

# MATÉRIEL ROULANT

## DANS LE SYSTÈME FERROVIAIRE

Tome 1

Ouvrage dirigé par  
Éric Fontanel et Reinhard Christeller

Avec le conseil de François Lacôte  
et le soutien du mastère systèmes  
de transports ferroviaires et urbains



# Tables des matières

Sommaire .....	4
Avant-propos .....	6
Avant-propos .....	9
Avertissement au lecteur.....	11
<b>Chapitre 1 Introduction au système ferroviaire .....</b>	<b>14</b>
Une évolution technique?.....	16
1.1 Performances uniques : un aperçu .....	16
1.2 Les bases du système ferroviaire et sa position dans les systèmes de transport. ....	18
1.2.1 L'évolution dans le temps .....	20
1.3 Les fonctions fondamentales de la technologie ferroviaire .....	22
1.4 Histoire des chemins de fer et du matériel roulant.....	23
1.4.1 L'invention du boudin de roue unilatéral et son évolution/les autres types de guidage ....	23
1.4.2 Les locomotives et la traction.....	24
1.4.3 Les trains.....	47
1.4.4 Les composants principaux .....	70
1.4.5 Autres systèmes de transport guidés.....	77
1.5 Les systèmes ferroviaires en Europe et dans le monde.....	80
1.5.1 Infrastructure et matériel roulant .....	80
1.5.2 Organismes.....	83
1.5.3 L'Espace Ferroviaire Européen Unique (EFEU ou SERA).....	85
1.6 L'environnement, la santé et la sécurité .....	91

<b>1.7 Quelques personnages marquants</b> .....	<b>98</b>
1.7.1 Richard Trevithick (1771-1833) .....	98
1.7.2 George Stephenson (1781 – 1848) et Robert Stephenson (1803 – 1859) .....	99
1.7.3 Werner von Siemens (1816-1892).....	103
1.7.4 George Westinghouse (1846 – 1914).....	104
1.7.5 André Chapelon (1892 – 1978) .....	106
<b>1.8 L'évolution de l'industrie du matériel roulant</b> .....	<b>110</b>
1.8.1 La structure industrielle .....	110
1.8.2 De la fabrication sur mesure aux « plateformes de produits ».....	116
<b>1.9 Un regard vers le futur</b> .....	<b>118</b>
<b>Chapitre 2 Les systèmes de transport ferroviaires</b> .....	<b>120</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>122</b>
<b>2.1 Les principaux acteurs du transport ferroviaire</b> .....	<b>123</b>
2.1.1 Autorités publiques.....	123
2.1.2 Acteurs économiques du système de transport ferroviaire .....	127
2.1.3 Acteurs facilitateurs.....	131
<b>2.2 Différents systèmes de transport ferroviaires</b> .....	<b>133</b>
2.2.1 Définitions générales.....	133
2.2.2 Notion de système de transport ferroviaire .....	135
2.2.3 Les segments du marché ferroviaire et les systèmes et services ferroviaires correspondants.....	140
<b>Chapitre 3 Interopérabilité et sécurité des systèmes ferroviaires</b> .....	<b>158</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>160</b>
<b>3.1 Directive relative à l'interopérabilité</b> .....	<b>161</b>
3.1.1 Interopérabilité .....	161

