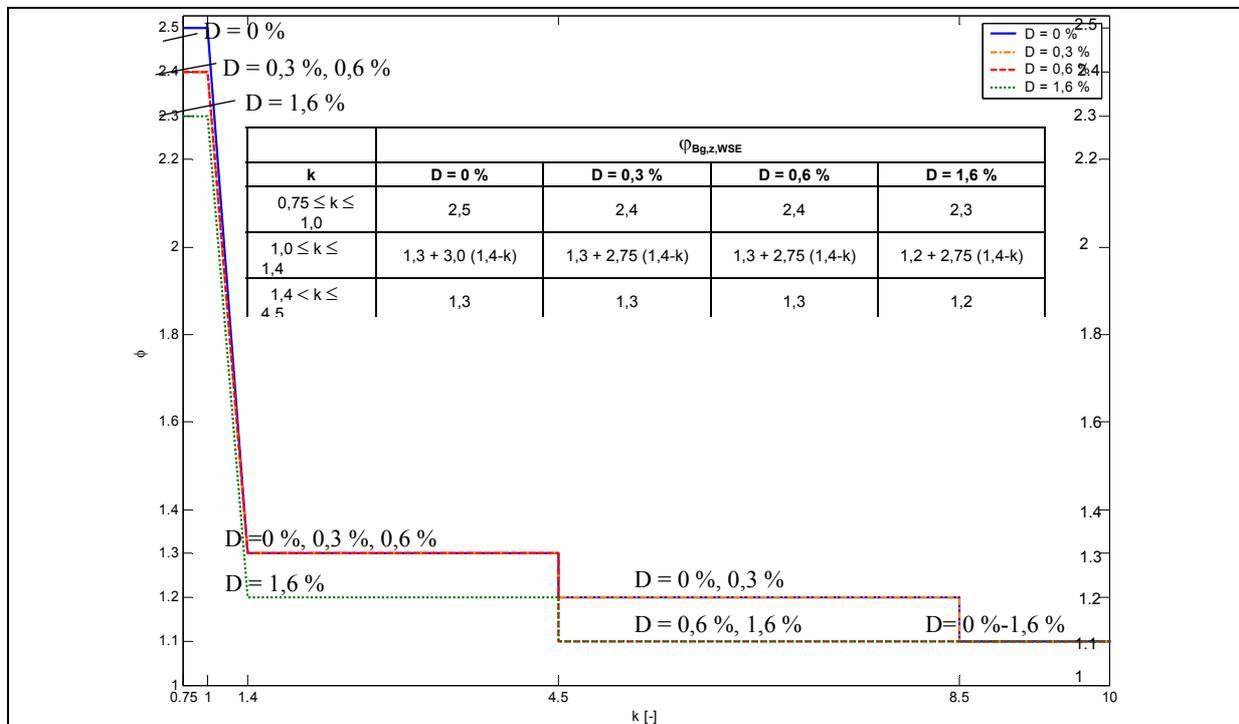


Figure 165 -  $\phi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384 \text{ m}$  – Rame à 2 voitures

Coefficients d'oscillation pour une rame à 4 voitures

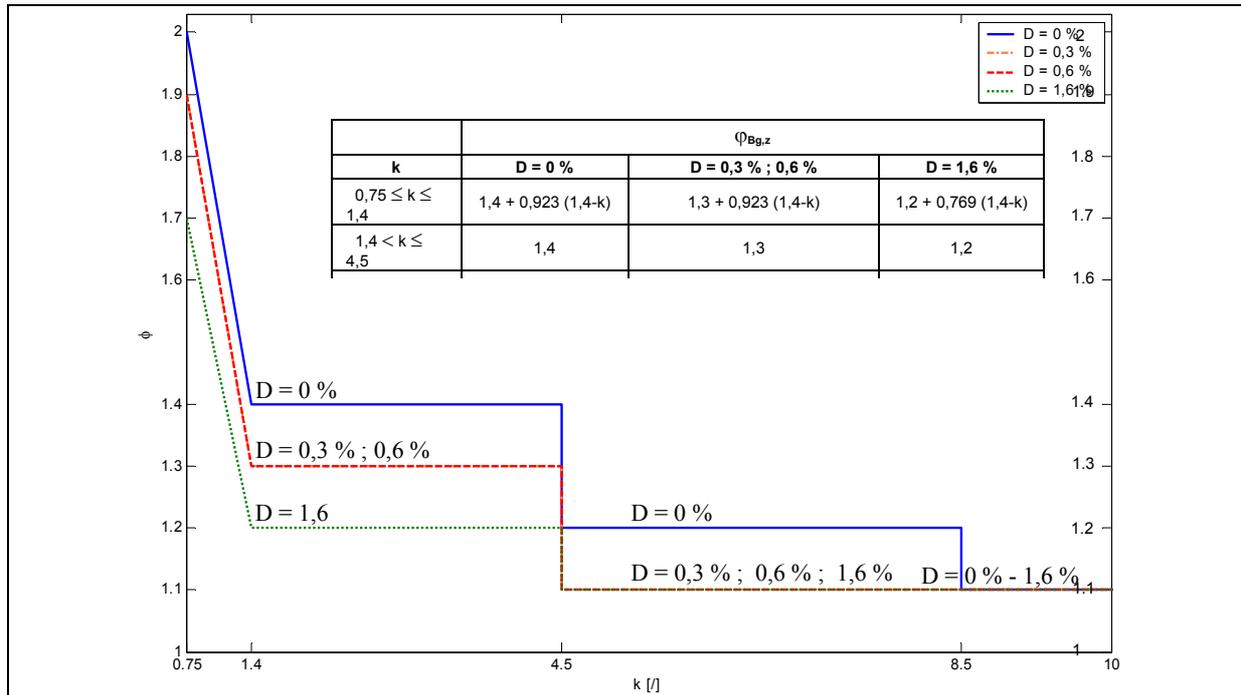


Figure 166 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 4 voitures

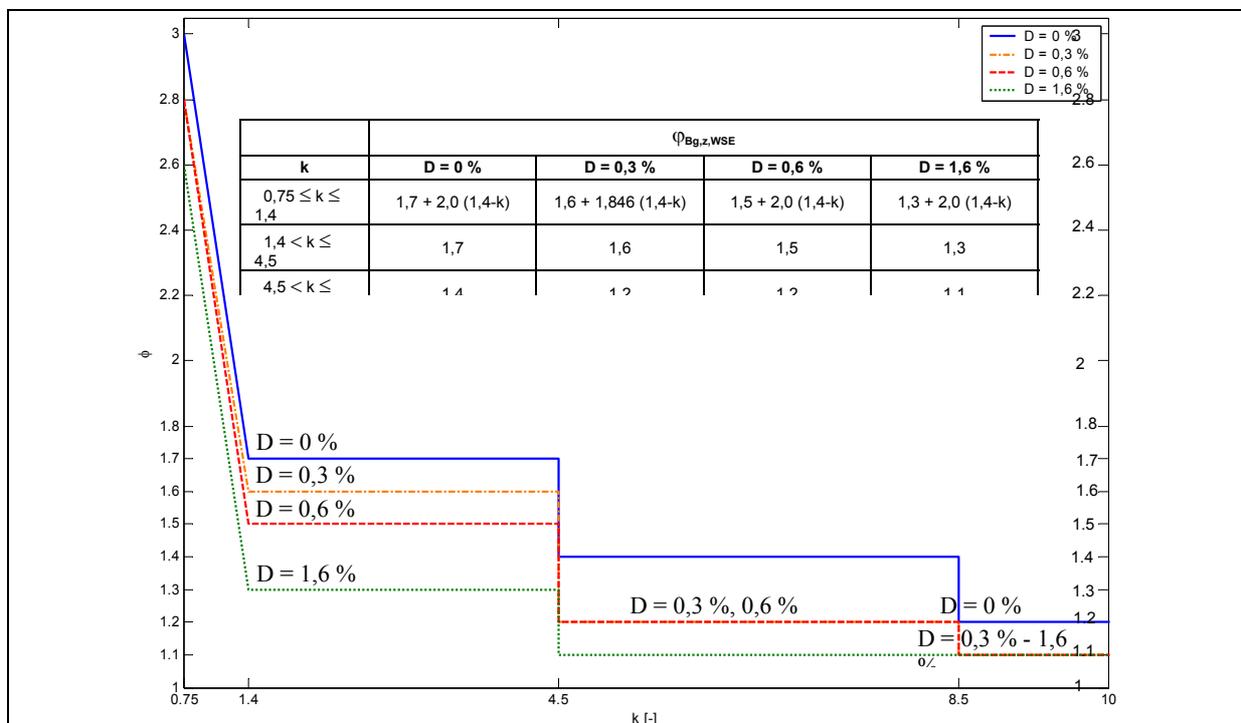


Figure 167 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 4 voitures

Coefficients d'oscillation pour une rame à 6 voitures

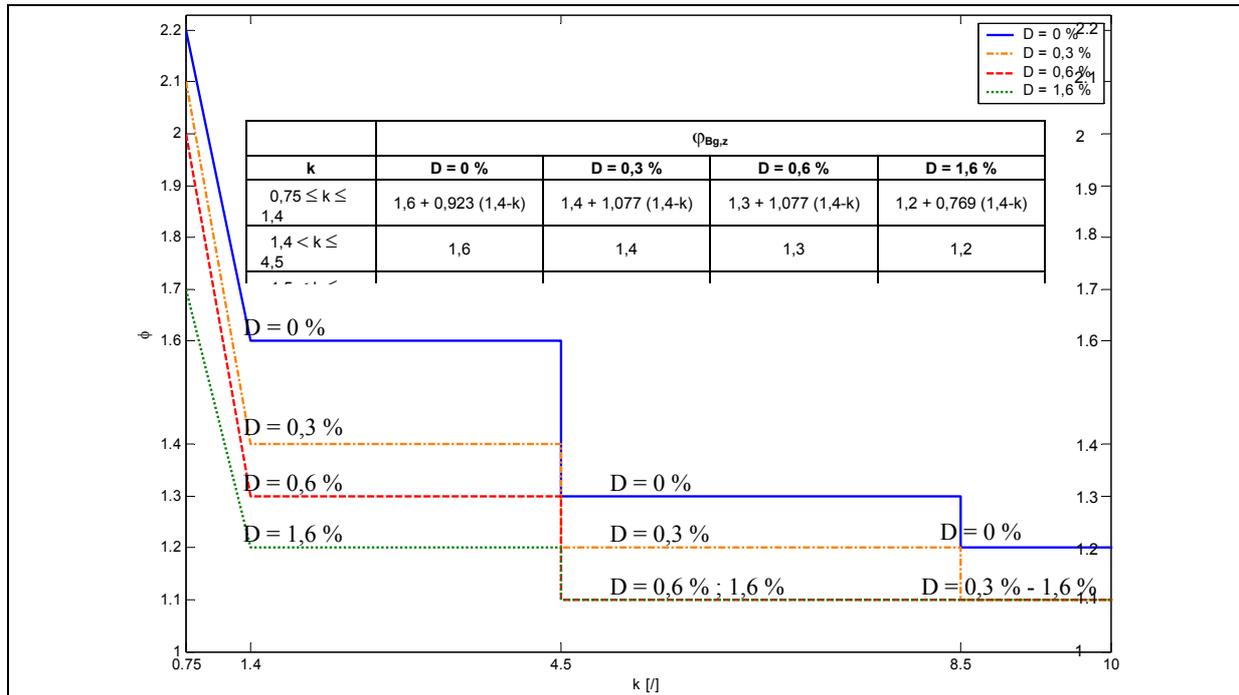


Figure 168 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 6 voitures

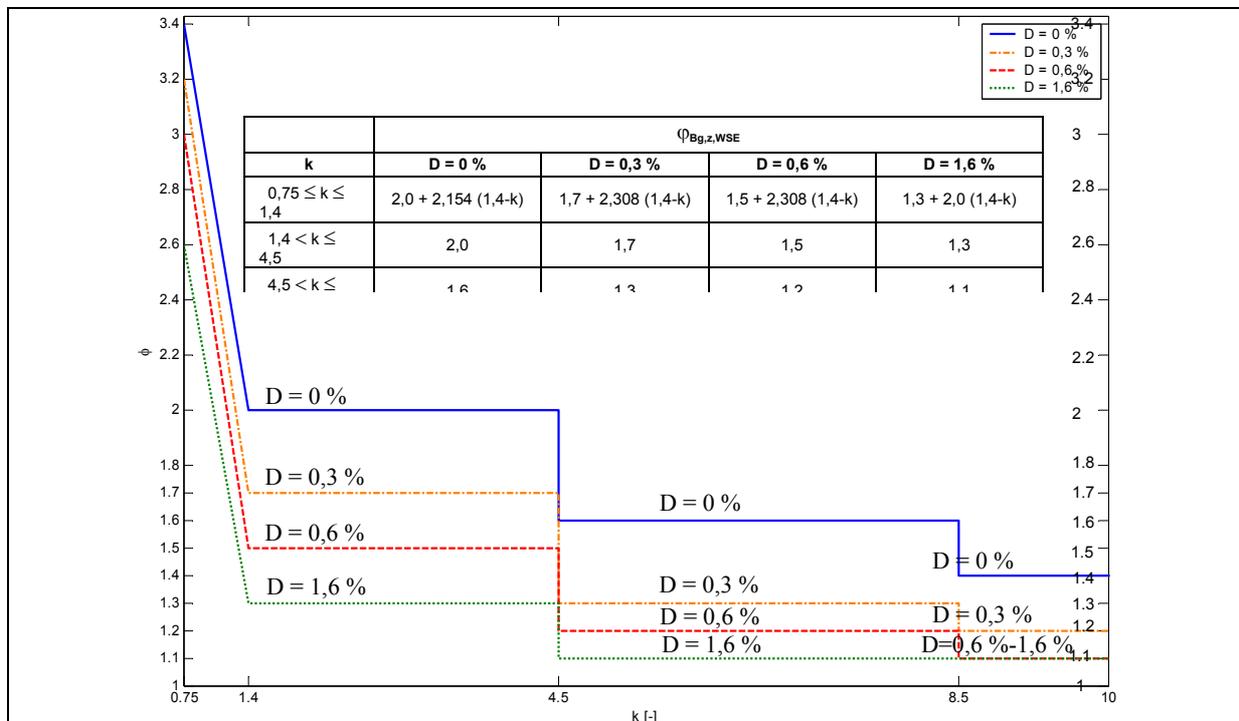


Figure 169 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 6 voitures

Coefficients d'oscillation pour une rame à 10 voitures

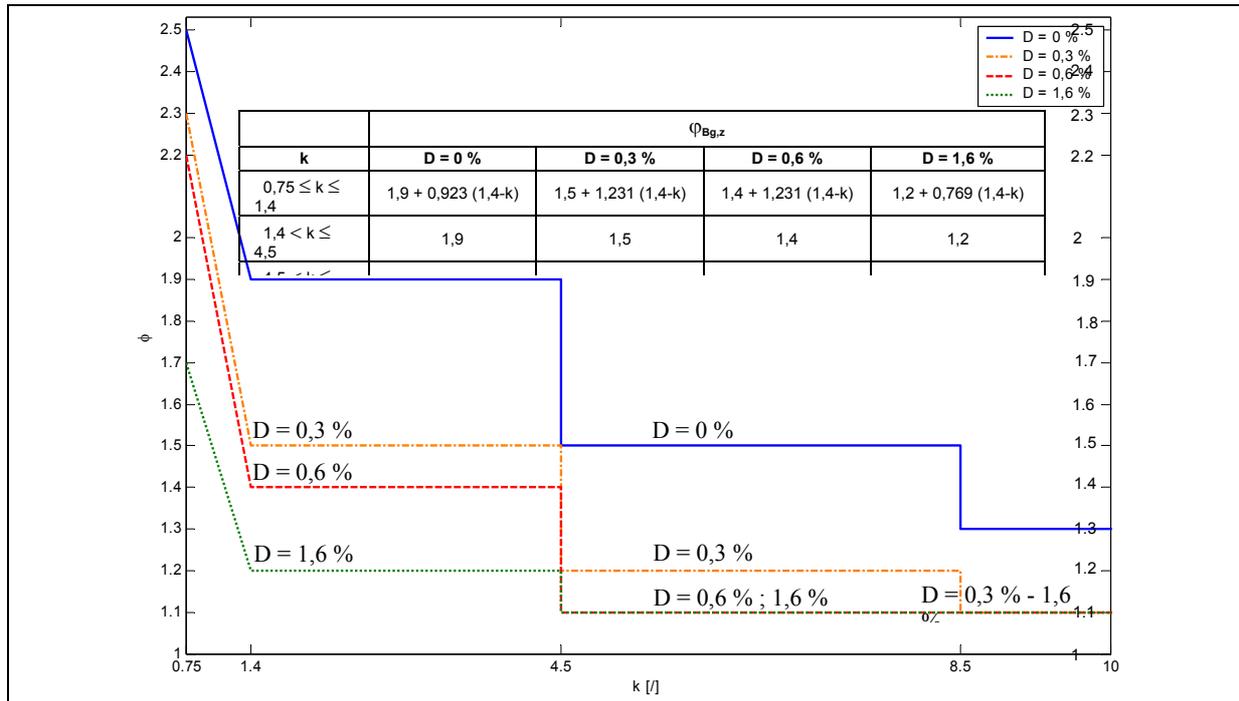


Figure 170 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 10 voitures

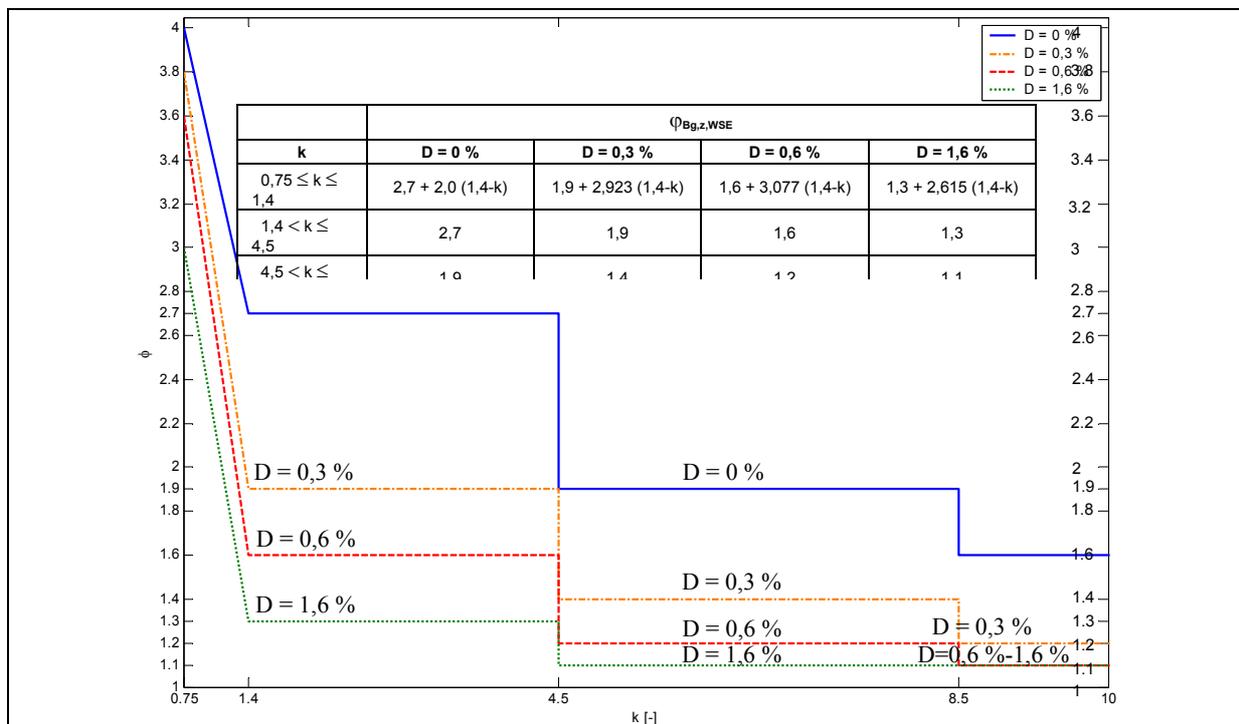


Figure 171 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 12,384$  m – Rame à 10 voitures

Schéma des coefficients d'oscillation pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768 \text{ m}$

Coefficients d'oscillation pour une rame à 2 voitures

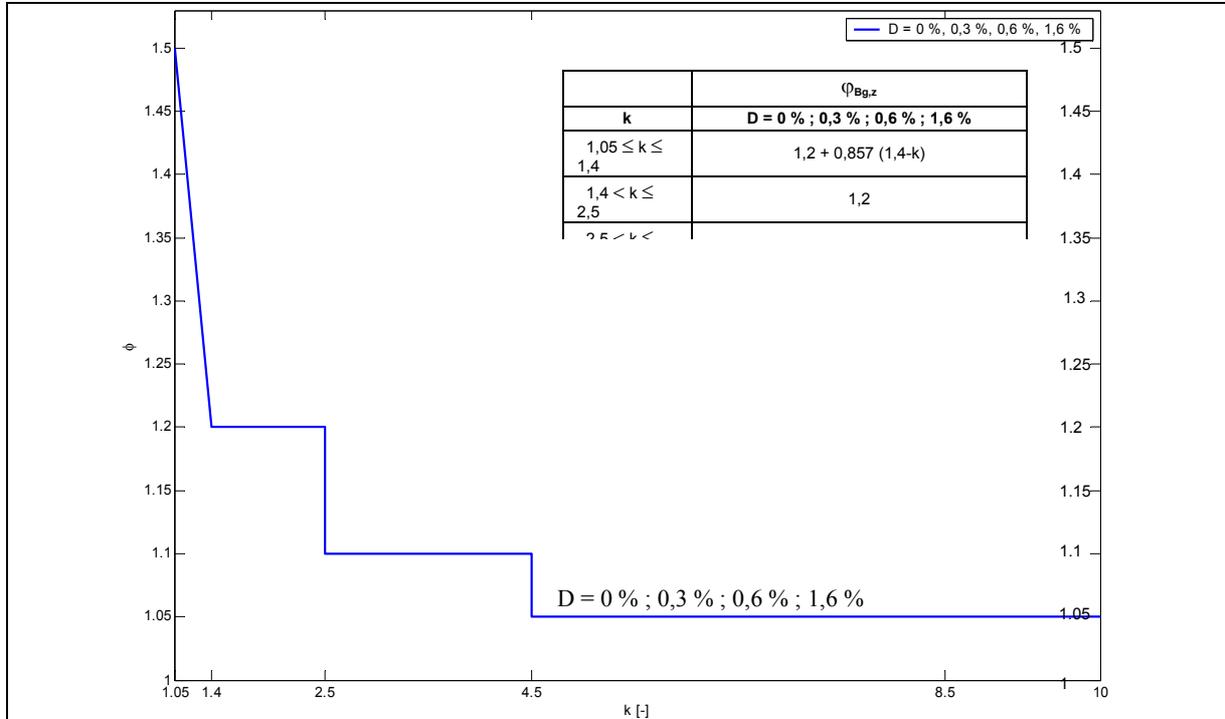


Figure 172 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768 \text{ m}$  – Rame à 2 voitures

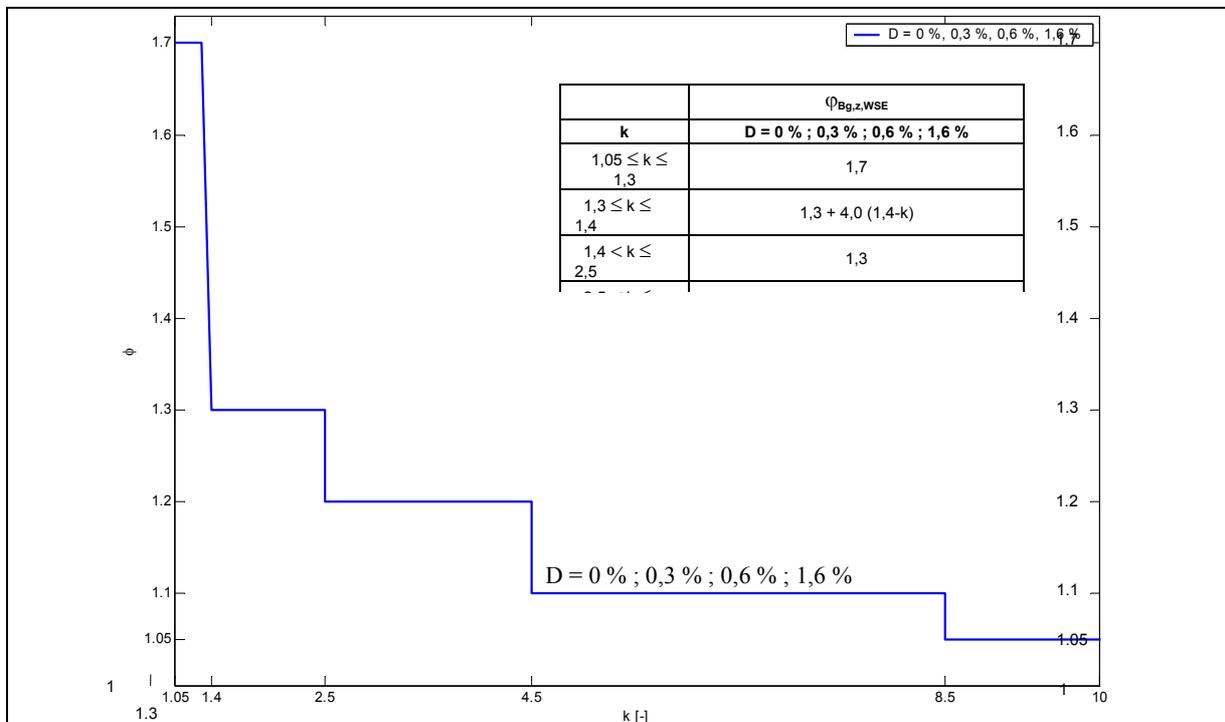


Figure 173 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768 \text{ m}$  – Rame à 2 voitures



Coefficients d'oscillation pour une rame à 4 voitures

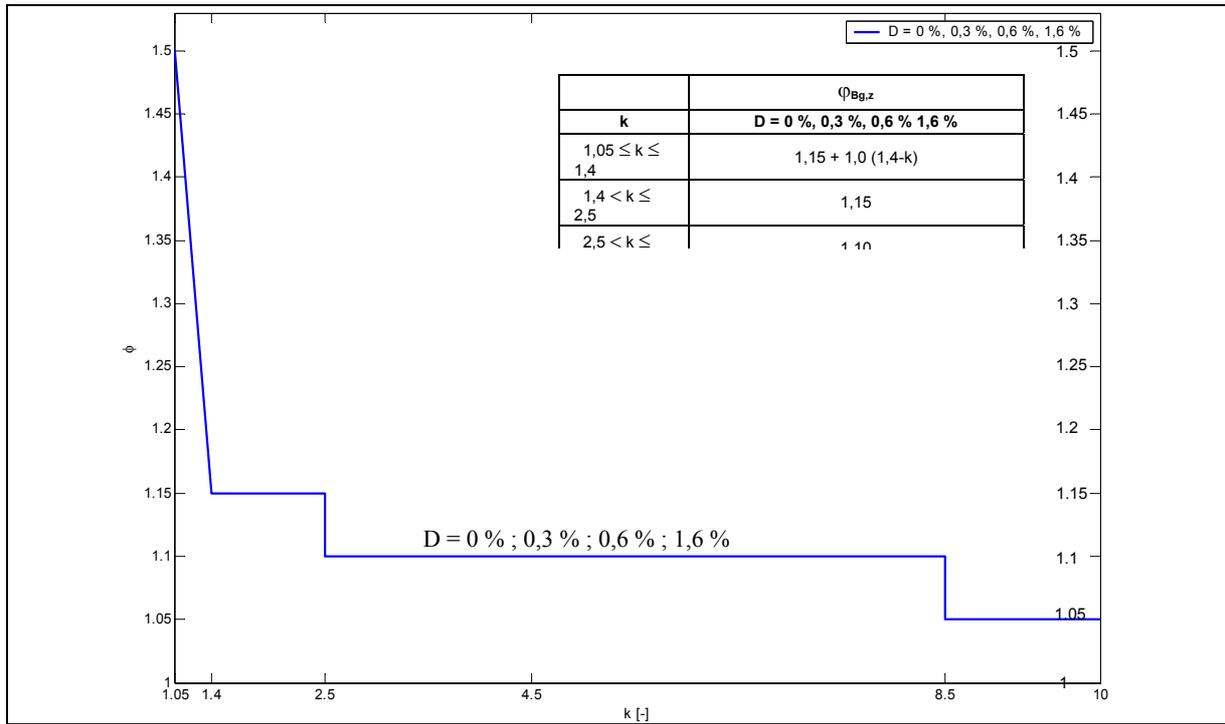


Figure 174 -  $\varphi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 4 voitures

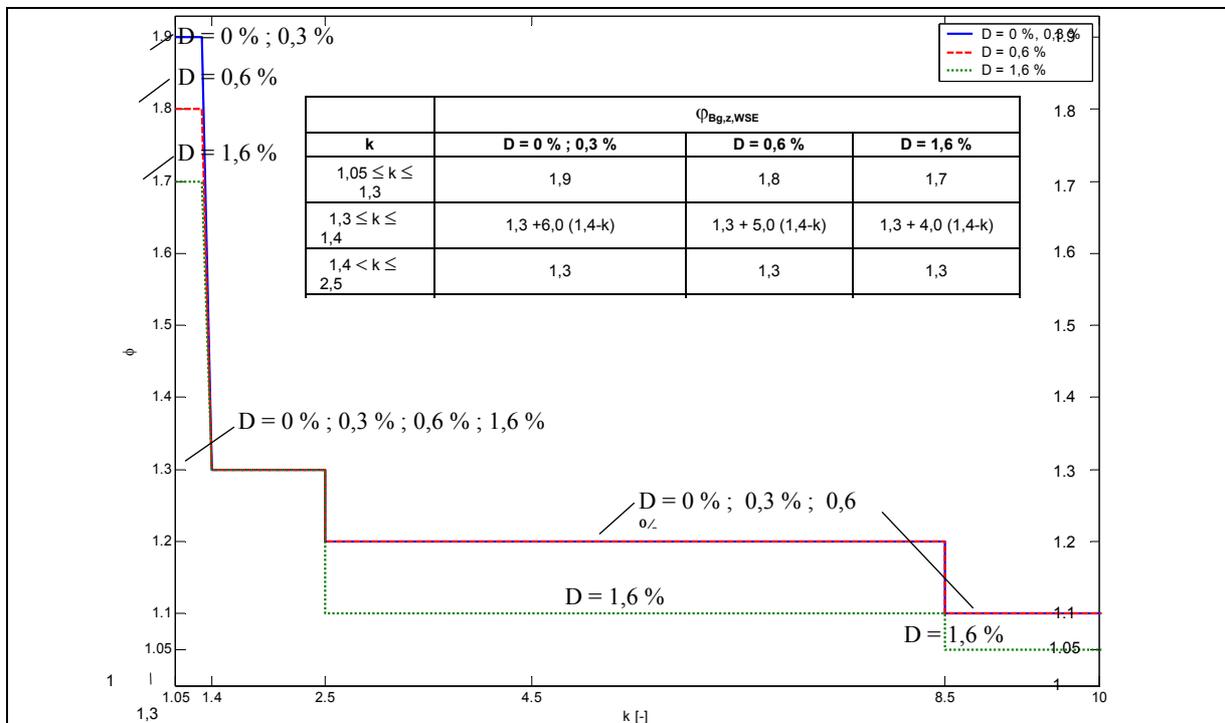


Figure 175 -  $\varphi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 4 voitures

Coefficients d'oscillation pour une rame à 6 voitures

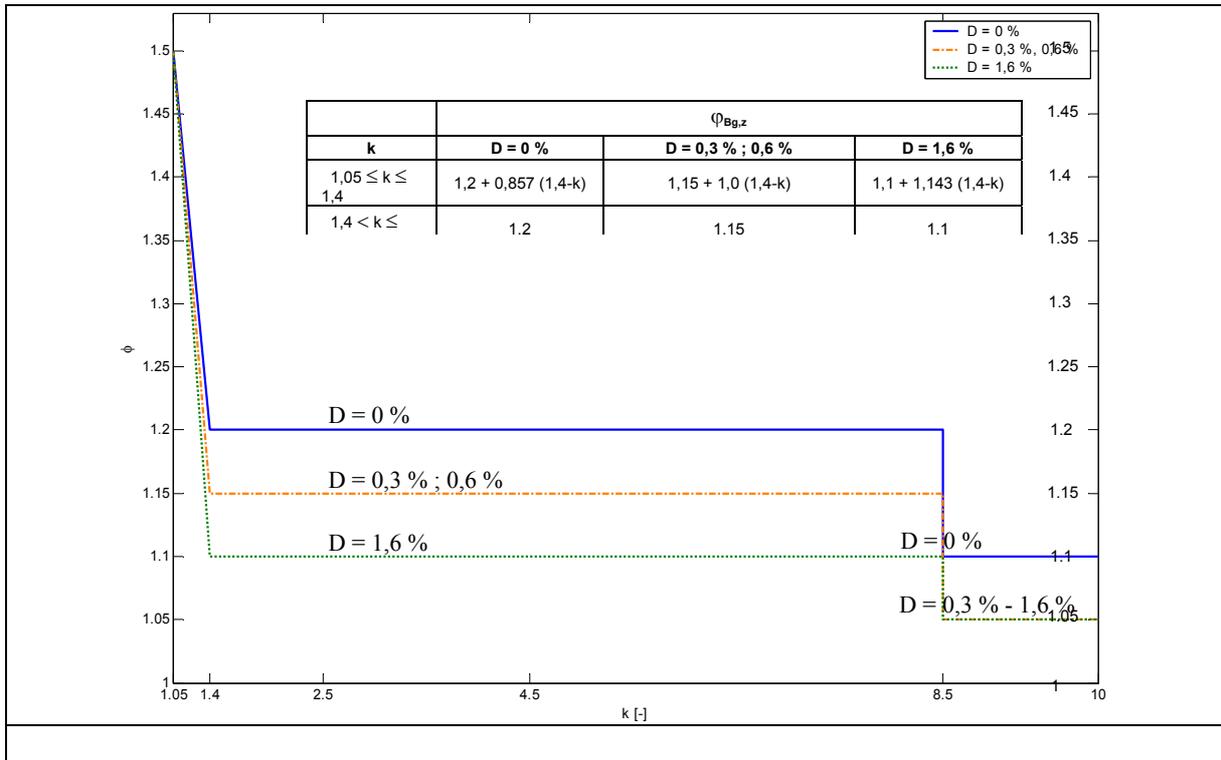


Figure 176 -  $\phi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 6 voitures

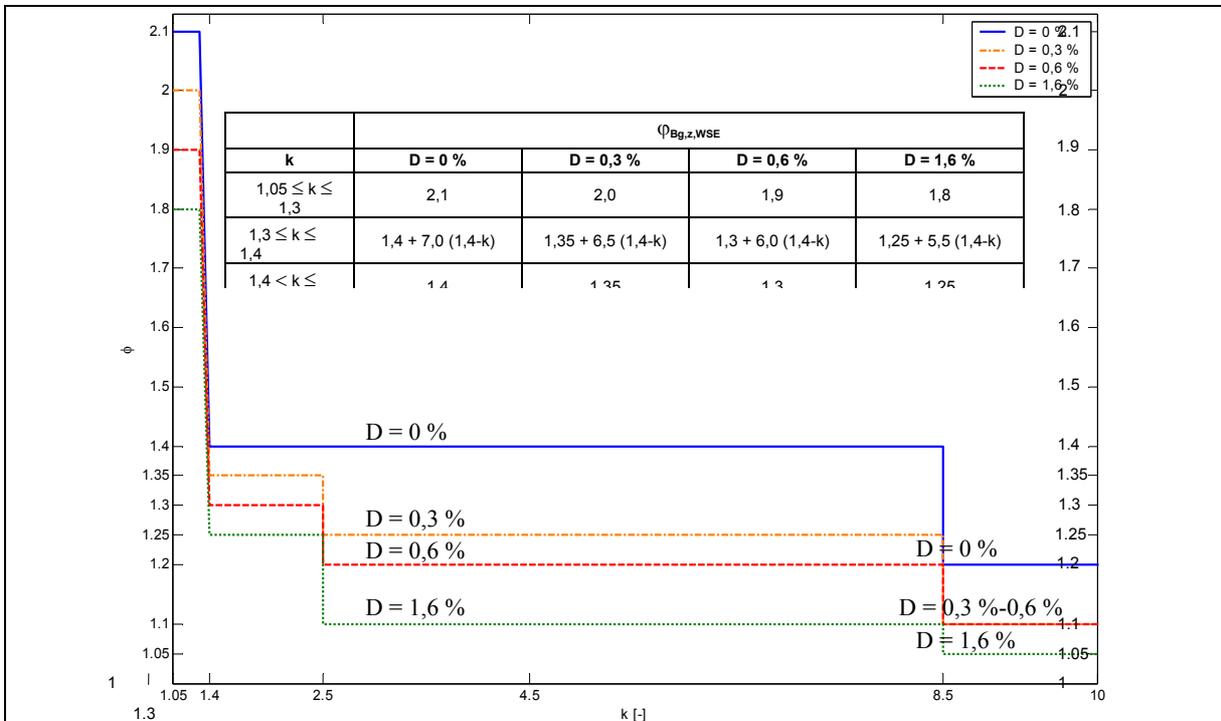


Figure 177 -  $\phi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 6 voitures

Coefficients d'oscillation pour une rame à 10 voitures

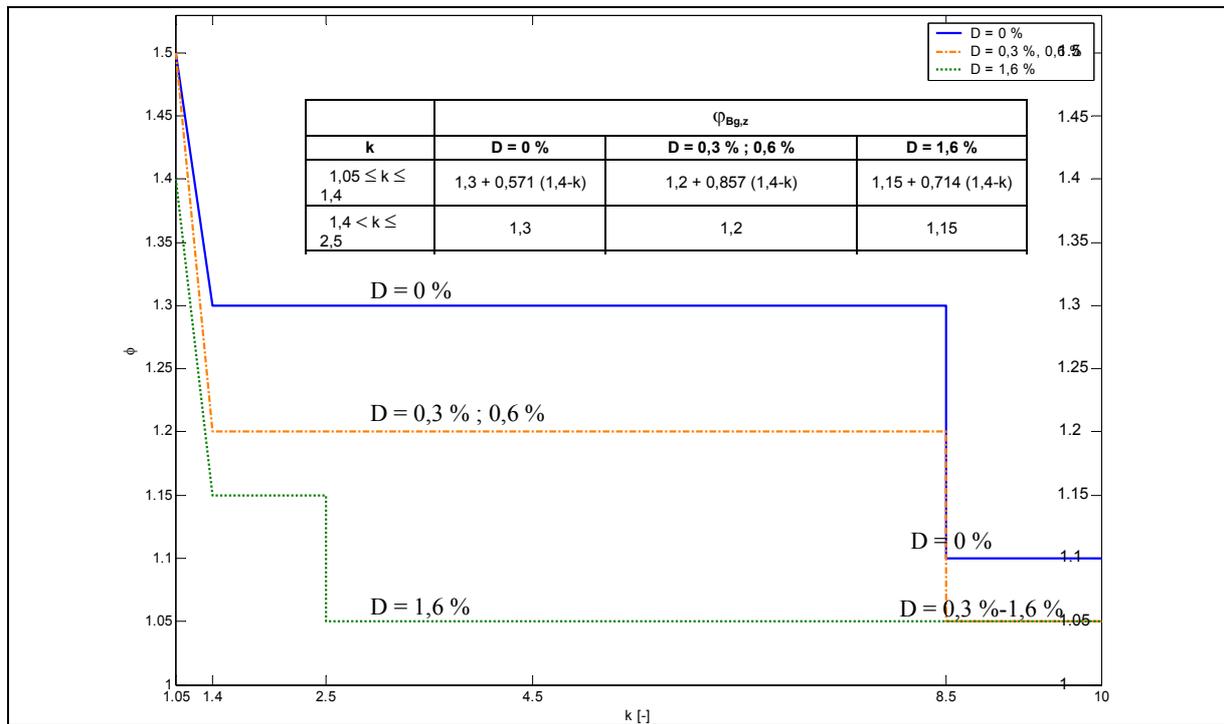


Figure 178 -  $\phi_{Bg,z}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 10 voitures

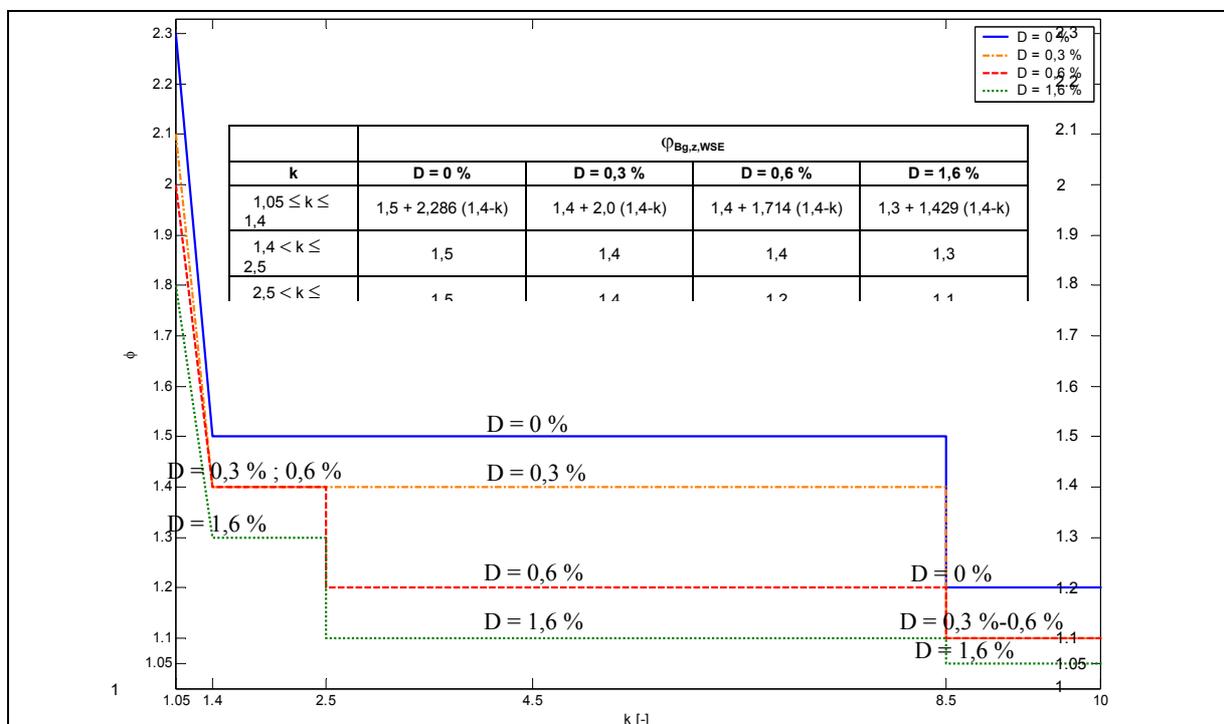


Figure 179 -  $\phi_{Bg,z,WSE}$  pour les poutres à travée unique avec  $L_{St} = 24,768$  m – Rame à 10 voitures

## Annexe II-C : Valeurs limites des éléments du tracé

Conformément au document /MSB AG-FW TRAS/, chapitre 4.1.7, la combinaison des éléments du tracé rayon horizontal  $R_H$ , demi-diamètre vertical  $R_V$  et inclinaison transversale  $\alpha$  est limitée par le critère  $R_{x,z}$ . La valeur limite  $R_{x,z}$  dépend donc en outre du gauchissement de la voie  $\Delta\alpha$ . Le Tableau 117 présente des possibilités de combinaison pour les valeurs limites des paramètres du tracé, à titre d'exemple.

L'inclinaison longitudinale (montée, descente) est estimée dans le Tableau 117 à  $s = 0\%$ .

<b><math>R_{x,z,\min} = 530</math> m avec un gauchissement <math>\Delta\alpha = 0^\circ/\text{m}</math></b>		
Inclinaison latérale $\alpha$	Rayon horizontal $R_H$	Demi-diamètre vertical $R_{V,(K/W)}$
0°	350 m	$R_{V,W} \leq - 530$ m
		$R_{V,K} \geq 530$ m
12°	350 m	$R_{V,W} \leq - 756$ m
		$R_{V,K} \geq 530$ m
	5050 m	$R_{V,W} \leq - 530$ m
		$R_{V,K} \geq 554$ m
<b><math>R_{x,z,\min} = 1100</math> m avec un gauchissement <math>\Delta\alpha = 0,1^\circ/\text{m}</math></b>		
0°	350 m	$R_{V,W} \leq - 1100$ m
		$R_{V,K} \geq 1100$ m
12°	350 m	$R_{V,W} \leq - 3105$ m
		$R_{V,K} \geq 651$ m

Tableau 117 - Valeurs limites des combinaisons des éléments du tracé

## Annexe II-D : Valeurs limites générales des déformations

Les tableaux des valeurs limites générales des déformations sont actuellement en cours d'élaboration. Les valeurs limites générales des déformations à appliquer doivent être déterminées en accord avec l'autorité de surveillance compétente en attendant que les rapports soient mis à disposition.

## **Annexe II-E : Tableaux illustrant les forces magnétiques en cas de vent latéral (Q9a)**

Les tableaux ci-après représentent les forces magnétiques de guidage et de levage afférentes à des vitesses de déplacement de 0 km/h, 200 km/h, 300 km/h, 400 km/h et 500 km/h avec des vitesses de vent latéral de 10 m/s à 40 m/s, constatées sur la première voiture et sur les voitures intermédiaires. Les forces induites par des vitesses de déplacement intermédiaires doivent être déterminées pour chaque projet spécifique par interpolation / extrapolation.

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	37,1	13,6	19,5	14,1	13,6	13,8	-	-	11,0	8,1	7,5	6,1	4,9	1,8	1,3
39	-	35,5	13,1	18,9	13,6	13,0	13,3	-	-	10,5	7,8	7,2	5,9	4,7	1,8	1,2
38	-	33,9	12,7	18,2	13,0	12,5	12,7	-	-	10,1	7,5	6,9	5,7	4,5	1,7	1,2
37	-	32,4	12,2	17,6	12,5	12,0	12,2	-	-	9,7	7,2	6,7	5,4	4,3	1,6	1,1
36	-	30,9	11,7	16,9	12,0	11,5	11,6	-	-	9,2	6,9	6,4	5,2	4,2	1,6	1,1
35	-	29,4	11,3	16,3	11,4	11,0	11,1	-	-	8,8	6,6	6,1	5,0	4,0	1,5	1,0
34	-	27,9	10,8	15,6	10,9	10,5	10,6	-	-	8,4	6,3	5,8	4,7	3,8	1,5	1,0
33	-	26,5	10,4	15,0	10,4	10,0	10,1	-	-	8,0	6,0	5,6	4,5	3,6	1,4	0,9
32	-	25,1	9,9	14,4	9,9	9,5	9,6	-	-	7,6	5,7	5,3	4,3	3,4	1,3	0,9
31	-	23,8	9,5	13,8	9,4	9,0	9,1	-	-	7,2	5,4	5,1	4,1	3,3	1,3	0,9
30	-	22,5	9,1	13,2	9,0	8,6	8,6	-	-	6,8	5,1	4,8	3,9	3,1	1,2	0,8
29	-	21,2	8,6	12,6	8,5	8,1	8,2	-	-	6,4	4,9	4,6	3,7	2,9	1,2	0,8
28	-	19,9	8,2	12,0	8,0	7,7	7,7	-	-	6,1	4,6	4,3	3,5	2,8	1,1	0,7
27	-	18,7	7,8	11,4	7,6	7,3	7,3	-	-	5,7	4,3	4,1	3,3	2,6	1,0	0,7
26	-	17,5	7,4	10,8	7,1	6,8	6,8	-	-	5,4	4,1	3,9	3,1	2,5	1,0	0,7
25	-	16,3	7,0	10,3	6,7	6,4	6,4	-	-	5,0	3,8	3,6	2,9	2,3	0,9	0,6
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	7,4	5,6	6,8	4,7	8,3	2,0	5,6	3,2	3,8	4,2	4,8	2,6	5,0	1,4	3,7	
39	7,1	5,4	6,5	4,5	8,0	1,9	5,4	3,1	3,6	4,0	4,6	2,5	4,8	1,4	3,6	
38	6,8	5,2	6,3	4,4	7,7	1,8	5,2	3,0	3,5	3,9	4,4	2,4	4,6	1,3	3,4	
37	6,5	5,0	6,0	4,2	7,4	1,8	5,0	2,8	3,3	3,7	4,2	2,3	4,4	1,3	3,3	
36	6,3	4,8	5,7	4,0	7,1	1,7	4,7	2,7	3,2	3,5	4,0	2,2	4,2	1,2	3,1	
35	6,0	4,6	5,5	3,8	6,7	1,6	4,5	2,6	3,1	3,4	3,9	2,1	4,1	1,2	3,0	
34	5,7	4,4	5,2	3,7	6,4	1,5	4,3	2,5	2,9	3,2	3,7	2,0	3,9	1,1	2,9	
33	5,4	4,2	5,0	3,5	6,1	1,5	4,1	2,3	2,8	3,1	3,5	1,9	3,7	1,1	2,7	
32	5,2	4,0	4,7	3,3	5,8	1,4	3,9	2,2	2,6	2,9	3,3	1,8	3,5	1,0	2,6	
31	4,9	3,8	4,5	3,2	5,6	1,3	3,7	2,1	2,5	2,8	3,2	1,7	3,3	1,0	2,5	
30	4,7	3,6	4,2	3,0	5,3	1,2	3,6	2,0	2,4	2,7	3,0	1,6	3,2	0,9	2,3	
29	4,4	3,5	4,0	2,9	5,0	1,2	3,4	1,9	2,2	2,5	2,8	1,5	3,0	0,9	2,2	
28	4,2	3,3	3,8	2,7	4,7	1,1	3,2	1,8	2,1	2,4	2,7	1,4	2,8	0,8	2,1	
27	3,9	3,1	3,6	2,5	4,5	1,0	3,0	1,7	2,0	2,2	2,5	1,4	2,7	0,8	2,0	
26	3,7	2,9	3,4	2,4	4,2	1,0	2,8	1,6	1,9	2,1	2,4	1,3	2,5	0,7	1,9	
25	3,5	2,8	3,1	2,3	3,9	0,9	2,7	1,5	1,8	2,0	2,2	1,2	2,4	0,7	1,7	

Tableau 118 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 500$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	16,3	7,0	10,3	6,7	6,4	6,4	-	-	5,0	3,8	3,6	2,9	2,3	0,9	0,6
24	-	15,2	6,6	9,7	6,3	6,0	6,0	-	-	4,7	3,6	3,4	2,7	2,2	0,9	0,6
23	-	14,1	6,2	9,2	5,9	5,6	5,6	-	-	4,4	3,4	3,2	2,5	2,0	0,8	0,5
22	-	13,1	5,8	8,6	5,5	5,2	5,2	-	-	4,1	3,1	3,0	2,3	1,9	0,8	0,5
21	-	12,0	5,5	8,1	5,1	4,9	4,8	-	-	3,8	2,9	2,8	2,2	1,8	0,7	0,5
20	-	11,1	5,1	7,6	4,7	4,5	4,4	-	-	3,5	2,7	2,6	2,0	1,6	0,7	0,4
19	-	10,1	4,7	7,0	4,4	4,1	4,1	-	-	3,2	2,5	2,4	1,9	1,5	0,6	0,4
18	-	9,2	4,4	6,5	4,0	3,8	3,7	-	-	2,9	2,3	2,2	1,7	1,4	0,6	0,4
17	-	8,3	4,0	6,1	3,7	3,5	3,4	-	-	2,6	2,1	2,0	1,5	1,2	0,5	0,3
16	-	7,5	3,7	5,6	3,3	3,2	3,1	-	-	2,4	1,9	1,8	1,4	1,1	0,5	0,3
15	-	6,7	3,4	5,1	3,0	2,8	2,8	-	-	2,1	1,7	1,7	1,3	1,0	0,4	0,3
14	-	5,9	3,1	4,6	2,7	2,5	2,5	-	-	1,9	1,5	1,5	1,1	0,9	0,4	0,3
13	-	5,2	2,8	4,2	2,4	2,3	2,2	-	-	1,7	1,4	1,3	1,0	0,8	0,4	0,2
12	-	4,5	2,5	3,8	2,1	2,0	1,9	-	-	1,5	1,2	1,2	0,9	0,7	0,3	0,2
11	-	3,9	2,2	3,3	1,8	1,7	1,7	-	-	1,3	1,0	1,0	0,8	0,6	0,3	0,2
10	-	3,3	1,9	2,9	1,6	1,5	1,4	-	-	1,1	0,9	0,9	0,7	0,5	0,2	0,2
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	3,5	2,8	3,1	2,3	3,9	0,9	2,7	1,5	1,8	2,0	2,2	1,2	2,4	0,7	1,7	
24	3,3	2,6	2,9	2,1	3,7	0,9	2,5	1,4	1,6	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,6	
23	3,0	2,4	2,7	2,0	3,5	0,8	2,3	1,3	1,5	1,7	2,0	1,1	2,1	0,6	1,5	
22	2,8	2,3	2,5	1,8	3,2	0,7	2,2	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0	1,9	0,6	1,4	
21	2,6	2,1	2,4	1,7	3,0	0,7	2,0	1,1	1,3	1,5	1,7	0,9	1,8	0,5	1,3	
20	2,4	2,0	2,2	1,6	2,8	0,6	1,9	1,0	1,2	1,4	1,6	0,8	1,6	0,5	1,2	
19	2,2	1,8	2,0	1,5	2,5	0,6	1,7	0,9	1,1	1,3	1,4	0,8	1,5	0,4	1,1	
18	2,0	1,7	1,8	1,3	2,3	0,5	1,6	0,9	1,0	1,2	1,3	0,7	1,4	0,4	1,0	
17	1,9	1,5	1,7	1,2	2,1	0,5	1,4	0,8	0,9	1,1	1,2	0,6	1,3	0,4	0,9	
16	1,7	1,4	1,5	1,1	1,9	0,4	1,3	0,7	0,8	1,0	1,1	0,6	1,1	0,3	0,9	
15	1,5	1,3	1,4	1,0	1,7	0,4	1,2	0,6	0,8	0,9	1,0	0,5	1,0	0,3	0,8	
14	1,4	1,2	1,2	0,9	1,6	0,4	1,1	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,9	0,3	0,7	
13	1,2	1,0	1,1	0,8	1,4	0,3	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,8	0,2	0,6	
12	1,1	0,9	0,9	0,7	1,2	0,3	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,4	0,7	0,2	0,5	
11	0,9	0,8	0,8	0,6	1,1	0,2	0,7	0,4	0,5	0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	0,5	
10	0,8	0,7	0,7	0,5	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5	0,2	0,4	

Tableau 119 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 500$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,EMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	2,4	1,8	4,4	6,0	6,2	6,4	8,1	-	-	9,6	9,5	9,8	12,6	10,7	6,1	2,6
39	2,3	1,7	4,3	5,7	5,9	6,2	7,8	-	-	9,1	9,1	9,4	12,1	10,3	5,9	2,5
38	2,2	1,7	4,1	5,5	5,7	5,9	7,5	-	-	8,7	8,7	9,0	11,6	9,9	5,6	2,4
37	2,1	1,6	4,0	5,3	5,5	5,7	7,2	-	-	8,3	8,3	8,7	11,1	9,5	5,4	2,3
36	2,0	1,6	3,8	5,1	5,2	5,5	6,9	-	-	7,9	7,9	8,3	10,7	9,1	5,2	2,2
35	1,9	1,5	3,6	4,8	5,0	5,2	6,6	-	-	7,5	7,5	7,9	10,2	8,7	5,0	2,2
34	1,8	1,5	3,5	4,6	4,8	5,0	6,3	-	-	7,1	7,2	7,6	9,7	8,3	4,8	2,1
33	1,7	1,4	3,3	4,4	4,6	4,8	6,0	-	-	6,7	6,8	7,2	9,3	8,0	4,6	2,0
32	1,6	1,3	3,2	4,2	4,4	4,5	5,7	-	-	6,3	6,5	6,9	8,9	7,6	4,3	1,9
31	1,5	1,3	3,0	4,0	4,2	4,3	5,4	-	-	6,0	6,1	6,5	8,4	7,2	4,1	1,8
30	1,5	1,2	2,9	3,8	4,0	4,1	5,2	-	-	5,6	5,8	6,2	8,0	6,9	3,9	1,8
29	1,4	1,2	2,7	3,6	3,8	3,9	4,9	-	-	5,3	5,5	5,9	7,6	6,5	3,7	1,7
28	1,3	1,1	2,6	3,4	3,6	3,7	4,6	-	-	4,9	5,2	5,6	7,2	6,2	3,5	1,6
27	1,2	1,1	2,5	3,2	3,4	3,5	4,4	-	-	4,6	4,8	5,2	6,8	5,8	3,4	1,5
26	1,1	1,0	2,3	3,0	3,2	3,3	4,1	-	-	4,3	4,5	4,9	6,4	5,5	3,2	1,5
25	1,1	1,0	2,2	2,8	3,0	3,1	3,9	-	-	4,0	4,3	4,6	6,0	5,2	3,0	1,4
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,5	1,6	2,7	1,8	2,5	2,6	1,9	2,1	2,7	1,3	3,9	2,6	3,0	3,9	1,8	1,5
39	1,4	1,6	2,6	1,8	2,4	2,5	1,8	2,0	2,6	1,3	3,8	2,5	2,8	3,8	1,8	1,4
38	1,3	1,5	2,5	1,7	2,3	2,4	1,8	1,8	2,5	1,2	3,6	2,4	2,7	3,6	1,7	1,3
37	1,3	1,4	2,3	1,6	2,2	2,3	1,7	1,7	2,4	1,1	3,5	2,3	2,6	3,5	1,6	1,3
36	1,2	1,4	2,2	1,5	2,1	2,2	1,6	1,6	2,3	1,1	3,3	2,2	2,5	3,3	1,5	1,2
35	1,2	1,3	2,1	1,5	2,0	2,1	1,5	1,5	2,2	1,0	3,2	2,1	2,4	3,2	1,5	1,2
34	1,1	1,3	2,1	1,4	1,9	2,0	1,5	1,4	2,1	1,0	3,0	2,0	2,3	3,0	1,4	1,1
33	1,1	1,2	2,0	1,3	1,8	1,9	1,4	1,3	2,0	1,0	2,9	1,9	2,2	2,9	1,3	1,1
32	1,0	1,1	1,9	1,3	1,7	1,8	1,3	1,2	2,0	0,9	2,8	1,8	2,1	2,7	1,3	1,0
31	1,0	1,1	1,8	1,2	1,7	1,7	1,3	1,1	1,9	0,9	2,6	1,7	2,0	2,6	1,2	1,0
30	0,9	1,0	1,7	1,2	1,6	1,6	1,2	1,1	1,8	0,8	2,5	1,6	1,9	2,5	1,2	0,9
29	0,9	1,0	1,6	1,1	1,5	1,5	1,1	1,0	1,7	0,8	2,4	1,5	1,8	2,3	1,1	0,9
28	0,8	0,9	1,5	1,0	1,4	1,5	1,1	0,9	1,6	0,7	2,3	1,4	1,7	2,2	1,0	0,8
27	0,8	0,9	1,4	1,0	1,3	1,4	1,0	0,8	1,5	0,7	2,1	1,4	1,6	2,1	1,0	0,8
26	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,3	0,9	0,8	1,4	0,6	2,0	1,3	1,5	2,0	0,9	0,7
25	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,2	0,9	0,7	1,4	0,6	1,9	1,2	1,4	1,8	0,9	0,7

Tableau 120 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 500$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	1,1	1,0	2,2	2,8	3,0	3,1	3,9	-	-	4,0	4,3	4,6	6,0	5,2	3,0	1,4
24	1,0	0,9	2,1	2,7	2,8	2,9	3,6	-	-	3,7	4,0	4,3	5,7	4,9	2,8	1,3
23	0,9	0,9	1,9	2,5	2,6	2,7	3,4	-	-	3,4	3,7	4,1	5,3	4,5	2,6	1,2
22	0,9	0,8	1,8	2,3	2,5	2,5	3,1	-	-	3,2	3,4	3,8	4,9	4,2	2,5	1,2
21	0,8	0,8	1,7	2,2	2,3	2,4	2,9	-	-	2,9	3,2	3,5	4,6	3,9	2,3	1,1
20	0,7	0,7	1,6	2,0	2,1	2,2	2,7	-	-	2,7	2,9	3,3	4,3	3,7	2,1	1,0
19	0,7	0,7	1,5	1,8	2,0	2,0	2,5	-	-	2,4	2,7	3,0	3,9	3,4	2,0	1,0
18	0,6	0,6	1,3	1,7	1,8	1,9	2,3	-	-	2,2	2,4	2,8	3,6	3,1	1,8	0,9
17	0,6	0,6	1,2	1,5	1,7	1,7	2,1	-	-	2,0	2,2	2,5	3,3	2,8	1,7	0,8
16	0,5	0,6	1,1	1,4	1,5	1,5	1,9	-	-	1,8	2,0	2,3	3,0	2,6	1,5	0,8
15	0,4	0,5	1,0	1,3	1,4	1,4	1,7	-	-	1,6	1,8	2,1	2,7	2,3	1,4	0,7
14	0,4	0,5	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	-	-	1,4	1,6	1,8	2,4	2,1	1,2	0,6
13	0,4	0,4	0,8	1,0	1,1	1,1	1,4	-	-	1,2	1,4	1,6	2,2	1,9	1,1	0,6
12	0,3	0,4	0,7	0,9	1,0	1,0	1,2	-	-	1,0	1,2	1,4	1,9	1,7	1,0	0,5
11	0,3	0,3	0,6	0,8	0,8	0,9	1,0	-	-	0,9	1,0	1,3	1,7	1,4	0,9	0,5
10	0,2	0,3	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	-	-	0,7	0,9	1,1	1,4	1,2	0,7	0,4
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,2	0,9	0,7	1,4	0,6	1,9	1,2	1,4	1,8	0,9	0,7
24	0,6	0,7	1,2	0,8	1,1	1,1	0,8	0,6	1,3	0,6	1,8	1,1	1,3	1,7	0,8	0,6
23	0,6	0,7	1,1	0,8	1,0	1,1	0,8	0,6	1,2	0,5	1,7	1,0	1,2	1,6	0,8	0,6
22	0,6	0,6	1,0	0,7	1,0	1,0	0,7	0,5	1,1	0,5	1,5	1,0	1,2	1,5	0,7	0,6
21	0,5	0,6	1,0	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	1,1	0,5	1,4	0,9	1,1	1,4	0,7	0,5
20	0,5	0,5	0,9	0,6	0,8	0,9	0,6	0,4	1,0	0,4	1,3	0,8	1,0	1,3	0,6	0,5
19	0,4	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,2	0,8	0,9	1,2	0,6	0,4
18	0,4	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3	0,8	0,4	1,1	0,7	0,8	1,1	0,5	0,4
17	0,4	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,0	0,6	0,8	1,0	0,5	0,4
16	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	0,2	0,7	0,3	0,9	0,6	0,7	0,9	0,4	0,3
15	0,3	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6	0,3	0,8	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
14	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,7	0,3	0,3
13	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,7	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,4	0,6	0,3	0,2
11	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,5	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2
10	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2

Tableau 121 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 500$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	27,9	13,4	18,6	13,2	12,7	12,9	-	-	10,2	7,6	7,1	5,6	4,6	1,9	1,0
39	-	26,7	12,9	18,0	12,7	12,2	12,4	-	-	9,8	7,3	6,8	5,4	4,4	1,8	0,9
38	-	25,5	12,4	17,4	12,2	11,7	11,9	-	-	9,4	7,0	6,5	5,2	4,2	1,8	0,9
37	-	24,4	11,9	16,7	11,7	11,2	11,4	-	-	9,0	6,7	6,3	5,0	4,0	1,7	0,9
36	-	23,3	11,4	16,1	11,2	10,7	10,9	-	-	8,6	6,4	6,0	4,7	3,9	1,6	0,8
35	-	22,2	11,0	15,5	10,7	10,3	10,4	-	-	8,2	6,1	5,7	4,5	3,7	1,6	0,8
34	-	21,1	10,5	14,9	10,2	9,8	9,9	-	-	7,8	5,9	5,5	4,3	3,5	1,5	0,8
33	-	20,0	10,0	14,3	9,7	9,3	9,4	-	-	7,4	5,6	5,3	4,1	3,3	1,4	0,7
32	-	19,0	9,6	13,7	9,3	8,9	9,0	-	-	7,0	5,3	5,0	3,9	3,2	1,4	0,7
31	-	18,0	9,2	13,1	8,8	8,5	8,5	-	-	6,7	5,1	4,8	3,7	3,0	1,3	0,7
30	-	17,0	8,7	12,6	8,4	8,0	8,1	-	-	6,3	4,8	4,5	3,5	2,9	1,3	0,6
29	-	16,1	8,3	12,0	7,9	7,6	7,6	-	-	6,0	4,6	4,3	3,3	2,7	1,2	0,6
28	-	15,1	7,9	11,4	7,5	7,2	7,2	-	-	5,6	4,3	4,1	3,2	2,6	1,1	0,6
27	-	14,2	7,5	10,9	7,1	6,8	6,8	-	-	5,3	4,1	3,9	3,0	2,4	1,1	0,5
26	-	13,3	7,0	10,3	6,7	6,4	6,4	-	-	5,0	3,8	3,6	2,8	2,3	1,0	0,5
25	-	12,5	6,6	9,8	6,3	6,0	6,0	-	-	4,7	3,6	3,4	2,6	2,1	1,0	0,5
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	6,6	5,4	6,4	4,4	7,9	1,8	5,3	3,0	3,5	3,9	4,5	2,4	4,7	1,3	3,5	
39	6,3	5,2	6,1	4,2	7,6	1,7	5,1	2,9	3,4	3,7	4,3	2,3	4,5	1,2	3,3	
38	6,1	5,0	5,8	4,0	7,2	1,7	4,8	2,7	3,2	3,6	4,1	2,2	4,3	1,2	3,2	
37	5,8	4,8	5,6	3,9	6,9	1,6	4,6	2,6	3,1	3,4	3,9	2,1	4,1	1,1	3,1	
36	5,6	4,6	5,4	3,7	6,7	1,5	4,4	2,5	3,0	3,3	3,8	2,0	4,0	1,1	2,9	
35	5,3	4,4	5,1	3,5	6,4	1,5	4,3	2,4	2,8	3,2	3,6	1,9	3,8	1,0	2,8	
34	5,1	4,2	4,9	3,4	6,1	1,4	4,1	2,3	2,7	3,0	3,4	1,8	3,6	1,0	2,7	
33	4,8	4,0	4,6	3,2	5,8	1,3	3,9	2,2	2,6	2,9	3,3	1,7	3,4	1,0	2,5	
32	4,6	3,8	4,4	3,1	5,5	1,3	3,7	2,1	2,4	2,7	3,1	1,7	3,3	0,9	2,4	
31	4,4	3,6	4,2	2,9	5,2	1,2	3,5	2,0	2,3	2,6	3,0	1,6	3,1	0,9	2,3	
30	4,2	3,5	4,0	2,8	5,0	1,1	3,3	1,9	2,2	2,5	2,8	1,5	2,9	0,8	2,2	
29	3,9	3,3	3,7	2,6	4,7	1,1	3,1	1,8	2,1	2,3	2,7	1,4	2,8	0,8	2,1	
28	3,7	3,1	3,5	2,5	4,5	1,0	3,0	1,7	2,0	2,2	2,5	1,3	2,6	0,7	2,0	
27	3,5	3,0	3,3	2,4	4,2	0,9	2,8	1,6	1,9	2,1	2,4	1,3	2,5	0,7	1,8	
26	3,3	2,8	3,1	2,2	4,0	0,9	2,6	1,5	1,7	2,0	2,2	1,2	2,3	0,7	1,7	
25	3,1	2,6	2,9	2,1	3,7	0,8	2,5	1,4	1,6	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,6	

