

SCIENCE ET VIE

NUMÉRO
HORS-SÉRIE
200^e



CHEMINS DE FER 1952

L'OFFICE CENTRAL POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE

(O. D. E. T. R. E. L.)

13, Rue Hamelin - PARIS-XVI^e

groupe les Constructeurs suivants de matériel électrique de grande traction :

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES
ET MÉCANIQUES " ALS-THOM "

COMPAGNIE ÉLECTRO-MÉCANIQUE

COMPAGNIE DE FIVES-LILLE

FORGES & ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE JEUMONT

LE MATÉRIEL ÉLECTRIQUE SCHNEIDER - WESTINGHOUSE

SOCIÉTÉ OERLIKON



LA TRACTION ÉLECTRIQUE : ÉLÉMENT DE PROGRÈS TECHNIQUE ET SOCIAL,
D'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE NATIONALE ET DE CONFORT
POUR LES VOYAGEURS





LA COMPAGNIE DES

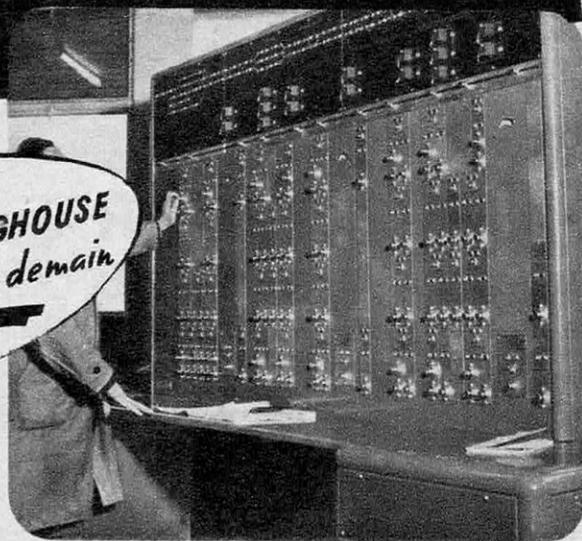
FREINS ET SIGNAUX

WESTINGHOUSE

a réalisé :

- La signalisation Paris-Lyon.
- La commande centralisée de circulation sur Blaisy-Dijon.
- L'équipement des centrales électriques de Rousson, Tonnerre (Vauplaine), Vielmoulin en redresseurs de courant.
- L'équipement des gares de triage en freins de voie.
- Le frein "grande vitesse" pour les trains rapides.
- Le chauffage des voitures par radiateurs à vapeur ou électriques.

la technique **WESTINGHOUSE**
est la technique de demain



DAHER & Cie

Agents maritimes • Transitaires
Manutentions de gros matériel

SIÈGE SOCIAL :
30, COURS PIERRE-PUGET
M A R S E I L L E

AGENCE DE PARIS :
3, RUE GODOT-DE-MAUROY

AGENCES PRINCIPALES :
ANVERS - TUNIS
BEYROUTH - ALGER
PORT-ST-LOUIS-DU-RHONE
PORT-DE-BOUG - etc...

Spécialistes du transport de
matériel roulant par navires
équipés de mâts de charge 65 t

UNE ORGANISATION
au service
DU COMMERCE FRANÇAIS

STEF

5 000

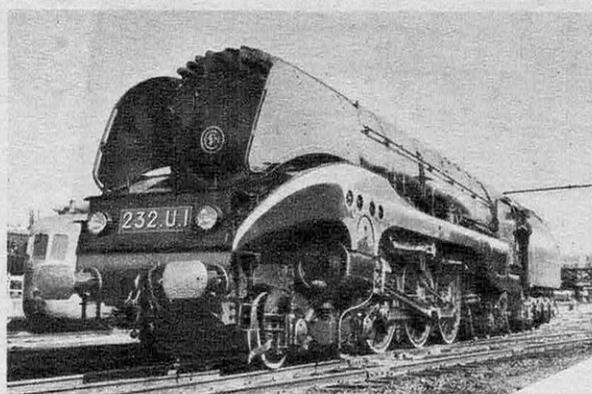
Wagons Réfrigérants et Isothermes
pour le transport
de toutes denrées périssables

7

Gares Frigorifiques
pour le stockage
à courte et longue durée

STEF

62, r. Montorgueil, PARIS
Tél. : CEN. 11-62



A LA SOURCE DES INVENTIONS

56, BOUL. DE STRASBOURG
P A R I S (10°)
Près des Gares de l'Est et du Nord

la plus importante et la
plus ancienne maison de

Modèles réduits

CHEMIN DE FER écart : O et H O

AVIATION - MARINE - AUTOS - TÉLÉCOMMANDE
Plans - Boîtes de Construction - Accessoires - Matériels finis

Expéditions :

Province
Colonies
Étranger

SUR NOTRE

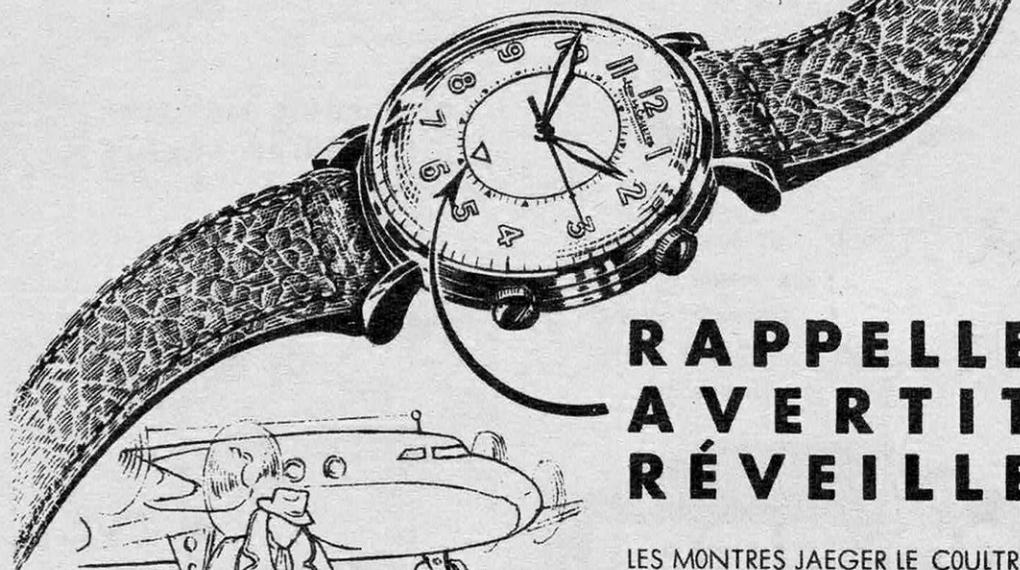
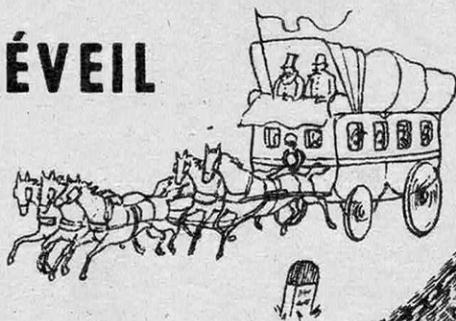
DOCUMENTATION GÉNÉRALE
DE 84 PAGES — 500 PHOTOS
contre mandat de 115 francs

Ouvert

le
lundi

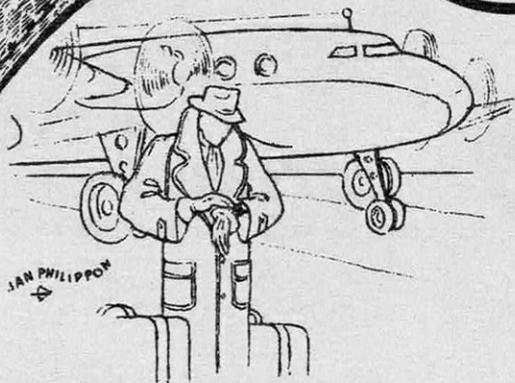
Memovox

LA MONTRE RÉVEIL



RAPPELLE AVERTIT RÉVEILLE

LES MONTRES JAEGER LE COULTRE
BÉNÉFICIENT D'UN SERVICE DE
RÉPARATIONS GRATUITES
PENDANT DEUX ANS



JAN PHILIPPON

JAEGER-LECOULTRE

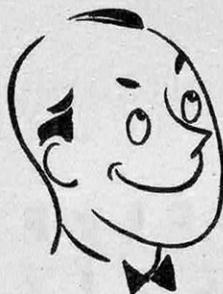
HORLOGERIE DE LUXE



- Dis maman,
viens voir
mon vieux vélo,
comme il est beau
maintenant !

dorland

- Oh, je suis sûre
que tu l'as réussi,
comme moi le nouveau
buffet de cuisine...
C'est enfantin
avec NOVEMAIL !



- Et comme moi,
ma vieille voiture,
Entièrement remise
à neuf avec 1 litre
de "NOVEMAIL".



c'est vraiment "L'email à froid magique"

NOVEMAIL n'est pas un émail
ordinaire... C'est autre chose !
NOVEMAIL Souplesse - Dureté
Brillant incomparable
Aspect de l'émail au four



et... NOVEMAIL est économique
car... avec la même quantité de NOVEMAIL,
vous couvrirez au moins deux fois plus
qu'avec un autre produit.

Il y a un Distributeur Officiel près de chez vous

L'AMÉRIQUE DU SUD
LA CÔTE OCCIDENTALE D'AFRIQUE
LES U.S.A. (côte est) C.O.A.
L'AFRIQUE DU SUD
L'INDOCHINE
CROISIÈRES

PAR LA
COMPAGNIE MARITIME
DES
CHARGEURS RÉUNIS

3, boul. Malesherbes - PARIS - ANJou 08-00 à 07



INTERVOX
au Service de la productivité
S.N.C.F.

Reconnaissance des colis par
MICROPHONE HAUT-PARLEUR portatif
SONORISATION des GARES
— — Liaison inter-services

Réf. S. N. C. F. :

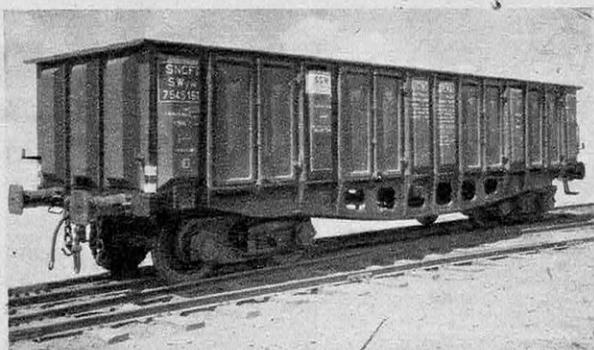
Gares
Batignolles,
Dijon,
Auster-
litz



Toutes
Installations
Industrielles
et de Bureau
en
Téléphonie
H. P.
Sonori-
sation

2, Rue Montempoivre, PARIS-12^e - DID. 03-92
DEMANDER LA NOTICE N° 409

ARBEL DOUAI



Wagon tombereau 52 M3 à 8 portes pour transport de produits divers en vrac.
Tare = 20,200 t; charge utile sur réseau S.N.C.F. (lignes de la catégorie 5) = 59,800 t.

Caractéristiques : Châssis constitué par 2 longerons monoblocs emboutis, de 11,336 m de longueur. ● 2 traverses de portage en éléments soudés, 2 traverses de tête en profilés et des traverses intermédiaires. Tampons avec éléments élastiques en caoutchouc. ● Panneaux fixes de caisse constitués par des emboutis profonds. ● 2 bogies dont 1 non freiné et 1 freiné à 8 sabots, longerons de bogies emboutis. Traverse danseuse en éléments soudés. Suspension mixte par ressorts boudins et spirales. Boîte à huile Athermos. ● Freinage par un seul cylindre à la tare et à la charge par l'intermédiaire d'un dispositif « vide-charge » à rattrapage automatique du jeu des sabots par régleur SAB.

80 PÉRIODES
220 VOLTS

Pour l'éclairage des trains



MAZDAFLUOR

APPORTE AUX TECHNICIENS ET AUX USAGERS

UNE SATISFACTION TOTALE

COMPAGNIE DES LAMPES - 29 RUE DE LISBONNE - PARIS 8^e

BAVOX

12, rue Jean-Jaurès, PUTEAUX (Seine)
LON. 09-98

COMPRESSEURS

1 800 dm³ à 60 000 dm³/heure
Pression : 10-15 kg/cm² - 30-40 kg/cm²
60 à 240 m³/heure - Pression : 7-8 kg/cm²
POMPES à VIDE 1 mm/kg



Compresseur R 4 à essence
établi spécialement pour les colonies

MOTEURS

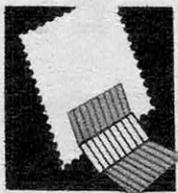
SOCIÉTÉ GÉNÉRALE
DE
CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

24 RUE DE LA GARE LA COURNEUVE SEINE TEL FLANDRE 2240

DIESEL

FIXES. MARINS ET POUR LA TRACTION

* Philatélistes,
voici une
CHARNIÈRE
qui ne laisse
pas de TRACE...



- 1 Une gomme spéciale d'une adhérence parfaite, permet de retirer la charnière sans laisser trace.
- 2 Sa partie non gommée évite de coller le timbre en plein.
- 3 Son papier nervuré ne roule pas.

Philorga

EN VENTE : Maisons de Timbres et Papeteries

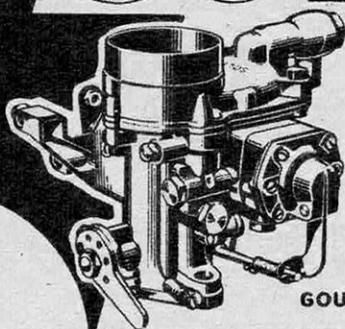
* UN ŒIL
DE SECOURS

* Le boîtier
"MICRO"

C'est une production de
LA PILE WONDER
qui ne s'use que si l'on s'en sert

CARBURATEUR

SOLEX



Les Équipements complets SOLEX 32 PBIC permettent de monter en deux heures ce nouveau Carburateur sur la plupart des moteurs de cylindrée moyenne. Ils vous assurent :

**Maximum de Sécurité
et d'Agrément.**

GOUDARD & MENNESSON • NEUILLY s/ SEINE

*90 ans d'expérience
et de succès !*

LE SILEXORE
a protégé
en 1950
10 MILLIONS
de M ?

BON A DÉCOUPER
Notice illustrée
franco contre
ce bon.

NOM _____

ADRESSE _____

SILEXORE

PEINTURE PETRIFIANTE

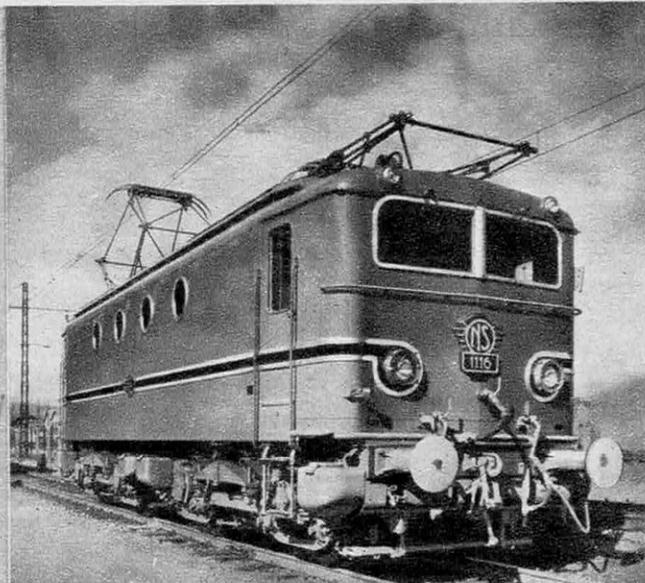
6, CITÉ MALESHERBES . PARIS

M. GAUBERTI

900



● Locomotive BB de 2 000 chevaux réalisée par Alstom pour les Chemins de fer du Maroc.



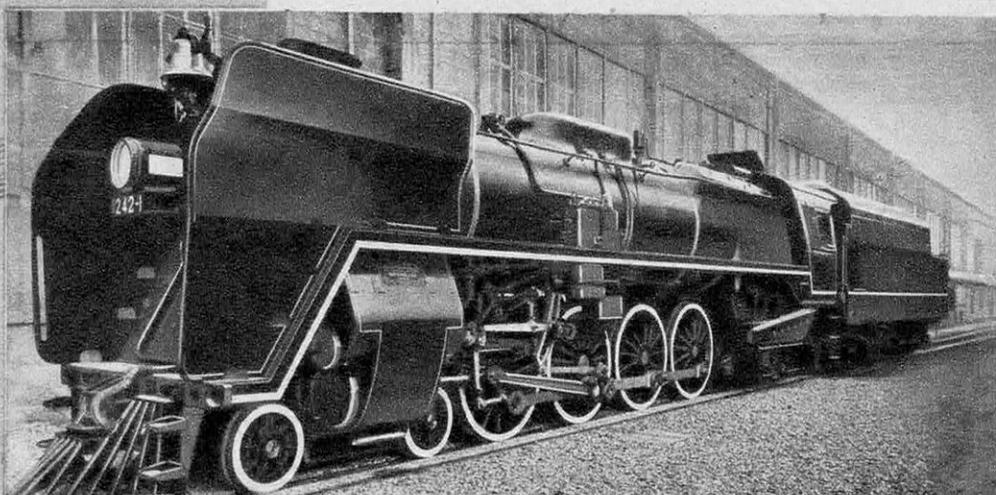
● Locomotive BB construite pour la Hollande par Alstom. Puissance : 2 900 ch sous 1 500 V.

L'INDUSTRIE



EMBARQUEMENT D'UN AUTORAIL RENAULT POUR LA TUNISIE

● Locomotive 242 à voie métrique construite pour le Brésil par la Compagnie Batignolles-Châtillon.



FRANÇAISE EXPORTATRICE DE MATERIEL FERROVIAIRE

LA meilleure preuve de vitalité que puisse donner une industrie, c'est d'être capable de déborder le marché national et de s'imposer sur les marchés étrangers. La France a depuis plus de cent ans une industrie du matériel de chemins de fer dont la valeur est universellement reconnue et qui a été longtemps exportatrice. Après une éclipse consécutive à la guerre de 1939-1945, elle a récemment remporté des succès qui sont le signe de sa renaissance.

C'est en 1838 que fut livrée la première locomotive française « la Gironde » construite par les Ateliers du Creusot. A la même époque fut fondée la Société Alsacienne de Constructions mécaniques, puis les constructeurs se multiplièrent : les Établissements Cail en 1844, la Société de Construction des Batignolles en 1846, les Établissements Corpet en 1853, la Compagnie de Fives-Lille en 1860, la Société Franco-Belge en 1863, les Ateliers de Construction du Nord de la France en 1882 et enfin la Compagnie des Forges et Acieries de la Marine et d'Homécourt.

Certaines de ces firmes entreprirent également la construction du matériel remorqué : wagons de marchandise et voitures à voyageurs, cependant que de nouveaux établissements se spécialisaient dans cette fabrication. En 1864, furent fondés les Établissements de Dietrich et Cie qui produisirent presque aussitôt du matériel remorqué. Puis naquirent la Compagnie Française du Matériel de Chemin de fer en 1872, la Compagnie générale de Construction en 1879, la Société Lorraine Dietrich en 1880, les Établissements Decauville en 1895.

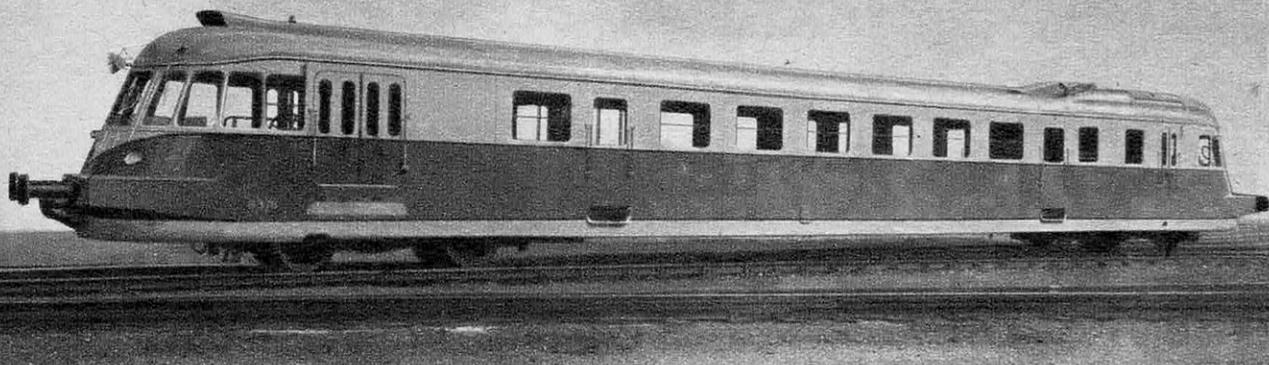
Entre les deux guerres mondiales, la capacité de production de ces industries répondait largement aux besoins des chemins de fer français : si leur potentiel n'avait pas été le plus souvent partiellement affecté à d'autres fabrications, ils auraient pu construire tous les ans 600 locomotives à vapeur de 90 t et plus. Cette

cadence fut d'ailleurs atteinte de 1922 à 1924 ; en 1922, année record, elle fut même de 720 locomotives. Les besoins des chemins de fer français étant inférieurs à cette capacité, il restait des possibilités importantes de fournitures à l'étranger.

Après la Libération, il fallut remplacer ou remettre en état le matériel avarié ou détruit par la guerre, et les possibilités de cette industrie furent utilisées à plein. Étant donné l'urgence des besoins, elle ne put même pas satisfaire entièrement la demande et 1 350 locomotives à vapeur durent être commandées à l'étranger.

l'industrie française dans le renouvellement des parcs de différents pays n'est pas négligeable, puisque nos constructeurs ont déjà livré depuis 1946 ou ont en cours de fabrication pour les locomotives à vapeur :

- à l'Union Française : 83 locomotives de types divers (141 avec tender, 141 P, 231, 040 avec tender), dont 51 sont destinées à l'Indochine ;
- au Brésil : 66 locomotives type 142 avec tender, 24 locomotives 242 avec tender ;
- à l'Australie : 30 locomotives Beyer-Garratt type 241 et 142 T ;



● Les autorails Renault, 300 ch, 70 places, ont été livrés en douze exemplaires aux Chemins de fer tunisiens (type ABJ 5 à voie normale). Les Chemins de fer espagnols possèdent vingt-deux exemplaires d'un type adapté à la largeur des voies (ABJ 7).

Aujourd'hui, la S. N. C. F. réduit considérablement ses commandes, et en même temps l'évolution de la technique tend vers l'abandon de la traction vapeur et son remplacement par la traction électrique ou la traction diesel. Cette évolution est plus avancée aux Etats-Unis où la plupart des grandes firmes se désintéressent de plus en plus de la construction des locomotives à vapeur.

En France, la construction des locomotives électriques et diesel-électriques est assurée par cinq entreprises ou groupes d'entreprises dont la production annuelle peut être de 200 à 250 unités. Les matériels déjà réalisés ont fait leurs preuves et leur succès a permis d'exporter une partie de cette production. La construction du matériel remorqué courant : wagons de marchandises, voitures à voyageurs et des autorails, occupe en France 40 000 ouvriers travaillant pour 26 firmes. La capacité annuelle de production de ces firmes est de 28 000 wagons de marchandises de tous types, de 1 000 voitures, autorails, remorques d'autorails et fourgons à bogies, et enfin de 100 locotracteurs et 500 tenders.

Ici encore, en raison de la diminution des commandes de la S. N. C. F., une bonne part de ce potentiel est disponible pour l'exportation.

Les conditions actuelles seraient favorables à cette exportation parce que beaucoup de pays sous-industrialisés n'ont pu, pendant la guerre, renouveler leur parc. Malheureusement, nos constructeurs ne peuvent pas consentir d'aussi longs crédits à leurs clients éventuels que certains de leurs concurrents plus puissants, ce qui limite dans une large mesure les commandes qu'ils ont pu recueillir. Malgré cela, la part de

- aux Indes : 12 locomotives type 141 avec tender, 8 locomotives type 131 avec tender ;
- au Luxembourg : 10 locomotives type 150 avec tender ;
- à l'Égypte : 10 locomotives type 230 avec tender ;
- à la Rhodésie du Sud : 10 locomotives Beyer-Garratt, type 242 et 242 T.

Les locomotives électriques

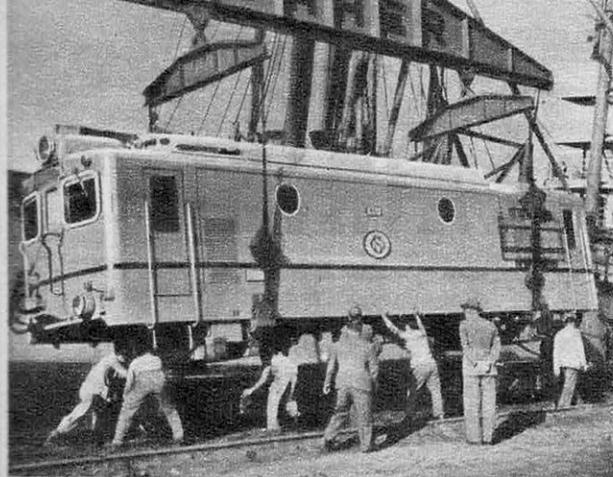
Les excellents résultats fournis par les locomotives électriques modernes à courant continu mises en service par la S. N. C. F. — locomotives dont la conception et la mise au point sont le fruit de la collaboration entre les services techniques de la S. N. C. F. et les bureaux d'études des constructeurs — ont permis à l'industrie française de remporter des succès notables au Maroc et à l'étranger.

L'industrie française a ainsi reçu commande d'un certain nombre de locomotives :

- pour le Maroc : 14 locomotives type BB ;
- pour l'Espagne : 20 locomotives type CC ;
- pour les Pays-Bas : 50 locomotives type BB, 10 locomotives type CC.

Les locomotives diesel, locotracteurs et autorails

Les avantages de la traction diesel au point de vue du rendement thermique, de la facilité de conduite, de l'absence de consommation en stationnement et de la faible importance des dépenses d'entretien, ont permis un développement important de ce mode de traction aussi bien sur les réseaux secondaires et sur les



● Débarquement à Sfax par le « Sainte-Hélène », Cie Daher, d'une locomotive diesel Alsthom.

voies ferrées industrielles métropolitaines que sur les réseaux de l'Union Française où elle rend de très grands services et dans quelques pays étrangers.

A ce titre, l'industrie française a reçu depuis 1946 les commandes suivantes :

- pour l'Union française : 79 locomotives diesel de puissances échelonnées de 300 à 1 070 ch pour la voie métrique et de 600 à 1 470 ch pour la voie normale, 37 locotracteurs d'une puissance variant de 30 à 160 ch, 26 fourgons automoteurs (destinés entièrement à l'Algérie), 62 autorails d'une puissance de 300 ch environ, 67 draisines ;

- pour l'Espagne : 10 autorails de 300 ch ;
- pour la Grèce : 8 autorails de 300 ch, 13 rames triples diesel ;
- pour le Luxembourg : 10 autorails de 320 ch.

Voitures

En dehors des 30 voitures pour la Compagnie Internationale des Wagons-Lits, les constructeurs français de voitures ont livré, depuis 1946 ou ont actuellement en construction un grand nombre de voitures qui dérivent presque toutes des nouvelles voitures type unifié de la S. N. C. F. Il y a lieu de citer particulièrement :

- pour l'Union Française : 133 voitures dont 55 voitures en acier inoxydable pour l'Algérie, 45 remorques d'autorails et 10 fourgons pour l'Indochine ;

- pour l'Espagne : 100 voitures à l'écartement de 1,674 m ;

- pour la Grèce : 3 remorques d'autorails ;
- pour le Luxembourg : 10 voitures et 6 remorques d'autorails ;

- pour le Pakistan : 235 voitures dont 122 pour voie large de 1,674 m et 113 pour voie métrique.

Wagons

En plus des wagons destinés à la S. N. C. F. et à des sociétés particulières, 1 400 wagons environ ont été construits en France de 1946 à 1950, pour les réseaux de la France d'outre-mer.

