

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

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2021
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-081523-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o 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

Équipements	Train	Méto	Tramway	RER
Fluidification du trafic	Régulation manuelle et systèmes de signalisation permettant de circuler à contresens	Conduite automatique et système maintenant des intervalles réguliers en station	Gestion des priorités aux carrefours routiers	Système automatique d'aide à la conduite
Contrôle-Commande	Gares, postes d'aiguillage et CCR	PCC Méto	Aiguilles à commandes manuelles (sauf cas particulier)	CCU RER Denfert et Vincennes
Secours	Communications de VUT, annulateurs de verrous ou de transit	Annulateurs et aiguilles pour organiser des terminus provisoires	Liaisons de secours pour retourner les tramways	Annulateurs de transit
Suivi de la circulation	Suivi du trafic depuis un COGC	PCC Méto	PC Tram	CCU RER Denfert et Vincennes

4 Des systèmes d'exploitation performants combinant de multiples technologies

Un train, un méto, un tramway ou un RER sont des « objets » complexes qui utilisent, pour fonctionner sans aléas et circuler en toute sécurité sur leurs voies de guidage, de nombreux systèmes associant harmonieusement technologies mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électrotechniques, électroniques et informatiques. Demain, ce sera vraisemblablement l'IA (Intelligence artificielle) qui fera son entrée dans les centres de contrôle-commande pour « penser » à la place des opérateurs et permettra de dépanner les trains en ligne ou de leur faire éviter une portion de voie où un incident ou un dysfonctionnement d'aiguillage auront été détectés.

Les véhicules, les infrastructures complexes, sans oublier les différents systèmes de contrôle-commande fixes et embarqués à bord des convois sont donc le fruit du travail d'ingénieurs et de techniciens venus de différents horizons s'appuyant sur leurs vastes connaissances en sciences physiques et techniques, notamment celles en rapport avec l'exploitation ferroviaire, ainsi que celles en rapport avec l'étude des facteurs humains (comme l'analyse des risques, la sûreté de fonctionnement ou l'ergonomie).

En ferroviaire, toutes les compétences sont donc les bienvenues... et on peut même affirmer que celles de l'ingénieur et du technicien dans ce milieu particulier seront de plus en plus nécessaires pour garantir une production de qualité, maintenir les installations existantes parfois obsolètes et dépourvues de pièces de rechange... mais aussi concevoir et mettre au point les systèmes de sécurité et les modes de propulsion de demain.

Tableau 2

Équipements	Train	Méto	Tramway	RER
De roulement	Essieux pour les wagons et bogies pour les voitures à voyageurs. Bogies moteurs à 2 (BB) ou 3 essieux (CC) pour les locomotives	Bogies moteurs pour les motrices et de roulement pour les remorques	Bogies moteurs d'extrémité et un central de roulement	Bogies moteurs pour les motrices ou de roulement pour les remorques
Chaîne de traction	Pantographe, transformateur et moteurs	Frotteurs et moteurs	Pantographe ou alimentation par le sol, transformateur et moteurs	Pantographe, transformateur et moteurs
Freinage	Continu à air comprimé et électrique haute puissance pour certains trains rapides	Pneumatique et électrique, ou totalement électrique	Hydraulique ou électrique	Freins à disques
Attelage	Exclusivement manuel pour les matériels roulants classiques et automatique pour les automotrices	Rames de méto indéformables	Tramways indéformables	Automatique entre deux rames indéformables
Les systèmes de sécurité embarqués	Conduite manuelle avec contrôle de présence du conducteur, répétition des signaux en cabine, signaux détonants de franchissements intempestifs et contrôle de vitesse	Conduite automatique ou manuelle supervisée par des systèmes de contrôle-commande embarqués	Conduite à vue associée à des systèmes de surveillance active (présence du conducteur, franchissement signal et vitesse du tramway)	Conduite manuelle contrôlée par des automatismes de sécurité comparables à ceux de la SNCF

5 Quelle sera la méthodologie de l'ouvrage ?

Après la découverte des principes d'exploitation décrits dans le *Manuel d'exploitation ferroviaire*, cet ouvrage sera donc un guide pratique idéal pour aller plus loin dans l'étude des nombreux systèmes d'exploitation ferroviaire que nous venons de présenter. Nombreux... car ils doivent s'adapter aux besoins particuliers de chaque moyen de transport.