Tableau 122 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 400$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	12,5	6,6	9,8	6,3	6,0	6,0	-	-	4,7	3,6	3,4	2,6	2,1	1,0	0,5
24	-	11,6	6,3	9,2	5,9	5,6	5,6	-	-	4,3	3,4	3,2	2,5	2,0	0,9	0,4
23	-	10,8	5,9	8,7	5,5	5,3	5,2	-	-	4,0	3,2	3,0	2,3	1,9	0,9	0,4
22	-	10,0	5,5	8,2	5,1	4,9	4,8	-	-	3,8	2,9	2,8	2,1	1,7	0,8	0,4
21	-	9,2	5,1	7,7	4,8	4,6	4,5	-	-	3,5	2,7	2,6	2,0	1,6	0,7	0,4
20	-	8,5	4,8	7,2	4,4	4,2	4,1	-	-	3,2	2,5	2,4	1,8	1,5	0,7	0,3
19	-	7,8	4,4	6,7	4,1	3,9	3,8	-	-	2,9	2,3	2,2	1,7	1,4	0,6	0,3
18	-	7,1	4,1	6,2	3,7	3,6	3,5	-	-	2,7	2,1	2,1	1,6	1,3	0,6	0,3
17	-	6,4	3,7	5,8	3,4	3,3	3,2	-	-	2,4	1,9	1,9	1,4	1,2	0,6	0,3
16	-	5,8	3,4	5,3	3,1	3,0	2,9	-	-	2,2	1,8	1,7	1,3	1,0	0,5	0,2
15	-	5,2	3,1	4,9	2,8	2,7	2,6	-	-	2,0	1,6	1,6	1,2	0,9	0,5	0,2
14	-	4,6	2,8	4,4	2,5	2,4	2,3	-	-	1,8	1,4	1,4	1,0	0,8	0,4	0,2
13	-	4,1	2,5	4,0	2,2	2,1	2,0	-	-	1,6	1,3	1,2	0,9	0,8	0,4	0,2
12	-	3,5	2,2	3,6	2,0	1,9	1,8	-	-	1,4	1,1	1,1	0,8	0,7	0,3	0,2
11	-	3,1	2,0	3,2	1,7	1,6	1,6	-	-	1,2	1,0	1,0	0,7	0,6	0,3	0,1
10	-	2,6	1,7	2,8	1,5	1,4	1,3	-	-	1,0	0,8	0,8	0,6	0,5	0,3	0,1
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	3,1	2,6	2,9	2,1	3,7	0,8	2,5	1,4	1,6	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,6	
24	2,9	2,5	2,7	2,0	3,5	0,8	2,3	1,3	1,5	1,7	2,0	1,0	2,1	0,6	1,5	
23	2,7	2,3	2,6	1,8	3,3	0,7	2,2	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0	1,9	0,5	1,4	
22	2,5	2,2	2,4	1,7	3,0	0,7	2,0	1,1	1,3	1,5	1,7	0,9	1,8	0,5	1,3	
21	2,3	2,0	2,2	1,6	2,8	0,6	1,9	1,0	1,2	1,4	1,6	0,8	1,7	0,5	1,2	
20	2,2	1,9	2,0	1,5	2,6	0,6	1,7	1,0	1,1	1,3	1,5	0,8	1,5	0,4	1,1	
19	2,0	1,7	1,9	1,4	2,4	0,5	1,6	0,9	1,0	1,2	1,3	0,7	1,4	0,4	1,0	
18	1,8	1,6	1,7	1,2	2,2	0,5	1,5	0,8	1,0	1,1	1,2	0,7	1,3	0,4	1,0	
17	1,7	1,5	1,6	1,1	2,0	0,4	1,3	0,7	0,9	1,0	1,1	0,6	1,2	0,3	0,9	
16	1,5	1,3	1,4	1,0	1,8	0,4	1,2	0,7	0,8	0,9	1,0	0,5	1,1	0,3	0,8	
15	1,4	1,2	1,3	0,9	1,6	0,4	1,1	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	1,0	0,3	0,7	
14	1,2	1,1	1,1	0,8	1,5	0,3	1,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,9	0,2	0,6	
13	1,1	1,0	1,0	0,7	1,3	0,3	0,9	0,5	0,6	0,7	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6	
12	0,9	0,9	0,9	0,7	1,2	0,2	0,8	0,4	0,5	0,6	0,6	0,3	0,7	0,2	0,5	
11	0,8	0,8	0,8	0,6	1,0	0,2	0,7	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	0,4	
10	0,7	0,7	0,7	0,5	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,5	0,1	0,4	

Tableau 123 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{FzG} = 400$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	1,4	2,1	4,2	5,0	5,7	5,9	7,4	-	-	8,7	8,8	9,2	10,8	8,6	4,4	2,3
39	1,4	2,0	4,1	4,8	5,4	5,7	7,1	-	-	8,3	8,5	8,8	10,3	8,2	4,3	2,2
38	1,3	2,0	3,9	4,6	5,2	5,4	6,8	-	-	7,9	8,1	8,5	9,9	7,9	4,1	2,1
37	1,3	1,9	3,8	4,4	5,0	5,2	6,5	-	-	7,5	7,7	8,1	9,5	7,6	3,9	2,1
36	1,2	1,8	3,6	4,2	4,8	5,0	6,2	-	-	7,2	7,4	7,8	9,1	7,3	3,8	2,0
35	1,2	1,8	3,5	4,1	4,6	4,8	6,0	-	-	6,8	7,0	7,4	8,7	7,0	3,6	1,9
34	1,1	1,7	3,3	3,9	4,4	4,6	5,7	-	-	6,4	6,7	7,1	8,3	6,7	3,5	1,8
33	1,0	1,7	3,2	3,7	4,2	4,4	5,4	-	-	6,1	6,4	6,8	8,0	6,4	3,3	1,8
32	1,0	1,6	3,0	3,5	4,0	4,2	5,2	-	-	5,8	6,0	6,4	7,6	6,1	3,2	1,7
31	0,9	1,5	2,9	3,3	3,8	4,0	4,9	-	-	5,4	5,7	6,1	7,2	5,8	3,0	1,6
30	0,9	1,5	2,8	3,2	3,6	3,8	4,7	-	-	5,1	5,4	5,8	6,9	5,5	2,9	1,6
29	0,8	1,4	2,6	3,0	3,4	3,6	4,4	-	-	4,8	5,1	5,5	6,5	5,2	2,7	1,5
28	0,8	1,3	2,5	2,9	3,3	3,4	4,2	-	-	4,5	4,8	5,2	6,2	4,9	2,6	1,4
27	0,7	1,3	2,4	2,7	3,1	3,2	3,9	-	-	4,2	4,5	4,9	5,8	4,7	2,4	1,4
26	0,7	1,2	2,2	2,5	2,9	3,0	3,7	-	-	3,9	4,2	4,6	5,5	4,4	2,3	1,3
25	0,7	1,2	2,1	2,4	2,7	2,8	3,5	-	-	3,6	4,0	4,4	5,2	4,1	2,2	1,2
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,3	1,5	2,4	1,7	2,3	2,3	1,8	1,9	2,5	1,2	3,6	2,4	2,7	3,7	1,8	1,3
39	1,3	1,4	2,3	1,6	2,2	2,3	1,7	1,8	2,4	1,2	3,5	2,3	2,6	3,5	1,7	1,3
38	1,2	1,4	2,2	1,6	2,1	2,2	1,6	1,7	2,3	1,1	3,3	2,2	2,5	3,4	1,6	1,2
37	1,2	1,3	2,1	1,5	2,0	2,1	1,6	1,6	2,2	1,1	3,2	2,1	2,4	3,2	1,6	1,2
36	1,1	1,3	2,0	1,4	1,9	2,0	1,5	1,5	2,2	1,0	3,1	2,0	2,3	3,1	1,5	1,1
35	1,1	1,2	2,0	1,4	1,9	1,9	1,4	1,4	2,1	1,0	2,9	1,9	2,2	2,9	1,4	1,1
34	1,0	1,2	1,9	1,3	1,8	1,8	1,4	1,3	2,0	0,9	2,8	1,8	2,1	2,8	1,4	1,0
33	1,0	1,1	1,8	1,2	1,7	1,7	1,3	1,2	1,9	0,9	2,7	1,8	2,0	2,7	1,3	1,0
32	0,9	1,1	1,7	1,2	1,6	1,6	1,2	1,1	1,8	0,8	2,5	1,7	1,9	2,6	1,2	0,9
31	0,9	1,0	1,6	1,1	1,5	1,6	1,2	1,0	1,7	0,8	2,4	1,6	1,8	2,4	1,2	0,9
30	0,8	0,9	1,5	1,1	1,4	1,5	1,1	1,0	1,6	0,8	2,3	1,5	1,7	2,3	1,1	0,8
29	0,8	0,9	1,5	1,0	1,4	1,4	1,0	0,9	1,6	0,7	2,2	1,4	1,6	2,2	1,1	0,8
28	0,7	0,8	1,4	1,0	1,3	1,3	1,0	0,8	1,5	0,7	2,1	1,3	1,6	2,1	1,0	0,7
27	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,3	0,9	0,8	1,4	0,6	1,9	1,3	1,5	1,9	0,9	0,7
26	0,7	0,8	1,2	0,9	1,1	1,2	0,9	0,7	1,3	0,6	1,8	1,2	1,4	1,8	0,9	0,7
25	0,6	0,7	1,1	0,8	1,1	1,1	0,8	0,6	1,3	0,6	1,7	1,1	1,3	1,7	0,8	0,6

Tableau 124 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 400$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	0,7	1,2	2,1	2,4	2,7	2,8	3,5	-	-	3,6	4,0	4,4	5,2	4,1	2,2	1,2
24	0,6	1,1	2,0	2,2	2,6	2,6	3,3	-	-	3,4	3,7	4,1	4,8	3,9	2,0	1,2
23	0,6	1,0	1,9	2,1	2,4	2,5	3,1	-	-	3,1	3,4	3,8	4,5	3,6	1,9	1,1
22	0,5	1,0	1,7	1,9	2,3	2,3	2,8	-	-	2,9	3,2	3,6	4,2	3,4	1,8	1,0
21	0,5	0,9	1,6	1,8	2,1	2,2	2,6	-	-	2,6	2,9	3,3	3,9	3,2	1,7	1,0
20	0,4	0,9	1,5	1,7	1,9	2,0	2,4	-	-	2,4	2,7	3,1	3,6	2,9	1,5	0,9
19	0,4	0,8	1,4	1,5	1,8	1,8	2,3	-	-	2,2	2,5	2,8	3,4	2,7	1,4	0,8
18	0,4	0,8	1,3	1,4	1,7	1,7	2,1	-	-	2,0	2,3	2,6	3,1	2,5	1,3	0,8
17	0,3	0,7	1,2	1,3	1,5	1,5	1,9	-	-	1,8	2,1	2,4	2,8	2,3	1,2	0,7
16	0,3	0,7	1,1	1,2	1,4	1,4	1,7	-	-	1,6	1,9	2,1	2,6	2,1	1,1	0,7
15	0,3	0,6	1,0	1,1	1,2	1,3	1,6	-	-	1,4	1,7	1,9	2,3	1,9	1,0	0,6
14	0,2	0,5	0,9	1,0	1,1	1,1	1,4	-	-	1,2	1,5	1,7	2,1	1,7	0,9	0,6
13	0,2	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	-	-	1,1	1,3	1,5	1,9	1,5	0,8	0,5
12	0,2	0,5	0,7	0,7	0,9	0,9	1,1	-	-	0,9	1,1	1,4	1,6	1,3	0,7	0,5
11	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	-	-	0,8	1,0	1,2	1,4	1,2	0,6	0,4
10	0,1	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	-	-	0,7	0,8	1,0	1,2	1,0	0,5	0,4
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,6	0,7	1,1	0,8	1,1	1,1	0,8	0,6	1,3	0,6	1,7	1,1	1,3	1,7	0,8	0,6
24	0,6	0,7	1,1	0,8	1,0	1,0	0,8	0,6	1,2	0,5	1,6	1,0	1,2	1,6	0,8	0,6
23	0,5	0,6	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,5	1,1	0,5	1,5	1,0	1,1	1,5	0,7	0,5
22	0,5	0,6	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	1,0	0,5	1,4	0,9	1,1	1,4	0,7	0,5
21	0,5	0,5	0,9	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	1,0	0,4	1,3	0,8	1,0	1,3	0,6	0,5
20	0,4	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,2	0,8	0,9	1,2	0,6	0,4
19	0,4	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3	0,8	0,4	1,1	0,7	0,8	1,1	0,5	0,4
18	0,4	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,0	0,7	0,8	1,0	0,5	0,4
17	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3	0,7	0,3	0,9	0,6	0,7	0,9	0,4	0,3
16	0,3	0,3	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,2	0,7	0,3	0,9	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
15	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
14	0,2	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,5	0,2	0,7	0,4	0,5	0,7	0,3	0,2
13	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2
11	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,5	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2
10	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,1

Tableau 125 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 400$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	15,1	9,6	15,7	12,1	11,7	11,7	-	-	9,2	6,9	6,5	5,0	4,1	1,8	0,6
39	-	14,5	9,2	15,2	11,6	11,2	11,2	-	-	8,8	6,6	6,2	4,8	3,9	1,8	0,6
38	-	13,8	8,9	14,7	11,2	10,7	10,7	-	-	8,4	6,4	6,0	4,6	3,8	1,7	0,6
37	-	13,2	8,5	14,1	10,7	10,3	10,3	-	-	8,0	6,1	5,7	4,4	3,6	1,6	0,6
36	-	12,6	8,2	13,6	10,2	9,9	9,8	-	-	7,7	5,8	5,5	4,2	3,5	1,6	0,5
35	-	12,0	7,8	13,1	9,8	9,4	9,4	-	-	7,3	5,6	5,3	4,0	3,3	1,5	0,5
34	-	11,4	7,5	12,6	9,4	9,0	8,9	-	-	7,0	5,3	5,0	3,8	3,2	1,5	0,5
33	-	10,9	7,2	12,1	8,9	8,6	8,5	-	-	6,6	5,1	4,8	3,7	3,0	1,4	0,5
32	-	10,3	6,8	11,6	8,5	8,2	8,1	-	-	6,3	4,8	4,6	3,5	2,9	1,3	0,5
31	-	9,8	6,5	11,1	8,1	7,8	7,7	-	-	6,0	4,6	4,4	3,3	2,7	1,3	0,4
30	-	9,2	6,2	10,6	7,7	7,4	7,3	-	-	5,7	4,4	4,1	3,1	2,6	1,2	0,4
29	-	8,7	5,9	10,1	7,3	7,0	6,9	-	-	5,4	4,1	3,9	3,0	2,4	1,2	0,4
28	-	8,2	5,6	9,7	6,9	6,6	6,5	-	-	5,1	3,9	3,7	2,8	2,3	1,1	0,4
27	-	7,7	5,3	9,2	6,5	6,2	6,1	-	-	4,8	3,7	3,5	2,7	2,2	1,0	0,3
26	-	7,2	5,0	8,7	6,1	5,9	5,8	-	-	4,5	3,5	3,3	2,5	2,1	1,0	0,3
25	-	6,7	4,7	8,3	5,8	5,5	5,4	-	-	4,2	3,3	3,1	2,3	1,9	0,9	0,3
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	5,7	4,9	5,8	3,9	7,2	1,6	4,8	2,7	3,2	3,5	4,0	2,1	4,2	1,2	3,1	
39	5,5	4,8	5,5	3,8	6,9	1,5	4,6	2,6	3,1	3,4	3,9	2,0	4,1	1,1	3,0	
38	5,3	4,6	5,3	3,6	6,7	1,5	4,4	2,5	2,9	3,3	3,7	2,0	3,9	1,1	2,9	
37	5,0	4,4	5,1	3,5	6,4	1,4	4,2	2,4	2,8	3,1	3,6	1,9	3,7	1,0	2,8	
36	4,8	4,2	4,9	3,3	6,1	1,3	4,1	2,3	2,7	3,0	3,4	1,8	3,6	1,0	2,6	
35	4,6	4,0	4,6	3,2	5,8	1,3	3,9	2,2	2,6	2,9	3,3	1,7	3,4	0,9	2,5	
34	4,4	3,9	4,4	3,0	5,6	1,2	3,7	2,1	2,4	2,7	3,1	1,6	3,3	0,9	2,4	
33	4,2	3,7	4,2	2,9	5,3	1,2	3,5	2,0	2,3	2,6	3,0	1,6	3,1	0,9	2,3	
32	4,0	3,5	4,0	2,7	5,1	1,1	3,4	1,9	2,2	2,5	2,8	1,5	3,0	0,8	2,2	
31	3,8	3,4	3,8	2,6	4,8	1,0	3,2	1,8	2,1	2,4	2,7	1,4	2,8	0,8	2,1	
30	3,6	3,2	3,6	2,5	4,6	1,0	3,0	1,7	2,0	2,2	2,5	1,3	2,7	0,7	2,0	
29	3,4	3,1	3,4	2,4	4,3	0,9	2,9	1,6	1,9	2,1	2,4	1,3	2,5	0,7	1,9	
28	3,2	2,9	3,2	2,2	4,1	0,9	2,7	1,5	1,8	2,0	2,3	1,2	2,4	0,7	1,8	
27	3,0	2,7	3,0	2,1	3,9	0,8	2,6	1,4	1,7	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,7	
26	2,9	2,6	2,8	2,0	3,6	0,8	2,4	1,3	1,6	1,8	2,0	1,1	2,1	0,6	1,6	
25	2,7	2,4	2,7	1,9	3,4	0,7	2,3	1,2	1,5	1,7	1,9	1,0	2,0	0,6	1,5	

Tableau 126 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 300$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,EMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	6,7	4,7	8,3	5,8	5,5	5,4	-	-	4,2	3,3	3,1	2,3	1,9	0,9	0,3
24	-	6,3	4,5	7,8	5,4	5,2	5,0	-	-	3,9	3,1	2,9	2,2	1,8	0,9	0,3
23	-	5,8	4,2	7,4	5,0	4,8	4,7	-	-	3,6	2,9	2,8	2,1	1,7	0,8	0,3
22	-	5,4	3,9	6,9	4,7	4,5	4,4	-	-	3,4	2,7	2,6	1,9	1,6	0,8	0,3
21	-	5,0	3,6	6,5	4,4	4,2	4,1	-	-	3,1	2,5	2,4	1,8	1,5	0,7	0,2
20	-	4,6	3,4	6,1	4,0	3,9	3,7	-	-	2,9	2,3	2,2	1,6	1,3	0,7	0,2
19	-	4,2	3,1	5,7	3,7	3,6	3,4	-	-	2,6	2,1	2,0	1,5	1,2	0,6	0,2
18	-	3,8	2,9	5,3	3,4	3,3	3,1	-	-	2,4	1,9	1,9	1,4	1,1	0,6	0,2
17	-	3,5	2,7	4,9	3,1	3,0	2,9	-	-	2,2	1,8	1,7	1,3	1,0	0,5	0,2
16	-	3,1	2,4	4,5	2,8	2,7	2,6	-	-	2,0	1,6	1,6	1,1	0,9	0,5	0,2
15	-	2,8	2,2	4,1	2,6	2,4	2,3	-	-	1,8	1,5	1,4	1,0	0,9	0,4	0,1
14	-	2,5	2,0	3,7	2,3	2,2	2,1	-	-	1,6	1,3	1,3	0,9	0,8	0,4	0,1
13	-	2,2	1,8	3,4	2,0	1,9	1,8	-	-	1,4	1,2	1,1	0,8	0,7	0,4	0,1
12	-	1,9	1,6	3,0	1,8	1,7	1,6	-	-	1,2	1,0	1,0	0,7	0,6	0,3	0,1
11	-	1,6	1,4	2,7	1,6	1,5	1,4	-	-	1,1	0,9	0,9	0,6	0,5	0,3	0,1
10	-	1,4	1,2	2,4	1,3	1,3	1,2	-	-	0,9	0,8	0,8	0,5	0,4	0,2	0,1
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	2,7	2,4	2,7	1,9	3,4	0,7	2,3	1,2	1,5	1,7	1,9	1,0	2,0	0,6	1,5	
24	2,5	2,3	2,5	1,7	3,2	0,7	2,1	1,2	1,4	1,6	1,8	0,9	1,9	0,5	1,4	
23	2,3	2,2	2,3	1,6	3,0	0,6	2,0	1,1	1,3	1,5	1,7	0,9	1,7	0,5	1,3	
22	2,2	2,0	2,2	1,5	2,8	0,6	1,8	1,0	1,2	1,4	1,5	0,8	1,6	0,5	1,2	
21	2,0	1,9	2,0	1,4	2,6	0,5	1,7	0,9	1,1	1,3	1,4	0,8	1,5	0,4	1,1	
20	1,9	1,7	1,8	1,3	2,4	0,5	1,6	0,9	1,0	1,2	1,3	0,7	1,4	0,4	1,0	
19	1,7	1,6	1,7	1,2	2,2	0,5	1,5	0,8	0,9	1,1	1,2	0,6	1,3	0,4	0,9	
18	1,6	1,5	1,6	1,1	2,0	0,4	1,3	0,7	0,9	1,0	1,1	0,6	1,2	0,3	0,9	
17	1,4	1,4	1,4	1,0	1,8	0,4	1,2	0,7	0,8	0,9	1,0	0,5	1,1	0,3	0,8	
16	1,3	1,2	1,3	0,9	1,7	0,4	1,1	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	1,0	0,3	0,7	
15	1,2	1,1	1,1	0,8	1,5	0,3	1,0	0,5	0,6	0,8	0,8	0,4	0,9	0,2	0,6	
14	1,1	1,0	1,0	0,7	1,4	0,3	0,9	0,5	0,6	0,7	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6	
13	0,9	0,9	0,9	0,7	1,2	0,2	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,4	0,7	0,2	0,5	
12	0,8	0,8	0,8	0,6	1,1	0,2	0,7	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	0,4	
11	0,7	0,7	0,7	0,5	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5	0,2	0,4	
10	0,6	0,6	0,6	0,4	0,8	0,2	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,5	0,1	0,3	

Tableau 127 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 300$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	1,8	1,7	3,3	4,9	5,0	5,2	6,6	-	-	7,8	8,0	8,3	10,2	8,7	4,6	2,6
39	1,8	1,6	3,2	4,7	4,8	5,0	6,3	-	-	7,4	7,6	8,0	9,8	8,3	4,4	2,6
38	1,7	1,6	3,0	4,5	4,6	4,8	6,1	-	-	7,1	7,3	7,7	9,4	8,0	4,2	2,5
37	1,6	1,5	2,9	4,3	4,4	4,6	5,8	-	-	6,7	7,0	7,4	9,1	7,7	4,0	2,4
36	1,5	1,5	2,8	4,1	4,2	4,4	5,6	-	-	6,4	6,7	7,0	8,7	7,4	3,9	2,3
35	1,5	1,4	2,7	4,0	4,1	4,2	5,3	-	-	6,1	6,3	6,7	8,3	7,0	3,7	2,2
34	1,4	1,4	2,6	3,8	3,9	4,0	5,1	-	-	5,8	6,0	6,4	7,9	6,7	3,6	2,1
33	1,3	1,3	2,5	3,6	3,7	3,9	4,9	-	-	5,4	5,7	6,1	7,6	6,4	3,4	2,0
32	1,3	1,3	2,4	3,4	3,5	3,7	4,6	-	-	5,1	5,4	5,8	7,2	6,1	3,2	2,0
31	1,2	1,2	2,2	3,3	3,4	3,5	4,4	-	-	4,8	5,2	5,6	6,9	5,8	3,1	1,9
30	1,1	1,2	2,1	3,1	3,2	3,3	4,2	-	-	4,6	4,9	5,3	6,5	5,5	2,9	1,8
29	1,1	1,1	2,0	2,9	3,0	3,2	4,0	-	-	4,3	4,6	5,0	6,2	5,3	2,8	1,7
28	1,0	1,1	1,9	2,8	2,9	3,0	3,7	-	-	4,0	4,3	4,7	5,9	5,0	2,7	1,6
27	0,9	1,0	1,8	2,6	2,7	2,8	3,5	-	-	3,8	4,1	4,5	5,5	4,7	2,5	1,6
26	0,9	1,0	1,7	2,5	2,6	2,7	3,3	-	-	3,5	3,8	4,2	5,2	4,4	2,4	1,5
25	0,8	0,9	1,6	2,3	2,4	2,5	3,1	-	-	3,3	3,6	3,9	4,9	4,2	2,2	1,4
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,2	1,4	2,2	1,5	2,1	2,1	1,6	1,7	2,3	1,1	3,3	2,2	2,5	3,3	1,6	1,2
39	1,2	1,3	2,1	1,4	2,0	2,0	1,5	1,6	2,2	1,0	3,2	2,1	2,4	3,1	1,5	1,2
38	1,1	1,3	2,0	1,4	1,9	2,0	1,5	1,5	2,1	1,0	3,1	2,0	2,3	3,0	1,5	1,1
37	1,1	1,2	1,9	1,3	1,8	1,9	1,4	1,4	2,0	0,9	2,9	1,9	2,2	2,9	1,4	1,1
36	1,0	1,2	1,8	1,3	1,7	1,8	1,3	1,3	2,0	0,9	2,8	1,8	2,1	2,8	1,4	1,0
35	1,0	1,1	1,8	1,2	1,7	1,7	1,3	1,3	1,9	0,9	2,7	1,7	2,0	2,6	1,3	1,0
34	0,9	1,1	1,7	1,2	1,6	1,6	1,2	1,2	1,8	0,8	2,6	1,7	1,9	2,5	1,2	0,9
33	0,9	1,0	1,6	1,1	1,5	1,6	1,2	1,1	1,7	0,8	2,4	1,6	1,8	2,4	1,2	0,9
32	0,8	1,0	1,5	1,1	1,4	1,5	1,1	1,0	1,6	0,7	2,3	1,5	1,7	2,3	1,1	0,8
31	0,8	0,9	1,5	1,0	1,4	1,4	1,1	0,9	1,6	0,7	2,2	1,4	1,7	2,2	1,1	0,8
30	0,8	0,9	1,4	1,0	1,3	1,3	1,0	0,9	1,5	0,7	2,1	1,4	1,6	2,1	1,0	0,8
29	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,3	0,9	0,8	1,4	0,6	2,0	1,3	1,5	1,9	1,0	0,7
28	0,7	0,8	1,2	0,9	1,2	1,2	0,9	0,7	1,4	0,6	1,9	1,2	1,4	1,8	0,9	0,7
27	0,6	0,7	1,2	0,8	1,1	1,1	0,8	0,7	1,3	0,6	1,8	1,1	1,3	1,7	0,9	0,6
26	0,6	0,7	1,1	0,8	1,0	1,1	0,8	0,6	1,2	0,5	1,7	1,1	1,3	1,6	0,8	0,6
25	0,6	0,6	1,0	0,7	1,0	1,0	0,7	0,6	1,1	0,5	1,6	1,0	1,2	1,5	0,8	0,6

Tableau 128 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 300$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	0,8	0,9	1,6	2,3	2,4	2,5	3,1	-	-	3,3	3,6	3,9	4,9	4,2	2,2	1,4
24	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,3	2,9	-	-	3,0	3,3	3,7	4,6	3,9	2,1	1,3
23	0,7	0,8	1,4	2,0	2,1	2,2	2,7	-	-	2,8	3,1	3,5	4,3	3,7	2,0	1,3
22	0,7	0,8	1,3	1,9	2,0	2,0	2,6	-	-	2,6	2,9	3,2	4,0	3,4	1,8	1,2
21	0,6	0,7	1,3	1,8	1,8	1,9	2,4	-	-	2,4	2,7	3,0	3,7	3,2	1,7	1,1
20	0,6	0,7	1,2	1,6	1,7	1,8	2,2	-	-	2,2	2,4	2,8	3,5	3,0	1,6	1,0
19	0,5	0,7	1,1	1,5	1,6	1,6	2,0	-	-	2,0	2,2	2,5	3,2	2,7	1,5	1,0
18	0,5	0,6	1,0	1,4	1,5	1,5	1,9	-	-	1,8	2,0	2,3	2,9	2,5	1,4	0,9
17	0,4	0,6	0,9	1,3	1,3	1,4	1,7	-	-	1,6	1,9	2,1	2,7	2,3	1,2	0,8
16	0,4	0,5	0,8	1,2	1,2	1,2	1,5	-	-	1,4	1,7	1,9	2,4	2,1	1,1	0,8
15	0,3	0,5	0,8	1,0	1,1	1,1	1,4	-	-	1,3	1,5	1,8	2,2	1,9	1,0	0,7
14	0,3	0,4	0,7	0,9	1,0	1,0	1,2	-	-	1,1	1,3	1,6	2,0	1,7	0,9	0,7
13	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	1,1	-	-	1,0	1,2	1,4	1,8	1,5	0,8	0,6
12	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	1,0	-	-	0,8	1,0	1,2	1,6	1,3	0,7	0,5
11	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	-	-	0,7	0,9	1,1	1,4	1,2	0,6	0,5
10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	-	-	0,6	0,8	0,9	1,2	1,0	0,6	0,4
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,6	0,6	1,0	0,7	1,0	1,0	0,7	0,6	1,1	0,5	1,6	1,0	1,2	1,5	0,8	0,6
24	0,5	0,6	1,0	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	1,1	0,5	1,5	0,9	1,1	1,4	0,7	0,5
23	0,5	0,6	0,9	0,6	0,8	0,9	0,6	0,5	1,0	0,4	1,4	0,9	1,0	1,3	0,7	0,5
22	0,5	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,3	0,8	1,0	1,2	0,6	0,5
21	0,4	0,5	0,8	0,5	0,7	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,2	0,8	0,9	1,2	0,6	0,4
20	0,4	0,4	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,1	0,7	0,8	1,1	0,5	0,4
19	0,4	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,0	0,6	0,8	1,0	0,5	0,4
18	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3	0,7	0,3	0,9	0,6	0,7	0,9	0,4	0,3
17	0,3	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6	0,3	0,9	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
16	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,7	0,4	0,3
15	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,5	0,2	0,7	0,4	0,5	0,7	0,3	0,3
14	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
13	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,1	0,4	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,5	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2
11	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2
10	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,1

Tableau 129 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 300$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMti}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	11,7	8,3	12,2	10,3	10,0	9,9	-	-	11,0	8,1	7,5	6,1	4,9	1,8	1,3
39	-	11,3	8,0	11,8	9,9	9,6	9,5	-	-	10,5	7,8	7,2	5,9	4,7	1,8	1,2
38	-	10,8	7,7	11,4	9,5	9,2	9,1	-	-	10,1	7,5	6,9	5,7	4,5	1,7	1,2
37	-	10,4	7,4	11,0	9,1	8,9	8,7	-	-	9,7	7,2	6,7	5,4	4,3	1,6	1,1
36	-	10,0	7,1	10,6	8,7	8,5	8,3	-	-	9,2	6,9	6,4	5,2	4,2	1,6	1,1
35	-	9,6	6,8	10,2	8,4	8,1	7,9	-	-	8,8	6,6	6,1	5,0	4,0	1,5	1,0
34	-	9,1	6,5	9,8	8,0	7,7	7,6	-	-	8,4	6,3	5,8	4,7	3,8	1,5	1,0
33	-	8,7	6,2	9,4	7,6	7,4	7,2	-	-	8,0	6,0	5,6	4,5	3,6	1,4	0,9
32	-	8,3	5,9	9,0	7,3	7,0	6,8	-	-	7,6	5,7	5,3	4,3	3,4	1,3	0,9
31	-	7,9	5,6	8,6	6,9	6,7	6,5	-	-	7,2	5,4	5,1	4,1	3,3	1,3	0,9
30	-	7,5	5,4	8,2	6,6	6,3	6,2	-	-	6,8	5,1	4,8	3,9	3,1	1,2	0,8
29	-	7,2	5,1	7,9	6,2	6,0	5,8	-	-	6,4	4,9	4,6	3,7	2,9	1,2	0,8
28	-	6,8	4,8	7,5	5,9	5,7	5,5	-	-	6,1	4,6	4,3	3,5	2,8	1,1	0,7
27	-	6,4	4,6	7,1	5,5	5,4	5,2	-	-	5,7	4,3	4,1	3,3	2,6	1,0	0,7
26	-	6,1	4,3	6,8	5,2	5,1	4,9	-	-	5,4	4,1	3,9	3,1	2,5	1,0	0,7
25	-	5,7	4,1	6,4	4,9	4,7	4,6	-	-	5,0	3,8	3,6	2,9	2,3	0,9	0,6
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	5,0	4,3	5,0	3,5	6,1	1,4	4,1	2,3	2,7	3,1	3,5	1,8	3,7	1,0	2,7	
39	4,8	4,1	4,8	3,3	5,9	1,4	3,9	2,2	2,6	3,0	3,4	1,8	3,5	1,0	2,6	
38	4,6	3,9	4,6	3,2	5,6	1,3	3,8	2,2	2,5	2,8	3,2	1,7	3,4	0,9	2,5	
37	4,4	3,8	4,4	3,1	5,4	1,3	3,6	2,1	2,4	2,7	3,1	1,6	3,2	0,9	2,4	
36	4,2	3,6	4,2	2,9	5,2	1,2	3,5	2,0	2,3	2,6	2,9	1,5	3,1	0,8	2,3	
35	4,0	3,5	4,0	2,8	4,9	1,2	3,3	1,9	2,2	2,5	2,8	1,5	3,0	0,8	2,2	
34	3,8	3,3	3,8	2,7	4,7	1,1	3,2	1,8	2,1	2,4	2,7	1,4	2,8	0,8	2,1	
33	3,6	3,2	3,6	2,6	4,5	1,0	3,0	1,7	2,0	2,3	2,6	1,3	2,7	0,7	2,0	
32	3,5	3,0	3,5	2,4	4,3	1,0	2,9	1,6	1,9	2,2	2,4	1,3	2,6	0,7	1,9	
31	3,3	2,9	3,3	2,3	4,1	0,9	2,7	1,5	1,8	2,1	2,3	1,2	2,4	0,7	1,8	
30	3,1	2,8	3,1	2,2	3,9	0,9	2,6	1,5	1,7	2,0	2,2	1,2	2,3	0,6	1,7	
29	3,0	2,6	2,9	2,1	3,7	0,8	2,5	1,4	1,6	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,6	
28	2,8	2,5	2,8	2,0	3,5	0,8	2,3	1,3	1,5	1,8	2,0	1,0	2,1	0,6	1,5	
27	2,6	2,4	2,6	1,9	3,3	0,8	2,2	1,2	1,4	1,7	1,8	1,0	1,9	0,5	1,4	
26	2,5	2,2	2,5	1,8	3,1	0,7	2,1	1,2	1,3	1,6	1,7	0,9	1,8	0,5	1,3	
25	2,3	2,1	2,3	1,7	2,9	0,7	1,9	1,1	1,3	1,5	1,6	0,9	1,7	0,5	1,3	

Tableau 130 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 200$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	5,7	4,1	6,4	4,9	4,7	4,6	-	-	5,0	3,8	3,6	2,9	2,3	0,9	0,6
24	-	5,4	3,8	6,1	4,6	4,4	4,3	-	-	4,7	3,6	3,4	2,7	2,2	0,9	0,6
23	-	5,0	3,6	5,7	4,3	4,2	4,0	-	-	4,4	3,4	3,2	2,5	2,0	0,8	0,5
22	-	4,7	3,3	5,4	4,0	3,9	3,7	-	-	4,1	3,1	3,0	2,3	1,9	0,8	0,5
21	-	4,4	3,1	5,0	3,7	3,6	3,4	-	-	3,8	2,9	2,8	2,2	1,8	0,7	0,5
20	-	4,1	2,9	4,7	3,5	3,3	3,2	-	-	3,5	2,7	2,6	2,0	1,6	0,7	0,4
19	-	3,7	2,7	4,4	3,2	3,1	2,9	-	-	3,2	2,5	2,4	1,9	1,5	0,6	0,4
18	-	3,4	2,5	4,1	2,9	2,8	2,7	-	-	2,9	2,3	2,2	1,7	1,4	0,6	0,4
17	-	3,2	2,2	3,8	2,7	2,6	2,4	-	-	2,6	2,1	2,0	1,5	1,2	0,5	0,3
16	-	2,9	2,1	3,5	2,4	2,3	2,2	-	-	2,4	1,9	1,8	1,4	1,1	0,5	0,3
15	-	2,6	1,9	3,2	2,2	2,1	2,0	-	-	2,1	1,7	1,7	1,3	1,0	0,4	0,3
14	-	2,3	1,7	2,9	2,0	1,9	1,8	-	-	1,9	1,5	1,5	1,1	0,9	0,4	0,3
13	-	2,1	1,5	2,6	1,7	1,7	1,6	-	-	1,7	1,4	1,3	1,0	0,8	0,4	0,2
12	-	1,9	1,3	2,3	1,5	1,5	1,4	-	-	1,5	1,2	1,2	0,9	0,7	0,3	0,2
11	-	1,6	1,2	2,1	1,3	1,3	1,2	-	-	1,3	1,0	1,0	0,8	0,6	0,3	0,2
10	-	1,4	1,0	1,8	1,2	1,1	1,0	-	-	1,1	0,9	0,9	0,7	0,5	0,2	0,2
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	2,3	2,1	2,3	1,7	2,9	0,7	1,9	1,1	1,3	1,5	1,6	0,9	1,7	0,5	1,3	
24	2,2	2,0	2,2	1,5	2,7	0,6	1,8	1,0	1,2	1,4	1,5	0,8	1,6	0,4	1,2	
23	2,0	1,9	2,0	1,4	2,5	0,6	1,7	0,9	1,1	1,3	1,4	0,8	1,5	0,4	1,1	
22	1,9	1,7	1,9	1,3	2,4	0,5	1,6	0,9	1,0	1,2	1,3	0,7	1,4	0,4	1,0	
21	1,8	1,6	1,7	1,3	2,2	0,5	1,5	0,8	0,9	1,1	1,2	0,7	1,3	0,4	1,0	
20	1,6	1,5	1,6	1,2	2,0	0,5	1,4	0,7	0,9	1,0	1,1	0,6	1,2	0,3	0,9	
19	1,5	1,4	1,5	1,1	1,9	0,4	1,2	0,7	0,8	0,9	1,0	0,6	1,1	0,3	0,8	
18	1,4	1,3	1,3	1,0	1,7	0,4	1,1	0,6	0,7	0,9	1,0	0,5	1,0	0,3	0,7	
17	1,3	1,2	1,2	0,9	1,6	0,4	1,0	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,9	0,3	0,7	
16	1,1	1,1	1,1	0,8	1,4	0,3	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,8	0,2	0,6	
15	1,0	1,0	1,0	0,7	1,3	0,3	0,9	0,5	0,5	0,7	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6	
14	0,9	0,9	0,9	0,7	1,1	0,3	0,8	0,4	0,5	0,6	0,6	0,3	0,7	0,2	0,5	
13	0,8	0,8	0,8	0,6	1,0	0,2	0,7	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	0,4	
12	0,7	0,7	0,7	0,5	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5	0,1	0,4	
11	0,6	0,6	0,6	0,5	0,8	0,2	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,5	0,1	0,3	
10	0,5	0,5	0,5	0,4	0,7	0,1	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,1	0,3	

Tableau 131 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 200$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMti}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	1,1	1,6	3,2	3,8	4,3	4,5	5,6	-	-	6,6	6,9	7,2	8,9	7,8	4,8	2,5
39	1,0	1,5	3,1	3,7	4,2	4,3	5,4	-	-	6,3	6,6	6,9	8,6	7,5	4,6	2,5
38	1,0	1,5	3,0	3,5	4,0	4,2	5,1	-	-	6,0	6,3	6,7	8,2	7,2	4,4	2,4
37	0,9	1,4	2,9	3,4	3,8	4,0	4,9	-	-	5,7	6,0	6,4	7,9	6,9	4,2	2,3
36	0,9	1,4	2,8	3,2	3,7	3,8	4,7	-	-	5,4	5,7	6,1	7,6	6,6	4,1	2,2
35	0,9	1,3	2,6	3,1	3,5	3,7	4,5	-	-	5,1	5,5	5,8	7,3	6,4	3,9	2,1
34	0,8	1,3	2,5	3,0	3,4	3,5	4,3	-	-	4,9	5,2	5,6	6,9	6,1	3,7	2,0
33	0,8	1,2	2,4	2,8	3,2	3,3	4,1	-	-	4,6	5,0	5,3	6,6	5,8	3,6	2,0
32	0,7	1,2	2,3	2,7	3,1	3,2	3,9	-	-	4,4	4,7	5,1	6,3	5,5	3,4	1,9
31	0,7	1,1	2,2	2,6	2,9	3,0	3,7	-	-	4,1	4,5	4,8	6,0	5,3	3,2	1,8
30	0,7	1,1	2,1	2,4	2,8	2,9	3,5	-	-	3,9	4,2	4,6	5,7	5,0	3,1	1,7
29	0,6	1,0	2,0	2,3	2,6	2,7	3,3	-	-	3,6	4,0	4,3	5,4	4,7	2,9	1,7
28	0,6	1,0	1,9	2,2	2,5	2,6	3,2	-	-	3,4	3,7	4,1	5,1	4,5	2,8	1,6
27	0,6	1,0	1,8	2,1	2,4	2,4	3,0	-	-	3,2	3,5	3,9	4,8	4,2	2,6	1,5
26	0,5	0,9	1,7	1,9	2,2	2,3	2,8	-	-	3,0	3,3	3,6	4,6	4,0	2,5	1,4
25	0,5	0,9	1,6	1,8	2,1	2,2	2,6	-	-	2,8	3,1	3,4	4,3	3,8	2,3	1,4
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,0	1,2	1,9	1,3	1,8	1,8	1,4	1,5	2,0	0,9	2,9	1,8	2,2	2,8	1,4	1,0
39	1,0	1,1	1,8	1,3	1,7	1,8	1,3	1,4	1,9	0,9	2,8	1,8	2,1	2,7	1,3	1,0
38	0,9	1,1	1,7	1,2	1,6	1,7	1,3	1,3	1,8	0,8	2,7	1,7	2,0	2,6	1,3	0,9
37	0,9	1,0	1,7	1,2	1,6	1,6	1,2	1,2	1,8	0,8	2,6	1,6	1,9	2,5	1,2	0,9
36	0,9	1,0	1,6	1,1	1,5	1,5	1,2	1,2	1,7	0,8	2,4	1,5	1,9	2,3	1,2	0,9
35	0,8	1,0	1,5	1,1	1,4	1,5	1,1	1,1	1,6	0,7	2,3	1,5	1,8	2,2	1,1	0,8
34	0,8	0,9	1,5	1,0	1,4	1,4	1,1	1,0	1,6	0,7	2,2	1,4	1,7	2,1	1,1	0,8
33	0,8	0,9	1,4	1,0	1,3	1,3	1,0	0,9	1,5	0,7	2,1	1,3	1,6	2,0	1,0	0,8
32	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,3	1,0	0,9	1,4	0,6	2,0	1,3	1,5	1,9	1,0	0,7
31	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,2	0,9	0,8	1,4	0,6	1,9	1,2	1,5	1,8	0,9	0,7
30	0,6	0,7	1,2	0,8	1,1	1,2	0,9	0,8	1,3	0,6	1,8	1,2	1,4	1,7	0,9	0,6
29	0,6	0,7	1,1	0,8	1,1	1,1	0,8	0,7	1,2	0,5	1,7	1,1	1,3	1,7	0,8	0,6
28	0,6	0,7	1,1	0,8	1,0	1,0	0,8	0,6	1,2	0,5	1,7	1,0	1,3	1,6	0,8	0,6
27	0,5	0,6	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,6	1,1	0,5	1,6	1,0	1,2	1,5	0,7	0,5
26	0,5	0,6	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	1,0	0,4	1,5	0,9	1,1	1,4	0,7	0,5
25	0,5	0,6	0,9	0,6	0,8	0,9	0,6	0,5	1,0	0,4	1,4	0,9	1,0	1,3	0,6	0,5

Tableau 132 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 200$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMti}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	0,5	0,9	1,6	1,8	2,1	2,2	2,6	-	-	2,8	3,1	3,4	4,3	3,8	2,3	1,4
24	0,5	0,8	1,5	1,7	2,0	2,0	2,5	-	-	2,6	2,9	3,2	4,0	3,5	2,2	1,3
23	0,4	0,8	1,4	1,6	1,9	1,9	2,3	-	-	2,4	2,7	3,0	3,8	3,3	2,1	1,2
22	0,4	0,7	1,3	1,5	1,7	1,8	2,2	-	-	2,2	2,5	2,8	3,5	3,1	1,9	1,1
21	0,4	0,7	1,2	1,4	1,6	1,6	2,0	-	-	2,0	2,3	2,6	3,3	2,9	1,8	1,1
20	0,3	0,7	1,1	1,3	1,5	1,5	1,9	-	-	1,8	2,1	2,4	3,0	2,7	1,7	1,0
19	0,3	0,6	1,1	1,2	1,4	1,4	1,7	-	-	1,7	1,9	2,2	2,8	2,5	1,5	0,9
18	0,3	0,6	1,0	1,1	1,3	1,3	1,6	-	-	1,5	1,8	2,0	2,6	2,3	1,4	0,9
17	0,3	0,5	0,9	1,0	1,2	1,2	1,4	-	-	1,4	1,6	1,9	2,3	2,1	1,3	0,8
16	0,2	0,5	0,8	0,9	1,1	1,1	1,3	-	-	1,2	1,4	1,7	2,1	1,9	1,2	0,7
15	0,2	0,4	0,7	0,8	1,0	1,0	1,2	-	-	1,1	1,3	1,5	1,9	1,7	1,1	0,7
14	0,2	0,4	0,7	0,7	0,9	0,9	1,1	-	-	0,9	1,1	1,4	1,7	1,5	1,0	0,6
13	0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	-	-	0,8	1,0	1,2	1,5	1,4	0,9	0,6
12	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	-	-	0,7	0,9	1,1	1,4	1,2	0,8	0,5
11	0,1	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	-	-	0,6	0,8	0,9	1,2	1,1	0,7	0,5
10	0,1	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	0,9	0,6	0,4
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,5	0,6	0,9	0,6	0,8	0,9	0,6	0,5	1,0	0,4	1,4	0,9	1,0	1,3	0,6	0,5
24	0,5	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,3	0,8	1,0	1,2	0,6	0,5
23	0,4	0,5	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,2	0,7	0,9	1,1	0,6	0,4
22	0,4	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,4	0,8	0,3	1,1	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4
21	0,4	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,1	0,6	0,8	1,0	0,5	0,4
20	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3	0,7	0,3	1,0	0,6	0,7	0,9	0,5	0,3
19	0,3	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,7	0,3	0,9	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3
18	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
17	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,7	0,3	0,3
16	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,5	0,2	0,7	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
15	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
14	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2
13	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,5	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2
12	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2
11	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1
10	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1

Tableau 133 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fzg} = 200$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	3,2	3,2	3,6	3,2	3,6	5,0	-	-	5,0	3,6	3,2	4,1	3,6	2,2	1,9
39	-	3,0	3,0	3,4	3,0	3,4	4,8	-	-	4,8	3,4	3,0	3,9	3,4	2,1	1,8
38	-	2,8	2,8	3,3	2,8	3,3	4,5	-	-	4,5	3,3	2,8	3,7	3,3	2,0	1,7
37	-	2,7	2,7	3,1	2,7	3,1	4,3	-	-	4,3	3,1	2,7	3,5	3,1	1,9	1,6
36	-	2,6	2,6	2,9	2,6	2,9	4,1	-	-	4,1	2,9	2,6	3,3	2,9	1,8	1,5
35	-	2,4	2,4	2,8	2,4	2,8	3,8	-	-	3,8	2,8	2,4	3,1	2,8	1,7	1,4
34	-	2,3	2,3	2,6	2,3	2,6	3,6	-	-	3,6	2,6	2,3	3,0	2,6	1,6	1,4
33	-	2,1	2,1	2,5	2,1	2,5	3,4	-	-	3,4	2,5	2,1	2,8	2,5	1,5	1,3
32	-	2,0	2,0	2,3	2,0	2,3	3,2	-	-	3,2	2,3	2,0	2,6	2,3	1,4	1,2
31	-	1,9	1,9	2,2	1,9	2,2	3,0	-	-	3,0	2,2	1,9	2,5	2,2	1,3	1,1
30	-	1,8	1,8	2,0	1,8	2,0	2,8	-	-	2,8	2,0	1,8	2,3	2,0	1,2	1,1
29	-	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,6	-	-	2,6	1,9	1,7	2,2	1,9	1,2	1,0
28	-	1,5	1,5	1,8	1,5	1,8	2,5	-	-	2,5	1,8	1,5	2,0	1,8	1,1	0,9
27	-	1,4	1,4	1,7	1,4	1,7	2,3	-	-	2,3	1,7	1,4	1,9	1,7	1,0	0,9
26	-	1,3	1,3	1,5	1,3	1,5	2,1	-	-	2,1	1,5	1,3	1,7	1,5	0,9	0,8
25	-	1,2	1,2	1,4	1,2	1,4	2,0	-	-	2,0	1,4	1,2	1,6	1,4	0,9	0,7
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	0,8	1,7	1,0	1,0	1,0	1,1	1,5	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,1	1,1	
39	0,8	1,6	1,0	1,0	1,0	1,1	1,4	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,1	1,1	
38	0,7	1,6	0,9	0,9	0,9	1,0	1,4	1,3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	1,0	1,0	
37	0,7	1,5	0,9	0,9	0,9	1,0	1,3	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	1,0	1,0	
36	0,7	1,4	0,9	0,9	0,9	1,0	1,2	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	1,0	1,0	
35	0,6	1,4	0,8	0,8	0,8	0,9	1,2	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,9	0,9	
34	0,6	1,3	0,8	0,8	0,8	0,9	1,1	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,9	0,9	
33	0,6	1,3	0,7	0,8	0,7	0,8	1,1	1,0	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	
32	0,6	1,2	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	
31	0,5	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,8	0,8	
30	0,5	1,1	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	
29	0,5	1,0	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	
28	0,4	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,6	
27	0,4	0,9	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	
26	0,4	0,9	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	
25	0,4	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	

Tableau 134 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 0$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	1,2	1,2	1,4	1,2	1,4	2,0	-	-	2,0	1,4	1,2	1,6	1,4	0,9	0,7
24	-	1,1	1,1	1,3	1,1	1,3	1,8	-	-	1,8	1,3	1,1	1,5	1,3	0,8	0,7
23	-	1,0	1,0	1,2	1,0	1,2	1,7	-	-	1,7	1,2	1,0	1,4	1,2	0,7	0,6
22	-	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1	1,5	-	-	1,5	1,1	1,0	1,2	1,1	0,7	0,6
21	-	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,4	-	-	1,4	1,0	0,9	1,1	1,0	0,6	0,5
20	-	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1,3	-	-	1,3	0,9	0,8	1,0	0,9	0,6	0,5
19	-	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	1,1	-	-	1,1	0,8	0,7	0,9	0,8	0,5	0,4
18	-	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	1,0	-	-	1,0	0,7	0,6	0,8	0,7	0,4	0,4
17	-	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	-	-	0,9	0,7	0,6	0,7	0,7	0,4	0,3
16	-	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,8	-	-	0,8	0,6	0,5	0,7	0,6	0,4	0,3
15	-	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,7	-	-	0,7	0,5	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3
14	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	-	-	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2
13	-	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	-	-	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,2	0,2
12	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	-	-	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2
11	-	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	-	-	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1
10	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	-	-	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,4	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
24	0,3	0,8	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5
23	0,3	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5
22	0,3	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
21	0,3	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
20	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
19	0,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
18	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
17	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
16	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
15	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
14	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
13	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
12	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
11	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tableau 135 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture d'extrémité,  $v_{Fzg} = 0$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	1,9	2,2	3,2	3,6	3,2	3,6	5,0	-	-	5,0	3,6	3,2	3,6	3,2	2,2	1,9
39	1,8	2,1	3,0	3,4	3,0	3,4	4,8	-	-	4,8	3,4	3,0	3,4	3,0	2,1	1,8
38	1,7	2,0	2,8	3,3	2,8	3,3	4,5	-	-	4,5	3,3	2,8	3,3	2,8	2,0	1,7
37	1,6	1,9	2,7	3,1	2,7	3,1	4,3	-	-	4,3	3,1	2,7	3,1	2,7	1,9	1,6
36	1,5	1,8	2,6	2,9	2,6	2,9	4,1	-	-	4,1	2,9	2,6	2,9	2,6	1,8	1,5
35	1,4	1,7	2,4	2,8	2,4	2,8	3,8	-	-	3,8	2,8	2,4	2,8	2,4	1,7	1,4
34	1,4	1,6	2,3	2,6	2,3	2,6	3,6	-	-	3,6	2,6	2,3	2,6	2,3	1,6	1,4
33	1,3	1,5	2,1	2,5	2,1	2,5	3,4	-	-	3,4	2,5	2,1	2,5	2,1	1,5	1,3
32	1,2	1,4	2,0	2,3	2,0	2,3	3,2	-	-	3,2	2,3	2,0	2,3	2,0	1,4	1,2
31	1,1	1,3	1,9	2,2	1,9	2,2	3,0	-	-	3,0	2,2	1,9	2,2	1,9	1,3	1,1
30	1,1	1,2	1,8	2,0	1,8	2,0	2,8	-	-	2,8	2,0	1,8	2,0	1,8	1,2	1,1
29	1,0	1,2	1,7	1,9	1,7	1,9	2,6	-	-	2,6	1,9	1,7	1,9	1,7	1,2	1,0
28	0,9	1,1	1,5	1,8	1,5	1,8	2,5	-	-	2,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,1	0,9
27	0,9	1,0	1,4	1,7	1,4	1,7	2,3	-	-	2,3	1,7	1,4	1,7	1,4	1,0	0,9
26	0,8	0,9	1,3	1,5	1,3	1,5	2,1	-	-	2,1	1,5	1,3	1,5	1,3	0,9	0,8
25	0,7	0,9	1,2	1,4	1,2	1,4	2,0	-	-	2,0	1,4	1,2	1,4	1,2	0,9	0,7
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,1	1,1	0,8	1,0	0,8	0,8	1,1	1,4	1,3	1,1	0,8	0,8	1,0	0,8	1,1	1,1
39	1,1	1,1	0,8	1,0	0,8	0,8	1,1	1,4	1,3	1,1	0,8	0,8	1,0	0,8	1,1	1,1
38	1,0	1,0	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	1,3	1,2	1,0	0,7	0,7	0,9	0,7	1,0	1,0
37	1,0	1,0	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	1,2	1,2	1,0	0,7	0,7	0,9	0,7	1,0	1,0
36	1,0	1,0	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	1,1	1,2	1,0	0,7	0,7	0,9	0,7	1,0	1,0
35	0,9	0,9	0,6	0,8	0,6	0,6	0,9	1,1	1,1	0,9	0,6	0,6	0,8	0,6	0,9	0,9
34	0,9	0,9	0,6	0,8	0,6	0,6	0,9	1,0	1,1	0,9	0,6	0,6	0,8	0,6	0,9	0,9
33	0,8	0,8	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	0,8	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	0,8
32	0,8	0,8	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8
31	0,8	0,8	0,5	0,7	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	0,7	0,5	0,5	0,7	0,5	0,8	0,8
30	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7
29	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7
28	0,6	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6
27	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,6	0,6
26	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,7	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,6	0,6
25	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5

Tableau 136 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fz9} = 0$  km/h,  $v_w = 25 \dots 40$  m/s

$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de guidage $p_{y,w,FMTi}$ en [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	0,7	0,9	1,2	1,4	1,2	1,4	2,0	-	-	2,0	1,4	1,2	1,4	1,2	0,9	0,7
24	0,7	0,8	1,1	1,3	1,1	1,3	1,8	-	-	1,8	1,3	1,1	1,3	1,1	0,8	0,7
23	0,6	0,7	1,0	1,2	1,0	1,2	1,7	-	-	1,7	1,2	1,0	1,2	1,0	0,7	0,6
22	0,6	0,7	1,0	1,1	1,0	1,1	1,5	-	-	1,5	1,1	1,0	1,1	1,0	0,7	0,6
21	0,5	0,6	0,9	1,0	0,9	1,0	1,4	-	-	1,4	1,0	0,9	1,0	0,9	0,6	0,5
20	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8	0,9	1,3	-	-	1,3	0,9	0,8	0,9	0,8	0,6	0,5
19	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,8	1,1	-	-	1,1	0,8	0,7	0,8	0,7	0,5	0,4
18	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6	0,7	1,0	-	-	1,0	0,7	0,6	0,7	0,6	0,4	0,4
17	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	-	-	0,9	0,7	0,6	0,7	0,6	0,4	0,3
16	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,8	-	-	0,8	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3
15	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,7	-	-	0,7	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3
14	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	-	-	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2
13	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	-	-	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2
12	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	-	-	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
11	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	-	-	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1
10	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	-	-	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
$v_w$ [m/s]	Forces magnétiques de levage $p_{z,w,TMTi}$ en [kN/m](+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5
24	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5
23	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5
22	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
21	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
20	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
19	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
18	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
17	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
16	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
14	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
13	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
12	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tableau 137 - Forces magnétiques en cas de vent latéral : voiture intermédiaire,  $v_{Fz0} = 0$  km/h,  $v_w = 10 \dots 25$  m/s

## Annexe II-F : Calcul des forces polaires des aimants de levage

<b>Sans transfert pour les aimants de levage normaux et de tête / de queue</b> (cf. Figure 180 et Figure 181)				Exemple	
1	Charge linéaire de l'élément magnétique $i, i+1$	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i}$ $P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_{i+1}}$	Conformément à la formule ( 15)	10 5	kN/m
2	Forces EP	$P_{z,EP,i/i+1}$	$0,5 \cdot p_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT(i/i+1)} \cdot L_{sys,TMT(i/i+1)} / 5,5$ ou $0,5 \cdot p_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT(i/i+1)} \cdot L_{sys,TMT(i/i+1)} / 7,5 *$	1,41 ; 0,70 1,39 *	kN
3	Forces HP	$P_{z,HP,i/i+1}$	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT(i/i+1)} \cdot L_{sys,TMT(i/i+1)} / 5,5$ ou $P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT(i/i+1)} \cdot L_{sys,TMT(i/i+1)} / 7,5 *$	2,82 ; 1,40 2,77 *	kN

\* Pour les aimants de levage de tête et de queue

Tableau 138 - Forces polaires des aimants de levage sans transfert

<b>Avec un transfert de 30 % pour les aimants de levage normaux</b> (cf. Figure 180)				Exemple	
1	Charge linéaire de l'élément magnétique $i, i+1$	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i}$ $\geq$ $P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_{i+1}}$	Conformément à la formule ( 15)	10 5	kN/m
2	En raison de de la répartition irrégulière des TMT <sub>i</sub>	$R_{TMTi,30\%}$	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i} \cdot 30\% \cdot L_{sys,TMT_i} / 2$	2,32	kN
3	Force EP i	$P_{z,EP,30,i}$	$P_{z,EP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	1,79	kN
4	Force HP 1,i	$P_{z,HP1,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 5 / 18$	3,46	kN
5	Force HP 2,i	$P_{z,HP2,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 18$	3,33	kN
6	Force HP 3,i	$P_{z,HP3,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	3,20	kN
7	Force HP 4,i	$P_{z,HP4,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 2 / 18$	3,07	kN
8	Force HP 5,i	$P_{z,HP5,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 1 / 18$	2,94	kN
9	Force HP 6,i+1	$P_{z,HP6,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 1 / 18$	1,27	kN
10	Force HP 7,i+1	$P_{z,HP7,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 2 / 18$	1,14	kN
11	Force HP 8,i+1	$P_{z,HP8,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	1,02	kN
12	Force HP 9,i+1	$P_{z,HP9,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 18$	0,89	kN
13	Force HP 10,i+1	$P_{z,HP10,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 5 / 18$	0,76	kN
14	Force EP i+1	$P_{z,EP,30,i+1}$	$P_{z,EP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	0,31	kN

Tableau 139 - Forces polaires des aimants de levage avec un transfert de 30 % (aimants de levage normaux)

Avec un transfert de 30 % pour les aimants de levage de tête / de queue (cf. Figure 181)				Exemple	
1	Charge linéaire de l'élément magnétique $i, i+1$	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i} \geq P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_{i+1}}$	conformément à la formule ( 15)	10 5	kN/ m
2	En raison de de la répartition irrégulière des TMT <sub>i</sub>	$R_{TMTi,30\%}$	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i} \cdot 30\% \cdot L_{sys,TMT,Bug/Heck} / 2$	3,12	kN
3	Force EP i	$P_{z,EP,30,i}$	$P_{z,EP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 32$	1,77	kN
4	Force HP 1,i	$P_{z,HP1,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 7 / 32$	3,45	kN
5	Force HP 2,i	$P_{z,HP2,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 6 / 32$	3,36	kN
6	Force HP 3,i	$P_{z,HP3,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 5 / 32$	3,26	kN
7	Force HP 4,i	$P_{z,HP4,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 32$	3,16	kN
8	Force HP 5,i	$P_{z,HP5,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 32$	3,06	kN
9	Force HP 6,i	$P_{z,HP6,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 2 / 32$	2,97	kN
10	Force HP 7,i	$P_{z,HP7,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 1 / 32$	2,87	kN
11	Force HP 8,i+1	$P_{z,HP8,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 1 / 18$	1,23	kN
12	Force HP 9,i+1	$P_{z,HP9,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 2 / 18$	1,06	kN
13	Force HP 10,i+1	$P_{z,HP10,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	0,88	kN
14	Force HP 11,i+1	$P_{z,HP11,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 18$	0,71	kN
15	Force HP 12,i+1	$P_{z,HP12,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 5 / 18$	0,54	kN
16	Force EP i+1	$P_{z,EP,30,i+1}$	$P_{z,EP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	0,18	kN

Tableau 140 - Forces polaires des aimants de levage avec un transfert de 30 % (aimants de levage de tête / queue)

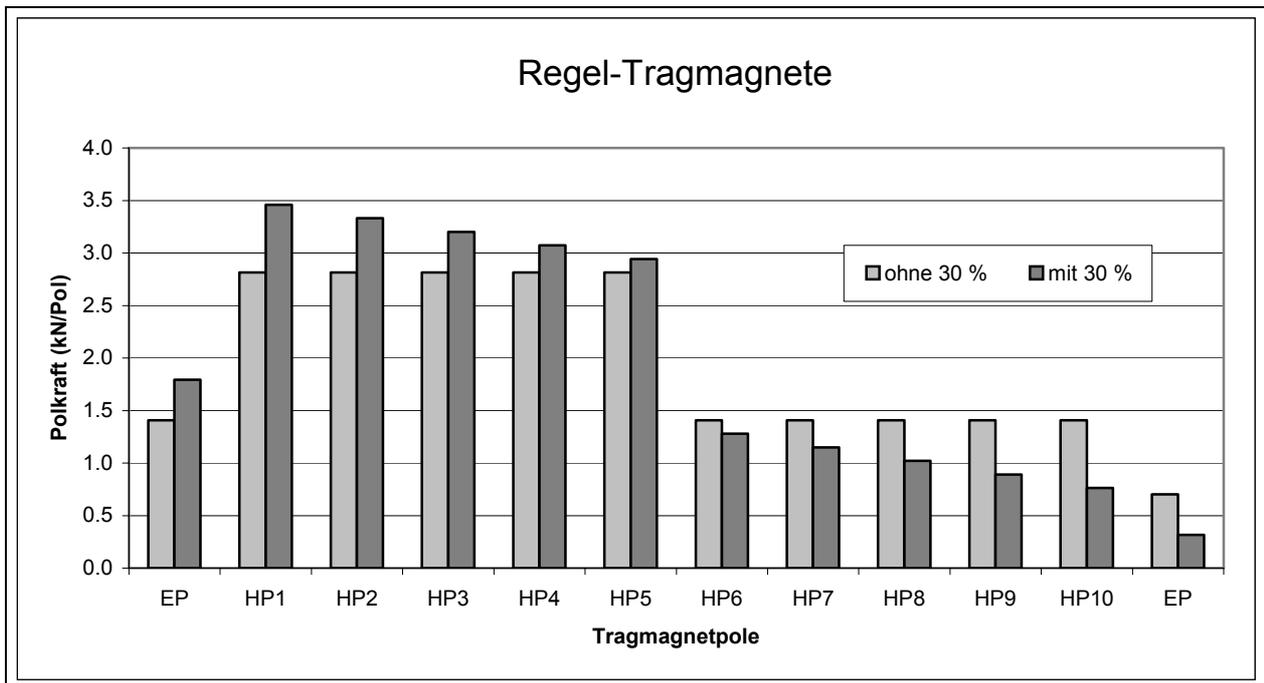


Figure 180 - Forces polaires des aimants de levage ; exemple pour les aimants de levage normaux

*Aimants de levage normaux*  
*Force polaire (kN/pôle)*  
 Sans 30 %                      Avec 30 %  
*Pôles de l'aimant de levage*

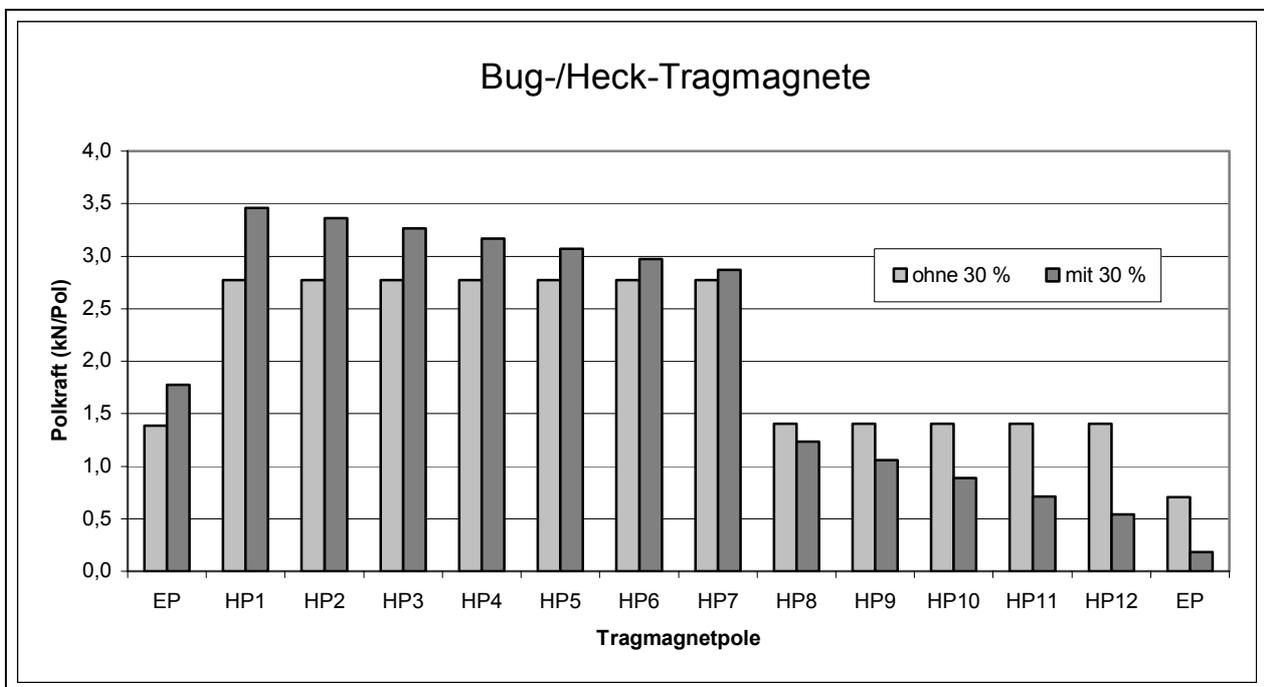


Figure 181 - Forces polaires des aimants de levage ; exemple pour les aimants de levage de tête / queue

Aimants de levage de tête / queue



# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Voie**

### **Partie III**

### **Géométrie**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Voie à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Voie.

