

DIDIER JANSOONE

TECHNOLOGIE FONCTIONNELLE DU TRANSPORT FERROVIAIRE ET URBAIN

TRAIN - MÉTRO - TRAMWAY - RER

DUNOD

Direction artistique : Nicolas Wiel
Graphisme de couverture : Pierre-André Gualino
Illustration de couverture : Studio Laure/adobestock.com

© Dunod, 2021
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-083240-8

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

● Table des matières

Remerciements et avertissement de l'auteur	1
Avant-propos	3
1. Pourquoi parle-t-on de technologie du transport ferroviaire et urbain ?	3
2. Quelle est la place occupée par la technologie dans le ferroviaire ?	4
3. Une technologie adaptée à chaque fonction et à chaque système de transport	5
4. Des systèmes d'exploitation performants combinant de multiples technologies	6
5. Quelle sera la méthodologie de l'ouvrage ?	7
Introduction	9
1. Les cinq grands sous-ensembles en matière de technologie ferroviaire	9
2. Bref historique des technologies du transport ferroviaire et urbain	12
1 Principes fondamentaux en matière de technologie ferroviaire	21
1. Les bases du système ferroviaire	21
2. Les différentes composantes de l'infrastructure de roulement	24
3. Technologie du matériel roulant	29
4. Propulsion ferroviaire	31
5. La circulation d'un convoi sur une voie ferrée : risques ferroviaires et réponse technologique	33

2	Les différents systèmes de transport ferroviaire : avantages et contraintes d'exploitation	37
1.	Le train « conventionnel »	37
2.	Le train à grande vitesse	44
3.	Le tramway	47
4.	Le métro	49
5.	Le RER	52
3	Approche et découverte des technologies associées	57
1.	Le chemin de fer conventionnel : des technologies éprouvées et disparates	57
2.	Le <i>nec plus ultra</i> pour les lignes à grande vitesse	64
3.	Le RER et ses automatismes d'exploitation	67
4.	Le tramway et les contraintes de circulation en surface	68
5.	La technologie du métro urbain	71
4	Prise en compte du risque ferroviaire : les systèmes de sécurité fixes et embarqués	75
1.	Risques ferroviaires et systèmes de sécurité adaptés	75
2.	Les systèmes d'enclenchement au sol	79
3.	Les systèmes d'espacement des circulations	80
4.	Le problème des rencontres : les systèmes s'opposant au nez à nez	89
5.	Le traitement des obstacles ou des incidents sur le matériel roulant	92
6.	Les systèmes de contrôle et d'enregistrement embarqués	93
5	Gestion opérationnelle du réseau : les systèmes de contrôle-commande des installations fixes	101
1.	Les grandes fonctions du contrôle-commande	102
2.	Le contrôle-commande à distance	106
3.	Le contrôle-commande local	109

6	Performance du réseau : les systèmes d'exploitation et d'aide à la conduite	113
	1. Les automatismes d'exploitation ferroviaire	113
	2. Le CBTC et la fluidification du trafic métro	115
	3. Le CBTC et le train « conventionnel »	116
7	La traction électrique : principal mode de propulsion	119
	1. Bref historique de la traction électrique ferroviaire	119
	2. La distribution de l'énergie par caténaire aérienne : les grands principes	121
	3. L'exploitation et la maintenance des installations de traction électrique : contrôle-commande	124
8	Fiabilisation du réseau : les grands principes de robustesse de l'exploitation et les outils adaptés	125
	1. Apprendre par l'expérience	125
	2. Analyse et maîtrise des risques	130
	3. Technologie et maintenance ferroviaire	132
9	La conception d'un système de transport ferroviaire : les grandes lignes du cahier des charges	135
	1. Dimensionnement de l'infrastructure : des choix durables et difficilement réversibles	135
	2. Capacité et performances de l'infrastructure : les différentes options possibles	138
	3. Comment faciliter l'exploitation d'une gare ?	142
	4. Les outils de travail à la disposition des exploitants	144
10	L'amélioration des performances d'un réseau ferré : quelles solutions pratiques mettre en œuvre ?	147
	1. L'amélioration continue de la production ferroviaire	147
	2. Les améliorations souhaitées ou nécessaires	149

