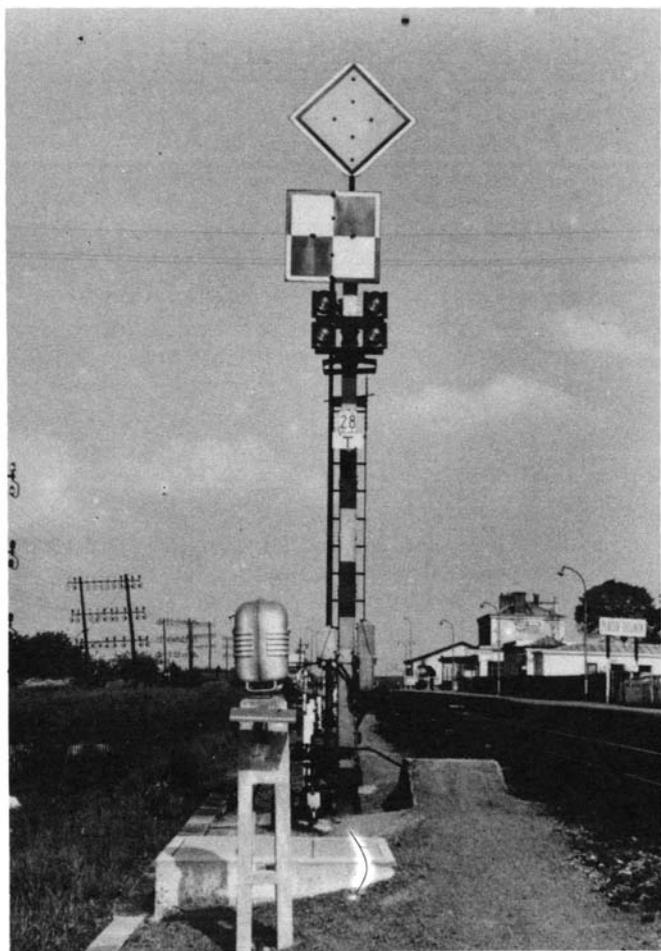




*Gilles
Mardon.*

Université Paris IX Dauphine.

L'enjeu de la sécurité dans la modernisation ferroviaire.



PLAN

1. LES CONTRAINTES DE L'EXPLOITATION FERROVIAIRE.

- Le cadre de l'exploitation : la règle du réseau et l'évolution des trafics.
- Quel critère de performance : sécurité ou vitesse ?
- La signalisation, enjeu de la sécurité ferroviaire.

2. SÉCURITÉ ET UNIFICATION TECHNIQUE :

- Les débuts de l'automatisation ferroviaire.
- La répétition des signaux sur les machines.
- La signalisation en cabine.
- Le code « Verlant ».
- Du canton protégé à l'itinéraire protégé.
- Premier bilan d'une philosophie.

3. DISPONIBILITÉ, ET MAINTIEN DE L'OPÉRATEUR HUMAIN.

- La régulation du trafic.
- Second bilan d'une philosophie : technologie et sécurité.

4. LE TGV, UN MODE D'EXPLOITATION MODERNE.

- La conception de la signalisation sur la ligne nouvelle Paris-Sud-Est.
- Le développement du Cab-Signal du TGV.
- La conduite du TGV.
- Strate 1 : le classicisme du TGV.
- L'exploitation technique de la ligne nouvelle.
- Strate 2 : le « Système-TGV », une nouvelle norme unitaire ?

▲ *Doc. SNCF.*

◀ *Passage d'un TGV. SNCF.*

I. LES CONTRAINTES DE L'EXPLOITATION FERROVIAIRE.

LE CADRE DE L'EXPLOITATION : LA RÈGLE DU RÉSEAU ET L'ÉVOLUTION DES TRAFICS.

La loi du 11 juin 1842, moment crucial dans l'histoire du chemin de fer en France, réserve à l'Etat le tracé des lignes ainsi que la police de l'exploitation, en contrepartie des charges financières qui lui sont transférées. La réglementation de police vise les aspects de sécurité et d'ordre public en général. Pour le tracé des lignes, un « système » ferroviaire cohérent sera mis en place, pour lequel on ne parlera pas encore de réseau : un ensemble de lignes indépendantes, rayonnant depuis Paris, pour l'essentiel. L'extension des chemins de fer, dans le cadre d'une politique excluant les liaisons concurrentes, prendra la forme d'un maillage de plus en plus serré de la trame initiale, suscitant une « extension abusive de la solution ferroviaire, universalisée avec l'idée de vicinalité des chemins de fer¹ ». La notion de « réseau », tardive, représentera une rationalisation *a posteriori* de la situation ainsi créée et portera le réseau à son apogée en 1913 avec 39 500 km de lignes.

Après la Seconde Guerre mondiale, le monopole du rail dans les transports terrestres prend fin, concurrencé par la route, tandis que la figure du réseau se multiplie : routier électrique, télécommunications, hydrocarbures... Dans le domaine du transport proprement dit, outre la répartition intermodale des trafics au cours des années 1930-1950 on va constater une « hiérarchisation » au sein de chaque mode, en fonction à la fois des débits et de la nature des trafics. Ainsi, au sein de l'actuel réseau ferroviaire, les itinéraires et les terminaux des trafics voyageurs et marchandises ne sont pas superposables, et même si certaines configurations techniques, (contraintes géographiques, électrification des lignes, équipement en block automatique...) finissent par imposer des recouvrements partiels des itinéraires sur des axes « privilégiés », ces recouvrements vont conduire le réseau à une hiérarchisation plus hybride encore, en sections de lignes se différenciant par la modernité de leur équipement et la densité de leur trafic.

Finalement, la notion de réseau reste ambiguë, et l'unification du système ferroviaire « en réseau » apparaît comme une surdétermination, contraignant les axes de trafic à des cisaillements d'itinéraires autant qu'à un régime de correspondances. L'évolution du réseau est le produit d'une dialectique entre la saturation des sections et leur modernisation, réglée par la répartition du trafic sur des itinéraires et des horaires spécialisés à l'aide d'une politique tarifaire adéquate. Ce réglage, de plus en plus difficile avec la concentration du trafic et la concurrence des autres modes de transport, va s'accompagner d'une évolution technique de l'exploitation ferroviaire fortement structurée par les questions de sécurité.

QUEL CRITÈRE DE PERFORMANCE : SÉCURITÉ OU VITESSE ?

L'évolution des vitesses ferroviaires est également marquée par la dualité réseau/trafic. De l'après-guerre à nos jours, la progression des vitesses sur rail va surtout répondre, selon les modalités diverses, à la concurrence routière dans le trafic marchandise. Dans le secteur voyageur, elle va prendre la forme d'une « démocratisation », en étendant un service réservé au départ à la 1^{re} classe (le service « TEE » dès 1957) au trafic 2^e classe, depuis l'électrification Paris-Lyon en 1952, et surtout depuis 1970 avec les turbotrans (160 km/h), et 1980 avec les « Corail 200 » (200 km/h sur Paris-Bordeaux) puis les « TGV » (260 km/h sur Paris-Lyon). A la modulation du trafic en fonction de la rapidité des trains, elle-même associée à la hiérarchie établie des classes de confort, va se substituer une modulation essentiellement horaire, associée à une politique tarifaire « incitative » : la 3^e classe disparaît en 1956 et la tarification « tricolore » apparaît en 1979. La vitesse ne se généralise que progressivement et tardivement, accompagnant le « tournant commercial » de la SNCF vers 1970², et vise surtout la clientèle voyageurs.

Sur le plan technique, des essais de vitesse sont réalisés dès 1889 au PLM. En 1900, on tire des charges de 300 tonnes à 150 km/h avec de nouveaux modèles de machines : performances éphémères, car des indicateurs de vitesse vont être réglementairement imposés sur les machines, pour garantir la sécurité. Dès lors, la puissance des machines va l'emporter sur la vitesse, et malgré l'évidence des performances de la vapeur, les plafonds de vitesse en exploitation resteront stables (120 km/h) jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, la politique d'exploitation étant basée sur des trains lourds et peu fréquents. L'électrification rejettera la vapeur sur les lignes moyennes ou secondaires, et sera liée au relèvement progressif de la vitesse de 120 à 140 km/h sur les grands axes à partir des années 50, mais les machines mises en service ne seront pas les plus rapides du moment. Le matériel de traction électrique va évoluer ensuite très vite sur le plan technique et en performances. La turbine à gaz fait irruption en 1970 (précédant les machines électriques à thyristors), mais si elle motorise les turbotrans et le premier prototype de TGV, c'est encore la traction électrique qui sera retenue pour les TGV Paris-Lyon, mais cette fois sur une infrastructure d'un type nouveau et avec un mode d'exploitation très centralisé, permettant d'atteindre une vitesse de 260 km/h en service commercial.