**Table des matières**

<b>Destinataires .....</b>	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications.....</b>	<b>3</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>4</b>
<b>Généralités .....</b>	<b>9</b>
Objectif et champ d'application.....	9
Structure de la documentation.....	9
Explications à propos de l'utilisation.....	9
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	10
Abréviations et définitions.....	10
Lois, décrets, normes et directives .....	10
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	11
<b>Espaces libres pour les éléments intégrés de l'équipement de voie.....</b>	<b>12</b>
<b>Références des cotes, points de mesure principaux, plans de référence et grandeurs influentes .....</b>	<b>17</b>
Position des plans fonctionnels et des point de mesure principaux.....	17
Exigences relatives aux point de mesure principaux et aux valeurs mesurées.....	20
Systèmes de coordonnées .....	21
Longueurs du système et des composants .....	22
Détermination des signes .....	22
Définitions et déterminations pour les tolérances et les variations de position .....	28
Pré-courbure voulue .....	28
Pré-courbure voulue des supports à une travée .....	29
Pré-courbure voulue des supports à deux travées.....	30
Pré-courbure voulue des supports à plusieurs travées et des installations de changement de voie .....	30
Variation de grande amplitude.....	30
Variation de grande amplitude des supports à une travée.....	32
Variation de grande amplitude pour les supports à deux travées et plus et les installations de changement de voie .....	35
Variation de faible amplitude .....	36
Critère de modification de l'inclinaison .....	39
Solution intermédiaire.....	41
Décalage.....	42
Basculement .....	44
Tolérance d'inclinaison transversale .....	44
Superposition des tolérances et des variations de position .....	44
Tolérance et variations de position admissibles.....	46

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Voie, Partie II, Mesures

**Principes d'exécution**

Voie

Tolérances et variations de position pour le plan du stator (SE).....	46
Variation de position admissible des paquets de tôles statoriques dans le sens x.....	47
Variation de position admissible de l'axe central du stator long dans le sens y.....	48
Tolérances du SE dans le sens z.....	48
Pré-courbure voulue.....	48
Variation de grande amplitude du SE.....	48
Variation de faible amplitude par rapport à la position réelle du SE (variation de grande amplitude), tolérances à la jonction des supports.....	49
Critère de modification de l'inclinaison au sein de la variation de faible amplitude.....	49
Décalages / basculement admissibles du SE.....	50
Tolérance d'inclinaison transversale du SE.....	50
Tolérances et variations de position du plan des rails de guidage latéraux (SFE).....	50
Tolérances du SFE dans le sens x.....	52
Variation de position du SFE dans le sens y.....	53
Position voulue.....	53
Variation de grande amplitude du SFE.....	53
Variation de faible amplitude par rapport à la position réelle du SFE (variation de grande amplitude), tolérances à la jonction des supports.....	54
Décalages / basculement admissibles du SFE.....	55
Tolérance admissible de la largeur de voie (S).....	56
Tolérances et variations de position pour le plan de glissement (GE).....	58
Tolérances admissible du GE dans le sens x.....	60
Interstice admissible dans le sens x à l'intérieur du plan de glissement.....	60
Tolérances admissible du GE dans le sens Y.....	61
Tolérances admissible du GE dans le sens z.....	61
Position voulue.....	61
Variation de grande amplitude du GE.....	62
Variation de faible amplitude du GE.....	63
Décalages / basculement admissibles du GE.....	64
Cote d'entrait.....	65
<b>Montage de la voie.....</b>	<b>66</b>
<b>Exigences géométriques relatives à la voie calibrée.....</b>	<b>67</b>
<b>Exigences de position relatives aux éléments rapportés et d'équipement de la voie.....</b>	<b>69</b>
Position de l'enroulement moteur.....	69
Position de la butée de référence.....	69
Position des modules d'approvisionnement externe en énergie de bord situés sur la voie.....	69
Position des modules des barres-bus situés sur la voie.....	69

**Principes d'exécution**

Position des modules de transmission d'énergie inductive situés sur la voie .....	69
<b>Justifications</b> .....	<b>71</b>
<b>Annexe III-A Fixation des paquets de tôles statoriques (côté support de voie)</b> .....	<b>72</b>
<b>Annexe III-B Axes de fixation du paquet de tôles statoriques</b> .....	<b>75</b>

**Index des illustrations**

Figure 1 : Espaces libres de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique et des supports de voie .....	12
Figure 2 : Position de la zone de mesure de l'entrefer de guidage .....	14
Figure 3 : Espace de montage de l'enroulement du stator long.....	15
Figure 4 : Plans fonctionnels et points de mesure principaux dans les directions y et z .....	17
Figure 5 : Points de mesure principaux dans les directions x et z .....	18
Figure 6 : Points de mesure principaux du plan de guidage latéral et du plan de glissement .....	19
Figure 7 : Points de mesure principaux du plan du stator.....	20
Figure 8 : Relation géométrique des systèmes de coordonnées (TFK et RFK).....	21
Figure 9 : Relation entre la longueur des composants et la longueur du système .....	22
Figure 10 : Décalage SFE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Equation 1 et l'Equation 2.....	23
Figure 11 : Décalage SE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Equation 3 .....	24
Figure 12 : Décalage GE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Equation 4 .....	24
Figure 13 : Modification de la largeur de la voie, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Equation 5 .....	25
Figure 14 : Critère de variation de l'inclinaison SFE, plage de tolérance et détermination du signe l'Equation 6 et l'Equation 7.....	26
Figure 15 : Critère de variation de l'inclinaison SE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Equation 8 .....	26
Figure 16 : Critère de variation de l'inclinaison GE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Equation 9 .....	27
Figure 17 : Pré-courbure voulue et ses composantes (représentation sans prise en compte du comportement au fluage et à la contraction) .....	29
Figure 18 : Relation entre les valeurs mesurées discrètes, la position réelle de la variation de grande amplitude et les valeurs limites associées de la variation de faible amplitude.....	32
Figure 19 : Tracé et position de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude pour les supports à une travée sans pré-courbure sur l'exemple du SE .....	33
Figure 20 : Tracé et position de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude pour les supports à une travée avec pré-courbure sur l'exemple du SE .....	33
Figure 21 : Tracé et position de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude pour les supports à deux travées avec pré-courbure sur l'exemple du SE .....	35

Figure 22 : Tracé et position de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude pour les supports à deux travées sans pré-courbure sur l'exemple du SE .....	36
Figure 23 : Tracé de la plage de tolérance de la variation de faible amplitude pour les supports à une travée avec pré-courbure sur l'exemple du SE .....	37
Figure 24 : Tracé de la plage de tolérance de la variation de faible amplitude pour les supports à deux travées avec pré-courbure voulue et référence à la position réelle de la variation de grande amplitude sur l'exemple du SE.....	38
Figure 25 : Tracé de la plage de tolérance de la variation de faible amplitude d'une installation de changement de voie par rapport à la position réelle de la variation de grande amplitude sur l'exemple du SE.....	39
Figure 26 : Représentation du critère de modification de l'inclinaison sur l'exemple du GE .....	40
Figure 27 : Exécution de la solution intermédiaire dans le SE.....	41
Figure 28 : Tracé de la variation de faible amplitude du SE au niveau de la transition entre supports en utilisant la solution intermédiaire.....	42
Figure 29 : Représentation d'un décalage négatif au niveau du SFE avec NGK superposé.....	43
Figure 30 : Représentation d'un décalage positif au niveau du SFE avec NGK superposé .....	43
Figure 31 : Superposition du décalage et du basculement sur des plans fonctionnels voisins identiques (par exemple au niveau des paquets de tôles statoriques dans le plan du stator) .	44
Figure 32 : Tolérances et variations de position du plan du stator (SE) et interdépendances de celles-ci	46
Figure 33 : Tolérances et variations de position du plan de guidage latéral (SFE) et interdépendances de celles-ci.....	51
Figure 34 : Configuration de la surface du SFE au niveau de la jonction entre supports ou en cas d'interruption.....	53
Figure 35 : Décalages admissibles dans le SFE à l'intérieur d'un support de voie en fonction des longueurs des segments de SF.....	56
Figure 36 : Tolérances et variations de position du plan de glissement (GE) dans la direction z et interdépendances de celles-ci.....	58
Figure 37 : Configuration de la surface du GE au niveau de la jonction entre supports ou en cas d'interruption.....	61
Figure 38 : Tracé et position de la variation de faible amplitude du GE sur l'exemple d'un support à une travée avec pré-courbure .....	62
Figure 39 : Décalages admissibles dans le GE à l'intérieur du support de voie en fonction de leur importance et de leur fréquence d'occurrence .....	64
Figure 40 : Cotes et tolérances pour l'exécution de l'accueil du paquet de tôles statiques en acier (vue de dessus).....	72
Figure 41 : Cotes et tolérances pour l'exécution de l'accueil du paquet de tôles statiques en acier (coupe transversale).....	73
Figure 42 : Cotes et tolérances pour l'exécution de l'accueil du paquet de tôles statiques en acier (vue de côté) .....	73
Figure 43 : Cotes et tolérances pour l'exécution de l'accueil du paquet de tôles statiques en acier (détail A et détail B) .....	74

---

Figure 44 : Axes de fixation du paquet de tôles statoriques (vue de dessus).....	75
Figure 45 : Axes de fixation du paquet de tôles statoriques (coupe transversale).....	75
Figure 46 : Axes de fixation du paquet de tôles statoriques (vue de côté) .....	76

## Généralités

### Objectif et champ d'application

Le présent document spécifie les exigences techniques générales applicables à la géométrie de la voie pour le système de train rapide à sustentation magnétique.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

### Structure de la documentation

Les présents principes d'exécution spécifient les exigences géométriques applicables aux plans fonctionnels des supports de voie du train rapide à sustentation magnétique.

*Les exigences relatives au positionnement précis des supports sont consignées dans /MSB AG-FW VERM/.*

*Les explications relatives aux variations de position ainsi que les indications de cotes et de tolérances servent à la compréhension fondamentale en vue de construire une voie du train rapide à sustentation magnétique.*

*Du fait de l'interaction mutuelle des différentes valeurs limites fixées, un décalage de celles-ci est possible en considération du système complet. Il faut notamment inclure les exigences de /MSB AG-GESAMTSYS/ dans l'observation globale.*

*Les valeurs limites indiquées servent à respecter le confort de roulage ainsi que les exigences techniques de l'ensemble du système.*

### Explications à propos de l'utilisation

Dans ce document sont définies les tolérances et variations de position des plans fonctionnels des supports de voie lorsque ceux-ci sont équipés et positionnés avec précision, sans charge de trafic et uniquement sollicités par leur propre poids.

*Les tolérances pour la fabrication de la voie (élément brut de voie, équipement de voie, montage de voie) ainsi que pour son entretien sont à déduire à partir de ceci au cours d'une étape suivante en tenant compte des procédés de fabrication prévus.*

Sauf mention différente, toutes les indications se rapportent à une voie à la température de référence spécifique au projet.

Toutes les indications se rapportent aux plans fonctionnels montés et munis de leur revêtement.

*La détermination des exigences en matière de dimensions de la voie (par exemple valeurs limites de la variation admissible en interaction avec la déformation de la voie) se base pour l'essentiel sur les expériences avec des voies éprouvées jusqu'à présent et leur interaction avec les rames à sustentation magnétique en opération de roulage sous des conditions d'essai et d'utilisation.*

Les tolérances individuelles sont obtenues en tenant compte des tolérances globales et en partie des recouvrements. En présence de tolérances complémentaires ou interdépendantes, il faut veiller à respecter la tolérance individuelle correspondante ou à ce que les indications présentant les valeurs de tolérance les plus faibles soient prioritaires.

Si les variations admissibles de forme et de position des plans fonctionnels individuels ne sont pas indiquées dans le document, il n'existe aucune raison à cela du point de vue du système complet.

*Une tolérance de fabrication selon DIN ISO 2768-1 et DIN ISO 2768-2 est alors supposée dans ce cas.*

## Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR&IH/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

## Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en italique.

(voir /MSB AG-FW ÜBG/).

## Espaces libres pour les éléments intégrés de l'équipement de voie

Les espaces de montage de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique sont définis ci-après dans la Figure 182, la Figure 183 et la Figure 184 en se basant sur /MSB AG-GESAMTSYS/. De plus, il faut tenir compte des dimensions indiquées dans l'annexe /MSB AG-FW ÜBG/ comme valeurs indicatives pour les types de voie standard.

La définition du gabarit se trouve dans /MSB AG-FW TRAS/.

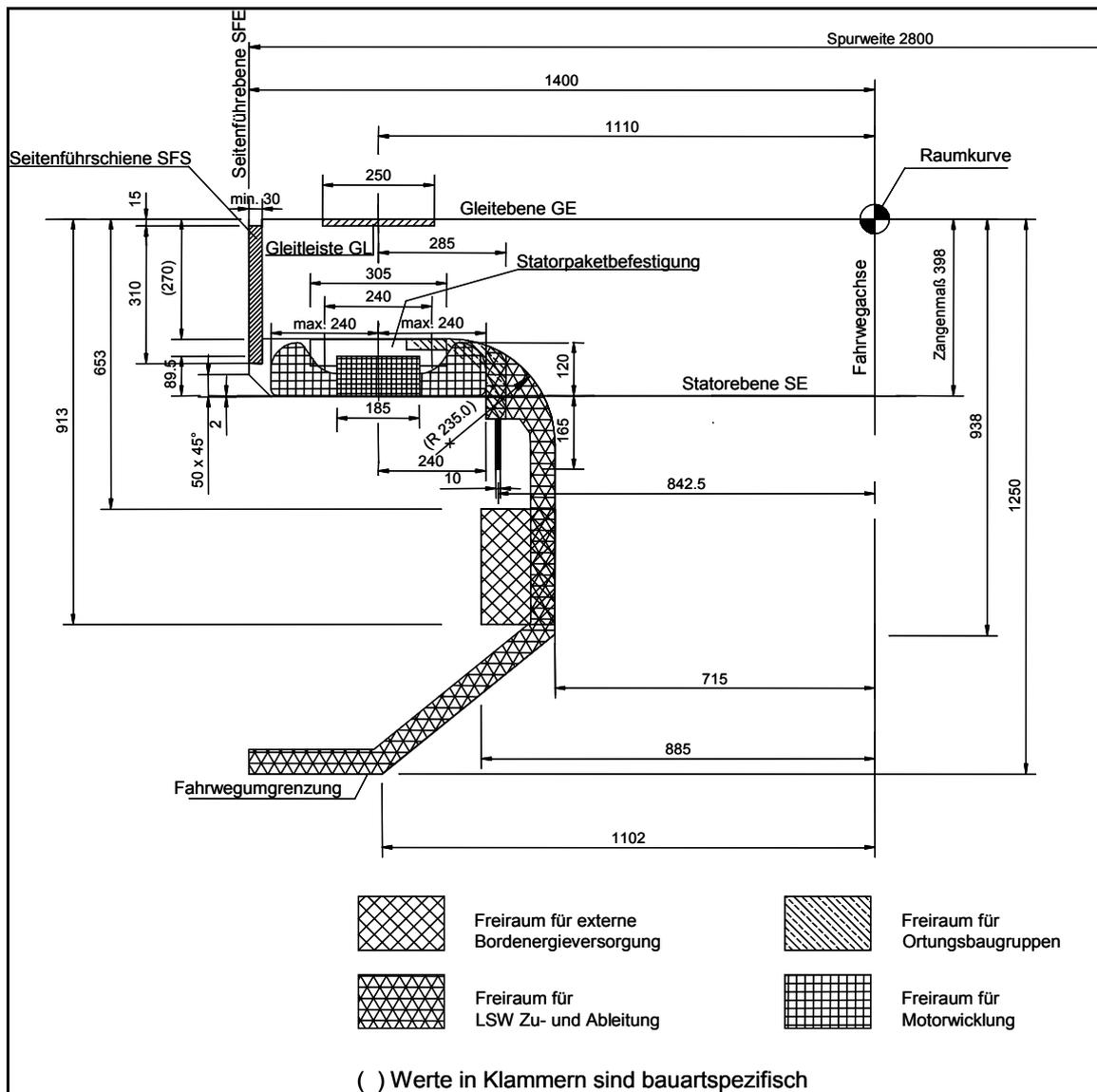


Figure 182 : Espaces libres de l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique et des supports de voie

*Largeur du rail 2800*

*Plan de guidage latéral SFE*

*Rail de guidage latéral SFS*

*Plan de glissement GE*

*Courbe spatiale*

*Glissière GL*

*Fixation du paquet de tôles statoriques*

*Axe de la voie*

*Cote d'entrait 398*

*Plan du stator SE*

*Délimitation de la voie*

*Espace libre pour l'approvisionnement externe en énergie du bord*

*Espace libre pour les sous-ensembles de localisation*

*Espace libre pour arrivée et départ LSW*

*Espace libre pour l'enroulement moteur*

*Les valeurs entre parenthèses sont spécifiques au type de construction*

Explications à propos de la Figure 182 :

- 1) La délimitation de la voie décrit l'enveloppe maximale possible du support de voie, tolérances incluses.
- 2) Les variations de la délimitation de la voie spécifiques au type de construction ne sont autorisées qu'après avoir contrôlé la compatibilité avec le système complet.
- 3) Il faut prévoir un espace libre entre l'équipement de voie spécifique au train rapide à sustentation magnétique et les supports de voie pour la fixation de l'équipement de voie. La taille de cet espace libre dépend de la construction de fixation choisie et nécessite un contrôle de compatibilité avec le système complet.

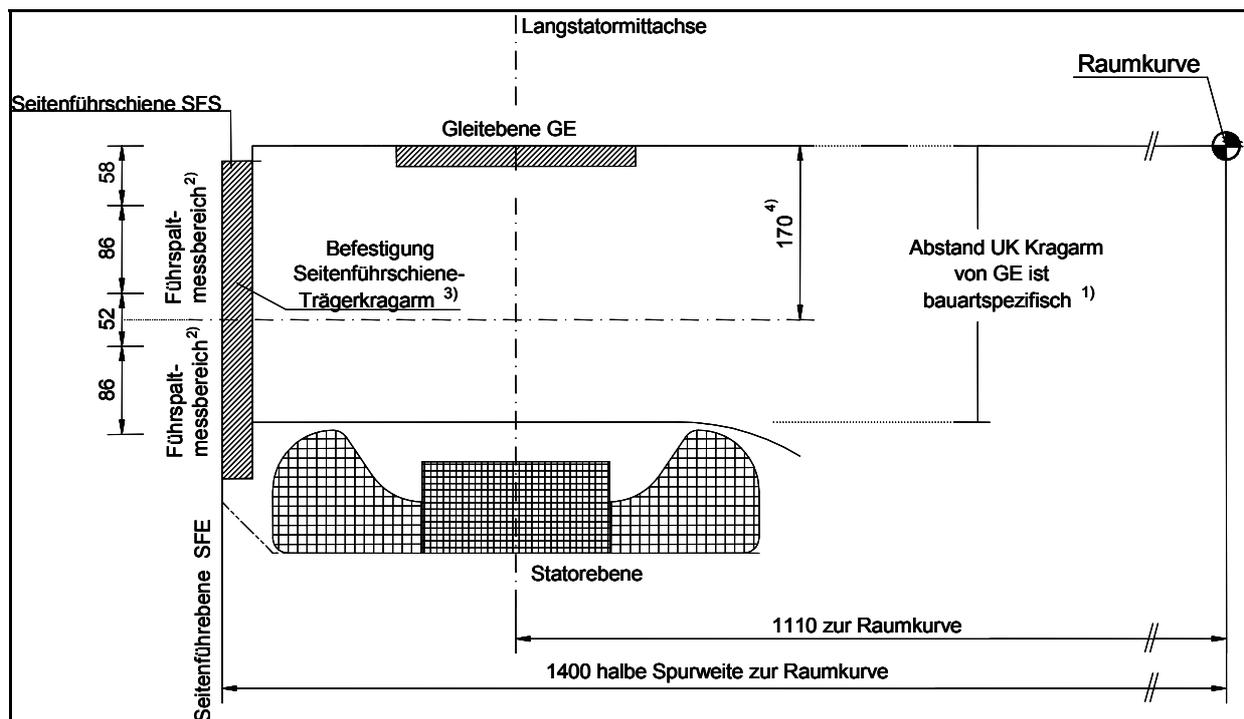


Figure 183 : Position de la zone de mesure de l'entrefer de guidage

Axe médian du stator long

Rail de guidage latéral SFS

Plan de glissement GE

Fixation rail de guidage latéral - bras en porte-à-faux du support 3)

L'écart entre le bord inférieur du bras en porte-à-faux et le plan de glissement est spécifique au type de construction 1)

Zone de mesure de l'entrefer de guidage 2)

Plan de guidage latéral SFE

Plan du stator

1110 de la courbe spatiale

1400 demie largeur de voie de la courbe spatiale

Courbe spatiale

Explications à propos de la Figure 183 :

- 1) L'écart entre le bord inférieur du bras en porte-à-faux et le plan de glissement est spécifique au type de construction et résulte du type de fixation du paquet de tôles statoriques et de l'espace de montage de l'enroulement moteur.
- 2) Les zones représentées des capteurs d'entrefer de guidage correspondent à la position avec la rame en sustentation pour un entrefer de référence de 10 mm.
- 3) La fixation des rails de guidage latéraux et l'espace libre nécessaire à cet effet sont à déterminer en fonction du type de construction.
- 4) Position centrale des aimants de guidage de la rame en sustentation avec un entrefer de référence de 10 mm ;

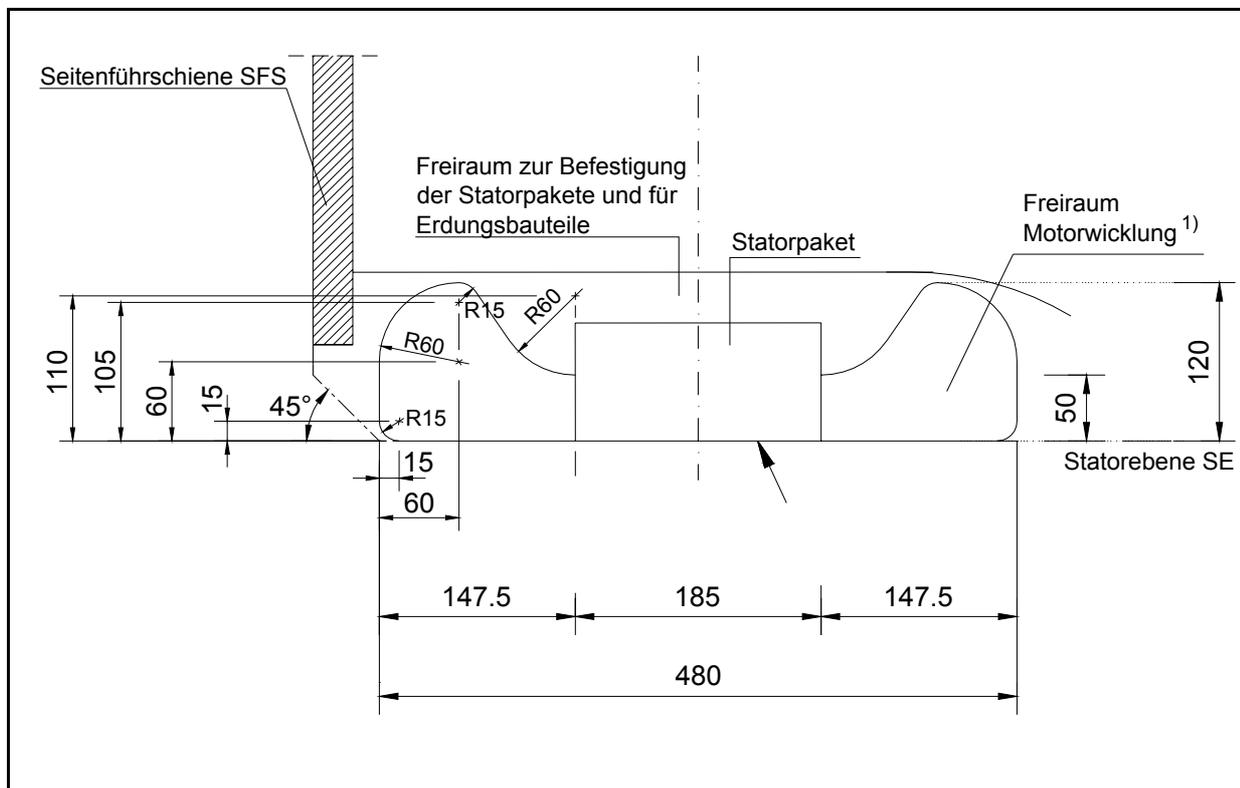


Figure 184 : Espace de montage de l'enroulement du stator long

*Rail de guidage latéral SFS*

*Espace libre pour la fixation du paquet de tôles statoriques et pour les composants de mise à la terre*

*Paquet de tôles statoriques*

*Espace libre de l'enroulement moteur 1)*

*Plan du stator SE*

*Explications à propos de la Figure 184 :*

- 1) *L'espace de montage représentée pour l'enroulement moteur tient également compte de l'encombrement nécessaire pour le processus de montage du câble de celui-ci. Les espaces libres nécessaires pour le dispositif de montage se trouvent à l'intérieur des lignes de délimitation de la rame.*

## Références des cotes, points de mesure principaux, plans de référence et grandeurs influentes

### Position des plans fonctionnels et des points de mesure principaux

La position des plans fonctionnels ainsi que des points de mesure associés dans les directions x, y et z sont représentés dans la Figure 185, la Figure 186, la Figure 187 et la Figure 188.

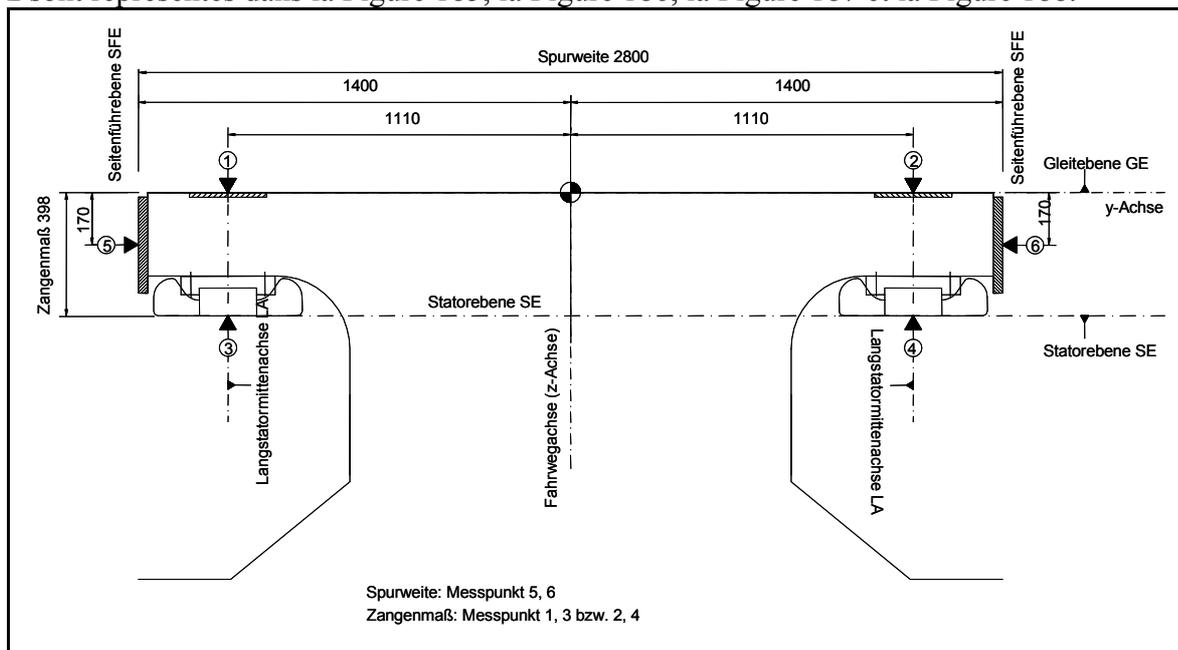


Figure 185 : Plans fonctionnels et points de mesure principaux dans les directions y et z

*Largeur du rail 2800*

*Plan de guidage latéral SFE*

*Plan de glissement GE*

*axe y*

*Cote d'entrait 398*

*Plan du stator SE*

*Axe médian du stator long*

*Axe de la voie (axe z)*

*Largeur de voie : point de mesure 5, 6*

*Cote d'entrait : point de mesure 1, 3 ou 2, 4*

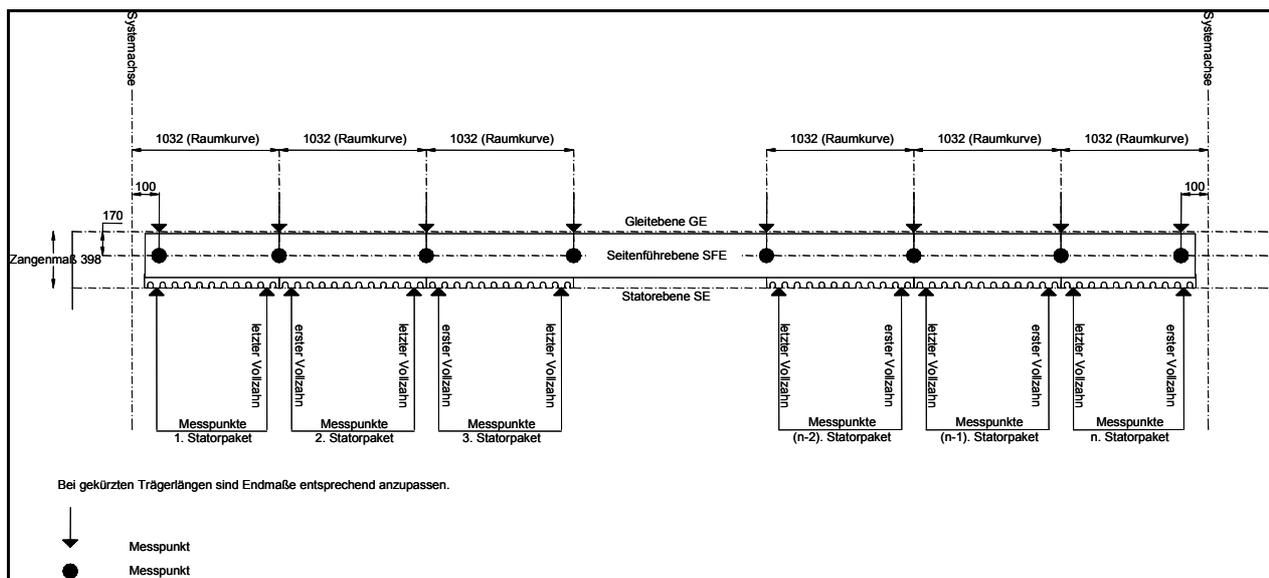


Figure 186 : Points de mesure principaux dans les directions x et z

*Axe du système*

*1032 (courbe spatiale)*

*Plane de glissement GE*

*Cote d'entrait 398*

*Plan de guidage latéral SFE*

*Plan du stator SE*

*Dernière dent pleine*

*Première dent pleine*

*Points de mesure 1<sup>er</sup> paquet de tôles statoriques*

*Points de mesure 2<sup>ème</sup> paquet de tôles statoriques*

*Points de mesure 3<sup>ème</sup> paquet de tôles statoriques*

*Points de mesure (n-2)<sup>ème</sup> paquet de tôles statoriques*

*Si les supports sont plus courts, il faut adapter les cotes d'extrémité en conséquence.*

*Point de mesure*

*Point de mesure*

La position des points de mesure principaux dans la direction x (sens longitudinal, voir Figure 186) doit être choisie de manière à déterminer une valeur mesurée pour l'évaluation au moins dans la cote de grille du système qui est de 1032 mm.

En présence de plans fonctionnels divisés, il faut tenir compte de la partition de l'interruption. Dans ce cas, il faut disposer un point de mesure des deux côtés de l'interruption.

Le premier point de mesure au début ou à la fin de la voie doit être placé uniformément à 100 mm de l'axe du système et doit être identifié par un marquage permanent.

Principes d'exécution

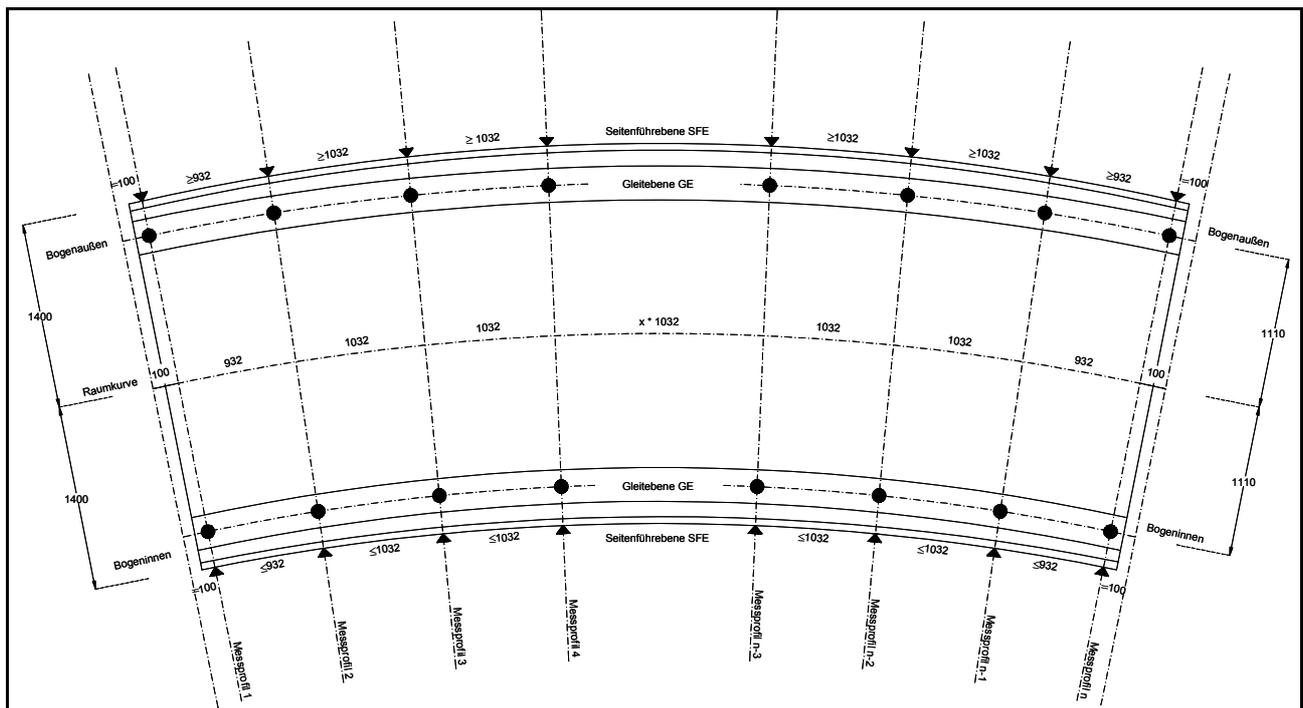


Figure 187 : Points de mesure principaux du plan de guidage latéral et du plan de glissement

- Extérieur de l'arc*
- Plan de guidage latéral SFE*
- Plan de glissement GE*
- Courbe spatiale*
- Intérieur de l'arc*
- Plan de glissement GE*
- Plan de guidage latéral SFE*
- Profil de mesure 1*

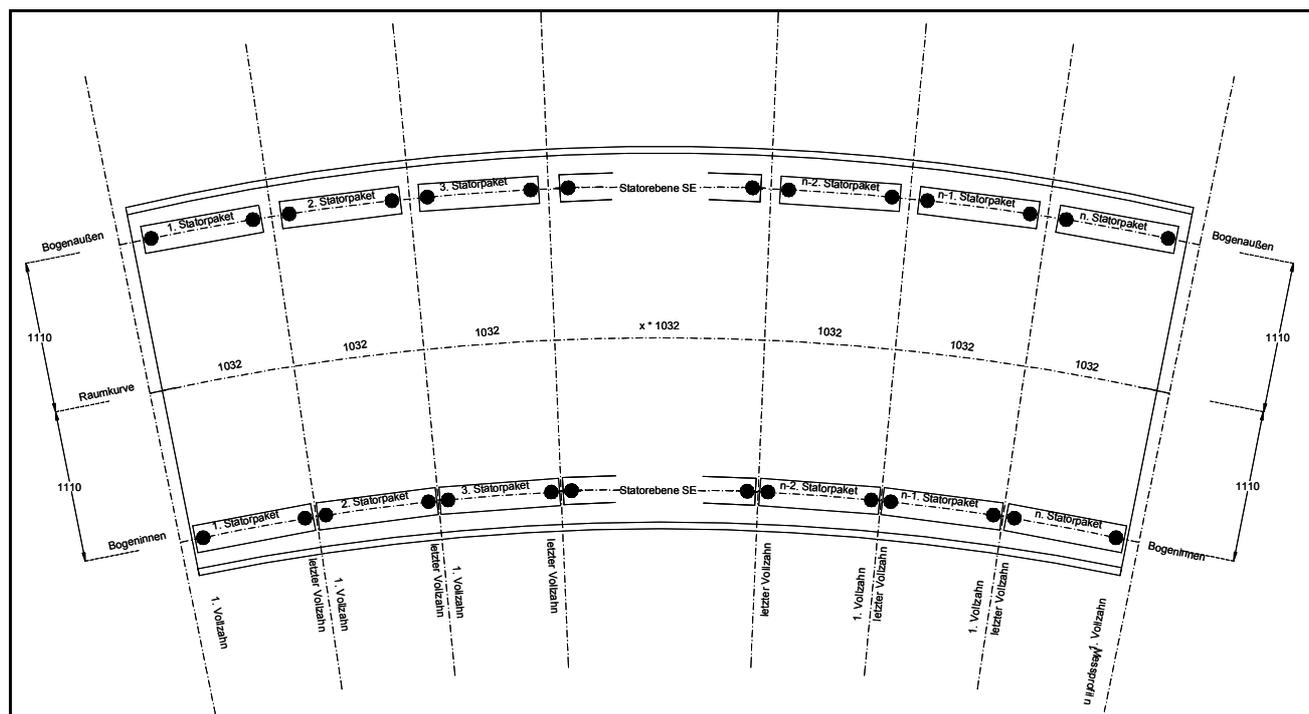


Figure 188 : Points de mesure principaux du plan du stator

*Extérieur de l'arc*

*1<sup>er</sup> paquet de tôles statoriques*

*2<sup>ème</sup> paquet de tôles statoriques*

*3<sup>ème</sup> paquet de tôles statoriques*

*Plan du stator SE*

*(n-2)<sup>ème</sup> paquet de tôles statoriques*

*1<sup>ère</sup> dent pleine*

*Dernière dent pleine*

## Exigences relatives aux points de mesure principaux et aux valeurs mesurées

Les valeurs mesurées déterminées pour les points de mesure principaux doivent permettre une indication représentative de la position du plan fonctionnel.

Cela veut dire que pour déterminer les valeurs mesurées, il faut employer des procédés de mesure et des méthodes appropriés qui éliminent les influences singulières (par exemple arêtes droites, inclusions de matériau, traitements de surface locaux, différences de revêtement, etc.) sur le résultat de la mesure.

## Systèmes de coordonnées

Les tolérances indiquées dans le document se rapportent aux désignations des axes de coordonnées

- $y, x, z$  sur le système de coordonnées des courbes spatiales (RKK)  
(section de la courbe spatiale en rapport avec le support avec point zéro nouvellement défini, voir aussi chapitre 0) et avec
- $Y, X, Z$  sur le système de coordonnées de fabrication des supports (TFK)  
(système de coordonnées de fabrication en référence à la machine dans lequel sont également pris en compte les courbures voulues et les corrections de fabrication éventuellement nécessaires).

Les relations sont illustrées dans la Figure 189.

*Les coordonnées du système de coordonnées du train à sustentation magnétique (MKS) sont utilisées pour les travaux sur le chantier (travaux de traçage, construction des infrastructures, positionnement précis de la voie).*

*(à droite, haut, altitude dans le système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique, voir /MSB-AG FW VERM/)*

*Les coordonnées de début et de fin du support de voie dans le RKK sont ici transformées en MKS par le biais de points de référence.*

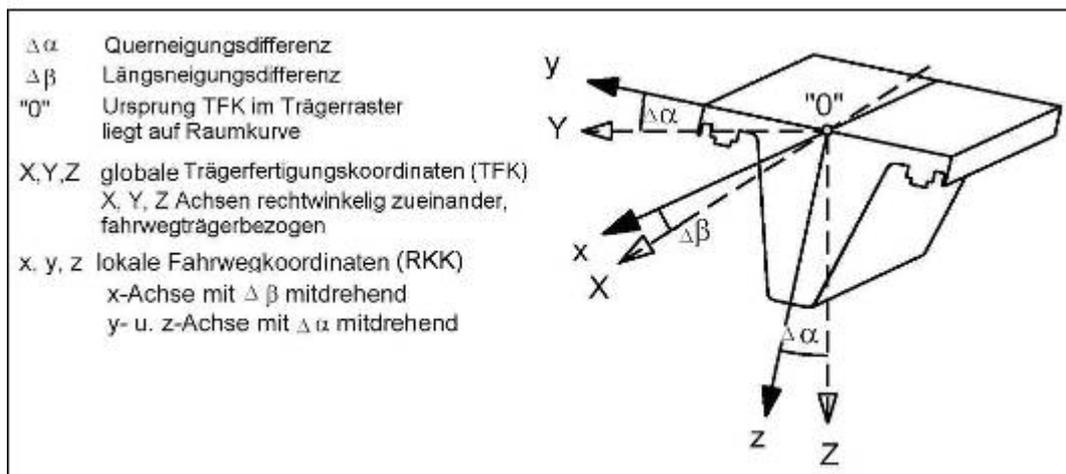


Figure 189 : Relation géométrique des systèmes de coordonnées (TFK et RKK)

$\Delta\alpha$  Différence d'inclinaison transversale

$\Delta\beta$  Différence d'inclinaison longitudinale

« 0 » Origine de TFK dans la grille du support, se trouve sur la courbe spatiale

X, Y, Z Coordonnées de fabrication globales des supports (TFK), axes X, Y et Z sont perpendiculaires les uns aux autres, en référence au support de voie

x, y, z Coordonnées locales de la voie (RKK), axe x tournant avec  $\Delta\beta$ , axes y et z tournant avec  $\Delta\alpha$

## Longueurs du système et des composants

Les longueurs du système désignent toutes les cotes dans le tracé de la courbe spatiale qui représentent un multiple de 86 mm (ce qui correspond à une période dent/encoche /MSB AG-GESAMTSYS/). Les longueurs de la voie sont indiquées lors de la conversion du tracé en longueurs de système.

Sa longueur réelle (longueur de composant) dépend de l'exécution des plans fonctionnels au début et à la fin des supports de voie ainsi que des rayons horizontaux et verticaux (voir Figure 190).

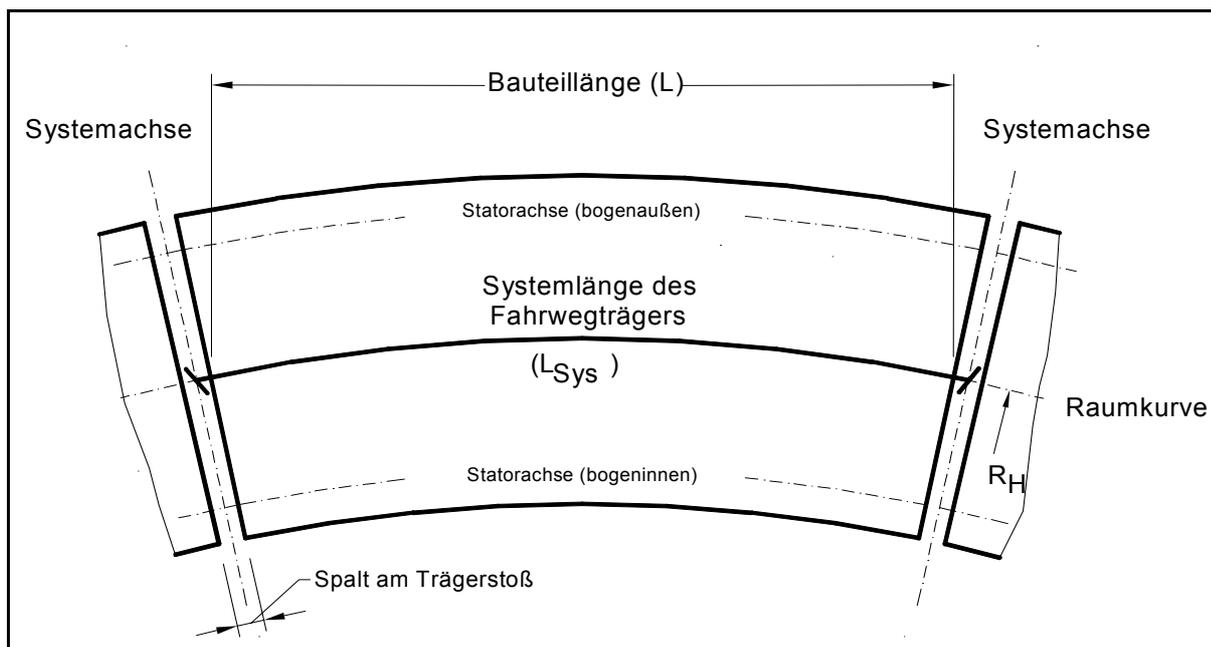


Figure 190 : Relation entre la longueur des composants et la longueur du système

Longueur de composant (L)

Axe du système

Axe du stator (extérieur de l'arc)

Longueur système du support de voie

Courbe spatiale

Axe du stator (intérieur de l'arc)

Interstice au niveau de la jointure des supports

## Détermination des signes

Les règles de signe permettent une interprétation claire de l'interface rame de TSM / voie sur la base suivante :

Dans le sens du kilométrage croissant (sens  $x$  positif), un signe négatif indique toujours une variation en direction de la courbe spatiale alors qu'un signe négatif indique une variation s'éloignant de la courbe spatiale ou vers l'extérieur. En référence à la largeur de voie, un signe négatif indique ainsi une réduction de la largeur de la voie et un signe positif une augmentation de la largeur de voie.

Le signe du résultat des équations ci-après permet une affectation claire de la direction de la variation par rapport à la position voulue. Dans le cas des jointures entre éléments, il faut calculer les décalages avec les axes d'intersection par extrapolation des lignes de mesure (à chaque fois à partir de 2 points de mesure).

- Règle de signe pour le décalage dans le plan de guidage latéral (SFE) voir Figure 191 :

côté droit :  $\Delta y = -y_i + y_{i+1}$  Équation 7

Côté gauche :  $\Delta y = y_i - y_{i+1}$  Équation 8

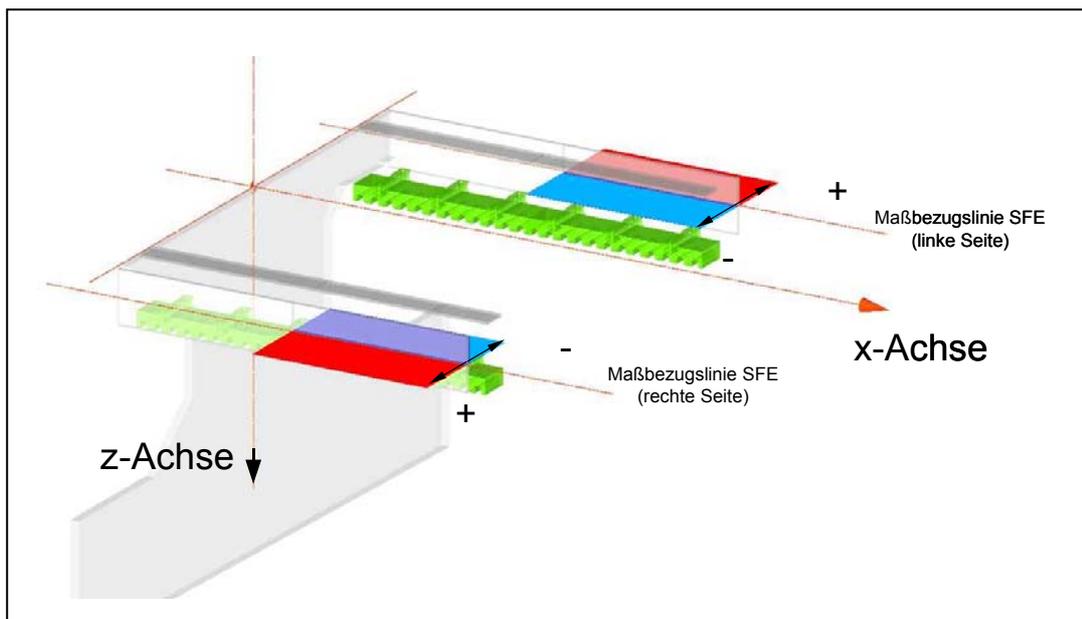


Figure 191 : Décalage SFE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Équation 7 et l'Équation 8

Ligne de référence des cotes SFE (côté gauche)

Axe x

Ligne de référence des cotes SFE (côté droit)

Axe z

- Règle de signe pour le décalage dans le plan du stator (SE) voir Figure 192 :

$$\Delta Z = -Z_i + Z_{i+1}$$
 Équation 9

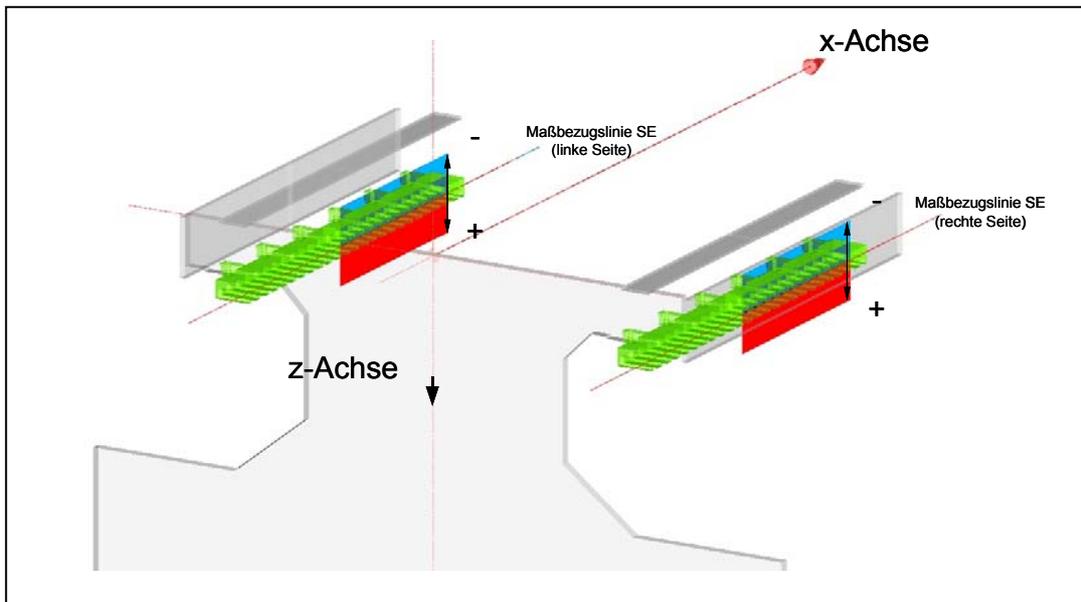


Figure 192 : Décalage SE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Équation 9

Axe x

Ligne de référence des cotes SE (côté gauche)

Ligne de référence des cotes SE (côté droit)

Axe z

- Règle de signe pour le décalage dans le plan de glissement (GE) voir Figure 193 :

$$\Delta Z = Z_i - Z_{i+1}$$

Équation 10

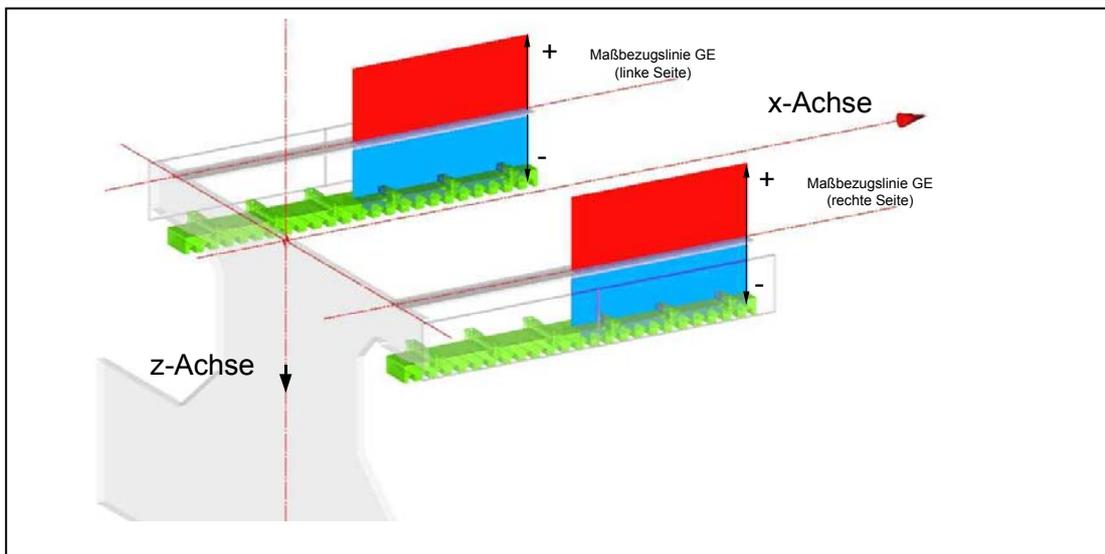


Figure 193 : Décalage GE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Équation 10

Ligne de référence des cotes GE (côté gauche)

Axe x

Ligne de référence des cotes GE (côté droit)

Axe z

- Règle de signe pour la modification de la largeur de la voie (S) voir Figure 194 :

$$\Delta y_s = -S_i + S_{i+1}; S_i = |y_{i_1}| + |y_{i_2}| \quad \text{Équation 11}$$

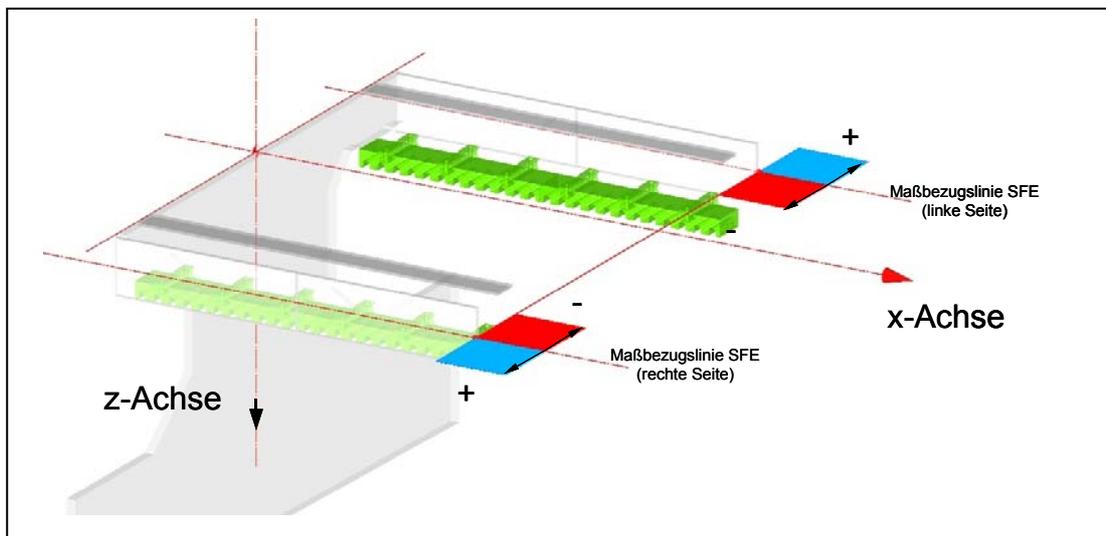


Figure 194 : Modification de la largeur de la voie, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Équation 11

Ligne de référence des cotes SFE (côté gauche)

Axe x

Ligne de référence des cotes SFE (côté droit)

Axe z

- La règle de signe pour le critère de modification de l'inclinaison du plan de guidage latéral (SFE) au sein du support, au niveau de la jonction des supports et à la transition entre éléments est extrapolée conformément à l'Équation 14 en tenant compte des écarts entre les points de mesure. Représentation graphique de la règle de signe, voir Figure 195 :

côté droit :

$$NGK_{SFE} = 2 * \left[ -y_i + \left( \frac{y_{i-1} + y_{i+1}}{2} \right) \right] \quad \text{Équation 12}$$

Côté gauche :

$$NGK_{SFE} = 2 * \left[ y_i - \left( \frac{y_{i-1} + y_{i+1}}{2} \right) \right] \quad \text{Équation 13}$$

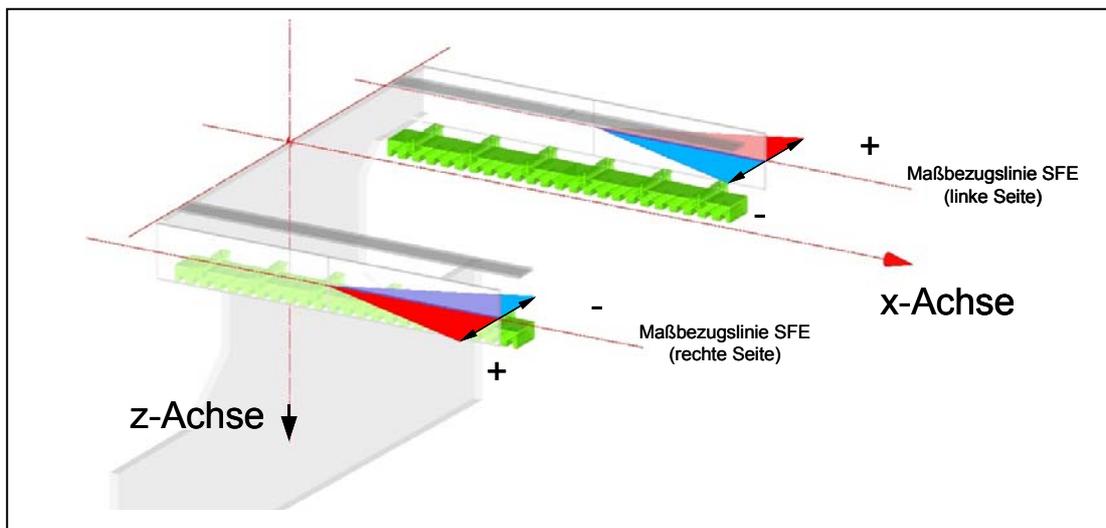


Figure 195 : Critère de variation de l'inclinaison SFE, plage de tolérance et détermination du signe l'équation 6 et l'Équation 13

Ligne de référence des cotes SFE (côté gauche)

Axe x

Ligne de référence des cotes SFE (côté droit)

Axe z

- Règle de signe pour le critère de variation de l'inclinaison du plan du stator (SE) sur quatre points de mesure (première et dernière dent pleine du paquet de tôles statoriques en numérotation continue ( $z_1, z_2, z_3$  et  $z_4$ )). Représentation graphique de la règle de signe, voir Figure 196 :

$$NGK_{SE} = [(z_1 - z_2) + (z_4 - z_3)] * \frac{1000}{860}$$

Équation 14

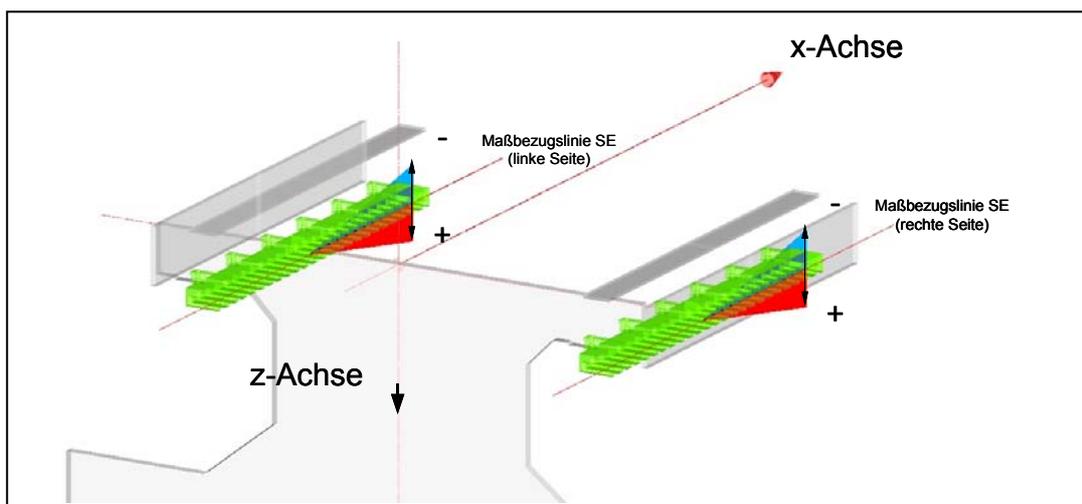


Figure 196 : Critère de variation de l'inclinaison SE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Équation 14

Axe x

Ligne de référence des cotes SE (côté gauche)

Ligne de référence des cotes SE (côté droit)

Axe z

- Règle de signe pour le critère de variation de l'inclinaison du plan de glissement (GE) voir Figure 197 :

$$NGK_{GLE} = 2 * \left[ z_i - \left( \frac{z_{i-1} + z_{i+1}}{2} \right) \right]$$

Équation 15

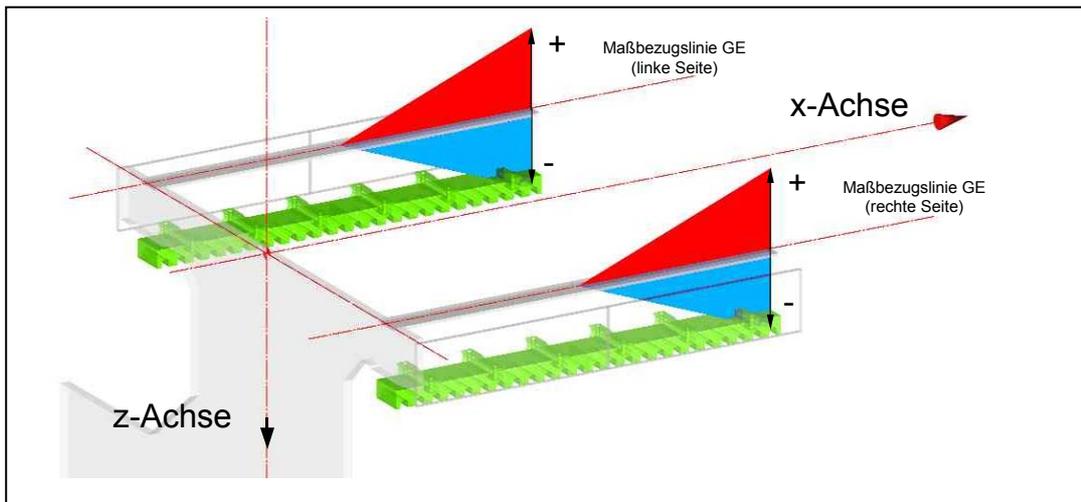


Figure 197 : Critère de variation de l'inclinaison GE, plage de tolérance avec affectation du signe selon l'Équation 15

Ligne de référence des cotes GE (côté gauche)

Axe x

Ligne de référence des cotes GE (côté droit)

Axe z

## Définitions et déterminations pour les tolérances et les variations de position

Les tolérances et variations de position décrites ci-après se rapportent exclusivement au système de coordonnées de fabrication des supports.

En se basant sur la disposition des appuis, la différence est faite entre les supports à une, deux et multiples travées ainsi qu'avec les installations de changement de voie.

Les voies en dalle sont considérées comme des supports à une travée lors de la détermination des plages de tolérances.

**Dans les figures ci-après, l'axe x du système de coordonnées reflète le développement de la courbe spatiale.**

### Pré-courbure voulue

*La pré-courbure voulue doit compenser la flexion du support de voie dans la direction z résultant de la charge du trafic (poids moyen de la rame en charge normale selon /MSB AG-FW BEM/) et en tenant en plus compte des différences de température spécifiques au projet dans la section transversale de la voie ( $\Delta T$  entre la ceinture supérieure et la ceinture inférieure) sous les conditions d'exploitation. Pour les supports en béton, il faut éventuellement tenir compte du comportement au fluage et à la contraction au cours des 25-30 premières années (voir (MSB-AG FW BEM/)).*

*L'objectif est d'obtenir une surface de référence la plus plane possible pour les plans fonctionnels de la voie orientés dans la direction z. Le tracé de la pré-courbure voulue se réfère ici généralement à la position du plan du stator sous les conditions d'exploitation (la position voulue à l'état opérationnel correspond ici au tracé de la courbe spatiale).*

*Pour déterminer la part de déformation à prendre en compte résultant de la différence de température de la voie, il faut fixer un  $\Delta T$  spécifique au projet (notamment en tenant compte de la configuration des supports, de leur matériau et de la distribution journalière type de la température dans les supports ainsi que de la position du gradient).*

*En position voulue hors charge, par exemple lors de la fabrication (par de charge de trafic, température homogène du composant ( $\Delta T = 0 K$ ), température du composant = température de référence spécifique au projet), les plans fonctionnels orientés dans la direction z (plan du stator, plan de glissement) sont ainsi pré-courbés vers le haut, voir Figure 198 (exception : détermination pour les installations de changement de voie, voir Figure 203).*

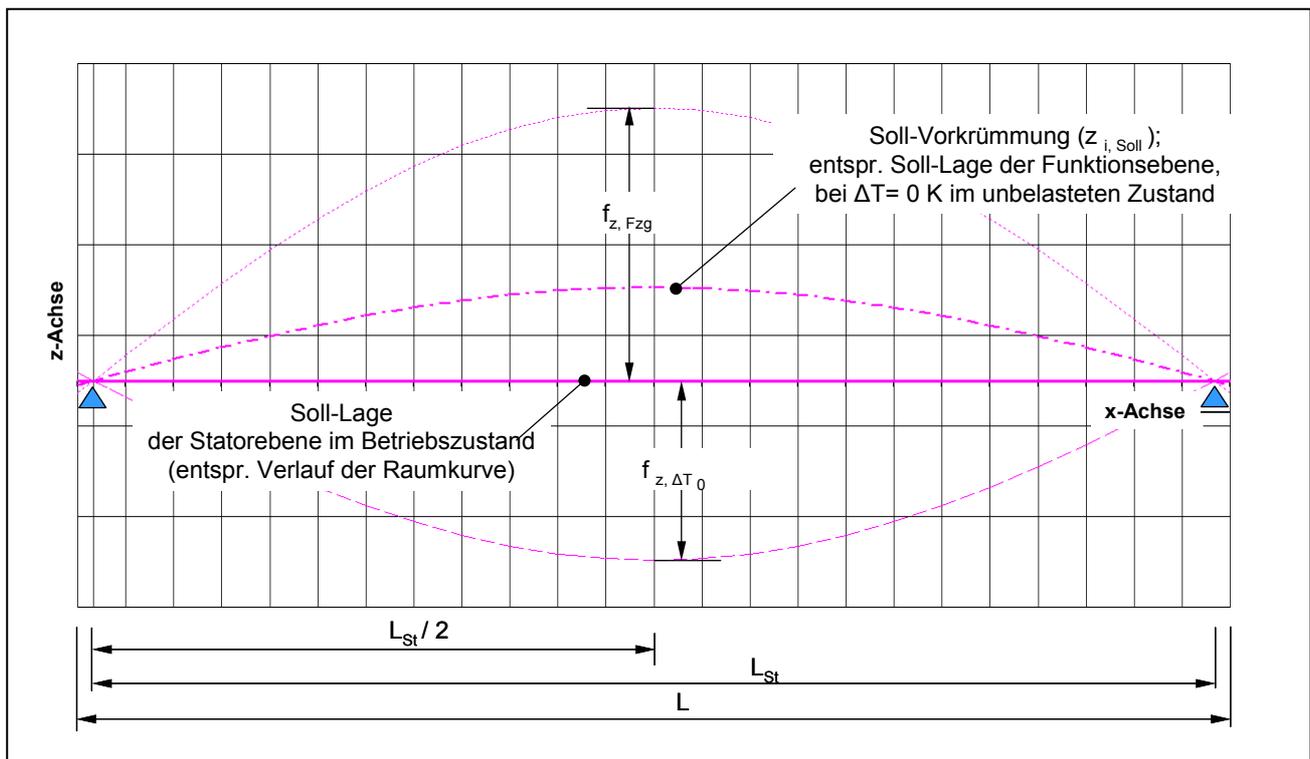


Figure 198 : Pré-courbure voulue et ses composantes (représentation sans prise en compte du comportement au fluage et à la contraction)

Pré-courbure voulue ( $Z_{L_{Soll}}$ ), correspond à la position voulue du plan fonctionnel avec  $\Delta T = 0 \text{ K}$  en l'absence de charge  
Axe z

Position voulue du plan du stator à l'état opérationnel (correspond au tracé de la courbe spatiale)  
axe x

### Pré-courbure voulue des supports à une travée

Le tracé de la pré-courbure voulue des supports à une travée entre les appuis de support peut être déterminé d'après l'Équation 16 (voir aussi Figure 201).