3. Les solutions techniquement envisageables	149
4. Études de cas d'amélioration du réseau	150
11 Créer un système d'exploitation ferroviaire : méthodologie	159
1. Faire preuve d'inventivité	160
2. Les outils d'amélioration de la production et de la sécurité	167
Annexe 1 Quelques questions techniques	177
Annexe 2 Les équipementiers ferroviaires	183
Annexe 3 La technologie du transport ferroviaire et urbain en quelques dates	185
Annexe 4 Liste des abréviations	195
Glossaire	199
Bibliographie	213
Index	217

Remerciements et avertissement de l'auteur

L'auteur remercie toute l'équipe des éditions Dunod pour le soin apporté à la réalisation de cet ouvrage, notamment Guillaume Clapeau, éditeur, pour sa confiance toujours renouvelée et le suivi méticuleux du projet ; Aurélie Cauvin pour son suivi éditorial ; et Jean-Baptiste Gugès, ancien responsable éditorial, pour tout l'intérêt qu'il a porté au transport ferroviaire en mettant ce nouveau titre au catalogue de la maison.

Précisons que cet ouvrage ne peut – en aucun cas – se substituer aux prescriptions de l'EPSF (Établissement public de sécurité ferroviaire) ni aux procédures internes en vigueur à la SNCF, à la RATP, chez votre opérateur ou gestionnaire d'infrastructure ou, encore, dans votre entreprise ferroviaire privée. Il ne prétend pas non plus se substituer aux explications de vos formateurs et dirigeants qui restent bien évidemment les mieux placés pour vous guider, attirer votre attention sur les attentes particulières des jurys d'examens et concours de promotion interne, et vous enseigner les bonnes pratiques ainsi que les procédures réglementaires en vigueur.

Avant-propos

Ce cours de technologie du transport ferroviaire et urbain est, à ce jour, le seul existant en librairie. Comme le *Manuel d'exploitation ferroviaire* venant d'être réédité chez Dunod (et qui constitue une bonne introduction sur ce sujet particulier), il est destiné à celles et ceux qui doivent apprendre à concevoir, exploiter ou gérer un réseau de transport guidé par voie ferrée.

Qu'ils entament des études professionnalisées en licence pro, préparent un diplôme d'ingénieur à l'ESTACA, approfondissent leurs compétences ferroviaires en suivant le mastère spécialisé « Systèmes de transports ferroviaires et urbains » de l'ENPC, débutent leur carrière professionnelle chez un gestionnaire d'infrastructure comme SNCF-Réseau ou la RATP, un exploitant de tram ou de métro en région, un opérateur ferroviaire comme SNCF-Voyageurs ou un constructeur de matériel d'exploitation ferroviaire, suivent une formation promotionnelle interne ou, venant d'une autre spécialité, désirent se reconvertir dans un métier de la filière ferroviaire, cet ouvrage leur présentera l'ensemble des connaissances à assimiler pour réussir leur formation ou leur reconversion.

Il leur permettra ainsi, s'ils en éprouvent le besoin, de compléter utilement l'enseignement dispensé par les formateurs d'entreprise ou les intervenants en IUT et en école d'ingénieurs.

1 Pourquoi parle-t-on de technologie du transport ferroviaire et urbain ?

Le transport ferroviaire, moyen de transport très développé en France, aura bientôt 200 ans. Depuis 1981 (mise en service de la section Saint-Florentin – Sathonay de la toute première ligne à grande vitesse Paris-Lyon), 1985 (renaissance du tramway à Nantes, alors que cette technologie avait quasiment disparu du paysage ferroviaire français depuis 1957) et 2006 (mise en service de la ligne T4 de tram-train à Paris), le transport ferroviaire n'a jamais été aussi diversifié, ni même aussi performant.

Il se décline aujourd'hui en trois branches bien distinctes, mais tout à fait complémentaires en matière de desserte du territoire : le chemin de fer « conventionnel » (c'est-à-dire celui d'avant le TGV), celui à « grande vitesse » et le chemin de fer « urbain » (métro, RER, tramway et tram-train). C'est la raison pour laquelle l'ouvrage s'intitule *Technologie fonctionnelle du transport ferroviaire et urbain*.

2

Quelle est la place occupée par la technologie dans le ferroviaire ?

La technologie est essentielle à plus d'un titre dans le domaine ferroviaire. C'est elle qui détermine la performance du réseau de transport et la sécurité des voyageurs, sans oublier leur confort. Son rôle est notamment primordial en termes d'infrastructures, car de son niveau dépend la performance technique : par exemple, la possibilité de rouler à 320 km/h en service quotidien.