Depuis 1950, les commandes ont porté sur plus de 5 600 wagons dont :

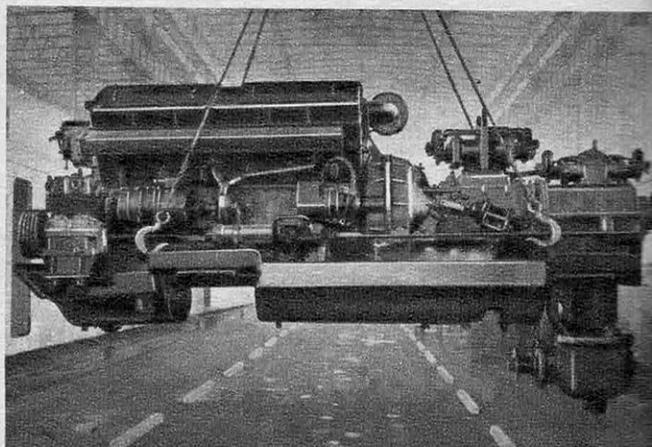
- pour l'Union Française : 1 000 wagons ;
- pour la Belgique : 175 wagons frigorifiques ;
- pour les Indes : 3 160 wagons dont 1 250 couverts, 1 750 tombereaux, 10 plats et 150 citernes ;
- pour le Pakistan : 1 300 wagons spéciaux pour le transport du jute.

La conception des matériels

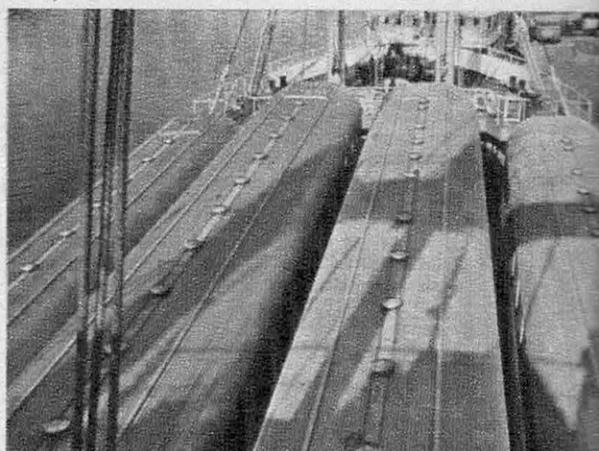
Les réseaux français avaient l'habitude de faire établir par leurs services techniques les projets des matériels à construire, et la S. N. C. F. qui les a rassemblés continue à pratiquer dans ce domaine la même politique.

Pourtant, les sociétés importantes ont des bureaux d'études qui sont capables d'établir sur un programme donné des prototypes originaux. C'est ce qui se produit fréquemment pour les locomotives électriques dont la conception est assurée par les constructeurs.

Dans la construction des autorails et du matériel remorqué, chaque constructeur a ses conceptions particulières et ses modèles originaux qui, après de multiples essais sur les réseaux français et étrangers, servent à l'établissement des types standard. Mais c'est surtout pour la conception des matériels impor-



● Le moteur diesel Renault type 517, 12 cylindres en V, développe 200 ch à 1 500 t/mn.



● Sur le « Nabeul » de la Cie Daher, quatre voitures (Éts Carrel et Fouché) pour l'Algérie.

tés que l'initiative des bureaux d'études des entreprises est la plus importante. Les machines à vapeur qui sont actuellement en cours d'exportation, la rame automotrice Dakar-Bamako, les autorails et les remorques destinés à la Grèce, à l'Espagne et au Luxembourg, les voitures à destination de l'Indochine, du Pakistan, du Cameroun et de l'Espagne ont été entièrement conçus par les constructeurs. Le client s'est borné à indiquer ses besoins : caractéristiques de la voie, conditions d'exploitation, etc. Au contraire, pour les voitures livrées au Luxembourg, ou bien pour les wagons destinés au Pakistan, à l'Union Indienne et à la Société Européenne Interfrigo, ce sont les acheteurs qui ont imposé leurs plans et leurs spécifications.



LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, RUE CHAUCHAT, PARIS-IX^e - TÉL. : TAITBOUT 72-86

Cette bibliographie a été établie d'après le stock d'ouvrages sélectionnés de notre librairie. Tous ces volumes figurent dans notre Catalogue général 1950 ou dans son Complément 1951.

GÉNÉRALITÉS

GÉOGRAPHIE UNIVERSELLE DES TRANSPORTS (Lartilleux H.). Tome I : **Les Chemins de fer français.** 1^{er} vol. : **La S. N. C. F.** Introduction. La ligne impériale Paris-Lyon-Méditerranée. Les Alpes et le Jura. L'Est et le Nord. L'Ouest. Le Centre. Le Sud Ouest. La ligne du Bourbonnais **2 500 »**

2^e vol. : **Réseaux divers.** Les chemins de fer secondaires. Transports par fer urbains et suburbains. Chemins de fer spéciaux..... **1 950 »**

3^e vol. : **L'Afrique du Nord.** Algérie. Tunisie. Maroc et Sahara **2 750 »**

4^e vol. : **La France lointaine.** Afrique occidentale française. Afrique équatoriale française. Indochine. Territoires isolés et insulaires **3 000 »**

Quatre magnifiques volumes reliés, format 20 x 30, comprenant des schémas et des plans, des photographies, des cartes en couleurs.

Tome III : **Les Chemins de fer étranger.** 5^e vol. : **Suisse et Italie.**

(A paraître début 1952. Nous prenons note, dès maintenant, des souscriptions).

HISTOIRE DES CHEMINS DE FER EN FRANCE ET DANS LE MONDE (Peyret H.). Un panorama objectif et vivant du rail des origines à nos jours. 352 p. 12 x 13,5, 7 cartes **390 »**

A TRAVERS LES CHEMINS DE FER DE L'ORIGINE A NOS JOURS (Falaize J. et Girod-Émery). Les locomotives à vapeur et électriques. Les autorails et automoteurs. Le matériel roulant. La voie et les ouvrages d'art. 410 p. 14 x 22,5, 197 fig. 1943 **750 »**

EXPLOITATION

COURS DE CHEMINS DE FER (Leduc O.). Organisation des chemins de fer français : administrative, financière et technique. Caractéristiques. Etablissement de l'infrastructure. Ouvrages d'art. La superstructure. Matériel fixe des gares. Matériel fixe d'électrification. La signalisation. Manœuvre des aiguilles. Pose et entretien de la voie. Notions d'exploitation technique. Le mouvement. L'exécution du transport. Les chemins de fer d'intérêt local. 382 p. 16,5 x 25, 424 fig., 1 pl. hors texte. 1949..... **1 420 »**

COURS D'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER (Lamalle U.). Tome I : Exploitation commerciale. Législation belge. Tarifs. Prix de revient général moyen : voyageur-kilomètre, tonne-kilomètre. Résultats d'exploitation. Rémunération du capital. Influence de la concurrence de l'auto. 201 p. 21 x 27, 92 fig. 3^e édit. 1934..... **1 780 »**

Tome II : Exploitation technique. Couverture des points dangereux. Couverture des trains. Block-system. Les enclenchements. Postes mécaniques du système Saxby et Farmer. Postes à pouvoir. Commande centralisée de la circulation des trains. Le « Dispatching System ». 209 p. 21 x 27, 254 fig. 3^e édit. **1 750 »**

Tome III, fasc. I : La voie. Le ballast. Les traverses. Traverses en bois. Pose de la voie. Les traverses métalliques et en béton armé. Les rails. Généralités. Profils. Longueur. Calcul de la section. Le métal. Usure et durée. Le joint. Le cheminement des rails. Les appareils de la voie. Les branchements. Croisement. Traversée. Appareils de manœuvre des aiguillages. Sécurités. Virage et translation des véhicules de chemins de fer. 227 p. 21 x 27, 308 fig. 1942..... **2 300 »**

Tome III, fasc. II : 56 p. 21 x 27, 42 fig. 1949..... **620 »**

Tome IV : Traction et freinage. Désignation abrégée des types de locomotives à vapeur. Résistance des trains à l'avancement. Le moteur. La chaudière. L'échappement. Projet d'une locomotive à vapeur. Essais des locomotives. Mesures dynamométriques. Calcul mécanique de l'horaire des trains. Autres modes de traction. Le freinage. 213 p. 21 x 27, 201 fig. 1944..... **1 350 »**

L'ORGANISATION DES TRANSPORTS (Tuja J.). Les problèmes et les méthodes : transport des voyageurs, des marchandises. Les autres modes de transport en liaison avec le chemin de fer. Les moyens. Le matériel. Les installations. Le personnel. La mise en œuvre des moyens et du personnel. La préparation et l'exécution du transport. Les problèmes d'avenir : le transport des voyageurs, des marchandises, les moyens de traction, les installations, les moyens de commandement. Le chemin de fer sur le plan international. 490 p. 16,5 x 25, 250 fig. 1948..... **750 »**

LA SÉCURITÉ DES TRANSPORTS (Lemonnier A.). L'exploitation technique du chemin de fer. Moyen d'éviter les rattrapages. Block-system. Réalisation du block. Réglementation. Moyens d'éviter les prises en écharpe. Signalisation. Signaux. Enclenchements. Postes d'aiguilleurs. Répétition des signaux. Freinage automatique. Voie unique. Régime des gares de voie unique. 175 p. 16,5 x 25, 51 fig., 6 pl. hors texte, 2^e édit. 1947..... **380 »**

LE DROIT COMMERCIAL APPLIQUÉ AUX TRANSPORTS PAR CHEMIN DE FER (Calot C.). Le contrat de transport par chemin de fer. Transports internationaux. Notions de droit maritime. Droit commercial. 292 p. 16,5 x 25, 2^e édit. 1948..... **500 »**

LÉGISLATION DES CHEMINS DE FER (Aubry C.). Régime actuel des chemins de fer d'intérêt général (S. N. C. F.). Vérification des comptes des compagnies. Règles relatives à l'exploitation et à la police des chemins de fer. Transports des matières dangereuses et infectes et des bestiaux. Hygiène. Exploitation commerciale. Contrôle des transports. Voies ferrées d'intérêt local. Voies des quais des ports. Coordination des transports. Voies ferrées industrielles. Chemins de fer coloniaux. 190 p. 16,5 x 25, 10^e édit..... **750 »**

MATÉRIEL

MANUEL POUR LA POSE ET L'ENTRETIEN DES VOIES FERRÉES (Salin H.). Opérations sur le terrain. Lignes droites. Chaînage. Courbes. Nivellement. Éléments constructifs de la voie. Pose et entretien des voies. 288 p. 14 x 22, 206 fig. 7^e édit. 1949..... **750 »**

LE MATÉRIEL ROULANT DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS (Baillieu M.). Locomotives à vapeur, électriques, à moteurs thermiques. Matériel remorqué. Freinage des trains. Passage au gabarit. Automotrices électriques. Autorails. Résistance de l'air. Formes aérodynamiques. Carénage des véhicules. Adhérence, efforts de traction, de freinage, résistance des trains. 178 p. 16,5 x 25, 98 fig. 9 pl. hors texte. 2^e édit. 1951..... **730 »**

LE RÉSEAU NATIONAL DES CHEMINS DE FER (Lartilleux H.). Histoire et organisation. 104 p. 16 x 24, 32 ill. documents et photos. 1948..... **275 »**

LE MONTEUR-MÉCANICIEN DES CHEMINS DE FER (Dubos G.). Tome I : Technologie de la locomotive. Notions générales sur les réparations. 216 p. 11 x 17, 120 fig. 1947..... **292 »**
Tome II : Usures, entretien et réparation. 270 p. 11 x 17, 180 fig. 1947..... **295 »**

LA TRACTION ÉLECTRIQUE ET LE CHEMIN DE FER (Parodi H. et Trétel A.). Tome I : Cinématique et dynamique de l'exploitation des chemins de fer. Programme d'exploitation. Etablissement du « mouvement ». Réalisation du mouvement. Equipement des trains et aménagement des voies, des gares. Capacités de débit des lignes de chemin de fer. Stabilité du mouvement. Marche d'un train. Charge des essieux et adhérence. Résistance des trains à l'avancement. Freins mécaniques. 558 p. 16 x 25, 210 fig., 3 pl. 1935..... **1 080 »**

LA LOCOMOTIVE A VAPEUR (Chapelon A.). Tome I : Evolution récente de la locomotive à vapeur. Considérations générales. Evolution des types en Europe et en Amérique de 1907 à 1937. Méthodes d'utilisation de la vapeur. Production de la vapeur. Le mécanisme du moteur. Le véhicule. Le châssis. Accessoires. Boosters. Tendens. Freinage. Surchauffe. Systèmes d'évacuation. Progrès dans la transformation récente des locomotives. Compound. Progrès apportés à la construction des locomotives à simple expansion. Les machines à très grande vitesse. Les locomotives mixtes, à marchandises. Locomotives articulées, à tenders. Locomotives légères. Performances actuelles de la locomotive à vapeur. 648 p., 21 x 27, 5, nombr. fig. et pl. hors texte, 2^e édit. entièrement revue et mise à jour, 1952..... **7 000 »**

LA LOCOMOTIVE. Description raisonnée de ses organes (Lamalle U. et Legein F.). La chaudière. Le moteur ou machine proprement dite. Le graissage. L'échappement. Le véhicule. Appareils d'attelage et de choc. Répétition des signaux de la voie sur les locomotives. Accessoires divers. Tender et locomotive-tender. Les freins. 757 p. 16 x 24, 822 fig. 4^e édit. 1948, relié..... **2 950 »**

LA MACHINE LOCOMOTIVE (Sauvage E. et Chapelon A.). Chaudière. Mécanisme. Châssis, suspension, roues. Types divers de locomotives. Tendens. Moyens d'arrêt. Conduite. Service dans les dépôts. Engins divers de traction. 668 p. 12 x 19, 521 fig. 1947, relié..... **1 200 »**

LA LOCOMOTIVE ACTUELLE (Devernay E.). Production de la vapeur. Utilisation de la chaleur. Le véhicule. Tendens, freins et divers. Description de locomotives. 526 p. 16 x 25, 489 fig., 3^e édit. 1948..... **1 350 »**

LES LOCOMOTIVES DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS à vapeur, électriques diesel-électriques et autorails. 24 x 15,5, reliure spirale.
Album 1 : Types et numérotages des matériels. Descriptions et photographies de 29 types de machines. 71 p..... **275 »**
Album 2 : Description et photographies de 28 matériels et du banc d'essais de Vitry-sur-Seine. 71 p..... **400 »**
Album 3 : A vapeur, électriques, diesel-électriques et autorails. 48 p..... **450 »**

LES LOCOMOTIVES A VAPEUR DE LA S. N. C. F. (Fournereau J.). Numérotation des locomotives. Classification générale, par catégories des locomotives à vapeur. Tableaux par région de tous les types de machines actuellement en service sur la S. N. C. F. Locomotives de types allemands, U. S. A. Intérieur de cabine de locomotive moderne. Un album de 100 pl. de diagrammes, photos et caractéristiques sur papier couché, format 22 x 22, relié..... **1 200 »**

LES LOCOMOTIVES A VAPEUR DE LA S. N. C. F. Région Sud-Est et de la Méditerranée, Sud-Ouest, Ouest, Est, Nord. 5 fascicules 11 x 18, comprenant la photo et description de 198 locomotives, sous reliure spéciale..... **545 »**

MEMENTO D'ÉLECTROTECHNIQUE (Curchod A. et Vellard L.). Tome IV : Traction électrique. Applications de l'électricité. Applications mécaniques, divers, électrothermiques, électrolytiques. 491 p., 14 x 22, 289 fig. et nombr. tabl. 2^e édit. 1950, relié..... **2 150 »**

LE MONTEUR DE LIGNES ÉLECTRIQUES (Peyroux J.). Les lignes de traction. Description du matériel. Calcul des caractéristiques. Construction. 98 p., 13,5 x 18, nombr. fig., 1950..... **380 »**

LES TROLLEYBUS (Floner M.). Description. Les trolleybus du réseau routier de la R. A. T. P. Carrosserie. Groupe électrogène. Equipement électrique. Alimentation des trolleybus. Autres types de trolleybus France et étranger. 115 p. 16 x 24, 62 fig. 1549..... **300 »**

MÉTROPOLITAIN

LES OUVRAGES DU CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN DE PARIS (Clément H.). Généralités. Ouvrages aériens. 132 p. 16 x 24, 51 fig. 1948..... **390 »**

LE MATÉRIEL ROULANT DU CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN DE PARIS (Leroy J.-I.). Matériel du réseau urbain : installations fixes du réseau et organes mécaniques du matériel roulant. Appareillage électrique du matériel roulant. 145 p. 16 x 24, nombr. fig. et plans 1948. **450 »**

COURS DE TRACTION ÉLECTRIQUE suivi d'un recueil de 48 problèmes avec leurs solutions développées (Leroy J.). 167 p. 16 x 24, nombr. fig. 1947..... **420 »**

L'ENTRETIEN DU MATÉRIEL ÉLECTRIQUE (Chemin de fer Métropolitain de Paris) (Ruez J.). Technique générale de l'entretien. Le matériel. Principales avaries du matériel électrique. 344 p., 87 fig., 1 pl. hors texte, 1948..... **800 »**

COURS DE VOIE FERRÉE appliqué aux installations du Chemin de fer métropolitain de Paris (Pin P.). Caractéristiques des lignes du Métropolitain. Voie courante et matériel de voie. Problèmes relatifs à la pose des voies en courbe. Appareils de voie. Etablissement et entretien de la voie. 307 p. 16 x 24, 245 fig. et dépliants. 1948..... **760 »**

LE MÉTROPOLITAIN. Coll. « Encyclopédie par l'image ». Du tracé initial au forage du tunnel. Stations et voies. Equipements divers. Matériel roulant. Exploitation et trafic. Transports routiers. Sécurité et question sociales. Les métropolitains étrangers. 64 p. 17 x 24, nombr. fig. 1950..... **150 »**

MODÈLES RÉDUITS

LES TRAINS MINIATURE (Géo-Mousseron). Les modèles non électriques. Les modèles électriques. 95 p. 13,5 x 21, 82 fig. 2^e édit. 1951..... **390 »**

LA CONSTRUCTION DES TRAINS MINIATURE (Géo-Mousseron). Plans grandeur d'exécution. 116 p. 15,5 x 24, 118 fig..... **450 »**

LES CHEMINS DE FER MODÈLES AUX ÉCARTEMENTS 0 ET H0 (Girod-Eymery H. et Falaise J.). 360 p. 22 x 27, sous jaquette coul., contenant 572 reprod. et plans, dont 16 plans en dépliant 27 x 44 et 8 plans en dépliant 27 x 30 :

Broché, sur surglacé..... **3 000 »**
Relié, sur surglacé..... **4 000 »**

MÉCANIQUE

MANUEL DE L'INGÉNIEUR (Hütte). Tome I : Mathématiques, physique appliquée, mécanique, chaleur, résistance des matériaux, connaissance des matières, métrologie, topographie générale, appendice. 1 544 p. 12 x 19, 790 fig., 646 tabl. 27^e édit. 1947, relié..... **4 200 »**
Tome II : Éléments de machines, machines-outils, machines motrices, pompes et compresseurs, manutention et stockage, technique de la lumière, électrotechnique. 1 500 p. 12 x 19, 2 120 fig., 398 tabl. 27^e édit. 1950, relié..... **4 900 »**

NOTES ET FORMULES DE L'INGÉNIEUR (De Laharpe). 23^e édit. augmentée, entièrement revue et corrigée par M. Denis-Papin et J. Vallot. Tome I : Mathématiques. Topographie. Mécanique rationnelle. Résistance des matériaux. Éléments de machines. Hydraulique. Turbines hydrauliques. Chaleur. Thermodynamique. Technique de l'air humide. Chauffage et ventilation. Combustibles. Combustion. Chaudières. Machines à vapeur. Turbines à vapeur. 1 826 p. 12 x 19, avec 1 356 fig. 1938, relié... **1 800 »**

Tome II : Mouvements des fluides dans les conduites. Pompes, ventilateurs et compresseurs. Machines frigorifiques. Appareils de transports et de levage. Chemins de fer. Routes. Moteurs. Construction et ouvrages d'art. Mines. Usines à gaz. Métallurgie. 2 200 p. 12 x 19, 1 740 fig. 1950, relié... **4 400 »**

CHALEUR ET THERMODYNAMIQUE (Chaussin C. et Hilly H.). Métrologie. Thermométrie. Calorimétrie. Dilatation des corps condensés. Compressibilité et dilatation des gaz. Changements d'état physique. Transmission de la chaleur. Combustibles. Premier principe de la thermodynamique. Applications. 448 p. 16 x 25, 115 fig., 2 pl. 3^e édit. 1951... **1 280 »**

L'AIR COMPRIMÉ (Lefèvre J.). Tome I : Production. Théorie. Compresseurs à pistons. Compresseurs rotatifs. Commande et installation des compresseurs. Essais et exploitation des compresseurs. 640 p. 16 x 25, 245 fig. 1951... **3 500 »**

GUIDE PRATIQUE DE L'OUVRIER MÉCANICIEN à l'usage des contremaîtres, chefs d'équipe, ouvriers et apprentis des écoles professionnelles (Walker G.). Traduit par Happich et Auniord J. 560 p. 14 x 22, 338 fig. 2^e édit. 1949... **1 360 »**

L'AJUSTEUR-MÉCANICIEN pour les ouvriers et apprentis candidats aux C. A. P. (Brodbeck G.). Les matières premières industrielles. Les procédés de travail à la main. Le travail aux machines-outils. 346 p. 13,5 x 18, 280 fig. 2^e édit. 1949... **450 »**

POUR LE MÉCANICIEN-AJUSTEUR (Sodano E.). Travaux d'ajustage à la main et aux machines-outils. Traçage. Mesurage. Vérification. 232 p. 11,5 x 18, 224 fig. 1950... **350 »**

AJUSTAGE ET MÉCANIQUE DE PRÉCISION (Nardreau R.). Matières premières utilisées en ajustage et en mécanique de précision. Outils utilisés par l'ajusteur et le mécanicien de précision. Opérations mécaniques exécutées par l'ajusteur et le mécanicien de précision. 316 p. 16 x 24, 97 fig. 1949... **350 »**

LE CHAUDRONNIER (Montagne A.). Les métaux travaillés. La préparation des tôles. La mise en forme. Les assemblages. Les changements de forme. Le travail des profilés. 404 p. 13,5 x 18, 625 fig. 1948... **490 »**

MANUEL DU TRACTEUR CHAUDRONNIER-TOLIER à l'usage des chefs d'atelier et ouvriers traceurs; des élèves des écoles nationales professionnelles et des collèges techniques; des apprentis des cours professionnels (Laval R.). 164 p. 21,5 x 27, 231 fig., nouv. tir. 1951... **420 »**

POUR LE FORGERON (Darcy M.). Tome I : Métaux et alliages, outillage, préparation, combustibles, opérations fondamentales. 142 p. 12 x 18, 202 fig. 1946... **350 »**

Tome II : Aciers de construction, gros outillage, estampage, forgeage par pression, finition, contrôle. 134 p. 12 x 18, 144 fig. 1946... **350 »**

GUIDE DU FRAISEUR (Ambert A.). Les fraises. Les machines à fraiser et à tailler. Les travaux de fraisage et de taillage. Applications pratiques. 248 p. 16 x 23, 276 fig. 1948... **500 »**

LE FRAISAGE (Hanan J.). Les machines à fraiser, la fraise. Le fraisage. Taillage droit et hélicoïdal. 207 p. 13 x 21, 189 fig. 1949... **680 »**

MANUEL DU FRAISEUR. Col. « Savoir Travailler ». Les fraises. Opérations de base du fraisage. Sciage. Appareils d'équipement de la fraiseuse. Les engrenages. Le fraisage hélicoïdal. Alésage. Affûtage. Reproduction. Quelques tours de main. Calcul professionnel. Trigonométrie. Mécanique. Métallurgie. Ajustements. 326 p. 11,5 x 18, nombr. fig. 1950... **300 »**

DÉCOUPAGE, CAMBRAGE, EMBOUTISSAGE (Dupas R.). Le travail à la presse des métaux en feuilles. Méthodes en application dans les bureaux d'études et les ateliers d'outillage. 115 p. 18 x 22,5, 109 fig. 1951... **960 »**

NOTES PRATIQUES SUR LES OUTILLAGES A DÉCOUPER ET A EMBOUTIR (Ricordel V.). Tome I : Outils de découpage et de cambrage. 140 p. 13,5 x 21,5, 120 fig. 2^e édit. 1951... **320 »**

Tome II : Fixation des outils sur les presses. Fontes et aciers employés dans la construction des matrices. Efforts d'extraction et d'éjection dans les outils à découper. Outils à découper. Outils de cambrage. Outils d'emboutissage. 84 p. 13,5 x 21,5, 126 fig., nouv. tirage 1951... **220 »**

LE MODELEUR (Nicolet A. et R. et Brodbeck G.). Construction mécanique. Les matières premières utilisées à la confection des modèles. Le modelage. Exécution des modèles. 360 p. 13,5 x 18, 585 fig., 22 pl., 3 hors-texte, 1949... **780 »**

TECHNIQUE DU MODELAGE INDUSTRIEL (Quérut O.). 126 p. 16 x 25, 52 pl. 1949... **600 »**

GUIDE DU TOURNEUR (Ambert A.). Vis. Écrous. Chariotage. Filetage au tour et à la fraiseuse. Confection, traitement des outils. Divisions des pièces aux machines. Notions sur les lignes trigonométriques et leurs emplois. 271 p. 12 x 21, 182 fig. 1948, reliure souple... **410 »**

LE TOURNEUR (Henriot G. et Brodbeck G.). Construction mécanique. Les matières premières. La machine. Les outils. L'exécution. L'organisation et le contrôle du travail. 384 p. 13,5 x 18, 160 fig. 1948... **490 »**

L'ÉQUIPEMENT MODERNE DES TOURS automatique à décolleter, semi-automatique, à tourelle, à outils multiples (Ramel L.). Calcul des cames de tour à décolleter. Outils, porte-outil, mandrins. Montage d'usinage divers. 214 p. 14 x 22, 278 fig. 1951... **920 »**

LES SOUDURES (Séfériand D.). Technique. Métallurgie. Contrôle des soudures. 239 p. 18 x 23,5, 145 fig., 16 pl. hors texte. 1948... **950 »**

LA SOUDURE AUTOGÈNE AU CHALUMEAU ET A L'ARC à l'usage des ouvriers et apprentis des professions industrielles (Meslier R.). 220 p. 13,5 x 18, 153 fig. 1947... **360 »**

MANUEL MODERNE DE SOUDURE AUTOGÈNE OXY-ACÉTYLÉNIQUE (Granjon R. et Meslier R.). 316 p. 13,5 x 21,5, 270 fig. et tabl. 1949... **400 »**

LE SOUDAGE ÉLECTRIQUE PAR RÉSTANCE (Nègre J.). Soudage par points. Soudage à la molette. Soudage en bout. 1432 p. 11,5 x 24, 114 fig., 5 hors-texte 1948... **1 350 »**

UNE DOCUMENTATION INDISPENSABLE

Notre catalogue général et son complément, 3 000 titres d'ouvrages techniques et scientifiques, franco : 100 francs.

Les commandes doivent être adressées à la Librairie SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, Paris (9^e). Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement ou de versement au Compte Chèque Postal de la Librairie : Paris 4192-26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition, soit 10 % (avec un minimum de 30 fr.). Envoi recommandé : 25 fr. de supplément. (Étranger, 45 frs.)