Des tangentes sont appliquées sur la courbe déterminée de la pré-courbure voulue au niveau des valeurs x des axes des appuis pour déterminer le tracé de la pré-courbure voulue dans les zones du support de voie entre les axes des appuis et le début ou la fin du support.

Tracé de la pré-courbure voulue, exemple pour la coordonnée z :

$$z_{i,Soll} = z_{\max} * \frac{384}{120} * \left( \frac{x_i}{L_{St}} - \frac{2 * x_i^3}{L_{St}^3} + \frac{x_i^4}{L_{St}^4} \right) \text{ [mm]} \quad \text{Équation 16}$$

Valeurs limites pour  $z_{\max} = f_{z, Fzg} - f_{z, \Delta T_0}$  selon /MSB AG-FW BEM/

### Pré-courbure voulue des supports à deux travées

Pour les supports à deux travées ayant la même largeur, le tracé de la pré-courbure voulue pour chaque travée peut être déterminé en fonction de la longueur du support et de la rigidité selon Équation 17 à partir de la flexion théorique maximale présente du support avec les deux travées en charge (voir aussi Figure 202).

Le maximum de la flexion se trouve à chaque fois à  $0,421 * L_{St}$  vu depuis l'axe de l'appui libre. Des tangentes sont appliquées sur la courbe déterminée de la pré-courbure voulue au niveau des valeurs  $x$  des axes des appuis pour déterminer le tracé de la pré-courbure voulue dans les zones du support de voie entre les axes des appuis libres et le début ou la fin du support.

Le tracé de la pré-courbure voulue des supports à deux travées avec des largeurs d'appui différentes ou des rigidités différentes des travées est à déterminer de manière analogue pour chaque  $L_i$ .

Tracé de la pré-courbure voulue, exemple pour la coordonnée  $z$  :

$$z_{i,Soll} = z_{max} * \frac{185}{48} * \left( \frac{x_i}{L_{St_i}} - \frac{3 * x_i^3}{L_{St_i}^3} + \frac{2 * x_i^4}{L_{St_i}^4} \right) \text{ [mm]} \quad \text{Équation 17}$$

Valeurs limites pour  $z_{max} = f_{z, Fzg} - f_{z, \Delta T_0}$  selon /MSB AG-FW BEM/

### Pré-courbure voulue des supports à plusieurs travées et des installations de changement de voie

Dans le cas des supports à plusieurs travées, il faut décider de la pré-courbure voulue à prendre en compte en fonction de la ligne de flexion qui s'établit et des flexions qui en résultent dans la direction  $z$  ainsi que de l'angle final de la tangente au début et à la fin du support.

Aucune pré-courbure voulue n'est généralement prise en compte pour les installations de changement de voie.

### Variation de grande amplitude

*La définition de la variation de grande amplitude se base fondamentalement sur la ligne de flexion caractéristique pour le support de voie à laquelle est associé un débattement (une flexion) maximale admissible par travée considérée dans les deux directions (+/-).*

Les limites supérieure et inférieure de la plage de tolérances de la variation de grande amplitude autour de la position voulue sont fixées comme suit (voir aussi Figure 201, Figure 202 et Figure 203):

- Dans le cas des supports à une et deux travées, la valeur  $x$  du maximum de la variation de grande amplitude coïncide avec la valeur  $x$  de la déformation théorique maximale de la voie résultant de l'effet de la charge.

- Le tracé du maximum au début ou à la fin du support de voie peut être décrit par l'Équation 18 pour les supports à une travée et par l'Équation 19<sup>28</sup> pour les supports à deux travées. Si une pré-courbure voulue est à prendre en compte dans le plan fonctionnel, les limites peuvent être déterminées de manière simplifiée d'après l'Équation 20.
- Dans le cas des supports à une et deux travées, les fonctions des lignes de flexion théoriques entre les points d'appui sont utilisées comme base pour déterminer la bande de tolérance de la variation de grande amplitude. Le début et la fin du support de la première ou de la dernière travée ainsi que les points d'appui prennent la valeur absolue « 0 ».

Il est supposé que les variations par rapport à « 0 » qui se produisent éventuellement lors de la fabrication au niveau des points d'appui sont compensées lors du montage et du positionnement précis.

- La détermination du tracé de la pré-courbure des systèmes à plusieurs travées (> 2 travées) n'entre pas dans le cadre du présent document.

*La position réelle de la variation de grande amplitude (voir Figure 199) peut être déterminée à partir des valeurs mesurées discrètes en se basant sur les fonctions à supposer (voir ci-dessus) à l'aide de la méthode du plus petit carré selon Gauss ou par compensation des surfaces.*

*Le tracé réel ainsi déterminé sous la forme  $f(x)$  du plan fonctionnel considéré, combiné avec la plage de tolérances superposée de la variation de faible amplitude, reflète les variations maximales possibles des valeurs mesurées discrètes par rapport à la position réelle de la variation de grande amplitude.*

*Le tracé possible de la position réelle de la variation de grande amplitude est ici limité par la plage de tolérances de cette dernière (voir Figure 201, Figure 202 et Figure 203).*

---

<sup>28</sup> En cas d'utilisation de l'Équation 19, la référence à  $L_i$  dans l'équation donne lieu à un  $x_i$  décalé pour la valeur maximale ( $\neq 0,421 \cdot L_{St}$ ). Il en résulte une modification insignifiante tolérable du tracé  $Y$  de la limite supérieure et inférieure de la plage de tolérances dans cette zone (variation < 0,01) mm.

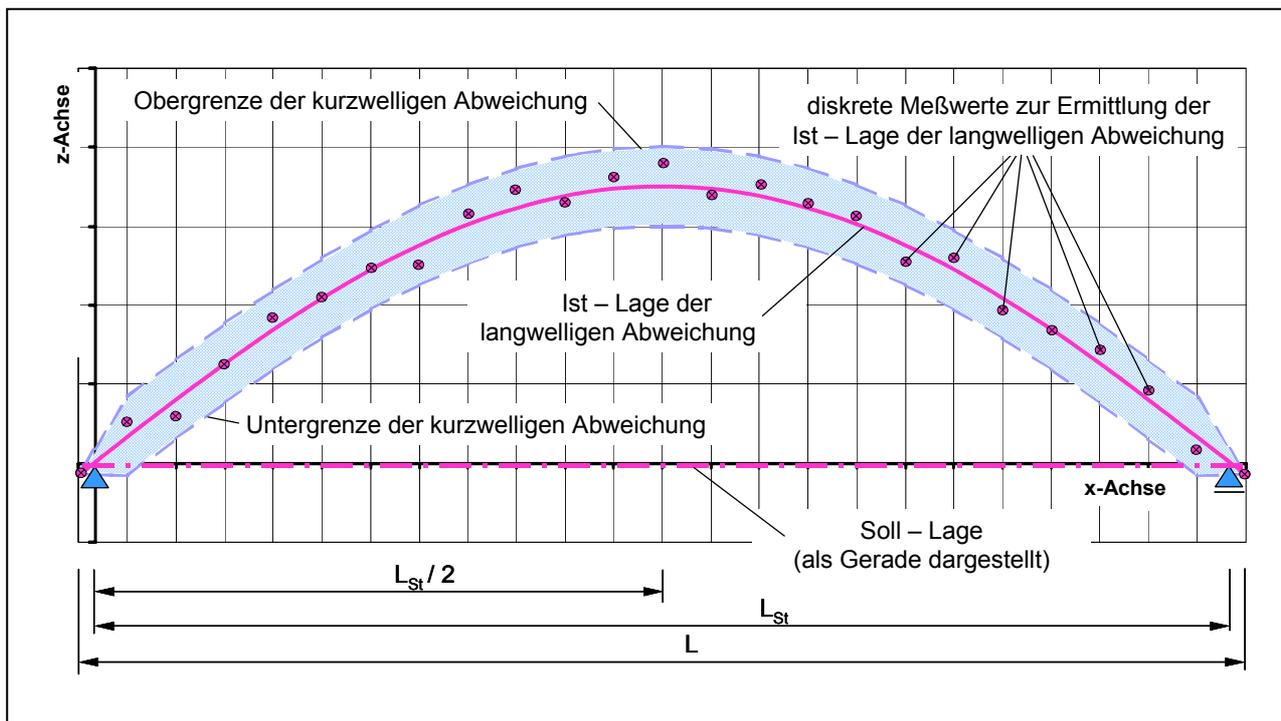


Figure 199 : Relation entre les valeurs mesurées discrètes, la position réelle de la variation de grande amplitude et les valeurs limites associées de la variation de faible amplitude

Axe z

Limite supérieure de la variation de faible amplitude

Valeurs mesurées discrètes pour la détermination de la position réelle de la variation de grande amplitude

Position réelle de la variation de grande amplitude

Limite inférieure de la variation de faible amplitude

Axe x

Position voulue (représentée sous la forme d'une droite)

Lors de la détermination de la variation de grande amplitude, il faut tenir compte du  $\Delta z_i$  prévu de la solution intermédiaire (chapitre 0) lors de l'utilisation des valeurs mesurées discrètes.

## Variation de grande amplitude des supports à une travée

Les représentations et équations ci-après à propos de la plage de tolérances de la variation de grande amplitude sont définies à titre d'exemple pour la coordonnée z et peuvent être utilisées de la même manière pour la coordonnée y.

Le tracé de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude des supports à une travée est décrit par l'équation suivante :

$$\Delta z_{i,Lw} = \pm \max \Delta z_{Lw} * \frac{384}{120} * \left( \frac{x_i}{L} - \frac{2 * x_i^3}{L^3} + \frac{x_i^4}{L^4} \right) \text{ [mm]} \quad \text{Équation 18}$$

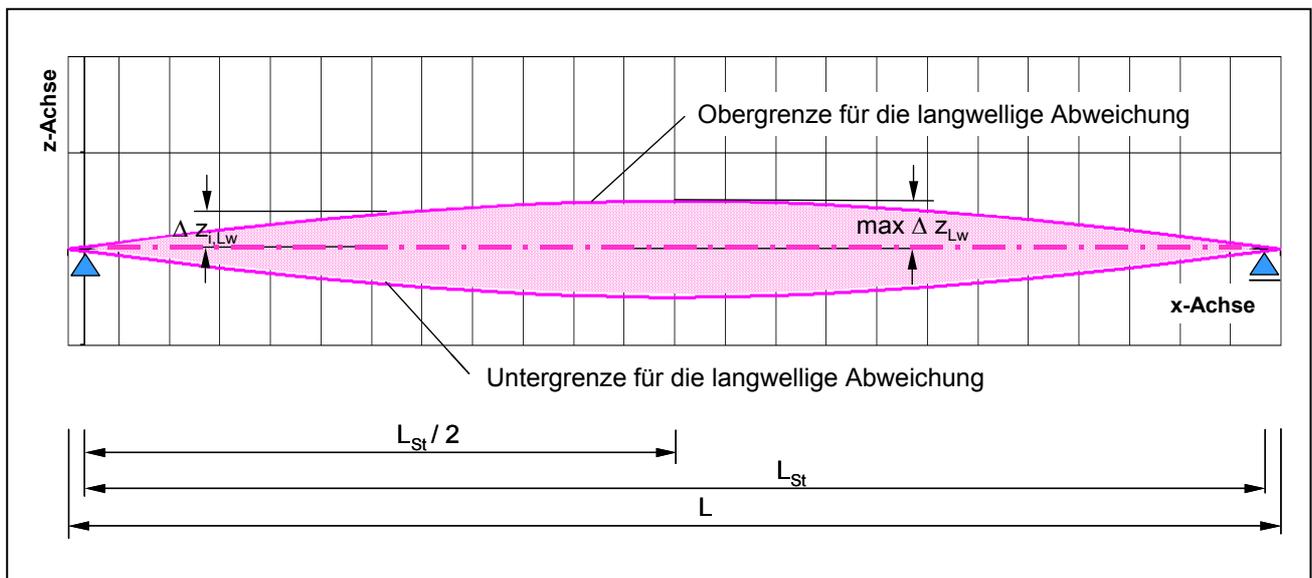


Figure 200 : Tracé et position de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude pour les supports à une travée sans pré-courbure sur l'exemple du SE

Axe z

Limite supérieure de la variation de grande amplitude

Axe x

Limite inférieure de la variation de grande amplitude

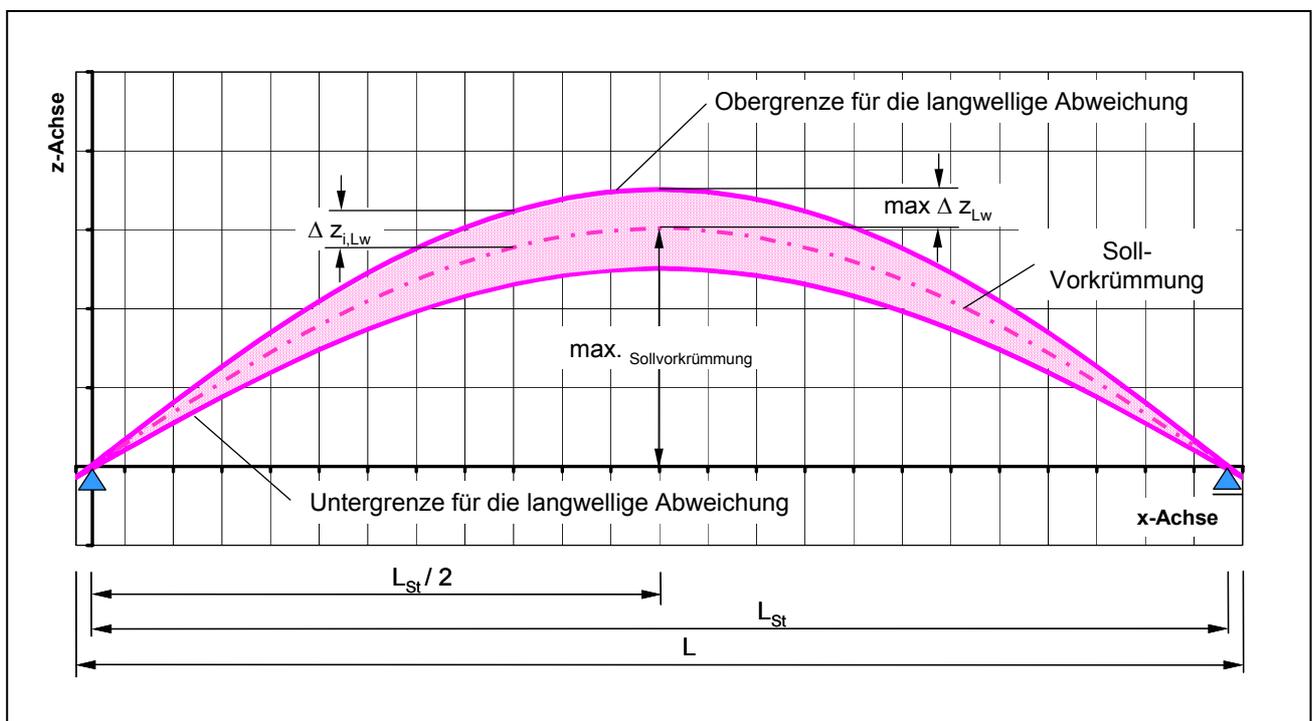


Figure 201 : Tracé et position de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude pour les supports à une travée avec pré-courbure sur l'exemple du SE

*Axe z*

*Limite supérieure de la variation de grande amplitude*

*Pré-courbure voulue*

*max. pré-courbure voulue*

*Limite inférieure de la variation de grande amplitude*

*Axe x*

### Variation de grande amplitude pour les supports à deux travées et plus et les installations de changement de voie

Les représentations et équations ci-après à propos de la plage de tolérances de la variation de grande amplitude sont définies à titre d'exemple pour la coordonnée  $z$  et peuvent être utilisées de la même manière pour la coordonnée  $y$ .

Le tracé de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude des supports à deux travées dans la zone entre le début ou la fin du support et l'appui central est décrit par l'équation suivante :

$$\Delta z_{i,Lw} = \pm \max \Delta z_{Lw} * \frac{185}{48} * \left( \frac{x_i}{L_i} - \frac{3 * x_i^3}{L_i^3} + \frac{2 * x_i^4}{L_i^4} \right) \text{ [mm]} \quad \text{Équation 19}$$

L'équation suivante permet une détermination simplifiée de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude avec un plan fonctionnel à pré-courbure pour les supports à une et deux travées entre le début ou la fin du support et l'appui central :

$$\Delta z_{i,Lw} = \pm \frac{z_{i,Soll}}{\max z_{Soll}} \text{ [mm]} \quad \text{Équation 20}$$

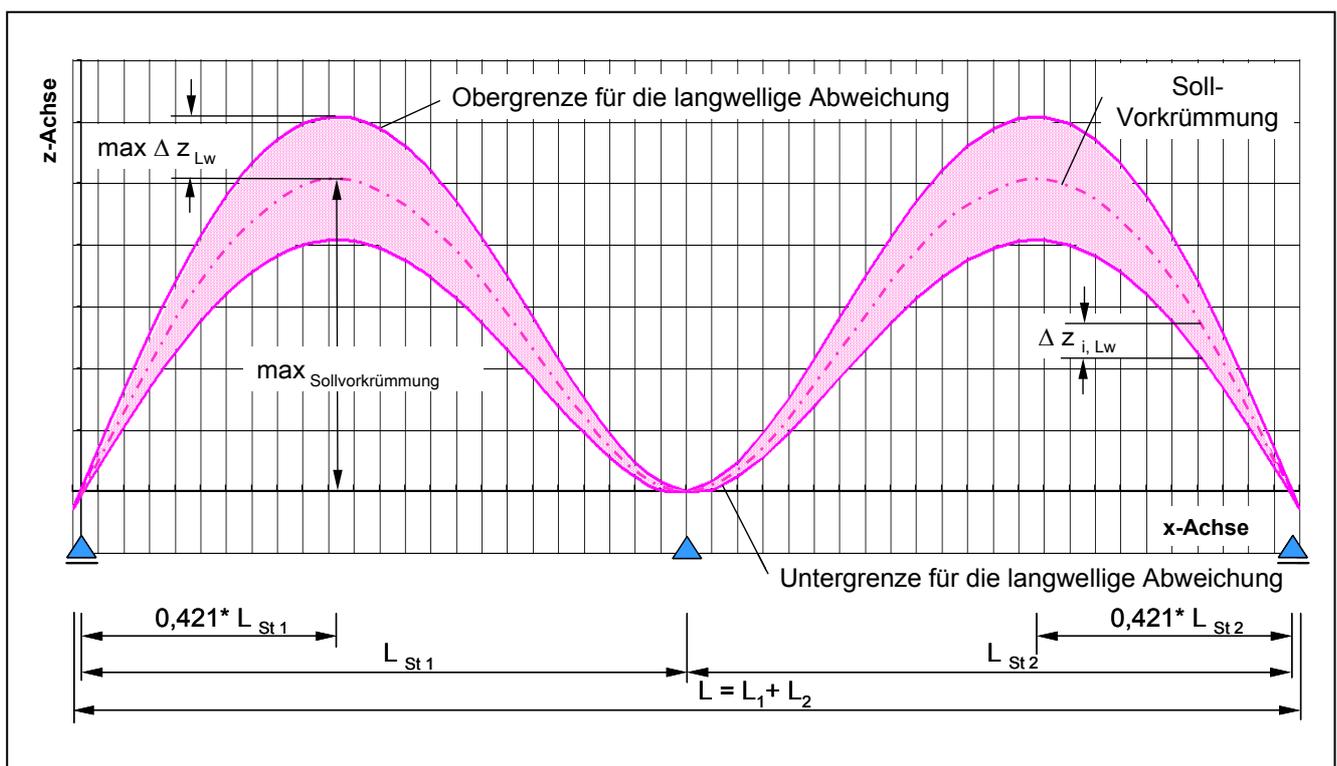


Figure 202 : Tracé et position de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude pour les supports à deux travées avec pré-courbure sur l'exemple du SE

Axe  $z$

Limite supérieure de la variation de grande amplitude

Pré-courbure voulue

max. pré-courbure voulue

Axe x

Limite inférieure de la variation de grande amplitude

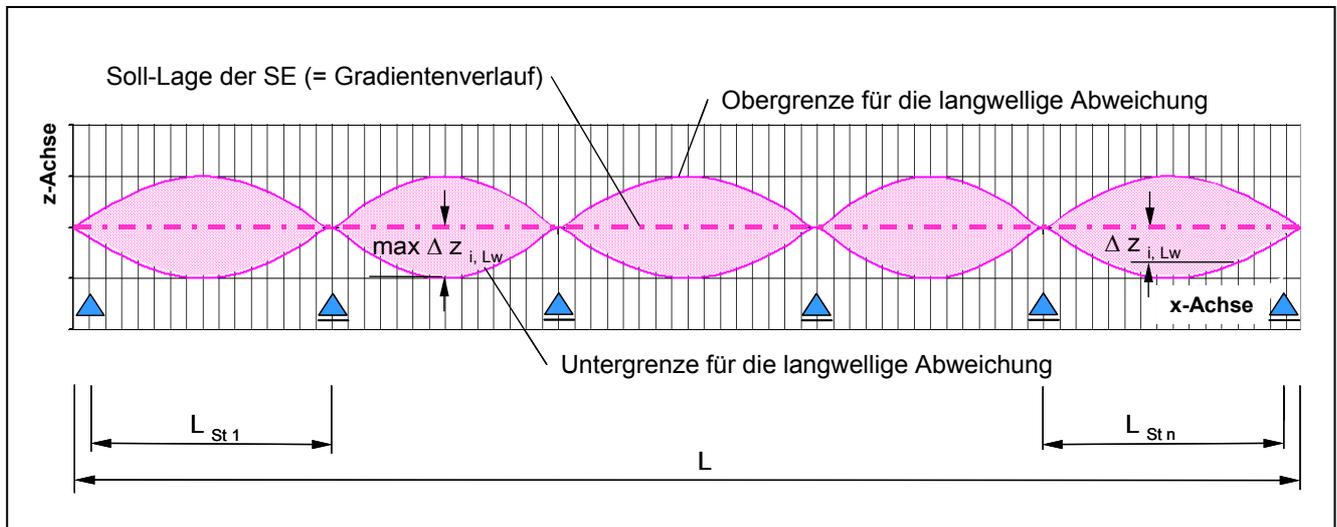


Figure 203 : Tracé et position de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude pour les supports à deux travées sans pré-courbure sur l'exemple du SE

Position voulue du SE (= tracé du gradient)

Axe z

Limite supérieure de la variation de grande amplitude

Axe x

Limite inférieure de la variation de grande amplitude

## Variation de faible amplitude

La variation de faible amplitude est superposée à la position réelle de la variation de grande amplitude. Elle contient toutes les tolérances de matériau, de fabrication et de montage des éléments qui déterminent le plan fonctionnel.

La plage de tolérance doit contenir à la fois toutes les valeurs absolues des points de mesure locaux de la surface fonctionnelle et toutes les plages entre les points de mesure individuels.

La fourchette de tolérance est constante sur la longueur du support de voie, à part la zone directement au début et à la fin du support (voir aussi Figure 204, Figure 205 et Figure 206).

La configuration au début et à la fin du support est marquée par le NGK admissible (chapitre 0).

Les représentations et équations ci-après à propos de la variation de faible amplitude sont définies à titre d'exemple pour la coordonnée z et peuvent être utilisées de la même manière pour la coordonnée y.

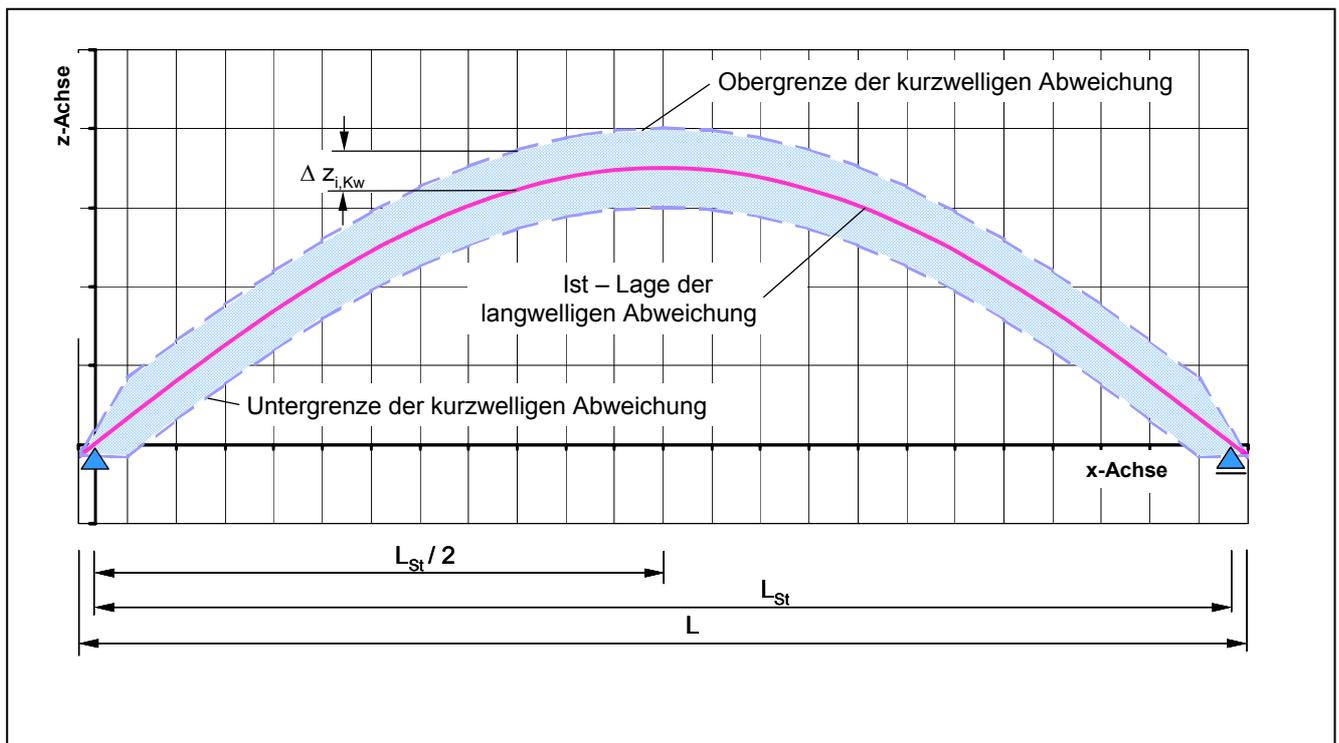


Figure 204 : Tracé de la plage de tolérance de la variation de faible amplitude pour les supports à une travée avec pré-courbure sur l'exemple du SE

Axe z

Limite supérieure de la variation de faible amplitude

Position voulue de la variation de faible amplitude

Limite inférieure de la variation de faible amplitude

Axe x

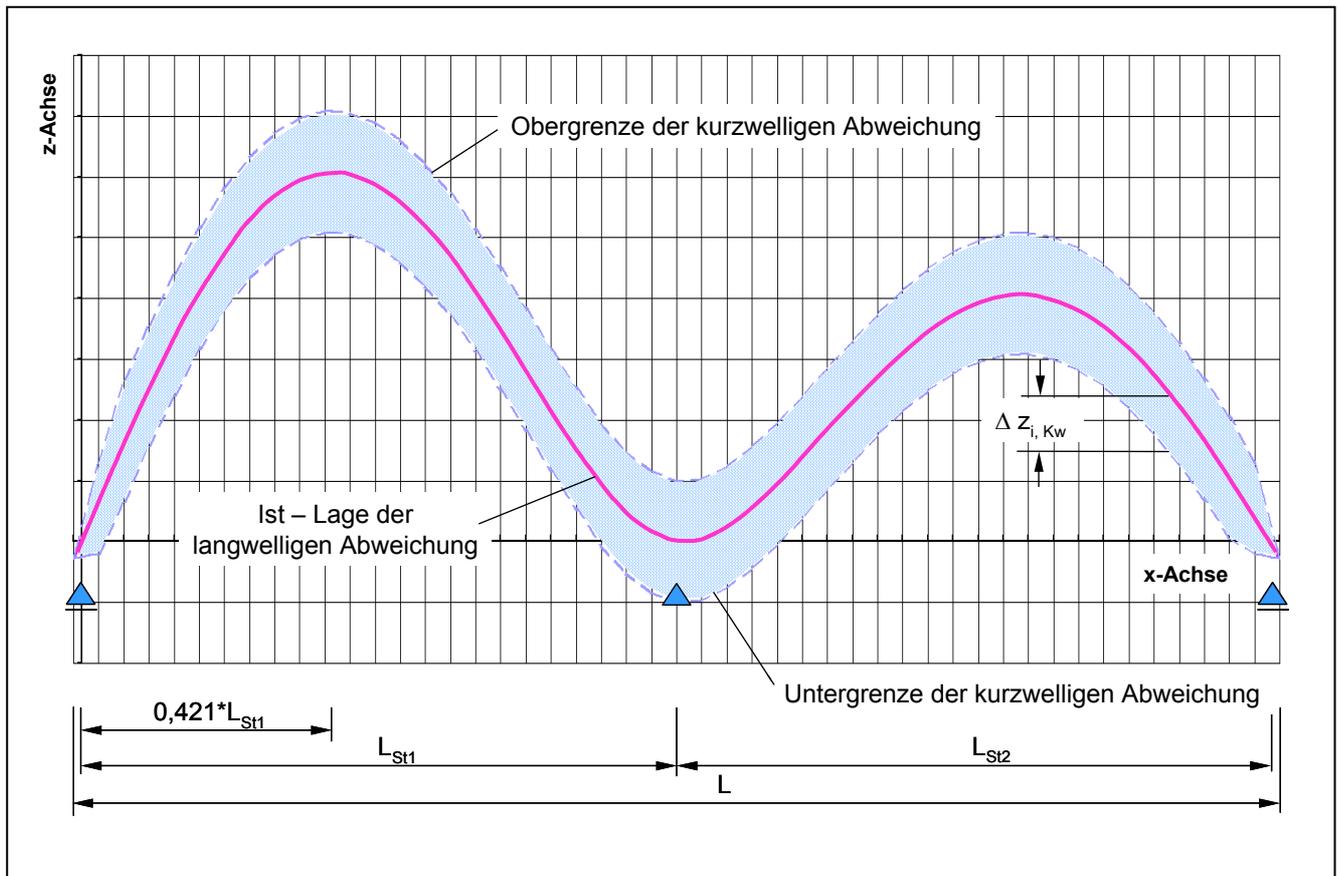


Figure 205 : Tracé de la plage de tolérance de la variation de faible amplitude pour les supports à deux travées avec pré-courbure voulue et référence à la position réelle de la variation de grande amplitude sur l'exemple du SE

Axe z

Limite supérieure de la variation de faible amplitude

Position voulue de la variation de faible amplitude

Limite inférieure de la variation de faible amplitude

Axe x

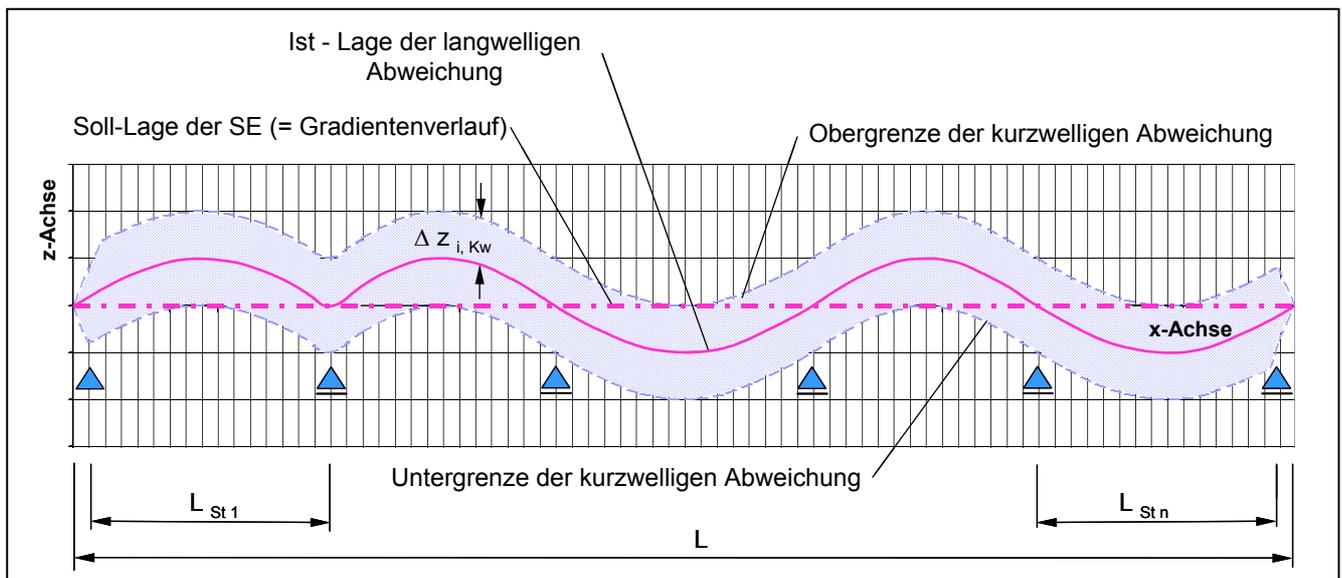


Figure 206 : Tracé de la plage de tolérance de la variation de faible amplitude d'une installation de changement de voie par rapport à la position réelle de la variation de grande amplitude sur l'exemple du SE

*Position réelle de la variation de grande amplitude*

*Position voulue du SE (= tracé du gradient)*

*Limite supérieure de la variation de faible amplitude*

*Axe z*

*Axe x*

*Limite inférieure de la variation de faible amplitude*

## Critère de modification de l'inclinaison

*Le critère de modification de l'inclinaison (NGK) désigne la variation angulaire en mm, déterminée aux points de mesure définis au point 0 de deux éléments partiel voisins de 1 m de long d'un plan fonctionnel dans le sens de la longueur de la voie (axe x).*

*Il faut se baser sur la considération suivante lors de l'évaluation du NGK :*

*Un NGK qui se trouve dans le support peut être considéré comme indépendant de l'exploitation et de la température pour la prise en compte des tolérances.*

*Le NGK qui s'établit au niveau de la transition entre supports, par contre, possède :*

- *une part fixe résultant de la fabrication du support, laquelle est déterminée par la proportion de pré-courbure voulue et la définition de la plage de tolérances de la variation de faible amplitude au début et à la fin du support,*
- *en plus une part variable qui dépend de la déformation du support sous les effets de la charge et de la température au point d'installation pendant la période d'exploitation.*

Cela veut dire qu'il faut définir les plages de tolérances de la variation de faible amplitude au début et à la fin du support en fonction des propriétés de déformation de ce dernier et en tenant compte des valeurs limites techniquement compatibles avec le système, voir /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le NGK admissible au début et à la fin du support ne doit généralement pas dépasser la moitié de la valeur autorisée dans le support de voie, en référence à la position voulue (et ne tenant compte de la pré-courbure voulue).

Les NGK sont déterminés selon l'Équation 21, voir la Figure 207.

Exemple d'équation pour la coordonnée Z.

$$NGK_i = \left[ \left( \frac{z_i - z_{i-1}}{L_1} \right) + \left( \frac{z_i - z_{i+1}}{L_2} \right) \right] \quad \text{Équation 21}$$

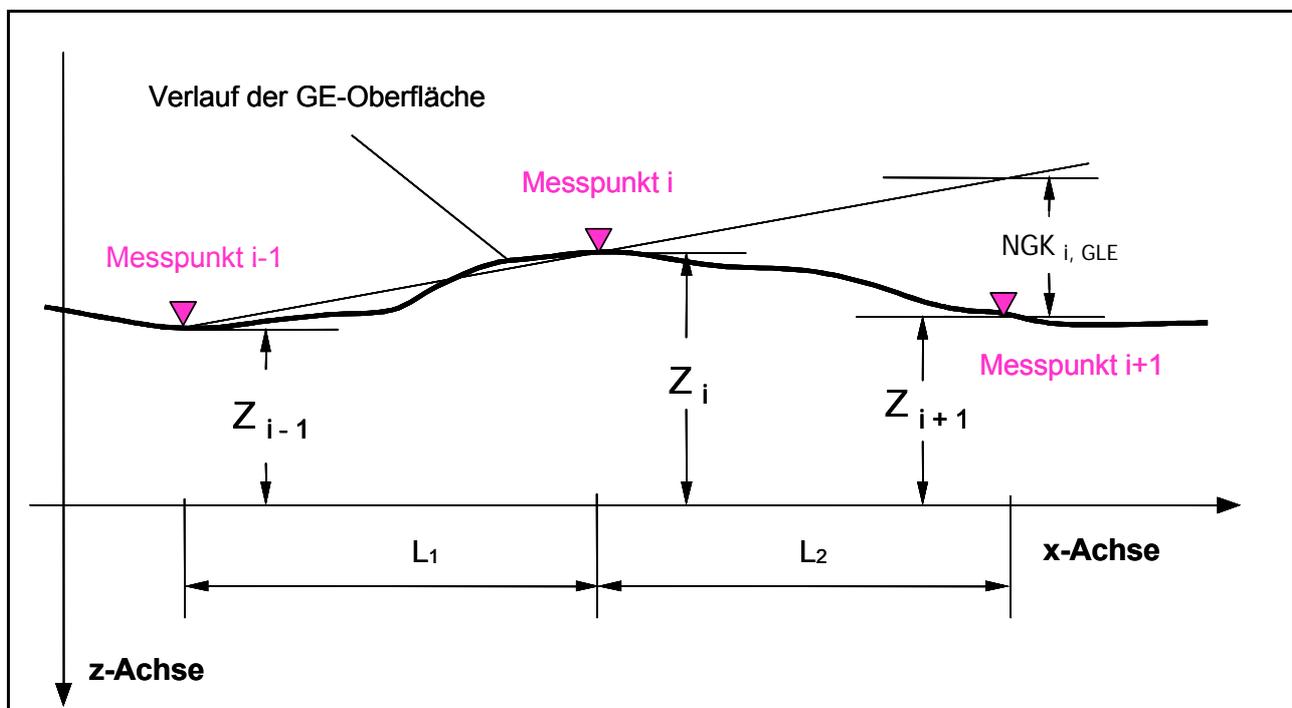


Figure 207 : Représentation du critère de modification de l'inclinaison sur l'exemple du GE

Tracé de la surface du GE

Point de mesure i-1

Point de mesure i

Point de mesure i+1

Axe x

Axe z

## Solution intermédiaire

Pour adapter la plage de tolérance de la variation de faible amplitude au début et à la fin du support avec pour objectif de respecter le critère de modification de l'inclinaison du plan fonctionnel (selon /MSB AG-GESAMTSYS/) sous toutes les conditions opérationnelles (différence de température réelle max. entre la ceinture supérieure et inférieure du support ; géométrie du support dans la situation d'un support en charge par rapport à un support hors charge), la position du plan fonctionnel au début et à la fin du support peut être optimisée à l'aide de la solution intermédiaire au début et à la fin du support. La référence est formée par les points de mesure qui se trouvent sur l'axe x (voir Figure 185).

La solution intermédiaire n'est actuellement utilisée que dans le SE en fonction de la capacité de charge dans la direction z.

La procédure de principe pour la détermination de la position voulue est représentée dans la Figure 208.

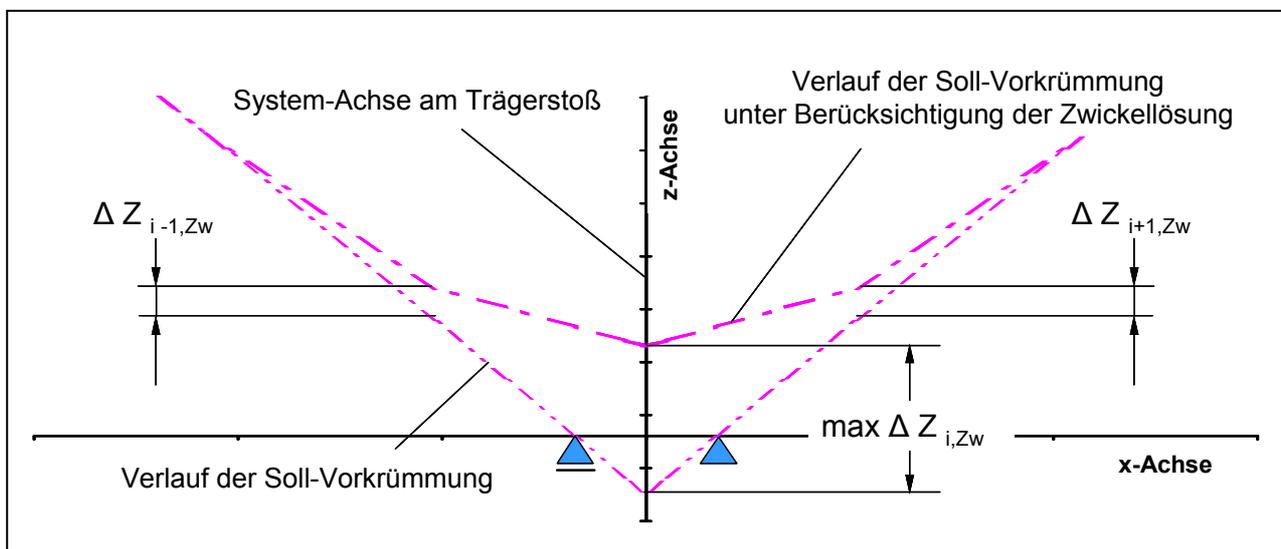


Figure 208 : Exécution de la solution intermédiaire dans le SE

Axe du système à la jonction des supports

Axe z

Tracé de la pré-courbure voulue en tenant compte de la solution intermédiaire

Tracé de la pré-courbure voulue

Axe x

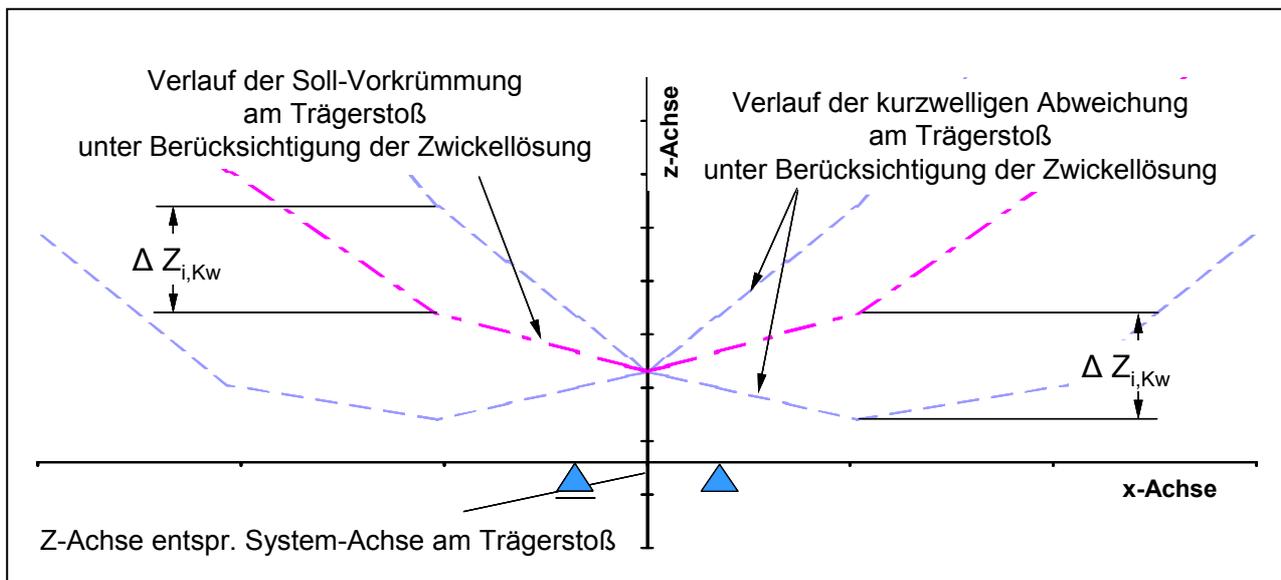


Figure 209 : Tracé de la variation de faible amplitude du SE au niveau de la transition entre supports en utilisant la solution intermédiaire

*Tracé de la pré-courbure voulue à la jonction des supports en tenant compte de la solution intermédiaire*

*Axe z*

*Tracé de la variation de faible amplitude à la jonction des supports en tenant compte de la solution intermédiaire*

*Axe x*

*Axe Z, correspond à l'axe du système au point de jonction*

*La prise en compte de la solution intermédiaire au moment de la fabrication du support provoque un décalage de la plage de tolérances de la variation de faible amplitude dans la zone du début et de la fin du support, voir Figure 209.*

## Décalage

*Le décalage désigne la différence de valeurs absolues de deux éléments voisins du plan fonctionnel, voir Figure 210 et Figure 211.*

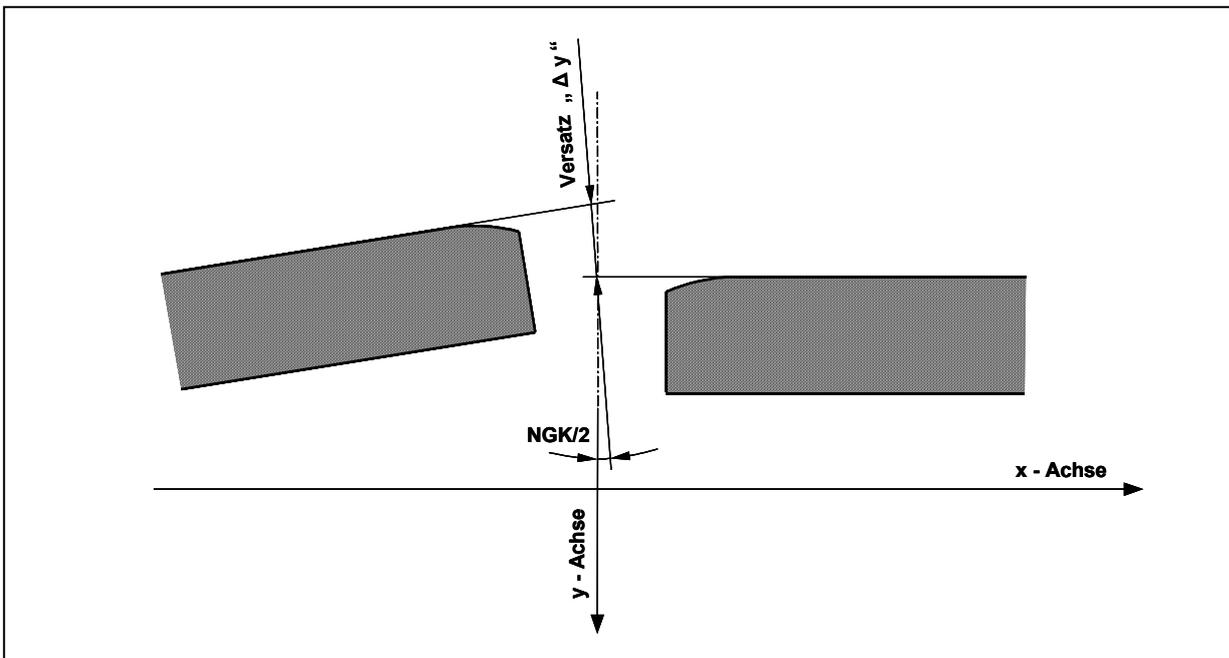


Figure 210 : Représentation d'un décalage négatif au niveau du SFE avec NGK superposé

*Décalage  $\Delta y$*

*Axe y*

*Axe x*

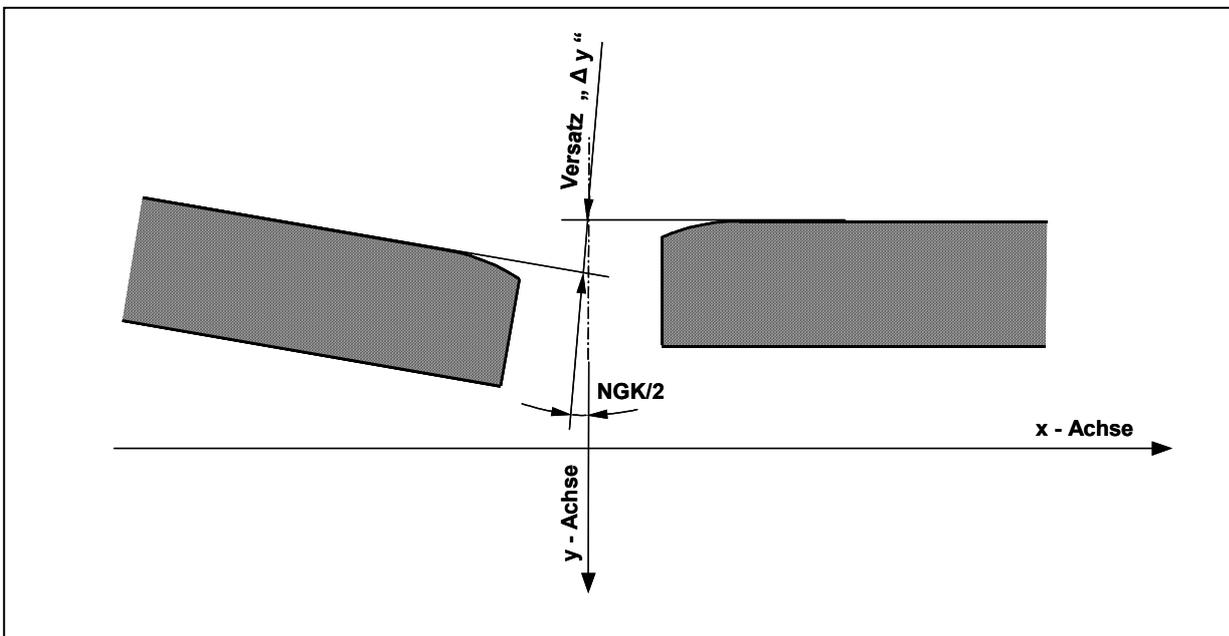


Figure 211 : Représentation d'un décalage positif au niveau du SFE avec NGK superposé

*Décalage  $\Delta y$*

*Axe y*

*Axe x*

## Basculement

Le basculement désigne la torsion du plan fonctionnel au point de mesure (Figure 185) autour de l'axe longitudinal du plan fonctionnel (axe  $x$ ).

## Tolérance d'inclinaison transversale

Si un plan fonctionnel ou un paramètre géométrique comme l'inclinaison transversale de la voie est composé de deux surfaces partielles ou plus (par exemple SE de droite et de gauche), la tolérance d'inclinaison transversale reflète alors la variation de la valeur moyenne des positions réelles (par exemple  $z_{i,ist}$ ) des surfaces partielles respectives au même point de référence  $x_i$  par rapport à la position voulue.

La tolérance d'inclinaison latérale n'est définie qu'à l'intérieur du support et contient les tracés réels de la plage de tolérances des variations de faible amplitude des plans fonctionnels concernés.

## Superposition des tolérances et des variations de position

Les variations de position et les tolérances mentionnées dans les chapitres précédentes sont respectivement définies pour le point de mesure. Un décalage observé sur toute l'expansion du plan fonctionnel dans le sens  $y$ , par exemple, est ainsi la somme des parts de décalage et de la part de basculement associée (voir Figure 212).

Les valeurs du NGK reflètent à présent la variation angulaire pure des plans fonctionnels voisins en excluant les décalages supplémentaires éventuellement présents (voir Figure 210 et Figure 211).

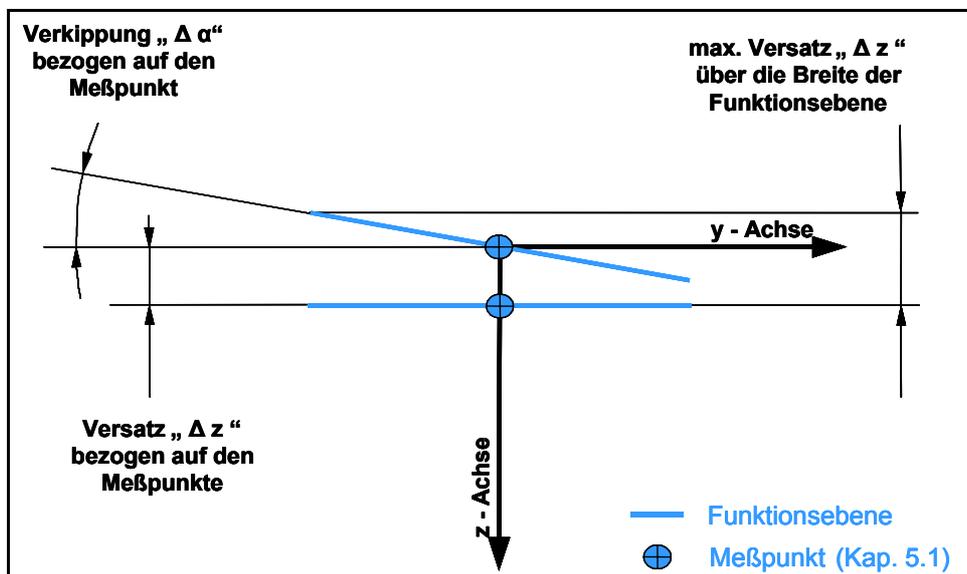


Figure 212 : Superposition du décalage et du basculement sur des plans fonctionnels voisins identiques (par exemple au niveau des paquets de tôles statoriques dans le plan du stator)

*Basculement «  $\Delta\alpha$  » en référence au point de mesure*

*Décalage maximum «  $\Delta z$  » sur la largeur du plan fonctionnel*

*Axe y*

*Décalage «  $\Delta z$  » en référence aux points de mesure*

*Axe z*

*Plan fonctionnel*

*Point de mesure (chapitre 5.1)*

*L'influence mutuelle des variations de position et des tolérances individuelles est représentée dans les chapitres suivants à chaque fois sous la forme d'une vue d'ensemble en association avec le plan fonctionnel.*

## Tolérance et variations de position admissibles

### Tolérances et variations de position pour le plan du stator (SE)

L'influence mutuelle des variations de position et des tolérances individuelles du SE dans la coordonnée z

est représentée dans la vue d'ensemble ci-après (Figure 213).

Les relations dans les coordonnées x et y n'ont pas été représentées, car elles sont de moindre importance.

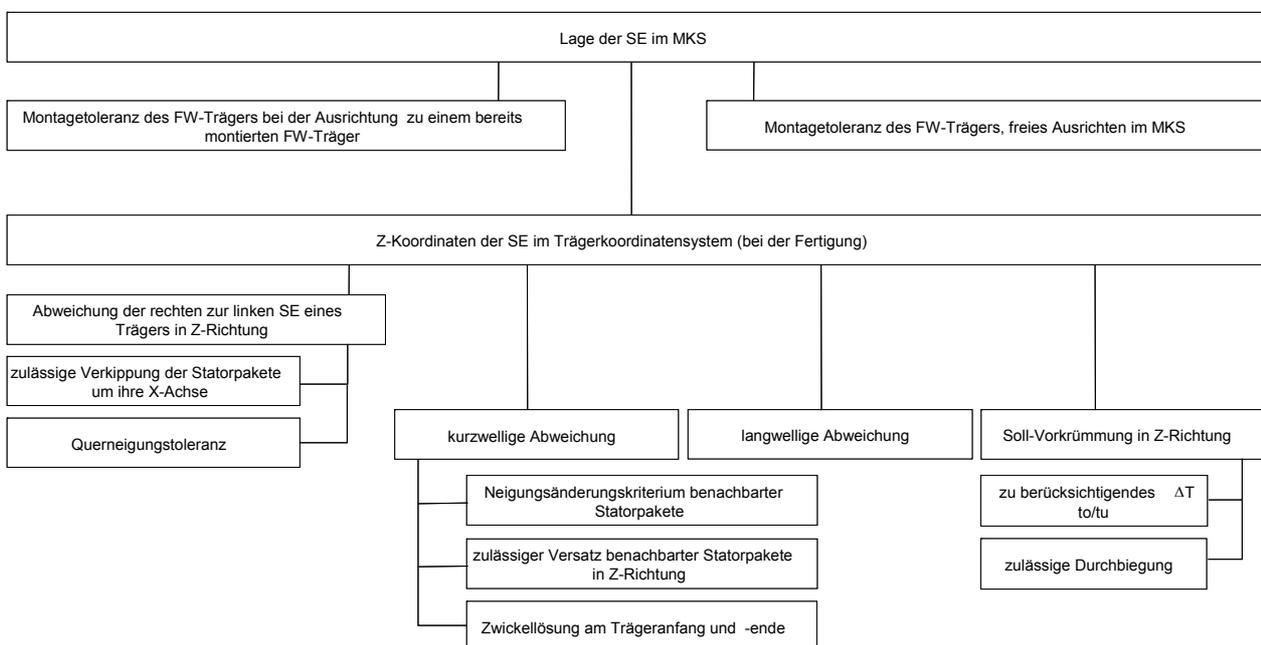


Figure 213 : Tolérances et variations de position du plan du stator (SE) et interdépendances de celles-ci

#### Position du SE dans le MKS

*Tolérance de montage du support de voie lors de l'alignement par rapport à un support de voie déjà monté*

*Tolérance de montage du support de voie, alignement libre dans le MKS*

*Coordonnées Z du SE dans le système de coordonnées du support (lors de la fabrication)*

*Variation entre le SE de gauche et de droite d'un support dans le sens Z  
Basculement admissible des paquets de tôles statoriques autour de leur axe X  
Tolérance d'inclinaison transversale*

*Variation de faible amplitude*

*Critère de modification de l'inclinaison pour des paquets de tôles statoriques voisins*

*Décalage admissible pour des paquets de tôles statoriques voisins dans le sens Z  
Solution intermédiaire au début et à la fin du support*

*Variation de grande amplitude*

*Pré-courbure voulue dans le sens Z*

*$\Delta T$  à prendre en compte*

*Flexion admissible*

### **Variation de position admissible des paquets de tôles statoriques dans le sens x**

La position voulue des paquets de tôles statoriques individuel dans le support de voie et ainsi leur positionnement dans le

sens x sont prédéfinis en fonction du projet et en considération de /MSB AG-GESAMTSYS/.

Il faut de plus tenir compte de la position prévue du câble de l'enroulement moteur au niveau des transitions des supports de voie.

Les tolérances de fabrication pour l'accueil des paquets de tôles statoriques sont à choisir de telle sorte que l'observation des indications de /MSB AG-FW BEM/ (charge et déformation de la voie) permet d'éviter tout contact avec les paquets de tôles voisins dans le sens x. Les écarts mécaniques au niveau des surfaces frontales des paquets de tôles statoriques dans la travée du support doivent être compris entre 0,5 mm et 2 mm.

**Variation de position admissible de l'axe central du stator long dans le sens y**

La variation de position admissible de l'axe central du stator long (voir Figure 185) dans le sens y par rapport à la position voulue est en moyenne de :

$$\Delta y_{\max} = \pm 2 \text{ mm}$$

**Tolérances du SE dans le sens z****Pré-courbure voulue**

Le tracé théorique entre les axes d'appui des supports à une et deux travées peut être déterminé selon l'Équation 16 ou l'Équation 17. Pour les éléments à plusieurs travées, il faut utiliser des équations similaires pour la flexion. Il faut utiliser pour  $z_{\max}$  la flexion caractéristique du support correspondant sous la charge de la rame.

La détermination de la flexion admissible s'effectue selon /MSB AG-FW BEM/.

Lors du calcul de la pré-courbure voulue, il faut tenir compte de la déformation du support résultant de la différence de température à l'intérieur de la section transversale de celui-ci  $\Delta T_{Be}$  selon /MSB AG-FW BEM/.

**Variation de grande amplitude du SE**

Le tracé de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude en rapport avec le tracé de la pré-courbure voulue est décrit comme suit en fonction du type de support :

Support à une travée

$$X_{\text{Trägeranfang}} < X_i < X_{\text{Trägerende}} \quad \Delta z_{i,Lw} \quad \Rightarrow \text{Équation 18 ou Équation 20}$$

Support à deux travées

$$X_{\text{Trägeranfang}} \leq X_i \leq X_{L_1} \quad \Delta z_{i,Lw} \quad \Rightarrow \text{Équation 19 ou Équation 20}$$

$$X_{L_2} \leq X_i \leq X_{\text{Trägerende}} \quad \Delta z_{i,Lw} \quad \Rightarrow \text{Équation 19 ou Équation 20}$$

En cas d'utilisation de l'Équation 18 et de l'Équation 19 pour déterminer la limite supérieure et inférieure, il faut employer

$$\max \Delta z_{Lw} = 1 \text{ mm}$$

Support à plusieurs travées (installations de changement de voie)

$X_{\text{Trägeranfang}} \leq X_i \leq X_{L_1}$        $\Delta Z_{i,Lw} \Rightarrow$  suit la description mathématique de la ligne de flexion \*

$X_{L_1} \leq X_i \leq X_{L_n}$        $\Delta Z_{i,Lw} \Rightarrow$  suit la description mathématique de la ligne de flexion \*

$X_{L_n} \leq X_i \leq X_{\text{Trägerende}}$        $\Delta Z_{i,Lw} \Rightarrow$  suit la description mathématique de la ligne de flexion \*

\* voir chapitre 0 ;  $\max \Delta Z_{i,Lw} = 1\text{mm}$        $i =$  nombre de travées

### Variation de faible amplitude par rapport à la position réelle du SE (variation de grande amplitude), tolérances à la jonction des supports

Le tracé de la plage de tolérance de la variation de faible amplitude en rapport avec le tracé de la variation de grande amplitude réelle est décrit uniformément pour les supports à une et à deux travées par les données de référence suivantes :

$$\begin{aligned} X_{\text{Trägeranfang}} > X_{\text{Trägerende}} & \quad \Delta z = 0 \\ X_{\text{Trägeranfang}} < X_i < X_{0+n*1032} ; X_{L-n*1032} < X_i < X_{\text{Trägerende}} , n = 1, 2.. & * \Delta z_i \leq \pm 1\text{mm} \\ X_{0+n*1032} < X_i < X_{L-n*1032} & \quad \Delta z = \pm 1\text{mm} \end{aligned}$$

\* n est à déterminer en respectant le NGK maximum admissible

### Critère de modification de l'inclinaison au sein de la variation de faible amplitude

À l'intérieur de la plage de tolérances de la variation de faible amplitude, il faut respecter dans le plan du stator, pour préserver les relations de voisinage, un NGK de

$$\text{NGK}_{SE} \leq 1,5\text{mm}$$

Pour la détermination du tracé de la plage de tolérances du SE au début et à la fin du support (transition entre supports), il faut tenir compte des valeurs limites techniques du système résultant de /MSB AG-GESAMTSYS/ ainsi que les valeurs limites admissibles de /MSB AG-FW BEM/. Il faut utiliser la valeur suivante comme base initiale, en rapport avec le tracé voulu du plan fonctionnel :

$$\text{NGK}_{SE, \text{Anfang;Ende}} \leq 0,75\text{mm}$$

Il faut impérativement indiquer aussi les conditions de mesure et les références pour le NGK à définir ici pour les dimensions de contrôle et de réception.

**Décalages / basculement admissibles du SE**

Les tolérances indiquées ci-après se rapportent aux points de mesure selon la Figure 185. Le point de mesure utilisé dans la direction x est à chaque fois la première et la dernière dent pleine du paquet de tôles statoriques voisin (voir chapitre 0).

Les tolérances sont identiques pour tous les types de construction de la voie.

- Décalages :

à l'intérieur du support

$$|\Delta z_{i_{\max}}| = 0,4 \text{ mm}$$

au niveau de la jonction entre supports

$$|\Delta z_{i_{\max}}| = 0,6 \text{ mm}$$

Le décalage au niveau de la jonction entre supports est ici une pure tolérance de montage qui ne s'établit qu'après le positionnement précis du support.

Le décalage maximum autorisé du SE en cas de défaillance de la fixation primaire doit être défini spécifiquement au projet.

- Basculement (en référence au point de mesure dans LA) :

$$\Delta \alpha_{SE_{\max}} = \pm \arctan(0,2\text{mm}/92,5\text{mm})$$

**Tolérance d'inclinaison transversale du SE**

La tolérance d'inclinaison transversale n'est définie que pour les supports à une et deux travées.

$X_{\text{Trägeranfang}} ; X_{\text{Trägerende}}$

à fixer mathématiquement pour  $\Delta \alpha = 0^\circ$

$X_{\text{Trägeranfang}} < X_i < X_{\text{Trägerende}}$

$$\Delta \alpha_{\max} = \pm \arctan(2\text{mm}/1110\text{mm})^*$$

\* n'est autorisé qu'à la condition que les tolérances pour chacun des SE considérés individuellement soient respectées.

**Tolérances et variations de position du plan des rails de guidage latéraux (SFE)**

La position des deux plans de guidage latéraux est déterminante pour l'alignement horizontal (suivi de la voie) de la rame de TSM. Les deux plans sont accouplés par le biais de la largeur de voie. La position voulue dans le système de coordonnées de fabrication des supports est déterminées par la position de l'axe centrale de la voie.

L'influence mutuelle des tolérances individuelles et des variations de position dans la coordonnée y est représentée dans la vue d'ensemble ci-après (Figure 214).

Les relations dans les coordonnées x et z n'ont pas été représentées, car elles sont de moindre importance.