Finalement, l'exploitation du TGV révèle que c'est moins le mode de traction que l'infrastructure qui limite l'amélioration des vitesses commerciales. L'offre de vitesse, lorsqu'elle est significative, remporte toujours un vif succès commercial. Cependant la SNCF, loin d'ériger la grande vitesse en norme d'exploitation du réseau, est amenée à la constituer en produit « haut de gamme » faisant l'objet d'un trafic spécifique et nouveau, comme dans le cas du TGV.

En effet, la structure du réseau et les coûts d'adaptation de l'infrastructure ne permettent pas pour autant une extension indéfinie de la gamme des vitesses fer-

roviaires. Entre un plancher concurrentiel et un plafond structurel, la vitesse n'est qu'exceptionnellement valorisée, et seulement dans des limites de coûts et de sécurité du trafic. Elle représente davantage un paramètre que l'on optimise tout au long d'un itinéraire pour faire « passer » le trafic, qu'une prestation généralisable. Ainsi, des vitesses maximales de 150 km/h et des rayons en courbe supérieurs à 1000 m constituent les références actuelles des lignes ouvertes à tous les trafics, dans la mesure où elles n'impliquent aucune sujétion particulière pour le matériel roulant ou la signalisation. Ces références constituent ainsi la caractéristique unitaire actuelle du réseau. A l'opposé, l'exploitation du TGV représente un élément « critique », à l'égard de l'unité du réseau : seule, l'exploitation « en site propre » permet la valorisation et la protection des circulations à très grande vitesse. En outre, la très grande vitesse détermine une logique d'exploitation spécifique : trafic spécialisé, peu d'arrêts, tracé de la ligne hors des agglomérations. Cette logique n'est applicable que sur des corridors à très fort trafic, qu'elle vient ainsi « dédoubler », « shunter » selon une métaphore courante à la SNCF, et à condition de renouveler la conception de la sécurité des circulations (signalisation, forte puissance massique, rames automotrices...)

Pourtant, nous allons voir que cette « criticité » n'atteint pas l'homogénéité technique des matériels TGV (rames et voies) avec les matériels classiques, eux-mêmes différenciés. La compatibilité exigée avec le réseau classique n'empêche pas, certes, une évolution remarquable — notamment en matière d'exploitation et de sécurité — mais le TGV reste une « synthèse de solutions éprouvées ».

LA SIGNALISATION, ENJEU DE LA SÉCURITÉ FERROVIAIRE.

L'histoire de la signalisation ferroviaire recoupe, dans une période initiale, celles des aléas rencontrés dans l'exploitation et des catastrophes spectaculaires qui effraient le public et trouvent un large écho dans la presse. Les commissions d'enquête successives révéleront les carences de l'exploitation technique qui sont à l'origine de la multiplication de graves accidents, et procéderont à des recommandations qui passeront, tôt ou tard, dans une réglementation impérative.

De fait, l'exploitation ferroviaire régit un monde de mouvements autonomes, dont la rigueur synchronique exigée est en permanence menacée par l'événement perturbateur, représentant une norme invisible, mais implicite dans les dispositifs et les règlements de sécurité constitutifs du règlement d'exploitation.

A l'origine, la sécurité ferroviaire repose intégralement sur l'homme — la vue, l'ouïe, la vigilance, l'endurance — et le règlement d'exploitation qui distribue les tâches et les responsabilités. Les compagnies de chemins de fer garantiront très vite, également, un statut professionnel spécifique à leurs personnels, établissant une relation contractuelle par laquelle elles engagent leur responsabilité sur la sécurité matérielle des agents, tandis qu'eux-mêmes acceptent la responsabilité réglemen-

taire de la sécurité de l'exploitation. Parallèlement, les objectifs de production amèneront les directions à établir un contrôle sur le comportement opérationnel des agents, par un système optimisé de primes et des sanctions incitant les agents — particulièrement les mécaniciens — à enfreindre périodiquement les règles de sécurité. De tels abus provoqueront l'intervention de plus en plus contraignante de l'administration en matière de sécurité, qui rejoindra ses préoccupations d'« uniformisation » des chemins de fer.

La concession d'exploitation ferroviaire des Compagnies étant assortie d'obligations de service public, notamment la régularité et la sécurité de service, l'exploitation technique portera rapidement l'accent sur une signalisation impérative, au sens où la signalisation est ce qui sert à transmettre des ordres aux agents d'exécution, qui lui doivent « obéissance passive et immédiate ». La signalisation est ainsi assortie d'un règlement qui explicite les ordres, et transfère la responsabilité de leur exécution sur l'agent. La signalisation apparaît comme l'enjeu véritable de la sécurité dans l'exploitation technique des chemins de fer.

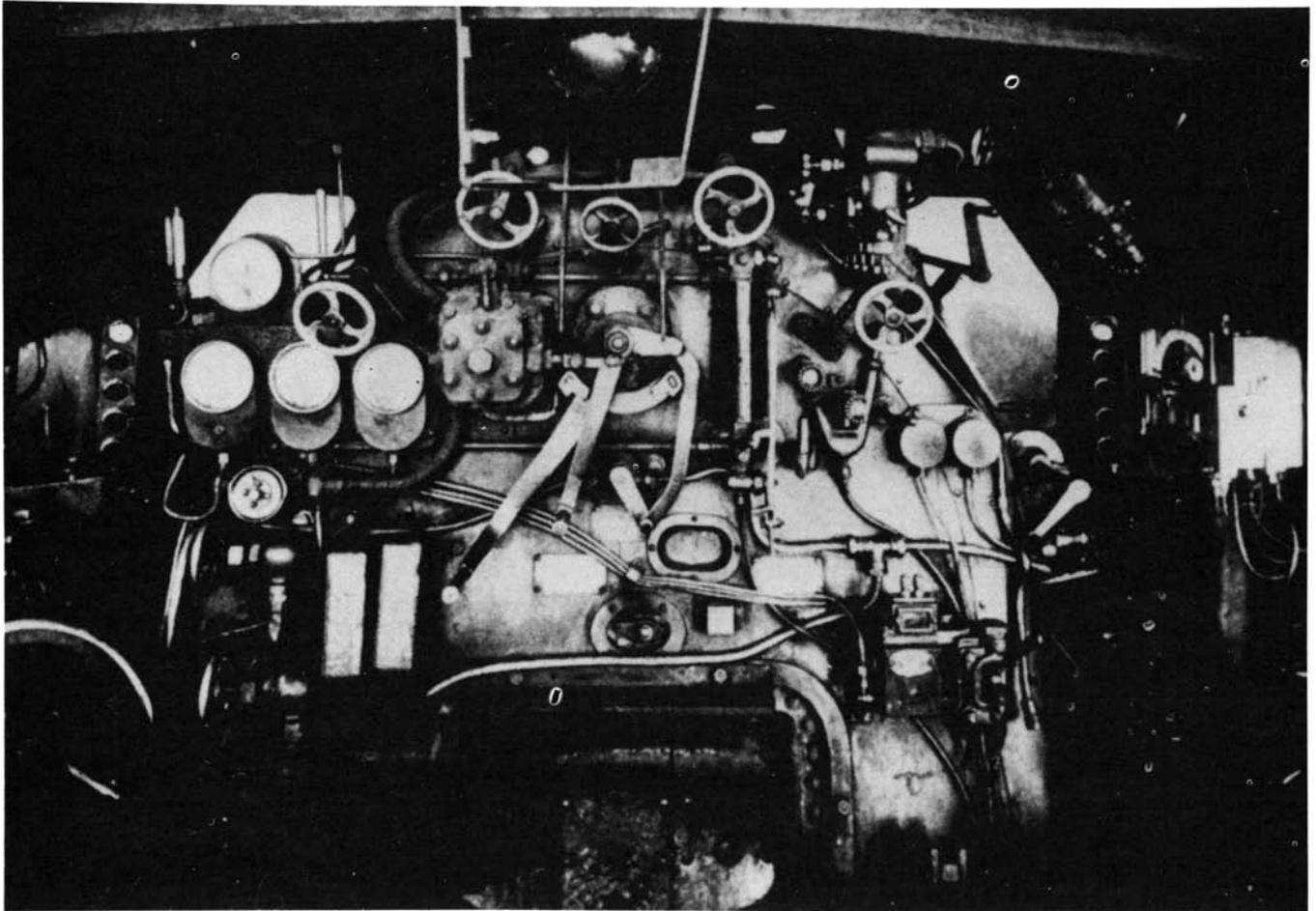
II. SÉCURITÉ ET UNIFICATION TECHNIQUE

Pour Louis Armand, si le succès d'hier du chemin de fer provient d'un avantage de traction, son succès de demain provient, lui, d'un avantage d'exploitation, du fait de se prêter à l'automatisation, mais, souligne-t-il, il s'agit bien là d'« une caractéristique initialement mineure » et qui nous interpelle : si la valorisation de la fiabilité de l'exploitation ferroviaire est relativement récente, qu'en était-il au départ, et comment s'est-elle imposée philosophiquement ?