La gestion des intersections avec les routes ne sera, par exemple, pas traitée de la même façon sur une ligne de tramway que sur une ligne de chemin de fer où des trains circulent à 160 km/h. Sur une ligne de tram, la priorité sera parfois donnée aux piétons et aux véhicules routiers au niveau de certains carrefours urbains, tandis que sur une ligne de chemin de fer, l'arrêt sera systématiquement obligatoire pour les véhicules routiers.

Alors, comment procéderons-nous ? De la façon la plus simple et la plus pédagogique possible : par la découverte de l'usage de chaque technologie à partir des risques, des contraintes d'exploitation et donc des besoins particuliers de chaque mode de transport.

Il n'est bien évidemment pas question de décrire ici le fonctionnement détaillé de tous ces systèmes, mais une bibliographie indicative vous indiquera en fin d'ouvrage les titres les plus adaptés pour aller plus loin dans leur découverte.

Connaître, comprendre, analyser la performance de chaque système en place pour être en mesure de faire grandir ses capacités d'expertise sera le second objectif de cet ouvrage. Ce talent, qui peut s'acquérir et se travailler, vous aidera à produire des études d'amélioration et peut-être même de parfaire ou d'inventer une nouvelle technologie !

Des connaissances particulières en sciences physiques et techniques sont-elles nécessaires ? Rassurez-vous... très peu. Il sera cependant utile de revoir certaines notions de base en électricité (la tension, l'intensité et la puissance, la pile et ses deux pôles + et -, l'ouverture ou la fermeture d'un circuit électrique à l'aide d'un interrupteur, la génération d'un champ magnétique à l'aide d'une bobine électrique) pour comprendre comment est alimentée une locomotive, comment sa présence peut être détectée sur une portion de voie ferrée et comment on peut interdire ou autoriser l'accès à cette partie de voie en allumant ou en éteignant des ampoules rouges et vertes par l'intermédiaire d'un relais.

Tout l'édifice technique du ferroviaire repose sur la compréhension de ces quelques principes de base. Il sera utile également de maîtriser les différences entre le courant continu (type de courant délivré par une batterie de voiture et qui peut donc se « stocker ») et le courant alternatif (type de courant délivré par une prise électrique domestique et qui est consommé en même temps qu'il est produit). Il faudra aussi revoir la notion de perte de tension en ligne, les conséquences pratiques d'une surintensité dans un fil électrique et l'usage que l'on peut faire de différents accessoires comme l'interrupteur, le disjoncteur, le fusible... sans oublier de prendre conscience des dangers et risques de l'électricité à haute tension.

Enfin, il sera également utile de revoir quelques notions de mécanique telles la force centrifuge ou la façon de calculer la distance nécessaire pour arrêter un corps en mouvement en fonction de sa vitesse et de sa masse... mais aussi en fonction de l'infrastructure sur laquelle il circule (rail ou route) et de l'état de celle-ci (sèche, mouillée, polluée...).

Vous êtes prêt ? Entrons maintenant dans le vif du sujet !

Introduction

1 Les cinq grands sous-ensembles en matière de technologie ferroviaire

Nous allons, dans cette petite introduction, aborder les différentes technologies mises en œuvre, et notamment l'utilité pratique de chaque équipement ou sous-système technique. Quel que soit le mode de transport – trains conventionnels, TGV, RER, métros, tramways et trams-trains – la notion de technologie du transport ferroviaire regroupe cinq grands sous-ensembles :

- l'infrastructure de guidage des convois ferroviaires ;
- le matériel roulant ;
- les équipements fixes ou mobiles nécessaires à la propulsion des convois ;
- les systèmes de sécurité pour garantir la sécurité du trafic ;
- les systèmes d'exploitation et de commande du réseau.