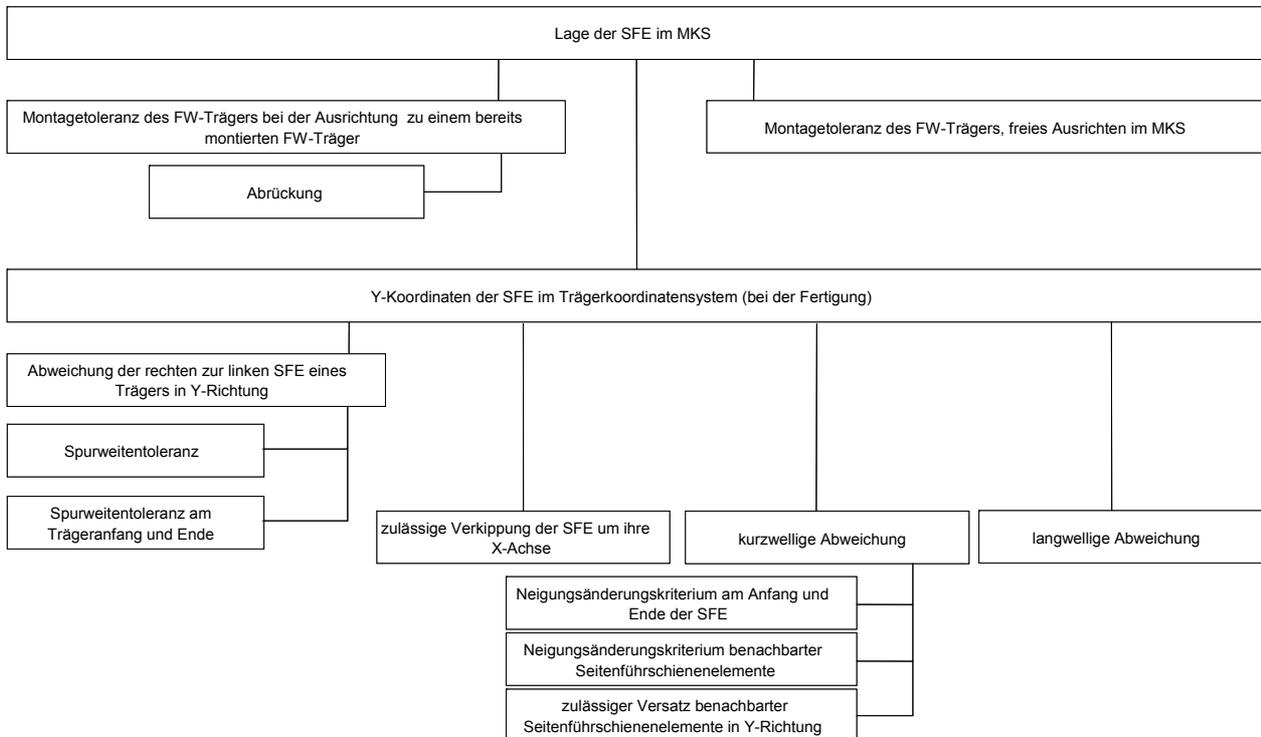


Figure 214 : Tolérances et variations de position du plan de guidage latéral (SFE) et interdépendances de celles-ci

#### *Position du SFE dans le MKS*

*Tolérance de montage du support de voie lors de l'alignement par rapport à un support de voie déjà monté*  
Retrait

*Tolérance de montage du support de voie, alignement libre dans le MKS*

*Coordonnées Y du SFE dans le système de coordonnées du support (lors de la fabrication)*

*Variation entre le SFE de gauche et de droite d'un support dans le sens Y*

*Tolérance de largeur de voie*

*Tolérance de largeur de voie au début et à la fin du support*

*Basculement admissible du SFE autour de l'axe X*

*Critère de modification de l'inclinaison au début et à la fin du SFE*

*Critère de modification de l'inclinaison des éléments voisins des rails de guidage latéraux*

*Décalage admissible des éléments voisins des rails de guidage latéraux dans le sens Y*

*Solution intermédiaire au début et à la fin du support*

*Variation de faible amplitude*

*Variation de grande amplitude*

**Tolérances du SFE dans le sens x**

Pour déterminer l'interstice minimum au niveau de la transition entre supports de voie, c'est à dire l'écart par rapport à l'axe du système, il faut tenir compte de la dilatation thermique /MSB AG-FW BEM/ des éléments de la voie, de la disposition des appuis fixes et libres ainsi que des déformations admissibles des infrastructures /MSB AG-GESAMTSYS/. Les valeurs indicatives suivantes sont données :

Écart entre le début ou la fin de l'élément et les axes du système :

Support de voie ( $12 \text{ m} \leq \text{longueur du système} \leq 25 \text{ m}$ )      $\Delta x_{A,E} = 20 \text{ mm}$

Dalles de voie (longueur du système  $\leq 6 \text{ m}$ )      $\Delta x_{A,E} = 10 \text{ mm}$

Les grandeurs intermédiaires sont à définir conformément aux remarques en introduction.

Il faut s'efforcer d'obtenir des jointures de supports de même taille à une température de référence donnée pour toutes les transitions entre supports de voie.

En cas d'interruption du SFE dans le support de voie en raison du type de construction (par exemple construction modulaire), il faut tenir compte de la stabilité de positionnement et de la variation de forme de la fixation du SFE lors de la détermination des largeurs voulues de l'interstice.

Dans le cas des aiguillages courbes, l'interstice minimum nécessaire entre les éléments du SFE est déterminé selon l'Équation 22 en tenant compte des déformations en position de changement de direction.

$$\Delta x \geq L_M - L_M * (R_H - S/2)/R_H + 2 \text{ [mm]}$$

Équation 22

Il faut éviter une collision entre des éléments de plan fonctionnel voisins identiques.

Les jonctions dans le SFE sont à réaliser selon la Figure 215.

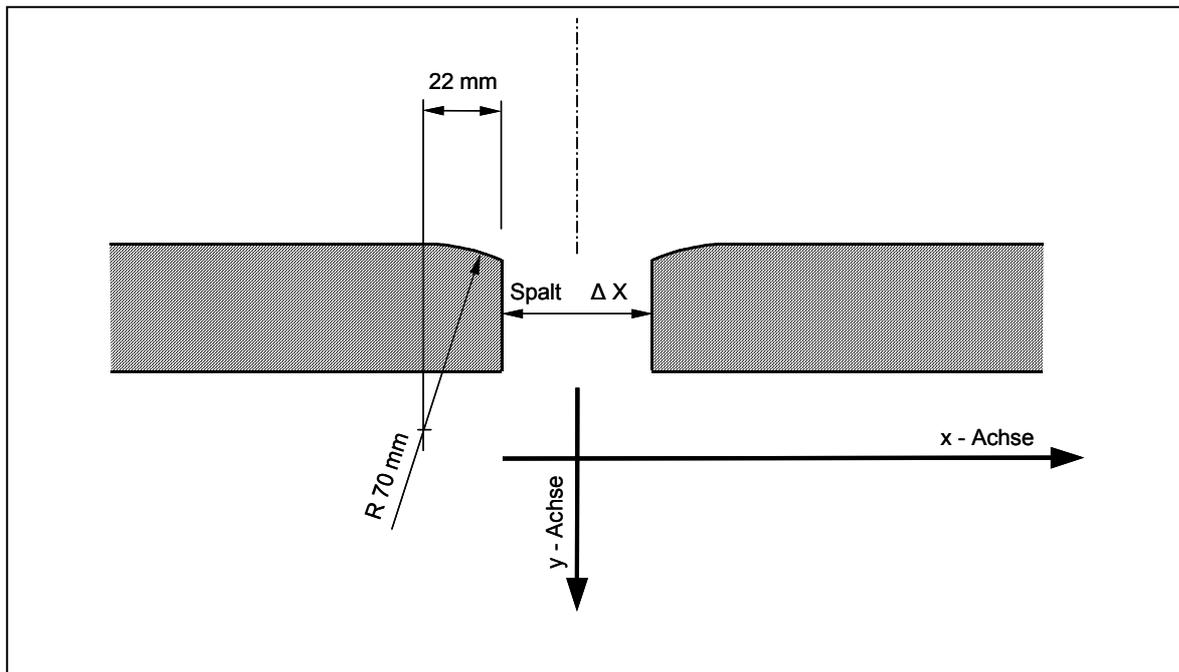


Figure 215 : Configuration de la surface du SFE au niveau de la jonction entre supports ou en cas d'interruption

*Interstice  $\Delta X$* *Axe x**Axe y*

## Variation de position du SFE dans le sens y

### Position voulue

La position voulue des deux SFE est prédéfinie par le tracé. Le tracé de la plage de tolérances de la variation de grande amplitude se rapporte à ces positions de consigne. Les indications ci-après de la variation de faible et de grande amplitude se rapportent à chaque SFE individuel. La dépendance obligatoirement présente des positions voulues des deux variations de grande amplitude en vue de respecter la tolérance de largeur de voie n'est pas prise en compte.

Une éventuelle déformation provoquée par l'effet de la charge  $F_z$  et les différences de température dans la voie ne sont pas prises en compte lors de la détermination de la position voulue du SFE.

### Variation de grande amplitude du SFE

Le tracé de la plage de tolérance de la variation de grande amplitude est décrit comme suit en fonction du type de construction des supports :

Support à une travée

$$X_{\text{Trägeranfang}} < X_i < X_{\text{Trägerende}}$$

$$\Delta y_{i,Lw} \text{ analogue à l'Équation 18}$$

\*

$$\begin{aligned}
 * \quad L \leq 12384 \quad \max \Delta y_{Lw} &= 1,0 \\
 L > 12384 \quad \max \Delta y_{Lw} &= L * 2,0 / 24768 \quad [\text{mm}]
 \end{aligned}$$

**Support à deux travées**

$$X_{\text{Trägeranfang}} \leq x_i \leq L_1$$

 $\Delta y_{i,Lw}$  analogue à l'Équation 19

\*

$$L_2 \leq x_i \leq x_{\text{Trägerende}}$$

 $\Delta y_{i,Lw}$  analogue à

l'Équation 19 \*\*

$$\begin{aligned}
 * \quad L_1 \leq 12384 \quad \max \Delta y_{Lw} &= 1,0 \\
 L_1 > 12384 \quad \max \Delta y_{Lw} &= L_1 * 2,0 / 24768 \quad [\text{mm}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ** \quad L_1 \leq 12384 \quad \max \Delta y_{Lw} &= 1,0 \\
 L_1 > 12384 \quad \max \Delta y_{Lw} &= L_2 * 2,0 / 24768 \quad [\text{mm}]
 \end{aligned}$$

**Support à plusieurs travées (installations de changement de voie)**

$$X_{\text{Trägeranfang}} \leq x_i \leq L_1$$

 $\Delta y_{i,Lw} \Rightarrow$  suit la description mathématique de la ligne de flexion \*

xion \*

$$L_2 < x_i < L_{n-1}$$

 $\Delta y_{i,Lw} \Rightarrow$  suit la description mathématique de la ligne de flexion \*

xion \*

$$L_n \leq x_i \leq x_{\text{Trägerende}}$$

 $\Delta y_{i,Lw} \Rightarrow$  suit la description mathématique de la ligne de flexion \*

xion \*

$$\begin{aligned}
 * \quad L_i \leq 12384 \quad \max \Delta y_{Lw} &= 1,0 \\
 L_i > 12384 \quad \max \Delta y_{Lw} &= L_i * 2,0 / 24768 \quad [\text{mm}] \\
 i &= 1, \dots, n
 \end{aligned}$$

voir chap. 0

**Variation de faible amplitude par rapport à la position réelle du SFE (variation de grande amplitude), tolérances à la jonction des supports**

Le tracé de la plage de tolérance de la variation de faible amplitude en rapport avec le tracé de la variation de grande amplitude réelle est décrit uniformément pour les supports à une et à deux travées par les données de référence suivantes :

$$X_{\text{Trägeranfang}} ; X_{\text{Trägerende}}$$

 $\Delta y = 0$ 

$$X_{\text{Trägeranfang}} < X_i < X_{0+n*1032} ;$$

$$X_{L-n*1032} < X_i < X_{\text{Trägerende}}$$

 $n = 1, 2 \dots *$  $\Delta y_i \leq \pm 2\text{mm}$

$$X_{0+n*1032} < X_i < X_{L-n*1032}$$

$$\Delta y = \pm 2\text{mm}$$

\* n est à déterminer en respectant le NGK maximum admissible

À l'intérieur de la plage de tolérances de la variation de faible amplitude, il faut respecter la relation de voisinage suivante dans le plan de guidage latéral :

$$\text{NGK}_{\text{SFE}} \leq 2,0\text{mm}$$

Pour la détermination du tracé de la plage de tolérances du SFE au début et à la fin du support (transition entre supports), il faut utiliser le NGK suivant, en référence à la position voulue :

$$\text{NGK}_{\text{SFE,Anfang;Ende}} \leq 1,0\text{mm}$$

Il faut respecter ici les valeurs limites admissibles selon /MSB AG-FW BEM/.

Il faut indiquer aussi les conditions de mesure pour le NGK à définir ici pour les dimensions de contrôle et de réception.

### **Décalages / basculement admissibles du SFE**

Les tolérances indiquées ci-après se rapportent aux points de mesure selon la Figure 185 et les déterminations relatives à la sélection de la coordonnée x correspondante.

Les tolérances mentionnées ci-après sont identiques pour tous les types de construction de la voie.

- Décalages : à l'intérieur du support  $\left| \Delta y_{i_{\max}} \right| = 0,6\text{mm}^*$

\* la longueur supposée du segment est ici de 6 m,  
en cas de longueurs différentes, il faut relever la valeur du diagramme suivant :

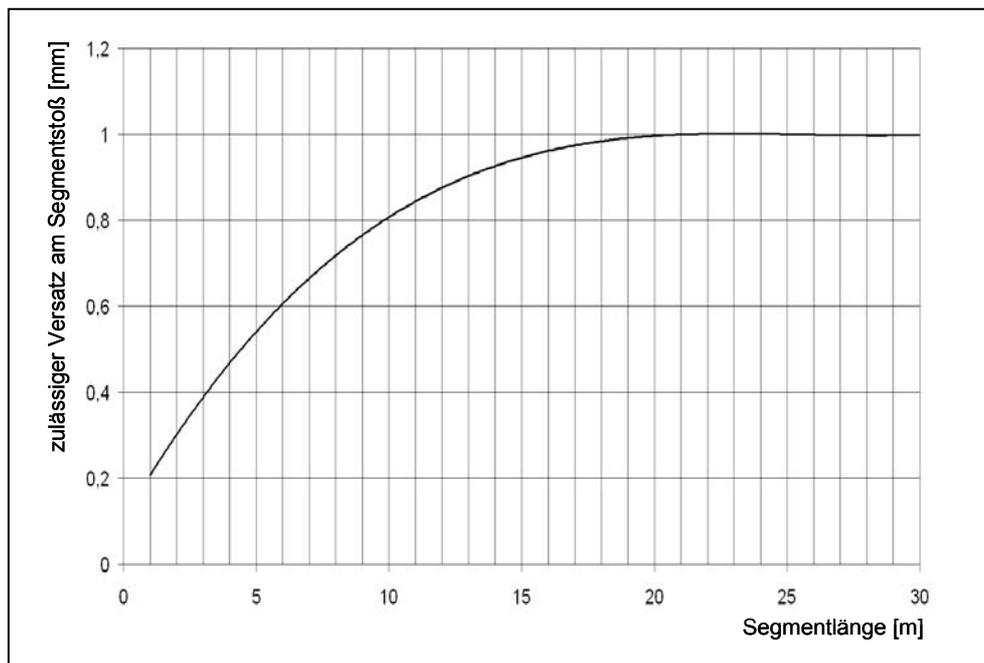


Figure 216 : Décalages admissibles dans le SFE à l'intérieur d'un support de voie en fonction des longueurs des segments de SF

*Décalage admissible au niveau de la jonction entre segments  
Longueur de segment*

au niveau de la jonction entre supports

$$|\Delta y_{i_{\max}}| = 1,0 \text{ mm}$$

Le décalage au niveau de la jonction entre supports s'établit après le positionnement précis des supports et suppose une tolérance de largeur de voie de  $\pm 1 \text{ mm}$  (voir point 0).

- Basculement (en référence au point de mesure) :

à l'intérieur du support  $\Delta \alpha_{\text{SFE}_{\max}} = \pm \arctan(1,0 \text{ mm} / 155 \text{ mm})$

à l'intérieur, au niveau des jonctions du SFE  $\Delta \alpha_{\text{SFE}_{\max}} = \pm \arctan(0,7 \text{ mm} / 155 \text{ mm})$

au niveau de la jonction entre supports

$$\Delta \alpha_{\text{SFE}_{\max}} = \pm \arctan(0,5 \text{ mm} / 155 \text{ mm})$$

### Tolérance admissible de la largeur de voie (S)

Il faut tenir compte des modifications de la largeur de voie résultant d'une modification régulière de la température du support par rapport à la température de référence (« température d'installation ») au-delà des tolérances admissibles.

La tolérance de largeur de voie pour tous les types de voie est de :

à l'intérieur du support de voie

$$\Delta S = \pm 2\text{mm}$$

au début / à la fin du support de voie

$$\Delta S_{\text{Anfang;Ende}} = \pm 1\text{mm}$$

## Tolérances et variations de position pour le plan de glissement (GE)

Le plan de glissement devient la surface fonctionnelle lorsque la rame de TSM est abaissée.

Pour les observations par rapport à la variation de tolérance et de position, leur référence par rapport au tracé réel du plan SE est donnée par le biais de la cote d'entrait. Cela veut dire qu'il faut tenir compte de la variation de grande amplitude réelle du SE pour la détermination du tracé voulu du GE (voir la Figure 219).

Si une référence du GE à la position voulue est requise pour des raisons techniques de fabrication, il faut alors tenir compte entre autres des deux extrêmes de la variation de grande amplitude du SE lors de la détermination de la plage de tolérances pour le GE.

Il faut également respecter les indications relatives à la tolérance de la cote d'entrait et aux valeurs limites du NGK du GE.

L'influence mutuelle des tolérances individuelles et des variations de position dans la coordonnée z est représentée dans la vue d'ensemble ci-après (Figure 217).

Les relations dans les coordonnées x et y n'ont pas été représentées, car elles sont de moindre importance.

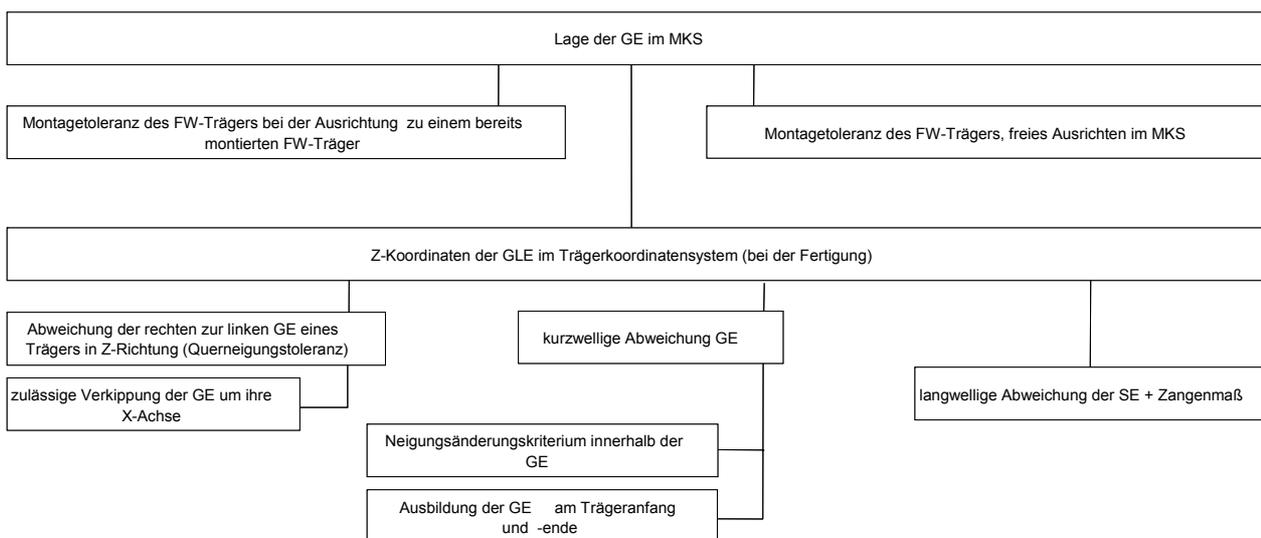


Figure 217 : Tolérances et variations de position du plan de glissement (GE) dans la direction z et interdépendances de celles-ci

### Position du GE dans le MKS

*Tolérance de montage du support de voie lors de l'alignement par rapport à un support de voie déjà monté*

*Tolérance de montage du support de voie, alignement libre dans le MKS*

*Coordonnées Z du GE dans le système de coordonnées du support (lors de la fabrication)*

*Variation entre le GE de gauche et de droite d'un support dans le sens Z (tolérance d'inclinaison transversale)  
Basculement admissible du GE autour de l'axe X*

*Variation de faible amplitude GE*

*Critère de modification de l'inclinaison à l'intérieur du GE*

*Configuration du GE au début et à la fin du support*

*Variation de grande amplitude SE + cote d'entrait*

**Tolérances admissible du GE dans le sens x****Interstice admissible dans le sens x à l'intérieur du plan de glissement**

*Les interstices maximums autorisés en fonction de leur position dans la voie sont définis dans /MSB AG-GESAMTSYS/.*

Pour un GE exécuté d'un seul tenant sur toute la longueur du support de voie, il faut tenir compte de sa dilatation thermique /MSB AG-FW BEM/, en référence aux axes du système au début et à la fin du support.

Pour déterminer l'interstice minimum, c'est à dire l'écart entre le début et la fin du support et l'axe du système, il faut en plus tenir compte pour les supports de voie de la disposition des appuis fixes et libres ainsi que de la déformation admissible des piliers /MSB AG-GESAMTSYS/.

Les valeurs indicatives suivantes sont données :

Écart entre le début ou la fin du support et les axes du système :

Support de voie ( $12 \text{ m} \leq \text{longueur du système} \leq 25 \text{ m}$ )       $\Delta x_{A,E} = 20 \text{ mm}$

Dalles de voie (longueur du système  $\leq 6 \text{ m}$ )       $\Delta x_{A,E} = 10 \text{ mm}$

*Il faut viser des jonctions de support régulières à la température de référence.*

*En cas d'interruption du GE en raison du type de construction (par exemple construction modulaire), il faut tenir compte de la stabilité de positionnement et de la variation de forme des éléments du GE lors de la détermination des largeurs voulues de l'interstice dans le support de voie.*

Dans le cas des aiguillages, l'interstice minimum nécessaire au sein de l'aiguillage entre les éléments du GE est déterminé d'après l'Équation 22.

Le nombre d'interstices dans le GE doit être limité au minimum nécessaire (0).

Il faut éviter une collision entre des éléments de plan fonctionnel voisins identiques.

Les jonctions dans le GE sont à réaliser selon la Figure 218.

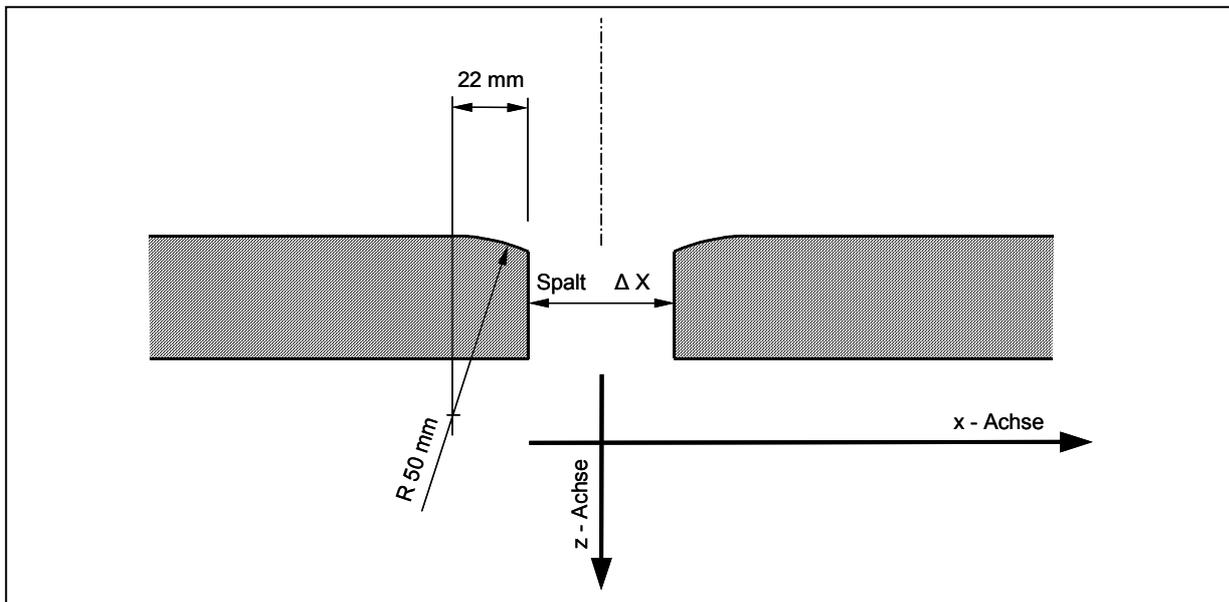


Figure 218 : Configuration de la surface du GE au niveau de la jonction entre supports ou en cas d'interruption

*Interstice  $\Delta X$*

*Axe x*

*Axe y*

### Tolérances admissible du GE dans le sens Y

En référence à l'axe central du stator long (LA), la tolérance applicable pour tous les types de voie entre le début et la fin du support de voie est de :

$$\Delta y = \pm 16 \text{ mm}$$

### Tolérances admissible du GE dans le sens z

#### Position voulue

La position voulue du GE est prédéfinie par la cote d'entrait (-398 mm par rapport à la base du SE <sub>Ist-Lage</sub>) par rapport au SE.

La base utilisée pour la position réelle est ici le tracé de la variation de grande amplitude déterminée par le biais des valeurs discrètes du SE (voir Figure 219).

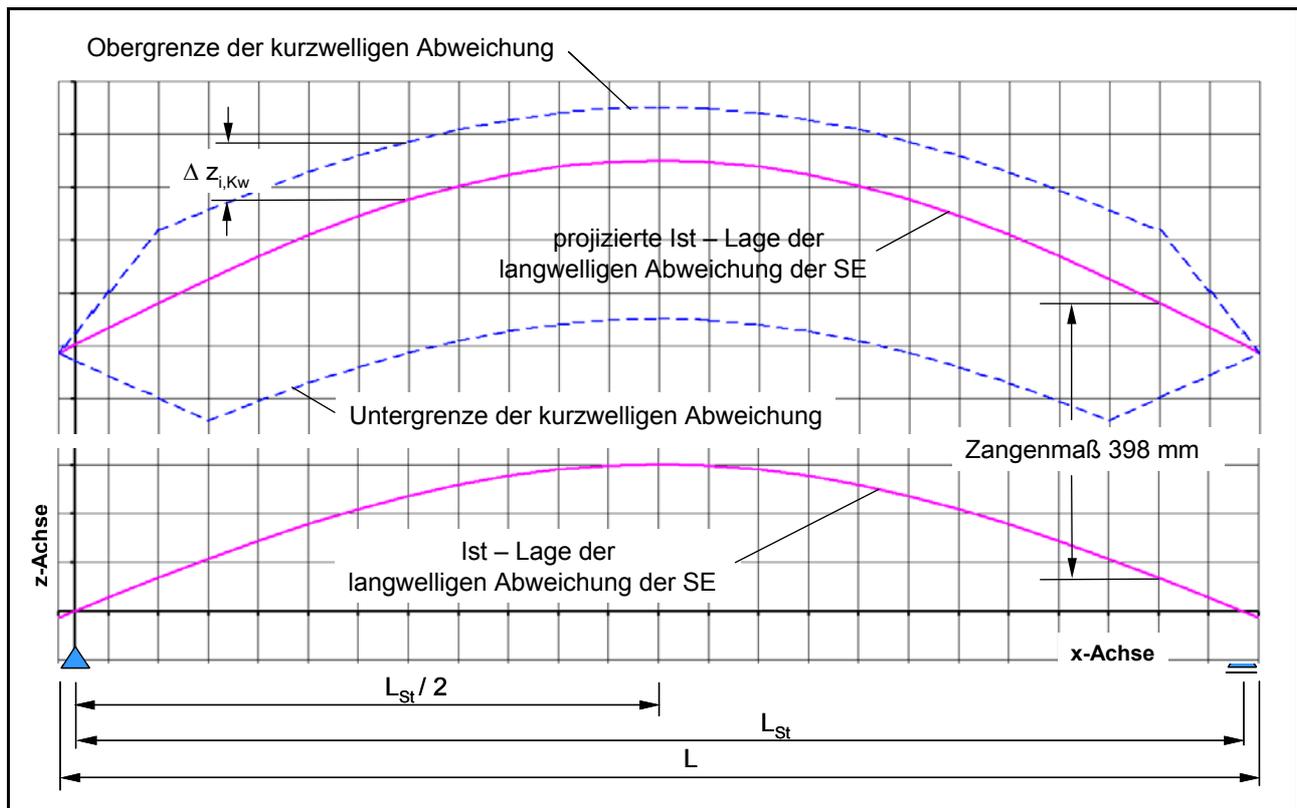


Figure 219 : Tracé et position de la variation de faible amplitude du GE sur l'exemple d'un support à une travée avec pré-courbure

*Limite supérieure de la variation de faible amplitude*

*Position réelle projetée de la variation de grande amplitude du SE*

*Limite inférieure de la variation de faible amplitude*

*Cote d'entrait 398 mm*

*Position réelle de la variation de grande amplitude du SE*

*Axe z*

*Axe x*

*Les tolérances indiquées ci-après s'appliquent à chaque GE (côté droit et gauche). Il n'est pas prévu de dépendance directe des deux positions voulues du GE entre elles.*

### Variation de grande amplitude du GE

La plage de tolérances du GE est prédéfinie par le tracé RÉEL de la variation de grande amplitude du plan du stator. Pour ce faire, celui-ci est décalé de la cote d'entrait.

Une considération séparée est inutile (voir la Figure 219 ).

**Variation de faible amplitude du GE**

Le tracé RÉEL de la variation de grande amplitude du plan du stator est décalé vers le haut de la valeur de la cote d'entrait.

Y est ensuite superposée la zone limite supérieure et inférieure qui est décrite uniformément par les données de référence suivantes pour tous les types de voie :

$$\begin{array}{l} X_0; X_L \qquad \qquad \qquad \Delta z_i = \pm 0,4\text{mm} \\ X_0 < X_i < X_{0+n}; X_{L-n} < X_i < X_L \quad n = 1,2... * \quad -3\text{mm} \leq \Delta z_i \leq +5\text{mm} \\ X_{>n} < X_i < X_{<(L-n)} \qquad \qquad \qquad -3\text{mm} = \Delta z_i = +5\text{mm} \end{array}$$

\* n est à déterminer en respectant le NGK maximum admissible

**Il faut en plus respecter à tout point le critère de cote d'entrait (voir 0).**

À l'intérieur de la plage de tolérances de la variation de faible amplitude, il faut respecter la relation de voisinage suivante dans le GE :

$$\text{NGK}_{\text{GE}} \leq 3,0\text{mm}$$

Pour la détermination du tracé de la plage de tolérances du GE au début et à la fin du support (transition entre supports), il faut utiliser le NGK suivant, en référence à la position voulue du GE :

$$\text{NGK}_{\text{GE,Anfang;Ende}} \leq 1,5\text{mm}$$

*Il faut respecter ici les valeurs limites admissibles selon /MSB AG-FW BEM/.*

### Décalages / basculement admissibles du GE

Les tolérances indiquées ci-après se rapportent aux points de mesure selon la Figure 185 et les déterminations relatives à la sélection de la coordonnée x correspondante.

Les tolérances mentionnées ci-après sont identiques pour tous les types de construction de la voie.

- Décalages :

à l'intérieur du support  $|\Delta z_{i_{\max}}| = 0,2\text{mm}^*$

\* Les dépassements de tolérance sont autorisés en fonction de la fréquence d'occurrence dans les sections de voie connexes sous les conditions indiquées dans la Figure 220 :

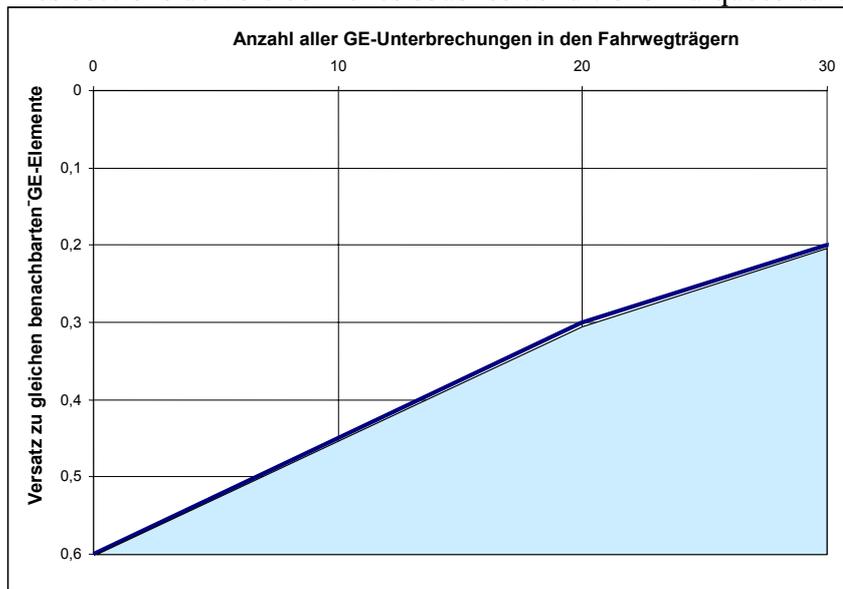


Figure 220 : Décalages admissibles dans le GE à l'intérieur du support de voie en fonction de leur importance et de leur fréquence d'occurrence

*Nombre total d'interruption du GE dans les supports de voie  
Décalage par rapport aux mêmes éléments de GE voisins*

au niveau de la jonction entre supports  $|\Delta z_{i_{\max}}| = 0,6\text{mm}$

Le décalage au niveau de la jonction entre supports comprend la fourchette de tolérance de la variation de faible amplitude pour le GE au niveau de la jonction entre supports, la part de tolérance de la cote d'entrait (chapitre 0) ainsi que la tolérance de montage.

- Basculement (en référence au point de mesure dans LA) :

$$\Delta \alpha_{\text{GE}_{\max}} = \pm \arctan(0,5\text{mm}/75\text{mm})$$

**Cote d'entrait**

La cote d'entrait admissible est obtenue en calculant les tolérances de faible amplitude admissibles pour le plan du stator et le plan de glissement (voir chapitres 0 et Figure 219).

*Les cotes suivantes peuvent être utilisées comme valeurs indicatives pour un contrôle géométrique ponctuel par échantillonnage sans tenir compte des tolérances de grande et de faible amplitude :*

*Cote nominale :* 398 mm

*Valeur indicative à l'intérieur du support :* de 393 mm à 401 mm

*Valeur indicative au début / à la fin du support :* de 397,6 mm à 398,4 mm

## **Montage de la voie**

*Les tolérances de positionnement précis sont indiquées dans /MSB AG-FW VERM/.*

**Exigences géométriques relatives à la voie calibrée**

Indépendamment des indications précédentes, la géométrie des supports calibrés (section de voie à l'intérieur de la centrale de maintenance qui sert au calibrage de la rame de TSM) est soumise à des exigences plus élevées. Les tolérances mentionnées ci-après s'appliquent ici initialement en tant que conditions additionnelles pour le support hors charge :

Pour le plan du stator :

$$\begin{array}{ll} \text{pour } L_{\text{Sys}} \geq 18\text{m} & \Delta z_{\text{max}} = \pm 1 \text{ mm} \\ & |\Delta z_i| \leq z_{\text{max}} \\ \text{pour } L_{\text{Sys}} < 18\text{m} & 0,1\text{mm} < |\Delta z_i| < |\Delta z_{\text{max}}| * L_{\text{Sys}} / 18\text{m} \end{array}$$

Pour le plan de guidage latéral :

$$\begin{array}{ll} \text{pour } L_{\text{Sys}} \geq 18\text{m} & \Delta y_{\text{max}} = \pm 1 \text{ mm} \\ & |\Delta y_i| \leq y_{\text{max}} \\ \text{pour } L_{\text{Sys}} < 18\text{m} & 0,1\text{mm} < |\Delta y_i| < |\Delta y_{\text{max}}| * L_{\text{Sys}} / 18\text{m} \end{array}$$

Pour la largeur de voie :

$$\begin{array}{ll} \text{pour } L_{\text{Sys}} \geq 18\text{m} & \Delta S_{\text{max}} = \pm 0,5 \text{ mm} \\ & |\Delta S_i| \leq \Delta S_{\text{max}} \\ \text{pour } L_{\text{Sys}} < 18\text{m} & 0,1\text{mm} < |\Delta S_i| < |\Delta S_{\text{max}}| * L_{\text{Sys}} / 18\text{m} \end{array}$$

Pour la cote d'entrait :

$$\begin{array}{ll} \text{pour } L_{\text{Sys}} \geq 18\text{m} & \Delta Z_{\text{max}} = \pm 1 \text{ mm} \\ & |\Delta Z_i| \leq \Delta Z_{\text{max}} \\ \text{pour } L_{\text{Sys}} < 18\text{m} & 0,1\text{mm} < |\Delta Z_i| < |\Delta Z_{\text{max}}| * L_{\text{Sys}} / 18\text{m} \end{array}$$

Les exigences ci-après s'appliquent en plus pour la rigidité du support :

Lorsque le support est sous la charge du poids de la rame (Fz entièrement équipé), la différence entre le support en charge et hors charge dans la direction z est de :

$$\begin{array}{ll} \text{pour } L_{\text{Sys}} \geq 18\text{m} & \Delta z_{\text{max}} = 1 \text{ mm} \\ & |\Delta z_i| \leq z_{\text{max}} \\ \text{pour } L_{\text{Sys}} < 18\text{m} & 0,1\text{mm} < |\Delta z_i| < |\Delta z_{\text{max}}| * L_{\text{Sys}} / 18\text{m} \end{array}$$

Charge latérale avec 0,3 g :

$$\begin{array}{ll} \text{pour } L_{\text{Sys}} \geq 18\text{m} & \Delta y_{\text{max}} = 1 \text{ mm} \\ & |\Delta y_i| \leq y_{\text{max}} \\ \text{pour } L_{\text{Sys}} < 18\text{m} & 0,1\text{mm} < |\Delta y_i| < |\Delta y_{\text{max}}| * L_{\text{Sys}} / 18\text{m} \end{array}$$

## **Exigences de position relatives aux éléments rapportés et d'équipement de la voie**

### **Position de l'enroulement moteur**

*L'espace libre nécessaire au montage de l'enroulement moteur est défini dans /MSB AG-GESAMTSYS/.*

*Les couches de l'enroulement moteur doivent être réalisées de manière à respecter l'espace libre sous toutes les conditions d'exploitation.*

*La disposition et la position des phases individuelles entre elles sont définies dans /MSB AG-GESAMTSYS/.*

*Les écarts entre les méandres de l'enroulement moteur et leur grille  $x$  sont déterminés par une disposition choisie des paquets de tôles statoriques dans le sens  $x$ . La grille de base des méandres est de 258 mm.*

### **Position de la butée de référence**

*L'espace libre nécessaire au montage de la butée de référence (LRL) dans le sens  $y$  et  $z$  est défini dans /MSB AG-GESAMTSYS/.*

*La disposition dans le sens  $x$  se base sur la position des points de référence dans le support, laquelle dépend de la période de propulsion.*

*Les butées de référence sont fixées aux points de référence de la voie au moyen d'attaches spéciales. La conception et la fixation des attaches sont définies spécifiquement au projet.*

Les points de référence dans la voie sont définis en fonction du projet avec la conception de la propulsion et de l'installation technique de commande.

## **Position des modules d'approvisionnement externe en énergie de bord situés sur la voie**

### **Position des modules des barres-bus situés sur la voie**

*La position des barres-bus est déterminée spécifiquement au projet pour les sections de voie individuelles.*

*L'espace libre nécessaire au montage des barres-bus dans le sens  $y$  et  $z$  est défini dans /MSB AG-GESAMTSYS/.*

*La position théorique des attaches pour barre-bus sur la voie est déterminée dans /MSB AG-FW ÜBG/.*

### **Position des modules de transmission d'énergie inductive situés sur la voie**

*La transmission inductive d'énergie de bord est encore en cours de développement. Les exigences relatives à ce module seront par conséquent rajoutées ultérieurement.*

*Il faut temporairement appliquer les exigences indépendantes du projet relatives aux modules du « reste de l'équipement de voie » et les indications spécifiques au projet.*

## Justifications

Il faut mesurer les composants ou les modules dans le cadre de l'assurance qualité après les étapes de fabrication et aussi réaliser et documenter des comparaisons entre le voulu et le réel.

Pour ce faire, il faut définir le moment du contrôle et les cotes à contrôler dans les documents de fabrication. La tolérance à observer au moment du contrôle est à déterminer conformément à l'observation de la tolérance globale.

Les exigences fondamentales en matière d'assurance qualité ainsi que de construction et de réception sont à relever dans /MSB AG-FW ÜBG/.

Pour justifier du respect des tolérances selon les présents principes d'exécution, il faut employer des moyens de mesure et des méthodes appropriés et reconnus pour les mesures de réception.

### Annexe III-A Fixation des paquets de tôles statoriques (côté support de voie)

Les figures suivantes (Figure 221, Figure 222, Figure 223 à Figure 224) illustrent à titre d'exemple une solution d'accueil des paquets de tôles statoriques sur une ceinture continue de support de stator.

Des éléments appelés inserts sont possibles en alternative. Les cotes et les tolérances indiquées s'appliquent aux deux variantes.

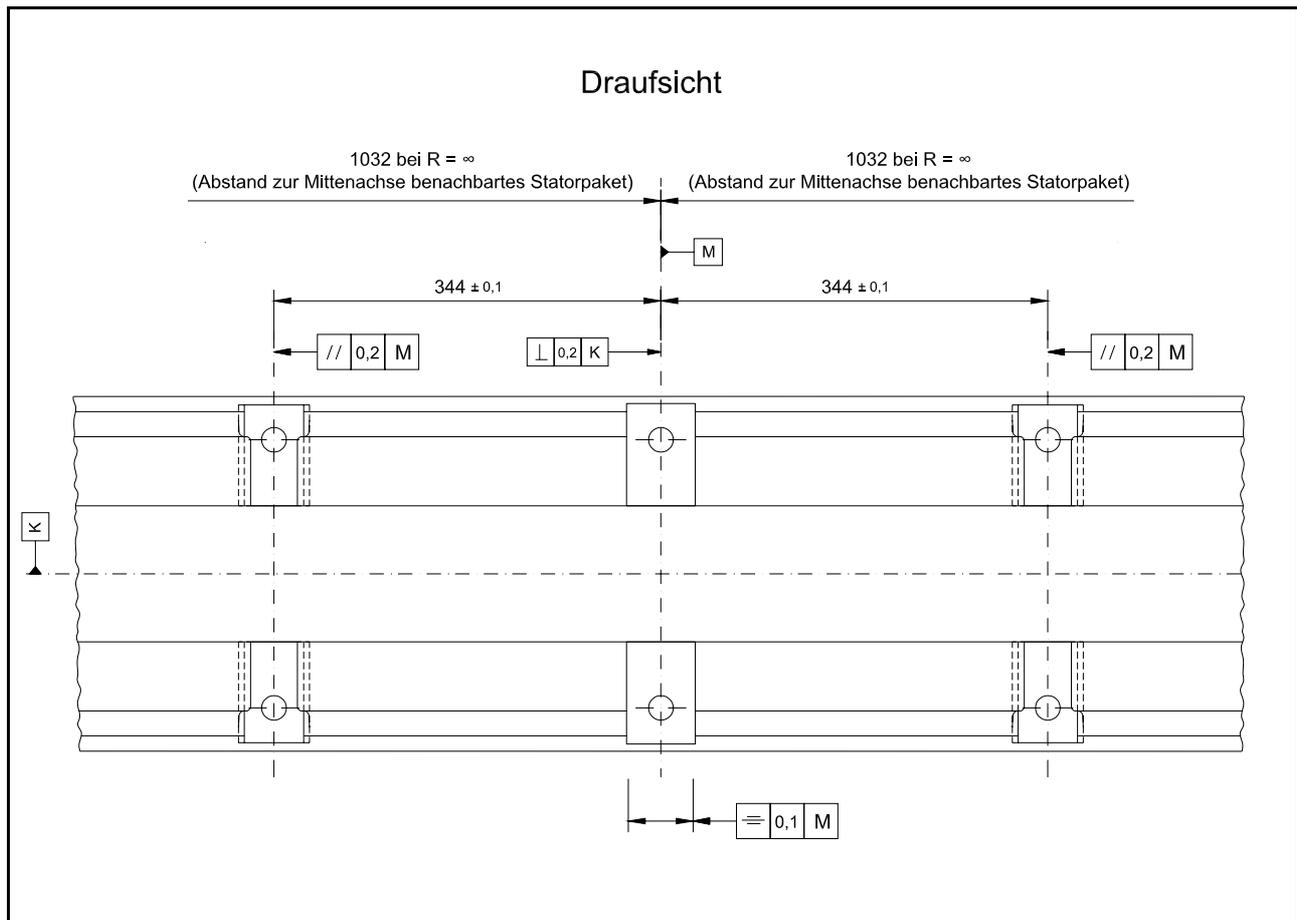


Figure 221 : Cotes et tolérances pour l'exécution de l'accueil du paquet de tôles statiques en acier (vue de dessus)

Vue de dessus

1032 pour  $R = \infty$  (écart par rapport à l'axe central du paquet de tôles statoriques voisin)

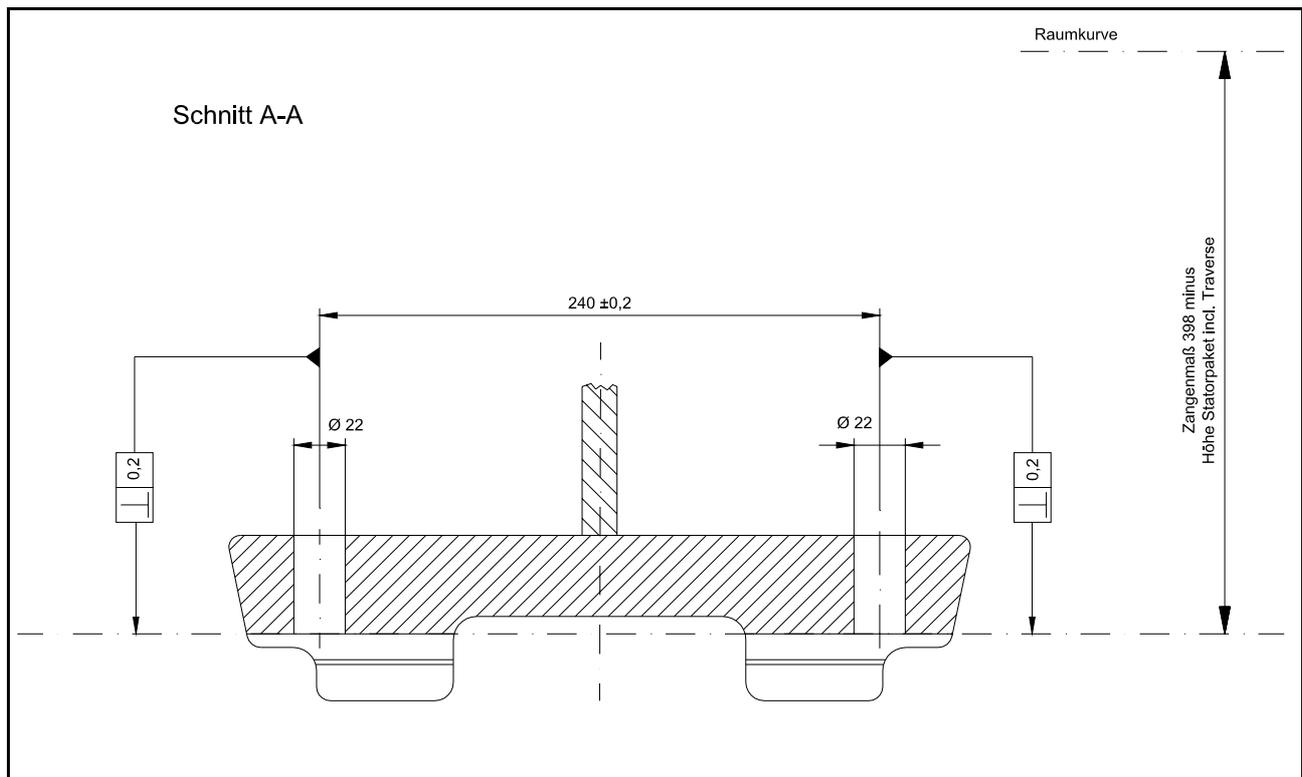


Figure 222 : Cotes et tolérances pour l'exécution de l'accueil du paquet de tôles statiques en acier (coupe transversale)

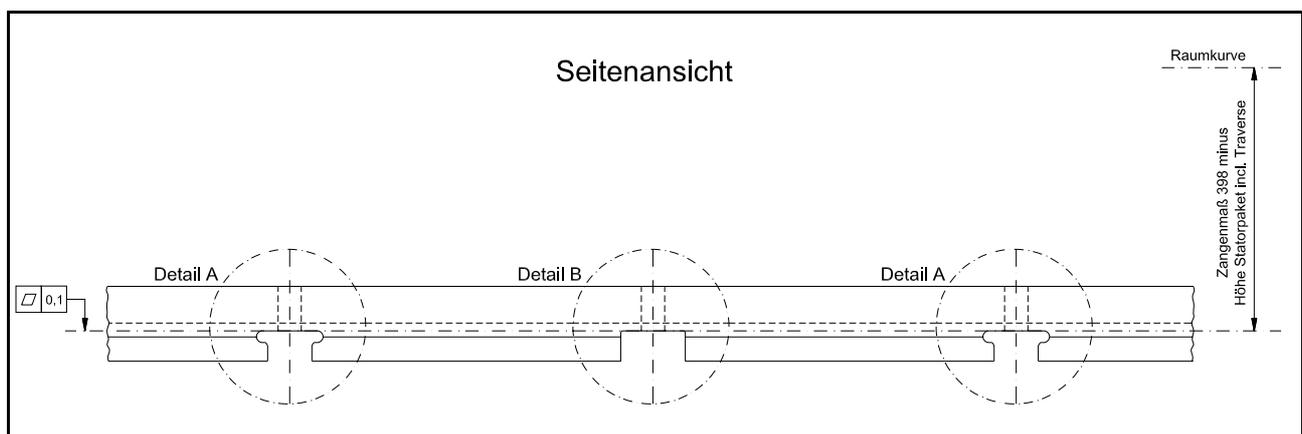
*Coupe A-A**Courbe spatiale**Cote d'entrait 398 moins hauteur du paquet de tôles statoriques, traverses incluses*

Figure 223 : Cotes et tolérances pour l'exécution de l'accueil du paquet de tôles statiques en acier (vue de côté)

*Vue de côté**Courbe spatiale**Cote d'entrait 398 moins hauteur du paquet de tôles statoriques, traverses incluses**Détail A**Détail B*

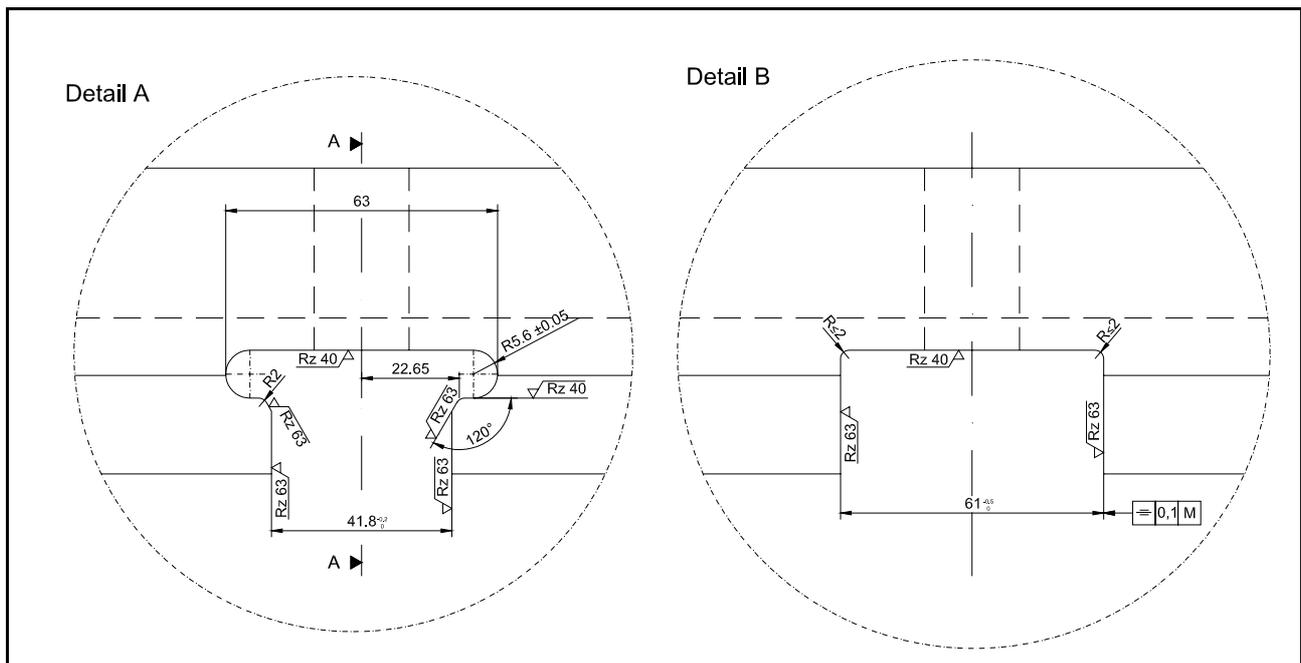


Figure 224 : Cotes et tolérances pour l'exécution de l'accueil du paquet de tôles statiques en acier (détail A et détail B)

*Détail A*

*Détail B*

### Annexe III-B Axes de fixation du paquet de tôles statoriques

Les figures suivantes (Figure 225, Figure 226 et Figure 227) illustrent à titre d'exemple les axes de fixation du paquet de tôles statoriques.

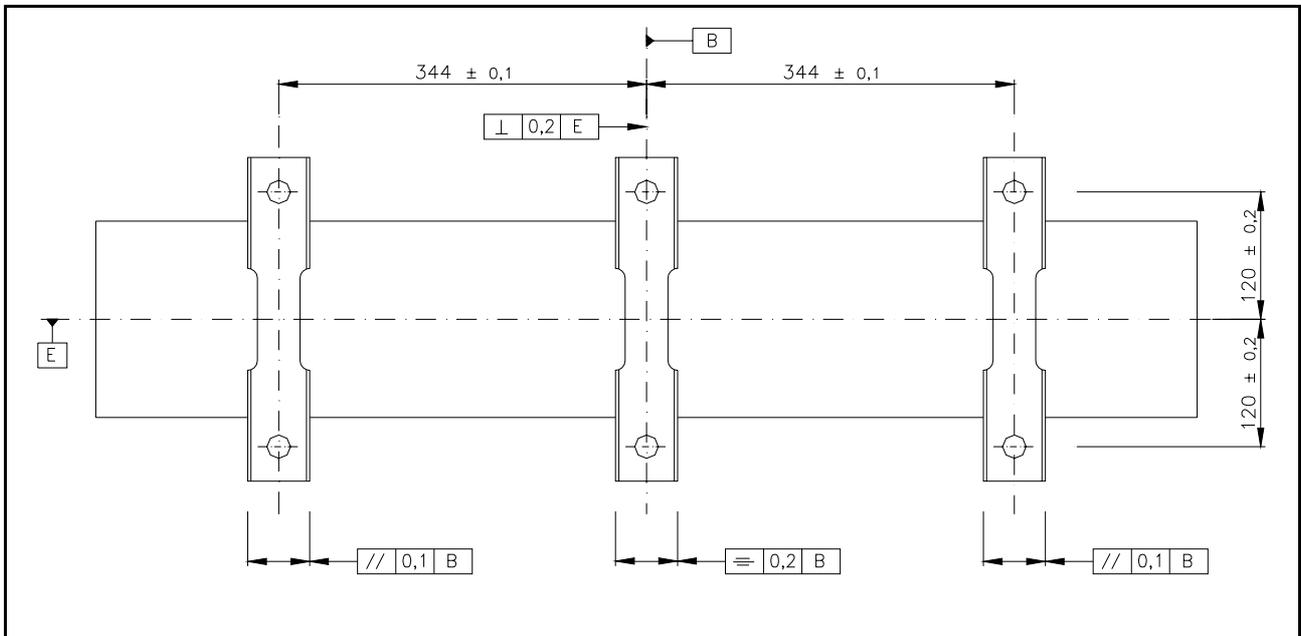


Figure 225 : Axes de fixation du paquet de tôles statoriques (vue de dessus)

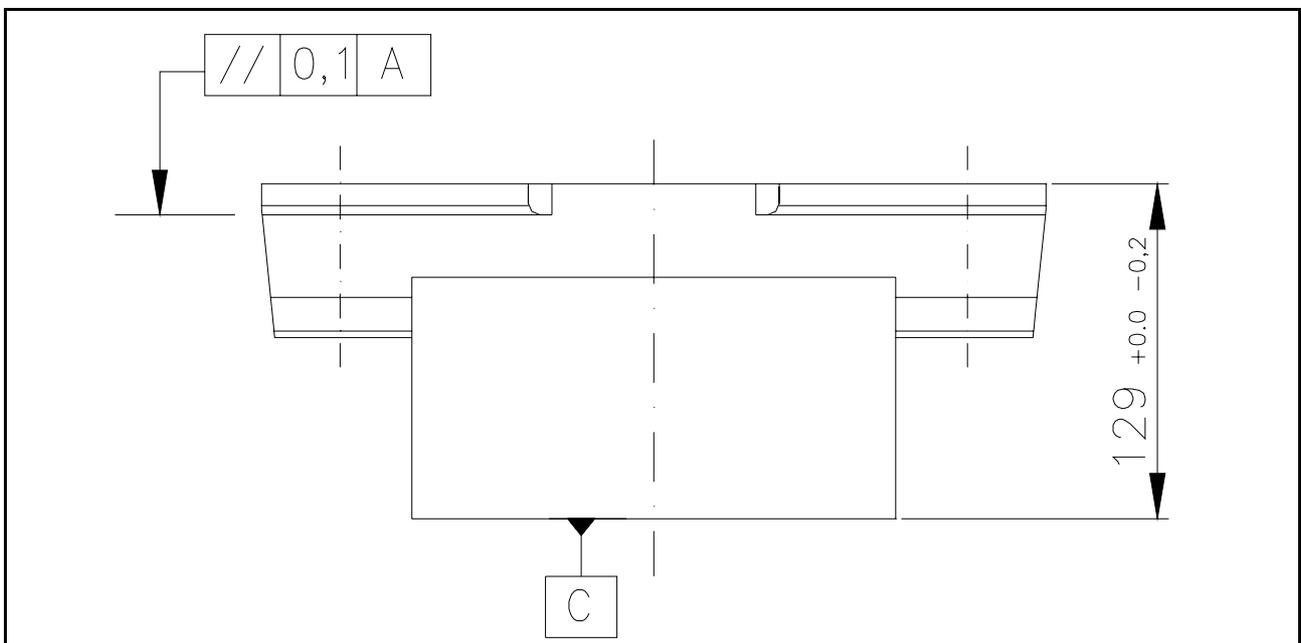


Figure 226 : Axes de fixation du paquet de tôles statoriques (coupe transversale)

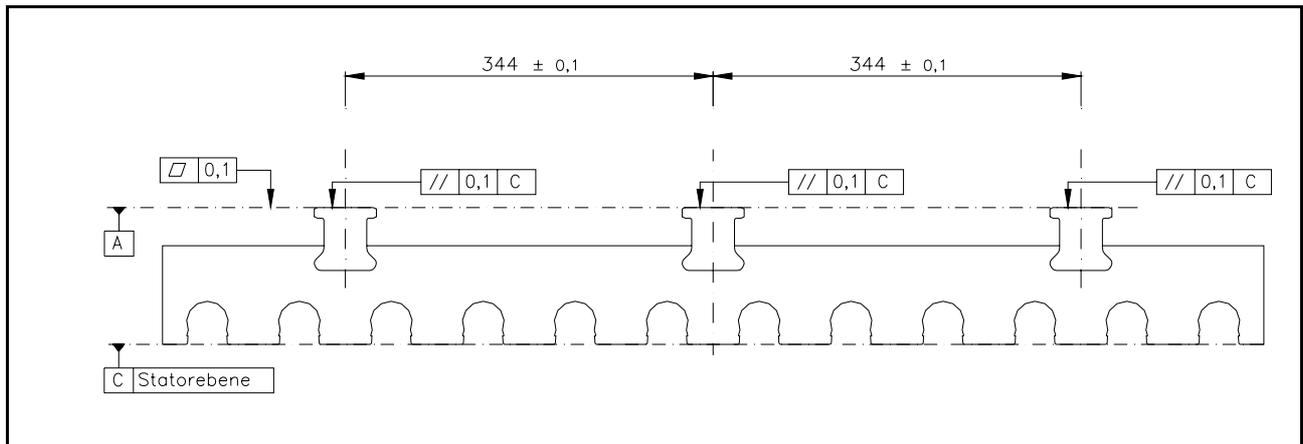


Figure 227 : Axes de fixation du paquet de tôles statoriques (vue de côté)

*Plan du stator*

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Voie**

### **Partie IV**

### **Tracé**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Voie à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Voie.

**Table des matières**

<b>Destinataires</b> .....	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>8</b>
Objectif et champ d'application.....	8
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	8
Abréviations et définitions.....	8
Lois, décrets, normes et directives .....	8
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	9
<b>Tracé</b> .....	<b>10</b>
Principes généraux du tracé.....	10
Axe de la voie (courbe spatiale) .....	10
Kilométrage.....	10
Tracé en projection horizontale et sur le plan vertical .....	10
Calcul du projet de tracé.....	10
Projection horizontale des éléments de tracé .....	11
Voie normale.....	11
Plan vertical des éléments de tracé.....	14
Voie normale.....	14
Aiguillages .....	14
<b>Paramètres du tracé</b> .....	<b>15</b>
Paramètres géométriques du tracé .....	15
Valeurs limites d'inclinaison longitudinale de la voie .....	15
Valeurs limites de l'inclinaison transversale de la voie.....	16
Gauchissement de la voie et longueur minimale autorisée du gauchissement .....	18
Rayon horizontal minimal autorisé .....	19
Demi-diamètre vertical minimal autorisé .....	21
Critère $R_{x,z}$ .....	23
Critère $R_{x,y}$ .....	24
Indications dynamiques de roulage.....	25
Vitesse indicative et maximale de tronçon .....	25
Accélération .....	26
Accélération de propulsion et de freinage .....	27
Accélération latérale asymétrique .....	27

**Principes d'exécution**

Voie

Accélération normale (valeur de confort).....	29
Chocs.....	30
Choc latéral.....	31
Choc vertical.....	32
Choc longitudinal.....	33
Choc omnidirectionnel.....	33
Longueur minimale sinusoïde.....	34
Longueur minimale de clothoïde.....	35
Critères de confort en fonction du temps de déplacement total de la ligne tracée.....	36
<b>Distribution des supports et portée des travées.....</b>	<b>39</b>
Voie à un rail.....	39
Voie à deux rails et plus.....	40
<b>Entraxe des rails et gabarit.....</b>	<b>41</b>
Entraxe des rails.....	41
Exactitude.....	41
Non-parallélisme des sinusoïdes.....	41
Gabarit et lignes de délimitation.....	42
<b>Installations de changement de voie.....</b>	<b>48</b>
Généralités.....	48
Aiguillages.....	49
Généralités.....	49
Exemples de réalisation d'aiguillages.....	49
Aiguillage à circulation rapide.....	51
Aiguillage à circulation lente.....	53
Liaison de transition avec aiguillages à circulation rapide.....	55
Liaison de transition avec aiguillages à circulation lente.....	58
Liaison de transition croisée avec aiguillages à circulation lente pour un entraxe de rail de 5,10 m.....	59
Plate-forme roulante et plate-forme pivotante.....	62
<b>Installations de service.....</b>	<b>64</b>

**Index des illustrations**

Figure 1 : Propriétés géométriques et dynamiques de roulage de la sinusoïde .....	12
Figure 2 : Propriétés géométriques et dynamiques de roulage de la clothoïde .....	13
Figure 3 : Rayon horizontal minimal autorisé .....	20
Figure 4 : Demi-diamètre vertical minimal autorisé .....	22
Figure 5 : Signe des accélérations .....	26
Figure 6 : Confort de roulage accélération longitudinale et latérale (selon ISO 2631) .....	37
Figure 7 : Confort de roulage - accélération normale (selon ISO 2631) .....	38
Figure 8 : Longueurs de la courbe spatiale en présence de plusieurs rails .....	40
Figure 9 : Gabarit et lignes de délimitation du rail unique de TSM, $\alpha = 0^\circ$ .....	42
Figure 10 : Gabarit et lignes de délimitation du double rail de TSM, $\alpha = 0^\circ$ .....	43
Figure 11 : Gabarit et lignes de délimitation du rail unique de TSM, $\alpha \leq 12^\circ$ .....	44
Figure 12 : Gabarit et lignes de délimitation du double rail de TSM, $\alpha \leq 12^\circ$ .....	45
Figure 13 : Gabarit du TSM en fonction de $\alpha \leq 12^\circ$ .....	46
Figure 14 : Organisation des installations de changement de voie .....	48
Figure 15 : Bande de courbure d'un aiguillage .....	49
Figure 16 : Éléments du tracé d'un aiguillage à circulation rapide (exemple de réalisation) .....	51
Figure 17 : Éléments du tracé d'un aiguillage à circulation lente à 2 voies (exemple de réalisation) .....	53
Figure 18 : Variantes de positionnement d'un aiguillage à circulation lente à 3 voies (exemple de réalisation) .....	54
Figure 19 : Éléments du tracé de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation rapide (exemple de réalisation) .....	55
Figure 20 : Éléments du tracé de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation lente (exemple de réalisation) .....	58
Figure 21 : Liaison de transition en X avec aiguillages à circulation lente (entraxe de rail de 5,10 m) (exemple de réalisation) .....	59
Figure 22 : Plate-forme roulante (exemple) .....	62
Figure 23 : Plate-forme pivotante (exemple) .....	63

**Index des tableaux**

Tableau 1 : Inclinaison longitudinale de la voie .....	15
Tableau 2 : Inclinaison transversale de la voie .....	16
Tableau 3 : Valeurs limites de $R_{x,z}$ en cas de gauchissement de la voie .....	23
Tableau 4 : Sens de l'excédent et de l'insuffisance d'accélération .....	28
Tableau 5 : Entraxe des rails .....	41
Tableau 6 : Paramètres de tracé d'un aiguillage à circulation rapide (exemple de réalisation) ...	51
Tableau 7 : Valeurs dynamiques d'un aiguillage à circulation rapide (exemple de réalisation) ...	52
Tableau 8 : Paramètres du tracé d'un aiguillage à circulation lente à 2 voies (exemple de réalisation).....	53
Tableau 9 : Valeurs dynamiques de roulage d'un aiguillage à circulation lente à 2 voies (exemple de réalisation).....	54
Tableau 10 : Paramètres du tracé de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation rapide (exemple de réalisation) .....	56
Tableau 11 : Valeurs dynamiques de roulage de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation rapide (exemple de réalisation).....	57
Tableau 12 : Paramètres du tracé de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation lente (exemple de réalisation) .....	58
Tableau 13 : Valeurs dynamiques de roulage de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation lente (exemple de réalisation) .....	59
Tableau 14 : Paramètres de tracé de la liaison de transition en X avec aiguillages à circulation lente (entraxe de rail de 5,10 m) (exemple de réalisation) .....	60
Tableau 15 : Valeurs dynamiques de roulage de la liaison de transition en X avec aiguillages à circulation lente (entraxe de rail de 5,10 m) (exemple de réalisation).....	61

## Généralités

### Objectif et champ d'application

Le présent document spécifie les indications techniques générales applicables au tracé des voies du train rapide à sustentation magnétique.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

### Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR&IH/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

### Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

### Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique*.

(voir /MSB AG-FW ÜBG/).