LES DÉBUTS DE L'AUTOMATISATION FERROVIAIRE.

Le premier système de protection des trains en marche adopté est celui de la « couverture par le temps » : des gardes postés le long de la voie présentent des signaux d'arrêt, après chaque passage d'un train et pendant un temps donné, à tout train survenant. Le système suppose que les trains respectent leur horaire et qu'il n'y ait pas d'incidents... A l'époque encore, le freinage, manuel, est exécuté par des serre-freins, postés dans chaque wagon et obéissant aux coups de sifflet du mécanicien. Le « conducteur d'arrière », sorte de serre-frein principal, se verra bientôt confier la couverture en pleine voie de son train en détresse...

Une commission d'enquête ouverte en 1879 sur les accidents de chemin de fer aboutira à certaines mesures : frein continu, block-system, cloches électriques, enclenchements... La signalisation aux bifurcations, prise officiellement en compte pour la première fois dans une circulaire de 1880, se verra imposer l'utilisation d'appareils d'enclenchement, pour assurer que les deux directions d'une bifurcation ne sont pas simultanément ouvertes. On verra notamment la création du système Saxey et Farmer, établissant une solidarité complète entre la manœuvre des aiguilles et celle des signaux.



L'abri d'une locomotive à vapeur. Les dispositifs de « cab-signal ».

Toutes ces mesures, d'abord recommandées, puis rendues obligatoires par le ministère des Travaux publics, mettent longtemps à s'imposer et rencontrent une vive résistance de la part des compagnies.

LA RÉPÉTITION DES SIGNAUX SUR LES MACHINES.

À la suite de trois catastrophes rapprochées (9 mai 1898, tunnel de la Pommeraye, 18 février 1899, Valenton et 5 août 1899, Juvisy), la question de la répétition des signaux avancés (signaux d'avertissement, les plus importants pour la sécurité) est officiellement posée dans une circulaire du 18 septembre 1899 signée du ministre des Travaux publics :

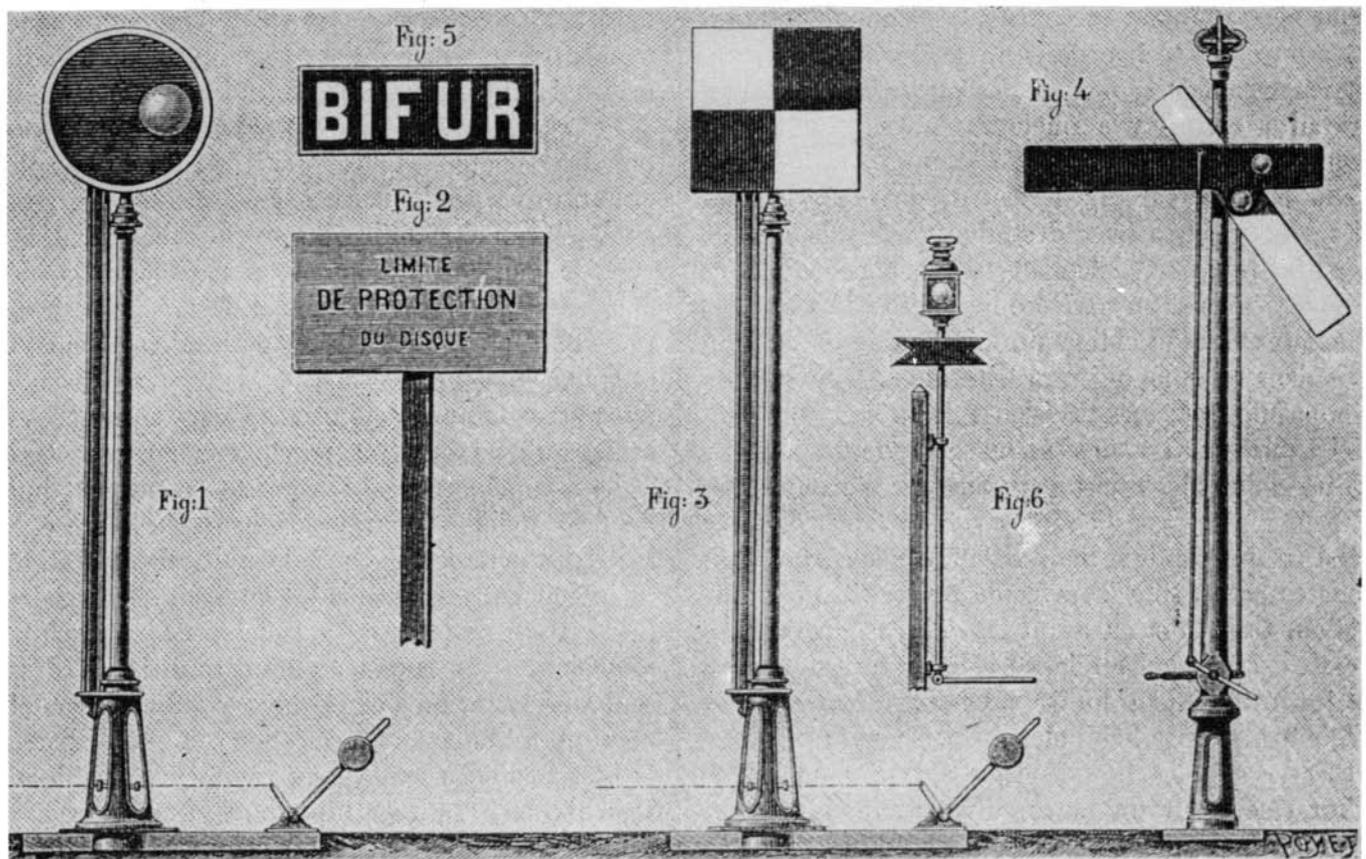
« de nombreux inventeurs ont imaginé des dispositifs destinés à répéter automatiquement sur la machine d'un train en marche les signaux à l'arrêt que le mécanicien viendrait à franchir sans les apercevoir : quelques-uns de ces appareils provoquent en même temps le ralentissement puis l'arrêt du train par le serrage automatique du frein continu. L'objection de principe faite à ces divers systèmes, que l'on accuse d'émuquer l'attention du mécanicien et de devenir, en cas de non-fonctionnement, une cause de danger, disparaît si l'on peut les compléter par un appareil de contrôle mettant en évidence la faute commise par le mécanicien.

« Or le problème ainsi posé paraît résolu, ou bien près de l'être, d'une façon satisfaisante.

« J'ai donc pensé que le moment était venu d'entrer résolument dans la voie d'expérimentation d'appareils qui doivent apporter à l'exploitation du chemin de fer un notable surcroît de sécurité³. »

Pendant quatorze ans, les circulaires successives se heurtent à l'inertie des compagnies, qui expérimentent des systèmes différents sans parvenir à un accord. À chaque catastrophe la question rebondit, tandis que l'effroi du public oblige l'Administration à réagir plus vigoureusement. Lorsque les circulaires de 1913 pressent les compagnies de passer à des réalisations définitives, l'intérêt des systèmes de répétition, qui paraissent alors au point, n'est toujours pas confirmé ni dans la pratique, ni dans l'esprit de nombreux techniciens. Les positions des partisans mêmes sont ambiguës : la répétition acoustique des signaux ne doit pas être qu'un « adjuvant de la sécurité », non substituable à l'observation directe qui reste la meilleure garantie de la sécurité, et ne doit être utilisée que si elle est indispensable.