3.1.2	Sous-systèmes, exigences essentielles et paramètres de base	162
3.1.3	Champ d'application	163
3.1.4	Sous-systèmes	164
3.1.5	Exigences essentielles	165
3.1.6	Paramètres fondamentaux	166
<b>3.2</b>	<b>Les STI (Spécifications Techniques d'Interopérabilité)</b>	<b>167</b>
3.2.1	Principes communs à toutes les STI	167
3.2.2	Le matériel roulant européen, tel que décrit par les STI	171
3.2.3	Les autres sous-systèmes structurels décrits par les STI	178
<b>3.3</b>	<b>La sécurité ferroviaire</b>	<b>192</b>
3.3.1	Les aspects réglementaires de la sécurité dans l'espace ferroviaire européen unique (SERA) : la directive sécurité	192
3.3.2	Les Méthodes de Sécurité Communes	197
3.3.3	À la recherche d'une association optimale du technique et de l'humain	208
3.3.4	Une sécurité qui est l'affaire de tous les acteurs	210
<b>3.4</b>	<b>L'autorisation de mise en service des matériels roulants dans l'espace ferroviaire unique européen</b>	<b>211</b>
3.4.1	Dualité des deux directives et superposition des STI et des règles nationales	211
3.4.2	Un progrès significatif : la notion de véhicule et la reconnaissance d'une autorisation de type	213
3.4.3	Les recommandations de la Commission concernant les procédures d'autorisation	215
<b>3.5</b>	<b>L'Agence ferroviaire européenne, organisme régulateur de l'espace ferroviaire européen unique</b>	<b>221</b>
3.5.1	Rôle et organisation de l'ERA	221
3.5.2	Les organismes support	222
3.5.3	Les rapports de l'ERA et les registres	223
3.5.4	Les expertises	224
<b>3.6</b>	<b>Les normes ferroviaires</b>	<b>224</b>
3.6.1	La « nouvelle approche »	225
3.6.2	Cas particulier du ferroviaire	225
3.6.3	L'utilisation des normes dans le cadre des contrats	226
3.6.4	Élaboration des normes ferroviaires	227

3.6.5 Quelques normes significatives .....	228
3.6.6 Normalisation européenne et normalisation mondiale .....	231
3.6.7 Les fiches de l'UIC .....	231
<b>3.7 Dispositions particulières au ferroviaire urbain européen .....</b>	<b>232</b>
3.7.1 La Plateforme ferroviaire urbaine .....	232
3.7.2 Procédures d'Acceptation, d'Approbation et de Certification (AAC) appliquées dans le domaine du ferroviaire urbain .....	233
<b>3.8 Les autres réglementations applicables au matériel roulant ferroviaire .....</b>	<b>251</b>
3.8.1 Autres directives et règlements européens .....	251
3.8.2 Autres systèmes réglementaires applicables au matériel roulant européen .....	257
3.8.3 Autres systèmes mondiaux .....	258
<b>Annexes .....</b>	<b>263</b>
A. L'importance de la normalisation dans la construction d'un système ferroviaire sûr .....	263
B. Objectifs de la norme EN 50126 .....	268
C. Principes de la norme EN 50126 .....	269
D. L'application de la norme EN 50126 au matériel roulant .....	274
E. L'analyse préliminaire des risques (APR) .....	277
F. L'analyse sécurité des interfaces (ASI) .....	280
G. Le Plan des Essais de Sécurité (PES) .....	284
H. L'Organisme Qualifié et Agréé (OQA) et la certification .....	285
I. Les évolutions futures de l'EN 50126 (ou IEC 62278) .....	286
 <b>Chapitre 4 Les interfaces fondamentales .....</b>	 <b>288</b>
 Introduction .....	 290
<b>4.1 Les gabarits ferroviaires .....</b>	<b>291</b>
4.1.1 L'écartement des rails .....	291
4.1.2 Le dimensionnement des infrastructures et des matériels roulants .....	293
4.1.3 Autres gabarits hors d'Europe .....	309
<b>4.2 L'interface roue-rail .....</b>	<b>311</b>
4.2.1 Introduction .....	311
4.2.2 Profils des roues et des rails et guidage sur les aiguillages et les croisements .....	314