## Tracé

### Principes généraux du tracé

*Le tracé doit être choisi en tenant compte des possibilités techniques de manière à obtenir un accord économique optimal entre les exigences en matière de dynamique de roulage, de confort de roulage, de coût de construction et d'effort de maintenance lors de l'exploitation avec le profil de roulage voulu ayant servi de base.*

*Il faut s'efforcer à ce que la rame puisse parcourir de grandes sections de ligne à une vitesse constante*

*D'autres exigences en rapport avec le tracé peuvent avoir une influence sur la planification du tracé, par exemple pour des raisons écologiques, d'insonorisation, de liaison avec d'autres voies de circulation, du point de vue de l'esthétique et de la configuration du produit, et doivent être incluses spécifiquement au projet.*

### Axe de la voie (courbe spatiale)

*Les axes de la voie (courbes spatiales) se composent de la superposition dans l'espace du tracé en projection horizontale et sur le plan vertical.*

Les axes de la voie doivent être dotés d'une désignation explicite. Celle-ci doit se composer de 3 chiffres.

En présence de voies à plusieurs rails, il faut tracer chaque axe de voie séparément.

### Kilométrage

Du fait de l'utilisation d'éléments préfabriqués liée au système et à la construction, le kilométrage doit se rapporter au développement dans l'espace de l'axe de la voie (courbe spatiale).

### Tracé en projection horizontale et sur le plan vertical

Les tracés en projection horizontale et sur le plan vertical sont tout à bord à réaliser séparément.

La courbe spatiale obtenue en superposant les tracés en projection horizontale et sur le plan vertical doit remplir toutes les conditions des présents principes d'exécution.

Il faut vérifier si le tracé de l'ensemble de la ligne spatiale avec les profils de roulage réels déterminants simulés respecte en tout point les limites de confort prévues.

### Calcul du projet de tracé

Le projet de tracé doit être réalisé sur la base des plans de position et de hauteur et de leurs systèmes de représentation.

Il faut vérifier si le principe géométrique ou géodésique des plans de position et de hauteur est utilisable.

Pour les travaux techniques ultérieurs du projet (détermination de la distribution des supports, ponts, aiguillages) ainsi que pour le futur jalonnage de la construction, il faut calculer le projet graphique en fonction de la position et de la hauteur dans le système de coordonnées du train à sustentation magnétique MKS /MSB AG-FW VERM/.

Il faut procéder à un relevé topographique des points de passage obligatoires présents, les coordonner et en tenir compte lors des calculs.

Il faut effectuer le calcul de telle sorte que

- la courbe du tracé coïncide avec la représentation graphique dans les plans du projet avec la précision habituelle,
- il existe des transitions tangentielles fortes dans les points principaux du tracé,
- il existe une courbe constante dans la bande de courbure et d'inclinaison transversale (à l'exception de la bande de courbure des aiguillages courbes et  $v_{\text{höchst}} < 100 \text{ km/h}$ ) et
- les coordonnées tridimensionnelles Droite, Hauteur, Altitude de tous les points principaux du tracé sont déterminées avec les kilométrages correspondants.

Il faut afficher dans les calculs

- les coordonnées et les altitudes avec quatre décimales (1/10 mm) et
- les indications angulaires avec 5 décimales.

## Projection horizontale des éléments de tracé

### Voie normale

Les éléments du tracé de la projection horizontale sont :

- Droites ( $R_H = \infty$ )
- Arcs de cercle ( $R_H = \text{constant}$ )
- Sinusoïdes (cas normal des arcs de transition)
- Clothoïdes (cas particulier comme arcs de transition)

*Il convient d'utiliser des sinusoïdes comme arcs de transition.*

*Avec les sinusoïdes, la courbure, l'inclinaison transversale, l'accélération transversale non compensée et le choc latéral sont une fonction constante du temps et du trajet parcouru.*

*Les clothoïdes peuvent être utilisées comme arcs de transition dans la zone d'accélération et de freinage au niveau des stations et dans les zones sans voyageurs (par exemple accès aux zones de maintenance). Cela s'applique uniquement aux sections de ligne où la vitesse du profil de roulage voulu est au maximum de 100 km/h.*

*Il convient de faire une évaluation d'une utilisation ultérieure de la partie de la ligne avec une vi-*

tesse maximale supérieure (par exemple dans le cas d'une extension du réseau et un passage possible par cette station).

Les lignes hélicoïdales (tours en S) doivent être tracées comme un seul élément (sinusoïde continue).

Les propriétés géométriques et dynamiques de roulage de la sinusoïde ou de la clothoïde sont représentées ci-après dans la Figure 228 la Figure 229. Le calcul de la longueur minimale des sinusoïdes ou des clothoïdes est expliqué au point 0.

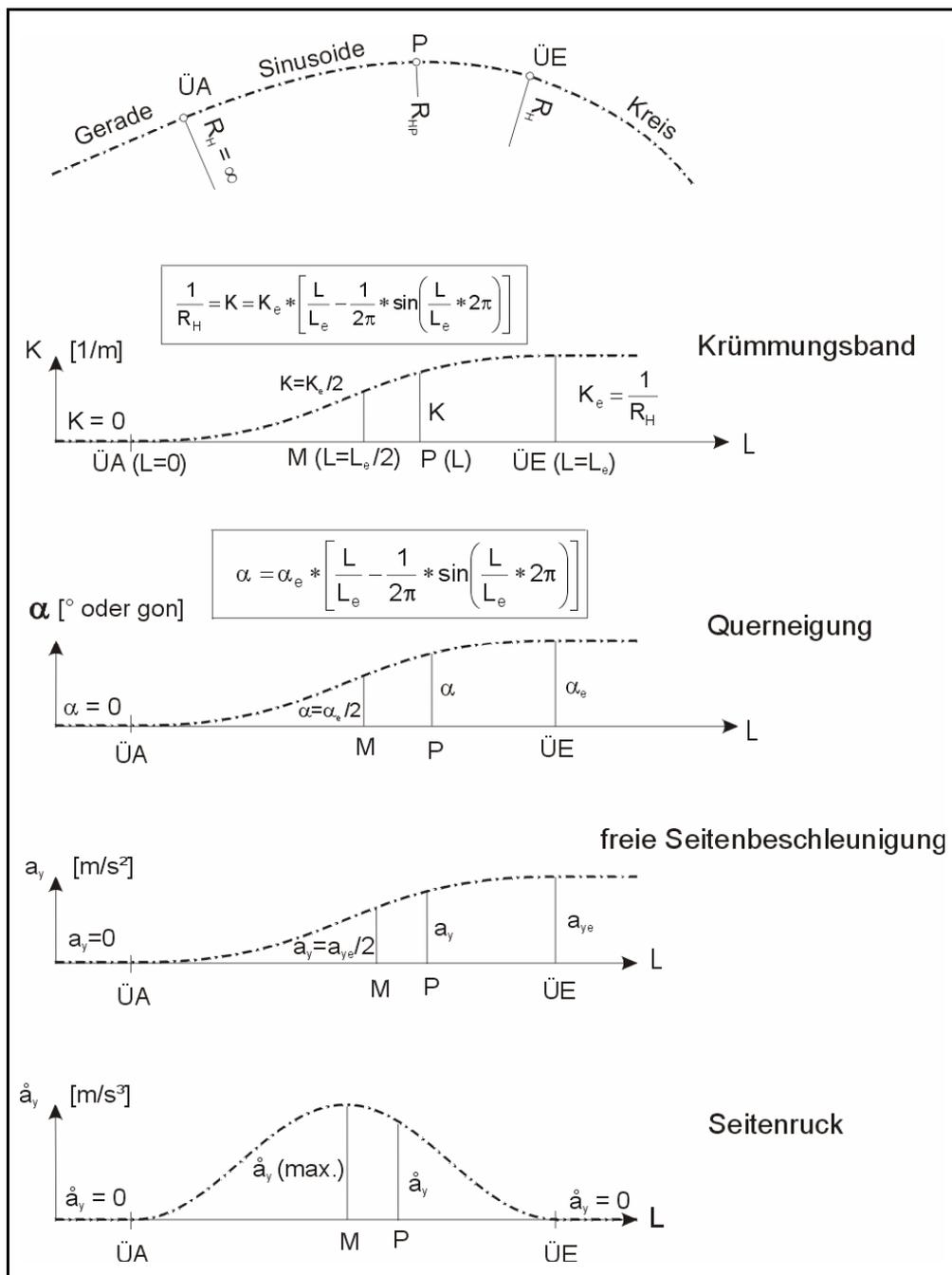


Figure 228 : Propriétés géométriques et dynamiques de roulage de la sinusoïde

- Droite
- Sinusoïde
- Cercle
- Bande de courbure
- $\alpha$  (° ou grade)
- Inclinaison transversale
- Accélération latérale libre
- Choc latéral

L'inclinaison transversale est formée de manière similaire à la courbure.

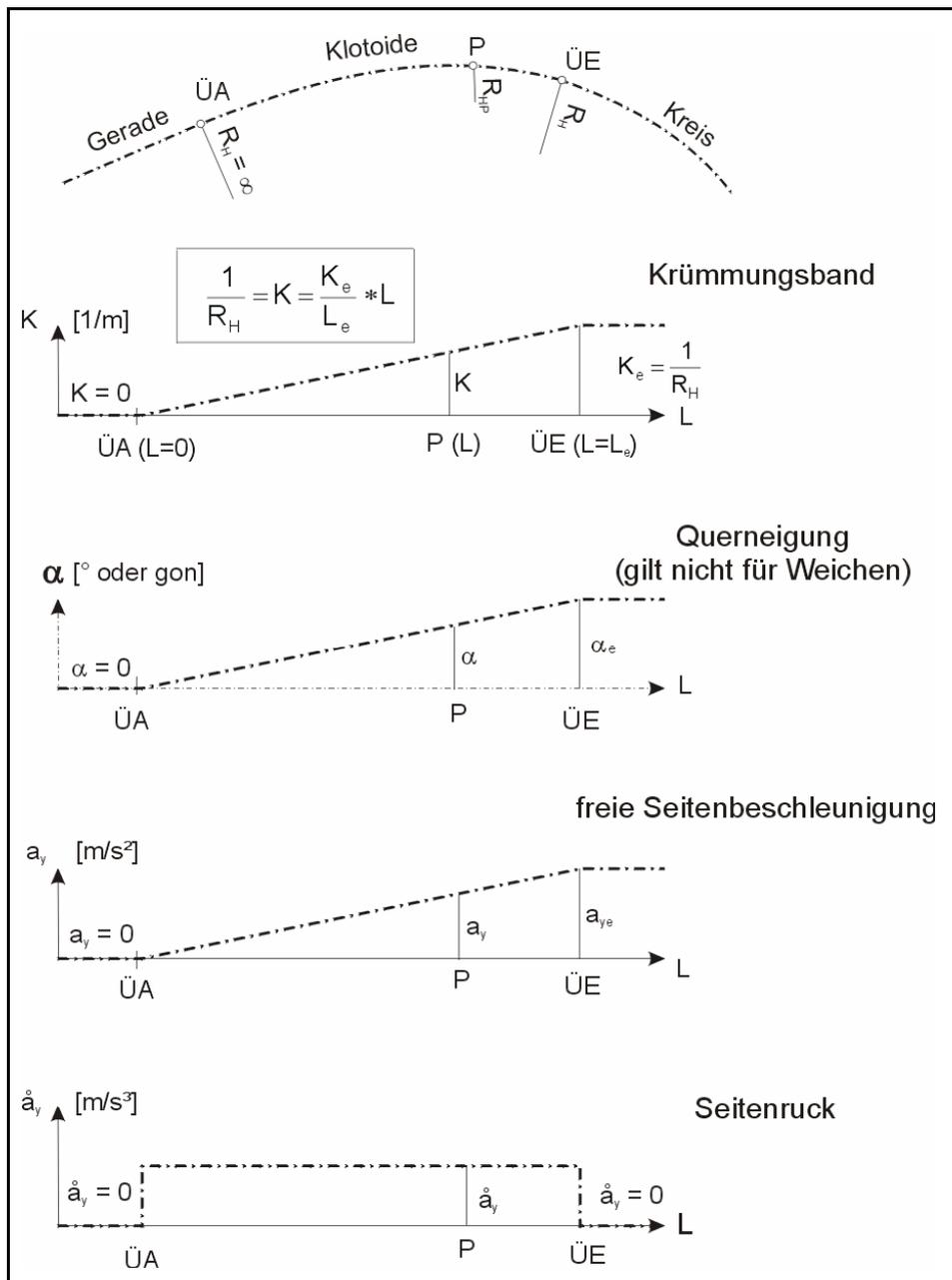


Figure 229 : Propriétés géométriques et dynamiques de roulage de la clothoïde

*Droite*

*Clothoïde*

*Cercle*

*Bande de courbure*

$\alpha$  (° ou grade)

*Inclinaison transversale (ne concerne pas les aiguillages)*

*Accélération latérale libre*

Choc latéral  
Plan vertical des éléments de tracé

## **Voie normale**

Le plan vertical de la voie normale contient :

- Droites ( $R_V = \infty$ )
- Demi-diamètres (arcs de cercle,  $R_V = \text{constant}$ )
- Clothoïdes (arcs de transition)

*Il faut utiliser des clothoïdes entre les droites et les demi-diamètres pour éviter les sauts de courbure dans le tracé du gradient (pression verticale  $\ddot{a}_z = \infty$ ).*

*L'inclinaison longitudinale maximale admissible dans les droites est définie au point 0.*

## **Aiguillages**

*Il est interdit de disposer des aiguillages dans la zone des arrondis verticaux. L'inclinaison longitudinale maximale admissible dans les droites est définie au point 0.*

## Paramètres du tracé

### Paramètres géométriques du tracé

Les cas particuliers explicitement justifiés sont soumis à obligation.

Les exceptions aux dispositions de MbBO sont soumises à l'Article 3 (2) et Article 5 (1) 2 de MbBO.

### Valeurs limites d'inclinaison longitudinale de la voie

Les valeurs limites de l'inclinaison longitudinale de la voie sont indiquées dans le Tableau 141.

Emplacement	Zone	Valeur limite	Déterminée par
Voie libre, en dehors des zones d'arrêt		$ s  = 100 \text{ ‰}$	MbBO §13 (2)
À l'intérieur des points d'arrêt	Zone de quai	$ s  = 5 \text{ ‰}$	MbBO §13 (2)
	Points d'arrêt de service pour les arrêts dus au service	$ s  = 100 \text{ ‰}$ selon le certificat de la fonction de l'arrêt	MbBO §13 (2)
	Autres zones d'arrêt de service	$ s  = 100 \text{ ‰}$ selon le certificat de la fonction de l'arrêt	MbBO §13 (2)
	Points d'arrêt pour l'évacuation	$ s  = 5 \text{ ‰}$	MbBO §13 (2)

Tableau 141 : Inclinaison longitudinale de la voie

Règle du signe :      + s = montée  
                             - s = descente

## Valeurs limites de l'inclinaison transversale de la voie

Les plans de la voie doivent être conçus avec une inclinaison transversale pour annuler ou atténuer les accélérations transversales produits dans les virages. Les valeurs limites sont indiquées dans le Tableau 142.

*L'inclinaison transversale est produite par la rotation des superstructures de la voie autour de l'axe de la voie, lequel conserve sa position en hauteur (son gradient). Le centre de gravité de la rame se déplace ainsi toujours à la même distance de l'axe de la voie dans l'espace. Lors d'un arrêt (aux quais ou aux points d'arrêt de service), l'inclinaison transversale provoque une accélération vers l'intérieur de l'arc.*

Emplacement	Zone	Valeur limite	Déterminée par
Voie libre, en dehors des zones d'arrêt		$ \alpha  = 12^\circ$	MbBO §13 (3)
		$ \alpha  = 16^\circ$ dans des cas particuliers	MbBO §13 (3)
À l'intérieur des points d'arrêt	Zone de quai	$ \alpha  = 3,0^\circ *$	Système complet
	Points d'arrêt de service pour les arrêts dus au service	$ \alpha  = 6,0^\circ$	Système complet Correspond à $a_y = 1,0 \text{ m/s}^2$ (intérieur de l'arc)
	Autres zones d'arrêt de service	$ \alpha  = 12^\circ$	Système complet Correspond à $a_y = 2,0 \text{ m/s}^2$ (intérieur de l'arc)
	Points d'arrêt pour l'évacuation	$ \alpha  = 6,0^\circ$	Système complet Correspond à $a_y = 1,0 \text{ m/s}^2$ (intérieur de l'arc)
Aiguillages		$ \alpha  = 0^\circ$	Système complet Position droite ou position de changement de direction (théorique pour $ s  = 0 \text{ ‰}$ )

Tableau 142 : Inclinaison transversale de la voie

*\*) dans le § 13 (3) du règlement /MbBO/, l'inclinaison transversale autorisée dans une rame à l'arrêt dans la zone de quai est limitée à  $3,4^\circ$ . L'inclinaison transversale maximale de  $3,0^\circ$  est prédéfinie pour des raisons techniques du système.*

Il convient que le drainage de la voie s'effectue par le biais du dessus des superstructures de la voie /MSB AG-FW ÜBG/.

L'inclinaison transversale minimale de la voie est de

$$|\alpha| = 1,15^\circ \text{ (correspond à 2 \%)}.$$

(Font exception les zones dans lesquelles le sens de l'inclinaison transversale est modifié (par exemple tours en S) ainsi que les voies d'arrêt et de maintenance, les stations et les aiguillages).

Règle du signe :        +  $\alpha$  = rotation à droite (vu dans le sens du kilométrage)  
                             -  $\alpha$  = rotation à gauche (vu dans le sens du kilométrage)

## Gauchissement de la voie et longueur minimale autorisée du gauchissement

La section de gauchissement est la zone de transition entre deux sections d'inclinaison transversale constante.

Les positions des points de départ et de fin des sections de gauchissement et des arcs de transition doivent coïncider lors du tracé en projection horizontale.

*Dans des cas particuliers, les sections de gauchissement peuvent également être disposées dans des sections de voie ayant une courbure constante en projection horizontale (voir aussi 0, formule de calcul de l'inclinaison transversale  $\alpha$  avec  $Le$  = longueur du gauchissement).*

Le tracé du gauchissement dans la bande d'inclinaison transversale doit être similaire au tracé de la courbure dans le tracé en projection horizontale.

*En cas d'utilisation de sinusoides dans le tracé en projection horizontale, le gauchissement de la voie doit être de forme sinusoidale. Mais si le gauchissement coïncide avec une clothoïde dans la projection horizontale, celui-ci doit alors présenter une configuration linéaire, c'est à dire avec une variation régulière de l'inclinaison transversale sur la longueur de l'élément (voir Figure 229).*

	Gauchissement	Déterminé par
<b>Valeur maximale</b>	$ \Delta\alpha_{\max}  = 0,10 \text{ °/m}$	Système complet (Géométrie de la rame)
<b>Valeur limite en fonction de l'accord spécifique au projet</b>	$ \Delta\alpha_{\max}  = 0,15 \text{ °/m}$	Système complet (Géométrie de la rame)

*La longueur minimale admissible de la section de gauchissement résulte du gauchissement admissible, du choc latéral maximum (voir 0) et du choc vertical maximum (voir 0 et 0).*

## Rayon horizontal minimal autorisé

Règle à appliquer pour les rayons des arcs de cercle sans accélération latérale asymétrique :

$$R_H = \left| \frac{(\frac{v}{3,6})^2 \cdot \cos\alpha \cdot \cos^2\beta}{\left(g \cdot \cos\beta + \frac{(\frac{v}{3,6})^2}{-R_v}\right) \cdot \sin\alpha} \right| \quad a_y = 0 \text{ m/s}^2 \quad (1)$$

Règle à appliquer pour les rayons des arcs de cercle avec accélération latérale asymétrique non compensée :

$$R_H = \left| \frac{(\frac{v}{3,6})^2 \cdot \cos\alpha \cdot \cos^2\beta}{a_y + \left(g \cdot \cos\beta + \frac{(\frac{v}{3,6})^2}{-R_v}\right) \cdot \sin\alpha} \right| \quad a_y \leq a_{y \text{ max}} \quad (2)$$

Règle du signe : +  $R_H$  = arc à droite (vu dans le sens du kilométrage)

-  $R_H$  = arc à gauche (vu dans le sens du kilométrage)

*Les valeurs limites pour  $a_y$  sont indiquées au point 0. Il faut en outre tenir compte du fait que les valeurs de  $v$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $R_v$  ne restent vraisemblablement pas les mêmes sur tout l'arc de cercle, mais qu'elles peuvent varier avec le déplacement sur la courbe spatiale.  $R_H$  est calculé avec les formules ci-dessus pour un point sur la courbe spatiale. En cas de superposition d'une courbure de la projection horizontale avec un arrondi vertical, il faut en plus tenir compte des conditions du critère  $R_{x,z}$  et du critère  $R_{x,y}$  (voir point 0).*

### Rayon horizontal minimal autorisé

Valeur limite

$$|R_{H \text{ min}}| = 350 \text{ m}$$

Déterminé par

Système complet

(Géométrie de la rame)

La Figure 230 ci-après illustre à titre d'exemple le tracé du rayon horizontal minimal admissible en fonction de la vitesse de la rame lorsqu'il faut tenir compte des indications dynamiques de roulage (voir chapitre 0). Cet exemple suppose une inclinaison transversale de la voie de  $12^\circ$  et recherche le rayon horizontal le plus petit pour une accélération latérale asymétrique de  $0,0 \text{ m/s}^2$  ou de  $1,5 \text{ m/s}^2$ .

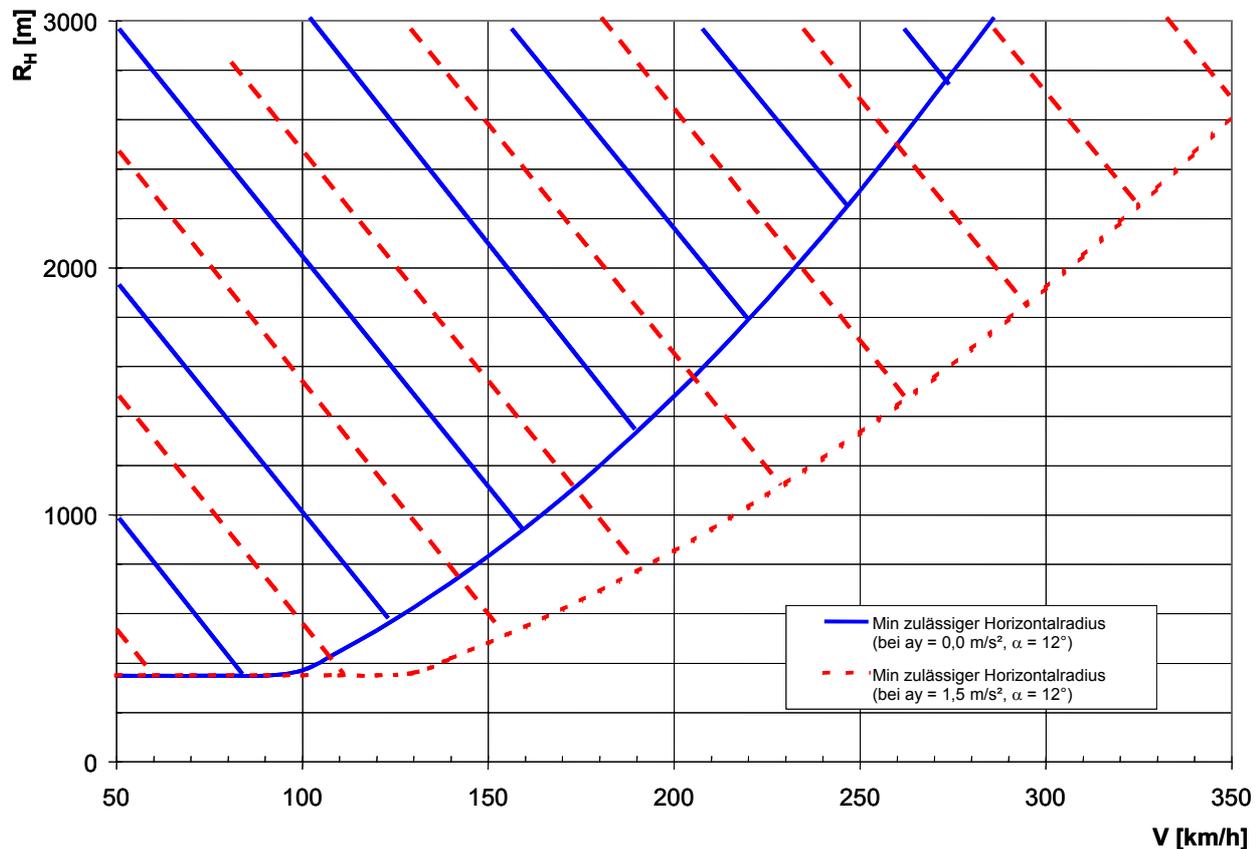


Figure 230 : Rayon horizontal minimal autorisé

Rayon horizontal minimal autorisé (avec  $a_y = 0,0 \text{ m/s}^2$ ,  $\alpha = 12^\circ$ )

Rayon horizontal minimal autorisé (avec  $a_y = 1,5 \text{ m/s}^2$ ,  $\alpha = 12^\circ$ )

### Demi-diamètre vertical minimal autorisé

Il faut choisir les demi-diamètres de manière à ce que les accélérations normales qui se produisent soient les plus faibles possible.

Les valeurs limites des accélérations indiquées au point 0 permettent d'obtenir les valeurs minimales du demi-diamètre arrondi comme suit :

$$R_{V \min} = \left| \frac{(\frac{v}{3,6})^2 \cdot \cos\alpha}{g \cdot (\cos\alpha \cdot \cos\beta - 1) + (\frac{v}{3,6})^2 \cdot \frac{\sin\alpha \cdot \cos^2\beta}{R_H} - a_{z \max}} \right| \quad (3)$$

Règle du signe :      +  $R_V$  = sommets  
                              -  $R_V$  = points bas

*Les valeurs limites de  $a_{z \max}$  sont différentes pour les sommets et les points bas.*

*Là aussi, le calcul s'effectue pour un point sur la courbe spatiale et il faut éventuellement tenir compte de la variation possible de  $v$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $R_H$  pendant le déplacement sur le demi-diamètre lors de la détermination du résultat.*

Valeur limite	Demi-diamètre vertical minimal autorisé	Déterminé par
	$ R_{V \min}  = 530 \text{ m}$	Système complet (Géométrie de la rame)

Il ne doit pas y avoir d'aiguillages dans la zone des arrondis verticaux.

*La règle du signe est nécessaire dans le calcul du gradient en raison de l'utilisation des arcs de transition.*

La Figure 231 ci-après illustre à titre d'exemple les demi-diamètres verticaux minimaux admissibles en fonction de la vitesse de la rame pour l'accélération normale maximale autorisée correspondant au niveau des sommets et dans les points bas. Les indications de la dynamique de roulage sont utilisées en conséquence pour le calcul de  $R_{V\min}$  dans l'équation (3) ci-dessus.

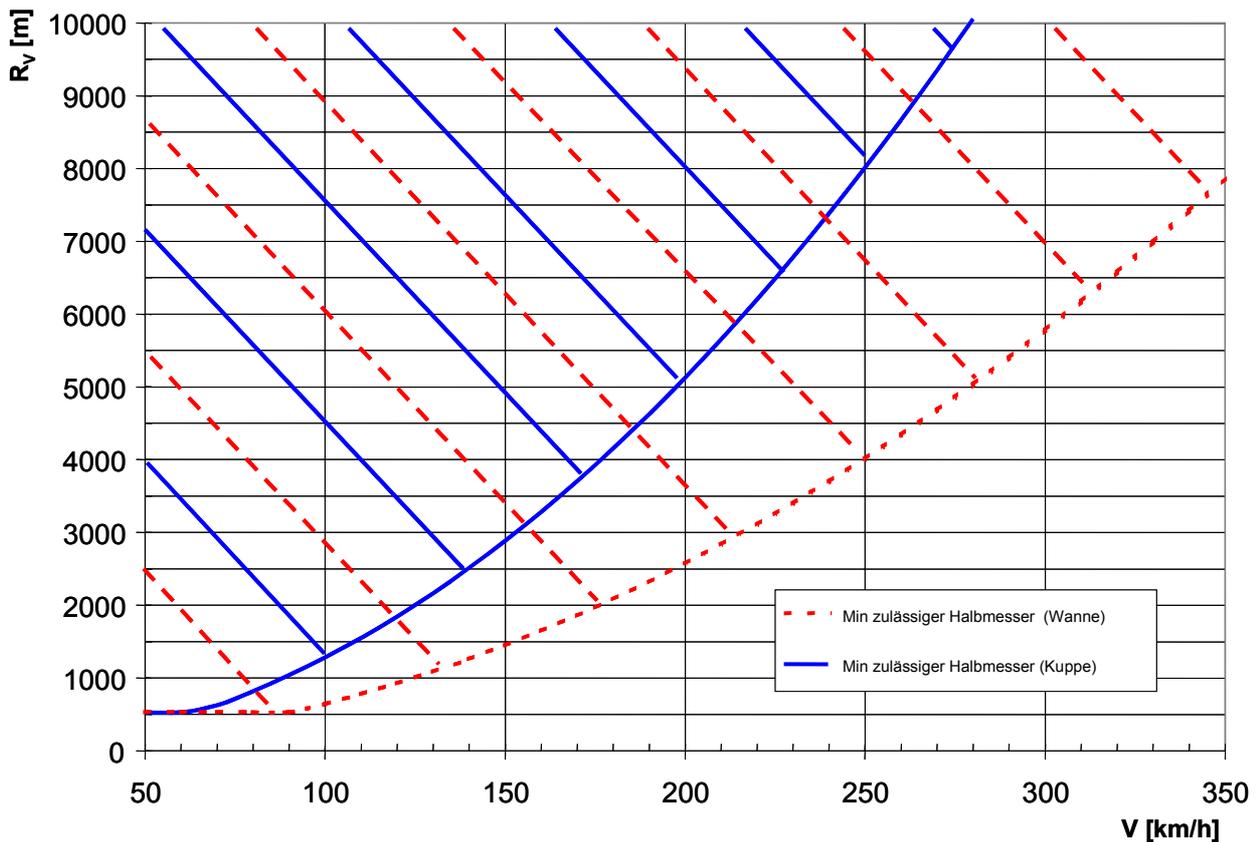


Figure 231 : Demi-diamètre vertical minimal autorisé

*Demi-diamètre horizontal maximal autorisé (point bas)*

*Demi-diamètre horizontal maximal autorisé (sommets)*

**Critère  $R_{x,z}$** 

Il faut tenir compte du critère  $R_{x,z}$  (demi-diamètre spatial) lors de la superposition de la courbure du gradient (demi-diamètre) avec une courbure horizontale (rayon).

$$\frac{1}{R_{x,z}} = \left| \frac{\cos\alpha}{R_V} - \frac{\sin\alpha \cdot \cos^2\beta}{R_H} \right| \quad (4)$$

Voir les chapitres 0 à 0 pour les règles de signe des paramètres utilisés.

**Critère  $R_{x,z}$  minimal Déterminé par autorisé**

<b>Valeur limite</b>	$ R_{x,z \text{ min}}  = 530 \text{ m}$	Système complet
	pour $\Delta\alpha = 0,00 \text{ }^\circ/\text{m}$	(Géométrie de la rame)

En cas de superposition supplémentaire avec un gauchissement, le demi-diamètre spatial dépend du gauchissement présent localement.

Les valeurs limites du Tableau 143 dépendent de la géométrie spécifique au projet de la rame (les valeurs intermédiaires sont à déterminer par interpolation linéaire).

$\Delta\alpha$ [°/m]	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$R_{x,z \text{ min}}$ [m]	530	550	590	630	670	710
$\Delta\alpha$ [°/m]	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
$R_{x,z \text{ min}}$ [m]	770	830	900	990	1100	1230
$\Delta\alpha$ [°/m]	0,12	0,13	0,14	0,15		
$R_{x,z \text{ min}}$ [m]	1410	1640	1950	2430		

Tableau 143 : Valeurs limites de  $R_{x,z}$  en cas de gauchissement de la voie

**Critère  $R_{x,y}$** 

Il faut tenir compte du critère  $R_{x,y}$  (rayon spatial) lors de la superposition de la courbure du gradient (demi-diamètre) avec une courbure horizontale (rayon).

$$\frac{1}{R_{x,y}} = \left| \frac{\sin\alpha}{R_V} + \frac{\cos\alpha \cdot \cos^2\beta}{R_H} \right| \quad (5)$$

Voir les chapitres 0 à 0 pour les règles de signe des paramètres utilisés.

	<b>Critère <math>R_{x,y}</math> minimal autorisé</b>	<b>Déterminé par</b>
<b>Valeur limite</b>	$ R_{x,y \text{ min}}  = 350 \text{ m}$	Système complet (Géométrie de la rame)

*Le rayon minimum autorisé pour le critère  $R_{x,z}$  est fixé à 530 m. Du fait de cette valeur, seules des géométries spéciales du tracé permettent en plus d'atteindre 350 m pour le critère  $R_{x,y}$ .*

*Il faut définir des règles spécifiques au projet en fonction de la géométrie de la rame pour une superposition possible avec un gauchissement.*

## Indications dynamiques de roulage

### Vitesse indicative et maximale de tronçon

*La vitesse indicative de tronçon est le minimum local obtenue à partir de la vitesse de service maximale, de la vitesse indicative du confort de roulage et d'autres indications du projet (voir le graphique dans /MSB AG-ABK&DEF/).*

*Pour le dimensionnement de la voie, les limites supérieures suivantes sont fixées pour la vitesse maximale sur la voie et en tunnel :*

Zone de tronçon	Vitesse maximale	Déterminée par
Tronçon libre	$v_{\max} \leq 500 \text{ km/h}$	Voie (charges continues)
Tronçons en tunnel (dépend de la section transversale)	$v_{\max} \leq 500 \text{ km/h}$	Voie (charges continues)
Aiguillage en position ligne droite	$v_{\max} \leq 500 \text{ km/h}$	Voie (charges continues)
Aiguillage en position de changement de direction	spécifique au type de construction	Voie (charges continues)

*La vitesse maximale du tronçon est obtenue à partir des vitesses maximales mentionnées précédemment en tenant en plus compte de la vitesse maximale de la rame (spécifique au projet ou /MSB AG-GESAMT/).*

*La vitesse de consigne est le minimum parmi la vitesse indicative et la vitesse maximale de tronçon.*

*Le profil de roulage réel nécessaire pour les simulations dynamiques de roulage (voir graphique dans /MSB AG-ABK&DEF/) est généré par des simulations de propulsion supplémentaires lors duquel il est tenu compte de la capacité de puissance réelle de la propulsion en rapport avec le projet.*

## Accélération

Suivant le sens d'action, les accélérations se divisent en :

- Accélération de propulsion ou de freinage  $a_x$
- Accélération latérale asymétrique  $a_y$
- Accélération normale (valeur de confort)  $a_z$
- Accélération normale (accélération due à la gravité)  $g$

Les valeurs limites des accélérations latérales asymétriques et des accélérations normales sont à respecter par l'axe spatial de la voie (courbe spatiale).

Le respect des valeurs limites de l'accélération de propulsion ou de freinage est assuré par le sous-système Propulsion (voir /MSB AG-ANT/).

Du fait du confort de roulage, il faut viser des accélérations latérales et normales asymétriques les plus faibles possibles par un choix approprié des paramètres du tracé. Une compensation de l'accélération latérale est impossible sur les aiguillages, car la voie ne doit pas y présenter d'inclinaison transversale.

La Figure 232 représente la coupe transversale d'une rame du train rapide à sustentation magnétique (vue dans le sens croissant du kilométrage), l'accélération correspondante agissant avec un signe positif.

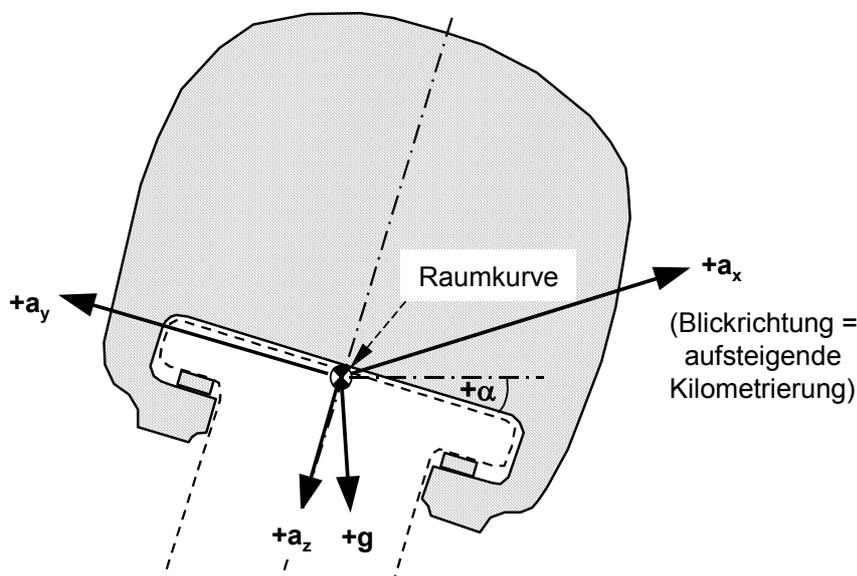


Figure 232 : Signe des accélérations

*Courbe spatiale*

*(sens d'observation = kilométrage croissant)*

**Accélération de propulsion et de freinage**

Le respect des valeurs limites de l'accélération de propulsion ou de freinage est assuré par le sous-système Propulsion (voir /MSB AG-ANT/).

Il faut contrôler ponctuellement le respect des valeurs limites de l'accélération de propulsion et de freinage en tenant compte du profil de roulage maximum prédéfini et de l'inclinaison longitudinale résultant du tracé.

<b>Accélération de propulsion et de freinage</b>	<b>Déterminée par</b>
--	-----------------------

<b>Valeur limite</b>	$ a_{x \max}  = 1,5 \text{ m/s}^2$	MbBO
----------------------	------------------------------------	------

Les valeurs maximales de confort (confort de roulage) peuvent être fixées spécifiquement au projet.

**Accélération latérale asymétrique**

L'accélération latérale asymétrique est calculée comme suit :

$$a_y = \frac{(v/3,6)^2}{R_H} \cdot \cos \alpha \cdot \cos^2 \beta - \left( g \cdot \cos \beta + \frac{(v/3,6)^2}{-R_V} \right) \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

*Le signe de l'accélération latérale asymétrique calculée indique le sens de l'accélération pour les voyageurs :*

*Vers la gauche dans le sens du déplacement si le signe est positif,*

*Vers la droite dans le sens du déplacement si le signe est négatif.*

<b>Valeur limite</b>	<b>Accélération latérale asymétrique</b>	<b>Déterminée par</b>
pour la voie standard	$ a_{y \max}  = 1,5 \text{ m/s}^2$	MbBO (vers l'extérieur de l'arc)
pour les aiguillages	$ a_{y \max}  = 2,0 \text{ m/s}^2$	Système complet (dimensionnement des aiguillages)

Les valeurs maximales de confort (confort de roulage) peuvent être fixées spécifiquement au projet.

*Il ne se produit pas d'accélération transversale ( $a_y = 0$ ) si la vitesse de la rame est adaptée de manière optimale à l'inclinaison transversale et au rayon.*

*Si la vitesse est supérieure, elle agit vers l'extérieur de l'arc, c'est à dire vers le haut sur la surface inclinée de la voie en tant « qu'excédent d'accélération ».*

Si elle est plus faible, elle agit vers l'intérieur de l'arc, c'est à dire vers le bas sur la surface inclinée de la voie en tant qu'insuffisance d'accélération (force descensionnelle).

La relation entre le rayon horizontal dans le sens du déplacement, le sens de l'inclinaison transversale correspondante de la voie et le signe de  $a_y$  obtenu par le calcul est représentée à titre d'information dans le Tableau 144.

	<b>Virage à droite et inclinaison transversale positive</b>	<b>Virage à gauche et inclinaison transversale négative</b>
<i>Paramètres de tracé dans le sens du déplacement</i>	<i><math>R_H</math> et <math>\alpha</math> avec signe positif (+)</i>	<i><math>R_H</math> et <math>\alpha</math> avec signe négatif (-)</i>
<i><math>a_y</math> avec signe positif (+)</i>	<i>Accélération dans le sens du déplacement vers la gauche = excédent d'accélération</i>	<i>Accélération dans le sens du déplacement vers la gauche = insuffisance d'accélération</i>
<i><math>a_y</math> avec signe négatif (-)</i>	<i>Accélération dans le sens du déplacement vers la droite = insuffisance d'accélération</i>	<i>Accélération dans le sens du déplacement vers la droite = excédent d'accélération</i>

Tableau 144 : Sens de l'excédent et de l'insuffisance d'accélération

Contrairement au présent principe d'exécution, le document le /MSB AG-FW BEM/ différencie le sens d'action de l'accélération latérale libre exclusivement vers l'intérieur et vers l'extérieur de l'arc sans tenir compte du sens du tracé. Dans le document /MSB AG-FW BEM/, un signe négatif décrit toujours une accélération vers l'intérieur de l'arc (insuffisance d'accélération) et un signe positif toujours une accélération vers l'extérieur de l'arc (excédent d'accélération).

**Accélération normale (valeur de confort)**

L'accélération normale (valeur de confort) résultant du tracé de la courbe spatiale se calcule comme suit :

$$a_z = \frac{(v/3,6)^2}{R_H} \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \beta + \left( g \cdot \cos \beta + \frac{(v/3,6)^2}{-R_V} \right) \cdot \cos \alpha - g \quad (7)$$

L'accélération normale (valeur de confort) à l'intérieur de la section de gauchissement (rotation autour de la courbe spatiale) se calcule comme suit :

$$a_z = \pm \mathbf{b}_G \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\rho^\circ} \cdot \left( \frac{(v/3,6)^2}{L_e} \right)^2 \cdot \sin \left( 2\pi \cdot \frac{L}{L_e} \right) \quad (8)$$

Les valeurs extrêmes de l'accélération normale calculée précédemment (valeur de confort) sont obtenues avec  $L = L_e / 4$  et  $L = 3 L_e / 4$  comme suit :

$$a_z = \pm \mathbf{b}_G \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\rho^\circ} \cdot \left( \frac{(v/3,6)^2}{L_e} \right)^2 \quad (9)$$

L'accélération normale, qui résulte du gauchissement, agit avec un signe opposé sur le côté gauche et le côté droit de la rame. Il faut toujours calculer le cas le plus défavorable dans l'addition des deux accélérations normales mentionnées précédemment, ce qui veut dire que le signe de la deuxième composante est à choisir en fonction de celui de la composante d'accélération normale à partir du tracé dans le plan vertical.

Valeur limite	Accélération normale	Déterminée par
pour les sommets	$a_{z \max} = -0,6 \text{ m/s}^2$	Système complet (dimensionnement de la voie), recommandation MbBO
pour les points bas	$a_{z \max} = +1,2 \text{ m/s}^2$	Système complet (dimensionnement de la voie), recommandation MbBO

Les valeurs maximales de confort (confort de roulage) peuvent être fixées spécifiquement au projet.

## Chocs

*Les chocs sont des variations différentielles des accélérations par unité de temps.*

Les chocs sont calculés sur l'axe de la voie dans l'espace (courbe spatiale).

Il faut tracer les arcs de transition dans la projection horizontale de manière à ne pas dépasser les valeurs maximales des chocs (modifications différentielles des accélérations par unité de temps).

Suivant le sens d'action, les chocs se divisent en :

- Choc latéral  $\dot{a}_y$
- Choc vertical  $\dot{a}_z$
- Choc longitudinal  $\dot{a}_x$
- Choc omnidirectionnel (hors aiguillages)  $\dot{a}_0$

Des valeurs de choc les plus faibles possibles améliorent l'impression subjective des passagers (bon confort de roulage). Cela peut être réalisé en rallongeant les arcs de transition dans la projection horizontale, par exemple.

Les formules mentionnées ci-après du calcul des valeurs des chocs ne s'appliquent que pour un tracé analogue des sections de courbure et de gauchissement. En l'absence de tracé analogue, il faut contrôler ponctuellement le respect des valeurs limites.

**Choc latéral**

Le choc latéral se calcule comme suit :

- pour les clothoïdes

$$\dot{a}_y = \frac{\Delta a_y}{L_K} \cdot \frac{v}{3,6} \quad (10)$$

- pour les sinusoides (valeur maximale)

$$\dot{a}_y = 2 \cdot \frac{\Delta a_y}{L_S} \cdot \frac{v}{3,6} \quad (11)$$

Valeur maximale	Choc latéral	Déterminée par
En principe	$ \dot{a}_{y \max}  = 0,5 \text{ m/s}^3$	Système complet (confort de roulage)
Exceptions, par exemple pour la zone des stations	$ \dot{a}_{y \max}  = 1,0 \text{ m/s}^3$	Système complet (confort de roulage)
Pour les aiguillages (position de changement de direction)	$ \dot{a}_{y \max}  = 2,0 \text{ m/s}^3$	Système complet (confort de roulage)

Si des voyageurs en position debout sont attendus régulièrement lorsque le train rapide à sustentation magnétique est utilisé en trafic régional, il faut alors définir spécifiquement au projet des valeurs admissibles plus faibles pour les chocs latéraux.

**Choc vertical**

Le choc vertical se calcule comme suit :

$$\dot{a}_z = \frac{\Delta a_z}{L_K} \cdot \frac{v}{3,6} \quad (12)$$

La composante de choc vertical au sein d'une section de gauchissement (rotation autour de la courbe spatiale) est obtenue comme suit :

$$\dot{a}_z = \pm \mathbf{b}_G \cdot 4\pi^2 \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\rho^\circ} \cdot \left( \frac{(v/3,6)}{L_e} \right)^3 \cdot \cos\left( 2\pi \cdot \frac{L}{L_e} \right) \quad (13)$$

Les valeurs extrêmes de la composante de choc vertical mentionnée précédemment sont obtenues avec  $L = 0$ ,  $L = L_e/2$  et avec  $L = L_e$  comme suit :

$$\dot{a}_z = \pm \mathbf{b}_G \cdot 4\pi^2 \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\rho^\circ} \cdot \left( \frac{(v/3,6)}{L_e} \right)^3 \quad (14)$$

La composante de choc vertical, qui résulte du gauchissement, agit avec un signe opposé sur le côté gauche et le côté droit de la rame. Il faut toujours calculer le cas le plus défavorable dans l'addition des deux composantes de choc vertical mentionnées précédemment, ce qui veut dire que le signe de la deuxième composante est à choisir en fonction de celui de la composante de choc vertical à partir du tracé de la courbe spatiale.

Valeur maximale	Choc vertical	Déterminée par
En principe	$ \dot{a}_{z \max}  = 0,5 \text{ m/s}^3$	Système complet (confort de roulage)
Exceptions, par exemple pour la zone des stations	$ \dot{a}_{z \max}  = 1,0 \text{ m/s}^3$	Système complet (confort de roulage)

Des cas particuliers avec un choc vertical accru sont autorisés dans des cas particuliers après avoir contrôlé la compatibilité.

**Choc longitudinal**

Le choc longitudinal ne dépend pas en premier lieu du tracé de la courbe spatiale, mais de la courbe de vitesse.

Le profil de roulage doit respecter les exigences opérationnelles en matière de choc longitudinal.

**Choc omnidirectionnel**

Le choc omnidirectionnel est obtenu en superposant dans l'espace le choc longitudinal, le choc latéral et le choc vertical.

Celui-ci se calcule comme suit :

$$\mathring{a}_o = \sqrt{\mathring{a}_x^2 + \mathring{a}_y^2 + \mathring{a}_z^2} \quad (15)$$

**Valeur maximale****Choc omnidirectionnel Déterminée par**

En principe

$$|\mathring{a}_{o \max}| = 1,0 \text{ m/s}^3$$

Système complet (confort de roulage)

Des cas particuliers avec un choc omnidirectionnel accru sont autorisés dans des cas particuliers après avoir contrôlé la compatibilité.

Aucune valeur maximale du choc omnidirectionnel n'est spécifiée pour les aiguillages (position de changement de direction).

## Longueur minimale sinusoïde

La sinusoïde correspondante dans le tracé (notamment dans le tour en S) est définie par la longueur  $L$  et les rayons  $R_{Ha}$  ou  $R_{He}$ , un rayon pouvant également être  $R_H = \infty$  (ligne droite).

La longueur minimale résulte des critères du choc latéral maximum, du gauchissement maximum autorisé ou du choc vertical maximum en appliquant les formules ci-après, la longueur la plus élevée étant retenue.

$$L_{S \min} = \left| 2 \cdot \frac{a_{y,e} \cdot \text{SGN}(R_{H,e}) - a_{y,a} \cdot \text{SGN}(R_{H,a})}{\dot{a}_{y \max}} \cdot \frac{v}{3,6} \right| \quad (16)$$

$$L_{S \min} = \left| 2 \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\Delta \alpha_{\max}} \right| \quad (17)$$

$$L_{S \min} = \sqrt[3]{\left(\frac{v}{3,6}\right)^3 \cdot b_G \cdot 4\pi^2 \cdot \frac{|\alpha_e - \alpha_a|}{\rho^0 \cdot \dot{a}_{z \max}}} \quad (18)$$

Les formules indiquées pour calculer la longueur minimale de la sinusoïde ne s'appliquent que lorsque les points de départ et de fin des sections de courbure et de gauchissement coïncident sur l'axe de la voie. En l'absence de tracé identique, il faut particulièrement veiller au respect des valeurs limites.

En cas de superposition des gauchissements avec des arrondis verticaux, il faut contrôler ponctuellement le respect des valeurs limites, car la composante de choc verticale résultant de la courbe spatiale n'est pas prise en compte dans les formules mentionnées précédemment (voir 0).

**Longueur minimale de clothoïde**

Dans le tracé, la clothoïde correspondante est définie par le rayon ( $R_H$ ) ou le demi-diamètre ( $R_V$ ) de l'arc de cercle rattaché et la longueur  $L$  de l'arc de transition. Il faut ici choisir  $L$  de manière à ne pas dépasser le choc latéral ou vertical maximum autorisé. La longueur minimale est obtenue à partir des formules suivantes :

dans la projection horizontale (dans la voie normale, seulement au niveau des aiguillages ou aux points de passage obligatoires avec  $V < 100$  km/h)

$$L_{K \min} = \left| \frac{\Delta a_y}{\dot{a}_{y \max}} \cdot \frac{v}{3,6} \right| \quad (19)$$

dans le plan vertical

$$L_{K \min} = \left| \frac{\Delta a_z}{\dot{a}_{z \max}} \cdot \frac{v}{3,6} \right| \quad (20)$$

En cas de superposition des gauchissements avec des arrondis verticaux, il faut particulièrement veiller au respect des valeurs limites, car la composante de choc verticale résultant du gauchissement n'est pas prise en compte dans la formule mentionnée précédemment (voir 0).

## Critères de confort en fonction du temps de déplacement total de la ligne tracée

Pour le tracé, il ne faut pas seulement contrôler les éléments individuels de celui-ci et leur combinaison du point de vue technique, mais il faut également tenir compte des critères relatifs au confort de roulage. L'important ici est la séquence globale des éléments du tracé et leurs effets sur les voyageurs. Le mesurage et l'évaluation du confort d'un tracé planifié de la ligne seront illustrés ci-après au moyen du cheminement de la ligne et du profil de roulage maximum prévu à cet effet en fonction de la rame et du comportement des voyageurs.

La valeur efficace des accélérations (valeur RMS) est utilisée ici comme échelle d'évaluation du confort de roulage. Cette valeur est obtenue par l'équation (21) :

$$\mathbf{a}_{\text{eff}} = \mathbf{a}_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{a}^2(t) dt} \quad (21)$$

avec  $a(t)$  = amplitude d'accélération au moment  $t$

et  $T$  = temps de déplacement total (longueur totale de la ligne)

Les exigences suivantes sont définies pour le projet de tracé :

Pour le tracé en projection horizontale

- La valeur efficace de l'accélération latérale asymétrique doit être inférieure aux valeurs limites (en partie extrapolées) représentées dans le graphique « Confort de roulage accélération longitudinale et latérale ». Ce graphique est représenté dans la Figure 233.
- La durée de l'effet correspond à la durée de roulage totale.
- Il n'est pas nécessaire de définir une longueur minimale pour les éléments Droite et Cercle de la projection horizontale pour la prise en compte de la valeur efficace.

Pour le tracé dans le plan vertical

- La valeur efficace de l'accélération normale doit être inférieure aux valeurs limites représentées dans le graphique « Confort de roulage accélération normale », par exemple inférieure de 20 % à celles-ci afin d'éviter les effets de cinétose (mal des transports). Ce graphique est représenté dans la Figure 234.
- La durée de l'effet correspond à la durée de roulage totale.
- Il convient d'éviter la disposition périodique d'arrondis sur une longue section de ligne.

- Il n'est pas nécessaire de définir une longueur minimale pour les éléments Droite et Demi-diamètre du plan vertical.

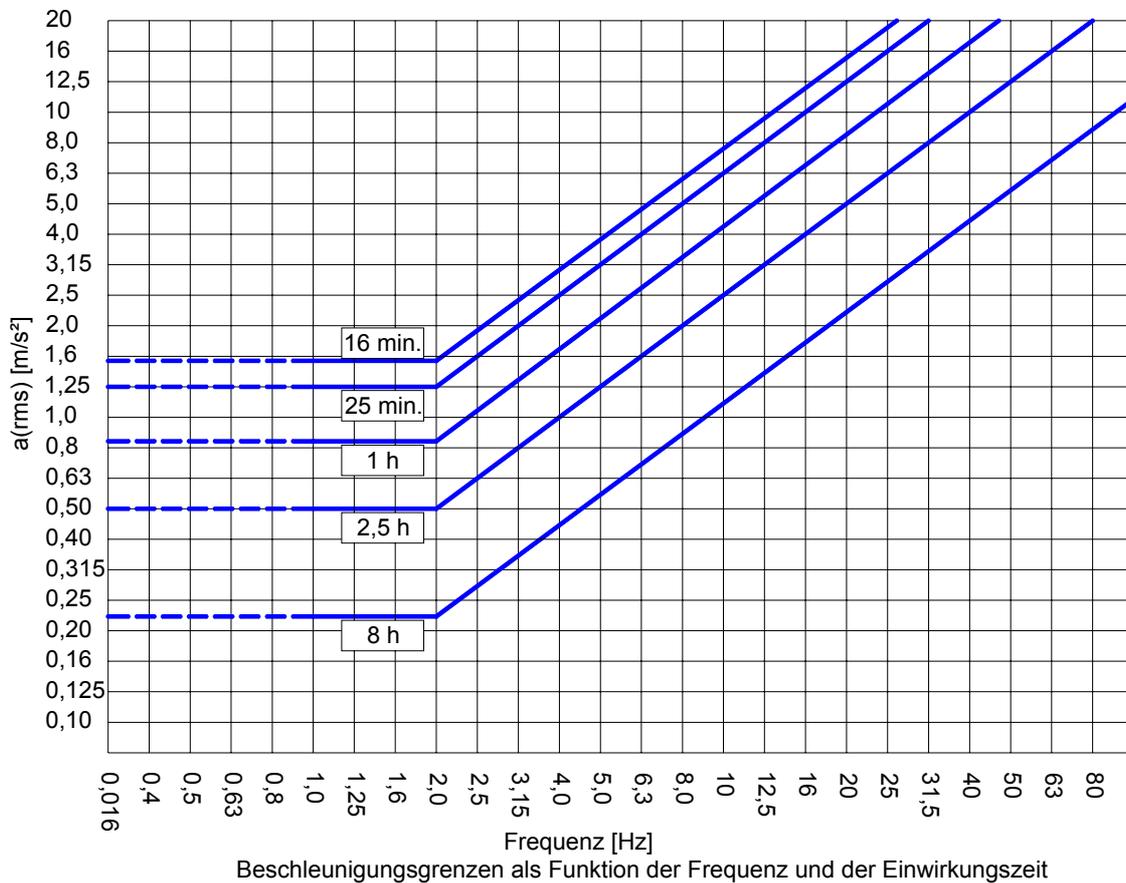


Figure 233 : Confort de roulage accélération longitudinale et latérale (selon ISO 2631)

Fréquence (Hz)

Limites d'accélération en fonction de la fréquence et de la durée de l'effet

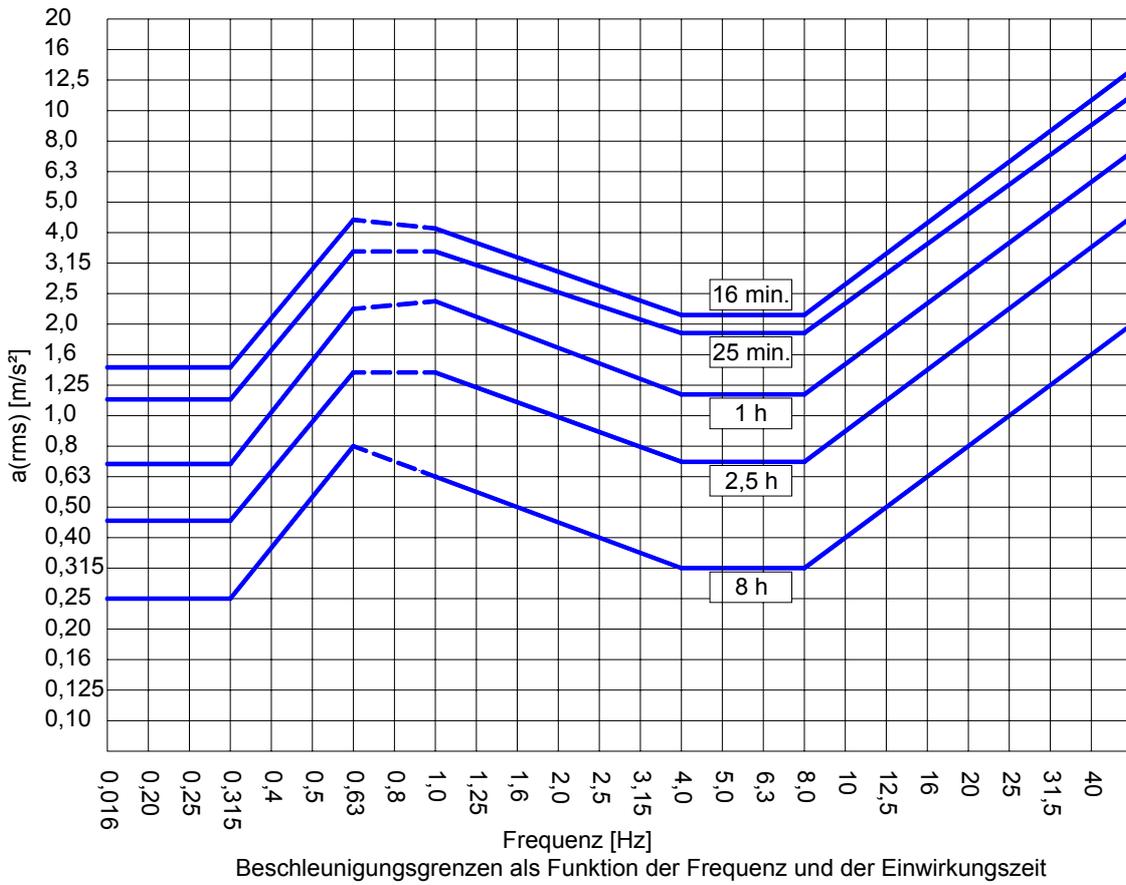


Figure 234 : Confort de roulage - accélération normale (selon ISO 2631)

Fréquence (Hz)

Limites d'accélération en fonction de la fréquence et de la durée de l'effet

## Distribution des supports et portée des travées

### Voie à un rail

Après avoir déterminé le tracé de la courbe spatiale, il faut tenir compte des portées de travée préférentielles du point de vue technique et économique pour la suite de la planification. La distribution des supports se rapporte aux portées de travée définies (/MSB AG-FW ÜBG/) et elle est associée à la courbe spatiale.

Les portées de travée sont à déterminer en fonction du projet.

Des portées de travée plus courte peuvent également être utilisées aux points de passage obligatoires. La portée de travée peut ici être raccourcie d'un multiple entier d'une période encoche / dent (86 mm).

Les longueurs des supports de voie se calculent à l'aide de la formule suivante :

$$L = n \times 1032 - m \times 86 \quad (22)$$

avec  $m \leq 4$  (nombre de raccourcissements)

## Voie à deux rails et plus

Il faut également utiliser des portées raccourcies (/MSB AG-FW ÜBG, 7.1) lors de la distribution des supports des voies à deux rails ou plus afin d'obtenir une disposition approximativement radiale des têtes d'appui. Les installations de changement de voie relient les sections de l'axe du tracé.

Les longueurs spatiales de ces sections de l'axe du tracé entre les installations de changement de voie doivent être un multiple entier d'une période de propulsion (516 mm).

Ces sections de l'axe du tracé peuvent être raccourcies d'un multiple entier uniforme d'une période encoche / dent (86 mm).

La Figure 235 représente à titre d'exemple deux axes de tracé qui mènent d'un point de départ commun dans une installation de changement de voie vers un point final commun dans une installation de changement de voie et dont les longueurs spatiales doivent satisfaire à la condition mentionnée.

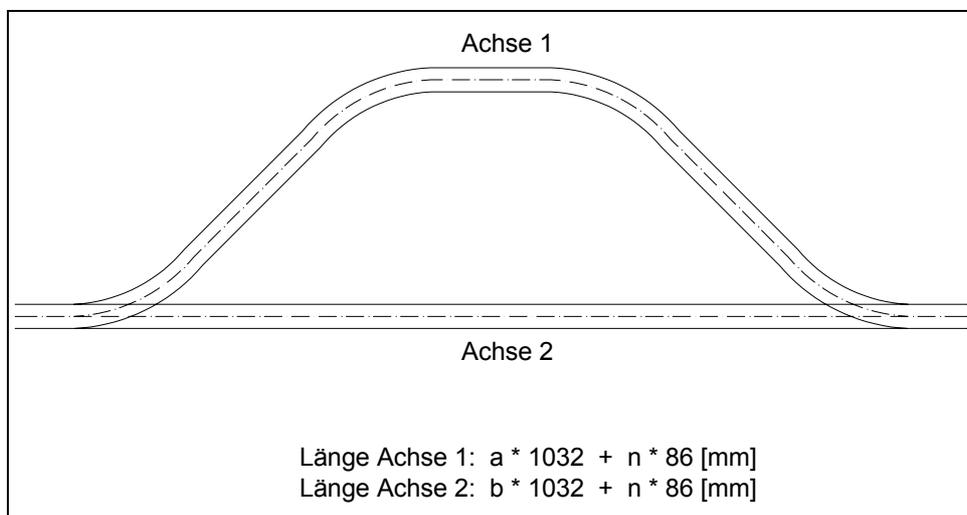


Figure 235 : Longueurs de la courbe spatiale en présence de plusieurs rails

Axe 1

Axe 2

Longueur axe 1 :  $a * 1032 + n * 86$  (mm)

Longueur axe 2 :  $b * 1032 + n * 86$  (mm)

*Dans le cas de contraintes géométriques, les variations des sections individuelles de l'axe du tracé (< 516 mm) par rapport à la condition mentionnée précédemment peuvent être distribuées régulièrement sur les portées au sein de cette section de l'axe du tracé.*

*Les valeurs indicatives utilisables pour la planification peuvent être une prolongation maximale de 6,5 mm ou un raccourcissement maximum de 0,5 mm pour une portée de 24,7680 m.*

## Entraxe des rails et gabarit

### Entraxe des rails

Lors du tracé des rails parallèles, il faut au moins respecter les entraxes des rails décrits dans le Tableau 145 (en fonction de la vitesse théorique  $V_e$ ).

En catégorie 1 ( $V_e \leq 300$  km/h), il faut en plus effectuer une différenciation de l'entraxe des rails en fonction de l'inclinaison transversale ( $\alpha$ ) et du rayon horizontal ( $R_H$ ) utilisés afin d'éviter les recouvrements de gabarit.

*Cette règle ne concerne que les inclinaisons transversales jusqu'à un maximum de  $12^\circ$  et des hauteurs identiques (gradients) de la courbe spatiale des rails voisins. Si les hauteurs de gradient sont différentes, il faut examiner les gabarits des deux rails pour y déceler un éventuel recouvrement et adaptée en conséquence à l'entraxe des rails.*

Catégorie	Vitesse théorique $V_e$ [km/h]	Inclinaison latérale $\alpha$ [°]	Rayon horizontal $R_H$ [m]	Entraxe des rails S [m]
1	$v_e \leq 300$			4,40
		$\alpha$		4,50
		$5^\circ \leq 10^\circ$	$R_H \leq 3500$	
2	$300 < v_e \leq 400$			4,80
3	$400 < v_e \leq 500$			5,10

Tableau 145 : Entraxe des rails

### Exactitude

Il faut respecter l'entraxe des rails à deux décimales près (selon /MbBO/).

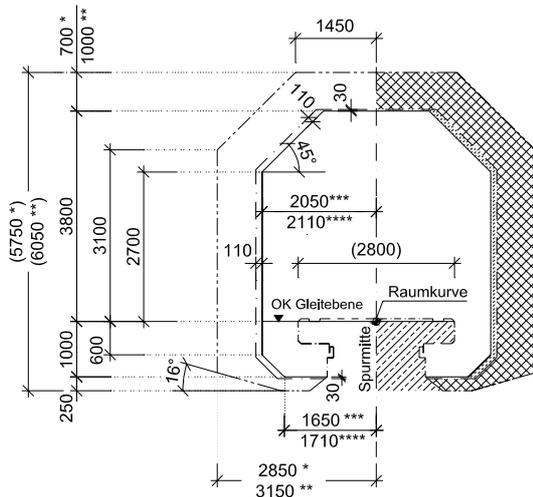
### Non-parallélisme des sinusoides

*Il est impossible de tracer les sinusoides avec un parallélisme géométrique parfait lors du tracé des rails parallèles.*

*Les écarts sont inclus dans l'espace nécessaire pour les variations de position et les tolérances de la voie par rapport à la courbe spatiale et il est inutile d'en tenir compte ici.*

## Gabarit et lignes de délimitation

Les illustrations du document /MbBO/ ont été utilisées comme base pour les figures 9 à 13 et ont été complétées avec l'inclinaison transversale.