Pourtant au-delà du doute quant à l'utilité et la fiabilité du système, la répétition automatique des signaux en cabine semble surtout menacer une conception de la sécurité basée sur la responsabilité de l'agent à l'égard du règlement, et le système n'équipera les machines qu'à condition de renforcer cette responsabilité (contrôle de vigilance et contrôle *a posteriori* par l'enregistrement graphique). Après la guerre, de nouvelles catastrophes et de nouvelles circulaires mèneront, en 1925, à l'unification des réseaux autour du système du « crocodile



Signaux des chemins de fer adoptés pour toutes les lignes françaises. Extrait de *La Nature*. 1886.

Nord», déjà expérimenté en 1872 par le réseau Nord pour la répétition acoustique et ponctuelle au passage de certains signaux.

LA SIGNALISATION EN CABINE.

La signalisation en cabine se justifie en reprenant une part des critiques adressées au système du «crocodile», dont le fonctionnement discontinu n'assure pas la sécurité dans tous les cas.

Aussi, en 1934, le réseau de l'Etat expérimente-t-il le «cab-signal» de Westinghouse, déjà largement utilisé aux Etats-Unis. Son intérêt réside dans la transmission continue des indicateurs des signaux, réalisée par l'intermédiaire du circuit de voie des lignes équipées en BAL⁴, dont on va «hacher» le courant électrique à certaines fréquences spécifiques des indications à transmettre. Les indications, sélectionnées par l'équipement BAL, sont transmises par induction à un équipement embarqué. On obtient ainsi une répétition visuelle permanente en cabine. Mais le grand intérêt du système, surtout pour les trains rapides ou les lignes à fort trafic, est de transmettre sans délai au train suiveur les indications de voie libre ou d'arrêt, et non celles d'avertissement. L'exploitation gagne en sécurité, mais aussi en souplesse.

Si le cab-signal est évidemment doté d'un système d'enregistrement graphique, d'autres automatismes s'y associent encore : freinage automatique, freinage d'urgence relié aux dispositifs de répétition acoustique et de

contrôle de vigilance, toujours présents.

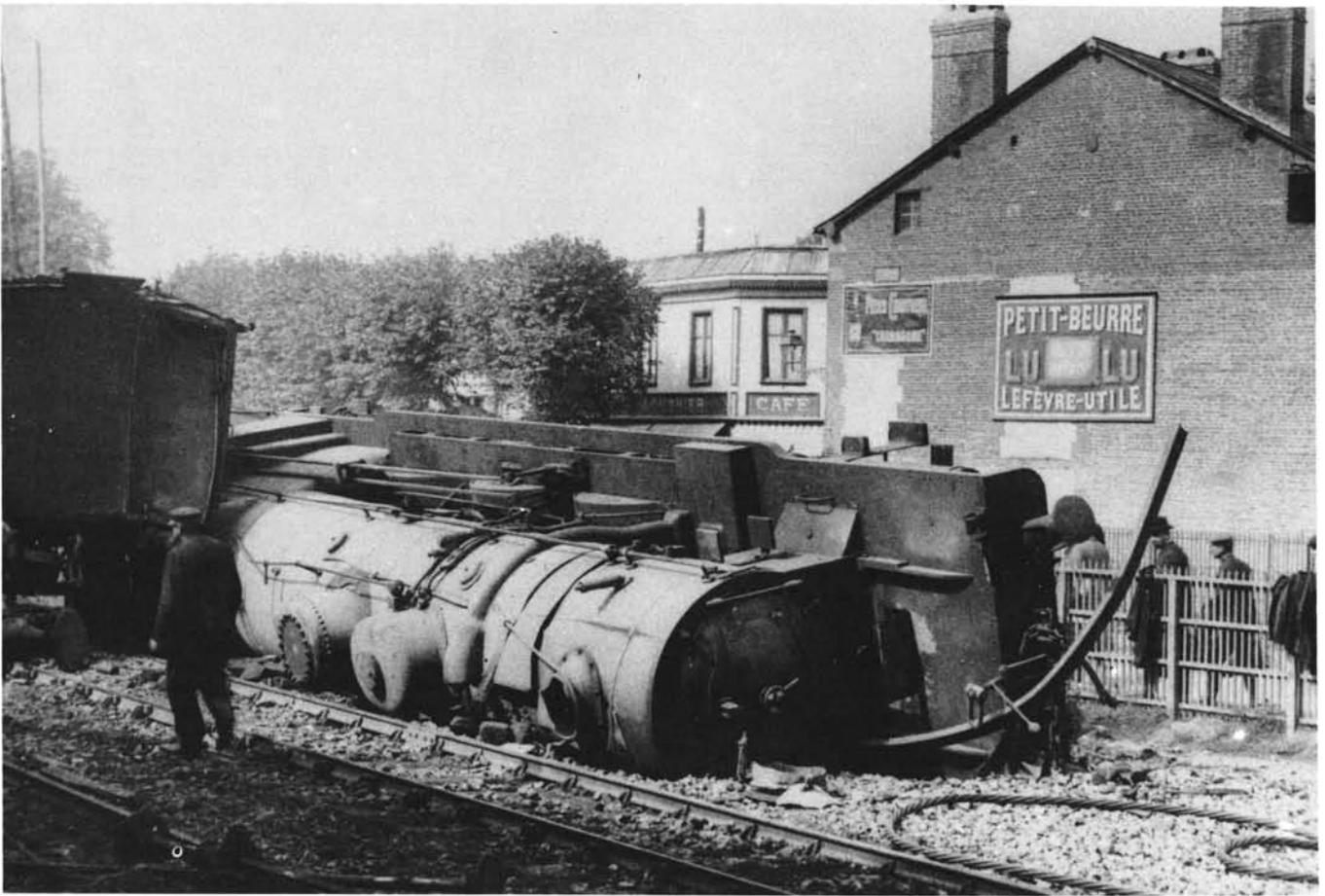
Le problème de la visibilité des signaux, aussi bien en section courbe, que par temps de brouillard ou qu'aux grandes vitesses semble alors résolu, grâce à la première et véritable électrification de la voie, car aussi bien le cab-signal que le block automatique reposent sur la technique du «circuit de voie», strictement dédié à la transmission continue des ordres de sécurité.

Le cab-signal, pourtant, ne connaîtra pas de suite immédiate, en raison des coûts d'équipement qu'il représente. Il resurgira en 1967 sur le Capitole, circulant à 200 km/h sur 80 km du parcours Paris-Toulouse. Mais la prolongation de la section à grande vitesse restant trop coûteuse, la SNCF se repliera sur un système de préannonce. C'est seulement en 1981, avec le TGV, que le système entrera en vigueur sur une section entièrement nouvelle de 390 km.

LE CODE «VERLANT».

A l'époque des premiers essais du cab-signal (1934) se met en place la refonte de la signalisation conformément au «code Verlant», toujours actuel, et remplaçant en 1930 un «code des signaux» datant de 1885. Sa mise en œuvre complète devait se réaliser par étapes en cinq ou six ans. Rappelons que la SNCF sera créée le 1^{er} janvier 1938.

Un résultat remarquable des travaux de la Commission Verlant est la mise au point d'une signali-



Accident de chemin de fer. 1910. Photo R. Viollet.

Accident de chemin de fer. Photo BSPP.



sation lumineuse unifiée. Mais les principes les plus caractéristiques apparaissent dans la réglementation des vitesses. La Commission s'efforce, en effet, de simplifier les indications données aux conducteurs en les rendant plus impératives, par exemple :

- en regroupant les signaux pour ne fournir utilement que l'indication la plus restrictive à l'égard de la vitesse, ce qui réduit le nombre d'observations à effectuer;

- par l'installation fixe des indications permanentes : les « tableaux indicateurs de vitesse »,

- en réduisant et en hiérarchisant la gamme des vitesses (indications multiples de 10...).

L'unification de la signalisation prend la forme d'une standardisation des ordres de sécurité transmis aux mécaniciens : freiner. Déjà, la circulaire de 1880, parmi bien d'autres, présentant les systèmes d'enclenchement comme une mesure de « sécurité publique », y voyait aussi une « opportunité d'uniformiser le système des signaux ». L'intérêt de la standardisation sous la forme de taux de vitesse apparaît nettement pour le « cab-signal », dans la mesure où elle simplifie le code de transmission voie-machine qui peut ainsi prendre la forme d'impulsions électriques.