4.2.4 Théorie du contact roue-rail (pseudo-glissement et efforts de pseudo-glissement) . . . .	334
4.2.5 Négociation de la courbe et déraillement dû à la montée du boudin . . . . .	340
4.2.6 Géométrie de la voie, charges véhicule/voie et dommages causés à la roue et à la voie.	345
4.2.7 Gestion du frottement roue-rail. . . . .	358
<b>4.3 Simulation dynamique des véhicules ferroviaires . . . . .</b>	<b>359</b>
4.3.1 Objectifs de la simulation dynamique des véhicules ferroviaires . . . . .	359
4.3.2 Outils et modèles informatiques utilisés dans la dynamique des véhicules ferroviaires . . . . .	360
4.3.3. Simulations dynamiques du véhicule dans le développement du matériel roulant . . . . .	369
4.3.4 Simulations dans les processus d'autorisation des véhicules . . . . .	376

## **Chapitre 5 Maintenance et maîtrise du cycle de vie d'un matériel. . . . . 380**

<b>5.1 Le coût du cycle de vie, modèle et réalité. . . . .</b>	<b>382</b>
5.1.1 Une approche du cycle de vie . . . . .	382
5.1.2 LCC, recettes et TVO . . . . .	383
5.1.3 La prévision est un art difficile . . . . .	384
<b>5.2 La maintenance d'un matériel ferroviaire au fil du temps . . . . .</b>	<b>385</b>
5.2.1 Au départ la maintenance n'était qu'un acte technique . . . . .	385
5.2.2 Puis, la maintenance a pris place au centre du modèle économique . . . . .	386
5.2.3 Nouveaux acteurs, nouvelles responsabilités . . . . .	387
5.2.4 Conséquences pour les acteurs: chacun a sa logique propre . . . . .	389
5.2.5 Nécessité d'un nouveau contexte légal et réglementaire . . . . .	391
<b>5.3 Identification des objectifs poursuivis en maintenance . . . . .</b>	<b>394</b>
5.3.1 Un besoin étroitement lié aux conditions d'emploi et aux objectifs poursuivis. . . . .	394
5.3.2 Deux objectifs fondamentaux à atteindre . . . . .	396
<b>5.4 Maîtriser la fiabilité et la maintenabilité . . . . .</b>	<b>397</b>
5.4.2 Maîtrise de la fiabilité dès les phases de conception . . . . .	400
5.4.3 Maîtrise de la maintenabilité dès les phases de conception . . . . .	401
<b>5.5 Ingénierie de maintenance et types de maintenance . . . . .</b>	<b>402</b>
5.5.1 Maintenance corrective . . . . .	403

5.5.2 Maintenance préventive .....	404
5.5.3 Limites: maîtrise du LCC ou progrès global? .....	411
<b>5.6 Exploitation et maintenance: obligatoirement complémentaires.</b> .....	<b>414</b>
5.6.1 Parc exploité et parc en maintenance .....	414
5.6.2 Diminuer le besoin de maintenance .....	415
5.6.3 Insérer la maintenance dans les plages d'inutilisation .....	416
5.6.4 Diminuer les temps de traversée en centre de maintenance .....	419
5.6.5 Coopération mainteneur – exploitant .....	422
5.6.6 Diminuer l'impact des aléas .....	424
<b>5.7 Une méthodologie pour définir et gérer le système de soutien:</b>	
<b>le Soutien Logistique Intégré (SLI)</b> .....	<b>425</b>
5.7.1 Le système de soutien .....	426
5.7.2 Principes généraux du soutien logistique intégré .....	427
5.7.3 Composantes du processus .....	429
5.7.4 Application en phase de conception et d'acquisition .....	434
5.7.5 Application en phase d'exploitation (ou pour un matériel existant) .....	438
<b>5.8 Révision, régénération et évolutions</b> .....	<b>444</b>
5.8.1 Révision .....	444
5.8.2 Modifications et évolutions .....	445
5.8.3 Nécessité de la gestion de configuration .....	447
5.8.4 Obsolescence .....	449
5.8.5 Modernisation approfondie .....	454
5.8.6 Sécurité des modifications .....	458
<b>Auteurs</b> .....	<b>462</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>467</b>
<b>Acronymes</b> .....	<b>469</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>475</b>