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, PARIS-9^e

Pour toutes applications
ACCUMULATEURS
 ALCALINS

Pour démarrage et décharges ultra-rapides

SAFT

ÉLÉMENTS MH ET **ALCABLOC**

Robustesse - Longue durée - Entretien facile
 Parfaite insensibilité aux surcharges
 Bonne tenue à toutes les températures
 Possibilité de stockage prolongé

SOCIÉTÉ DES ACCUMULATEURS FIXES ET DE TRACTION
 ROUTE NATIONALE - PONT DE LA FOLIE - ROMAINVILLE (SEINE)
 TÉLÉPHONE : VILLETTE 98-50 ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : ALCALIN-ROMAINVILLE

Apprenez l'Anglais* tel qu'on le parle en Angleterre



Aucun livre ne peut vous apprendre à parler une langue étrangère correctement. Il vous faut entendre le rythme, l'accent et les mots usuels de la conversation courante. C'est par cette méthode rapide et complète que Linguaphone vous apprendra, chez vous, sans effort, à parler, lire, écrire une langue étrangère et surtout à comprendre lorsqu'on vous parlera. Ce ne sont pas vraiment des études: dès le début vous êtes dans l'ambiance des conversations de la rue, du café, de la plage, etc...

Consacrez-y seulement quinze minutes par jour et dans quelques mois vous pourrez vous exprimer librement dans la langue de votre choix. Renseignez-vous sur cette méthode unique et moderne pour apprendre les langues. Envoyez le coupon ci-dessous, vous recevrez gratuitement, par retour, une documentation complète. LINGUAPHONE existe en 21 LANGUES, y compris: Anglais, Espagnol.

LINGUAPHONE POUR LES LANGUES

★ Ou une de ces langues (Dépt. B. 34)

Allemand <input type="checkbox"/>	Espagnol <input type="checkbox"/>
Italien <input type="checkbox"/>	Portugais <input type="checkbox"/>

Autre langue _____

NOM _____

ADRESSE _____

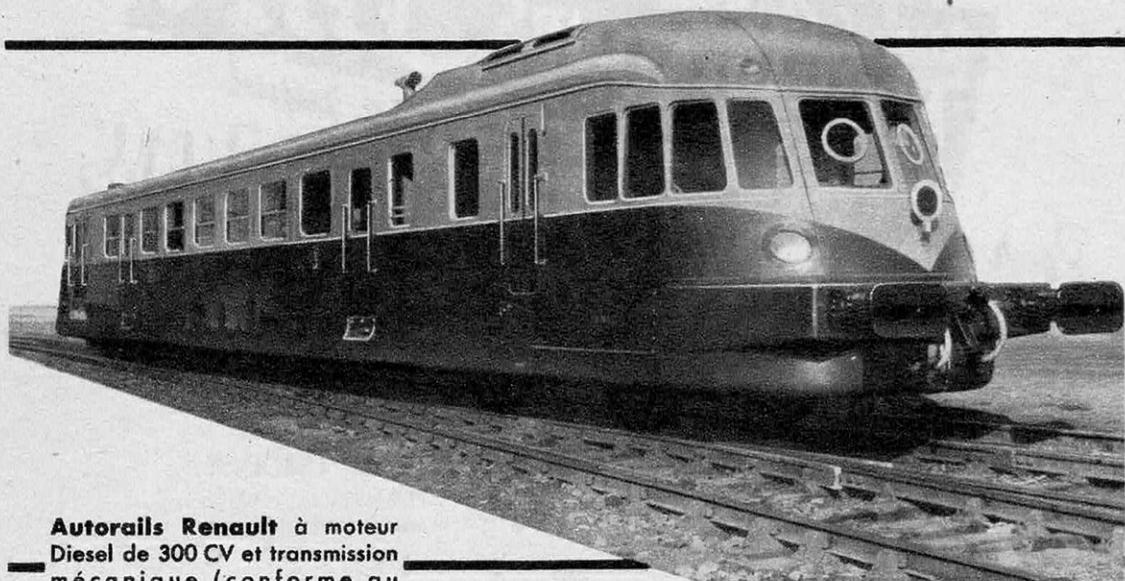
A L'INSTITUT LINGUAPHONE 12, Rue Lincoln, PARIS-8^e
 Veuillez m'envoyer gratuitement votre album de 24 pages donnant tous renseignements sur Linguaphone et les détails pour faire un essai gratuit de 8 jours chez moi.

Indiquez la langue de votre choix.

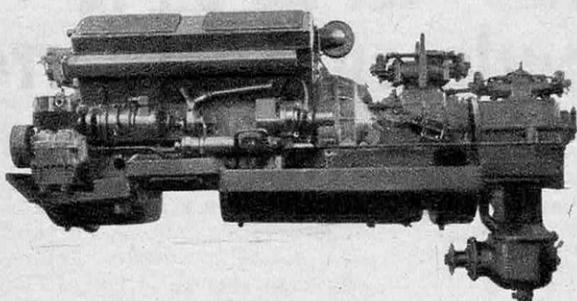
A T R A V E R S L E M O N D E

600 Autorails RENAULT

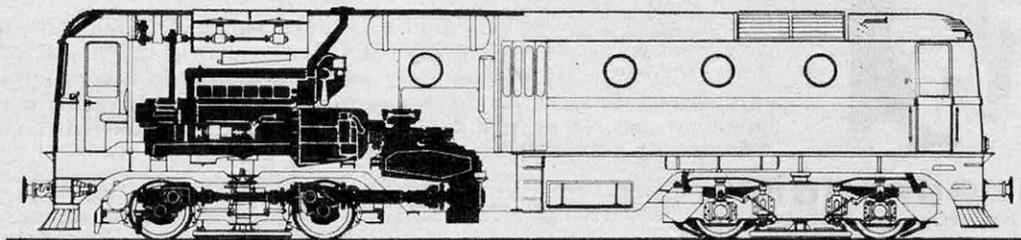
parcourent 180.000 km par jour



Autorails Renault à moteur Diesel de 300 CV et transmission mécanique (conforme au standard international).



Plus de 1200 moteurs Diesel 300 CV, 12 cylindres en V, sont actuellement en service sur les autorails ou locomotives Renault ou sur des matériels d'autres constructeurs.



Transmission des Autorails Renault type ABJ composée d'un embrayage, d'une boîte de vitesses et d'un inversement de marche. L'ensemble moteur-transmission est fixé sur un même berceau qui peut aisément être enlevé des Autorails, si c'est nécessaire.

Locomotives Renault à moteur Diesel de 300 à 840 CV, équipées soit d'une transmission hydromécanique, soit d'une transmission hydraulique.

RÉGIE NATIONALE DES USINES RENAULT 8-10, Av. Émile-Zola BILLANCOURT (Seine)

CHEMINS DE FER 1952

SOMMAIRE

★ Éditorial, par <i>L. Armand</i>	2
★ Chemins de fer et civilisation, par <i>R. Bouygues</i>	4
★ La voie moderne à la française, par <i>R. Sonnevile</i>	12
★ L'entretien des voies et leur renouvellement, par <i>P. Chevallier</i>	19
★ La traction à vapeur, par <i>A. Pellevat</i>	28
★ Les locomotives électriques, par <i>P. Lothon</i>	50
★ Paris-Lyon en 4 h 15, par <i>R. Vaubourdolle et M. Garreau</i> ..	61
★ Vers une formule nouvelle : la traction monophasée à 50 périodes, par <i>M. Garreau</i>	72
★ La traction par moteurs diesel, par <i>C. Tourneur</i>	84
★ Le matériel voyageurs, par <i>P. Romestain</i>	100
★ Les autorails, par <i>A. Despouy</i>	106
★ Confort américain et confort européen, par <i>G. Bohl</i>	114
★ Éclairage et chauffage, par <i>R. Didier</i>	123
★ Les rames spéciales, par <i>E. Lejeune et M. Triaureau</i>	126
★ Le matériel marchandises, par <i>E. Dufour</i>	134
★ Le trafic marchandises, par <i>G. Joffre</i>	141
★ La sécurité, par <i>J. Walter et R. Barjot</i>	151
★ Le réseau de commandement S. N. C. F., par <i>H. Long</i> ..	159
★ Le modellisme, par <i>H. Girod-Eymery et J. Falaize</i>	162
★ Les carrières à la S. N. C. F., par <i>H. Renault</i>	173

SCIENCE ET VIE

FRANCE : Administration et Rédaction : 5, rue de La Baume, Paris-8^e. Téléphone : Balzac 57-61. Chèque postal 91-07, Paris. Adresse télégraphique : SIENVIE-PARIS. — Publicité : 2, rue de La Baume, Paris-8^e. Tél. : Élysées 87-46.

BELGIQUE : Société ÉDIMONDE, Direction et Administration : 10, bd de la Sauvenière, Liège. Téléph. : 23.78.79.

ITALIE : SCIENZA E VITA, Direzione, Redazione e Amministrazione : 8, Piazza Madama, Roma. Tel. 50.919. C. C. P. I. 14.983.

SUISSE : INTERPRESS S.A. Administration : 1, rue Beau-Séjour, Lausanne. Téléphone : 26-08-21. C. C. Postaux 11.6849.

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by **SCIENCE ET VIE**

Décembre mil neuf cent cinquante et un.

ÉDITORIAL

JE tiens à remercier Science et Vie d'avoir donné l'occasion à la S. N. C. F. d'exposer dans cette belle publication les principaux problèmes autour desquels se concentrent nos préoccupations et nos études. Mais j'aimerais qu'au delà des techniques le lecteur pût entrevoir l'avenir de notre industrie, le sens et les raisons de son évolution. C'est pourquoi je voudrais fixer quelques idées générales qui pourront servir de fil conducteur.

On dit parfois que le chemin de fer ne tend son effort que vers des performances sans cesse plus spectaculaires. C'est là une profonde méprise. La technique n'est pas une fin en soi, mais un moyen. Ce que lui demande la S. N. C. F., c'est d'augmenter sa productivité et d'adapter le transport par voie ferrée aux besoins de l'économie moderne.

Mais la tâche des Cheminots est compliquée par l'extrême variété des obligations auxquelles ils doivent satisfaire. Les trafics de voyageurs et de marchandises ont des exigences multiples que rend impératives le caractère de service public qui conditionne toute notre activité.

Transporter n'importe qui, n'importe où et n'importe quand, voilà l'obligation qui, pour la S. N. C. F., domine le problème « voyageurs ». Celui-ci est résolu par d'innombrables combinaisons entre les trains rapides, express ou omnibus qui, chaque jour, parcourent nos lignes. Encore ce problème est-il singulièrement compliqué par l'irrégularité de l'affluence des voyageurs. Non seulement le nombre des circulations varie d'environ 50 % entre l'hiver et l'été, mais la S. N. C. F. doit disposer d'un matériel suffisant et, sur ses grandes artères, d'installations assez puissantes pour écouler un trafic exceptionnel pendant les périodes de fêtes ou lors des départs et des retours des « congés payés ». C'est ainsi que, cette année, à plusieurs reprises, 42 rapides ou express ont été expédiés de Paris-Lyon entre 19 h. 50 et 23 h. 50 : soit un train toutes les 6 minutes. Bien différentes sont les techniques dont relèvent les services de banlieue. Il s'agit de transports massifs tels que ceux de la ligne de Saint-Germain-en-Laye, qui achemine chaque jour vers Paris 12 500 personnes entre 8 h et 9 h, ou ceux de la gare Saint-Lazare, qui assure 1 000 départs ou 1 000 arrivées à la minute aux heures les plus chargées.

Notre premier devoir à l'égard des voyageurs est de veiller à leur sécurité. Grâce aux techniques décrites par MM. Chevallier, Walter, Barjot et Romestain, le coefficient de sécurité du rail, calculé d'après le nombre d'accidents mortels, atteint 0,9999998. Le risque d'être victime d'un accident de chemin de fer reste inférieur, disent les Compagnies d'Assurances sur la vie, au risque de mourir assassiné.

Les études de MM. Bohl, Lejeune, Triaureau et Didier montrent que l'amélioration du confort est une de nos grandes préoccupations. Beaucoup noteront avec satisfaction que nos recherches portent principalement sur la 3^e classe, le chemin de fer étant, par excellence, le moyen de transport démocratique, à la portée de plus de 20 millions de Français.

Laissant de côté la vitesse des trains, remarquable en France, j'en viens à la régularité. On sait que l'exactitude compte parmi les premières qualités commerciales d'un transporteur. L'exactitude, meilleure garantie de la sécurité, est aussi une source de substantielles économies. On trouvera dans l'article de M. Long une description des organes régulateurs de la circulation. Le chemin de fer est une sorte d'horloge dont les pièces essentielles sont des hommes et des machines. La qualité de son service, mesurée par les retards au terminus des trains rapides et express, a été supérieure en 1950 de 28 % à celle constatée en 1938.

L'IMPORTANCE relative du service des marchandises n'a cessé de croître ces dernières années et c'est de lui que proviennent plus des deux tiers de nos recettes. Dans ce domaine, le chemin de fer, selon une expression à la mode, est compétitif ; mais il est le seul qui puisse assurer certains échanges indispensables à la vie du pays et, dans la très grande majorité des cas, il est seul à pouvoir satisfaire à la fois aux intérêts des usagers et à ceux de l'économie nationale.

Parce que les nombreux problèmes posés par le trafic des marchandises sont souvent mal connus du public et parce qu'on ignore trop que la constitution d'un réseau unique a permis de réaliser, dans ce domaine, de grands progrès, j'attire tout particulièrement l'attention des lecteurs sur l'étude de M. Joffre. Ils y verront les efforts poursuivis pour rationaliser les itinéraires, accélérer les acheminements, diminuer le nombre des escales et faciliter les manutentions. C'est parce que la rotation du matériel est plus rapide et meilleur le chargement moyen des wagons (soit au total un gain de 76 %) que la S. N. C. F. fait face à un trafic plus important qu'en 1938 avec un parc considérablement réduit ; ainsi avons-nous pu économiser la reconstruction de 80 000 wagons, dont le coût s'élevait aujourd'hui à environ 1 300 000 francs l'unité.

Depuis quelques mois, nous expérimentons à Angers, à Angoulême et à Chalon-sur-Saône, un nouveau système de répartition du trafic marchandises à partir de gares-centres. Celles-ci, équipées de moyens modernes tels que remorques rail-route et porte-wagons, disposent de services routiers confiés à des entreprises liées à la S. N. C. F. par contrat. La généralisation de cette formule constituera une étape importante dans la coopération du rail et de la route et permettra, tout en développant le porte-à-porte, d'étendre à de nombreuses localités éloignées du chemin de fer les avantages du service public des transports.

TANT que le chemin de fer était en période de croissance, il recherchait des vitesses et des puissances de traction sans cesse plus élevées. Parvenu à la maturité, il s'efforce de diminuer ses prix de revient et d'améliorer sa productivité. Dans aucun cas — sauf pour la sécurité — une technique nouvelle n'est mise en œuvre si les investissements qu'elle nécessite ne sont pas hautement rentables. Mais, très fréquemment, elle permet à la fois d'augmenter la robustesse de l'outil, la sécurité des transports, le confort des voyageurs, etc., et de réaliser d'importantes économies. L'article de M. Sonnevillat sur la voie moderne en donne un exemple.

Pour augmenter leurs rendements, on sait que les industries s'orientent aujourd'hui vers une utilisation de plus en plus poussée de leurs matériels et de leurs installations. C'est ce que confirment les articles de M. Dufour et de M. Pellevat. On notera, en particulier, l'évolution récente de la locomotive à vapeur qui se traduit par une augmentation de 26 % du parcours journalier des machines et une diminution de 30 % des immobilisations.

Il me suffira d'indiquer que le nombre d'unités-kilomètres (voyageurs-kilomètres et tonnes-kilomètres) par heure de travail d'agent atteint 75 pour 1951 alors qu'il n'était que de 50 en 1938 et de 60 en 1929, année la plus favorable d'avant-guerre. Aussi la S. N. C. F. a-t-elle pu procéder, malgré une augmentation très sensible du trafic, à une compression de ses effectifs, qui a porté, en deux ans et demi, sur 43 000 agents. Malheureusement, les progrès de la productivité n'interviennent que pour une faible part dans nos résultats financiers qui sont principalement conditionnés par des facteurs d'ordre économique. Le déficit est en effet dû à l'insuffisance de nos tarifs qui sont au coefficient 16, alors que les coefficients des dépenses varient entre 20 et 30. On voit combien il est erroné de juger les Cheminots d'après un compte de profits et pertes.

QUELQUES mots, enfin, sur un autre aspect de notre industrie. Le chemin de fer a pour caractéristique de pouvoir puiser son énergie à trois sources : le charbon, les dérivés du pétrole, l'électricité. C'est en grande partie la politique économique du pays qui détermine dans quelle mesure le chemin de fer doit faire appel aux diverses sources d'énergie.

Parce que les foyers de locomotives ne peuvent brûler que des charbons gras cokéfiables dont la France est grosse importatrice et qui doivent être réservés par priorité aux hauts fourneaux, les réseaux, puis la S. N. C. F. se sont efforcés de limiter au minimum la consommation spécifique des locomotives. D'où les procédés, décrits par M. Pellevat, du compoundage et de la surchauffe. C'est dans le même but que le Gouvernement, après la guerre, nous a demandé de chauffer au mazout un grand nombre de locomotives.

Des considérations du même ordre plaident en faveur du remplacement de la traction vapeur par les techniques diesel et électrique. Il semble qu'en Europe le moteur diesel, objet d'une étude de M. Tournier, ait pour domaine les lignes à faible et moyen débit, dont il peut améliorer considérablement la productivité. Ainsi se pose le problème de l'autorail, étudié par M. Despouy, et celui des locomotives diesel de manœuvres qui ont un rendement exceptionnellement élevé.

Quant à la traction électrique, qui puise son énergie d'origine hydraulique ou thermique à une source entièrement nationale, elle est réservée aux lignes à gros débit. Les progrès réalisés ont rendu possible la construction de locomotives aussi remarquables par leur puissance que par leur souplesse. M. Lothon donne les caractéristiques de ces machines, tout en signalant leurs performances. Enfin, le lecteur lira avec intérêt l'étude consacrée par M. Vaubourdolle et M. Garreau à l'électrification de la ligne Paris-Lyon, dont on peut déjà donner les premiers résultats.

Mais, dans tous les systèmes jusqu'ici utilisés, la traction électrique suppose des installations fixes assez considérables et onéreuses. C'est pourquoi, connaissant les expériences engagées avant guerre, puis abandonnées par la Reichsbahn, nous avons pressenti — car c'est bien d'un pressentiment technique qu'il s'agit — que la formule du courant monophasé industriel à 50 périodes par seconde devait receler des possibilités de succès. Convaincue de l'importance du problème, la S. N. C. F. a envoyé une mission étudier cette expérience dès le lendemain de la Libération, puis s'est efforcée de mettre au point le système de traction le plus économique, qui consiste à alimenter directement les caténaires avec ce courant. M. Garreau expose les divers avantages de cette nouvelle technique, qui permettra dans l'avenir une économie de 40 % sur les installations fixes. Les chemins de fer et les firmes de construction électrique de tous les pays ont suivi avec le plus grand intérêt nos essais poursuivis sur une ligne du pays de Bade et, en France, sur la ligne d'Aix-les-Bains à La Roche-sur-Foron, où divers prototypes de locomotives et d'automotrices ont été présentés à trois cents ingénieurs de toutes les nations réunis en congrès à Annecy.

Ce congrès a fait valoir l'intérêt d'unifier les techniques, non seulement pour faciliter les relations internationales, mais pour réduire les prix de revient grâce à une large compétition et aussi à une collaboration entre les industries européennes. L'Union Internationale des Chemins de fer a constitué un Office de Recherches et d'Essais chargé de fixer les types de wagons qui seront construits dans toute l'Europe.

S'il est bien vrai, comme le dit M. Bouygues, que le chemin de fer, « en raccourcissant les distances et en multipliant les contacts entre les hommes, est un facteur de progrès et de civilisation », j'ajouterai qu'il est aussi un facteur indispensable de la constitution de l'Europe future et l'un de ceux qui peuvent exercer le plus rapidement leur action bienfaisante.

Louis Armand

Directeur général de la S. N. C. F.

CHEMINS DE FER ET CIVILISATION



A PLUS DE 100 KM/H DE MOYENNE, DES TRAINS AUTOMOTEURS DIESEL ASSURENT LES RE

AUSSI longtemps que les hommes n'utilisèrent pour se déplacer que la force motrice des vents, le courant des fleuves ou la traction animale, la vitesse des transports resta celle de l'homme au pas pour les marchandises et ne dépassa jamais celle du cavalier pour les voyageurs. C'est pourquoi l'apparition des chemins de fer, aux alentours de 1830, allait réaliser une véritable révolution dans l'histoire de la civilisation.

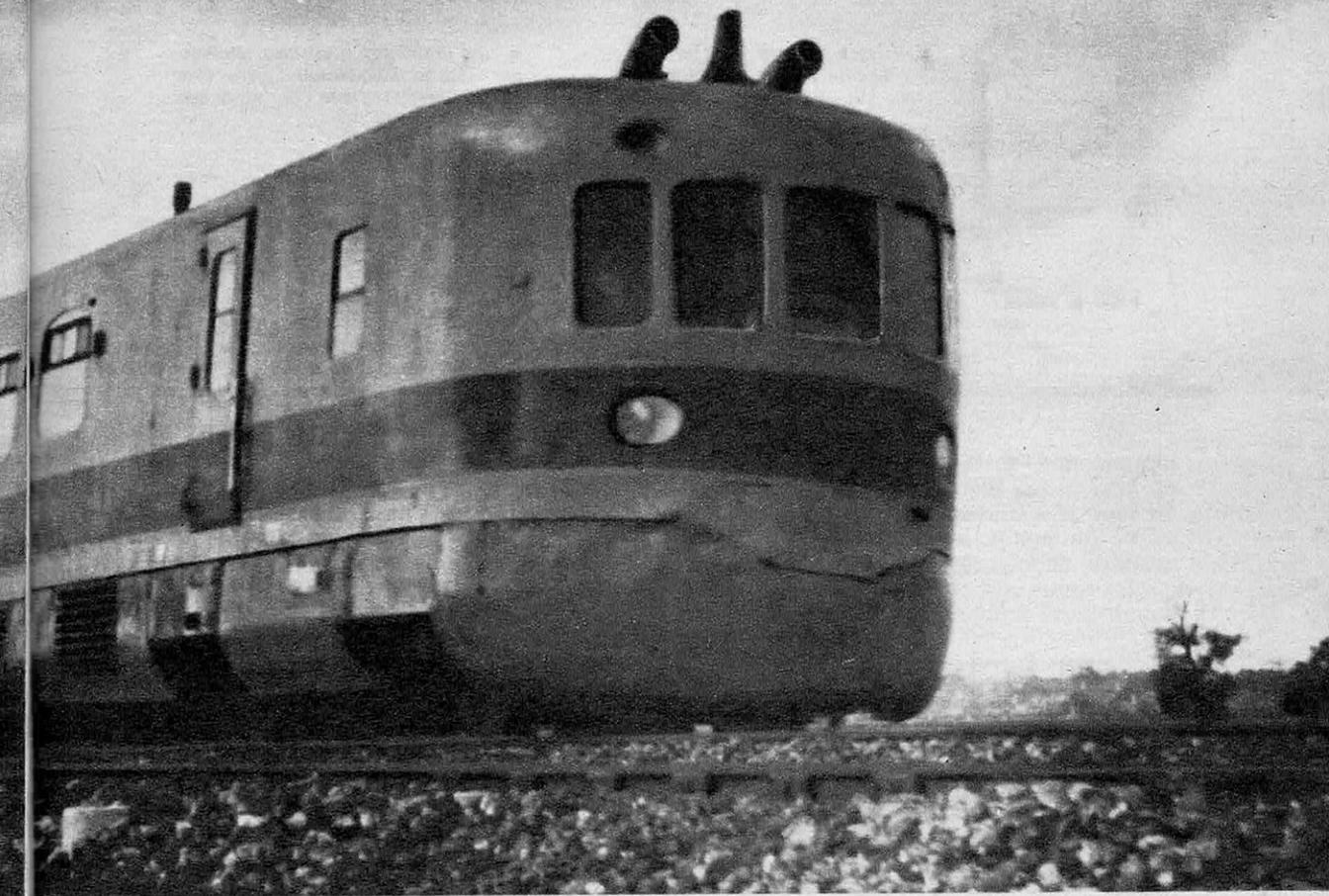
Des poutres parallèles, d'abord en bois, puis en fonte, ou « rails », avaient bien été installées depuis le XV^e siècle dans quelques mines allemandes et anglaises pour faciliter le roulement des wagonnets de charbon. Mais ces wagonnets étaient poussés par des hommes ou tirés par des chevaux. Faute d'un engin de traction mécanique, l'utilisation de ce nouveau procédé de roulage était restée très limitée.

Aussi des essais furent-ils entrepris un peu partout, au début du XIX^e siècle, pour adapter aux transports sur route et sur rails la machine à vapeur mise au point au siècle précédent. Bien que ces essais n'eussent pas été couronnés de succès, ils permirent néanmoins d'établir que le rail convenait mieux que la route

pour supporter les lourds moteurs à vapeur.

Deux difficultés principales retardaient l'apparition de la locomotive : il fallut la rencontre de l'Anglais Stephenson et du Français Seguin pour les résoudre. Marc Seguin, pour obtenir une abondante production de vapeur, remplaça le « bouilleur » par une série de tubes baignant dans l'eau et que parcouraient les gaz brûlants du foyer, inventant ainsi la chaudière tubulaire. Et Stephenson, remarquable mécanicien, eut l'idée d'entretenir un tirage intense dans le foyer en faisant passer par la cheminée la vapeur d'échappement des cylindres. Ainsi naquit la première locomotive à vapeur, la « Fusée », qui remorqua, en 1829, à Rainhill, sur la ligne de Liverpool à Manchester, un train de 40 t à plus de 25 km/h.

Aussitôt — et malgré quelques esprits sceptiques qui, à l'instar de M. Thiers, ne voyaient dans le nouvel engin qu'un « jouet » destiné à amuser les foules — des voies ferrées furent construites en Europe et aux États-Unis, et des trains de marchandises, puis de voyageurs, remplacèrent les chariots et les diligences. Le chemin de fer ne tarda pas, en effet, à apparaître comme un moyen de transport puissant



LATIONS RAPIDES SUR DE GRANDES LIGNES TELLES QUE PARIS-LILLE ET PARIS-BALE

et rapide, qui devait modifier la géographie, créer une nouvelle économie et multiplier les déplacements des hommes. Raoul Dautry devait dire de lui, cent ans plus tard, qu'il constitue « l'œuvre humaine la plus importante du XIX^e siècle ».

LA CONQUÊTE DU MONDE

En 1840, onze ans après les essais de Rainhill, 8 000 km de lignes étaient déjà construits, dont 4 700 aux États-Unis et 3 000 en Europe (500 pour la France). Mais le développement du réseau ferré devait être encore plus important dans les années suivantes, puisqu'il atteignait, pour l'ensemble du monde, 700 000 km en 1896 et 1 300 000 km en 1951, dont 400 000 aux États-Unis et autant pour l'Europe (41 000 pour la France).

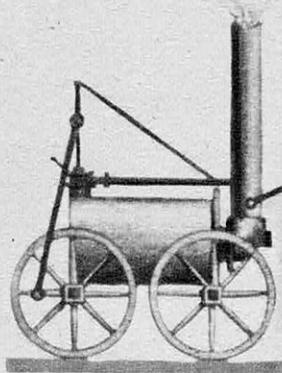
Les lignes, qui d'abord suivirent les vallées et sillonnèrent les plaines, ne tardèrent pas à attaquer, puis à traverser les massifs montagneux. Le tunnel du mont Cenis, long de 12 km, qui relie la France à l'Italie, fut percé de 1857 à 1871, suivi bientôt par d'autres grands tunnels, dont les noms évoquent l'évasion vers d'autres cieux : tunnels du Saint-Gothard, du Simplon — le plus long du monde

(19,7 km), — du Loetschberg, de l'Arberg... En Amérique du Sud, une voie ferrée franchit la Cordillère des Andes à 4 774 m d'altitude.