DU CANTON PROTÉGÉ A L'ITINÉRAIRE PROTÉGÉ.

C'est le principe du cantonnement ou « block-system », qui va se substituer à la « couverture par le temps » pour l'espacement des circulations : les cantons de block sont des sections de voie n'admettant qu'un train à la fois. En pratique, pour tenir compte des distances de freinage et des délais de « déblocage » des signaux, on maintient un ou plusieurs cantons libres entre les cantons occupés. Plusieurs types de block manuel (block téléphonique, block enclenché) cohabiteront avec le block automatique sur le réseau SNCF, en fonction de l'importance des lignes qu'ils équipent.

Le block automatique à signaux lumineux (BAL), basé sur la présence d'un « circuit de voie », supprime toute intervention manuelle, et réalise l'espacement des trains avec une sécurité accrue. Mais l'automatisation du block lui confère une particularité notable : elle inverse la position de repos des signaux, qui devient ainsi « voie libre », puisque les trains se protègent eux-mêmes lorsqu'ils occupent un canton. La voie est ainsi normalement ouverte. Cette particularité va permettre l'établissement d'itinéraires, dans les gares d'abord, à l'aide de postes d'aiguillages qui évolueront ensuite vers une centralisation croissante de la commande des itinéraires.

Avec les leviers mécaniques, la centralisation restait limitée par la force physique de l'aiguilleur, et l'on devait coordonner téléphoniquement les postes dispersés. L'évolution technologique amènera finalement des postes à leviers d'itinéraires, intégrant les enclenchements, les verrouillages et les contrôles de la signalisation et des aiguillages dans un concept de sécurité fortement dépendant de l'automatisation des diverses fonctions.

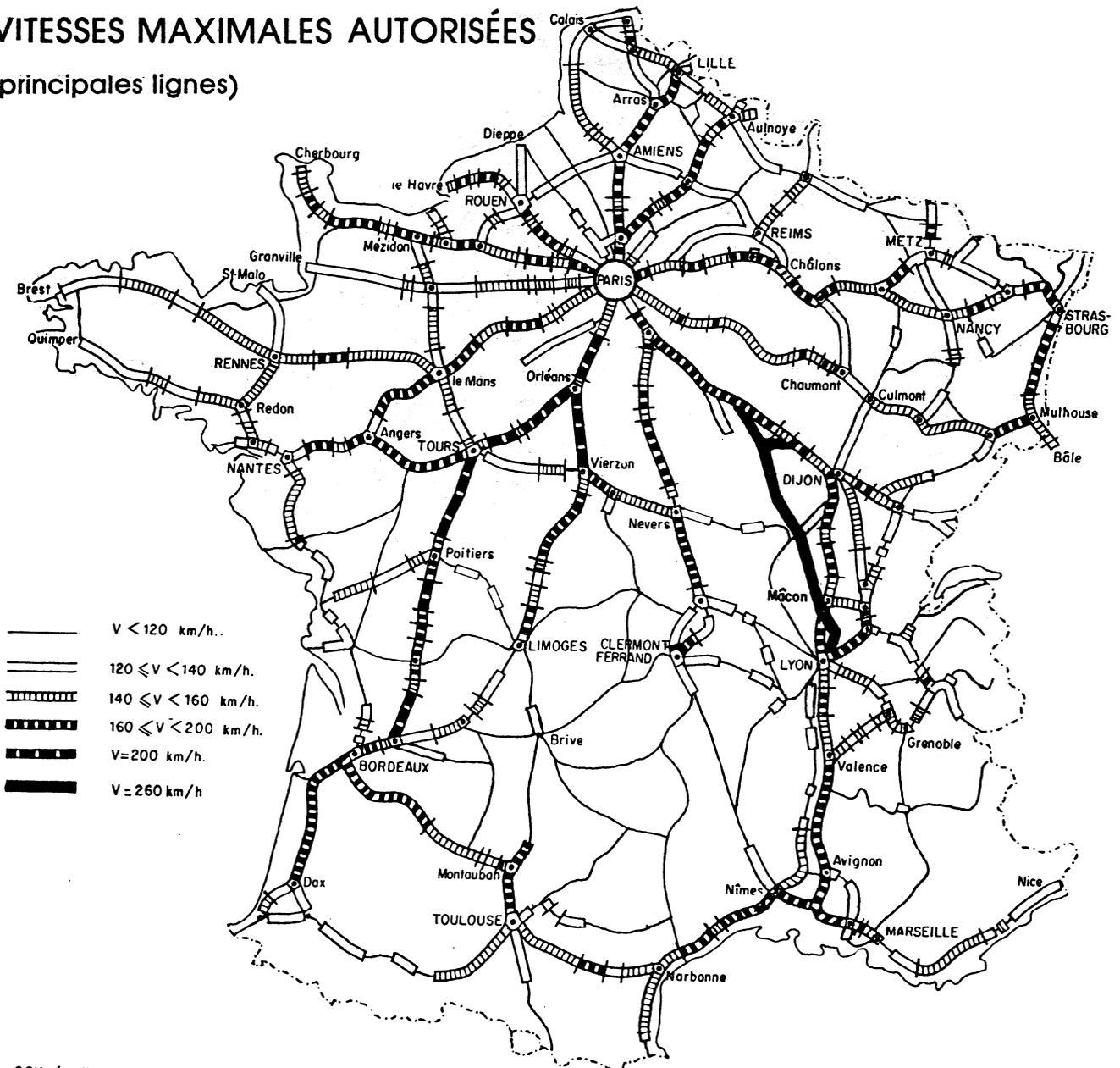
PREMIER BILAN D'UNE PHILOSOPHIE.

On mesure le chemin parcouru depuis l'époque à laquelle des ingénieurs s'opposaient farouchement aux automatismes au nom de la sécurité ! Cette méfiance, justifiée par les pannes et incidents toujours possibles, imposa comme condition de réception des automatismes la vérification d'un principe de « sécurité intrinsèque⁵ ». Au départ épiphénomène de la résistance aux divers automatismes qui menaçaient de devenir obligatoires au nom de la « sécurité publique », cette attitude contribua finalement à instaurer une nouvelle « philosophie de la sécurité ».

De fait, le principe de la « sécurité intrinsèque » apparaît rétrospectivement comme l'automatisme de sécurité par excellence, et dans la mesure où l'unité de l'exploitation technique se réalise dans une norme de sécurité, elle se réalise ainsi dans l'automatisation et la centralisation technique. Les fonctions de sécurité assumées par le personnel dispersé au long des voies vont tendre à disparaître ou à se déplacer : les cantonniers et les gardes-signaux seront remplacés par les gardes des passages à niveau et par les aiguilleurs des gares pour la manœuvre des signaux, le « conducteur d'arrière » sera remplacé par le block-system et les serre-freins par le frein continu, les fonctions d'aiguilleur se concentreront dans des postes de plus en plus centralisés, et on verra le régulateur du trafic devenir aussi « aiguilleur ».

Au nom de la sécurité, on assiste à une progressive résorption de certaines fonctions d'abord confiées aux agents, puis déplacées par l'automatisation. La logique d'un tel processus doit nécessairement se poursuivre tant qu'une « faute » d'exécution ou un incident sont susceptibles d'engager la sécurité. Mais le « chaînon » humain, dans la synchronicité exigée de l'ensemble des opérations techniques, conserve sa position tant que les délais de coordination le permettent. L'automatisation de la sécurité ne prend une forme centralisatrice extrême que lorsque la concentration du trafic impose une contraction des temps telle que toute indisponibilité de l'opérateur est susceptible d'engager les dispositifs de sécurité. La centralisation des fonctions techniques pose elle-même des problèmes de sécurité, par exemple pour l'enregistrement des itinéraires dans les postes d'aiguillage. Ainsi la conception des postes relève des schémas de sécurité intrinsèque, jusque dans le choix des composants : la technique « tout relais » ne faisant appel qu'à des circuits électriques et des relais de sécurité (électromécaniques à sécurité intrinsèque) pour assurer les fonctions de sécurité. La commande des itinéraires peut à son tour être automatisée, selon n'importe quel schéma, dans la mesure où la sécurité des itinéraires est déjà acquise. Finalement, l'automatisation de la sécurité porte en elle sa propre logique, qui débouche à la fois sur un schéma organisationnel et un schéma technologique. C'est ce double schéma qui constitue la véritable unité dans l'exploitation technique des chemins de fer.