L'infrastructure de guidage des convois ferroviaires

En règle générale, l'infrastructure de guidage des convois est constituée de cinq sous-ensembles bien distincts :

- la plateforme (sur laquelle on pose la voie ferrée et ses équipements), associée aux ouvrages en terre (constitués de remblais et de déblais) et aux ouvrages associés (les fossés, les collecteurs drainants et les bassins) ;
- les ouvrages d'art (ponts-routes, ponts-rails, tunnels, tranchées couvertes, souterrains, viaducs, murs de soutènement, murs de revêtement et passerelles) ;
- la structure d'assise de la voie ferrée reposant sur le sol, constituée d'une couche de forme, d'une sous-couche (couche sous ballast et couche de fondation) et d'une couche (de ballast) ;
- la voie courante (sur laquelle circulent les trains) ou à gorge (sur laquelle circulent les tramways) ainsi que les appareils de voie (les branchements deux voies, trois voies ou simples pour permettre à un convoi de changer de direction, les traversées obliques pour permettre à deux voies de se croiser et les traversées jonction simples ou doubles permettant les deux possibilités à la fois) ;
- les appareils de dilatation (destinés à absorber l'allongement des rails en période chaude).

Cette infrastructure sera de dimensions variables, notamment en fonction du nombre de voies à poser (souvent deux voies, parfois une seule sur certaines lignes du réseau SNCF). Dans certains cas, comme l'entrée des gares ou d'un atelier de maintenance, on prévoira de larges plateformes destinées à recevoir de multiples voies et appareils de voie.

Le matériel roulant

Les « mobiles » circulant sur cette infrastructure seront d'une technologie adaptée à leur usage :

- les locomotives (machines de route et engins de manœuvre) ;
- les voitures à voyageurs (places assises et places couchées) ;
- les automoteurs (TGV, RER, TER) ;
- les tramways et trams-trains ;
- les métros ;
- les autorails (automoteurs thermiques et bimodes) ;
- les engins spécialisés (engins de maintenance, d'essai ou de mesures, trains de nettoyage ou de dégagement du réseau) ;
- les wagons de marchandises (wagons pour le transport en vrac ou spécialisés).

Les équipements fixes ou mobiles nécessaires à la propulsion des convois

Il existe trois grands modes de propulsion ferroviaire :

- la traction thermique autonome ;
- la traction électrique (l'énergie électrique sera alors généralement distribuée par une caténaire complète pour le train ou simplifiée dans le cas du tramway, par troisième rail latéral pour les métros ou par caniveau sur certains réseaux de tramway) ;
- la traction hybride (ou bimode pour faciliter les dessertes sans rupture de charge, les rames disposant d'un pantographe pour les parcours effectués sous caténaire aérienne).

Les systèmes de sécurité pour garantir la sécurité du trafic

La sécurité de l'exploitation du transport ferroviaire et urbain est la priorité des priorités pour tout gestionnaire d'infrastructure (GI) et tout transporteur. Le souci de la sécurité des voyageurs et des personnels est une valeur commune à tous les moyens de transport et au ferroviaire en particulier. Rien ne servirait de vendre un ticket de métro ou un billet de train si, pour finir, le client avait peur d'emprunter la ligne 14 automatique de la RATP ou de monter dans un TGV. La sécurité est donc l'ADN du ferroviaire... C'est aussi une culture de base qui ne s'est pas construite en un jour et qui s'est essentiellement forgée sur l'expérience.

Le terme « sécurité » est donc un terme généraliste très régulièrement utilisé en ferroviaire. Comment pourrions-nous le définir ?

La sécurité consiste à prendre toutes dispositions utiles pour éviter que se produise un accident ferroviaire (éboulement d'un tunnel, déraillement, heurt avec un véhicule à un carrefour ou un passage à niveau automatique, nez à nez de deux trains sur une voie unique, prise en écharpe de deux trains dans une gare...).