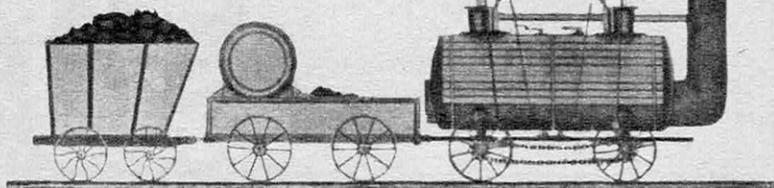
Le chemin de fer pénétra même dans des régions quasi inexplorées. Aux États-Unis d'abord et, plus tard, en Sibérie, en Amérique du Sud ou dans les colonies africaines, il permit aux hommes de s'installer dans des espaces encore vierges pour y mettre la terre en valeur et y exploiter les richesses du sous-sol. La poussée des États-Unis vers l'Ouest, au fur et à mesure que se construisaient les grandes lignes de chemins de fer, est, à ce sujet, très caractéristique.

Par ailleurs, l'accroissement considérable de la population urbaine dans la deuxième moitié du XIX^e siècle est dû, en grande partie, au chemin de fer. Certaines villes situées à des nœuds de voies ferrées, où se concentraient d'importantes installations, tels que triages, ateliers et dépôts, lui doivent même leur naissance, telles que Tergnier et Saincaize, ou encore Laroche, appelée aujourd'hui à disparaître par suite de l'apparition d'une nouvelle technique, l'électrification, qui supprime les relais de machines.

D'autres villes ont connu un important déve-



● « Catch me who can » fut le nom de la première locomotive construite en 1808 par l'Anglais R. Trevithick.



● Les premières machines réalisées par George Stephenson (vers 1816) étaient destinées aux charbonnages.

loppement. C'est le cas, en France, de Lyon ou du Mans ; aux États-Unis, de Chicago, où se croisent 37 grandes lignes, et, plus généralement, de toutes les grandes capitales qui, grâce au chemin de fer, virent pousser autour d'elles toute une ceinture de cités qui constituent leurs banlieues.

L'ESSOR INDUSTRIEL

La concentration des hommes dans les grandes villes exige des moyens puissants pour assurer tous les transports nécessaires au ravitaillement de la population et à l'accomplissement de ses activités économiques.

La « Fusée », avec ses 22 ch, était déjà apparue comme une machine très puissante, puisqu'elle pouvait remorquer des charges qu'aucun autre engin de transport terrestre n'avait pu traîner jusqu'alors. Pourtant la puissance des locomotives devait augmenter sans cesse grâce aux perfectionnements successifs des machines à vapeur et, plus tard, avec le développement des tractions électrique et diesel. Aujourd'hui, la puissance des locomotives atteint couramment 5 000 ch en Europe et 8 000 ch aux États-Unis. Une locomotive électrique suisse de la ligne du Saint-Gothard développe même 12 000 ch.

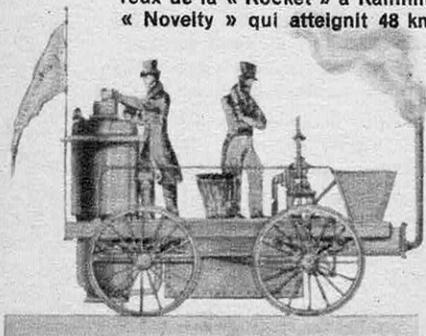
La charge des trains a donc augmenté dans des proportions très importantes. En regard de l'unique tonne que transportait la voiture de roulage et des 40 t que remorquait la « Fusée »,

les trains de marchandises atteignent aujourd'hui des poids de 1 500 à 2 000 t en Europe et jusqu'à 8 000 t aux États-Unis.

Les trains ont multiplié les transports d'un pays à l'autre, permettant à chaque région de se spécialiser dans la production qui lui convenait le mieux : l'élevage en montagne, les céréales dans les plaines, les cultures maraîchères et fruitières dans les régions de climat propice : vallée du Rhône ou Californie... Avec ces trains, et grâce à des tarifs nettement inférieurs aux tarifs de roulage, les grandes villes ont pu être approvisionnées avec du lait, de la viande, des légumes et des fruits produits dans des régions situées à plusieurs centaines de kilomètres, parfois à des milliers. La marée de Boulogne est envoyée à Lyon, Nice et Venise ; les oranges d'Espagne traversent la France à destination de la Belgique et de l'Europe centrale ; la forêt landaise fournit des poteaux aux mines du Nord, dont le charbon chauffe Paris pendant l'hiver ; la Suisse reçoit de la houille du Benelux ; l'alumine de Provence est envoyée aux centres électro-métallurgiques des Alpes ou exportée dans toute l'Europe ; les automobiles quittent les usines de la région parisienne par trains entiers pour gagner les ports et les principaux marchés étrangers...

En approvisionnant sans limite les usines en matières premières et en étant en mesure d'écouler toute leur production, le chemin de fer a permis l'essor industriel du XIX^e siècle,

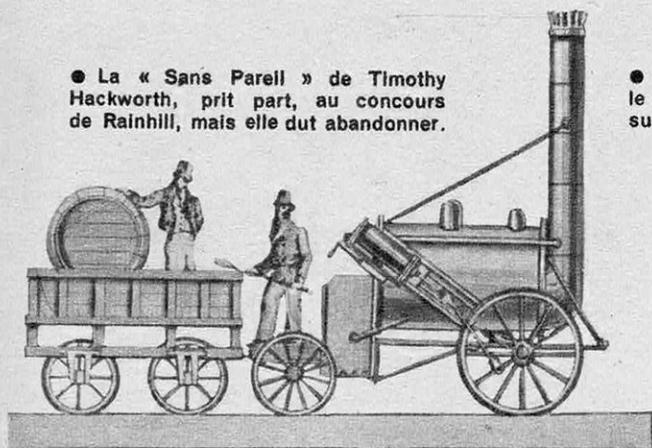
● Un autre concurrent malheureux de la « Rocket » à Rainhill, la « Novelty » qui atteignit 48 km/h.



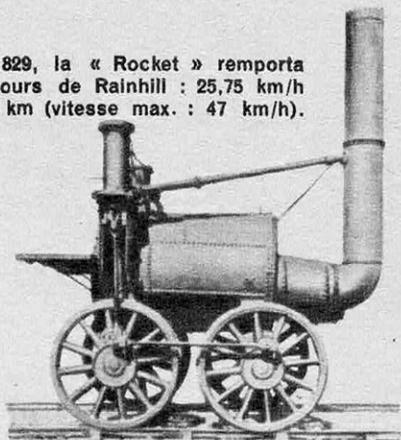
● La « John Bull », construite en 1831 par R. Stephenson pour le Mohawk and Hudson, est au National Museum de Washington.



● La « Sans Pareil » de Timothy Hackworth, prit part, au concours de Rainhill, mais elle dut abandonner.



● En 1829, la « Rocket » remporta le concours de Rainhill : 25,75 km/h sur 112 km (vitesse max. : 47 km/h).



qui est, en effet, parallèle au développement du réseau ferré. Grâce à lui, des industries ont pu s'installer loin des lieux de production des matières premières qu'elles consomment, loin aussi des frontières les plus vulnérables, par exemple dans le Centre et l'Ouest de la France.

Au total, le trafic des marchandises transportées sur les voies françaises est passé de 40 millions de tonnes-kilomètres (1) en 1841 à 2 milliards en 1856, 14 milliards en 1896 et plus de 40 milliards en 1951, soit 1 000 fois plus en cent ans.

LE TRAFIC VOYAGEURS

En ce qui concerne les transports de voyageurs, les progrès réalisés ne sont pas moins importants. Alors que le coche et la diligence transportaient respectivement 8 et 12 personnes, les premiers trains pouvaient contenir 200 voyageurs et ceux de 1951 en emmènent souvent plus de 1 000, parfois même 1 500.

Le chemin de fer a permis les transports massifs de personnes et a créé une nouvelle forme de distraction : le voyage d'agrément, qui fait partie, aujourd'hui, des loisirs les plus courants. La seule gare Saint-Lazare voit pas-

(1) Pour évaluer le trafic des marchandises, on multiplie le poids de chaque expédition par la distance parcourue. On obtient ainsi des tonnes-kilomètres, qui mesurent exactement le service rendu.

ser 130 millions de voyageurs par an, soit environ 360 000 par jour, dont 60 000 entre 18 et 19 h (1 000 à la minute !). Et chaque année, entre le 1^{er} juillet et le 31 août, le train transporte, en France, sur les grandes lignes, 50 millions de voyageurs, dont 7 millions au départ de Paris.

Dans l'ensemble, le trafic est passé, en France, de 100 millions de voyageurs-kilomètres (1) en 1841 à 2 milliards en 1857, 11 milliards en 1896, et atteint, en moyenne, près de 30 milliards de voyageurs-kilomètres par an depuis cinq ans.

Un des principaux facteurs de cette augmentation du trafic est la réduction de la durée des transports, c'est-à-dire l'accroissement de la vitesse.

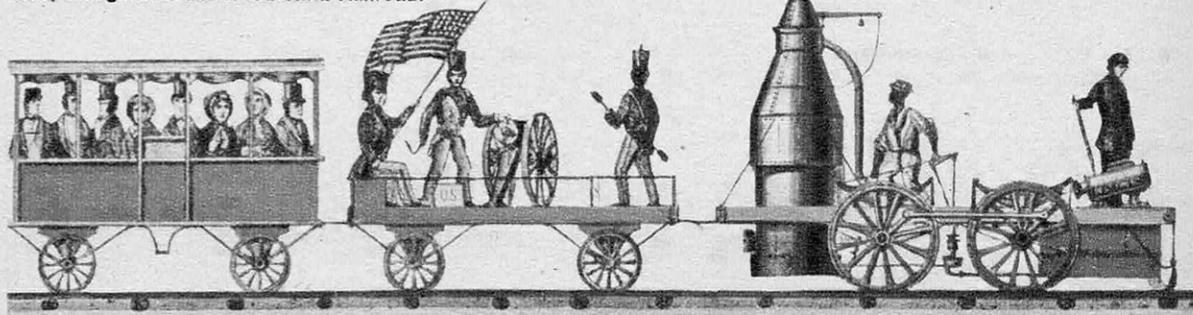
L'ACCROISSEMENT DES VITESSES

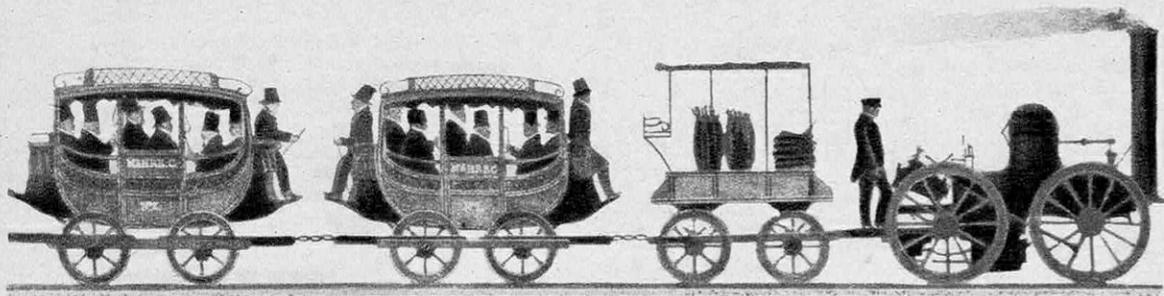
En 1830, les diligences des Messageries royales parcouraient encore les routes de France à une moyenne de 6 km à l'heure, c'est-à-dire à la même vitesse que les chars romains. Aucun progrès n'avait donc été enregistré en plus de vingt siècles.

Aussi, lorsque le chemin de fer de Paris à Saint-Germain fut inauguré, en 1837, et qu'un train relia ces deux villes distantes de 18 km en 26 minutes, à la vitesse de 41 km à l'heure,

(1) Pour mesurer l'importance du trafic des voyageurs, on additionne les distances parcourues par chaque voyageur ; on obtient ainsi ce que l'on a convenu d'appeler des voyageurs-kilomètres.

● La première ligne américaine date de 1829. Voici le train de voyageurs qui, en 1830, inaugura le South Carolina Railroad.





beaucoup de gens regardèrent le nouvel engin avec inquiétude. Le roi Louis-Philippe et ses fils ne participèrent pas au voyage, pour éviter qu'« ils ne risquassent leur vie dans une telle aventure » ; seules la reine et ses filles assistèrent à l'inauguration ! Victor Hugo, dans sa jeunesse, considérait ce nouveau mode de transport comme une diablerie, et Alfred de Vigny en déconseillait l'emploi :

**Évitez ces chemins... L'humaine créature
Ne respire et ne voit, dans toute la nature,
Qu'un brouillard étouffant que traverse un
[éclair.**

Depuis, la vitesse des trains n'a cessé d'augmenter et plus personne ne s'effraie des progrès réalisés dans ce domaine. Après avoir été de 40 km/h en 1860 et de 60 km/h en 1913, la vitesse moyenne de l'ensemble des trains de voyageurs français atteint aujourd'hui 85 km/h, la vitesse maximum restant limitée, en France, à 120 ou 140 km/h suivant les trains et les lignes.

Ainsi le trajet de Paris à Brest, qui demandait trois jours par malle-poste sous Louis-Philippe, ne s'effectuait plus qu'en 16 h en 1867, en 13 h 30 en 1889 et en 10 h en 1913 ; aujourd'hui, le même parcours est accompli par les express en 7 h 40.

De même, pour aller de Paris à Marseille, il fallait, au début du XIX^e siècle, près d'une semaine. Dès 1855, Napoléon III revenait par le train de Marseille à Paris en 8 h 36, à 100 de moyenne, dans le même temps que le train « Mistral » de 1951 ; mais le train de Napoléon III ne comportait que 2 voitures pesant au total 7 t, alors que le « Mistral » comprend 8 grandes voitures et un fourgon pesant 400 t, et peut transporter 430 voyageurs.

Si l'on calcule aujourd'hui, pour les principaux pays du monde, la vitesse des meilleurs trains sur les grandes lignes (environ

25 % de la longueur de chaque réseau), on s'aperçoit que la France vient en tête avec 85 km/h, devant les États-Unis (82,5 km/h) la Grande-Bretagne (75 km/h), la Suisse (74 km/h) et le Danemark (73 km/h).

Même en se limitant aux vitesses moyennes du meilleur train sur les lignes les plus rapides (12 % du réseau total), la France conserve sa première place avec 97 km/h, suivie toujours par les États-Unis (92 km/h), puis par le Danemark (84 km/h), la Suisse (83 km/h) et la Grande-Bretagne (82,6 km/h).

Ainsi les trains français sont les plus rapides du monde. Au service d'été 1951, ils parcouraient chaque jour 20 000 km (deux fois la distance de Paris à Calcutta) à plus de 100 km/h de moyenne, et 30 000 autres kilomètres (la distance du cap Horn à l'extrémité de l'Alaska) à plus de 90 km/h. Sur nos grandes lignes, on enregistrait les temps de parcours et les moyennes suivantes :

Paris-Dijon (315 km) en 2 h 32, à 124 km/h de moyenne (électrique) ;

Le Havre-Paris (228 km) en 2 h 06, à 109 km/h de moyenne (autorail) ;

Paris-Lyon (512 km) en 4 h 49, à 106 km/h de moyenne (électrique + vapeur) ;

Paris-Le Mans (211 km) en 1 h 59, à 106 km/h de moyenne (électrique) ;

Paris-Bordeaux (518 km) en 5 h 37, à 103 km/h de moyenne (électrique) ;

Paris-Lille (251 km) en 2 h 28, à 102 km/h de moyenne (train diesel) ;

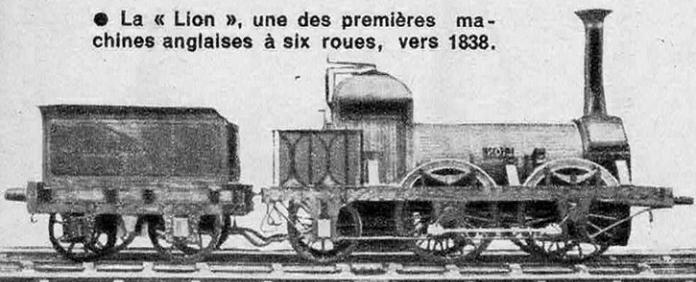
Paris-Marseille (863 km) en 8 h 36, à 100 km/h de moyenne (électrique + vapeur) ;

Bâle-Paris (526 km) en 5 h 17, à 100 km/h de moyenne (train diesel) ;

Paris-Clermont-Ferrand (420 km) en 4 h 14, à 99 km/h de moyenne (autorail) ;

Paris-Strasbourg (504 km) en 5 h 15, à 96 km/h de moyenne (vapeur) ;

● La « Lion », une des premières machines anglaises à six roues, vers 1838.

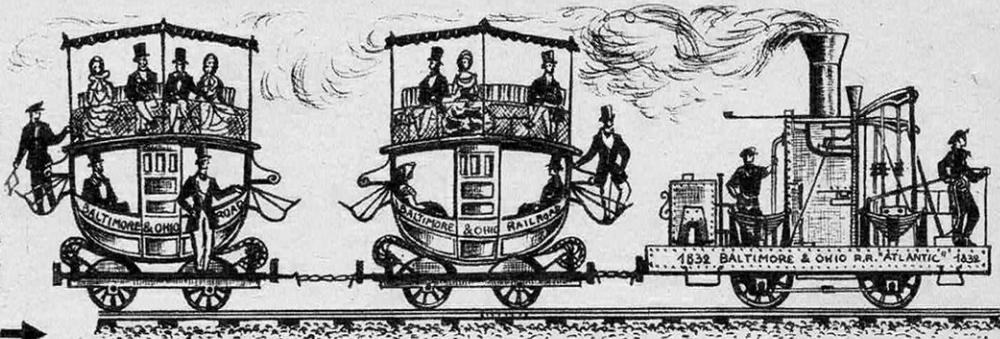


● La « Bury », de 1832, à quatre roues, à l'origine, dotée de six roues en 1840.



Dans l'État de New York, le premier train du Mohawk and Hudson en 1831.

L'« Atlantic » (1832) fut une des premières machines du Baltimore and Ohio la plus ancienne compagnie américaine, qui la tient encore en état de marche.



Paris-Nice (1 088 km) en 11 h 18, à 96 km/h de moyenne (électrique + vapeur + autorail).

Comme on peut le constater, la plupart de ces parcours ont été effectués par des trains électriques, des trains diesel ou des autorails. La traction électrique a permis, en effet, dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, d'obtenir des progrès très intéressants. La vitesse de 124 km/h de moyenne commerciale réalisée chaque jour sur Paris-Dijon par quatre trains constitue le record du monde en traction électrique.

Aux États-Unis, pays riche en pétrole, la traction diesel connaît un développement considérable. Elle permet de remorquer des trains à des vitesses comparables et même supérieures à celles qui sont obtenues en Europe avec la traction électrique. C'est ainsi, par exemple, que le « City of New Orleans » (de la Compagnie de l'Illinois Central) relie Chicago à La Nouvelle-Orléans (921 milles ou 1 482 km) en 15 h 55, à la vitesse moyenne de 93 km/h, en parcourant certains tronçons à 123 et même à 136 km/h de moyenne. De même, les trains « Morning-Zephyr » et « Afternoon-Zephyr » (de la Compagnie Burlington) relient Chicago à Minneapolis (437 milles ou 703 km) en 6 h 45, à 104 km/h de moyenne, réalisant sur le parcours d'East-Dubuque à Prairie-du-Chien (54,6 milles ou 88 km) la performance de 139 km/h de moyenne commerciale, ce qui constitue le record mondial de vitesse.

Les chemins de fer d'un grand nombre de pays, et plus particulièrement la S. N. C. F. en France, ont mis à profit ces vitesses élevées pour établir des horaires permettant aux hommes d'affaires de voyager en dehors des heures normales de travail : au moment des repas, dans la soirée ou pendant la nuit. Plusieurs trains reliant Paris à Lille ou à Bruxelles, et « vice versa », à l'heure du déjeuner ou du

dîner, il est possible, après avoir passé toute la matinée à Paris, d'aller l'après-midi à Lille ou même à Bruxelles et d'être de retour chez soi avant 23 h. Par ailleurs, les trains qui partent de Paris en fin d'après-midi, après 17 h, permettent d'atteindre dans la soirée toutes les grandes villes dans un rayon de 600 km : Rouen, Le Havre, Rennes, Nantes, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Saint-Étienne, Lyon, Bâle, Zurich, Nancy, Strasbourg, Metz, Luxembourg, Lille, Bruxelles et même Amsterdam.

Enfin, une nuit suffit pour faire des trajets qui atteignent et même dépassent 1 000 km : de Paris à la Côte Basque, aux Pyrénées, aux Alpes, à la Côte d'Azur, ainsi qu'à Londres (par le « train ferry »), à Hambourg, à Stuttgart ou à Milan.

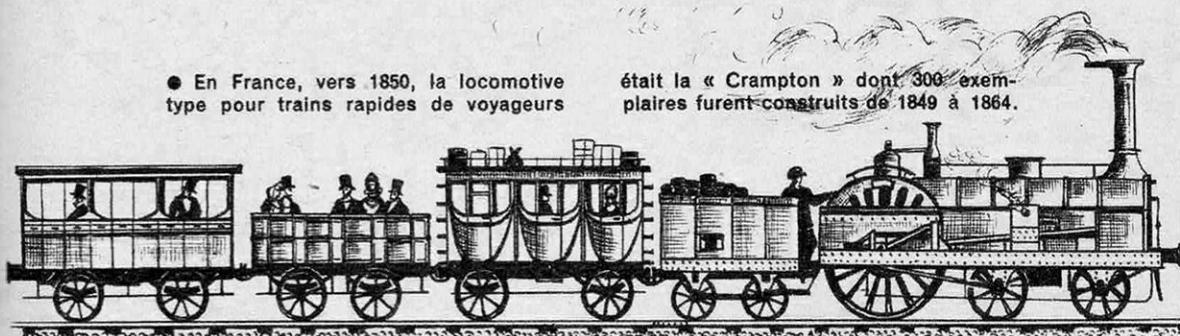
LES LIAISONS INTERNATIONALES

Grâce aux progrès réalisés dans la construction des voitures et leur aménagement (intercommunication au moyen de soufflets, wagons-lits, wagons-restaurants, voitures Pullman...), de grands trains internationaux ne tardèrent pas à relier entre elles les capitales et les plus grandes villes d'Europe.

C'est ainsi que furent mis en marche, depuis 1883, l'« Orient-Express », qui relie Paris à Constantinople, par Munich, Vienne et Budapest ; le « Calais-Paris-Rome Express » ; le « Sud-Express », de Paris en Espagne et au Portugal ; le « Nord-Express », de Paris vers l'Allemagne, la Pologne, la Russie et, plus tard, les États scandinaves ; le « Simplon-Orient-Express », qui va de Paris à Athènes et à Constantinople par l'Italie du Nord et la Yougoslavie, et qui a été prolongé par le « Taurus-Express » jusqu'au Caire, d'une part, Bassorah et Téhéran, d'autre part ; l'« Arlberg-Orient-Express » de Paris vers l'Europe centrale, par la Suisse et le

● En France, vers 1850, la locomotive type pour trains rapides de voyageurs

était la « Crampton » dont 300 exemplaires furent construits de 1849 à 1864.

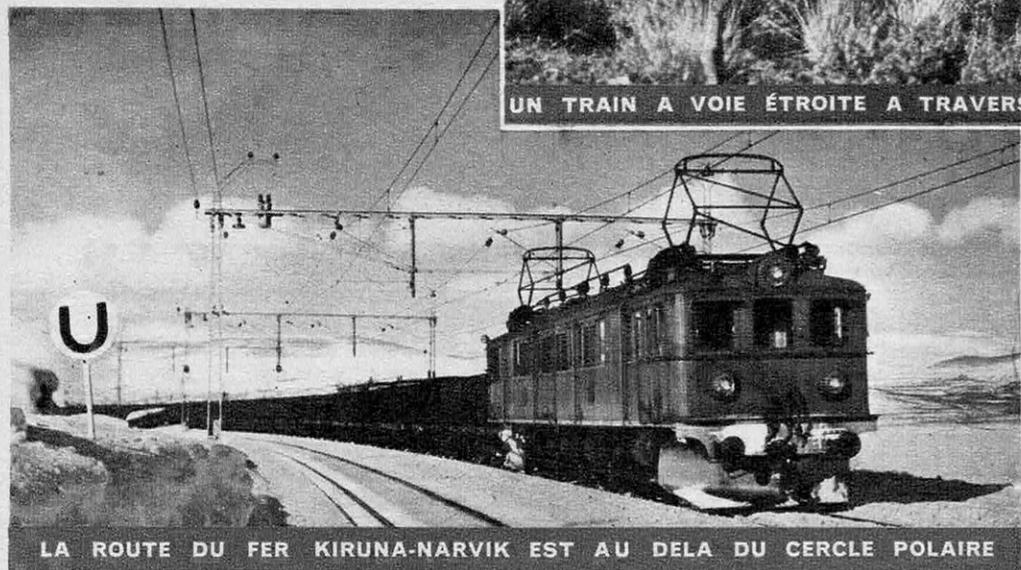




UN FERRY-BOAT AU DANEMARK

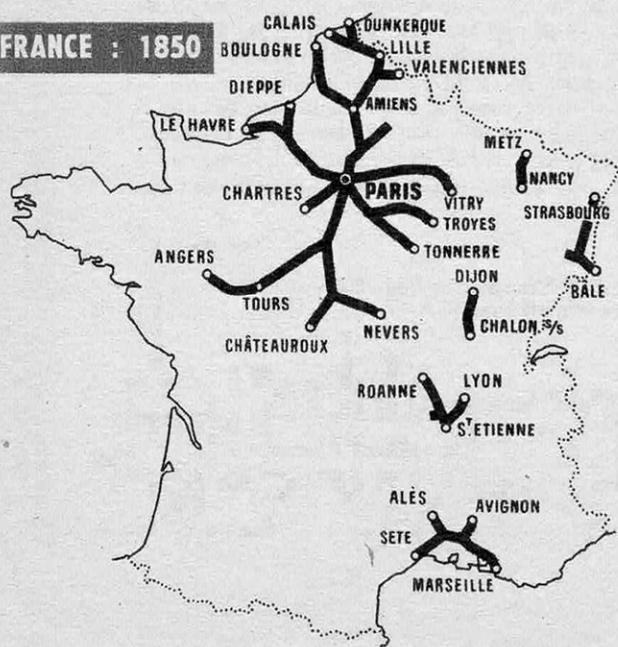


UN TRAIN A VOIE ÉTROITE A TRAVERS LA CAMPAGNE

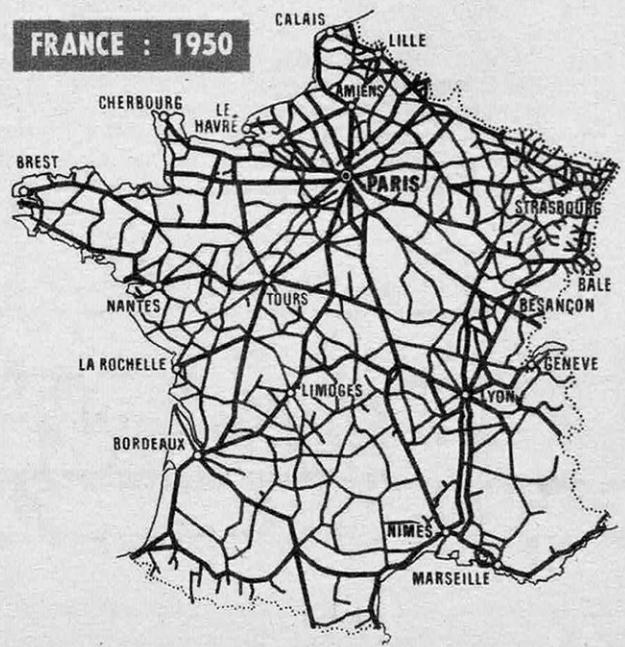


LA ROUTE DU FER KIRUNA-NARVIK EST AU DELA DU CERCLE POLAIRE

FRANCE : 1850

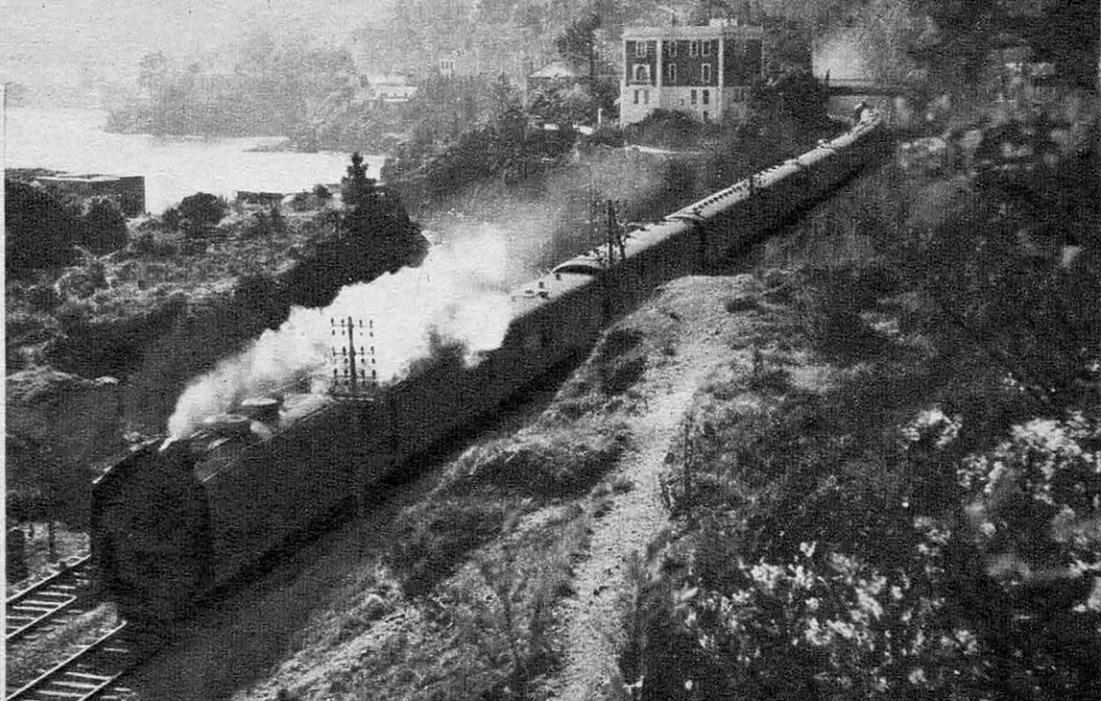


FRANCE : 1950





AU MEXIQUE



LE RAPIDE « CALAIS-MÉDITERRANÉE » RELIE LONDRES A LA RIVIERA

Tyrol ; puis l'« Oiseau bleu » et l'« Étoile du Nord », vers la Belgique et les Pays-Bas ; la « Flèche d'Or » et le « Train-ferry », vers la Grande-Bretagne. D'autres trains relient également Ostende et les Pays-Bas à l'Europe centrale, ainsi que les États scandinaves et l'Allemagne à l'Italie.