-  Raumbedarf für Toleranzen des Fahrwegs und dessen Linienführung
-  Zulässig sind Einragungen von baul. Anlagen, wenn es der Magnetschwebbahnbetrieb erfordert, sowie Einragungen bei Bauarbeiten, wenn die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen getroffen sind
-  Raum für Fahrwegträger

Geschwindigkeitsabhängige Maße der Lichtraumumgrenzung

\* bis 400 km/h

\*\* bis 500 km/h

Radiusabhängige Abstände der Begrenzungslinie

\*\*\* bogenaußenseitig  $R_H > 3500$  m und bogeninnenseitig

\*\*\*\* bogenaußenseitig  $R_H < 3500$  m

-  Lichtraumumgrenzung
-  Grenzlinie für feste Anlagen
-  Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeugs
-  Fahrwegbegrenzung

Figure 236 : Gabarit et lignes de délimitation du rail unique de TSM,  $\alpha = 0^\circ$

*Bord supérieur du plan de glissement*

*Courbe spatiale*

*Centre du rail*

\* *Espace nécessaire pour les tolérances de la voie et du tracé de sa ligne*

\* *Les éléments en saillies des constructions sont tolérés s'ils sont nécessaires pour l'exploitation du train rapide à sustentation magnétique ainsi que les éléments en saillie des travaux de construction si les mesures de sécurité correspondantes sont prises.*

\* *Espace pour le support de voie*

*Dimensions de la délimitation du gabarit en fonction de la vitesse*

\* *jusqu'à 400 km/h*

\*\* *jusqu'à 500 km/h*

*Écart par rapport à la ligne de délimitation en fonction du rayon*

\*\*\* *côté extérieur de l'arc  $R_H > 3500$  m et côté intérieur de l'arc*

\*\*\* *côté extérieur de l'arc  $R_H < 3500$  m*

*Délimitation du gabarit*

*Ligne limite pour les installations fixes*

*Ligne de délimitation pour l'espace cinématique nécessaire à la rame*

*Limitation de la voie*

Titre Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Voie Partie IV, Tracé

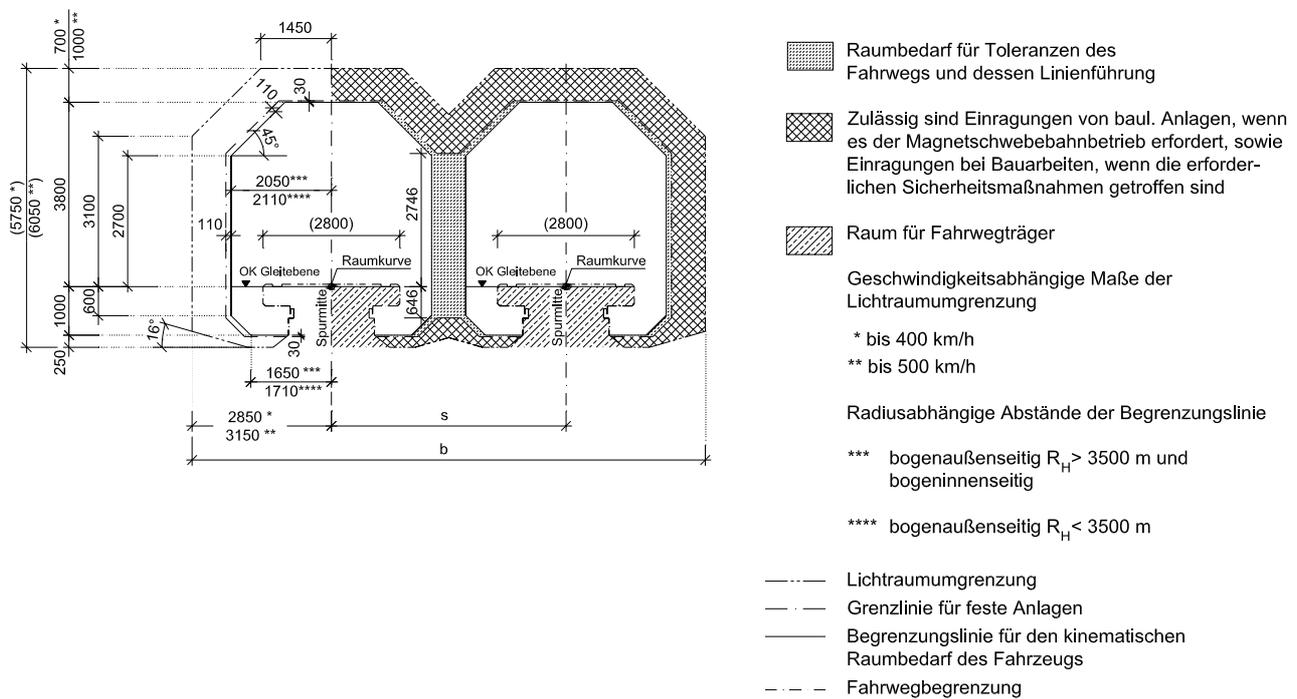


Figure 237 : Gabarit et lignes de délimitation du double rail de TSM,  $\alpha = 0^\circ$

*Bord supérieur du plan de glissement*

*Courbe spatiale*

*Centre du rail*

\* Espace nécessaire pour les tolérances de la voie et du tracé de sa ligne

\* Les éléments en saillies des constructions sont tolérés s'ils sont nécessaires pour l'exploitation du train rapide à sustentation magnétique ainsi que les éléments en saillie des travaux de construction si les mesures de sécurité correspondantes sont prises.

\* Espace pour le support de voie

*Dimensions de la délimitation du gabarit en fonction de la vitesse*

\* jusqu'à 400 km/h

\*\* jusqu'à 500 km/h

*Écarts par rapport à la ligne de délimitation en fonction du rayon*

\*\*\* côté extérieur de l'arc  $R_H > 3500$  m et côté intérieur de l'arc

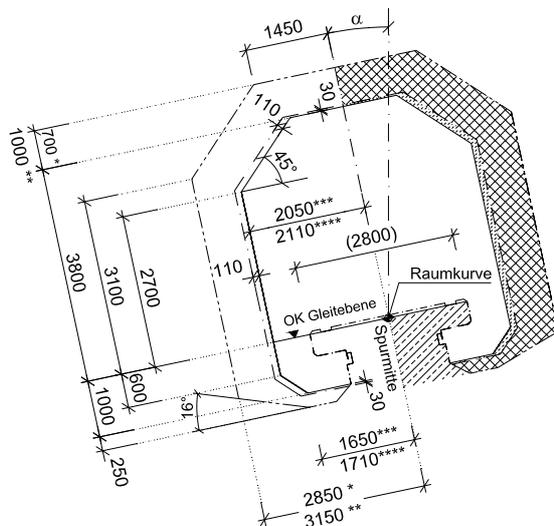
\*\*\* côté extérieur de l'arc  $R_H < 3500$  m

*Délimitation du gabarit*

*Ligne limite pour les installations fixes*

*Ligne de délimitation pour l'espace cinématique nécessaire à la rame*

*Limitation de la voie*



-  Raumbedarf für Toleranzen des Fahrwegs und dessen Linienführung
  -  Zulässig sind Einragungen von baul. Anlagen, wenn es der Magnetschwebbahnbetrieb erfordert, sowie Einragungen bei Bauarbeiten, wenn die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen getroffen sind
  -  Raum für Fahrwegträger
- Geschwindigkeitsabhängige Maße der Lichtraumumgrenzung
- \* bis 400 km/h
  - \*\* bis 500 km/h
- Radiusabhängige Abstände der Begrenzungslinie
- \*\*\* bogenaußenseitig  $R_H > 3500$  m und bogeninnenseitig
  - \*\*\*\* bogenaußenseitig  $R_H < 3500$  m
- Lichtraumumgrenzung
  - Grenzlinie für feste Anlagen
  - Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeugs
  - Fahrwegbegrenzung

Figure 238 : Gabarit et lignes de délimitation du rail unique de TSM,  $\alpha \leq 12^\circ$

*Bord supérieur du plan de glissement*

*Courbe spatiale*

*Centre du rail*

\* *Espace nécessaire pour les tolérances de la voie et du tracé de sa ligne*

\* *Les éléments en saillies des constructions sont tolérés s'ils sont nécessaires pour l'exploitation du train rapide à sustentation magnétique ainsi que les éléments en saillie des travaux de construction si les mesures de sécurité correspondantes sont prises.*

\* *Espace pour le support de voie*

*Dimensions de la délimitation du gabarit en fonction de la vitesse*

\* *jusqu'à 400 km/h*

\*\* *jusqu'à 500 km/h*

*Écart par rapport à la ligne de délimitation en fonction du rayon*

\*\*\* *côté extérieur de l'arc  $R_H > 3500$  m et côté intérieur de l'arc*

\*\*\* *côté extérieur de l'arc  $R_H < 3500$  m*

*Délimitation du gabarit*

*Ligne limite pour les installations fixes*

*Ligne de délimitation pour l'espace cinématique nécessaire à la rame*

*Limitation de la voie*

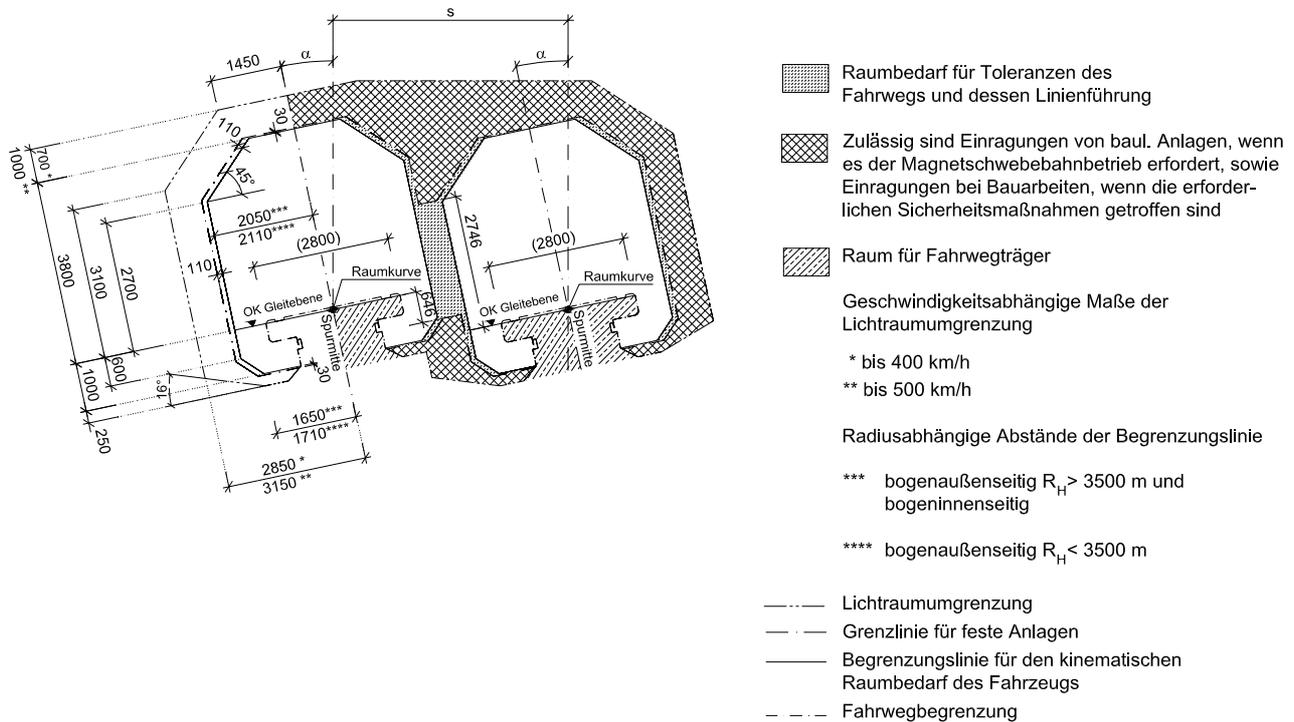


Figure 239 : Gabarit et lignes de délimitation du double rail de TSM,  $\alpha \leq 12^\circ$

*Bord supérieur du plan de glissement*

*Courbe spatiale*

*Centre du rail*

\* Espace nécessaire pour les tolérances de la voie et du tracé de sa ligne

\* Les éléments en saillies des constructions sont tolérés s'ils sont nécessaires pour l'exploitation du train rapide à sustentation magnétique ainsi que les éléments en saillie des travaux de construction si les mesures de sécurité correspondantes sont prises.

\* Espace pour le support de voie

*Dimensions de la délimitation du gabarit en fonction de la vitesse*

\* jusqu'à 400 km/h

\*\* jusqu'à 500 km/h

*Écart par rapport à la ligne de délimitation en fonction du rayon*

\*\*\* côté extérieur de l'arc  $R_H > 3500$  m et côté intérieur de l'arc

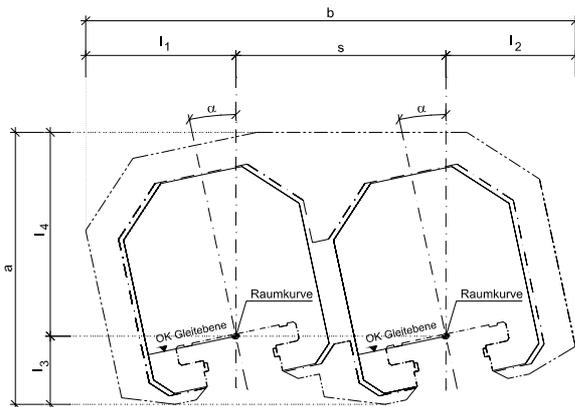
\*\*\* côté extérieur de l'arc  $R_H < 3500$  m

*Délimitation du gabarit*

*Ligne limite pour les installations fixes*

*Ligne de délimitation pour l'espace cinématique nécessaire à la rame*

*Limitation de la voie*



Berechnung der Breite des Streckenquerschnitts für Doppelspur (b) und Einzelspur ( $b_E$ ) sowie der Höhe des Streckenquerschnitts (a) in Abhängigkeit der Querneigung ( $\alpha$ ):

$$l_i = b_i + \Delta_i \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$\Delta_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \times \cos [ \arctan (\frac{a_i}{b_i}) - \alpha ] - b_i$$

$$b = l_1 + s + l_2$$

$$b = l_1 + l_2$$

$$a = l_3 + l_4$$

Geschwindigkeitsabhängige Abmessungen des Spurmittenabstandes (s)

$$s = 4400 \text{ mm bis } 300 \text{ km/h}$$

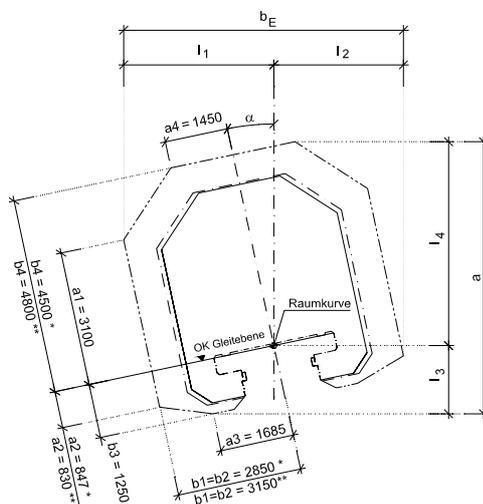
$$s = 4800 \text{ mm bis } 400 \text{ km/h}$$

$$s = 5100 \text{ mm bis } 500 \text{ km/h}$$

Geschwindigkeitsabhängige Maße der Lichtraumumgrenzung

\* bis 400 km/h

\*\* bis 500 km/h



- Lichtraumumgrenzung
- - - Grenzlinie für feste Anlagen
- — — Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeugs
- · - · - Fahrwegbegrenzung

Figure 240 : Gabarit du TSM en fonction de  $\alpha \leq 12^\circ$

*Bord supérieur du plan de glissement**Courbe spatiale**Centre du rail**Calcul de la largeur de la section transversale de la voie pour un double rail (b) et un rail unique (b<sub>E</sub>) ainsi que de la hauteur de la section transversale de voie (a) en fonction de l'inclinaison transversale (α) :*

$$l_i = b_i + \Delta_i \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$\Delta_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \times \cos \left[ \arctan \left( \frac{a_i}{b_i} \right) - \alpha \right] - b_i$$

$$b = l_1 + s + l_2$$

$$b = l_1 + l_2$$

$$a = l_3 + l_4$$

*Dimensions de l'entraxe des rails (s) en fonction de la vitesse**s = 4400 mm jusqu'à 300 km/h**s = 4800 mm jusqu'à 400 km/h**s = 5100 mm jusqu'à 500 km/h**Dimensions de la délimitation du gabarit en fonction de la vitesse**\* jusqu'à 400 km/h**\*\* jusqu'à 500 km/h**Délimitation du gabarit**Ligne limite pour les installations fixes**Ligne de délimitation pour l'espace cinématique nécessaire à la rame**Limitation de la voie*

## Installations de changement de voie

### Généralités

Les variantes des installations de changement de voie sont illustrées dans la Figure 241.

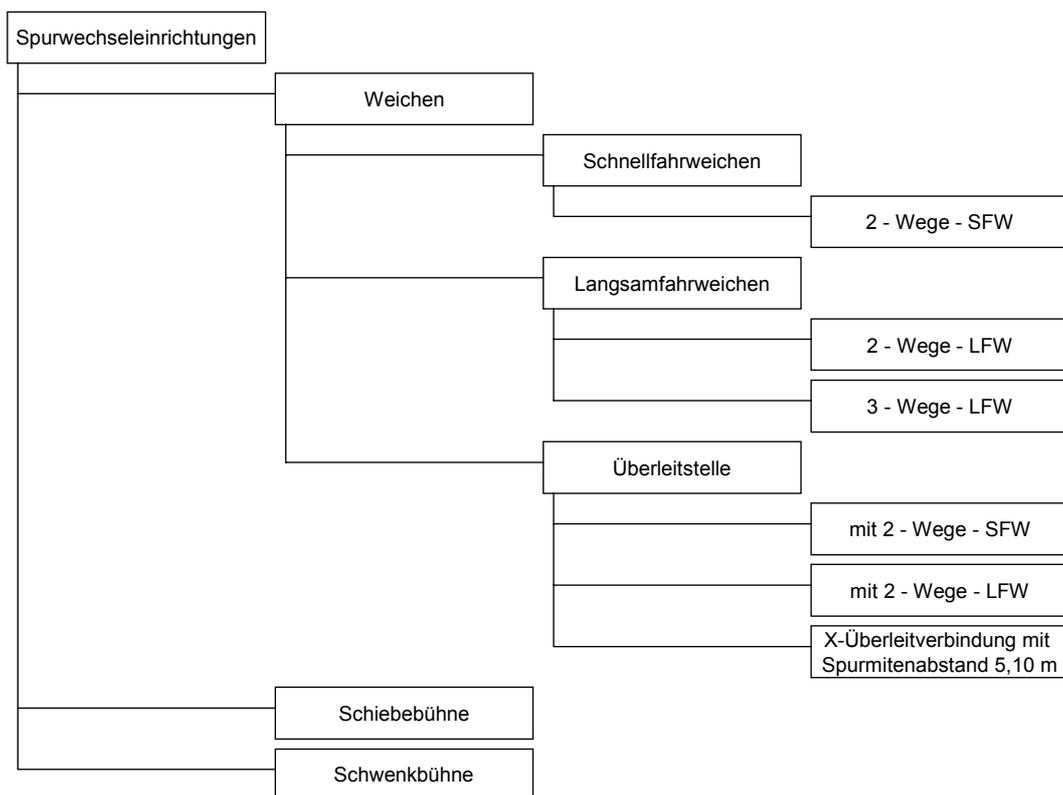


Figure 241 : Organisation des installations de changement de voie

#### *Installations de changement de voie*

##### *Aiguillages*

##### *Aiguillages à circulation rapide*

##### *Aiguillages à circulation rapide à 2 voies*

##### *Aiguillages à circulation lente*

##### *Aiguillages à circulation lente à 2 voies*

##### *Aiguillages à circulation lente à 3 voies*

##### *Point de transition*

##### *Avec aiguillages à circulation rapide à 2 voies*

##### *Avec aiguillages à circulation lente à 2 voies*

##### *Liaison de transition croisée avec entraxe de 5,10 m*

##### *Plate-forme roulante*

##### *Plate-forme pivotante*

# Aiguillages

## Généralités

Il faut tenir compte des principes suivants pour le tracé des aiguillages :

- Le support d'aiguillage complet peut être plié de la position ligne droite en position de changement de direction.
- *La projection horizontale présente la séquence géométrique suivante : droite - clothoïde - cercle - clothoïde - droite. Cette séquence se rapproche fortement de la ligne de courbure du support d'aiguillage. La Figure 242 représente les éléments de la bande de courbure d'un aiguillage en position de changement de direction.*
- *Pour des raisons de confort, il est recommandé de tracer dans le rail de changement de voie après l'aiguillage une ligne droite ( $R_H = \infty$ ) pour une durée de roulage de 2 secondes. Cette recommandation ne concerne pas les liaisons de transition, car le premier aiguillage est ici directement suivi par un deuxième.*
- *Seul le demi-diamètre  $R_V = \infty$  est autorisé dans le gradient.*
- L'inclinaison transversale des aiguillages selon le plan est de  $0^\circ$ .
- L'inclinaison longitudinale des aiguillages selon le plan peut aller jusqu'à 100 ‰.  
*En cas d'utilisation d'une inclinaison longitudinale différente de 0 ‰, il se produit dans la projection horizontale de la position de changement de direction des éléments de tracé non définis mathématiquement.*

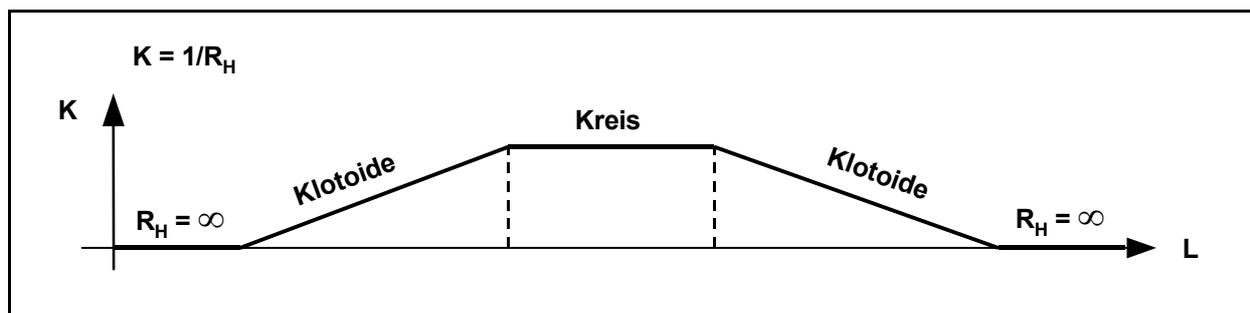


Figure 242 : Bande de courbure d'un aiguillage

*Clothoïde  
Cercle  
Clothoïde*

## Exemples de réalisation d'aiguillages

Des exemples de réalisation actuellement connus sont représentés ci-après. D'autres aiguillages peuvent être définis spécifiquement au projet.

---

Les exemples de réalisation contiennent la séquence géométrique des éléments du tracé ainsi qu'un tableau des vitesses maximales avec les accélérations latérales et les chocs latéraux qui en résultent. *Les titres « Application sur ligne moyenne / grande ligne » et « Application régionale » sont donnés en fonction de la configuration de la rame (voyageurs assis - voyageurs debout).*

*Les valeurs pour l'« Application régionale » sont ici à interpréter comme des recommandations.*

*Les recommandations indiquées dans les tableaux suivants pour les applications régionales se basent sur des analyses de confort mettant l'accent sur les voyageurs debout.*

*Les liaisons de transition se composent de 2 aiguillages courbes et d'une unité de verrouillage.*

*Les liaisons de transition croisée se composent de 4 aiguillages courbes, l'entraxe des rails est de 5,100 m. En position de changement de direction, il est nécessaire d'amener également en position de changement de direction l'aiguillage courbe qui n'est pas franchi, sinon la ligne de délimitation des ouvrages fixes sera franchie (chapitre 0).*

**Aiguillage à circulation rapide**

Les éléments du tracé de l'aiguillage à circulation rapide sont représentés sous la forme d'une projection horizontale à échelle non respectée dans la Figure 243 et énumérés dans le Tableau 146.

Les valeurs dynamiques de roulage pour cet aiguillage sont regroupées dans le Tableau 147.

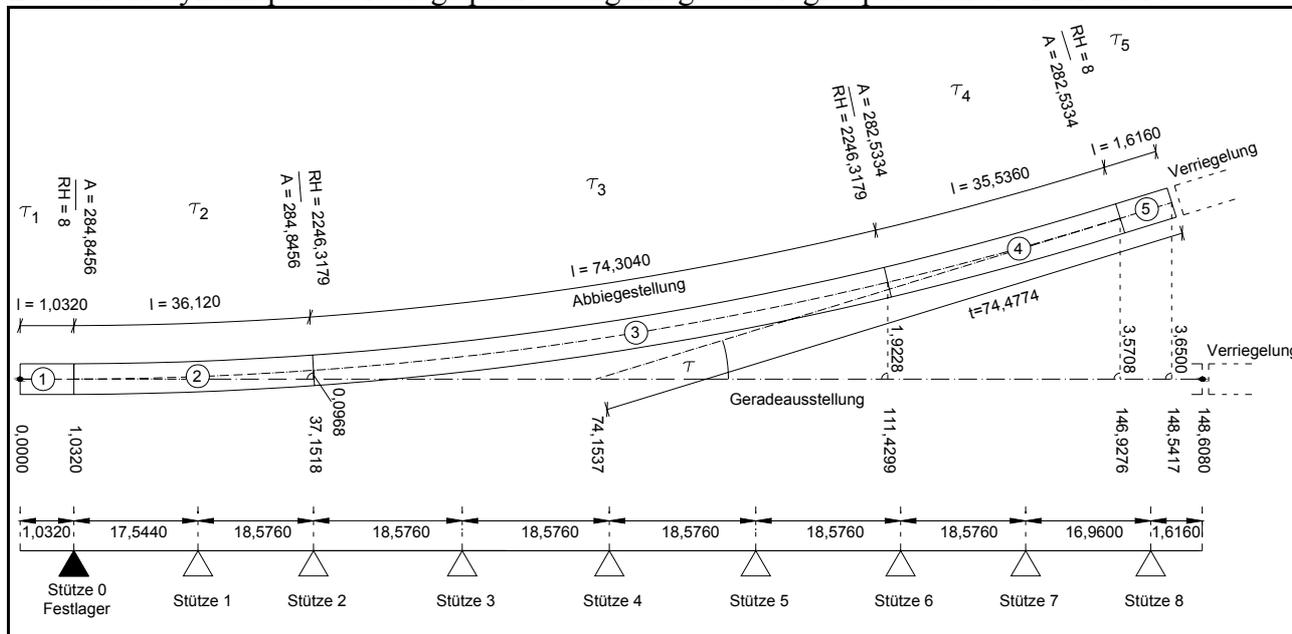


Figure 243 : Éléments du tracé d'un aiguillage à circulation rapide (exemple de réalisation)

Position de changement de direction  
Position en ligne droite

Verrouillage  
Verrouillage

Support 0 appui fixe  
Support 1

N°	Élément	Longueur [m]	Rayon [m]	Abscisse [m]	Ordonnée [m]	$\tau$ [grade]	$\tau$ [°]
	WA			0,0000	0,0000	0,00000	0,00000
1	Ligne droite	1,0320		1,0320	0,0000	0,00000	0,00000
2	Clothoïde	36,1200		37,1518	0,0968	0,51183	0,46065
3	Arc de cercle	74,3040	-2246,3179	111,4299	1,9228	2,10582	1,89524
4	Clothoïde	35,5360		146,9276	3,5708	0,50356	0,45320
5	Ligne droite	1,6160		148,5417	3,6500	0,00000	0,00000
$\Sigma$		148,6080				3,12121	2,80909

Tableau 146 : Paramètres de tracé d'un aiguillage à circulation rapide (exemple de réalisation)

Grandeur		Application sur ligne moyenne/		Application régionale (recommandation)	
Vitesse maximale position ligne droite	$V_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Vitesse maximale position de changement de	$V_{\text{höchst}}$	195	[km/h]	155	[km/h]
Accélération latérale asymétrique	$a_y$	1,31	[m/s <sup>2</sup> ]	0,83	[m/s <sup>2</sup> ]
Choc latéral (1ère / 2ème clothoïde)	$\dot{a}_y$	1,96 / 1,99	[m/s <sup>3</sup> ]	0,98 / 1,00	[m/s <sup>3</sup> ]

Tableau 147 : Valeurs dynamiques d'un aiguillage à circulation rapide (exemple de réalisation)

**Aiguillage à circulation lente**

Les éléments du tracé de l'aiguillage à circulation lente sont représentés sous la forme d'une projection horizontale à échelle non respectée dans la Figure 244 et énumérés dans le Tableau 148.

Les valeurs dynamiques de roulage pour cet aiguillage sont regroupées dans le Tableau 149.

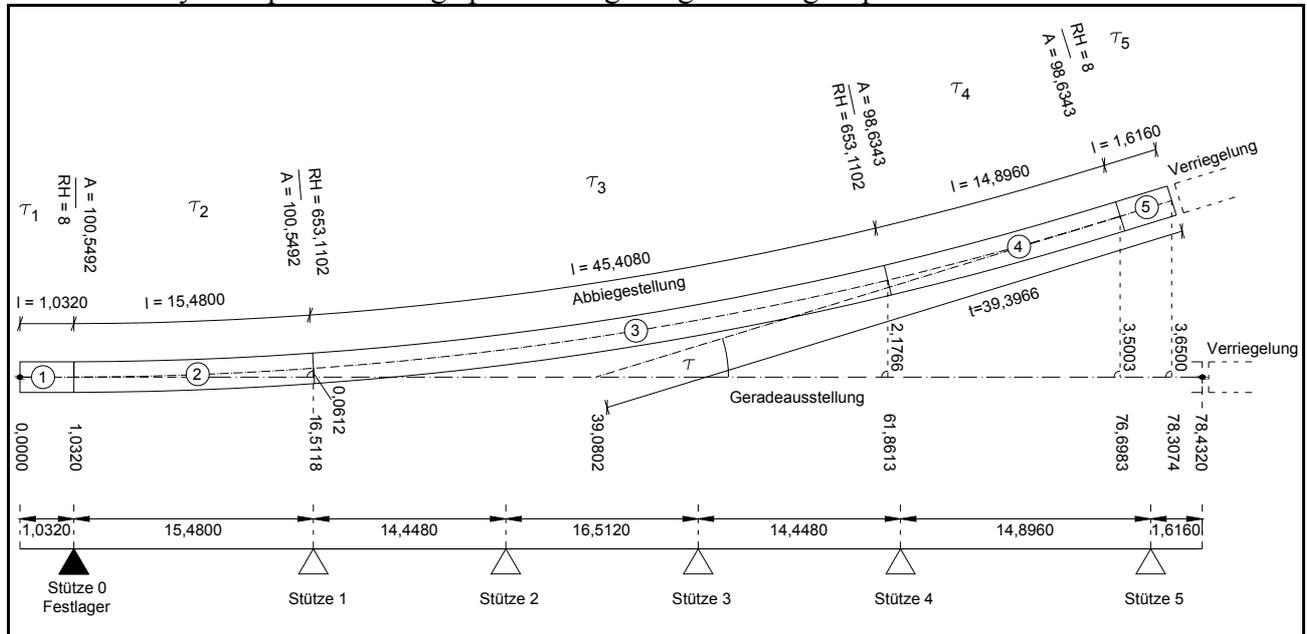


Figure 244 : Éléments du tracé d'un aiguillage à circulation lente à 2 voies (exemple de réalisation)

Position de changement de direction  
Position en ligne droite

Verrouillage  
Verrouillage

Support 0 appui fixe  
Support 1

N°	Élément	Longueur [m]	Rayon [m]	Abscisse [m]	Ordonnée [m]	$\tau$ [grade]	$\tau$ [°]
	WA			0,0000	0,0000	0,00000	0,00000
1	Ligne droite	1,0320		1,0320	0,0000	0,00000	0,00000
2	Clothoïde	15,4800		16,5118	0,0612	0,75446	0,67901
3	Arc de cercle	45,4080	-653,1102	61,8613	2,1766	4,42615	3,98354
4	Clothoïde	14,8960		76,6983	3,5003	0,72599	0,65339
5	Ligne droite	1,6160		78,3074	3,6500	0,00000	0,00000
$\Sigma$		78,4320				5,90660	5,31594

Tableau 148 : Paramètres du tracé d'un aiguillage à circulation lente à 2 voies (exemple de réalisation)

Grandeur		Application sur ligne moyenne/		Application régionale (recommandation)	
Vitesse maximale <i>position ligne droite</i>	$V_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Vitesse maximale <i>position de changement de</i>	$V_{\text{höchst}}$	97	[km/h]	77	[km/h]
Accélération latérale <i>asymétrique</i>	$a_y$	1,10	[m/s <sup>2</sup> ]	0,69	[m/s <sup>2</sup> ]
Choc latéral <i>(1ère / 2ème clothoïde)</i>	$\ddot{a}_y$	1,91 / 1,98	[m/s <sup>3</sup> ]	0,95 / 0,99	[m/s <sup>3</sup> ]

Tableau 149 : Valeurs dynamiques de roulage d'un aiguillage à circulation lente à 2 voies (exemple de réalisation)

Les dimensions géométriques de l'aiguillage à circulation lente à 3 voies correspondent à celles de l'aiguillage à circulation lente à 2 voies (voir Figure 244 et Tableau 148) avec l'alignement en ligne droite comme axe de symétrie.

Les variantes de positionnement sont représentées dans la Figure 245.

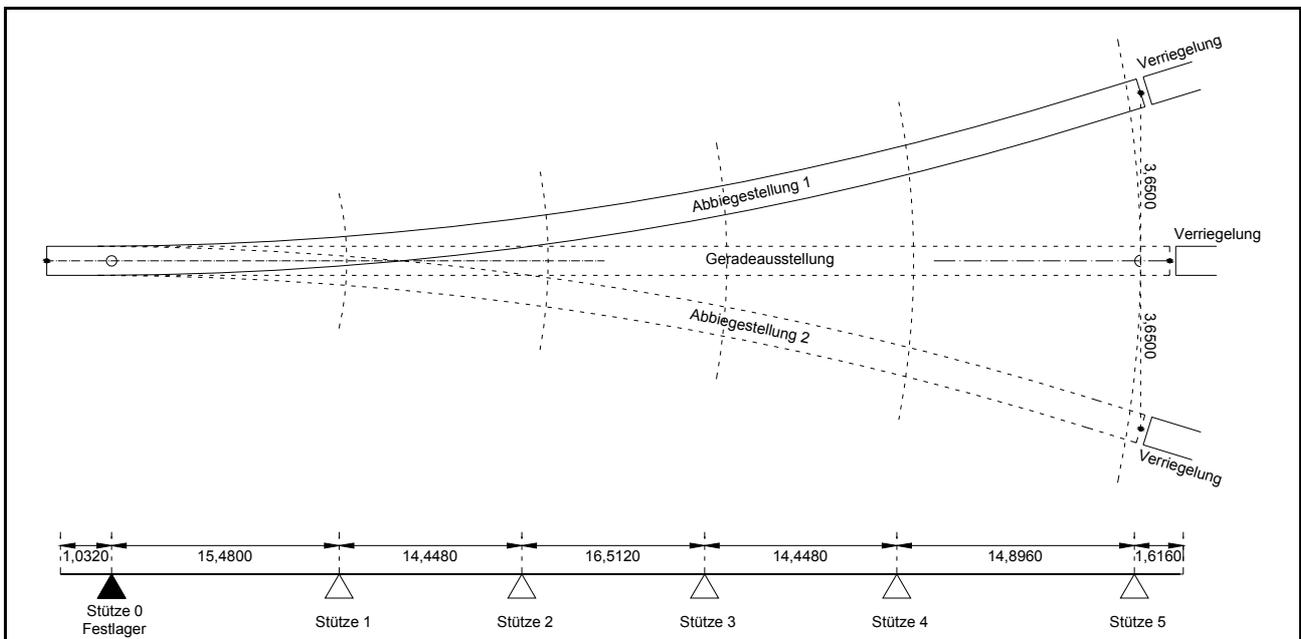


Figure 245 : Variantes de positionnement d'un aiguillage à circulation lente à 3 voies (exemple de réalisation)

*Position de changement de direction*  
*Position en ligne droite*  
*Position de changement de direction*

*Verrouillage*  
*Verrouillage*  
*Verrouillage*

*Support 0 appui fixe*  
*Support 1*

### Liaison de transition avec aiguillages à circulation rapide

Les liaisons de transition entre des voies parallèles sont réalisées en combinant plusieurs aiguillages courbes.

La Figure 246 représente sans respect de l'échelle la séquence des éléments du tracé de la voie pour une liaison de transition avec des aiguillages à circulation rapide, le Tableau 150 les éléments du tracé.

Les valeurs dynamiques de conduite pour cette liaison de transition sont indiquées dans le Tableau 151.

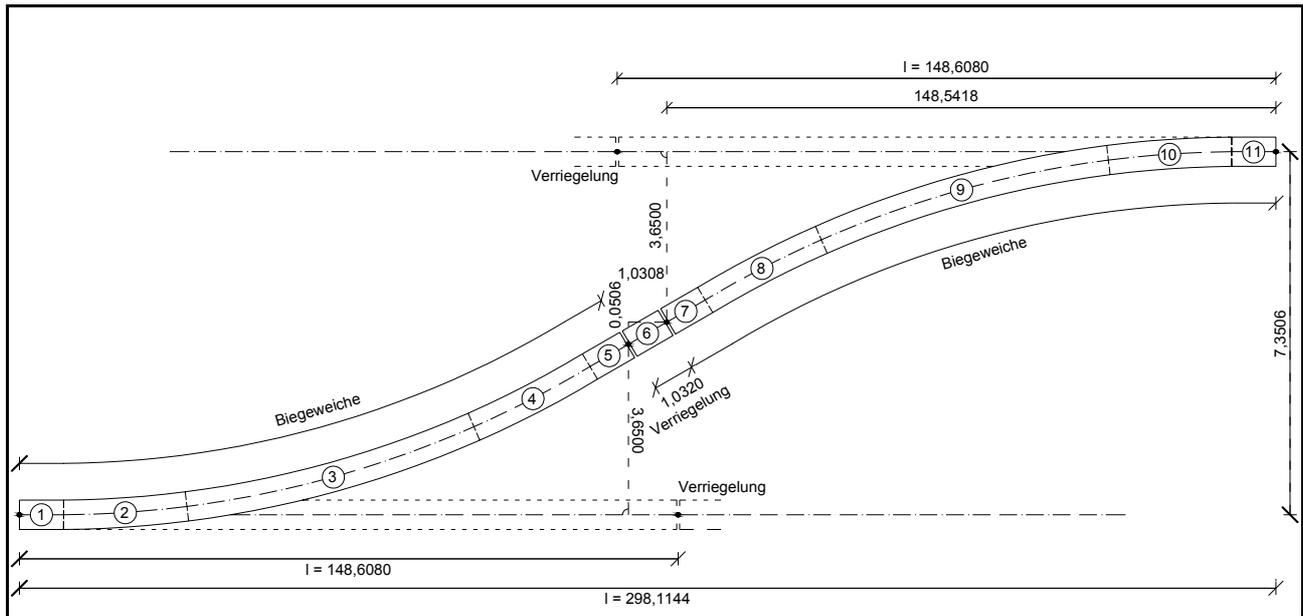


Figure 246 : Éléments du tracé de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation rapide (exemple de réalisation)

*Verrouillage*

*Aiguillage courbe*

*Verrouillage*

*Verrouillage*

*Aiguillage courbe*

**Principes d'exécution**

N°	Élément	Longueur [m]	Rayon [m]	Abscisse [m]	Ordonnée [m]	$\tau$ [grade]	$\tau$ [°]
	WA			0,0000	0,0000	0,00000	0,00000
1	Ligne droite	0,5000		0,5000	0,0000	0,00000	0,00000
2	Clothoïde	36,6520		37,1518	0,0992	0,51687	0,46518
3	Arc de cercle	74,3040	-2257,1800	111,4300	1,9252	2,09569	1,88612
4	Clothoïde	36,0680		147,4591	3,5969	0,50863	0,45777
5	Ligne droite	1,0840		148,5418	3,6500	0,00000	0,00000
6	Ligne droite	0,5000		149,5726	3,7006	0,00000	0,00000
7	Ligne droite	1,0840		150,6553	3,7537	0,00000	0,00000
8	Clothoïde	36,0680		186,6844	5,4254	-0,50863	-0,45777
9	Arc de cercle	74,3040	+2257,1800	260,9626	7,2514	-2,09569	-1,88612
10	Clothoïde	36,6520		297,6144	7,3506	-0,51687	-0,46518
11	Ligne droite	0,5000		298,1144	7,3506	0,00000	0,00000
$\Sigma$		298,248				0,00000	0,00000

Tableau 150 : Paramètres du tracé de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation rapide (exemple de réalisation)

Grandeur		Application sur ligne moyenne/		Application régionale (recommandation)	
Vitesse maximale position ligne droite	$v_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Vitesse maximale position de changement de	$v_{\text{höchst}}$	196	[km/h]	124	[km/h]
Accélération latérale asymétrique	$a_y$	1,31	[m/s <sup>2</sup> ]	0,53	[m/s <sup>2</sup> ]
Choc latéral (1ère / 2ème clothoïde)	$\dot{a}_y$	1,95 / 1,98	[m/s <sup>3</sup> ]	0,49 / 0,50	[m/s <sup>3</sup> ]

Tableau 151 : Valeurs dynamiques de roulage de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation rapide (exemple de réalisation)



Grandeur		Application sur ligne moyenne/		Application régionale (recommandation)	
Vitesse maximale position ligne droite	$V_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Vitesse maximale position de changement de	$V_{\text{höchst}}$	97	[km/h]	61	[km/h]
Accélération latérale asymétrique	$a_y$	1,10	[m/s <sup>2</sup> ]	0,44	[m/s <sup>2</sup> ]
Choc latéral (1ère / 2ème clothoïde)	$\dot{a}_y$	1,91 / 1,98	[m/s <sup>3</sup> ]	0,47 / 0,49	[m/s <sup>3</sup> ]

Tableau 153 : Valeurs dynamiques de roulage de la liaison de transition avec des aiguillages à circulation lente (exemple de réalisation)

### Liaison de transition croisée avec aiguillages à circulation lente pour un entraxe de rail de 5,10 m

La disposition des aiguillages à circulation lente en vue de former une liaison de transition croisée pour un entraxe de rail de 5,10 m peut être appliquée comme variante à faible encombrement (Figure 248, Tableau 154, Tableau 155).

Les extrémités ouvertes des voies droites doivent être pivotées vers l'extérieur lors de la transition afin de conserver les gabarits nécessaires.

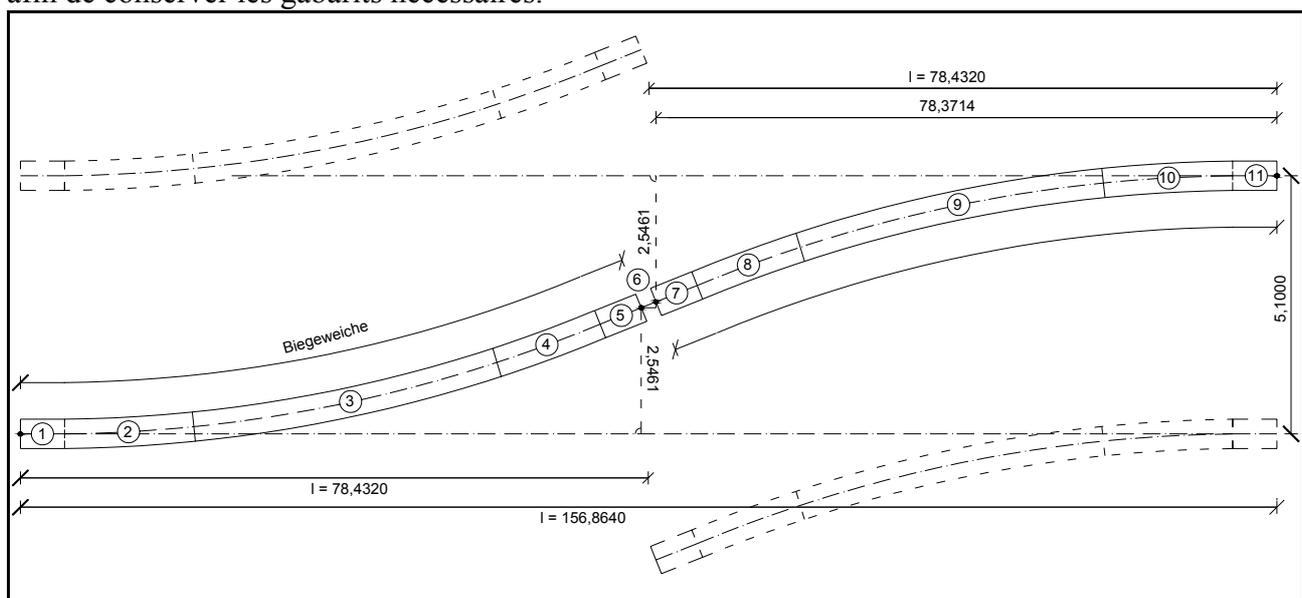


Figure 248 : Liaison de transition en X avec aiguillages à circulation lente (entraxe de rail de 5,10 m) (exemple de réalisation)

*Aiguillage courbe*

**Principes d'exécution**

N°	Élément	Longueur [m]	Rayon [m]	Abscisse [m]	Ordonnée [m]	$\tau$ [grade]	$\tau$ [°]
	WA			0,0000	0,0000	0,00000	0,00000
1	Ligne droite	1,0320		1,0320	0,0000	0,00000	0,00000
2	Clothoïde	15,4800		16,5119	0,0426	0,52604	0,47344
3	Arc de cercle	45,4080	-936,7000	61,8915	1,5181	3,08612	2,77751
4	Clothoïde	14,8960		76,7588	2,4416	0,50619	0,45557
5	Ligne droite	1,6160		78,3714	2,5461	0,00000	0,00000
6	Écart géométri-	0,1216		78,4926	2,5539	0,00000	0,00000
7	Ligne droite	1,6160		80,1053	2,6584	0,00000	0,00000
8	Clothoïde	14,8960		94,9726	3,5820	-0,50619	-0,45557
9	Arc de cercle	45,4080	+936,7000	140,3521	5,0574	-3,08612	-2,77751
10	Clothoïde	15,4800		155,8320	5,1000	-0,52604	-0,47344
11	Ligne droite	1,0320		156,8640	5,1000	0,00000	0,00000
$\Sigma$		157,8960				0,00000	0,00000

Tableau 154 : Paramètres de tracé de la liaison de transition en X avec aiguillages à circulation lente (entraxe de rail de 5,10 m) (exemple de réalisation)

Grandeur		Application sur ligne moyenne/		Application régionale (recommandation)	
Vitesse maximale position ligne droite	$V_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Vitesse maximale position de changement de	$V_{\text{höchst}}$	109	[km/h]	69	[km/h]
Accélération latérale asymétrique	$a_y$	1,98	[m/s <sup>2</sup> ]	0,39	[m/s <sup>2</sup> ]
Choc latéral (1ère / 2ème clothoïde)	$\ddot{a}_y$	1,91 / 1,98	[m/s <sup>3</sup> ]	0,47 / 0,50	[m/s <sup>3</sup> ]

Tableau 155 : Valeurs dynamiques de roulage de la liaison de transition en X avec aiguillages à circulation lente (entraxe de rail de 5,10 m) (exemple de réalisation)

## Plate-forme roulante et plate-forme pivotante

Dans la projection horizontale, la plate-forme roulante (Figure 249) ou la plate-forme pivotante (Figure 250) est tracé comme une droite ( $R_H = \infty$ ).

Une représentation sous la forme d'un sommet ou d'un point bas est possible dans le tracé du gradient.

La plate-forme roulante et la plate-forme pivotante sont déplacées lorsque la rame est à l'arrêt. Il faut employer les inclinaisons longitudinales selon le chapitre 0.

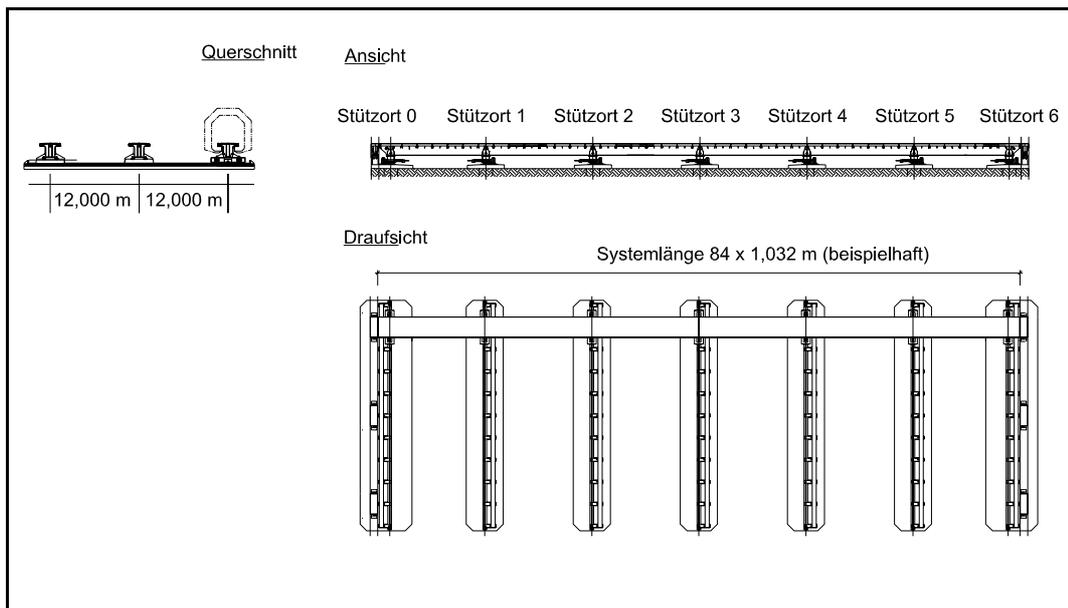


Figure 249 : Plate-forme roulante (exemple)

*Coupe transversale*

*Projection*

*Point d'appui 0*

*Vue de dessus*

*Longueur du système 84 x 1,032 m (exemple)*

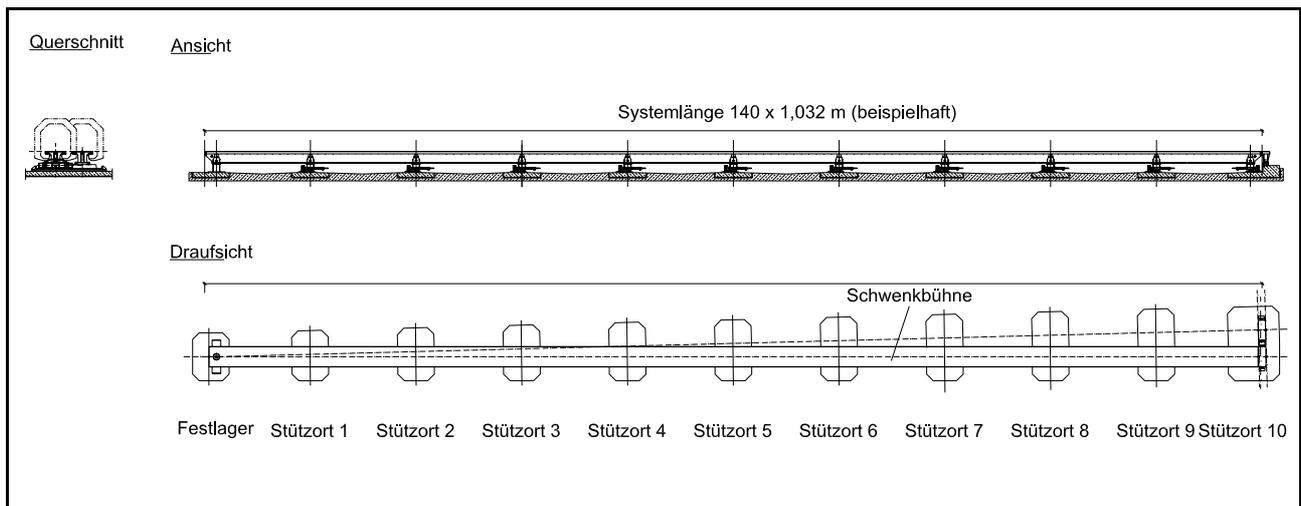


Figure 250 : Plate-forme pivotante (exemple)

*Coupe transversale*

*Projection*

*Longueur du système 84 x 1,032 m (exemple)*

*Vue de dessus*

*Plate-forme pivotante*

*Appui fixe*

*Point d'appui 0*

## **Installations de service**

*Les installations de service telles que les stations ou les installations de maintenance sont conçues spécifiquement au projet.*

*Par conséquent, elles ne font pas partie des présents principes d'exécution pour le tracé des voies du train rapide à sustentation magnétique.*

*Les valeurs limites techniques du tracé mentionnées dans le présent document s'appliquent toutefois également aux installations de service.*

Au sein des installations de service, les clothoïdes sous la forme d'arcs de transition peuvent être utilisées, sous les conditions indiquées, comme éléments du tracé dans la projection horizontale.

Si un quai est prévu entre les voies d'une voie à double rail à inclinaison transversale, il faut alors compenser la différence de hauteur entre les niveaux d'entrée par un décalage en hauteur des gradients afin que le quai puisse toujours s'étendre horizontalement dans le sens transversal.

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Voie**

### **Partie V**

### **Relevé topographique**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

## **Destinataires**

Le présent document a été remis par la commission spéciale Voie à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Voie.

**Table des matières**

<b>Destinataires</b> .....	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>6</b>
Objectif et champ d'application.....	6
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	6
Abréviations et définitions.....	6
Lois, décrets, normes et directives .....	7
Identification et caractère obligatoire des exigences.....	7
<b>Systèmes de coordonnées</b> .....	<b>8</b>
Systèmes de coordonnées terrestres.....	8
Système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique (MKS).....	8
Système de coordonnées de fabrication du support (TFK).....	10
Système de coordonnées des courbes spatiales (RKK).....	10
<b>Exigences relatives au système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique (MKS)</b> .	<b>11</b>
Propriétés .....	11
Détermination des composantes de la position.....	12
Représentation et transformation .....	14
Composantes d'altitude .....	15
Réalisation.....	16
<b>Réseau de points fixes de niveau supérieur du MKS</b> .....	<b>17</b>
Détermination de la position .....	17
Détermination de l'altitude .....	18
Repérage géodésique .....	19
Conversion du système des plans en le MKS.....	20
<b>Réseau de points fixes accompagnant le tracé dans le MKS</b> .....	<b>21</b>
Détermination de la position .....	22
Détermination de l'altitude .....	23
<b>Positionnement précis des supports de voie</b> .....	<b>24</b>
<b>Documentation</b> .....	<b>26</b>
<b>Annexe V-A Système de coordonnées de Gauß-Krüger</b> .....	<b>27</b>
<b>Annexe V-B Représentation de mercator transversale universelle</b> .....	<b>29</b>

**Index des illustrations**

Figure 1 : Représentation des paramètres du système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique (MKS) .....	12
Figure 2 : Limitation latérale du MKS .....	14
Figure 3 : Exemples d'exécution du relevé géodésique des points fixes .....	19
Figure 4 : Réseau recommandé de points fixes accompagnant le tracé .....	21
Figure 5 : Exigences relatives au positionnement précis des supports de voie .....	24
Figure 6 : Distorsion de l'échelle avec le système de Gauß-Krüger-System .....	27
Figure 7 : Distorsion de l'échelle avec le système UTM .....	29

**Index des tableaux**

Tableau 1 : Distorsions de la représentation.....	13
---	----

## Généralités

### Objectif et champ d'application

Le présent document spécifie les exigences relatives au relevé topographique des voies du train rapide à sustentation magnétique. Les réseaux de points fixes (position et altitude) qui en résultent forment les bases pour l'établissement des plans, la construction et la surveillance topographique dans le cadre de la maintenance des voies du train rapide à sustentation magnétique.

Les présents principes d'exécution s'appliquent indépendamment du projet et constituent la base des concepts de topographie et de calcul devant faire l'objet d'une exploitation ultérieure.

Le présent document contient en plus des explications et des justifications des procédés de relevé topographique et de calcul représentés afin d'améliorer la clarté.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

### Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR&IH/
  - Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

### Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

## **Lois, décrets, normes et directives**

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## **Identification et caractère obligatoire des exigences**

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard
- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en italique.

(voir /MSB AG-FW ÜBG/).

## Systèmes de coordonnées

*Les cartes officielles existantes dressées sur la base de systèmes de coordonnées terrestres peuvent être utilisées initialement comme bases techniques pour l'établissement des plans des projets de train rapide à sustentation magnétique.*

*Il faut réaliser un système de référence géodésique uniforme, à faible contrainte et proche de l'ouvrage pour le tracé précis des courbes spatiales des voies respectives, y compris la distribution des appuis et des supports (/MSB AG-FW TRAS/), et pour la réalisation de l'ouvrage.*

*Malgré des améliorations constantes des réseaux terrestres du point de vue de l'homogénéité et de la précision, lesquelles ont pu être obtenues dans le cadre de la technique de mesure par satellite, les réseaux de points fixes existants, suivant la localisation et pour des raisons historiques, présentent toujours quelques défauts comme, par exemple*

- *des caractéristiques de représentation différentes,*
- *des différences d'actualité,*
- *qualité (précision), stabilité, densité et configuration insuffisantes.*

## Systèmes de coordonnées terrestres

*En topographie, les systèmes de coordonnées de la position et de l'altitude sont séparés en raison des surfaces de calcul différentes (ellipsoïde de rotation ou quasi-géoïde).*

*L'altitude se rapporte à la quasi-géoïde, une surface de référence au niveau moyen de la mer à laquelle toutes les directions verticales sont perpendiculaires.*

*Pour le système de positionnement, on emploie essentiellement des représentations conformes (c'est à dire à isogonalité différentielle) de la surface de la terre représentée approximativement par une ellipsoïde de rotation du plan de calcul ou cartographique correspondant.*

*Les systèmes de coordonnées employés en topographie terrestre ne peuvent généralement pas être utilisés en raison des déformations de la représentation et du manque d'homogénéité des différents procédés d'observation, des différences d'actualité et de tensions de réseau (par exemple déformations) pour les relevés topographiques devant faire l'objet d'une exploitation ultérieure. Ces influences se superposent et peuvent donner lieu à une perte de précision lors du relevé topographique de la voie incompatible avec le train rapide à sustentation magnétique.*

*L'annexe A contient des informations relatives à la représentation et à la déformation d'échelle pour le système de représentation de Gauß-Krüger et l'annexe B pour le système de représentation ETRS89/UTM.*

## Système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique (MKS)

Pour le tracé précis et la réalisation de l'ouvrage, il faut planifier, repérer géodésiquement, déterminer géodésiquement, calculer et maintenir dans un système de coordonnées du train rapide à sus-

tation magnétique (MKS) un réseau de points fixes qui satisfait à des exigences particulières (chapitre 0).

## **Système de coordonnées de fabrication du support (TFK)**

*L'établissement des plans, la fabrication et la réception des supports de voie s'effectuent dans un système de coordonnées de fabrication du support (TFK) défini pour chaque support /MSB AG-FW GEO/.*

*Les axes de coordonnées sont désignés par X, Y et Z /MSB AG-FW GEO/ et ne sont pas décrits dans les présents principes d'exécution.*

## **Système de coordonnées des courbes spatiales (RKK)**

*Les plans fonctionnels Plan du stator (SE), rail de guidage latéral (SFE) et plan de glissement (GE) /MSB AG-FW GEO/, le gabarit et les lignes de délimitation /MSB AG-FW TRAS/ ainsi que les espaces de montage de l'équipement de la voie /MSB AG-FW ÜBG/ se rapportent à la courbe spatiale avec le système de coordonnées qui suit l'inclinaison transversale locale.*

*Les axes de coordonnées sont désignés par x, y et z /MSB AG-FW GEO/ et ne sont pas décrits dans les présents principes d'exécution.*

## **Exigences relatives au système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique (MKS)**

Le système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique (MKS) est à définir en tant que un réseau technique particulier et doit être réalisé du point de vue géodésique.

Le MKS est à concevoir en deux niveaux :

- (1) Réseau de points fixes de niveau supérieur (1er ordre) avec écarts entre points d'environ 3 km servant de base pour le tracé précis.
- (2) Réseau de points fixes d'accompagnement du tracé (2ème ordre) avec des écarts entre points d'environ 200 m servant de base pour les travaux de relevé topographique accompagnant la construction.

Les points de passage obligatoires du tracé sont relevés dans le MKS en tant que base pour le tracé précis.

*Cela est réalisé par un métré géodésique ou par transformation (voir section 0) si ces points de passage obligatoires ne sont pas présents dans le MKS. De plus, il sert à la réalisation de tous les travaux de relevés topographiques suivants lors de l'exécution de la construction.*

## **Propriétés**

Le MKS est judicieusement une projection conforme (c'est à dire à isogonalité différentielle) de la surface de la Terre dans le plan d'établissement des plans et de calcul.

*Les déformations en longueur (inévitables) sont limitées à un ordre de grandeur sans importance pour un projet très sensible à la fiabilité des longueurs.*

Le MKS se voit imposer des exigences en matière de

- qualité du repérage géodésique (fondation hors gel, précision de centrage régulière),
- homogénéité (même origine, procédés d'observation équivalents),
- fiabilité du voisinage (contraintes de qualité élevées imposées aux relations géométriques avec l'environnement),
- densité de points raisonnable (appropriée pour l'établissement des plans, le jalonnage, la réception et la facturation) et
- configuration approprié (géométrie de jalonnage judicieuse).

La réalisation du MKS s'effectue séparément dans les composants de la projection horizontale et du plan vertical.

*Cela est dû aux natures différentes des surfaces de référence pour la position (ellipsoïde de rotation) et l'altitude (surface de niveau) et en partie aussi aux méthodes de mesure aujourd'hui encore différentes pour la détermination de la position et de l'altitude.*

## Détermination des composantes de la position

Un système droite/hauteur plan sous la forme d'une représentation conforme à axe incliné de l'ellipsoïde est choisi comme composante de position du MKS.

Cette représentation permet d'afficher une ligne géodésique définie par le point  $P_0$  et l'azimut  $\alpha$  avec une longueur fidèle.

Pour réduire les déformations en longueur, croissantes avec l'écart latéral  $a$ , la ligne géodésique est placée mathématiquement sous la forme d'une droite moyenne sur le tracé.

La Figure 251 représente à titre d'exemple la position fictive d'un tracé du train rapide à sustentation magnétique et une ligne géodésique appliquée avantageusement à celui-ci ainsi que les désignations des axes.

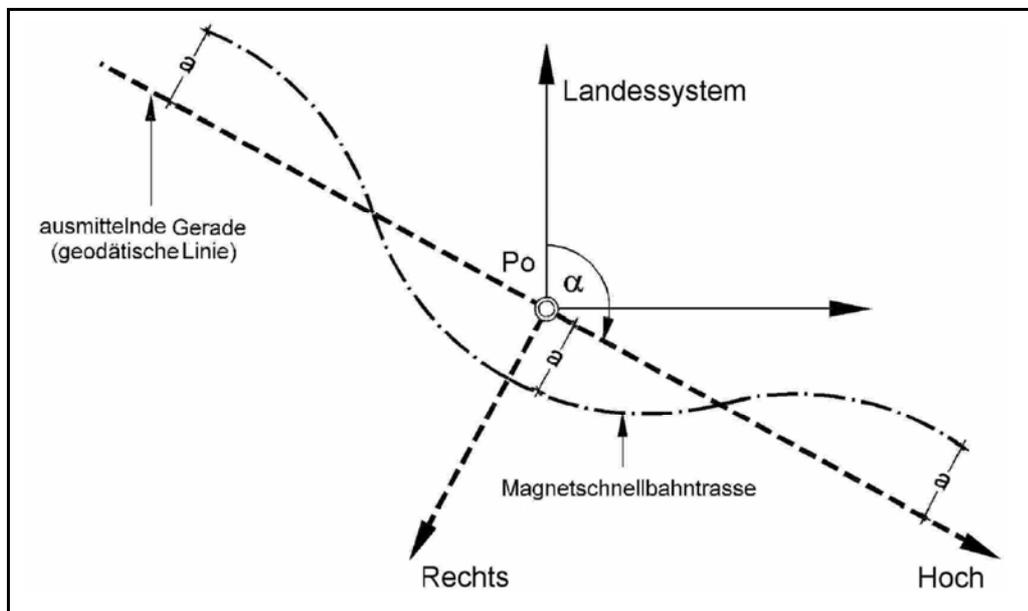


Figure 251 : Représentation des paramètres du système de coordonnées du train rapide à sustentation magnétique (MKS)

Systeme terrestre

Droite moyenne (ligne géodésique)

Tracé du train rapide à sustentation magnétique

Droite

Hauteur

Les déformations en longueur restantes (différences d'échelle) peuvent être estimées avec :

$$Lv \approx \frac{a^2}{2 \cdot R_m^2}$$

(1)

avec  $R_m$  = rayon moyen de la Terre (6378 km)

L'augmentation de ces distorsions en longueur à mesure de l'éloignement croissant des droites moyennes est indiquée dans le Tableau 156 à l'aide d'exemples calculés.

<i>Écart latéral a</i> [km]	<i>Distorsion en longueur Lv pour 100 m</i> [mm/100 m]
10	+0,1
25	+0,8
50	+3,1
75	+6,9

Tableau 156 : Distorsions de la représentation

L'écart latéral maximum du tracé par rapport à la ligne géodésique choisie à travers P<sub>O</sub> doit être approximativement de 25 km.

Cette restriction permet de maintenir les variations restantes (distorsions de représentation) à environ 1 mm pour 100 m et ainsi à un niveau tolérable. Elles peuvent ainsi être négligées pour tous les calculs / relevés topographiques ultérieurs.

Les calculs nécessaires peuvent alors être réalisés d'après les formules simplifiées de la trigonométrie dans le plan. Il devient notamment inutile d'appliquer des réductions de la représentation.

Si l'écart latéral maximum recommandé de  $a \leq 25$  km ne peut pas être respecté, plusieurs sections de MKS présentant des zones de chevauchement suffisamment grandes (au minimum à chaque fois 3 du cadre de points fixes de niveau supérieur, ce qui correspond à environ 6 km de long). La Figure 252 représente une telle disposition.

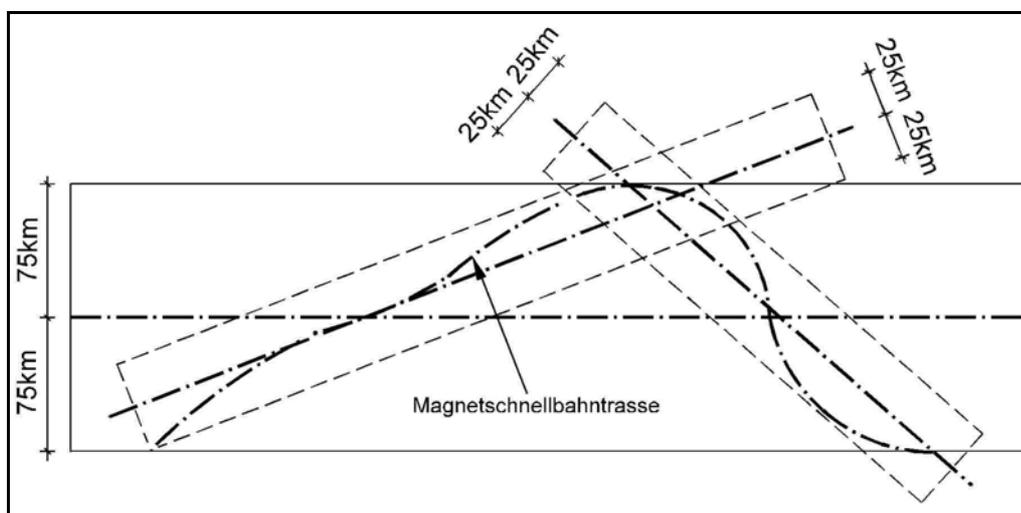


Figure 252 : Limitation latérale du MKS

*Tracé du train rapide à sustentation magnétique*

Indépendamment des propriétés des représentations mentionnées précédemment, les mesures des tronçons (outre les corrections instrumentales et atmosphériques habituelles) doivent faire l'objet d'une réduction géométrique lors de la détermination des réseaux de points fixes et de l'exécution de la construction (réduction à l'horizontale et à l'horizon de la construction et prise en compte de la courbure de la Terre).