Qu'entend-on par toutes dispositions utiles ? Il s'agit d'imaginer des « moyens » de détecter, de s'opposer, de rattraper et, si possible, de prévenir une situation dangereuse

pour la clientèle, les personnels et les tiers habitant ou circulant aux abords d'une voie ferrée.

Tableau I.1

	Quoi ?	Les moyens à mettre en œuvre
Détecter	Un éboulement	Un système de détection automatique
S'opposer	Aux erreurs humaines	Des systèmes de sécurité faisant barrage
Rattraper	Un oubli	Une boucle de rattrapage
Prévenir	Les erreurs	Des procédures

En ferroviaire, la technologie ne peut résoudre seule l'ensemble des problèmes de sécurité et l'association hommes-installations-procédures constitue la réponse la plus pertinente :

- **Les installations techniques** seront conçues pour garantir la sécurité, s'opposer techniquement aux situations potentiellement dangereuses ou aux erreurs des opérateurs. 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).
- **Les hommes et les femmes** seront ceux qui exploitent le réseau (en appliquant une réglementation de circulation adaptée au type de ligne) ou qui utilisent les installations pour autoriser le départ d'un train, son passage sans arrêt ou son arrivée en gare. Ils seront formés pour gérer certaines situations (dysfonctionnement technique nécessitant une action manuelle, incident de circulation nécessitant la prise de mesures de sécurité) et appliqueront des procédures adaptées aux circonstances.
- **Les procédures** – définies à l'avance pour éviter les initiatives fâcheuses – seront conçues pour leur dire précisément ce qu'ils devront faire dans chaque type de situation (dysfonctionnement technique d'un passage à niveau, par exemple).

Dans les chapitres qui vont suivre, nous parlerons donc essentiellement de technologie et non de gestion des hommes ou d'écriture de procédures (qui sont les thèmes centraux d'autres ouvrages tels que le *Manuel d'exploitation ferroviaire*).

Les systèmes d'exploitation et de commande du réseau

Lorsque l'ensemble des conditions de sécurité sont satisfaites, il faut ensuite chercher à tirer le meilleur profit des investissements. Nous parlerons donc ici du très vaste domaine de la performance d'exploitation, dépendant globalement de l'automatisation plus ou moins poussée et des systèmes d'exploitation choisis pour améliorer les performances.

Et c'est là que les choix techniques, notamment la signalisation et le mode contrôle-commande, auront le plus d'impact sur les performances du réseau et donc la qualité du service offert à la clientèle.

2 Bref historique des technologies du transport ferroviaire et urbain

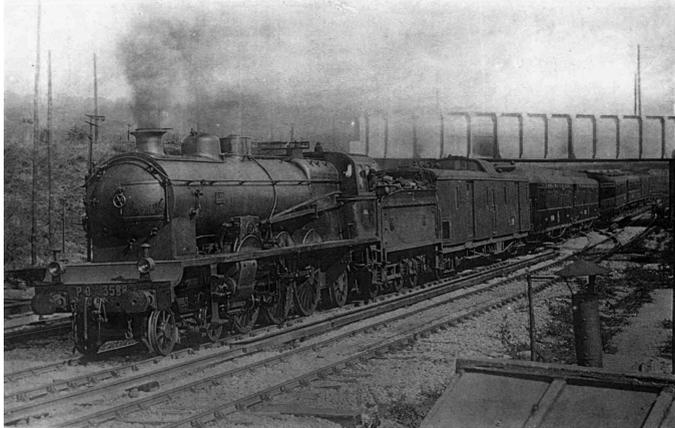


Figure I.1 – Passage d'un train de grandes lignes à Choisy-le-Roi vers 1905 (collection Jean-Pierre Rigouard).

Le « chemin de fer » – expression apparue officiellement le 26 février 1823 dans l'ordonnance royale autorisant la construction de la toute première ligne française – est un pur produit de l'ère industrielle (1750-1950) qui, s'appuyant d'abord sur une technologie rudimentaire en matière de traction à vapeur, a pu ensuite se perfectionner durablement grâce à la découverte des phénomènes électriques comme l'électromagnétisme et ses nombreuses applications pratiques (télégraphe, téléphonie et, bien sûr, moteurs de traction à courant continu). Les tramways, quant à eux, ont connu une évolution analogue à celle du chemin de fer (traction hippomobile, à vapeur, puis électrique), tandis que le « métropolitain » – apparu beaucoup plus tard en France – a été directement conçu en mode électrique par troisième rail latéral (1900).