Depuis quelques années, un grand nombre de ces trains ont perdu leur caractère de trains de luxe par suite de la réduction considérable subie pendant la guerre par le parc des voitures de la Compagnie internationale des Wagons-Lits et de la démocratisation du tourisme.

Le chemin de fer est, en effet, à l'origine du tourisme international. Chaque année, des millions de personnes se rendent dans des pays voisins pour y admirer leurs sites et leurs monuments et mieux connaître leurs habitants. Avec les trains qui sillonnent tous les jours l'Europe entière, il est moins long pour un Parisien de se rendre aujourd'hui en Laponie que d'aller en 1830 en Bretagne.

Sur trois millions de touristes étrangers qui ont visité la France en 1950, près de la moitié y sont venus par le train. Et, si on tient compte du fait que les étrangers arrivés par mer et par air n'ont que très rarement amené leur voiture avec eux, on constate que les trois quarts des touristes étrangers — environ 2 300 000 — ont voyagé dans notre pays avec le train. Ainsi, par la puissance des moyens que, seuls, ils peuvent mettre à la disposition des voyageurs, et aussi par la publicité qu'ils font dans la plupart des pays étrangers, les chemins de fer français ont grandement contribué au développement du tourisme.

Que ce soit pour ses vacances, pour se

rendre dans sa famille ou pour travailler, que ce soit pour expédier ses produits ou recevoir les marchandises nécessaires à sa subsistance, l'homme moderne est plus ou moins directement intéressé par le train. En raccourcissant les distances, en multipliant les contacts entre les hommes de différentes nations et de races souvent différentes et en développant leurs échanges, le chemin de fer apparaît donc comme un facteur essentiel de progrès et de civilisation.

R. Bouygues

Inspecteur au Service Commercial de la S. N. C. F.



• Une puissante locomotive diesel et la « William Mason », de 1851, au centenaire de l'Erie Railroad.



RAILS SOUDÉS DE 700 M SUR TRAVERSES « R. S. », DE LA LIGNE CHARBONNIÈRE DU NORD

LA VOIE MODERNE A LA FRANÇAISE

L'ÉVOLUTION de la superstructure de la voie au cours des dernières décades ne montre pas de changement profond, ni de modification de conception. Sans doute, la voie s'est-elle renforcée pour supporter des charges croissantes, les traverses sont plus rapprochées, la section des rails est plus grande ; mais, en 1855, il existait déjà des rails de 6 m, pesant 36 kg au mètre, et, en 1900, le P.-L.-M. posait ses premiers rails de 24 m.

On ne saurait cependant accuser les ingénieurs d'avoir délaissé le problème, et notamment celui des joints des rails. Mais l'expérience a montré que ce point faible de la voie n'était pas sensiblement améliorable. A quoi cela tient-il ? Beaucoup plus à la dénivellation en charge, créatrice du choc, qu'à l'intervalle entre les deux rails. On a cherché à réduire le nombre de ces joints en allongeant les rails. Mais d'autres raisons s'y opposent et, jusqu'à présent, ils ne dépassent pas 18 ou 24 m en France, 30 m en Allemagne, et moins de 12 m aux États-Unis (où les joints sont généralement alternés).

Les traverses n'ont pas changé depuis plus de cent ans. Les fixations ont peu évolué et pas toujours dans un sens favorable. Le

simple tire-fond, quand ce n'est pas le plus simple crampon, est toujours à l'honneur, et seul chargé — parfois avec une selle métallique — de fixer le rail sur la traverse. Certains pays ont consenti de lourdes dépenses en adoptant des selles robustes et perfectionnées, tirefonnées aux traverses, et sur lesquelles les rails sont verrouillés et boulonnés. La réduction des frais d'entretien n'a pas compensé les dépenses d'investissement, et la robustesse même de ces fixations trop rigides a révélé de nouveaux défauts : dureté et sonorité du roulement, développement de la fameuse usure ondulatoire des rails.

Ces systèmes, en outre, s'ils assurent une fixation parfaite du rail sur la selle, reportent une partie des défauts antérieurs sur la liaison entre selle et traverse. Il faut lui assurer un entretien suivi, resserrer périodiquement les tire-fond ; faute de quoi, les selles s'incrusteront rapidement dans le bois et les tire-fond deviennent « fous ». En somme, une part importante du problème a été simplement déplacée, mais non résolue.

Les fixations par crampons, depuis longtemps abandonnées en France, laissent le rail libre de battre sur les traverses et chemi-

ner à son gré. Les traverses sont rapidement hors d'usage par usure mécanique résultant du jeu. Le bois doit donc être protégé par des selles pesantes et larges, ce qui se fait aux États-Unis où — si curieux que cela puisse paraître — la voie en est encore à l'âge du crampon enfoncé à coups de masse.

Depuis la première guerre mondiale, on a tenté, à diverses reprises, et parfois sur une vaste échelle, d'utiliser des traverses en béton armé, estimées plus durables et, en définitive, moins chères que les traverses en bois. Elles n'ont généralement pas satisfait les espoirs fondés sur elles.

Si la conception de la superstructure a si peu varié, les ingénieurs ont cependant su donner à la voie une remarquable homogénéité grâce à quoi leurs efforts ont porté avec fruit sur la recherche minutieuse d'améliorations des méthodes aussi bien que du matériel d'entretien de la voie.

Ces travaux, dominés par le souci constant de réduire les prix de revient et d'améliorer le rendement de la main-d'œuvre, ont donné des résultats remarquables. Mais il est un terme aux possibilités d'amélioration de toute nature, économies comprises, d'un système dont les bases restent toujours les mêmes. Le moment vient où un examen d'ensemble est nécessaire, où les principes mêmes doivent être remis en question, et toutes les solutions possibles soumises à une étude théorique et pratique.

C'est la mission qui a été confiée, sous l'impulsion de M. Robert Lévi, directeur du Service technique des Installations fixes, à toute une équipe d'ingénieurs de la S. N. C. F., travaillant suivant ses directives : repenser les problèmes de la superstructure, prévenir — et non plus pallier — les causes mêmes de désorganisation et de vieillissement prématuré des voies soumises au grand trafic.

Ces études, entreprises à la Libération, ont donné lieu, dès 1947, à quelques réalisations expérimentales. Devant les résultats remarquables obtenus avec la nouvelle technique de la **voie moderne à la française**, le stade des applications sur une vaste échelle a été atteint en 1950, et surtout en 1951, où il dépasse 100 km de voie.

Qu'est donc cette voie moderne de la S. N. C. F. que le public ne connaît pas encore ?

C'est une **voie presque sans joints**, dont le rail, entièrement soudé, est suspendu élastiquement sur les traverses.

UN RAIL CONTRAINT DE GARDER LA MÊME LONGUEUR

Que fait-on de la dilatation dans les longues barres ? On l'empêche tout simplement de se produire en fixant très énergiquement le rail aux traverses, qui sont elles-mêmes ancrées ou vigoureusement freinées par le ballast. Le rail est alors soumis à des efforts de

compression par temps chaud et de traction par temps froid.

Certaines précautions essentielles sont à prendre.

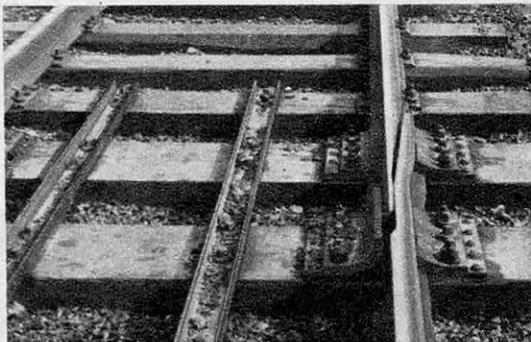
Tout d'abord, il faut poser les rails et les fixer aux traverses par une température moyenne, de façon à limiter la valeur des efforts internes.

Ensuite, il faut rendre la voie très lourde (d'où l'intérêt des traverses en béton), pour s'opposer à son soulèvement par les très grandes chaleurs (déformation par flambage).

Il faut encore fixer le rail énergiquement et sûrement à toutes les traverses, sur toute sa longueur, en lui interdisant tout glissement par rapport aux traverses. D'où l'intérêt d'attaches élastiques puissantes ne relâchant pas leur étreinte au passage des trains, ne nécessitant pas de fréquents resserrages, assurant ainsi une complète sécurité. En hiver, les longs rails sont soumis à des efforts de traction pouvant atteindre normalement une cinquantaine de tonnes par rail. Ces tractions deviennent dangereuses pour des rails vieilliss. Quand un rail fortement tendu se rompt, s'il n'est pas fortement ancré aux traverses par des attaches élastiques appropriées, les deux



● Malgré le rematriçage des éclisses et l'apport de métal au rail par arc électrique, l'usure accentuée de ce joint va imposer le renouvellement de la voie, alors que les parties courantes du rail ne sont pas encore usées.



● Les rails soudés de grande longueur de la S. N. C. F. sont munis à leur extrémités d'un joint de « dilatation », constitué par des rails à âme épaisse forgés et usinés. Ce type spécial de joint peut coulisser de 18 cm.

tronçons de rail opèrent brusquement leur retrait, de part et d'autre de la rupture, par glissement sur les traverses. Le cas s'est produit aux États-Unis, où l'on a pu constater — les crampons ne retenaient pas le rail — des lacunes de plusieurs dizaines de centimètres. C'est à tout le moins fâcheux pour la circulation. Sur le réseau de la S. N. C. F., où l'on avait choisi de souder des rails déjà vieillis — les essais avec du matériel neuf sont généralement peu fructueux, — plusieurs ruptures se sont produites par temps froid. Les rails, ancrés élastiquement aux traverses, ne se sont écartés que de quelques millimètres, l'espace d'un joint ordinaire, et les trains (de marchandises, car la S. N. C. F. a fait ces expériences sans créer de risques pour les voyageurs) ont pu continuer à circuler sans dommage jusqu'à réparation.

Il faut également garnir la voie de ballast abondant, pour que les traverses soient fortement solidarisiées avec la plate-forme, dans le sens longitudinal comme dans le sens transversal.

Les longs rails, aussi longs soient-ils, doivent, pour des raisons diverses (joints isolés de circuits de voie, raccordements à des ponts ou appareils de voie), être interrompus. Le problème de leurs extrémités se pose donc.

Aussi a-t-on mis au point un type spécial de joint à aiguilles, permettant aux extrémités des rails de se dilater librement avec une amplitude de 180 mm, largement suffisante en raison de ce que, seules, les extrémités sont autorisées à varier de longueur. Ces joints spéciaux ne causent aucun choc au passage des trains, et le voyageur ne s'en aperçoit pas.

LES ATTACHES ÉLASTIQUES

Nous avons dit que la fixation du rail sur les traverses doit être **aussi énergique que possible, indesserrable** et, par conséquent, **élastique**.

Fort heureusement, en même temps que l'étude des longs rails, les mêmes ingénieurs du Service des Installations fixes menaient des études qui donnèrent ce résultat. Il s'agissait, en 1946, lorsqu'elles furent commencées, de mettre au point une fixation spéciale du rail

sur les traverses en béton, dont l'emploi se révélait nécessaire en raison du manque de bois. Ces études portaient sur les phénomènes vibratoires produits au passage des trains, et dont l'action destructrice est particulièrement notable dans l'assemblage rail-traverse.

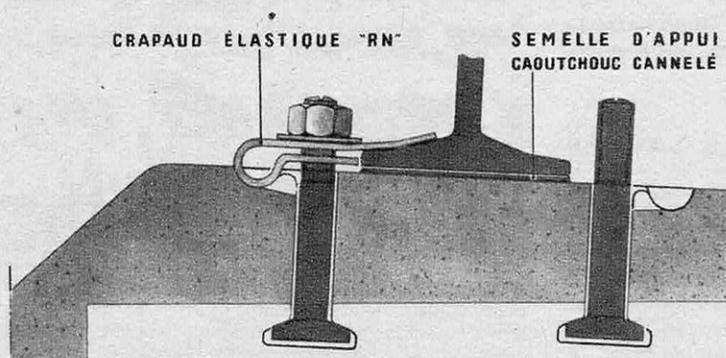
Les exigences de l'un et de l'autre problème se sont trouvées complémentaires, et la synthèse s'en fit naturellement.

Le domaine des vibrations de la voie n'a été exploré que tout récemment, et ce fut par la S. N. C. F., à l'aide d'accéléromètres à quartz piézoélectriques et d'oscillographes cathodiques, analogues à ceux qu'on utilise pour l'étude des vibrations en aviation. De nombreux enregistrements ont notamment révélé l'existence de vibrations à fréquence sonore, de l'ordre de 800 à 1 000 périodes par seconde, de faible amplitude (quelques dixièmes de millimètre), mais avec des accélérations très élevées, dépassant cent fois l'accélération de la pesanteur.

Sans doute connaissait-on déjà les effets et les manifestations de ces vibrations : desserrage spontané des boulons et des tire-fond, destruction très rapide de tous les assemblages de la voie dès l'apparition du moindre jeu, usure ondulatoire de la surface des rails révélée aux voyageurs par une sonorité insupportable de certaines voies. Mais un diagnostic précis est indispensable lorsque l'on veut supprimer la cause d'un mal. Et cette maladie coûte très cher aux réseaux : nécessité de resserrer fréquemment les tire-fond et boulons, de consolider les attaches du rail ; ce sont des opérations artisanales et délicates, qui prolongent certes la vie des traverses, mais n'empêchent pas le rail de s'incruster progressivement dans le bois, sous l'effet des battements désordonnés, et n'évitent pas aux tire-fond de devenir « fous ».

Si le bois parvient à s'accommoder tant bien que mal, par suite de sa structure, de ces phénomènes vibratoires, le béton est vaincu d'avance. C'est pour cette raison — la nécessité de soustraire le béton aux actions dynamiques redoutables du rail — que les fixations élastiques ont d'abord vu le jour. Sans elles, les traverses en béton, si solides fussent-elles, auraient vu leur emploi limité aux petites lignes.

Comment la S. N. C. F., travaillant en liaison étroite avec les bureaux d'études et laboratoires de l'industrie privée (Institut français du



← Afin d'amortir les phénomènes vibratoires, le rail est fixé élastiquement sur les traverses en béton par des crapauds « R. N. » qui l'appuient fortement sur une semelle de caoutchouc cannelé. Ici, application de ce mode de fixation aux traverses R. S. de la S. N. C. F.

Caoutchouc, Usine des Ressorts du Nord), a-t-elle résolu le problème? Sous une forme très simple — et l'on sait ce que les solutions simples d'aspect demandent de travail et de mise au point.

Le rail est posé sur le béton avec interposition d'un coussin très élastique : la semelle en caoutchouc cannelé type S. N. C. F. Pour le maintenir très énergiquement sur ce coussin, avec un effort aussi constant que possible — de l'ordre de plusieurs tonnes, — en évitant tout décollement, tout jeu générateurs de percussions et de désordres, le rail est vigoureusement serré par une paire de « crapauds élastiques R. N. ». Ces crapauds laissent au rail la permission d'effectuer de petits déplacements — sans perte de contact, sans jeu, sans chocs, — uniquement destinés à l'amortissement de l'énergie vibratoire dont il est animé au passage des trains.

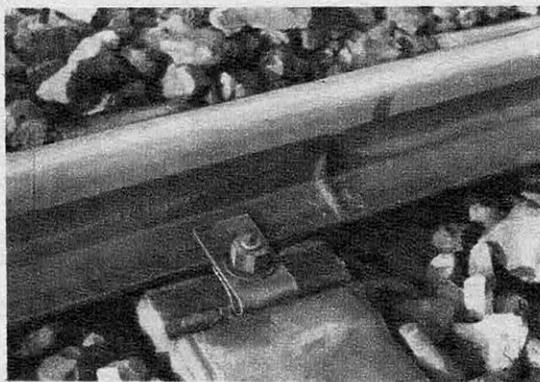
Avant de passer aux larges applications d'une technique aussi nouvelle, les ingénieurs ont procédé à de très nombreux essais. Parmi ceux-ci, les plus intéressants ont été les essais d'endurance effectués au laboratoire de la S. N. C. F. à Saint-Ouen. Une machine spéciale y soumet le rail, la traverse et, par conséquent, les fixations à essayer, à un régime permanent de vibrations très comparables à celles qui ont été mesurées dans la voie elle-même. Cette machine a reproduit en quelques dizaines d'heures, avec une étonnante identité, le processus de vieillissement des fixations les plus diverses.

Il est rare, dans le domaine de la voie, de pouvoir tirer des conclusions sur la tenue d'un dispositif nouveau sans attendre sa lente évolution « sur le tas » ; et c'est une des raisons de l'apparent conservatisme des ingénieurs de chemin de fer. La machine d'essai d'endurance sous vibrations a permis une mise au point expérimentale complète de la suspension élastique du rail en moins de deux ans.

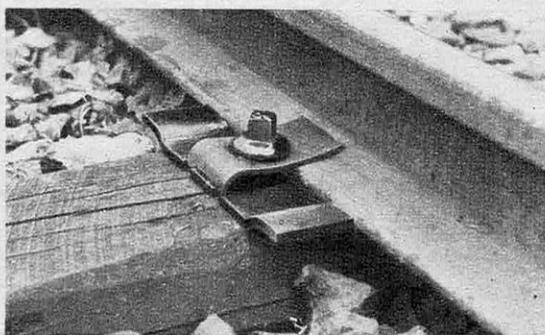
L'EXTENSION AUX TRAVERSES EN BOIS

Il aurait été dommage de ne pas profiter des possibilités offertes par la machine d'essai de Saint-Ouen pour étudier l'extension aux traverses en bois du principe de la suspension élastique amortie, mise au point d'abord pour le béton. C'est pourquoi un programme très large de mesures et d'essais comparés de dispositifs divers, nouveaux ou déjà connus en France et à l'étranger, fut entrepris. Une seconde machine d'essais dut être construite pour satisfaire aux besoins. Ces recherches ont permis non seulement de mettre au point une fixation élastique adaptée spécialement aux traverses en bois, le « griffon R. N. », homologue du « crapaud R. N. », mais encore de mettre en évidence le rôle prépondérant des vibrations à haute fréquence et des jeux dans le vieillissement de l'assemblage rail-traverse en bois.

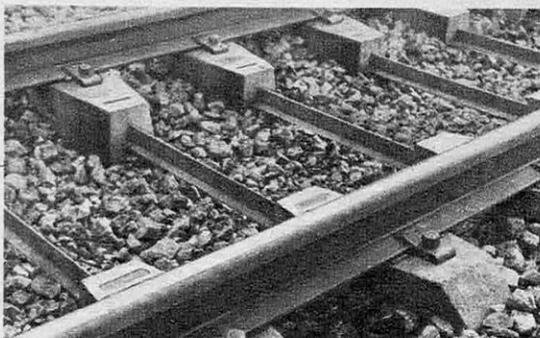
La simple interposition d'un « griffon



● La suspension élastique du rail sur traverses précontraintes S. C. O. P. se fait par crapaud « R. N. » et semelle en caoutchouc cannelé. Remarquer la soudure du rail (réalisée dans un atelier de la S. N. C. F.).



● Suspension élastique du rail sur des traverses en bois par des griffons « R. N. ». La semelle en caoutchouc cannelé est ici placée entre le rail et une selle métallique spéciale d'un type nouveau (selle S. I. D.).



● Fixation du rail par crapauds « R. N. » sur traverses mixtes « R. S. ». Les traverses étant conductrices, on doit interposer une plaque isolante entre rail et crapaud pour pouvoir utiliser la signalisation par circuits de voie.

R. N. » entre tire-fond et rail rend le tire-fond pratiquement indesserrable. La suppression de tout jeu, même dynamique, grâce à la pression énergique et permanente, parce qu'élastique, retarde dans des proportions inattendues la pénétration du rail ou de la selle dans le bois. De même, la suspension élastique du rail retarde la pénétration de la

traverse dans le ballast : le simple amortissement des vibrations donne au nivellement de la voie une stabilité trois à quatre fois plus grande qu'avec la voie classique.

Remarquons, enfin, que ces attaches élastiques « R. N. » présentent une particularité ingénieuse et très précieuse : elles jouent le rôle d'un véritable manomètre de la pression exercée à tout moment sur le rail. En effet, il suffit de jeter un coup d'œil sur l'espace séparant la lame incurvée par l'effort et le bord du patin du rail pour connaître cet effort. Ces attaches « R. N. » sont donc l'« indicateur de sécurité » des rails soudés de grande longueur.

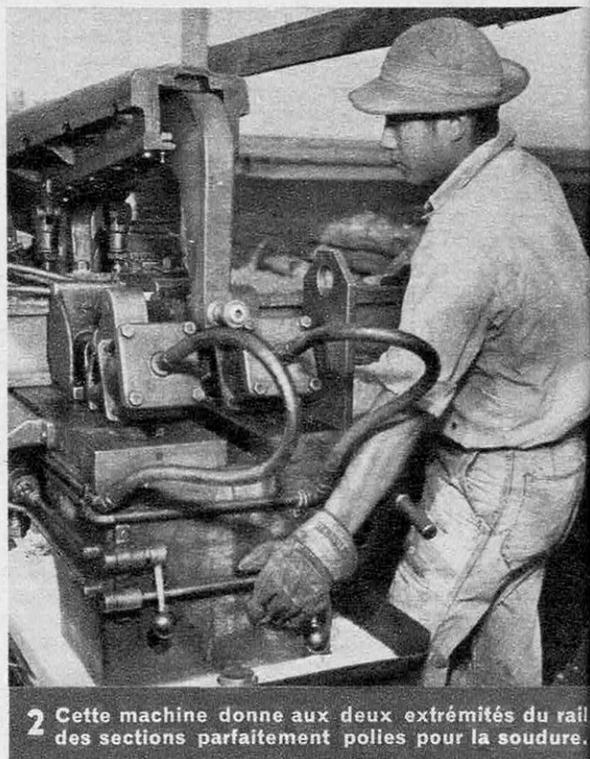
et crapauds « R. N. », et les résultats des études sur les rails soudés de grande longueur ont ouvert un vaste champ d'applications nouvelles.

La traverse en béton, par son poids et son nouveau système d'attaches élastiques, permet désormais la soudure des rails. La suppression des joints élimine les chocs les plus redoutés des traverses en béton et leur donne toutes les chances de « tenir ».

C'est maintenant avec un bon recul que l'on peut estimer les résultats obtenus avec les traverses en béton mises en voie par la S. N. C. F. depuis 1945 (environ 550 000 pièces).



1 L'Amérique expérimente aussi les rails soudés. Ici, des éléments de 13 m glissent sur des plans inclinés.



2 Cette machine donne aux deux extrémités du rail des sections parfaitement polies pour la soudure.

LES TRAVERSES EN BÉTON ARMÉ

Le béton armé, de même que le béton précontraint, supporte mal les chocs et la fatigue des vibrations. Il a toutefois l'avantage sur le bois d'être insensible à l'action du temps, d'être dur, imputrescible et incombustible, et de pouvoir être fabriqué partout. La traverse en béton présentait donc un grand intérêt, non seulement comme appoint dans la période de pénurie de bois qui a suivi la Libération, mais encore d'une manière permanente, en raison des qualités qui précèdent, dans la mesure où on pouvait la protéger des vibrations.

La mise au point de la suspension élastique du rail par semelles en caoutchouc cannelé

Les applications du béton aux traverses de chemin de fer sont d'ailleurs un domaine particulièrement difficile de la science de l'ingénieur, car les efforts et actions dynamiques auxquels les traverses sont soumises en voie échappent aux études classiques de résistance des matériaux et, bien souvent même, aux mesures directes. Les meilleurs instruments de mesure des sollicitations sont, en fait, les traverses elles-mêmes. C'est en confrontant les caractéristiques de résistance des traverses de différents types et leur comportement en voie, après avoir analysé les causes de dégradation ou de fissuration, et après les avoir reproduites en laboratoire, qu'il est possible, par un travail de synthèse, de définir les caractéristiques de forme et de

résistance permettant de supporter les efforts particulièrement complexes subis en voie par les traverses en béton.

Ces études ont abouti à deux types de traverses :

— les traverses mixtes, en acier et béton armé normal ;

— les traverses de forme monolithe, en béton précontraint.

Les traverses mixtes en acier et béton armé. — Le béton armé ordinaire ne peut prétendre aux mêmes résistances à la flexion simple que le béton précontraint. Il est donc absurde de penser construire avec ce matériau

situés sous chaque rail est préservé de la plupart des efforts de flexion que les traverses monolithes ont à subir. Les blocs séparés ne sont soumis qu'à des flexions très modérées pour répartir les charges sur le ballast. Le béton armé, avec son âme en acier et ses armatures secondaires, résiste alors avec d'autant plus d'aisance que la section des blocs peut être importante sans que l'ensemble de la traverse soit trop lourd.

La tenue des vieilles traverses mixtes « Vagneux », très développées en France et en Afrique du Nord depuis plus de vingt ans, illustre le bien-fondé de cette conception.



3 Les rails soudés électriquement sont meulés et offrent des surfaces de roulement sans aspérités.



4 Ces rails de 200 m de long, flexibles comme des rubans, sont transportés en wagons et posés sur la voie.

des traverses monolithes de forme prismatique. De telles traverses « monolithes », posées sur voie lourde et rapide, ont en effet à subir, par leur forme, leur rigidité, par la masse nocive de leur partie médiane, des flexions qui provoquent la fissuration et la destruction rapides du béton. Cette forme est le principal handicap des traverses précontraintes (nécessairement monolithes), et il faut toutes les qualités que confère la précontrainte pour qu'elles puissent résister, au prix de certaines précautions, à la pose et aux opérations d'entretien de la voie.