VITESSES MAXIMALES AUTORISÉES (principales lignes)



OSX / Juillet 1982

III. DISPONIBILITÉ, ET MAINTIEN DE L'OPÉRATEUR HUMAIN

LA RÉGULATION DU TRAFIC.

Tandis que l'autorité réglementaire reste dévolue au chef de gare, la fonction de coordination des circulations, devenue primordiale, relève de l'autorité du « régulateur », devenue indépendante.

Autrefois simple conseiller (il existe depuis 1917), son rôle est à la fois d'organiser et de contrôler le trafic, ainsi que de décider des mesures aptes à réduire l'impact des perturbations sur le trafic normal : de ce fait, il centralise toute l'information relative au trafic, en provenance des gares et des postes d'aiguillage.

La réduction de l'unité de temps réel opération-

nelle (le délai disponible pour l'exécution d'actions efficaces en temps réel), liée à l'accroissement du trafic, tend à multiplier et amplifier les perturbations. Or, l'exécution des décisions du régulateur relevant de la fonction « aiguillage », et la transmission de ses ordres aux opérateurs décentralisés prenant plus de temps que leur exécution, la solution est de rapprocher les fonctions aiguillage et régulation en automatisant leur relation. C'est ce que réalise la SNCF dans les PAR (Poste d'Aiguillage et de Régulation) et les CCT (Commande Centralisée de Trafic).

Cependant, l'automatisation, par la solidarité des fonctions décision-transmission-exécution qu'elle instaure, tend à refermer la boucle « cybernétique » de l'exploitation sur la fonction du régulateur lui-même : ce que la SNCF évite de faire. En premier lieu parce que si la technologie efficace — l'informatique — existe, la modélisation du trafic est encore imparfaite et les appli-

cations ne sont pas compétitives avec le régulateur. En second lieu, et surtout, parce qu'en cas d'incident, le régulateur doit être disponible, c'est-à-dire pleinement opérationnel. Or la disponibilité du régulateur reste liée à sa compétence et à sa motivation professionnelle, c'est-à-dire : l'expérience quotidienne et l'intelligence permanente des situations. Aussi, au lieu de parachever l'automatisation, s'oriente-t-on vers une assistance automatique de la fonction du régulateur, qui améliore ses performances et sa fiabilité en régime normal, et les maintient en régime perturbé.

SECOND BILAN D'UNE PHILOSOPHIE : TECHNOLOGIE ET SÉCURITÉ.

Alors que l'informatique peut étendre l'automatisation sous une forme ou une autre afin d'améliorer les performances et la disponibilité de l'exploitation, elle ne peut pas pour autant conduire à une refonte informatique de tout le processus automatisé, puisqu'elle ne travaille pas selon le principe de la « sécurité intrinsèque » : « pour le moment, seule la fonction "commande de l'itinéraire" est confiée à l'informatique, la fonction "manœuvre des aiguilles et signaux" avec toutes les conditions de sécurité auxquelles elle est soumise continuant à être assurée par des techniques traditionnelles (relais)* ». On constate ainsi une progressive stratification technologique des registres fonctionnels de l'automatisation :

- **un registre sécuritaire** : qui englobe tous les automatismes à sécurité intrinsèque (composants ou systèmes) et les technologies afférentes. À ce registre correspond la formation d'une strate organisationnelle, centralisant les fonctions techniques de la sécurité, et dont la formation est à l'origine d'une figure essentielle de l'exploitation moderne : le régulateur. Les technologies concernées relèvent de l'électromécanique et de l'électronique analogique. La formation de cette strate est finalement très liée à l'électrification au sens large.

- **un registre non sécuritaire** : qui s'élabore « au-delà » des conceptions strictement sécuritaires, et dans lequel les automatismes ont pour fonction d'améliorer l'efficacité de l'exploitation, mais sans remettre en cause sa sécurité. Tout en restant conditionnées par la sécurité dans leurs champs d'application, les orientations technologiques sont moins sélectives : l'informatique, notamment trouve à s'y déployer. L'automatisation y est, pour le moment, relative, et non pas absolue comme dans le registre sécuritaire : l'opérateur humain est maintenu, valorisé par un environnement technique performant. Le développement cohérent de cette strate organisationnelle relèvera vraisemblablement des techniques numériques (programmation, traitement d'informations, télétransmission.)

IV. LE TGV : UN MODE D'EXPLOITATION MODERNE

LA CONCEPTION DE LA SIGNALISATION SUR LA LIGNE NOUVELLE PARIS-SUD-EST.

La ligne nouvelle étant réservée à la circulation du «TGV», et celui-ci étant équipé du «cab-signal», la signalisation latérale a pratiquement disparu de la voie mais la signalisation reste basée sur le circuit de voie, et commandée par l'intermédiaire de postes type PRS¹ : les informations de sécurité, continues, sont transmises par le circuit de voie et s'affichent en cabine sous la forme de taux de vitesse. Cette conception est, de fait, classique. Il s'y ajoute un système nouveau d'émission ponctuelle d'information (EPI) qui n'a pas le même caractère de sécurité.

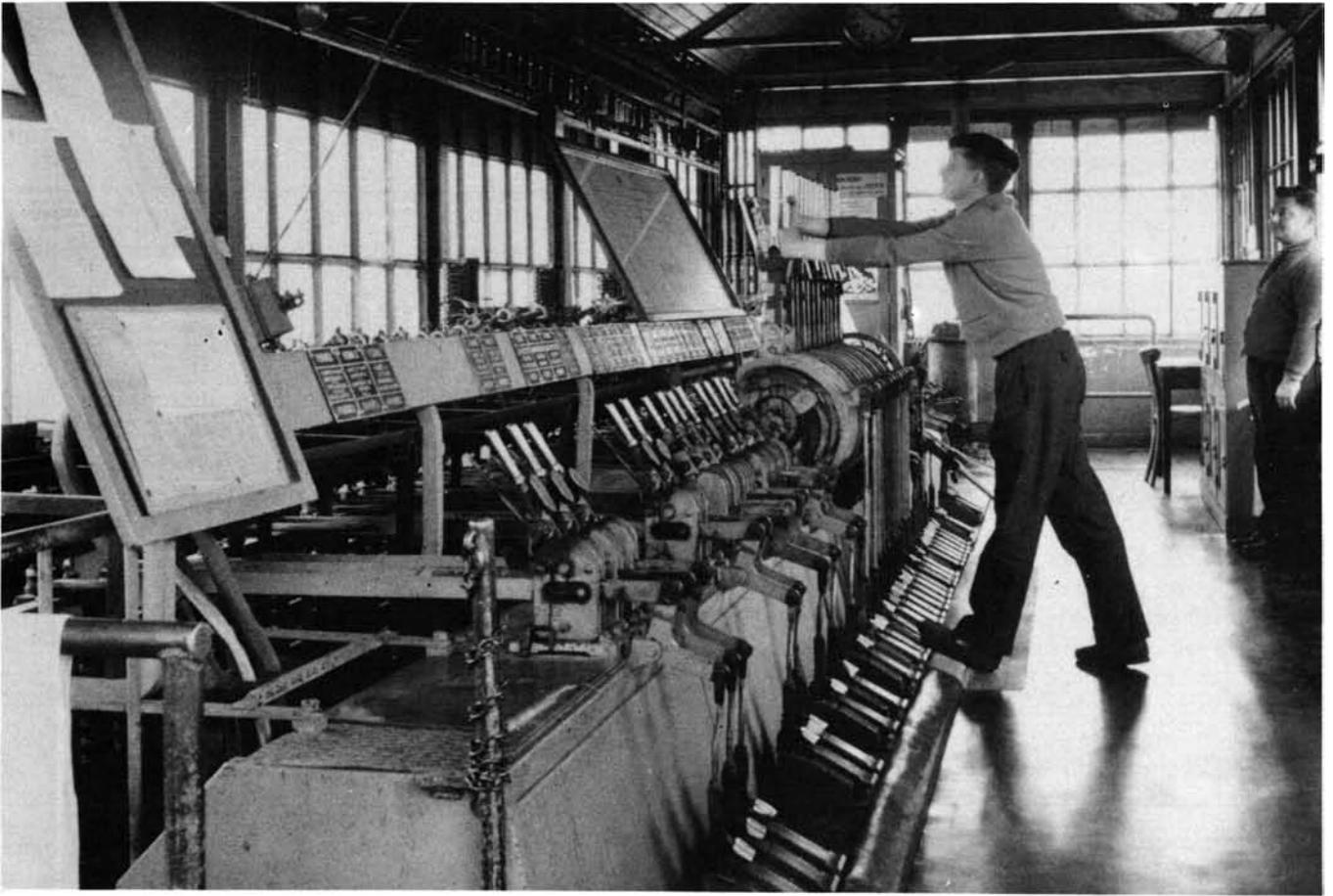
Tout au long de la voie sont déposés des centres d'appareillage dans lesquels se trouvent les récepteurs des circuits de voie. Pour alléger le système de transmission des nombreuses informations échangées en permanence entre ces appareillages, on fait appel à la technique dite « transmission multiplex de sécurité », qui utilise des filtres mécaniques à diapason.