Tout système ferroviaire se composera donc d'une infrastructure de roulement et de guidage pour changer de direction, dans la plupart des cas d'équipements d'alimentation électrique (caténaire aérienne ou troisième rail conducteur au sol) et d'un matériel roulant aux performances et au gabarit correspondant à l'usage qui en sera fait.

Cependant, un système ferroviaire ne se limitera pas aux trains et à l'infrastructure. Il devra aussi être pourvu d'un système d'exploitation et de gestion de la circulation faisant généralement intervenir des opérateurs, dont le rôle sera actif dans le cas du train ou du tramway, mais se limitera à de la surveillance active dans le cas du métro automatique.

Après avoir assuré la performance technique, il faudra garantir la performance économique en invitant les voyageurs à emprunter un moyen de transport qui devra avoir acquis une solide réputation de sécurité.

Nous aurons donc besoin de faire appel à des technologies fixes ou embarquées qui travailleront « dans l'ombre » en assistant les opérateurs, en suppléant le cas échéant leurs erreurs ou défaillances, et en étant capables de s'opposer techniquement aux situations potentiellement dangereuses. Électriques ou électroniques (parfois mécaniques sur certaines lignes), elles pourront agir automatiquement ou être commandées à distance. Elles pourront aussi contrôler un état, détecter une situation, indiquer le résultat d'une action ou vérifier que les conditions de sécurité pour le passage d'un train sont satisfaites.

Ces systèmes occuperont donc une place fondamentale, mais leur niveau sera variable selon le mode de transport. En effet, pour être compétitifs sur ce plan, nous n'aurons pas nécessairement besoin d'investir dans des dispositifs dernier cri partout en France. Par exemple, sur certaines lignes conventionnelles du réseau SNCF, les métros ou les tramways, on utilisera toujours des systèmes qui ont fait leurs preuves depuis les débuts des chemins de fer comme les leviers de commande des aiguillages à pied d'œuvre et des serrures mécaniques.

Après la performance technique et la sécurité – non négociable –, la compétitivité de notre réseau dépendra enfin de sa productivité et de son efficacité au quotidien.

Il faudra parfois faire appel à des automatismes de conduite, comme sur le métro parisien ou la ligne A du RER, afin d'y assurer un trafic soutenu. Il faudra aussi garantir

une certaine qualité de production, car un réseau perturbé – voire paralysé à 18 heures par un incident technique – ne sera pas une solution commercialement acceptable, ni pour la clientèle ni pour le transporteur. Il faudra donc imaginer des systèmes permettant, par exemple, de pouvoir circuler facilement en sens inverse du sens normal, ou de débloquer un aiguillage stratégique dont les lames d’aiguille refusent de tourner.

Vitesse, débit... mais aussi productivité et qualité : il doit être possible de délester le trafic en cas de panne ou d’incident, car des perturbations chroniques sur un réseau nuisent à son image de marque et impactent les recettes. Or, comme sur la route, la circulation ferroviaire pourra être sujette à des perturbations. Pour qu’un train bloqué par une panne ne pénalise pas les autres trains, un certain nombre de systèmes adaptés à la nature même du problème seront donc prévus.

La technologie ferroviaire sera donc plurielle et fonctionnelle, adaptée aux enjeux (sécurité, performance technique, qualité d’exploitation) et spécialement conçue pour remplir une fonction précise.

3 Une technologie adaptée à chaque fonction et à chaque système de transport

Nous allons découvrir dans cet ouvrage de multiples équipements fixes (une technologie au sol) ou mobiles (une technologie embarquée) de base et de sécurité permettant aux convois de se mouvoir et de circuler sans danger, de propulsion (pour garantir une certaine performance), de fluidification du trafic (comme les installations permettant aux trains de rouler à contresens en toute sécurité), de contrôle-commande (permettant de commander à distance les installations et de vérifier leur état), de secours (permettant de manœuvrer une aiguille « bloquée ») ou de suivi de la circulation (permettant de superviser le trafic et, ainsi, de renseigner utilement la clientèle).

Tableau 1

Équipements	Train	Métro	Tramway	RER
Base et sécurité	Infrastructure ferroviaire classique et signalisation manuelle, automatique ou embarquée	Infrastructure et signalisation automatique du type métro	Rails à gorge et signalisation du type Tram	Infrastructure ferroviaire classique et signalisation automatique
Propulsion	Thermique ou électrique par caténaire 1,5 kV CC ou 25 kV monophasée ou hybride	Électrique par 3 ^e rail latéral	Électrique par caténaire allégée, batteries ou distribution par caniveau	Électrique par caténaire 1,5 kV CC