Par contre, en réalisant une traverse « mixte » dont l'ossature principale est une entretoise en acier, à la fois élastique et très résistante, le béton armé constituant les blocs massifs

La nouvelle traverse R. S. de la S. N. C. F. est une traverse mixte, où l'entretoise en acier dur, obtenue par relaminage de vieux rails, joue le rôle d'une véritable traverse métallique, dans laquelle viennent s'ancrer les boulons de fixation des rails. Les blocs de béton armé donnent la masse et la large surface d'appui sur le ballast à l'aplomb des rails, le seul endroit où c'est nécessaire.

Cette traverse répond aux mêmes spécifications de résistance que les traverses précontraintes.

L'expérience a montré qu'elle résistait parfaitement au trafic le plus lourd et le plus rapide, même sous les joints de rails en très mauvais état, emplacement volontairement

choisi pour les éprouver. L'insensibilité pratique de cette traverse aux actions dynamiques de la voie tient à sa forme et à la concentration des masses sous le rail, à son élasticité et, bien entendu, au système de suspension élastique (semelle en caoutchouc cannelé et crapaud « R. N. ») mis au point pour les traverses précontraintes, et dont elle est équipée.

Les traverses en béton précontraint, construites industriellement pour la S. N. C. F., dérivent, jusqu'à présent, des premières traverses prototypes, à fils parallèles, conçues par M. Freyssinet, et mises en voie, à titre d'essai, dès 1945. Elles ont fait l'objet, depuis cette époque, d'une longue mise au point, en collaboration étroite avec les constructeurs. Tout récemment, des retouches ont été apportées aux spécifications techniques pour diminuer la vulnérabilité aux chocs, sous les joints ou les défauts de surface des rails. Les dernières données fournies par les mesures des accélérations de vibrations dans la voie ont, en effet, permis de déceler et de prévenir certaines actions dynamiques jusqu'alors inconnues, qui sont à l'origine de nombreux déboires, notamment dans certains pays voisins où l'on avait cru construire solide en fabriquant massif.

Les traverses précontraintes françaises sont originales par :

- leur forme élégante, très amincie dans le milieu, ce qui leur donne une certaine souplesse et réduit au minimum la masse médiane, siège de fatigues redoutables pour le béton ;

- le choix des aciers de précontrainte, adhérents et étroitement associés au béton sur toute leur longueur ;

- la précontrainte très élevée, judicieusement répartie dans les différentes sections, de façon à ne présenter qu'une très faible excentricité sous le rail ;

- l'emploi d'armatures secondaires en acier doux, indispensables pour diminuer la vulnérabilité du béton précontraint aux efforts de cisaillement dynamique et de torsion.

Les deux types utilisés jusqu'à présent par la S. N. C. F. : traverses S. C. O. P. et traverses S. N. C. F.-Vallette-Weinberg, ne diffèrent que par la nature des aciers de précontrainte et par le procédé de réalisation industrielle.

RÉSULTATS ET VUES D'AVENIR

La voie moderne à la française, élastique et sans joints, est née très modestement. Les ingénieurs, en la créant, n'avaient pas l'ambition du prestige. Ils voulaient simplement l'abandon d'une superstructure qui n'était plus adaptée aux données actuelles. Son maintien grevait lourdement le budget. L'idée directrice fut la suppression des joints, dont les conséquences furent économiquement mises en valeur par une étude approfondie de chacun des postes principaux du budget de renouvellement et d'entretien de la voie.

Guidée par ces considérations économiques, fondée sur des données scientifiques et expérimentales sérieuses, l'étude a pu aboutir sans jamais compromettre la qualité première du transport ferroviaire : la sécurité.

Il est encore trop tôt pour chiffrer les économies rendues possibles par cette modernisation radicale de la voie. Son domaine d'application ne s'étend encore que sur la deux-centième partie des lignes principales, et depuis trois ans seulement. On peut cependant dire que :

- la suppression des joints et l'amortissement des vibrations, génératrices d'usure ondulatoire, permettront de doubler la durée des rails sur les voies principales ;

- les attaches élastiques du rail sur le bois comme sur le béton feront disparaître presque complètement les lourdes dépenses de main-d'œuvre affectées jusqu'à présent aux resserrages et consolidations des tire-fond, et prolongeront la vie des traverses ;

- les opérations d'entretien du nivellement seront largement espacées.

Ces économies peuvent atteindre les deux tiers des dépenses actuellement indispensables.

Mais la voie n'est pas seule à bénéficier de ce renouveau. Des mesures faites avec wagon dynamométrique ont montré que, sur une voie sans chocs, le travail nécessaire pour remorquer un train était réduit d'une appréciable proportion, de l'ordre de 20 % aux petites vitesses.

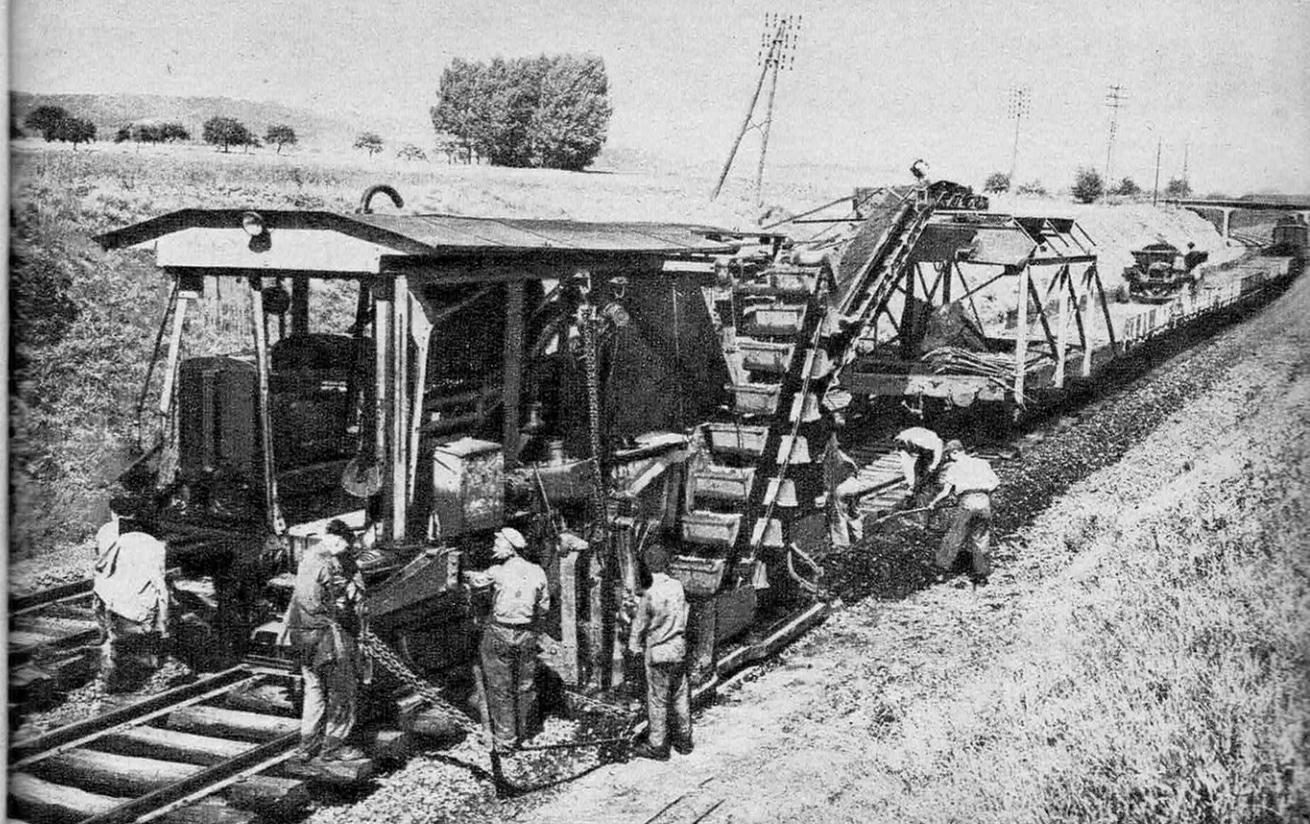
C'est une économie directement réalisée sur la consommation de combustible ou d'électricité des machines. Ajoutons-y la simplification de construction des locomotives électriques, la réduction de l'entretien du matériel roulant, l'accroissement de la charge utile et de la vitesse des trains, et l'on se fera une idée de la véritable portée de la révolution qui s'opère.

Enfin, il faut avoir roulé à grande vitesse sur les sections de lignes déjà équipées de rails soudés de 800 m de long, et spécialement sur celles posées sur traverses en béton, pour apprécier le progrès considérable qui vient d'être accompli. C'est un contraste saisissant avec la voie classique. Aucune publicité n'a été faite, et peu de voyageurs ont eu l'occasion de parcourir les sections de voie moderne, jusqu'à présent réservées aux artères affectées au trafic harassant des trains de marchandises. Cela n'a pas empêché la visite de nombreux ingénieurs étrangers, curieux de cette nouvelle technique.

La prudente et méthodique période des essais minutieux est maintenant terminée. Mettant à profit ses renouvellements de voie annuels, la S. N. C. F. va étendre rapidement à tout son réseau cette voie ferrée à la française, économique, confortable, rapide et, par-dessus tout, silencieuse.

R. Sonneville

Ingénieur à la S. N. C. F.



EQUIPEMENT POUR L'ÉPURATION MÉCANIQUE DU BALLAST SUR LES VOIES FRANÇAISES

L'ENTRETIEN DES VOIES ET LEUR RENOUVELLEMENT

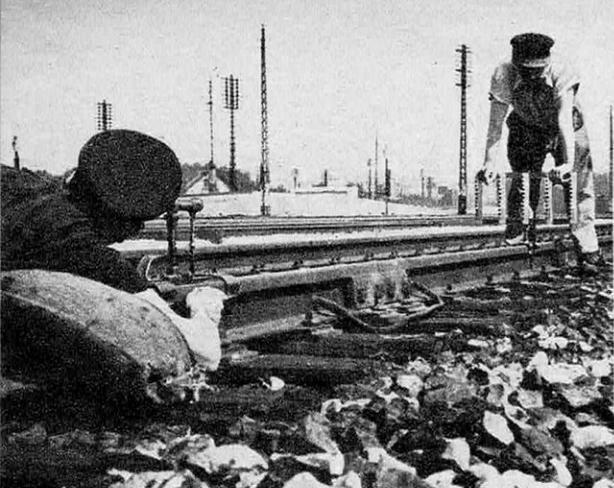
LA voie ferrée classique est constituée par deux files de rails en acier attachés sur des traverses qui reposent elles-mêmes sur la plate-forme par l'intermédiaire d'un matelas de ballast.

On utilise aujourd'hui, en France, des rails Vignole en acier de 70 kg de résistance au millimètre carré, d'un poids de 50 kg au mètre linéaire et de 18 m de long. Ces rails sont assez peu sensibles à l'action des agents atmosphériques ; ils s'oxydent, particulièrement au voisinage de la mer (air salin) et dans les tunnels (fumées acides), mais il est exceptionnel que cette oxydation entraîne leur retrait. Quant à l'action des charges roulantes, elle se manifeste par une usure qui ne dépasse pas 0,5 mm par an, lorsque le poids total des essieux qui circulent sur la voie est de 50 000 t par jour (ce qui correspond sensiblement au trafic d'une ligne telle que Paris-Orléans). Mais il est exceptionnel, là encore, que l'usure du champignon impose le remplacement des rails. Du seul point de vue de leur résistance mécanique, les rails pourraient être maintenus en service jusqu'à ce que l'usure atteigne

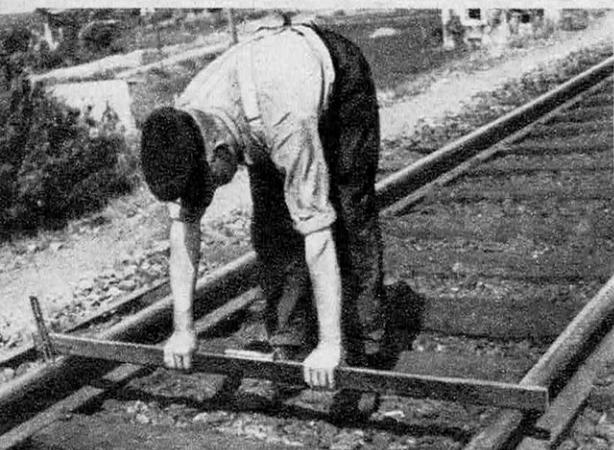
16 mm. Cependant, ils sont habituellement remplacés, sur les lignes à grand trafic, avant qu'elle atteigne 6 mm. Car les écrasements superficiels, particulièrement aux abords des joints, ne permettent plus d'assurer le confort et risquent d'entraîner des ruptures. Les rails ainsi retirés des grandes lignes sont réutilisés, après que leurs extrémités ont été recoupées, d'abord sur des lignes moins importantes, puis sur les voies accessoires des gares. C'est ainsi qu'à la S. N. C. F., sur 80 000 km de voie environ, 20 000 à peine sont régulièrement renouvelés avec des rails neufs. Enfin, les rails hors d'usage que vend la S. N. C. F. n'ont généralement perdu que 10 à 15 % de leur poids.

En général, les traverses mesurent 2,60 m de longueur, 0,25 m de largeur et 0,15 m d'épaisseur. Les voies françaises récentes comptent 1 722 traverses au kilomètre, espacées d'environ 0,60 m d'axe en axe, ce qui laisse entre elles un vide de 0,35 m, suffisant pour permettre l'entretien de la voie.

Comme toutes les pièces de bois soumises à des alternances de sécheresse et d'humidité,



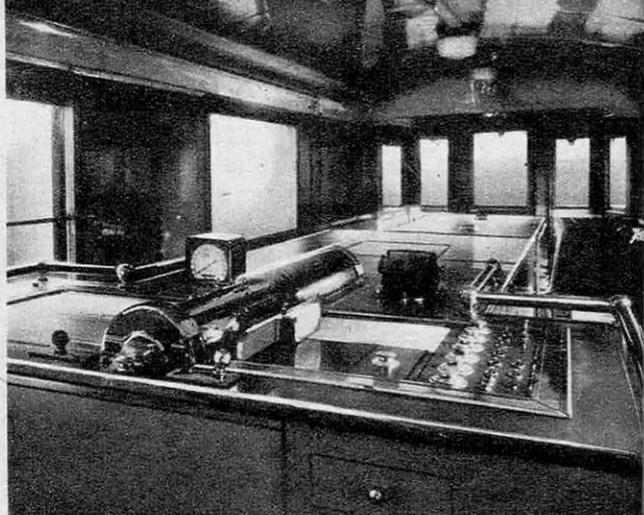
● Pour le nivellement de la voie, les cantonniers emploient ce viseur dont la lunette a un grossissement égale à 20 et comporte un réticule à deux fils croisés.



● La différence de niveau entre les deux files de rails est mesurée au moyen d'une règle et d'un niveau gradué que l'on dispose transversalement sur la voie.



● Pour repérer les traverses « danseuses », on laisse tomber sur chaque traverse une « canne à boule » et on écoute le son, creux ou plein, produit par le choc.



VOITURE S. N. C. F. DE CONTROLE DES VOIES

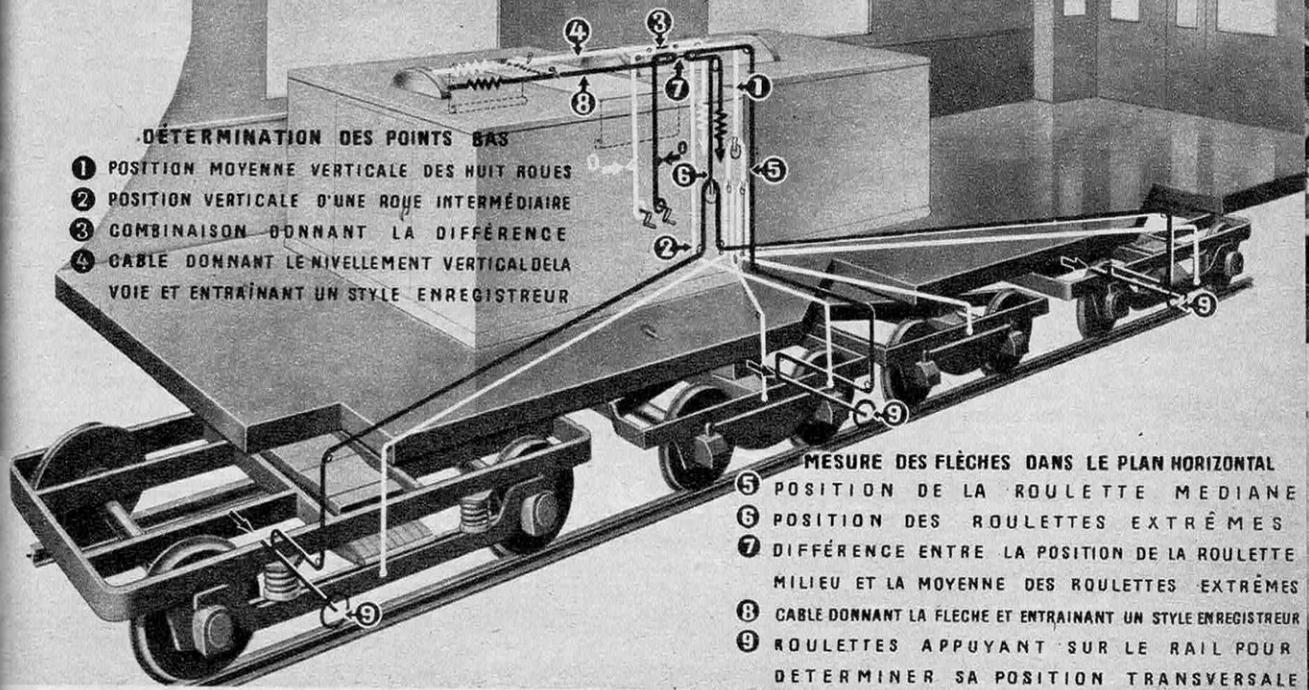
Elle enregistre en roulant les irrégularités géométriques de la voie. Les mesures s'effectuent par des procédés mécaniques : systèmes de câbles et de poulies déplaçant des styles enregistreurs. Ci-dessus : la table d'enregistrement. Ci-contre : la détermination des points bas pour nivellement vertical de la voie et la mesure des flèches dans le plan horizontal.

les traverses sont sensibles aux agents atmosphériques ; ceux-ci provoquent peu à peu leur pourriture, malgré le traitement à la créosote sous pression qu'elles ont subi, et aussi la formation de fentes qui risquent de déconsolider les tire-fond. Enfin, sous l'action dynamique des charges roulantes, le rail a tendance à s'incruster dans la traverse, les tire-fond qui fixent le rail se desserrent et les entailles qui maintiennent l'écartement des rails se déforment. Mais ce mécanisme de destruction des traverses est lent ; une surveillance attentive et un bon entretien permettent de maintenir en service pendant vingt ou trente ans les traverses de bois ; la S. N. C. F. en consomme cependant près de 6 millions chaque année.

Le ballast est généralement constitué de pierres dures, cassées, ou de laitier de hauts fourneaux concassé. Il doit conserver en service des qua-



● La hauteur dont une traverse « danseuse » s'enfonce sous le poids d'un train est mesurée à l'aide d'un « dansomètre » qui détermine la quantité de gravier à « souffler ».



DÉTERMINATION DES POINTS BAS

- 1 POSITION MOYENNE VERTICALE DES HUIT ROUES
- 2 POSITION VERTICALE D'UNE ROUE INTERMÉDIAIRE
- 3 COMBINAISON DONNANT LA DIFFÉRENCE
- 4 CABLE DONNANT LE NIVELLEMENT VERTICAL DE LA VOIE ET ENTRAÎNANT UN STYLE ENREGISTREUR

MESURE DES FLÈCHES DANS LE PLAN HORIZONTAL

- 5 POSITION DE LA ROULETTE MÉDIANE
- 6 POSITION DES ROULETTES EXTRÊMES
- 7 DIFFÉRENCE ENTRE LA POSITION DE LA ROULETTE MILIEU ET LA MOYENNE DES ROULETTES EXTRÊMES
- 8 CABLE DONNANT LA FLÈCHE ET ENTRAÎNANT UN STYLE ENREGISTREUR
- 9 ROULETTES APPUYANT SUR LE RAIL POUR DÉTERMINER SA POSITION TRANSVERSALE

lités de perméabilité, d'incompressibilité et de résistance, tout en restant suffisamment meuble pour pouvoir être facilement travaillé et donner à la voie une certaine élasticité. Les poussières, les scories qui tombent des locomotives, les matériaux pulvérulents (sable, ciment, terre, charbon, minerais...) provenant de wagons non étanches tendent à colmater le ballast ; en outre, les pierres s'usent peu à peu par frottement ou se cassent sous la charge des essieux. Il est donc indispensable de le renouveler ou de l'épurer de temps en temps pour lui rendre ses qualités initiales.

Ainsi la voie ferrée constitue un ensemble dont les qualités ne peuvent être maintenues qu'au prix d'une surveillance et de soins constants ; en effet, si le vieillissement des matériaux est relativement lent, leurs assemblages

(joints des rails, attaches des rails sur les traverses) sont beaucoup plus sensibles et les moindres défauts, s'ils n'étaient corrigés en temps utile, s'amplifieraient rapidement. En France, on consacre à cette surveillance et à cet entretien un personnel important. D'autres pays, au contraire, les États-Unis en particulier, préfèrent ne pas attendre que le vieillissement exige l'intervention du personnel et procèdent à des renouvellements beaucoup plus fréquents.

L'ENTRETIEN

Comme l'exprime clairement sa traduction anglaise : « maintenance », l'entretien a pour but de maintenir aussi longtemps que possible la voie dans ses qualités initiales. Il comporte deux séries d'opérations principales :

— celles qui traitent le matériel (rails, traverses et leurs assemblages) : resabotage des tables d'appui du patin du rail sur les traverses, réfection par débardage des épaulements des traverses, consolidation des tire-fond, frettage des traverses fendues, rattrapage des jeux entre éclisses et rails, rectification de l'ouverture des joints ;

— celles qui rendent à la voie, en plan et en profil, son assise et son nivellement.

La **révision intégrale** a un caractère systématique auquel il ne peut être dérogé sous aucun prétexte ; sa périodicité dépend des divers éléments qui contribuent à la fatigue et à l'usure d'une ligne ou section de ligne : nombre et vitesse des trains, nature et âge de la voie, conditions géographiques et climatiques. Elle comprend, en particulier :

— la visite complète de tous les éléments de la voie ;

— la vérification et, s'il y a lieu, la rectifi-



● Une pelle doseuse verse dans la trémie d'un « souffleur » la quantité exacte de gravier nécessaire pour rehausser le « moule » sur lequel repose la traverse.

cation de l'ouverture des joints, ainsi que la correction du travelage ;

— la révision systématique du serrage des attaches ;

— la remise en état ou le remplacement des matériaux défectueux ;

— le nivellement continu et le dressage.

La **révision réduite** a pour but de maintenir dans l'intervalle de deux révisions intégrales les qualités de tenue et de sécurité de la voie. Elle comporte principalement le nivellement et le dressage de la voie, ainsi que le serrage des attaches. Elle n'est exécutée qu'en tenant compte de l'état réel de la voie et non plus systématiquement d'après une périodicité fixe.

Les **grosses réparations** comprennent certaines opérations exceptionnelles : assainissement de la plate-forme, rectification systématique des courbes, délardage mécanique en série des épaulements, remplacement systématique des éclisses. Ces opérations sortent, en général, du cadre des travaux courants des brigades d'entretien de la voie, en raison de leur nature ou de leur importance ; elles sont, par conséquent, exécutées le plus souvent par des entreprises.

Rendre une forme correcte aux surfaces d'appui des traverses, cheviller les trous défectueux, dévisser et revisser les tire-fond, changer les éclisses, rebourrer les traverses sont des opérations qui, a priori, paraissent banales et n'exigent qu'un peu de pratique, mais aucune technicité. En réalité, ces petits problèmes présentent un très grand intérêt et l'analyse serrée par les ingénieurs des opérations correspondantes a conduit à des perfectionnements nombreux qui se sont traduits par des économies importantes et par une qualité remarquable du travail effectué. Les progrès ont surtout été sensibles dans deux domaines : l'outillage et les méthodes de

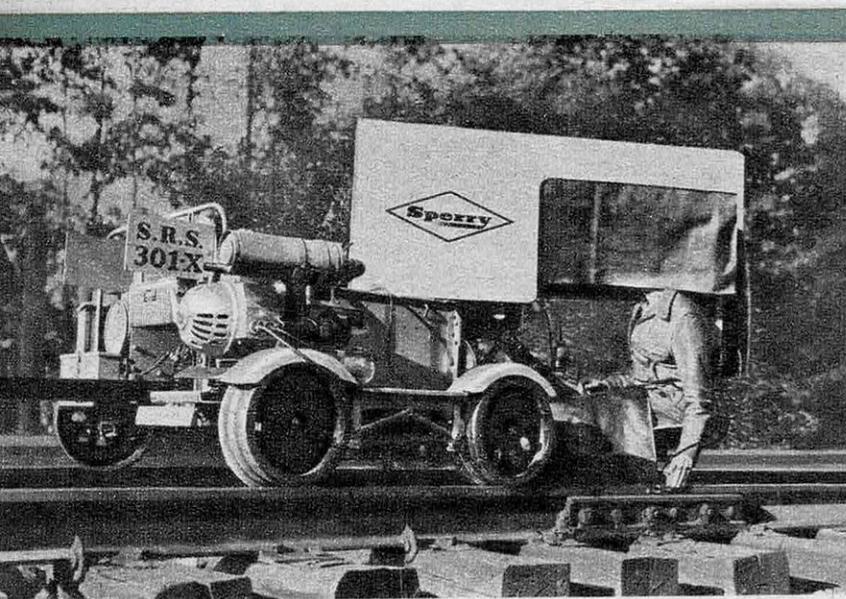
travail. Le travail du bois, par exemple, représentait autrefois le plus clair de l'activité des cantonniers qui maniaient, à cet effet, l'outil rustique qu'est la herminette. Rares sont maintenant les opérations qui en justifient encore l'emploi ; pour refaire les épaulements sous les tire-fond on utilise plutôt une délardeuse mécanique dont le niveau d'attaque est réglé avec soin et qui rectifie en série un grand nombre de traverses. Le chantier est complété par des tirefonneuses et détirefonneuses mécaniques. De même pour remettre en état les éclissages, on a cessé d'utiliser de simples fourrures à épaisseur constante et on emploie maintenant des pièces façonnées d'après la forme exacte des portées d'éclissage, ou, mieux, des éclisses rematricées compte tenu de l'usure des rails à assembler.

La rectification du nivellement de la voie par la méthode du « soufflage mesuré » est un exemple caractéristique d'organisation scientifique du travail.

Au passage des trains, le ballast se tasse peu à peu sous les traverses, formant un « moule » sous leur face inférieure. Pour rétablir le nivellement, il faut rehausser ce moule en certains endroits.

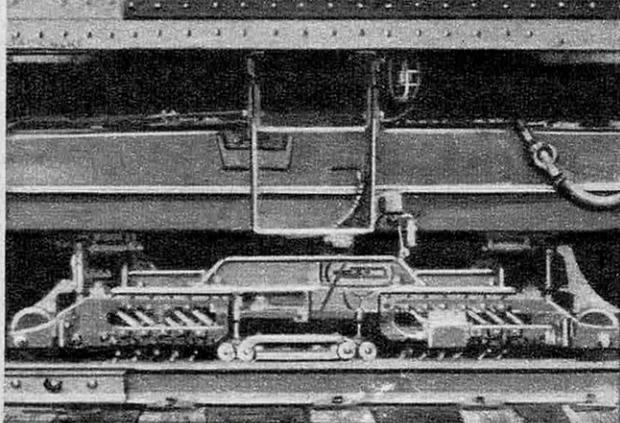
Le relèvement qu'il faut réaliser en chaque point est la somme du défaut visible de la voie, c'est-à-dire du « creux » du rail au repos, et du défaut invisible qui se manifeste seulement sous la charge des essieux au passage des trains.