En matière de sécurité, la ligne nouvelle recourt donc à des conceptions et à des technologies éprouvées : sécurité intrinsèque, électromécanique, électronique analogique. Par contre, l'appareillage de maintenance, indépendant, pour le contrôle de la transmission-voiemachine est bâti autour de microprocesseurs, soit une conception non sécuritaire.

LE DÉVELOPPEMENT DU CAB-SIGNAL DU TGV.

Si l'électronique de commande fait une entrée massive dans les systèmes du TGV, il s'agit encore essentiellement d'électronique analogique substituant des composants « statiques » à des composants électromécaniques moins fiables. Une rame comporte 800 cartes électroniques et le système du cab-signal en mobilise 50 par cabine, soit près de 5000 composants. Si les technologies à composants discrets se prêtent bien à la vérification exhaustive de la sécurité intrinsèque des systèmes, cette méthode atteint là une limite quantitative. Aussi, l'étude de sécurité du cab-signal a-t-elle pris une dimension particulière. Elle n'a cependant porté que sur les chaînes d'informations continues, dites « de sécurité », transmises par le circuit de voie.

L'étude de sécurité a comporté « un examen exhaustif des cas de panne du système : toute panne simple devait être, soit détectée par l'équipement se mettant alors en défaut —(et les chaînes d'informations continues avaient été doublées dans cette éventualité) — soit conduire, conformément aux usages en la matière, à une indication plus restrictive que celle placée dans la voie ». L'étude de laboratoire a été doublée d'une modélisation mathématique des combinaisons de pannes, afin de déterminer les chaînes d'états anormaux, et dont le résultat a « confirmé la validité des études menées par le



Poste d'aiguillage à leviers. SNCF.

Poste d'aiguillage et de régulation (PAR). SNCF.



laboratoire de la Direction de l'Équipement⁹».

La sécurité du système étant acquise en propre, on a procédé ensuite à une étude de fiabilité étendue à l'ensemble du système, afin de quantifier sa disponibilité et sa sensibilité à la politique de maintenance.

Le parti pris de concevoir «un seul type d'équipement, mais parfaitement sûr», et doublé pour assurer la disponibilité, évite d'avoir à concevoir trois types différents d'équipements pour la même fonction, et devant valider les informations transmises selon une logique majoritaire. Mais de ce fait, on retrouve dans le TGV le schéma habituel d'une stratification technologique entre un registre sécuritaire conventionnel et les registres non sécuritaires qu'il conditionne.

LA CONDUITE DES TGV.

La séquence de freinage des trains à grande vitesse se déroule sur un plus grand nombre de cantons, avec pour conséquence d'allonger la séquence d'indications à présenter au mécanicien. En outre, lorsque la précision de marche des trains sur les lignes classiques est déjà de l'ordre de 10 secondes, le recours à la conduite manuelle atteint aussi une limite.

L'automatisation de la conduite, parfois indispensable, risque pourtant d'émousser la vigilance du mécanicien, et d'altérer ses aptitudes à reprendre une conduite manuelle en cas de défaillance des automatismes. Aussi la doctrine de la SNCF est-elle de laisser au mécanicien l'initiative et la responsabilité de la conduite, tout en asservissant à la signalisation un contrôle automatique de ses actions, pouvant, le cas échéant, déclencher un freinage d'urgence automatique, et garantissant la sécurité en même temps qu'il constitue une sanction. On s'oriente donc vers une assistance automatique à la conduite, telle que le cab-signal, qui améliore la perception de la signalisation, ou les classiques systèmes de vitesse imposée.

Le maintien d'un opérateur en plein exercice se justifie également par la possibilité de préserver une disponibilité partielle au matériel roulant dans des conditions de conduite dégradées : cette disponibilité partielle étant autorisée pour des paliers inférieurs de vitesse, à condition que la sécurité reste assurée. C'est ce qui permet aux «TGV» de circuler sur le réseau «classique», lorsque le cab-signal n'est plus en service : ce qui représente en moyenne 70 % de son temps de circulation !

STRATE 1 : LE CLASSICISME DU TGV.

La traditionnelle conception «stratifiée» d'un point de vue sécuritaire, et le maintien en exercice des opérateurs — schéma que l'on retrouve dans la conception de la ligne nouvelle et des rames du TGV — permet de reconduire les solutions «éprouvées» dans le matériel moderne, et de préserver sa compatibilité avec les systèmes classiques, avec un gain en disponibilité.

Le TGV relève ainsi du processus classique de modernisation, avec ses effets de progressivité et de hiérarchisation au sein du réseau. On peut rappeler que si cinquante-trois ans se sont écoulés entre la première ex-

périmentation du «crocodile» et sa normalisation sur le réseau, il a fallu encore quarante-sept ans entre la première expérimentation du cab-signal et son utilisation systématique par le TGV : le délai même est classique. Par ailleurs, le TGV ne circule «en site propre», sur la section nouvelle, que dans les conditions d'exploitation optimales pour lesquelles il est conçu (ce qui permet un espacement des rames inférieur à quatre minutes aux heures de pointe). Dans des conditions non optimales, tout matériel équipé du cab-signal — tel le matériel de maintenance qui est utilisé la nuit — peut emprunter la section nouvelle.

Force est de constater que le TGV, même fortement innovant, s'inscrit assez normalement dans la «longue durée» de l'évolution du système ferroviaire, et que sa conception n'apporte d'autre élément critique dans cette évolution que de la mener, peut-être, à son terme.

L'EXPLOITATION TECHNIQUE DE LA NOUVELLE LIGNE.

La section nouvelle, longue de 390 km, est tracée en pleine nature et ne comporte que deux arrêts en service normal. On a donc opté dans son mode d'exploitation pour la commande centralisée. En outre, bien que la section traverse trois régions ferroviaires, on a également retenu le principe d'un commandement unique, confié au Département Transport du Réseau Sud-Est qui coiffe les régions concernées. A l'exclusion de ses extrémités dont les installations relèvent de la ligne classique et de sa région d'appartenance, toute l'exploitation de la ligne nouvelle est centralisée dans un poste d'aiguillage et de régulation (PAR) situé à Paris, qui assure : la télécommande des installations de sécurité (aiguillage), la régulation de l'exploitation, la régulation de l'énergie de traction, ainsi que la permanence-transport.

Sans entrer dans une description trop sommaire du PAR, on peut mentionner quelques traits de son architecture. Les installations de sécurité (signalisation, aiguillage) sont réparties entre 18 PRS¹⁰, de conception classique et télécommandés par le PAR en service normal. Un système informatique réalise le suivi des trains et la commande automatique des itinéraires, et assiste le régulateur dans l'ensemble de ses fonctions. Le régulateur est ainsi «environné» par un système de télécontrôle de la circulation sur toute la ligne nouvelle dont le cycle total d'exploration n'excède pas 2,3 secondes. Le régulateur peut également communiquer par radio-sol-train avec les mécaniciens ou les agents sur la voie. Cette liaison radio permet toutes les transmissions : notamment l'alerte radio et l'alarme VACMA¹¹.

La permanence transport centralise toute la gestion des TGV : suivi de la maintenance, affectation des ressources du parc, mais aussi suivi en temps réel de l'adaptation de l'offre à la demande de transport, en liaison avec le système électronique de réservation des places, ce qui étend la zone d'action de la permanence à la totalité des itinéraires parcourus par le TGV jusque sur le réseau classique.

Cabine de TGV. Photo SNCF.



Appareil de réservation électronique rapide pour le TGV. Système Reseda. SNCF.



Aérotrain. Photo Bertin.



STRATE 2: LE SYSTÈME TGV, UNE NOUVELLE NORME UNITAIRE ?