Il convient que la détermination du MKS (position) s'effectue par les étapes suivantes :

- (1) Détermination cartographique d'une droite moyenne de telle sorte que les écarts latéraux entre le tracé et les droites d'harmonisation ne soient pas supérieurs à 25 km (le cas échéant, division en plusieurs sections).
- (2) Détermination graphique d'un point de référence  $P_O$  ( $\varphi_o, \lambda_o$ ) placé sur la droite moyenne dans la zone centrale du tracé (le cas échéant avec des coordonnées elliptiques arrondies).
- (3) Détermination graphique ou mathématique de l'azimut dans l'ellipsoïde  $\alpha$  de la droite moyenne à ce point de référence  $P_O$ .
- (4) Détermination du MKS de telle sorte que
  - le point zéro coïncide avec le point de référence  $P_O$  mentionné précédemment
  - l'axe de hauteur positif correspond à la direction du Nord géographique à  $P_O$ .
- (5) Représentation de ce système orienté au Nord dans le plan cartographique ou mathématique conformément aux lois d'une représentation conforme à axe incliné. La droite moyenne (correspondant à une ligne géodésique sur l'ellipsoïde) qui s'étend sous l'angle de direction géographique  $\alpha$  en passant par le point de référence  $P_O$  ( $\varphi_o, \lambda_o$ ) est ici représentée dans un système plan avec une longueur fidèle.
- (6) Rotation dans le système de coordonnées (droite, hauteur – orienté dans le sens principal du tracé) suivie d'un décalage supplémentaire du point zéro de la valeur en hauteur<sub>O</sub> et la valeur à droite<sub>O</sub> (pour éviter les coordonnées négatives).

- Valeur en hauteur = Valeur à droite<sub>LK</sub> · sin( $\alpha$ ) + Valeur en hauteur<sub>LK</sub> · cos( $\alpha$ ) + Valeur en hauteur<sub>O</sub>

- Valeur à droite = Valeur à droite<sub>LK</sub> · cos( $\alpha$ ) - Valeur en hauteur<sub>LK</sub> · sin( $\alpha$ ) + Valeur à droite<sub>O</sub> (2)

## Représentation et transformation

La représentation mathématique des coordonnées elliptiques généralement dérivées de mesures au GPS pour les points du cadre de points fixes de niveau supérieur est réalisée sur la base des déterminations mentionnées ( $\varphi_o, \lambda_o$  et  $\alpha$ ) (voir chapitre 0).

Cette représentation se base judicieusement sur les mêmes grandeurs caractéristiques ellipsoïdiques (taille du demi-axe et ellipticité) de l'ellipsoïde de référence (actuellement WGS84) que celles des coordonnées ellipsoïdiques.

La représentation des nombreuses fonctions confuses relatives à une représentation conforme à axe incliné est ignorée ici. Les principes mathématiques sont à relever dans la littérature géodésique spécialisée.

Les équations de transformation mentionnées précédemment sont des séquences dont le développement se limite à une précision de calcul correspondante. Outre les déformations en longueur mentionnées précédemment à côté de la ligne à représenter à une longueur fidèle (et la largeur de corde maximale de 25 km de chaque côté qui en résulte ; voir paragraphe 0), il en résulte ainsi également une limitation du domaine d'application (extension en longueur).

Cette limitation dépend essentiellement des paramètres suivants :

- (1) Largeur géographique  $\varphi_0$  du point de référence  $P_0$ ,
- (2) Orientation  $\alpha$  de l'axe principal (hauteur),
- (3) Extension en longueur du MKS,
- (4) Largeur de corde du MKS et
- (5) Critère de troncature dans le programme de calcul employé.

Les imprécisions de calcul suivantes sont définies afin que les erreurs de calcul restent négligeables :

- (1) Au maximum 1 mm entre des points voisins à 1 km de distance,
- (2) Au maximum 20 mm pour le point le plus éloigné par rapport à l'origine des coordonnées.

*Pour que les réductions en hauteur ultérieures soient le plus faible possible, le MKS est fixé dans un horizon de construction moyen. Du point de vue mathématique, la prise en compte de l'horizon de construction s'effectue judicieusement par une adaptation des paramètres de l'ellipsoïde de référence dans les calculs mentionnés précédemment. Suivant la topographie dans le tracé de la ligne, il est ainsi possible dans certaines circonstances de renoncer à appliquer des réductions en hauteur, ce qui est particulièrement avantageux lors du tracé de précision et des travaux de jalonnage qui accompagnent la construction.*

## Composantes d'altitude

*Le système d'altitude utilisé est un réseau de points fixes qui garantit la précision de voisinage nécessaire pour le train rapide à sustentation magnétique.*

Le réseau d'altitude est lié à la surface de référence de l'altitude du relevé topographique terrestre par le biais de mesures de connexion. Celui-ci sert à simplifier la concordance avec l'établissement d'autres plans spécifiques ainsi que la récupération des données de l'infrastructure existante.

L'harmonisation du réseau d'altitude est à réaliser par un soutien non forcé.

*Des sections partielles peuvent être formées en présence de réseaux d'altitude terrestre différents au sein du tracé. Si des points individuels ou des groupes de points sont rattachés à plusieurs systèmes d'altitude (par exemple systèmes de Deutsche Bahn AG, de Wasser- und Schifffahrtsver-*

waltung, etc.), il faut alors leur attribuer des numéros de point différents en vue d'une identification explicite.

## Réalisation

Le MKS est réalisé par l'ensemble de tous les points fixes de position et d'altitude. La construction du réseau (à chaque fois pour la position et l'altitude) est réalisée en deux niveaux, à savoir :

- (1) Réalisation d'un réseau de points fixes de niveau supérieur avec des écarts entre points d'environ 3000 m (voir chapitre 0) en vue de réaliser les travaux nécessaires pour le tracé précis et pour l'intégration ultérieure par section du réseau de points fixes accompagnant le tracé. Les coordonnées planes (valeur à droite/valeur en hauteur) ou les altitudes sont déterminées d'après les indications des chapitres 0 et 0.
- (2) Réalisation du réseau de points fixes d'accompagnement du tracé avec écarts entre points d'environ 200 m (voir paragraphe 0) pour les travaux de relevé topographique lors de l'exécution de la construction.  
La coordination de ces points (position et altitude) s'effectue par un raccordement forcé au réseau de points fixes de niveau supérieur.

Les raisons de la construction du réseau en deux niveaux sont notamment les suivantes :

- (1) L'homogénéité nécessaire du réseau sur toute la phase d'établissement des plans et de construction ;
- (2) La connexion professionnellement équilibrée et au prix d'un effort économiquement justifiable à réaliser au système terrestre (voir paragraphe 0) ;
- (3) Les différents procédés de mesure employés.

## Réseau de points fixes de niveau supérieur du MKS

Il faut créer un réseau à grandes mailles avec des écarts entre points d'environ 3000 m le long du tracé selon le principe géodésique « du plus grand vers le plus petit ». Ce réseau de points sert initialement à l'établissement des plans ou au tracé de précision.

En plus de cela, il forme avant tout le cadre dans lequel sera intégré le réseau de points fixes accompagnant le tracé pour les travaux de relevé topographique accompagnant la construction (voir paragraphe 0).

Les points du réseau de points fixes de niveau supérieur doivent être prospectés de telle sorte que

- (1) une stabilité durable des points soit garantie,
- (2) des mesures au GPS puissent être réalisées (faibles obscurcissements),
- (3) les points passage obligatoire du tracé précis puissent être relevés,
- (4) le futur raccordement du réseau de points fixes accompagnant le tracé (avec une densité de points supérieure) soit possible (accessibilité, liaisons entre couches, stabilité statique) et
- (5) suivant les possibilités, il existe des liaisons entre couches avec les points voisins du réseau de points fixes de niveau supérieur.

La prospection doit être documentée dans un projet de réseau comprenant un rapport explicatif et en tenant compte du procédé de mesure utilisé.

Il faut contrôler la qualité et la rentabilité économique du projet de réseau au moyen du calcul d'harmonisation simulé et éventuellement l'optimiser.

Les coordonnées planes (valeur à droite/valeur en hauteur) ou les altitudes sont déterminées d'après les indications des chapitres 0 et 0.

## Détermination de la position

Il convient de déterminer la position de points du réseau de points fixes de niveau supérieur avec des procédés de mesure assistés par satellite.

En vue d'un contrôle de l'échelle, il faut déterminer les longueurs des côtés du réseau de points fixes au moyen de procédés de mesure conventionnels (mesure électro-optique de la distance).

Le positionnement fixe dans le système terrestre s'effectue par le biais de points identiques (par exemple points EUREF, DREF ou TP d'ordre supérieur). Au besoin, il faut appliquer une réduction d'échelle.

Les coordonnées résultantes de la position sont converties selon le chapitre 0 dans le MKS plan orthogonal.

Tous les paramètres doivent être harmonisés communément dans l'espace avec les mesures au GPS.

Il faut respecter les précisions de positionnement mentionnées :

- Précision par rapport aux points selon HELMERT < 5 mm
- Précision relative des lignes de base < (5 mm + 1 ppm)

## Détermination de l'altitude

L'altitude des points fixes du réseau de points fixes de niveau supérieur est déterminée par nivellement géométrique de précision.

Il faut respecter la contradiction indiquée (D) du nivellement du va-et-vient entre deux points fixes voisins :

$$D[\text{mm}] = \pm 3 \cdot \sqrt{S[\text{km}]} \quad (3)$$

Voir le paragraphe 0 pour la définition du système d'altitude du MKS et pour le déroulement de la procédure d'harmonisation.

## Repérage géodésique

Les points fixes individuels (position et altitude) doivent être repérés géodésiquement de manière stable et durable.

Le repérage géodésique (voir un exemple dans la Figure 253) doit être effectué suffisamment tôt en raison d'un tassement initial possible.

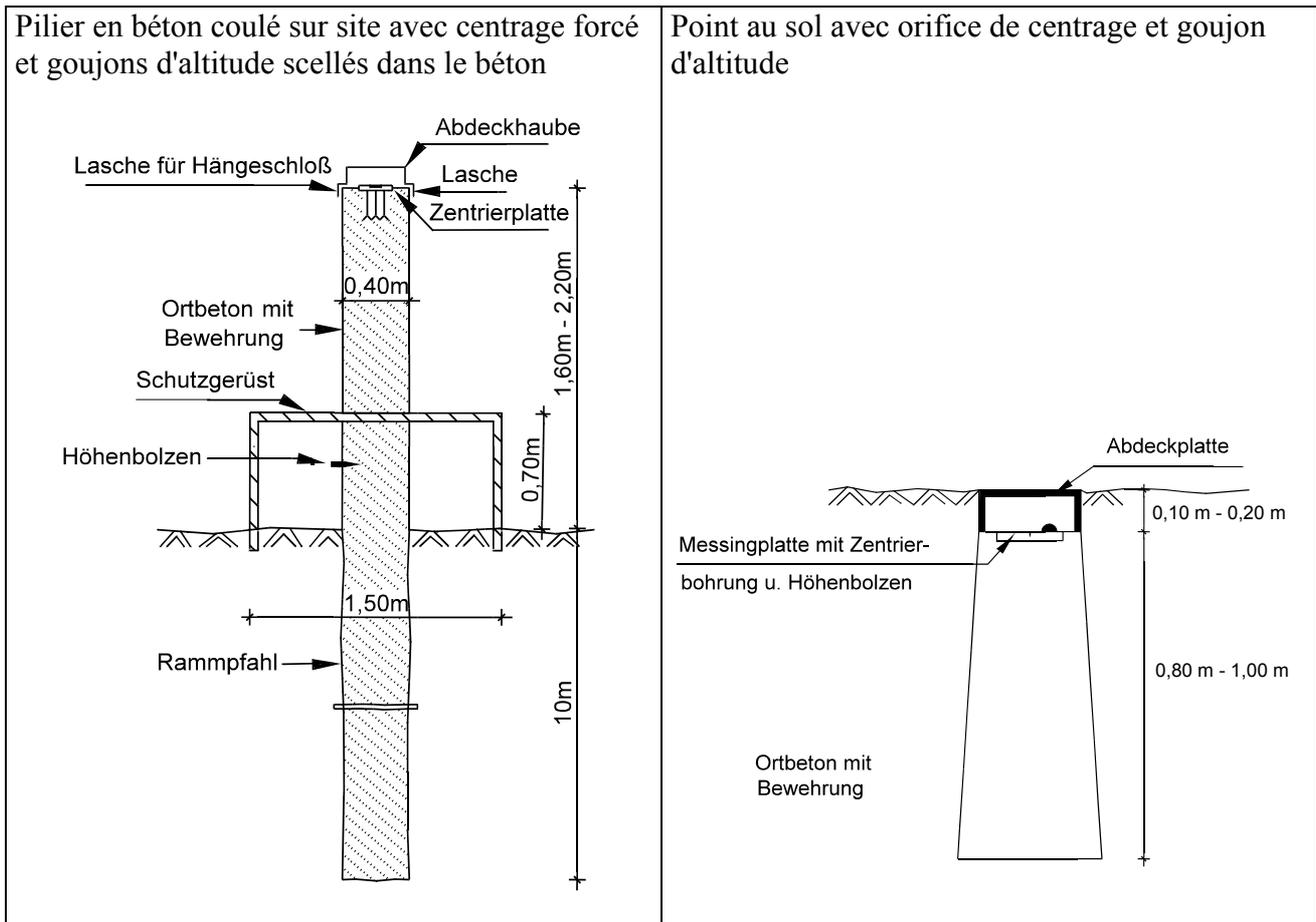


Figure 253 : Exemples d'exécution du relevé géodésique des points fixes

<p>Languette pour cadenas</p> <p>Béton coulé sur site avec armature</p> <p>Échafaudage de protection</p> <p>Axe d'altitude</p> <p>Pieu à battre</p>	<p>Capot de protection</p> <p>Languette</p> <p>Plaque de centrage</p>	<p>Plaque de protection</p> <p>Plaque en laiton avec orifice de centrage et goujon d'altitude</p> <p>Béton coulé sur site avec armature</p>
---	---	---

## Conversion du système des plans en le MKS

Les plans provenant du système terrestre doivent être transférés section par section dans le MKS par le biais d'une transformation à 4 paramètres.

Pour ce faire, il faut déterminer les paramètres suivants à chaque fois à partir de deux points fixes voisins pour les transformations de position à 4 paramètres :

- (1) 2 x Translation
- (2) 1 x Rotation
- (3) 1 x Facteur d'échelle.

Le contenu graphique des plans doit être transformé section par section par le biais des paramètres de transformation déterminés.

## Réseau de points fixes accompagnant le tracé dans le MKS

La compression du réseau de points fixes de niveau supérieur décrit dans le chapitre 0 sert de base pour tous les travaux de relevé topographique accompagnant le tracé (jalonnage, positionnement précis, réception, etc.).

L'écart entre les points du réseau accompagnant le tracé est d'environ 200 m.

L'écart latéral entre les points fixes et la voie prévue est généralement compris entre 30 m et 60 m (voir Figure 254).

Un intervalle de compression ou un écart latéral inférieur par rapport au tracé du train rapide à sustentation magnétique est possible dans des cas particuliers (par exemple zone des stations, ouvrages d'intersection).

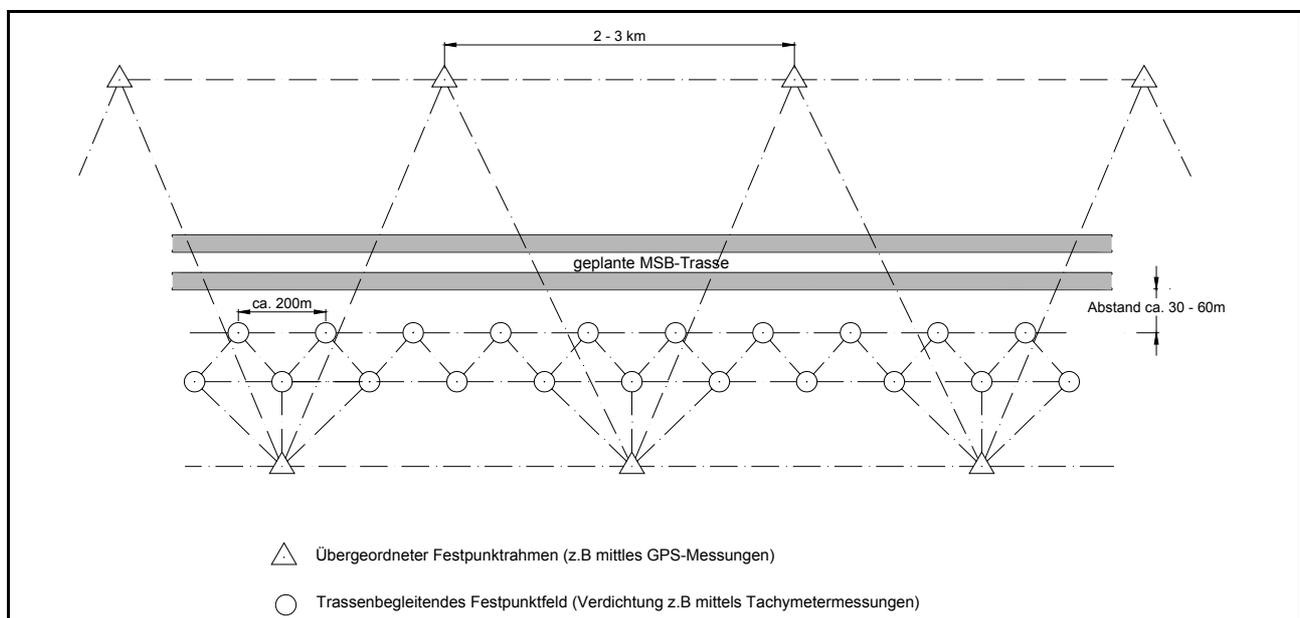


Figure 254 : Réseau recommandé de points fixes accompagnant le tracé

La coordination de ces points (position et altitude) s'effectue par un raccordement forcé au réseau de points fixes de niveau supérieur.

*Tracé prévu du TSM*

*environ 200 m*

*Écart environ 30-60 m*

*Réseau de points fixes de niveau supérieur (par exemple au moyen de mesures au GPS)*

*Réseau de points fixes accompagnant le tracé (compression au moyen de mesures tachymétriques, par exemple)*

## Détermination de la position

La position du réseau de points fixes accompagnant le tracé doit être déterminée avec une grande précision conformément à l'état actuel de la métrologie.

Il faut respecter les précisions de positionnement mentionnées :

- Précision par rapport aux points selon HELMERT  $< 2 \text{ mm}$

Les précisions de mesure pour le réseau de points fixes accompagnant le tracé sont définies comme suit :

Écart type de la moyenne arithmétique

- une direction mesurée  $s_{a(Hz)} = 0,2 \text{ mgrade}$
- un tronçon mesuré jusqu'au point voisin  $s_{a(Sh)} = 1,0 \text{ mm}$

Le calcul des coordonnées (position) de tous les nouveaux points fixes définis entre deux points du réseau de niveau supérieur s'effectue par une harmonisation commune des réseaux dans le système plan (valeur à droite / valeur en hauteur) du MKS.

Il faut affecter aux éléments de mesure individuels un poids correspondant à leurs écarts types.

Il faut respecter la précision d'harmonisation indiquée ci-après :

$$s_a(\Delta_{\text{à droite}}, \Delta_{\text{en hauteur}}) = 1,0 \text{ mm} \quad \text{différence de coordonnées harmonisée}$$

*Écarts types des différences de coordonnées harmonisées  $\Delta$  valeur à droite ou  $\Delta$  valeur en hauteur de deux points fixes d'accompagnement du tracé voisins*

## Détermination de l'altitude

L'altitude des points fixes du réseau d'accompagnement de tracé est déterminée par nivellement géométrique de précision.

Il faut respecter la contradiction indiquée (D) du nivellement du va-et-vient entre deux points fixes d'accompagnement du tracé voisins :

$$D[\text{mm}] = \pm 3 \cdot \sqrt{S[\text{km}]} \quad (4)$$

Les valeurs mesurées sont à regrouper par section en réseaux d'altitudes et à harmoniser par connexion forcée au réseau de points fixes d'altitude de niveau supérieur.

Si des points d'altitude du réseau des points fixes d'altitude terrestre sont intégrés dans le MKS, il faut alors les traiter comme des nouveaux points, c'est à dire sans tenir compte des altitudes terrestres existantes.

Il faut respecter la précision d'harmonisation indiquée ci-après :

$$s_a(\Delta_{\text{altitude}}) = 1,0 \text{ mm} \quad \text{différence d'altitude harmonisée}$$

*Écart type d'une différence d'altitude de deux points fixes deux points fixes d'accompagnement du tracé voisins*

## Positionnement précis des supports de voie

Le positionnement précis des supports de voie s'effectue avec un décalage dans le temps après le montage grossier (la pose) des supports de voie.

Le procédé de positionnement précis est à élaborer en fonction du projet.

Les exigences géométriques des niveaux de fonction au sein des supports de voie sont décrites dans /MSB AG-FW GEO/.

Il faut ici calculer les variations de grande amplitude pour les deux plans fonctionnels Plan du stator SE (dans la direction z) et plan de guidage latéral SFE (dans la direction y) en tenant compte de la pré-courbure voulue calculée.

Les exigences relatives à la position spatiale relative sont dérivées de la variation de grande amplitude admissible à l'intérieur du support de voie.

Le respect des tolérances autorisées pour ces variations de grande amplitude dans les directions y et z du TFK (système de coordonnées pour la fabrication du support, (/MSB AG-FW GEO/) évite des accélérations et des chocs non prévus.

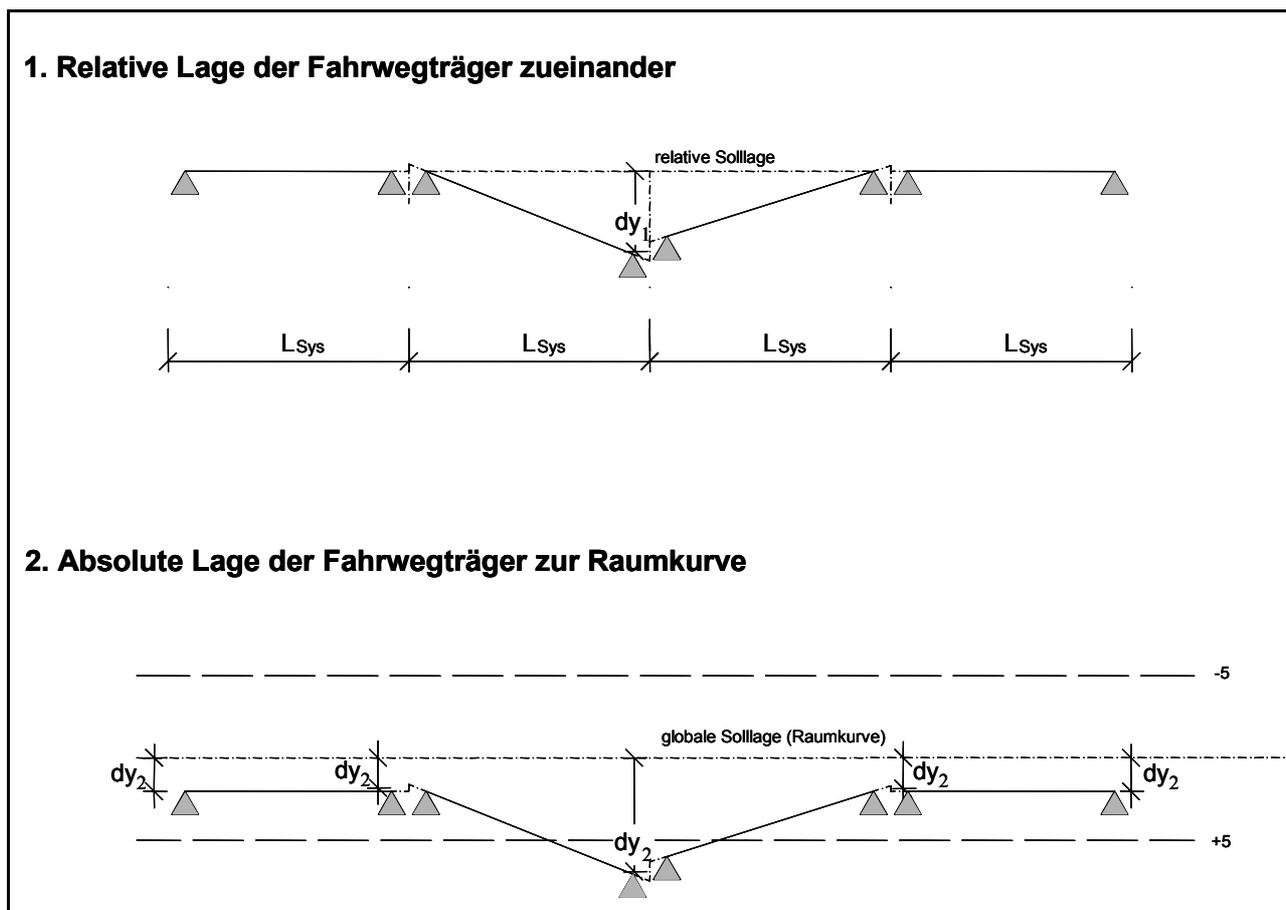


Figure 255 : Exigences relatives au positionnement précis des supports de voie

### 1. Position relative des supports de voie entre eux

*Position voulue relative*

## **2. Position relative des supports de voie par rapport à la courbe spatiale**

*Position voulue globale (courbe spatiale)*

Pour le positionnement précis d'un support de voie, les exigences se répartissent sur la

- position spatiale relative (à chaque fois en tenant compte du support de voie suivant et précédent) et
- position spatiale absolue (position de la voie par rapport à la courbe spatiale).

Les points de mesure sur les plan fonctionnels Plan du stator (SE), Rail de guidage latéral (SFE) et Plan de glissement (GE) au sein du support sont définis dans /MSB AG-FW GEO/.

Les exigences se rapportent à la position moyenne du support dans la jonction des supports (axe du système). La tolérance admissible de la position spatiale relative du support de voie (applicable à tous les supports) au niveau de la jonction entre supports est de :

Pour des longueurs de support > 12,384 m :

$$dy_1 = \pm \frac{2,0}{24768} \cdot L_{\text{sys}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

$$dz_1 = \pm \frac{2,0}{24768} \cdot L_{\text{sys}} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

avec  $L_{\text{sys}}$  = portée (*par ex.* 24768 mm)

Pour des longueurs de support < 12,384 m :

$$dy_1 = \pm 1,0 \quad [\text{mm}]$$

$$dz_1 = \pm 1,0 \quad [\text{mm}]$$

*Les exigences géométriques en matière de décalage et de NGK au niveau de la jonction entre supports sont définies dans /MSB AG-FW GEO/.*

La tolérance admissible de la position spatiale absolue du support de voie par rapport à la courbe spatiale prévue dans la jonction entre supports est de :

$$dy_2 = \pm 5,0 \quad [\text{mm}]$$

$$dz_2 = \pm 5,0 \quad [\text{mm}]$$

## Documentation

*Les exigences en matière d'assurance qualité et de documentation sont définies dans /MSB-AG FW ÜBG/.*

## Annexe V-A Système de coordonnées de Gauß-Krüger

Les cartes topographiques officielles, notamment de grande et de moyenne échelle, sont établies sur la base du système de coordonnées de Gauß-Krüger.

Les coordonnées de Gauß-Krüger sont une représentation conforme de l'ellipsoïde terrestre dans le plan.

La Terre est divisée en bandes méridiennes de 3° de large. Ses méridiens de délimitation sont éloignés exactement de 3° l'un de l'autre. Le méridien dit central passe au centre de la bande méridienne.

Chaque bande méridienne est dotée d'un numéro d'identification. D'après la détermination classique, celui-ci est dérivé des multiples entiers de 3° pour le méridien central (0°, 3°, 6°, ...).

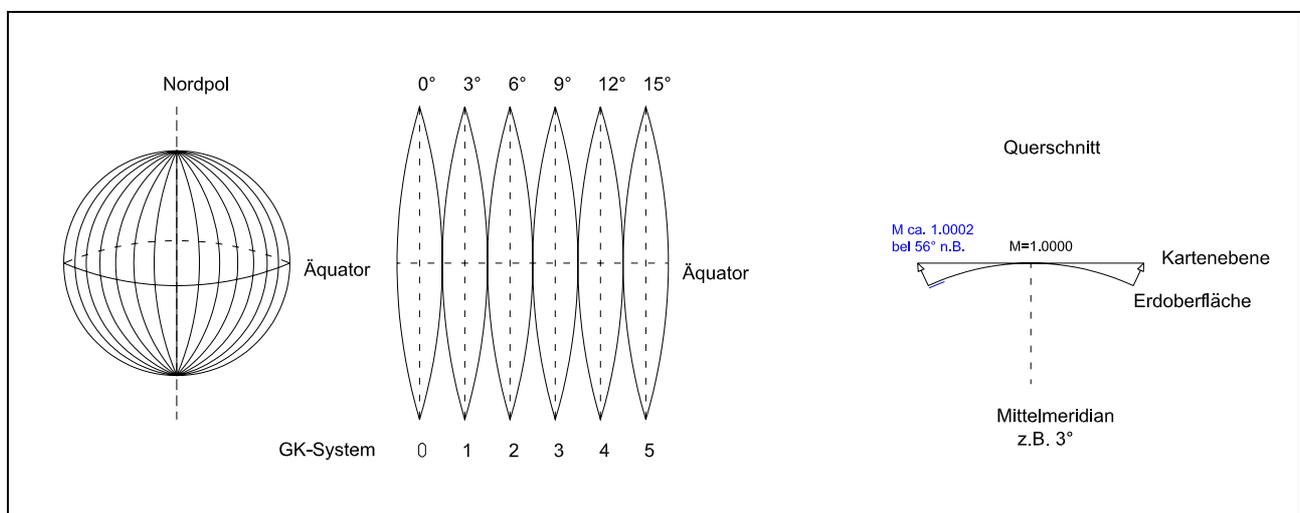


Figure 256 : Distorsion de l'échelle avec le système de Gauß-Krüger-System

Pôle Nord  
Équateur  
Système GK

Coupe transversale  
M environ 1,0002 pour 56° n. B.  
Plan de la carte  
Surface de la Terre

Méridien central, par exemple 3°

Pour représenter la carte, la surface courbée de la Terre est projetée sur le plan de la carte. Les distorsions de représentation ainsi produites augmentent à mesure que l'on s'éloigne du méridien central (voir Figure 256).

Ces distorsions de la position localement différentes doivent être prises en compte mathématiquement lors de la planification précise (tracé précis) et de la conversion locale de tous les systèmes

*partiels concernés du train rapide à sustentation magnétique. Un calcul continu du tracé avec des longueurs « vraies » est impossible.*

*Tous les composants concernés (par exemple supports de voie, stators longs) ainsi que le répertoire des équipements, par exemple, doivent être pris en compte dans le système de coordonnées d'établissement des plans avec les facteurs d'échelle correspondants.*

## Annexe V-B Représentation de mercator transversale universelle

Le système ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) avec représentation UTM deviendra obligatoire à partir de 2009 pour le relevé topographique terrestre de tous les états fédéraux allemands.

L'ETRS89 est un système de coordonnées cartésien en trois dimensions. Il se rapporte aux coordonnées géocentriques dont l'origine se trouve au géocentre (centre de gravité de la Terre). Lors de la représentation UTM, l'ellipsoïde terrestre est divisé en bandes de 6° de large qui passent toutes par les pôles et qui présentent l'écart le plus important entre elles au niveau de l'équateur.

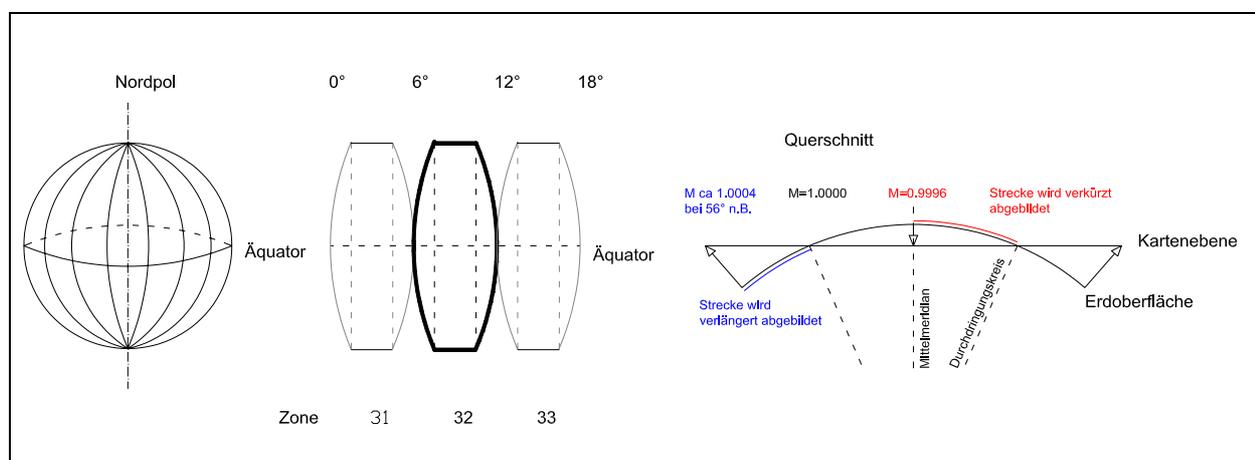


Figure 257 : Distorsion de l'échelle avec le système UTM

Pôle Nord

Équateur

Zone

Coupe transversale

M environ 1,0004 pour 56° n. B.

Le tronçon est représenté raccourci

Plan de la carte

Le tronçon est représenté rallongé

Surface de la Terre

Méridien central

Cercle de pénétration

Pour une représentation UTM, la surface courbée de la Terre est projetée sur le plan de la carte par le biais de deux cercles de pénétration. Les longueurs de la représentation ne sont fidèles que sur les cercles de pénétration. Les tronçons sont comprimés entre les cercles de pénétration et allongés à l'extérieur de ceux-ci (voir Figure 257).

Ces distorsions de la position localement différentes doivent être prises en compte mathématiquement lors de la planification précise (tracé précis) et de la conversion locale de tous les systèmes

*partiels concernés du train rapide à sustentation magnétique. Un calcul continu du tracé avec des longueurs « vraies » est impossible.*

*Tous les composants concernés (par exemple supports de voie, stators longs) ainsi que le répertoire des équipements, par exemple, doivent être pris en compte dans le système de coordonnées d'établissement des plans avec les facteurs d'échelle correspondants.*

# **Train rapide à sustentation magnétique**

## **Principes d'exécution**

### **Voie**

### **Partie VI**

### **Maintenance**

Les droits associés au présent document et à toutes ses annexes demeurent la propriété de leur auteur.  
Tous droits réservés

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Voie, Partie VI, Maintenance

Doc. n° : 63842

Version    finale

Date de      15.02.2007  
publication

Page 1

## Destinataires

Le présent document a été remis par la commission spéciale Voie à des fins de publication.

## **Aperçu des modifications**

Date de remise : 15 février 2007 ; version finale, commission spéciale Voie.

**Table des matières**

<b>Destinataires</b> .....	<b>2</b>
<b>Aperçu des modifications</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>4</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>6</b>
Objectif et champ d'application .....	6
Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique .....	6
Abréviations et définitions.....	7
Lois, décrets, normes et directives.....	7
Identification et caractère obligatoire des exigences .....	7
<b>Exigences relatives à la maintenance de la voie</b> .....	<b>9</b>
Dispositions générales .....	9
Indications et recommandations pour la stratégie de maintenance .....	10
Indications .....	10
Recommandations.....	11
Exigences relatives au personnel.....	11
<b>Entretien</b> .....	<b>12</b>
<b>Inspections</b> .....	<b>13</b>
Exigences générales relatives aux inspections.....	13
Surveillances .....	13
Analyses .....	14
Expertises.....	16
Inspections spéciales .....	16
<b>Réparation</b> .....	<b>18</b>
<b>Autres mesures</b> .....	<b>19</b>
<b>Exigences fondamentales relatives au déroulement des opérations de maintenance</b> .....	<b>20</b>
<b>Consignes techniques pour la réalisation des inspections</b> .....	<b>22</b>
Possibilités de surveillance.....	22
Niveau d'automatisation des inspections .....	22
Inspection de la géométrie .....	22
Inspections visuelles.....	23
Inspection au moyen de dispositifs de mesure fixes.....	23
Autres inspections .....	23

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Voie, Partie VI, Maintenance

---

**Exigences fondamentales relatives à la documentation.....24**

IIIIIIIImpression : 20.09.2007 15:50:00  
Impression : 20.09.2007 15:50:00

---

**Titre**      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
                 Voie, Partie VI, Maintenance

**Doc. n° :** 63842      **Version** finale      **Date de publication** 15.02.2007      **Page** 5

## Généralités

### Objectif et champ d'application

Le présent document spécifie les indications générales applicables à la maintenance des voies du train rapide à sustentation magnétique, dans la mesure où elles concernent la sécurité et l'ordonnancement. Les présents principes d'exécution contiennent également des recommandations.

Ce document est l'une des bases dont il faut tenir compte lors de la conception, de la planification, de la réalisation et de l'exploitation des projets d'application du train rapide à sustentation magnétique.

Les dispositions du document sont subordonnées à celle de MbBO et s'appuie sur l'état actuel de la technique dans le domaine de la maintenance des ouvrages.

La Partie VI des Principes d'exécution Rame est à utiliser conjointement avec les Parties I à V des Principes d'exécution Voie, les Principes d'exécution Système complet et les Principes d'exécution concernant les autres systèmes partiels.

Le présent document contient :

- Exigences générales relatives à la maintenance de la voie ;
- Exigences fondamentales relatives aux procédures lors de la maintenance de la voie ;
- Exigences fondamentales relatives à la réalisation technique de la surveillance ;
- Exigences fondamentales relatives à la documentation ;

Les exigences du présent document sont à préciser et à compléter en conséquence spécifiquement au projet et en fonction de l'état correspondant du projet.

Les exigences relatives à l'aptitude à la maintenance de chacun des modules sont à relever dans /MSB AG-FW ÜBG/.

Les présents principes d'exécution s'appliquent aux trains à sustentation magnétique conformes à la Loi générale sur les trains à sustentation magnétique /AMbG/.

### Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique

Le présent document fait partie d'une documentation concernant les trains rapides à sustentation magnétique, composée de plusieurs principes d'exécution. La structure des documents est illustrée dans la figure 1 /MSB AG-GESAMTSYS/.

Le document de niveau supérieur, intitulé Principe d'exécution du système complet, et ses annexes s'appliquent de façon uniforme à l'ensemble de la documentation :

- Principe d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, Système complet, document n° : 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, avec ses annexes :
  - Annexe 1 : Abréviations et définitions, document n° : 67536, /MSB AG-ABK&DEF/

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Voie, Partie VI, Maintenance

Doc. n° : 63842

Version finale

Date de publication 15.02.2007

Page 6

- Annexe 2 : Lois, décrets, normes et directives, document n° : 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
- Annexe 3 : Conditions environnementales, document n° : 67285, /MSB AG-UMWELT/
- Annexe 4 : Règles d'exploitation (opérations de roulage et maintenance), document n° : 69061, /MSB AG-BTR&IH/
- Annexe 5 : Bruit, document n° : 72963, /MSB AG-SCHALL/

## Abréviations et définitions

Les abréviations et les définitions figurant dans le document /MSB AG-ABK&DEF/ s'appliquent.

Les modules de la voie sont définis dans les Principes d'exécution Voie Partie I.

Contrairement à la sémantique employée dans les autres principes d'exécution, les termes défaut, erreur et dommage sont utilisés dans les Principes d'exécution de la voie sont employés conformément à la sémantique de la construction.

Un défaut dans le sens du document est une variation non admissible d'un module par rapport à l'état voulu qui est déjà constatée au moment de la réception. Il est sans importance ici que le défaut soit détecté au moment de la réception ou seulement plus tard. Un défaut peut provoquer un ou plusieurs dommages.

Une erreur est une action qui ne permet pas d'atteindre le but fixé ou une omission qui peut entraîner un ou plusieurs défauts et/ou un ou plusieurs dommages.

Un dommage est une variation non admissible d'un module par rapport à l'état voulu qui se produit pendant l'utilisation.

## Lois, décrets, normes et directives

Les documents normatifs mentionnés dans le document /MSB AG-NORM&RILI/ contiennent des exigences qui font partie des Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique, en raison de leur référencement dans lesdits principes. Dans le cas des documents normatifs datés mentionnés dans /MSB AG-NORM&RILI/, les modifications ou remaniements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent pas. Dans le cas des références non datées, la dernière édition du document normatif cité en référence s'applique.

La version des normes et directives à prendre en compte dans le cadre d'un projet de TSM doit être définie obligatoirement en fonction du projet.

## Identification et caractère obligatoire des exigences

Pour l'essentiel, les règles conformes à la norme /DIN 820/ ont été appliquées lors de la rédaction de la présente documentation.

Dans les chapitres qui suivent et dans les annexes du présent document :

- les exigences sont rédigées en écriture standard

---

Titre      Principes d'exécution du train rapide à sustentation magnétique  
Voie, Partie VI, Maintenance

- les explications, les valeurs indicatives et les exemples sont rédigés en *italique*.  
(voir /MSB AG-FW ÜBG/).

## Exigences relatives à la maintenance de la voie

### Dispositions générales

Conformément à DIN 31051, la maintenance de la voie comprend :

- (1) l'inspection,
- (2) l'entretien,
- (3) la réparation et des améliorations des composants mentionnés de la voie (dans le présent document, les améliorations sont traitées en commun avec d'autres mesures, par exemple liées à l'exploitation).

Le principal objectif de la maintenance est de réunir les conditions techniques nécessaires au maintien d'un fonctionnement du train à sustentation magnétique conforme à sa destination. Une maintenance préventive et contextuelle doit permettre d'éviter les réparations et les perturbations du service de roulage qui en découlent.

La surveillance et le contrôle de la voie doivent s'effectuer en accompagnement de l'exploitation et de la manière la plus automatisée possible. Le niveau de sécurité atteint ne doit ici pas être inférieur à celui d'un contrôle d'ouvrage conventionnel sur la base de la norme /DIN 1076/ ou de la réglementation en vigueur dans le domaine de la technique du roulage/ferroviaire. Les intervalles indiqués dans ces dispositions peuvent toutefois être adaptés de manière appropriée aux particularités d'une voie du train rapide à sustentation magnétique. La surveillance régulière a pour but de détecter suffisamment tôt les défauts et les dommages éventuellement provoqués de manière à pouvoir déjà prendre les mesures nécessaires à un stade précoce de leur apparition ou d'éliminer les défauts et les dommages éventuellement survenus avant que la sécurité et la disponibilité ne soient affectées.

Elle vise en outre à pouvoir disposer des données nécessaires pour la planification envisagée d'une maintenance préventive.

Il faut garantir l'indépendance des décisions techniques du personnel chargé de la maintenance de la voie en rapport avec

- (1) la nécessité de réaliser des opérations d'inspection ;
  - (2) la validation technique ;
- par des règles d'organisation en conséquence.

Pour les ouvrages de la voie selon /MSB AG-FW ÜBG/, il faut établir un concept de maintenance spécifique au projet qui contient des instructions pour la surveillance et le contrôle de la stabilité statique, de la sécurité du trafic et de la durabilité des ouvrages d'art de la voie destinée au train rapide à sustentation magnétique.

Remarque : selon le MbBO, il existe une obligation de déclaration auprès de l'organisme chargé de la surveillance et du contrôle des données et des connaissances qui concernent la surveillance et le contrôle des ouvrages et qui sont collectées et interprétées dans le cadre de l'exploitation.

Il faut garantir qu'en plus des responsables des installations, du chef d'exploitation et des organismes de surveillance compétents, les événements importants de la maintenance soient également communiqués aux tiers qui peuvent justifier d'un intérêt légitime pour les résultats des analyses (par exemple supports de charges de construction des voies qui se croisent).

# Indications et recommandations pour la stratégie de maintenance

## Indications

La maintenance de la voie se base sur un état connu. Cet état est enregistré et documenté en tant qu'« état zéro » dans le cadre de la fabrication et de la mise en service sur la (section de) voie terminée avant qu'elle ne soit empruntée par la première rame de TSM.

Toutes les modifications importantes par rapport à l'« état zéro » sont ensuite documentées et interprétées continuellement pendant l'exploitation et éventuellement définies comme nouvel état de référence.

Les éventuels remplacements de composants à effectuer sur l'équipement existant (par exemple remplacement d'un paquet de tôles statoriques) peuvent entraîner un état de référence à définir sur lequel il faudra se baser pour les futurs contrôles.

Les programmes de maintenance sont à établir conformément aux « Principes et procédures d'établissement d'un programme de maintenance », chapitre 5.3.3 dans /MSB AG-GESAMTSYS/ et à /MSB AG-BTR&IH/.

Des programmes de maintenance sont à établir pour chaque module par leurs fabricants / fournisseurs respectifs.

Les programmes de maintenance individuels sont à regrouper en un seul.

Ce programme de maintenance de la voie ainsi développé doit être compatible avec les exigences du système complet.

Le programme de maintenance de la voie est à établir en se basant sur la base de données de l'ouvrage.

Pour chaque mesure individuelle contenue dans le programme de maintenance, le fabricant / fournisseur correspondant doit établir des instructions de travail pour la maintenance conformément au chapitre 5.3.3 dans /MSB AG-GESAMTSYS/ et à /MSB AG-BTR&IH/.

La construction des composants et des modules de la voie doit être conçue avec tolérance de panne, conformément aux Principes d'exécution de la voie Partie I, de sorte qu'il ne soit pas nécessaire d'effectuer des réparations immédiatement après avoir constaté un dommage.

Il faut tenir compte lors de la maintenance de la voie des messages relatifs à la maintenance en provenance d'autres systèmes partiels (par exemple signaux de levage et de guidage en provenance de la rame).

La maintenance doit exclusivement être réalisée par un personne possédant la qualification en conséquence (voir aussi /MSB AG-BTR&IH/).

Suivant le projet, la stratégie de maintenance doit tenir compte de l'intervention possible de tiers.

Il faut documenter et utiliser pour la maintenance les connaissances et les documentations provenant de la fabrication et de la mise en service.

## Recommandations

*Il convient que la surveillance de la voie (éventuellement en excluant les ouvrages spéciaux et la périphérique de la ligne) soit effectuée continuellement (par exemple à intervalles courts) et de la manière la plus automatisée possible et en accompagnement de l'exploitation.*

*Il convient que les opérations de maintenance soient le plus possible effectuées depuis la voie (rame spéciale).*

*Il convient de prévoir les opérations de maintenance de telle sorte qu'elles puissent être réalisées pendant les périodes libres définies à cet effet spécifiquement au projet.*

*Il faut définir spécifiquement au projet la période disponible pour les opérations de maintenance (il convient que celles-ci aient lieu pendant l'interruption de l'exploitation à définir spécifiquement au projet).*

*L'interprétation et l'expertise des résultats de l'inspection doivent avoir lieu rapidement.*

*Il convient de définir des objets de référence soumis à une surveillance particulière à des points du tracé à fixer spécifiquement au projet.*

*La surveillance des objets de référence doit permettre de réaliser une analyse de l'état de la voie en faisant intervenir les autres connaissances issues de l'exploitation et de la maintenance.*

*Il convient que les mesures destinées à la conservation des ouvrages (par exemple rénovation de la protection anticorrosion sur les composants en acier après de longues périodes) fassent l'objet d'une attention particulière dans la planification de la maintenance.*

*Il convient que les modules qui nécessitent un remplacement planifié pendant la durée d'utilisation exigée de la ligne ou dont la probabilité de défaillance laisse supposer un remplacement soient tenus en réserve en nombre suffisant en fonction du projet.*

## Exigences relatives au personnel

Les exigences prioritaires imposées au personnel sont définies dans les Principes d'exécution du système complet.

Le ou la responsable de l'organisme chargé de la surveillance et du contrôle de la voie doit être habilité(e) à porter le titre d'« Ingénieur ». Ce poste doit être occupé par une personne possédant les connaissances spécialisées nécessaires à cet effet et ayant au moins cinq ans d'expérience professionnelle dans ce domaine.

## Entretien

La planification, la réalisation et la reprise de l'entretien doivent se dérouler sur la base des indications définies dans le chapitre 5.3.3 dans /MSB AG-GESAMTSYS/ et dans /MSB AG-BTR&IH/.

Les indications relatives à l'entretien des modules dans les programmes de maintenance et dans les instructions de maintenance doivent être spécifiques au type de construction et au fabricant.

L'entretien obéit aux principes suivants :

- (1) l'entretien des modules individuels ne doit pas gêner l'exploitation du système ;
- (2) l'entretien doit pouvoir être réalisé pendant les périodes définies spécifiquement au projet ;
- (3) l'entretien doit pouvoir être réalisé au sein des espaces libres à définir spécifiquement au projet pour la maintenance ;
- (4) l'entretien doit pouvoir être réalisé avec les ressources (personnel, équipement) et les procédures définies spécifiquement au projet ;
- (5) il faut justifier de la possibilité de réalisation des travaux d'entretien (éventuellement sur un prototype) sous des conditions additionnelles proches de l'application.

## Inspections

# Exigences générales relatives aux inspections

La planification, la réalisation et la reprise des inspections doivent se dérouler sur la base des indications définies dans le chapitre 5.3.3 dans /MSB AG-GESAMTSYS/ et dans /MSB AG-BTR&IH/.

Les inspections se divisent en :

- (1) Surveillances
- (2) Analyses
- (3) Expertises
- (4) Inspections spéciales

Les indications relatives à l'inspection des modules dans les programmes de maintenance et dans les instructions de maintenance doivent être spécifiques au type de construction et au fabricant.

Les inspections obéissent aux principes suivants :

- (5) L'inspection des modules individuels ne doit pas gêner l'exploitation du système ;
- (6) Les inspections doivent pouvoir être réalisées pendant les périodes définies spécifiquement au projet ;
- (7) Les inspections doivent pouvoir être réalisées au sein des espaces libres à définir spécifiquement au projet pour la maintenance ;
- (8) Les inspections doivent pouvoir être réalisées avec les ressources (personnel, équipement) et les procédures définies spécifiquement au projet ;
- (9) Il faut justifier de la possibilité de réaliser les inspections.

*Il convient que cette justification soit apportée éventuellement sur un prototype sous des conditions additionnelles proches de l'application.*

Les intervalles d'inspection sont à définir conformément aux « Principes et procédures d'établissement d'un programme de maintenance » en fonction du type de construction et spécifiquement au projet.

La justification d'un niveau de sécurité équivalent est nécessaire si l'inspection des modules de la voie ne se déroule pas en s'inspirant de la norme /DIN 1076/ ou de l'état actuel de la technique dans le domaine du roulage/ferroviaire.

## Surveillances

La surveillance s'effectue par une observation annuelle de la voie et/ou d'images enregistrées. En plus de cela, il faut appliquer des procédés complémentaires (par exemple surveillance de la géométrie des plans fonctionnels) à intervalles plus courts (par exemple continuellement). Les surveillances font partie des inspections à effectuer conformément au plan.

*Elles peuvent s'effectuer aussi bien avec l'assistance de la rame qu'avec l'assistance de la rame spéciale. Des procédés spécifiques au projet sont en outre possibles.*

La surveillance de la voie doit être effectuée spécifiquement au projet ainsi qu'en fonction du fabricant et du type de construction.

Quelles que soient les particularités spécifiques au type de construction, il faut accorder une attention particulière aux points suivants lors de la surveillance :

- (1) Surveillance de la géométrie de faible amplitude des plans fonctionnels ;
- (2) Surveillance de la géométrie de grande amplitude de la voie ;
- (3) Surveillance de l'état des appuis ;
- (4) Modifications des surfaces (par exemple fissures dans le béton, écaillage de la protection anticorrosion) ;
- (5) Surveillance de l'équipement de voie ;
- (6) Surveillance des espaces libres définis ;
- (7) Surveillance des ouvrages spéciaux et de la périphérie de la ligne ;
- (8) Détermination des effets des influences externes (collisions aux passages à niveau, service d'hiver, végétation, séisme, vandalisme, etc.) ;
- (9) Le cas échéant, surveillance des objets de référence choisis.

Les résultats sont à interpréter continuellement et rapidement conformément aux indications spécifiques au projet afin de pouvoir identifier sans retard les éventuels défauts/dommages pouvant affecter la sécurité et l'ordonnement.

La nécessité des objets de référence ainsi que leur nombre et leur position sont à définir spécifiquement au projet.

Remarque : il s'agit ici par exemple de supports de voie exposés définis individuellement en accord avec les autorités compétentes chargées de la surveillance et éventuellement leurs experts reconnus. Ceux-ci doivent faire l'objet d'une surveillance métrologique spéciale (par exemple courbe de température, carbonisation, épaisseur de la couche de protection anticorrosion, etc.).

Les résultats de la surveillance des supports de référence servent à l'évaluation de l'état général du tracé et à l'interprétation des constatations individuelles.

## Analyses

Les échéances des analyses sont à définir en fonction des particularités de la forme de construction, de la sollicitation et de la sensibilité des modules. Les échéances sont à indiquer pour tous les modules de la voie en fonction de leur type de construction dans le programme de maintenance spécifique au projet (*plans d'inspection*).

Les modules de la voie doivent faire l'objet d'une analyse manuelle régulière pour y déceler d'éventuels défauts ou dommages apparents. Initialement, cette analyse manuelle est à effectuer tous les ans.

*Cet intervalle peut être modifié en fonction des conditions additionnelles spécifiques au projet.*

L'intervalle maximum entre deux analyses est de 6 ans.

Lors des analyses manuelles, il faut accorder une attention particulière aux défauts/dommages qui sont reconnaissables depuis l'extérieur mais qui ne peuvent cependant pas être constatés avec le système de surveillance de la voie.

L'analyse comprend également un tri et une évaluation des résultats de la surveillance de la section de ligne qui doit être soumise à une observation manuelle.

## Expertises

Lors d'une expertise, il faut déterminer si :

- (1) la capacité de charge des modules correspond encore aux indications de la planification et à l'état de l'expertise précédente ;
- (2) il faut redouter au cours des six prochaines années une progression des défauts et des dommages au point de risquer d'affecter sérieusement l'aptitude à l'utilisation ou la capacité de charge ;
- (3) il existe des défauts, des dommages ou des variations dimensionnelles par rapport à l'état planifié qui rendent nécessaire une inspection approfondie.

L'expertise couvre tous les modules de la voie. Il faut tenir compte des effets opérationnels dont l'influence sur la voie n'est pas négligeable (par exemple végétation, modification des constructions à proximité du tracé).

Les expertises sont à effectuer tous les six ans.

L'intervalle entre une analyse et une expertise ne doit pas être supérieure à 3 ans.

Lors d'une expertise, il faut évaluer et documenter tous les défauts et dommages importants sur la voie. Il faut déterminer, évaluer et aussi documenter l'éventuelle restriction de la capacité de charge, la sécurité restante et la durabilité.

Si nécessaire, il faut ordonner des inspections spéciales supplémentaires (par exemple mesures géodésiques supplémentaires sur la voie).

L'expertise est à justifier en établissant un rapport détaillé sur l'étendue de l'inspection, sa profondeur et ses résultats. Ce rapport doit contenir une prévision de l'évolution des dommages et défauts constatés. Il faut en outre y formuler des recommandations à propos de la modification des échéances de maintenance et sur les réparations nécessaires pendant le prochain intervalle entre deux expertises.

Si des procédés de surveillance automatisé de la voie sont mis en place et appliqués et /ou si des objets de référence sont surveillés, les résultats de ces inspections peuvent être utilisés comme partie de l'expertise.

Si l'expertise des modules de la voie ne se déroule pas en s'inspirant de la norme /DIN 1076/ ou de l'état actuel de la technique dans le domaine du roulage/ferroviaire, elle doit alors être effectuée en interprétant les résultats des inspections précédentes.

Dans ce cadre, les points suivants doivent être pris en compte :

- (4) Surveillance permanente de la voie ou des modules soumis à cette règle ;
- (5) Documentation et évaluation de tous les résultats des inspections ;
- (6) Interprétation des connaissances de la surveillance des supports de référence ;
- (7) Observation manuelle régulière dans le cadre des analyses en mettant l'accent sur les modules dont la surveillance n'est pas automatisée ;
- (8) Accessibilité à la documentation de la voie.

## Inspections spéciales

Les inspections spéciales doivent être effectuées après des événements particuliers qui influent sur l'état de la voie ou si les résultats des inspections de l'ouvrage l'imposent.

Les événements qui nécessitent une inspection particulière peuvent être les suivants :

- (1) Constatations lors de la surveillance, de l'analyse et de l'expertise ;
- (2) Collision de véhicules (routiers) avec la voie ;
- (3) Mode de fonctionnement imprévu d'une rame avec effet considérable sur la voie ;
- (4) Achèvement d'opérations de maintenance de l'ouvrage ou de réparations sur la voie s'il existe une possibilité pour que ces travaux aient provoqué des dommages à la voie ;
- (5) Influences inhabituelles de l'environnement.

Cette liste ne se veut pas exhaustive.

La stabilité statique des modules peut également être justifiée de manière expérimentale (par exemple par des essais de charge) dans le cadre d'une inspection spéciale. Son exécution doit ici être accompagnée d'analyses mathématiques de manière à exclure tout dommage à la voie par une sollicitation excessive. Seul un personnel spécialement qualifié à cet effet doit planifier et réaliser ces essais, lesquels nécessitent l'accord des autorités compétentes chargées de la surveillance.

## Réparation

La planification, la réalisation et la reprise des réparations doivent se dérouler sur la base des indications définies dans le chapitre 5.3.3 dans /MSB AG-GESAMTSYS/ et dans /MSB AG-BTR&IH/.

Les réparations sont soumises aux principes suivants :

- (1) Une réparation des modules individuels ne doit pas gêner l'exploitation du système ;
- (2) Les réparations doivent pouvoir être réalisées pendant les périodes définies spécifiquement au projet ;
- (3) Les réparations doivent pouvoir être réalisées au sein des espaces libres à définir spécifiquement au projet pour la maintenance ;
- (4) Les réparations doivent pouvoir être réalisées avec les ressources (personnel, équipement) et les procédures définies spécifiquement au projet ;
- (5) Il faut justifier de la possibilité de réalisation des réparations (éventuellement sur un prototype) sous des conditions additionnelles proches de l'application.

Les instructions de réparation de la voie à établir doivent contenir au moins les points suivants :

- (6) Personnel nécessaire (nombre et qualification) ;
- (7) Équipement et matériels nécessaires ;
- (8) Temps de travail requis ;
- (9) Indications technologiques (par exemple temps de durcissement, etc.) ;
- (10) Renseignements sur les influences de l'environnement.

*Les réparations importantes qui ont une influence sur l'exploitation sont à considérer séparément et spécifiquement au projet comme des autres mesures (par exemple remplacement complet de la protection anticorrosion sur les composants en acier ou rénovation complète du béton).*

## Autres mesures

Les autres mesures peuvent s'avérer nécessaires pour des raisons opérationnelles ou suite à des opérations de maintenance et elles sont à définir spécifiquement au projet.

En font généralement partie :

- (1) Les améliorations des/sur les modules ;
- (2) Les réparations importantes qui influent l'exploitation ;
- (3) Les mesures de contrôle et d'entretien de la végétation ;
- (4) Les mesures pour le service d'hiver.

Les exigences techniques relatives à la maintenance telles qu'elles sont décrites dans le présent document s'appliquent également dans le même sens lors de l'exécution des autres mesures. Il faut développer des concepts et programmes spécifiques au projet en temps voulu avant la mise en oeuvre des autres mesures.

## **Exigences fondamentales relatives au déroulement des opérations de maintenance**

Les exigences suivantes sont imposées au déroulement des opérations de maintenance :

- (1) Les indications dans /MSB AG-GESAMTSYS/ et /MSB AG-BTR&IH/ s'appliquent en priorité ;
- (2) Il faut appliquer de préférence des procédures de réparation éprouvées, ne devant pas être réalisées dans l'urgence, réalisables sous toutes les conditions météorologiques et par un personnel ne disposant que de faibles connaissances spécialisées ;
- (3) L'état avant la première utilisation (moment de l'établissement) ou après avoir effectué la réparation (état réel) doit atteindre les indications du plan ;  
il faut documenter cet état qui servira ensuite d'état de référence pour l'évaluation des modifications survenues ;
- (4) Détermination de l'état réel ;  
l'état réel, qui varie, est idéalement connu à tout moment et il est comparé avec l'état de référence pour évaluer les modifications survenues ;  
les limites pour le déclenchement de mesures sont à définir et à fixer pour la voie ;
- (5) *Il faut viser une maintenance préventive en fonction de l'état pour tous les modules ;*
- (6) *Des divergences par rapport à la maintenance préventive sont autorisées pour des raisons techniques, économiques ou opérationnelles ;*
- (7) *Des inspections supplémentaires ou des intervalles d'inspection réduits permettent de prolonger la durée d'utilisation des modules ;*
- (8) Il faut tenir compte dans la planification de la maintenance des dommages importants de la voie qui ne peuvent pas être éliminés par une simple réparation ;
- (9) Les mesures nécessaires (soutien de secours, remplacement de supports complets, etc.) doivent être prévues suffisamment dans la conception pour que les réparations puissent commencer le plus rapidement possible en cas de dommage ;
- (10) Les mesures à prendre sur les installations de tiers sont à effectuer conformément aux dispositions légales générales ;
- (11) Il est explicitement renvoyé à la Loi sur la planification du train rapide à sustentation magnétique (MBPIG) et aux accords mutuels à conclure spécifiquement au projet ;
- (12) Les mesures au sein de l'environnement du tracé nécessitent des procédures de transfert et de validation spécifiques au projet.

*Remarque : Il faut ici généralement procéder selon les étapes suivantes :*

- (13) *Établissement d'un ordre de travail, par exemple par l'unité d'organisation chargée de la maintenance de la voie et en accord avec le service de roulage ;*
- (14) *Transfert consigné de la zone de travail (par exemple section de voie) du service de roulage à la maintenance ;*
- (15) *Mise en oeuvre des mesures et enregistrement des informations nécessaires pour la documentation ;*

---

(16) *Validation technique de la zone de travail par la maintenance ;*

(17) *Prise en charge consignée de la zone de travail par le service de roulage auprès de la maintenance ;*

(18) *Documentation des mesures effectuées.*

*Remarque : Pour faciliter le travail, les services opérationnels peuvent être représentés en commun par un « Coordinateur / trice du service de roulage / contrôle du chantier » auprès de l'organisme chargé de la maintenance de la voie. Le/la coordinateur/trice doit rendre compte à l'organisme chargé de la maintenance de la voie et aux organismes de surveillance.*

## Consignes techniques pour la réalisation des inspections

### Possibilités de surveillance

*Les procédés de surveillance à employer peuvent généralement être classés comme suit :*

- (1) Mesures depuis la rame (en accompagnement des opérations de roulage) ;*
- (2) Surveillance métrologique depuis la rame spéciale (généralement pendant les interruptions des opérations de roulage) ;*
- (3) Surveillance métrologique fixe (généralement permanente) ;*
- (4) Autres procédés.*

*Lors du choix du système de surveillance, il faut accorder la préférence aux systèmes qui permettent de détecter le plus tôt possible les dommages ou les modifications pouvant résulter de dommages.*

*Le transfert des données des résultats des surveillances individuelles ne s'effectue généralement pas en direct.*

*L'interprétation des données est donc généralement décalée dans le temps et il faut tenir compte des conditions additionnelles spécifiques au type de construction et au projet en fixant les périodes d'interprétation.*

*La nécessité d'une transmission en direct des informations de surveillance aux services centralisés est à définir en fonction du projet.*

### Niveau d'automatisation des inspections

*Il faut s'efforcer d'automatiser le plus possible la surveillance de la voie.*

*Le niveau d'automatisation et les opérations à effectuer lors de l'inspection automatisée sont à définir spécifiquement au projet.*

*Il est prévu de déduire de l'inspection automatisée des modules individuels des conclusions sur l'état d'un plus grand nombre de modules, ce qui implique qu'il faut fixer le nombre et l'exposition aux dispositifs de détection destinés à la surveillance de manière à pouvoir obtenir un renseignement certifié.*

*Il faut surveiller l'aptitude fonctionnelle des systèmes d'inspection automatisés. Il faut définir comment est détectée une panne du système automatisé.*

*Il faut définir spécifiquement au projet les mesures qui permettent de garantir l'accomplissement des tâches d'inspection même en cas de panne d'un système automatisé isolé.*

*Pour les modules ayant une importance particulière pour la sécurité, il peut s'avérer nécessaire lors de l'inspection automatisée de prévoir une possibilité de contrôle indépendante destinée à vérifier le résultat des mesures ou des contrôles.*

### Inspection de la géométrie

*L'inspection de la géométrie de la voie comprend l'inspection de la géométrie de faible amplitude et de grande amplitude.*

*Dans les deux cas, la surveillance doit être réalisée en se basant sur l'état de référence documenté.*

*L'inspection de la géométrie de faible amplitude (décalage, NGK, largeur de voie, entrain, interstice) doit être réalisée conformément à l'état de la technique.*

*Il faut surveiller le respect des indications définies dans /MSB AG-FW GEO/.*

*Il faut tenir compte en choisissant la technique d'inspection des conditions additionnelles spécifiques au type de construction (signalisation des défaillances, redondance, acheminement des erreurs).*

*L'inspection de la géométrie de grande amplitude se déroule en se basant sur une mesure de référence et conformément à l'état de la technique. Il faut réaliser et documenter des mesures géodésiques pendant la mise en service (voir chapitre 0).*

*Des mesures géodésiques ultérieures peuvent être utilisées pour quantifier les modifications constatées ou pour évaluer les modifications.*

## **Inspections visuelles**

*Les inspections visuelles peuvent être effectuée aussi bien manuellement qu'automatiquement.*

*Les consignes à cet effet sont à définir spécifiquement au projet et conformément à l'état actuel de la technique.*

## **Inspection au moyen de dispositifs de mesure fixes**

*Les dispositifs de mesure fixes sont installés sur les objets de référence.*

*Ils doivent être conformes à l'état actuel de la technique et sont à choisir en fonction du type de construction et en accord avec les autorités compétentes chargées de la surveillance et éventuellement leurs experts désignés.*

*Il faut définir comment est détectée une panne des dispositifs de mesure fixes.*

*Si les données météorologiques sont enregistrées le long de la ligne, il convient alors que les points de mesure soient situés à proximité immédiate des objets de référence individuels afin de pouvoir établir des relations directes entre les données météorologiques et les données de mesure.*

## **Autres inspections**

*Suivant le projet, il faut définir les autres inspections nécessaires du point de vue de la maintenance ou qui couvrent des aspects opérationnels comme, par exemple, la neige, le verglas, le contrôle de la végétation, etc.*

Ces inspections doivent être conformes à l'état actuel de la technique et sont à choisir en fonction du type de construction et en accord avec les autorités compétentes chargées de la surveillance et éventuellement leurs experts désignés.

## Exigences fondamentales relatives à la documentation

Les indications dans /MSB AG-GESAMTSYS/ et /MSB AG-BTR&IH/ s'appliquent en priorité.

Il faut établir une base de données des ouvrages spécifique au projet.

*Celle-ci est à établir soit à partir du répertoire des équipements techniques du système, soit en relation explicite avec ce document.*

*La base de données des ouvrages contient pour chaque objet toutes les données importantes de la voie (ou y renvoie) qui sont nécessaires pour réaliser les opérations de surveillance et de contrôle.*

Tous les événements importants de la maintenance doivent avoir une entrée dans la base de données des ouvrages.

La base de données des ouvrages doit contenir au moins les informations suivantes :

- (1) Présentation et brève description des modules ou des pièces d'équipement ;
- (2) Nature et lieu du stockage des documents ou de l'enregistrement des données dont les détails peuvent être relevés par le biais de la planification, de l'autorisation, de la fabrication, des résultats des analyses et des mesures antérieures ;
- (3) Opérations de conservation et de maintenance effectuées ;
- (4) Modifications importantes sur l'équipement de la voie ou la construction porteuse.

Il faut mettre à jour et maintenir continuellement la base de données.

Les données sont à collecter lors des phases :

- (5) Planification et approbation de l'ouvrage ;
- (6) Édification de l'ouvrage ;
- (7) Mise en service ;
- (8) Réception de l'ouvrage ;
- (9) Maintenance, réparation et transformation en cours.

Il faut définir spécifiquement au projet comme préparer et présenter les données.

*La documentation doit permettre de reconnaître une tendance dans les modifications des états.*

*Il est peut-être nécessaire à cet effet de référer les cheminements des appuis à une température de référence toujours identique.*