Pour mesurer les défauts visibles, on détermine d'abord, à l'œil, les points hauts de chacune des files de rails et on étudie, en chacun de ces points, le nivellement transversal au moyen d'une règle et d'un niveau. Les corrections de nivellement ne pouvant se faire que par relevage des traverses, il faut évidemment s'aligner sur la file qui comporte les points hauts les plus élevés. On détermine ainsi la valeur du relevage du rail bas qui est

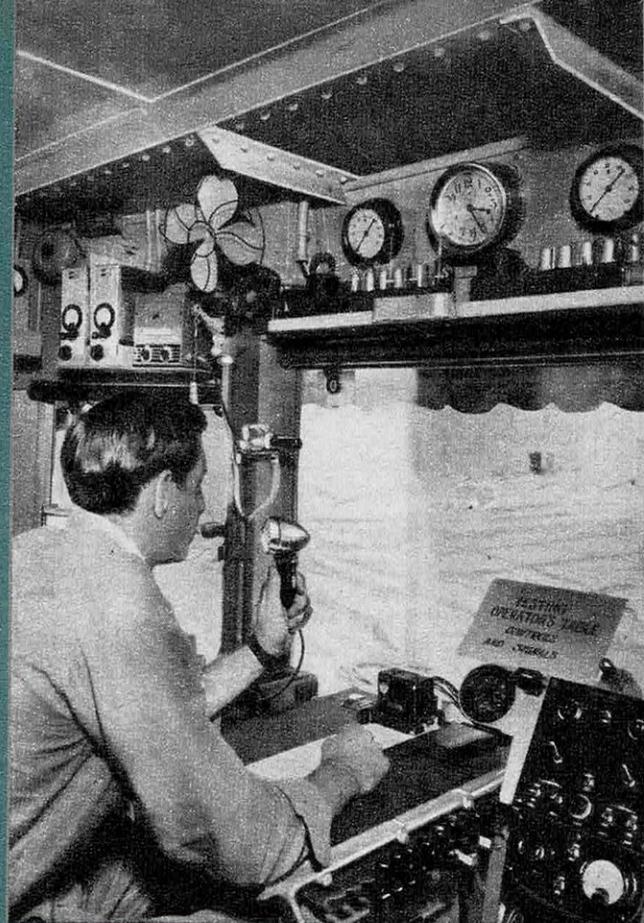


SONDAGE DES RAILS PAR LES ULTRASONS

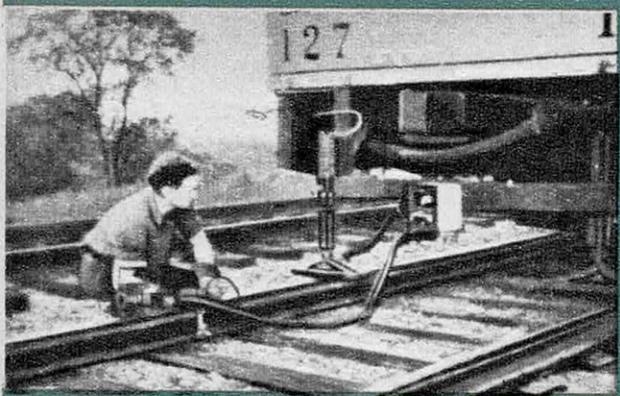
Ce wagonnet automoteur Sperry ausculte les rails au moyen d'un appareil de sondage par ultrasons. La sonde, que l'on voit ici appliquée sur l'extrémité d'un rail, émet à intervalles réguliers un bref signal ultrasonore. Si ce signal rencontre une discontinuité du métal (qui peut être le logement d'un boulon d'éclisse, mais aussi une fente préparant la rupture), le signal se réfléchit anormalement et revient s'inscrire, sous la forme d'un petit trait vertical, sur un oscillographe que l'opérateur, à l'abri de la lumière, observe en permanence.



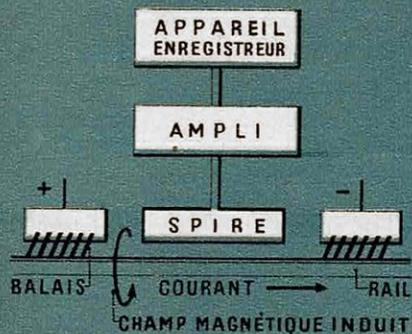
● L'organe explorateur du wagon Sperry groupe les deux balais qui envoient le courant dans le rail et les spires qui détectent les variations du champ.



● A la table d'enregistrement du wagon Sperry, l'opérateur surveille en permanence ses graphiques. Chaque anomalie fera l'objet d'un examen détaillé.



● Un défaut ayant été repéré, on examine le rail. Après décapage de sa surface, un détecteur à main plus précis recherche la nature exacte du défaut.



● Un schéma de principe (très simplifié) de l'appareil d'« auscultation » des rails utilisé sur les voitures Sperry.



LA DÉTECTION MAGNÉTIQUE DES DÉFAUTS DU RAIL

Quand les défauts apparaissent dans l'acier d'un rail, la résistance électrique du métal s'en trouve modifiée. Le wagon Sperry, dont plus de 300 unités sont en service aux U. S. A., utilise cette propriété. Il comporte un générateur de courant continu qui, par l'intermédiaire de deux balais, fait passer dans le rail un courant de grande intensité (2 500 A) sous une tension constante de 1 V. Le courant crée un champ magnétique induit dont les lignes de force (qui s'enroulent autour

du rail) sont recoupées par les spires d'une bobine située dans un plan vertical au-dessus du rail, entre les deux balais. Les variations de résistance du rail au passage du courant engendrent de faibles variations d'intensité et donc de champ magnétique et celles-ci, amplifiées et enregistrées, indiquent l'emplacement des anomalies. Des relais commandent alors automatiquement la projection d'un jet de peinture blanche à l'endroit précis où le rail manifeste un défaut.

nécessaire pour rétablir le nivellement transversal. Sur chacune des files de rails, on détermine ensuite, à l'aide d'une mire que l'on déplace et d'un viseur optique, les relevages à effectuer pour obtenir un nivellement longitudinal correct.

Pour mesurer les défauts invisibles, on repère au préalable les traverses danseuses : on laisse tomber de 30 cm de hauteur une « canne à boule », c'est-à-dire une tige de fer portant une boule de fonte de 7 kg, sur la tête des traverses. Un son creux produit par le choc permet de reconnaître les traverses « danseuses ». La valeur des vides sous les traverses est mesurée au moyen de « dansomètres » qui mesurent la hauteur dont chaque traverse s'enfonce au passage d'un train.

Le relèvement total à effectuer en chaque point est la somme des défauts visibles et invisibles ainsi mesurés, d'où on déduit la quantité exacte de gravillon à « souffler » sous chaque traverse. Elle est mesurée au moyen d'une « pelle doseuse » et déposée par des « pelles souffleuses », petites trémies qu'un cantonnier (souffleur) appuie contre la face latérale de la traverse, préalablement dégarnie et soulevée au moyen de crics, et dans laquelle un autre cantonnier (doseur) verse le contenu de la pelle doseuse. Des lames d'acier, auxquelles le souffleur donne un mouvement alternatif, glissent sous la traverse et répartissent le gravillon sur le moule.

La généralisation de cette méthode, mise au point par M. Lemaire, ancien Directeur Général de la S. N. C. F. a considérablement amélioré la qualité et le rendement du nivellement. Le soufflage mesuré a permis d'économiser environ 18 % des effectifs affectés à l'entretien des voies de la S. N. C. F. D'autre part, la durée moyenne du matériel de voie, pour l'ensemble de la S. N. C. F. a été ainsi portée de trente à trente-trois ans environ, soit un gain de 10 %. Pratiquement, en tenant compte des dépenses d'outillage, le soufflage mesuré a permis d'économiser environ 25 % des dépenses consacrées à l'entretien des voies.

Le soufflage mesuré, tel qu'il est pratiqué en France, a été étudié par de nombreux réseaux étrangers ; en particulier, la plupart des pays européens s'y intéressent.

L'ORGANISATION ET LA MÉCANISATION DE L'ENTRETIEN

Le manque d'entretien dont avaient souffert les voies françaises pendant la guerre et surtout l'impossibilité d'y remplacer en temps utile les matériaux usés ont souvent nécessité, depuis la Libération, des travaux de grosses réparations dépassant le cadre normal de la révision intégrale.

La densité anormalement élevée des opérations à effectuer justifiait sur ces lignes la concentration d'un personnel nombreux, pourvu de moyens puissants. Ces deux conditions militaient en faveur d'une organisation scien-

tifique du travail qui devait permettre d'atteindre le rendement maximum :

— en déterminant à l'avance le travail à faire en chaque point ;

— en approvisionnant et distribuant en temps utile tous les matériaux nécessaires ;

— en divisant le travail en opérations élémentaires de façon que chaque homme eût un travail simple, toujours le même, à effectuer sans perdre son temps en allées et venues pour changer d'activité et d'outils ;

— en munissant tous les hommes de tous les outils dont ils avaient besoin pour le travail à effectuer ; l'emploi de brouettes ou de casiers pour le transport des petits outils (clés, pinces) et des matériaux (tire-fond, boulons, rondelles, chevilles, graisse, huile...), permet d'ailleurs des gains de temps appréciables ;

— en déterminant l'effectif de chaque groupe de travail de manière que tous les groupes marchent à la même allure, évitant ainsi de se gêner mutuellement ;

— en exigeant que ces groupes aient toujours le même effectif.

Sur ces principes, des graphiques d'organisation ont été établis pour chaque chantier.

L'étude des principales opérations d'une révision intégrale a montré qu'il y avait intérêt à mécaniser :

— le serrage et le desserrage des tire-fond ;

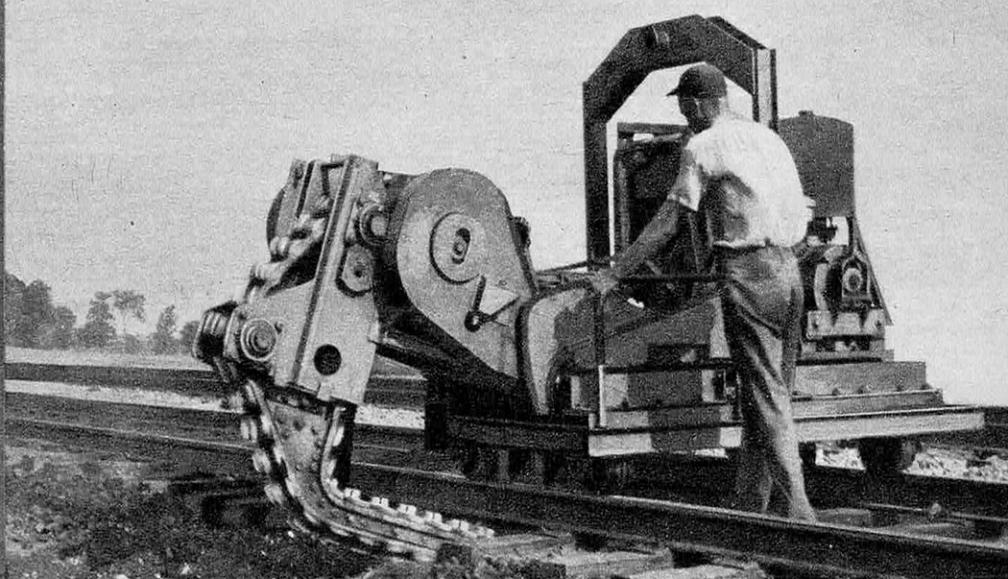
— le perçage des traverses ;
— le délardage des traverses en voie Vignole et le resabotage des traverses en voie à double champignon.

Pour chacune de ces opérations, on a utilisé de préférence des engins autonomes ; les groupes électrogènes et leurs câbles, les compresseurs et leurs tuyaux sont encombrants et peu pratiques surtout sur les lignes à fort trafic ou qui ne sont pas munies de pistes latérales de circulation.

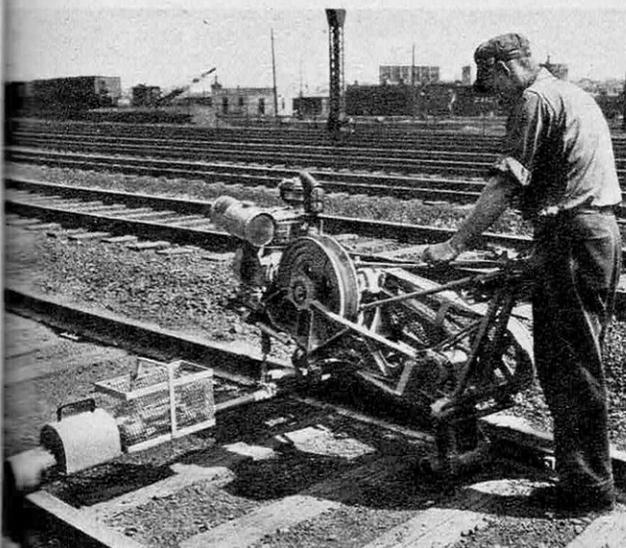
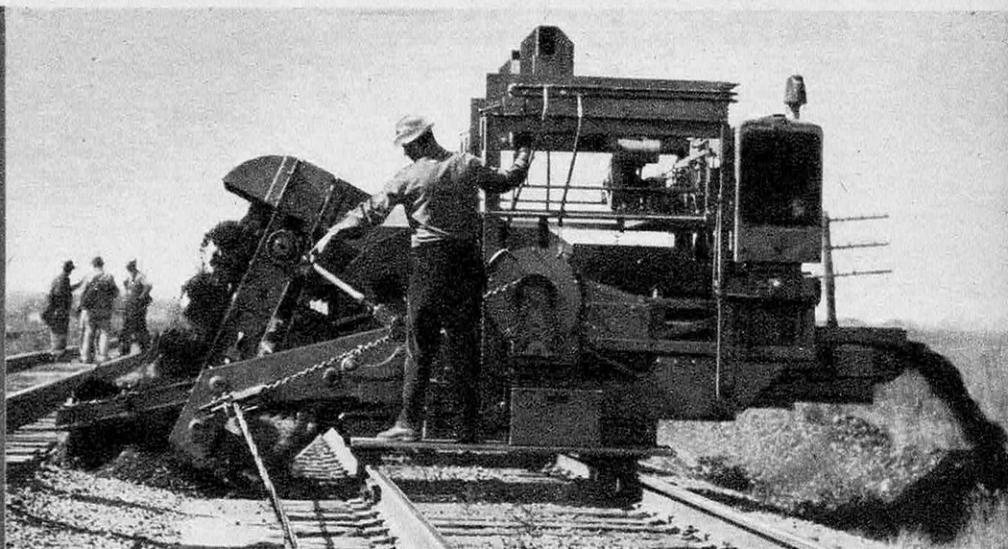
L'emploi d'équipes massives mécanisées a permis de rattraper l'arriéré d'entretien ; mais il ne peut être qu'exceptionnel, car cette méthode exige, pour être rentable, une quantité anormale de travaux de réparation à effectuer. D'autre part, elle enlève au chef de canton et à son personnel une grande partie de leur initiative et de leur responsabilité, ce qui n'est pas sans inconvénients graves : l'organisation actuelle des Services de la voie en France résulte de la priorité accordée, pour des raisons économiques, à la surveillance et à l'entretien sur les renouvellements systématiques ; elle exige donc la présence permanente de ces petites équipes locales, composées d'agents dévoués et qualifiés pour exécuter tous les travaux que nécessite un entretien normal.

C'est pour en obtenir le rendement maximum, en simplifiant dans toute la mesure du possible leur tâche, que l'on s'efforce maintenant d'appliquer à ces petites équipes les mêmes principes et que l'on organise leur travail en les dotant d'un outillage approprié et parfois d'engins mécaniques légers. Le

● Cette machine américaine fabriquée par Nordberg enlève entre les traverses le ballast sali par la boue, la poussière de charbon... et laisse dans l'intervalle une surface nette sur laquelle sera disposé du ballast propre. Une chaîne sans fin guidée par une poutre coude passe sous le rail sans le toucher et sans endommager les traverses. Elle chasse le ballast qui s'accumule à côté de la voie où il sera repris pour être criblé et finalement remis en place.



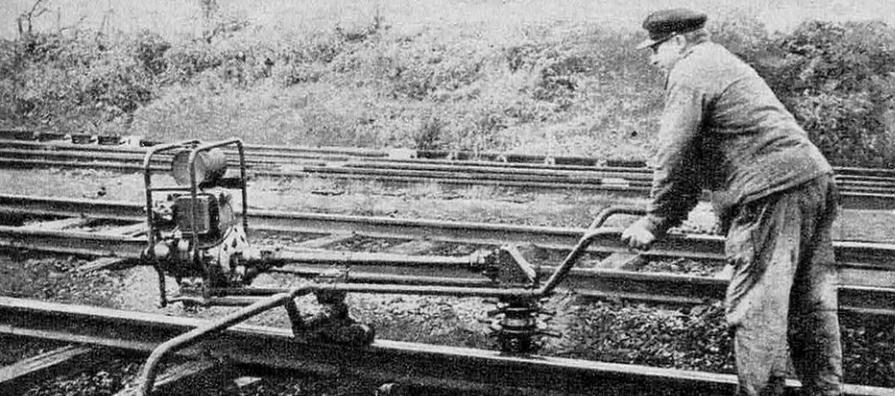
● Cette machine recueille le ballast déposé à côté de la voie et creuse dans l'épaulement des voies. Le ballast qu'elle recueille est rejeté à l'extérieur des voies ou alimente une cribreuse qui, après épuration, remet le ballast en place. La machine est automotrice et va d'un chantier à un autre par ses propres moyens. Pour les petits déplacements sur le chantier un treuil hale un câble métallique qu'on accroche à une traverse.



● Les boulons des éclisses sont vissés rapidement par cette machine robuste et maniable. Le moteur est débrayé aussitôt que le serrage désiré est atteint.



● Cette meule entraînée par un petit moteur sert à rectifier la surface du rail. Elle peut être rapidement installée ou enlevée sur les voies à grand trafic.



← Pour refaire les épaulements sous les tire-fond, on emploie des motodélardeuses dont le niveau d'attaque est réglé avec une très grande précision, ce qui permet de traiter les traverses en série.

Sur les gros chantiers de réfection des voies, des opérations aussi simples que visser les tire-fond ont été mécanisées. Ci-contre une moto-tirefonneuse.

soufflage mesuré tel qu'il est actuellement pratiqué en est un exemple remarquable aussi bien d'adaptation de l'outillage au travail que d'organisation rationnelle de ce travail.

LE RENOUELEMENT DES VOIES

Quels que soient les soins apportés à l'entretien, il arrive un moment où les frais de remise en état deviennent excessifs et où le renouvellement systématique des matériaux s'impose. Ces travaux peuvent être faits à la main, mais ils nécessitent alors d'importantes concentrations de personnel sans qu'il soit possible de dépasser des longueurs de

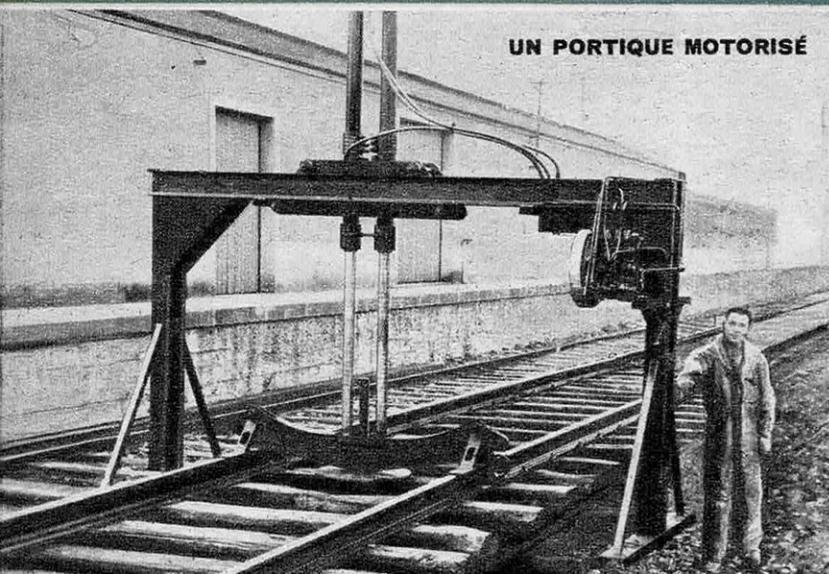
250 m par jour, dans le cas du renouvellement simultané de la voie et du ballast. La mécanisation de ces chantiers présente donc un très grand intérêt ; le rendement du chantier dépasse alors couramment 700 m par jour, en même temps que l'emploi d'engins mécaniques procure une homogénéité de construction de la voie, qui facilite par la suite son bon entretien.

Sans entrer dans le détail des méthodes employées et des engins mécaniques utilisés, signalons quelques perfectionnements récemment apportés à ces travaux.

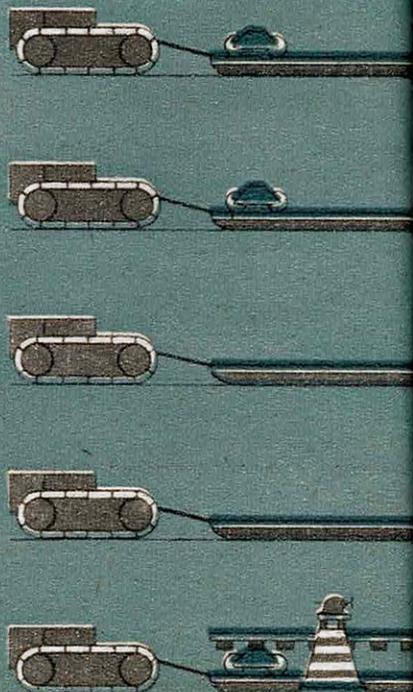
Dans les travaux d'épuration du ballast, l'enlèvement rapide des détritux est indispensable et doit, en tout cas, être effectué

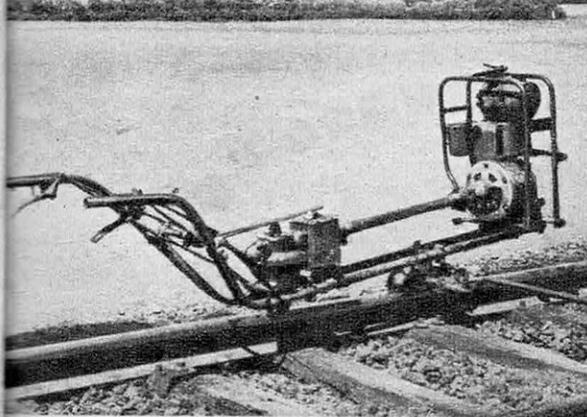
POSE DE VOIES, PROCÉDÉ DESQUENNE ET GIRAL

La figure ci-contre représente les diverses phases de la pose d'une voie par le nouveau procédé Desquenne et Giral. Ce procédé n'exige qu'un outillage très léger qui peut être amené à pied d'œuvre indifféremment par la route ou par le rail. Il ne nécessite pas l'installation de rails auxiliaires et n'entraîne pas l'immobilisation d'une voie parallèle à celle que l'on pose. Le rail et les traverses sont assemblés dans des chantiers et acheminés par wagons sur la portion de voie déjà posée. L'emploi de portiques motorisés à vérins hydrauliques pour la pose des longueurs montées a permis de réduire à deux le nombre des ouvriers chargés de cette opération alors qu'il en fallait une douzaine auparavant pour effectuer le même travail. La vitesse de pose est d'une longueur toutes les trois minutes (360 m/h).



UN PORTIQUE MOTORISÉ





avant l'apport du ballast neuf que leur chargement en wagons pourrait souiller. Cette opération nécessitait autrefois un personnel considérable et des frais élevés, le volume à enlever atteignant parfois 1 000 m³ par kilomètre de voie. Certaines dégarnisseuses mécaniques ont été aménagées pour permettre le chargement direct sur wagon tout en n'occupant qu'une seule voie ; en outre, il est intéressant de récupérer le gravillon ayant servi au soufflage ; la plupart des dégarnisseuses sont maintenant munies de cribles supplémentaires qui récupèrent ce gravillon ; il sera réutilisé pour les soufflages ultérieurs.

Les engins utilisés pour le renouvellement de la voie par longueurs montées ont été

modifiés pour permettre un avancement plus rapide des chantiers et renforcés. Les lorrys utilisés pour le transport des longueurs montées permettent la superposition de trois travées. De même, l'attelage des lorrys entre eux et leur freinage sont tels qu'on peut maintenant faire ces transports à 10 ou 15 km/h, et à des distances pouvant atteindre 20 ou 25 km, ce qui facilite le choix et l'espacement des chantiers de montage et démontage tout en réduisant l'emplacement qu'ils occupent.

Pour les voies posées sur traverses en béton, de nouveaux engins ont été étudiés et mis au point par l'entreprise Desquenue et Giral. Ils substituent aux portiques roulants et au chemin de roulement auxiliaire des procédés habituels un traîneau qui glisse sur la plate-forme et des portiques qui se déplacent même temps que les travées à mettre en place.

Grâce à la mise en œuvre de procédés rationnels, fondés à la fois sur une expérience déjà longue et sur une technique précise et scientifique, servis par un outillage puissant, l'entretien des voies s'est aujourd'hui dégagé de l'empirisme. La sécurité de l'exploitation en est améliorée et la vitesse des trains accrue, en même temps que le confort des voyageurs.

P. Chevallier

Inspecteur Divisionnaire au Service Technique des Installations Fixes de la S. N. C. F.

LA LONGUEUR L_1 ARRIVE SUR LE SKI ACCROCHÉE AUX PORTIQUES



LE SKI AVANCE D'UNE LONGUEUR



LES PORTIQUES DESCENDENT L_1



LES PORTIQUES S'ACCROCHENT A L_2

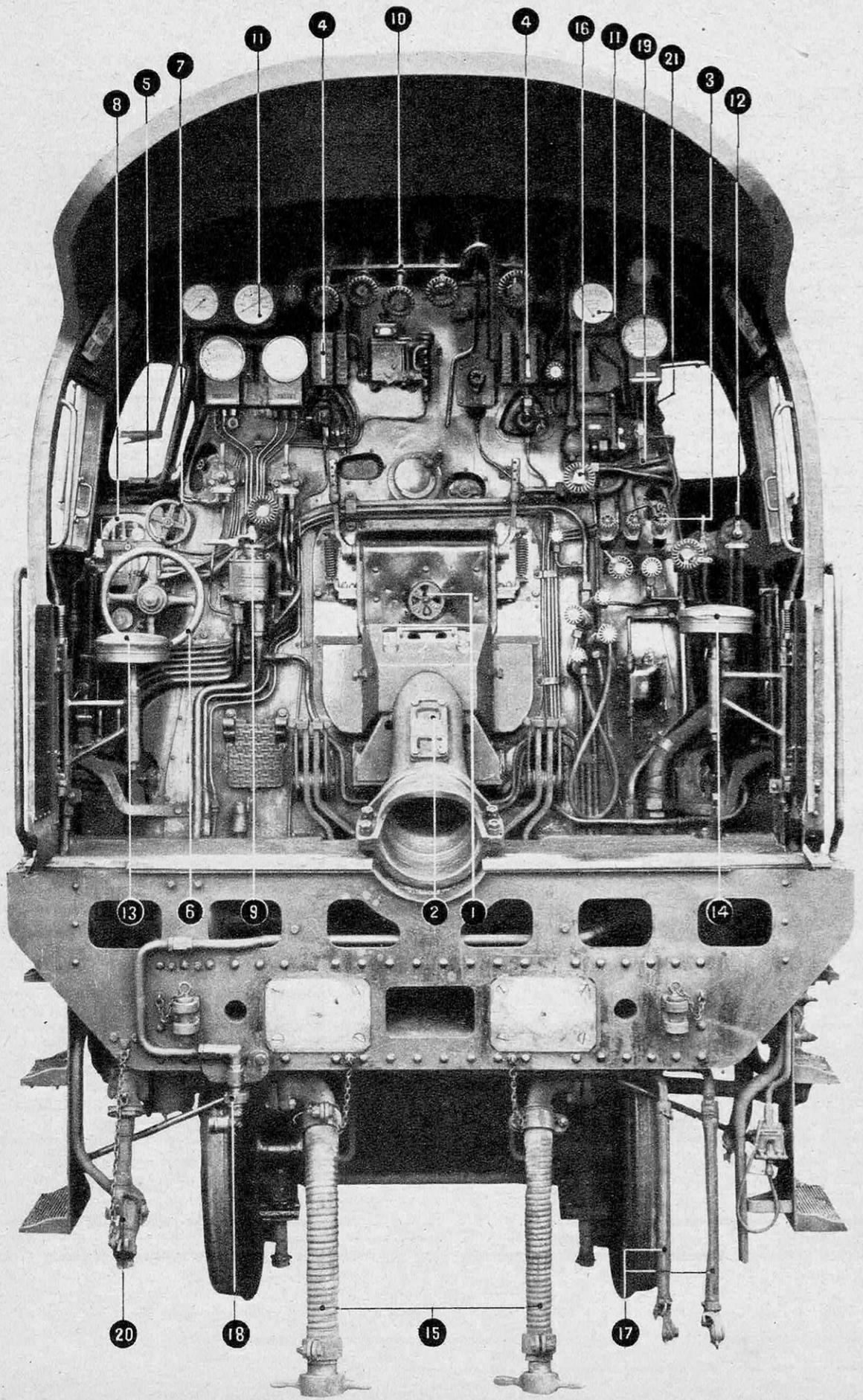


L_2 TRANSPORTE LES PORTIQUES SUR LE SKI



LA TRAVERSE L_3 EST AVANCÉE





LA TRACTION A VAPEUR

PARMI les grandes réalisations techniques, la locomotive à vapeur occupe incontestablement une place de choix, car elle a complètement révolutionné l'industrie des transports au siècle dernier. Son allure racée et l'impression de puissance qu'elle évoque lui valent de symboliser le chemin de fer aux yeux du grand public. Depuis plus de cent années qu'elle existe, elle a considérablement évolué, sa puissance augmentant et son rendement s'améliorant sans cesse ; pourtant, la machine d'aujourd'hui reste, pour l'essentiel, semblable à son ancêtre du siècle dernier.