Trois axes majeurs de développement du ferroviaire : sécuriser, introduire l'électricité et automatiser la production

En 1814, l'ingénieur en chef des mines Pierre Michel Moisson-Desroches adresse à Napoléon un mémoire « Sur la possibilité d'abrégé les distances en sillonnant l'empire de sept grandes voies ferrées ». Que faudrait-il de nouveau par rapport à la voie d'eau et à la route pour permettre à un « train » de sillonner l'empire sans qu'il soit nécessaire de recourir à des chevaux ? Une voie de chemin de fer composée de rails fixés sur des traverses en bois, des « voitures » posées sur des roues de chemin de fer ainsi qu'une locomotive à vapeur. Les ingénieurs de l'école Centrale et des Mines, grands spécialistes de ces techniques, s'intéressèrent de près à cette nouvelle façon de faire circuler un véhicule « à vapeur » et confectionnèrent des mécanismes destinés à transmettre à



Figure I.2 – Croisement de deux trains de banlieue vers 1905
(collection Jean-Pierre Rigouard).

la roue « à boudin », propre au chemin de fer, toute l'énergie nécessaire pour pouvoir se passer des chevaux et « tirer » les premiers trains.

La suite, nous le savons aujourd'hui, sera un franc succès car ce chemin de fer n'arrêtera – momentanément – sa croissance exponentielle qu'en 1914, durement freiné par la guerre.

Quels ont été les secrets d'un tel succès technologique, mais également populaire ?

Si les bases de ce moyen de transport seront toutes posées pendant l'ère industrielle, on note trois axes majeurs de progrès ayant permis son développement.

La « sécurisation » de ce nouveau moyen de transport



Figure I.3 – Un des postes d'aiguillage de la gare PLM de Valence vers 1905
(collection Jean-Pierre Rigouard).

Le nombre de convois, leur tonnage et leur vitesse ne faisant que s'accroître à partir de 1860, il faudra sécuriser le trafic. Des problèmes spécifiques, comme le risque de rattrapage des convois en ligne et la multiplication des aiguilles dans les gares – grave source d'erreur pour les aiguilleurs –, se poseront très vite. Des règles de circulation seront alors écrites et des systèmes d'enclenchement mécanique rudimentaires (mais très fiables) conçus pour s'opposer aux « erreurs d'aiguillage ».

L'électricité industrielle pour favoriser le développement du rail



Figure 1.4 – La première ligne du métro parisien au tout début de son exploitation (collection Jean-Pierre Rigouard).

Si le tramway et, surtout, le métro dès 1900 ont pu connaître un grand succès grâce à l'électricité industrielle et son application phare, le « moteur électrique », le « grand » chemin de fer – devenu transport « ferroviaire » vers 1910 – ne s'intéressa véritablement à ces techniques qu'après la pénurie de charbon subie par les réseaux entre 1914 et 1918. Il prendra alors un nouvel essor grâce à l'arrivée progressive d'automotrices, puis de puissantes locomotives électriques (telle la fameuse 2D2 de la Compagnie du Paris-Orléans qui circula jusqu'en 1980). Bien entendu, l'électricité favorisa également la sécurité du rail puisque la signalisation automatique lumineuse – s'appuyant sur des détecteurs électriques (circuits de voie et pédales de passage) – sera testée pendant cette période.

L'automatisation pour améliorer la productivité

Une autre clé du développement sera l'automatisation : celle de l'espace des convois, celle de la commande des aiguilles et des signaux, celle du freinage, etc. qui permettra de limiter les gestes des hommes, d'améliorer la productivité des gares et de développer le trafic. Cependant, plus de trafic signifiera parfois plus d'« accidents de chemin de fer »...