La centralisation absolue de l'exploitation technique de la ligne nouvelle, et le prolongement de l'exploitation technique jusqu'aux aspects commerciaux par le biais de la réservation électronique des places, tout comme le rattachement direct du commandement de l'exploitation au réseau Sud-Est, confèrent au « système TGV » la valeur d'un modèle d'exploitation ferroviaire à part entière : le « système TGV » est un système ferroviaire unifié en lui-même. On peut dès lors s'interroger sur le contenu de la norme qui a présidé à l'unité du nouveau système.

On a vu que le système TGV aussi bien par sa conception que par son mode d'exploitation, relevait essentiellement de l'unité classique du système ferroviaire, réalisée sous l'égide d'une « philosophie de la sécurité », dont l'effet avait été de promouvoir des modalités d'automatisation à la fois centralisatrices et très sélectives dans leur registre technologique. Or, ce qui fait l'originalité relative du TGV, c'est le cab-signal, qui est non seulement une solution éprouvée, mais aussi un échec répété depuis 1934 pour sa mise en œuvre effective sur le réseau. C'est donc un succès pour le TGV, plutôt qu'une innovation. Finalement, ce que révèle le couple « cab-signal/très grande vitesse en site propre », c'est que la norme d'exploitation optimale du système TGV est incompatible avec la structure ferroviaire classique, même si le système TGV et le système classique s'articulent dans une conception technologique et fonctionnelle commune. Celle-ci a, d'ailleurs, atteint sa limite : le TGV est aussi une « synthèse-limite » des solutions éprouvées, et marque en quelque sorte la fin de la normalité classique dérivée d'une philosophie de la sécurité — qui, somme toute, était une assez bonne philosophie...

Mais, curieusement, en dépit de son homogénéité avec les conceptions ferroviaires conventionnelles, le TGV n'est pas une création endogène. Le TGV est né de la concurrence, au moins potentielle, de nouveaux systèmes de transport guidés — tel l'aérotrain — qui menaçait de priver le réseau ferroviaire de ses axes les plus rentables. Si l'existence du réseau ferroviaire constituait un atout technico-économique en faveur d'une solution ferroviaire, il n'en reste pas moins que la nouvelle forme d'exploitation du TGV est unitaire parce qu'extrinsèque à l'unité classique du réseau. On a vu au début que la vitesse n'était qu'une variable des conditions d'exploitation sur le réseau classique. Dans le système TGV, c'est l'inverse : la très grande vitesse a sa propre logique d'exploitation et devient le paramètre dominant.

Le « système TGV », déployé dans l'« hyperespace » concurrentiel du réseau classique (qu'on se réfère à la métaphore du « shunt » sur l'axe Paris-Sud-Est), articule un macrosystème ferroviaire classique, unifié dans une norme sécuritaire, à un macrosystème moderne encore embryonnaire, mais dont l'unification procède essentiellement d'une norme d'exploitation incompatible avec les structures classiques.

Tout en constituant un puissant facteur d'unification aux mains de l'administration, la philosophie de la

sécurité a permis de valoriser une caractéristique initialement mineure du rail : l'aptitude à l'automatisation. Et l'on constate, du reste, que le maintien en place de l'opérateur humain se réalise à la lisière du « registre sécuritaire » de l'automatisation, qui correspond à la presque totalité du registre technique de l'exploitation. La fonction de l'opérateur « maintenu » tend à se complexifier, non seulement du fait de la concentration des fonctions techniques que l'automatisation entraîne, mais encore du fait de la convergence sur son poste de deux domaines jusque-là distincts de l'exploitation : l'exploitation technique et l'exploitation commerciale. La fonction d'interface du Permanent-transport de la ligne nouvelle est éclairante sur ce point et témoigne du renforcement latent d'une nouvelle norme d'unification du système à un niveau de complexité supérieur : une norme d'exploitation. Finalement, le maintien de l'opérateur humain se réalise à l'interface de deux normalités hétérogènes : la sécurité et l'exploitation.

Si la norme sécuritaire donnait son impulsion à l'automatisation, elle trouvait dans l'électrification sa condition de possibilité. Actuellement, la norme d'exploitation donne une nouvelle impulsion à l'automatisation, et trouve sa condition de probabilité dans l'électronique programmée. Or, cette technologie est apte à renouveler les conceptions de la sécurité, en réalisant le passage de la « sécurité intrinsèque » à la « sécurité probabiliste », au moment même où la mise en œuvre de la sécurité intrinsèque atteint, du fait de l'évolution des conditions d'exploitation (vitesse et intensité du trafic), une limite technologique...

Pourtant, un tel changement de philosophie ne pouvait se produire soudainement, comme le montre l'exemple du système-TGV réalisé en une dizaine d'années. Il s'avère, en outre, qu'à l'avenir l'opérateur humain pourrait constituer non pas une « frontière humaine » *de facto*, mais davantage un « registre tampon » entre les registres technologiques hétérogènes quant à leurs doctrines, leurs savoir-faire et leurs constitutions actuelles et historiques de référence. Si l'opérateur humain a toutes les chances, dans une telle configuration, de représenter une instance de régulation des choix technologiques, alors faut-il, sous l'argumentaire de la disponibilité, plutôt lire la prévalence d'une conception de la sécurité avec toutes ses conséquences, plutôt qu'avec toutes ses raisons.

Au bout du compte, si le système-TGV représente l'ébauche d'un futur réseau TGV (à l'échelle européenne ou continentale), reléguant de ce point de vue le réseau national classique dans un statut de réseau « terminal », pour la pénétration des territoires reliés à très grande vitesse (notamment la pénétration urbaine), force est de constater que l'unité technique des deux types de réseau trouve encore un médium efficace dans les conceptions classiques de la sécurité. Le couple rail/roue, acier contre acier, reste aussi le dispositif électromécanique de base de la sécurité ferroviaire, et s'intègre à la strate sécuritaire (telle qu'on l'a délimitée) comme son noyau dur : le circuit de voie intègre le guidage des circulations à leur sécurité. Finalement, on peut lire l'actuelle conception de la sécurité intrinsèque comme l'intégration de la sécurité à une norme de guidage, tandis que les technologies numériques permettent déjà d'envisager leur

séparation, par la généralisation d'infrastructures de liaisons sol-train différentes de la signalisation actuelle dans ses différentes versions. En ce sens, le cab-signal est déjà permissif. Mais il resterait à résoudre les problèmes de disponibilité d'un système ferroviaire ainsi conçu, dans les différents contextes envisageables (défaillances, agressions contre les matériels...) d'exploitation dans les conditions dégradées. Finalement, le choix consiste à intégrer la sécurité, soit à une norme de guidage, soit à une norme technologique indépendante du guidage, et plus proche de l'exploitation commerciale.

Or, on a vu que la norme d'exploitation du système-TGV lui conférerait une autonomie technico-administrative qui « shunte » également les structures du réseau classique. On aboutit ainsi à une double polarisation : régionale sur le réseau classique, linéaire sur le système-TGV. L'avenir verrait-il cette double polarité redoubler dans le domaine de la sécurité ? La réponse est incertaine, et le TGV encore muet à cet égard.

Notes.

1. « Traverses », n° 13, p. 130, Y. Machefert-Tassin.
2. Le Capitole atteint 200 km/h en service normal dès 1967, procurant une augmentation de trafic de 40 %. En 1971 est créé un département Marketing à la SNCF.
3. VDR, n° 1728, 1980.
4. BAL : bloc automatique à signaux lumineux (voir plus loin).
5. Un dispositif est dit à « sécurité intrinsèque » lorsque, par sa conception même, il ne peut pas garantir la sécurité. Par exemple, le sectionnement d'un câble de commande d'un signal d'arrêt le fera nécessairement basculer dans la position « arrêt ». Toute défaillance d'un dispositif à sécurité intrinsèque provoque ainsi une indication plus restrictive à l'égard de la vitesse.
6. Cf. Audoin, journées « J2R », Table ronde n° 1, 1982.
7. Les PRS sont des postes « tout relais » (voir plus haut), dits « informatisés », sur la section TGV.
8. RGCF, p. 547.
9. RGCF, p. 548.
10. PRS : « Postes tout relais à transit souple » (postes d'aiguillage).
11. L'alerte radio permet en cas d'accident d'ordonner l'arrêt général de tous les trains dans une zone étendue. Le système VACMA (veille automatique par contrôle de maintien d'appui) provoque l'arrêt du train en cas de défaillance du conducteur.