La locomotive à vapeur est l'engin de traction le plus utilisé dans le monde entier. En 1950, elle a encore effectué 65 % des parcours des trains de la S. N. C. F., 90 % des parcours britanniques et 94 % des parcours allemands. C'est qu'elle présente des avantages incontestables : elle peut brûler n'importe quel combustible (charbon, tourbe, bois, fuel oil), et son prix d'achat est, à puissance égale, plus faible que celui des autres engins,

machines électriques ou locomotives diesel. La traction électrique cependant se développe rapidement dans certains pays (France, Suisse, Italie) gros producteurs d'énergie d'origine hydraulique, et les locomotives diesel-électriques sont de plus en plus nombreuses en Amérique.

FONCTIONNEMENT DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

Rappelons brièvement comment fonctionne une locomotive à vapeur.

Le fluide moteur est produit par une chaudière : le combustible brûlé dans le foyer transforme en vapeur l'eau contenue entre les parois de la boîte à feu et dans le corps cylindrique qui lui fait suite.

Le foyer est une sorte de caisse montée dans la boîte à feu, dans laquelle elle est assemblée à la partie inférieure par le cadre de bas de foyer et sur tout son pourtour par un grand nombre de tirants et d'entretoises (barres cylindriques de 20 à 25 mm de diamètre) vissés et rivés. L'air nécessaire à la combustion du charbon arrive sous la grille à travers le cendrier.

À l'avant, le foyer est limité par la plaque tubulaire de foyer qui reçoit les tubes à fumée du corps cylindrique. Ces tubes aboutissent à la plaque tubulaire de boîte à fumée qui ferme le corps cylindrique à l'avant.

La chaleur de rayonnement du charbon en ignition sur la grille, qui atteint des températures de l'ordre de 1350°, se transmet à l'eau au travers des parois du foyer. Les gaz de combustion, après avoir cédé aux mêmes parois une partie de leurs calories, traversent les tubes à fumée en continuant de céder de la chaleur pour aboutir dans la boîte à fumée où ils sont rejetés à l'extérieur par la cheminée.

La vapeur produite par la chaudière est captée dans le dôme et dirigée vers les cylindres. Dans chaque cylindre, un tiroir distribue alternativement la vapeur sur les deux faces du piston. La vapeur travaille d'abord à pression constante pendant une partie de la course du piston, puis se détend. Elle s'en va enfin à l'extérieur par la cheminée après avoir traversé un des organes essentiels de la locomotive : l'échappement.

L'échappement est un éjecteur qui utilise la vitesse de la vapeur s'échappant des cylindres pour provoquer le tirage nécessaire à la combustion. Cet organe offre la particularité suivante qui constitue un des secrets du

← FAÇADE ARRIERE DE LA 141-P

Les commandes de cette locomotive sont groupées de telle sorte que le mécanicien et le chauffeur travaillent normalement en position assise.

- 1, Porte basculante qui donne accès au foyer.
- 2, Conduit du chargeur mécanique stoker.
- 3, Robinets de commande du stoker.
- 4, Indicateur de niveau d'eau.
- 5, Admission de vapeur dans les cylindres.
- 6, Volant de changement de marche (av.-arr.).
- 7, Volant de réglage de l'échappement.
- 8, Indicateur-enregistreur de vitesse.
- 9, Commande du frein à air comprimé.
- 10, Robinets de prise de vapeur pour l'alimentation des appareils auxiliaires (pompe du frein, réchauffeur d'eau, chauffage du train).
- 11, Manomètres (timbre, conduite du frein...).
- 12, Commande des servo-moteurs actionnant les purgeurs de cylindres.
- 13, Siège du mécanicien.
- 14, Siège du chauffeur.
- 15, Amenée d'eau du tender à la locomotive.
- 16, Robinet de réglage de la pompe d'alimentation du réchauffeur d'eau.
- 17, Conduites souples du frein à air.
- 18, Conduite de vapeur alimentant le moteur du chargeur mécanique stoker.
- 19, Comm. d'extraction des boues. (T. I. A.)
- 20, Conduite de vapeur pour chauffage du train.
- 21, Commande du sifflet.

bon fonctionnement des locomotives à vapeur : plus il est consommé de vapeur, c'est-à-dire plus on a besoin de développer de la puissance, plus l'échappement est énergique et plus le tirage est élevé. Grâce à l'échappement, la combustion sur la grille et, par suite la production de vapeur se trouvent exactement proportionnées à la dépense de vapeur dans les cylindres.

Le piston de chaque cylindre entraîne l'essieu moteur par l'intermédiaire de la tête de piston et de la bielle motrice. Les autres essieux sont entraînés par l'essieu moteur au moyen de bielles d'accouplement. Les tiroirs reçoivent leur mouvement d'un mécanisme de distribution actionné par l'essieu moteur.

L'ensemble de la chaudière et des cylindres repose sur un châssis qui s'appuie par l'intermédiaire de ressorts de suspension sur les boîtes à huile formant palier sur les essieux.

COMMENT S'EST ACCRUE LA PUISSANCE DES LOCOMOTIVES

La puissance développée par une locomotive est égale au produit de l'effort de traction par la vitesse. Pour remorquer son train, il faut donc que non seulement la locomotive à vapeur fournisse l'effort de traction nécessaire (grâce à des cylindres de dimensions appropriées), mais que la chaudière débite de façon continue une quantité de vapeur suffisante pour maintenir la vitesse désirée. La puissance d'une locomotive à vapeur dépend donc en premier lieu de la puissance de vaporisation de sa chaudière.

Mais la valeur de l'effort de traction ne dépend pas seulement des efforts développés par les pistons sur les bielles ; dans certains cas, il peut se trouver limité par l'adhérence insuffisante des bandages de roues sur le rail, les roues se mettant à patiner.

La valeur limite de l'effort applicable sans patinage de la roue est égale au produit du coefficient de frottement de la roue sur le rail par le poids qui applique la roue sur la voie. Cette valeur est appelée « poids adhérent ».

Comme le poids que l'on peut appliquer sur chaque essieu est limité par la solidité de la voie, on est amené à multiplier les essieux moteurs.

Pour désigner les différents types de locomotives à vapeur, on emploie un symbole formé par trois chiffres indiquant respectivement le nombre des essieux porteurs avant, des essieux moteurs et des essieux porteurs arrière ; chaque combinaison a reçu un nom généralement d'origine américaine. Par exemple, les locomotives 231, appelées « Pacific », ont un bogie porteur avant à deux essieux, trois essieux moteurs et un essieu porteur arrière ; les locomotives 141, appelées « Mikado », ont un essieu porteur à l'avant, quatre essieux moteurs et un essieu porteur à l'arrière.

Voici maintenant quelques indications chif-

frées sur le fonctionnement de la locomotive : pour remorquer, en 2 h 45, un rapide de 530 t entre Paris et Lille (258 km), une locomotive Pacific consomme à peu près 4000 kg de charbon (de quoi chauffer un grand pavillon pendant un hiver long et rigoureux). Ceci correspond à une allure de combustion d'environ 300 kg de charbon par mètre carré de surface de grille et à une consommation moyenne de 15,5 kg de charbon par kilomètre parcouru, ou de 24 kg par minute. Le volume d'eau vaporisée est d'environ 25 m³, soit plus de 9 tonnes d'eau à l'heure.

Pour effectuer ce trajet à la moyenne commerciale de 93,8 km/h, il aura fallu marcher presque continuellement à 100 km/h et souvent à 115-120 km/h pour compenser les pertes de temps résultant des arrêts intermédiaires, des ralentissements dus aux travaux de la voie ou de la montée des rampes, etc. A 120 km/h, les roues de cette machine Pacific font 5 tours par seconde et les pistons ainsi que les tiroirs auront fait également 5 courses aller et retour par seconde.

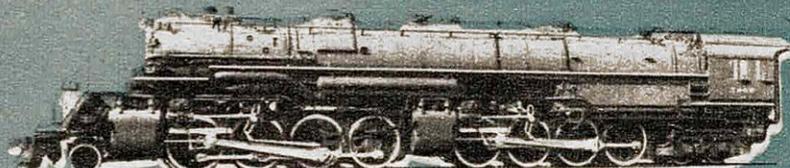
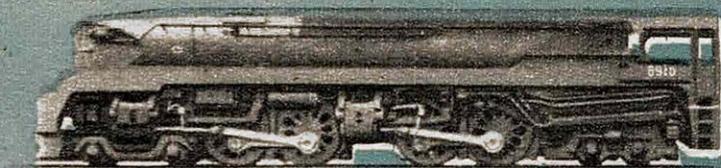
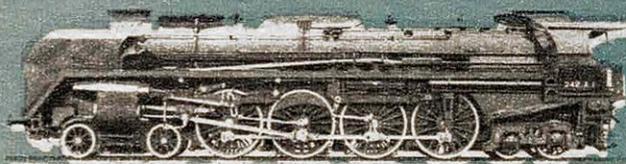
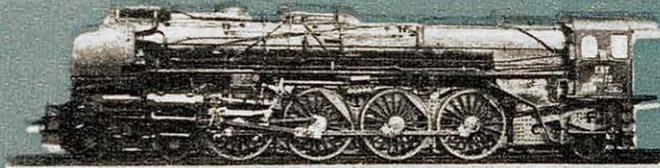
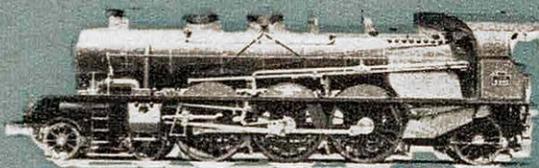
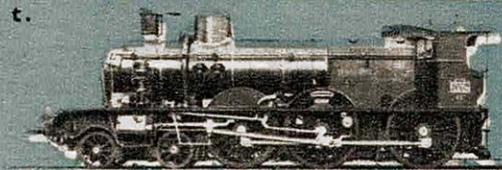
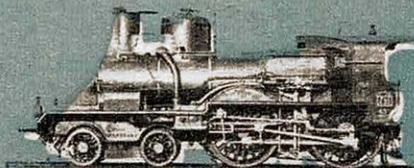
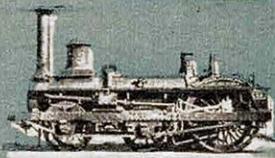
Pour l'ensemble du parcours, la puissance moyenne développée dans les cylindres atteint 1 200 à 1 300 ch, et la puissance utile au crochet de traction du tender est de 1 000 ch, l'effort moyen mesuré à ce crochet étant de l'ordre de 3 t. Cet effort au crochet, qui représente la force nécessaire pour remorquer le train, atteint au démarrage des valeurs beaucoup plus élevées ; dans le cas de trains de marchandises lourds, un effort au crochet de 15 t est de pratique courante.

Ces chiffres ne constituent en aucune façon des performances, ce sont des valeurs moyennes constamment dépassées en service ; les puissances maximum des locomotives atteignent en effet 4 000 à 5 000 ch en Europe et 9 000 ch en Amérique. On est très loin de la « Fusée » de Stephenson, ancêtre de la locomotive à vapeur, qui, lors du concours de Rainhill, sur la ligne de Liverpool à Manchester, en 1829, l'avait emporté sur ses deux concurrentes, la « Nouveauté » et la « Sans Pareil », en parcourant 48 km en 2 h 6 avec une charge, tender compris, de 12,6 t et en effectuant les deux derniers kilomètres de la course à la vitesse de 39 km/h. La vaporisation horaire avait été de l'ordre de 800 kg d'eau ; la puissance de la « Fusée » était de 25 ch.

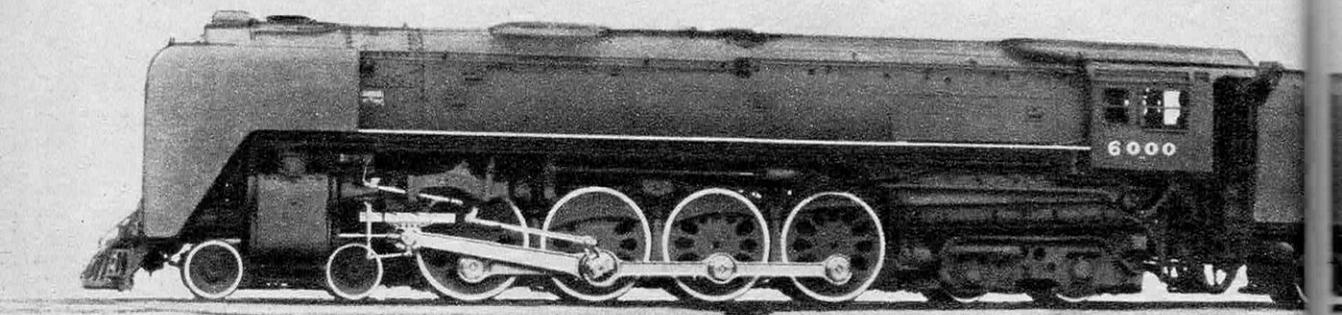
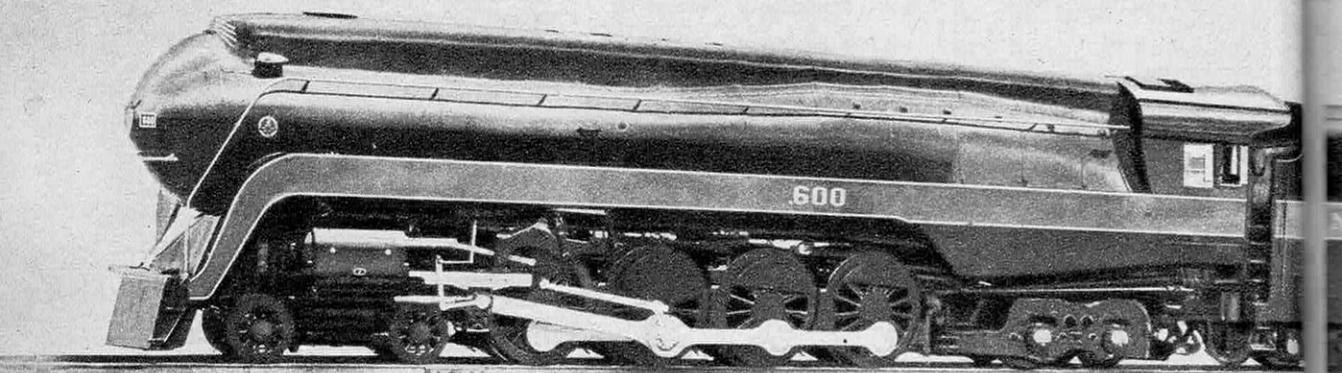
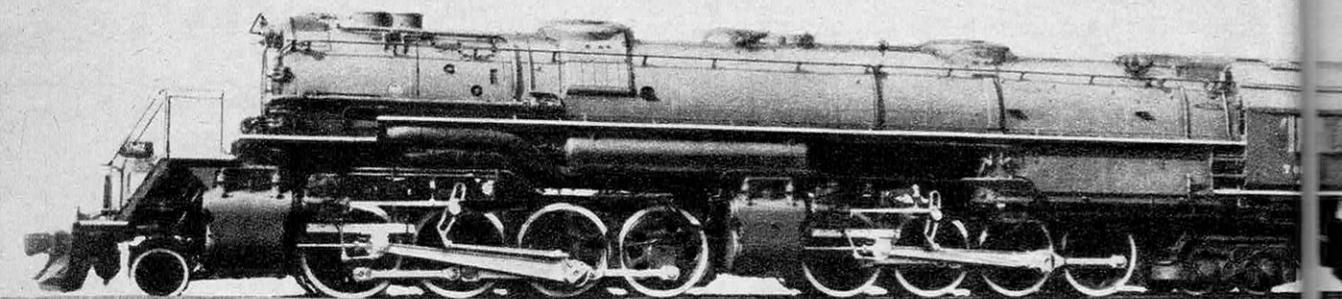
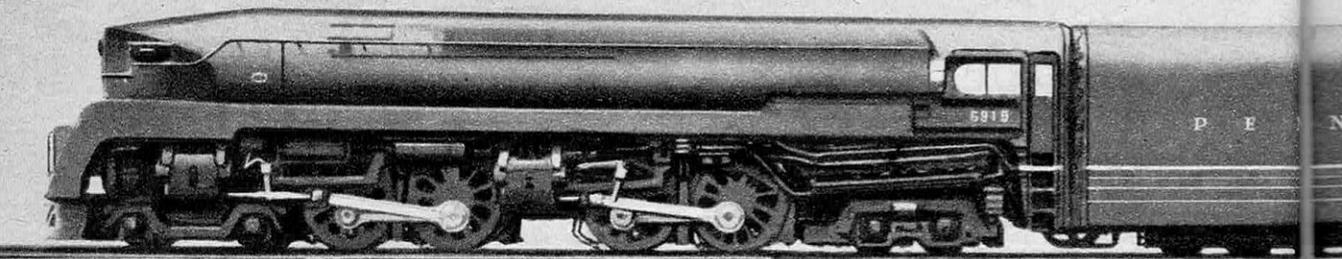
Le progrès, depuis cette époque, n'a pas seulement consisté à augmenter les dimensions de la locomotive pour obtenir des puissances et des efforts de traction de plus en plus élevés, mais aussi à acquérir ces résultats le plus économiquement possible en améliorant constamment le rendement et aussi en diminuant les dépenses d'entretien, facteur très important si l'on songe qu'une locomotive parcourt de 50 000 à 120 000 km par an, ce parcours variant avec le type de la machine et le service qu'elle effectue. Voyons donc le chemin parcouru depuis les 25 ch de la petite « Fusée » de Stephenson jusqu'aux 9 000 ch des énormes locomotives modernes.

ÉVOLUTION DES DIMENSIONS DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

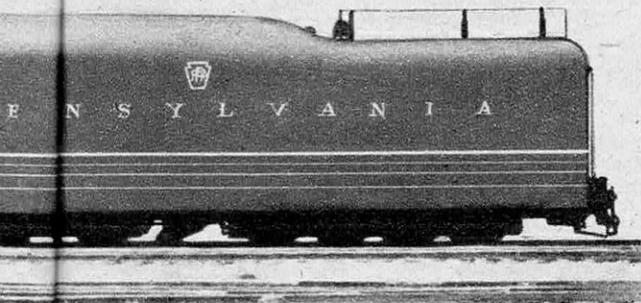
Depuis plus de cent années qu'elle existe, la locomotive à vapeur a considérablement évolué. « La Fusée » de Stephenson, en 1829, ne comportait qu'un seul essieu moteur et un essieu porteur ; son poids total était de 4,25 t et sa puissance de 25 ch. La Baltimore and Ohio des U. S. A. (1947) est du type 1442 ; elle atteint la puissance 300 fois plus grande de 9 000 ch et son poids total est de 285 t.



SURFACE DE GRILLE EN m ²	TIMBRE	ÉCARTEMENT DES ESSIEUX EXTREMES EN m	POIDS PAR ESSIEU MOT. EN t	POIDS TOTAL EN t
LA FUSÉE				
0,5	3,5	2,185	2,5	4,25
Kg/cm ²				
CRAMPTON PLM				
1,22	9	4,600	12	30
Kg/cm ²				
2.20 PLM				
2,27	15	6,900	15,8	
Kg/cm ²				
230 PLM				
2,98	16	8,530	16,9	72,5
Kg/cm ²				
231 PLM				
4,25	16	11,230	18,5	94
Kg/cm ²				
241 EST				
4,43	17	12,970	18,7	115
Kg/cm ²				
242 A1 SNCF				
5	20	13,500	21	148
Kg/cm ²				
2222 PENNSYLVANIA				
8,5	21	15,800	31,7	228
Kg/cm ²				
1442 BALTIMORE AND OHIO				
10,9	16,5	19,85	27,5	285
Kg/cm ²				



LOCOMOTIVE DU TYPE 2222



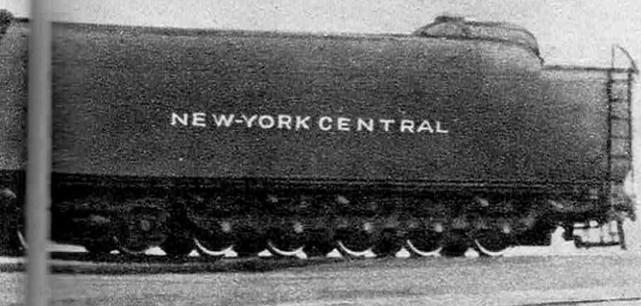
LOCOMOTIVE MALLET 140-042



LOCOMOTIVE DU TYPE 242



LOCOMOTIVE AMÉRICAINE 242



DE LA « FUSÉE » AUX LOCOMOTIVES MODERNES

La « Fusée » de Stephenson (1829) comportait un seul essieu moteur et un essieu porteur ; sa surface de grille était de $0,5 \text{ m}^2$, son « timbre » (pression maximum de la chaudière en service) était de $3,5 \text{ kg/cm}^2$, son poids adhérent de $2,5 \text{ t}$ et sa puissance d'environ 25 ch .

Rapidement, toutes ces caractéristiques s'accrurent, et les locomotives Crampton de type 210 atteignirent en 1849 la puissance de 400 ch . Le timbre était alors de 7 kg/cm^2 . L'une de ces machines ramena Napoléon III et sa suite de Marseille à Paris à la vitesse de 100 km/h de moyenne en remorquant deux voitures de 7 t .

À partir de 1855 environ, apparurent les locomotives à plusieurs essieux moteurs, deux pour les trains de vitesse, trois pour les marchandises, accouplés par des bielles. Le poids adhérent étant ainsi notablement accru, les charges remorquées augmentèrent sensiblement.

Peu de temps après, on utilisa le bogie, petit véhicule à deux essieux placé à l'avant et qui supporte une partie du poids de la machine. Pouvant se déplacer par rapport au châssis, il facilite le passage de la machine dans les courbes et améliore ainsi la tenue de voie en vitesse.

LA LOCOMOTIVE COMPOUND

À l'exposition de 1878 figurait une locomotive à trois essieux accouplés construite par Mallet. Date capitale dans l'histoire de la locomotive à vapeur : c'était, en effet, la première machine « compound », dans laquelle la vapeur, au lieu de se détendre en une seule fois dans chacun des deux cylindres, travaillait en deux temps. Il y avait une pre-

LA MACHINE 2222 du Pennsylvania Railroad (U. S. A.), pesant 225 t , est capable de développer un effort de traction de $29,3 \text{ t}$. Sa chaudière à surchauffe est timbrée à $21,09 \text{ kg/cm}^2$. La surface totale d'évaporation est de $391,8 \text{ m}^2$. Longueur totale avec le tender : $37,4 \text{ m}$.

LA MACHINE 140-042 du Baltimore and Ohio Railroad (U. S. A.) a un poids total de 285 t ; avec le tender, de $458,5 \text{ t}$. Elle développe un effort de traction de 52 t . La chaudière est timbrée à $16,62 \text{ kg/cm}^2$. La surface d'évaporation est de 492 m^2 . Long. avec tender : $38,2 \text{ m}$.

LA LOCOMOTIVE 242 du Norfolk and Western Railroad (U. S. A.) remorque des trains de voyageurs. Son poids total est de 224 t . Effort de traction : 36 t . Timbre de la chaudière : $21,09 \text{ kg/cm}^2$. Surface totale d'évaporation : $489,7 \text{ m}^2$. Long. avec tender : $33,3 \text{ m}$.

LA LOCOMOTIVE DU NEW YORK CENTRAL RAILROAD, du même type que la précédente, remorque des trains de voyageurs ou de marchandises. Poids : 213 t . Effort de traction : $27,9 \text{ t}$. Timbre de la chaudière : $19,3 \text{ kg/cm}^2$. Surface d'évaporation : $192,6 \text{ m}^2$.

mière détente dans le cylindre haute pression (HP) suivie d'une seconde détente dans le cylindre basse pression (BP).

Le compoundage se développa très rapidement en raison des avantages qu'il procurait. En effet, dans une machine à simple expansion, c'est-à-dire où la vapeur est rejetée à l'atmosphère immédiatement après sa détente, une partie de la vapeur se condense, pendant l'admission, sur les parois des cylindres dont la température est moins élevée que celle de la vapeur ; puis, pour la raison inverse, l'eau ainsi formée se revaporise pendant l'échappement. Il résulte de ces deux phénomènes une perte de vapeur et une dépense inutile de calories.

Au contraire, dans une machine compound, la détente est fractionnée entre les cylindres HP et BP ; les différences de température entre l'admission et l'échappement sont beaucoup moins élevées que dans un cylindre à simple expansion, ce qui tend à diminuer les pertes à l'admission, à réduire celles à l'échappement du cylindre BP, en même temps que l'eau vaporisée à l'échappement du cylindre HP est récupérée à l'admission du cylindre BP. D'autre part, les pistons de chaque cylindre, HP ou BP, travaillant sous une différence de pression moindre, les fuites d'un côté à l'autre des pistons sont réduites.

La locomotive compound a d'autres avantages qui furent rapidement mis en évidence dès que cette disposition se généralisa ; la plupart des machines construites étaient à quatre cylindres (2 HP et 2 BP), les cylindres HP et les cylindres BP attaquant généralement deux essieux différents. Le travail est donc réparti et les efforts sur le mécanisme sont moins grands que dans les machines simple expansion à deux cylindres. Tout le moteur fatigue beaucoup moins, et le mécanisme peut être allégé, avantage précieux pour la construction de machines puissantes à grande vitesse. Vers 1900, le compoundage est devenu, tout au moins en France, de règle absolue dans la construction des locomotives à vapeur.

Parallèlement, les autres caractéristiques de la locomotive continuaient à évoluer. Non seulement on avait multiplié le nombre des essieux moteurs, mais le poids par essieu augmentait grâce à une meilleure construction de la voie ; il atteignait en France de 15 à 17 t. Les chaudières étaient timbrées à 15 ou 16 kg/cm², et leur surface de grille était de 2,5 m². La puissance aux cylindres était d'en-

viron 1 500 ch, et l'effort au crochet des 040 du P.-L.-M. (machines de marchandises) atteignait environ 11 000 kg.

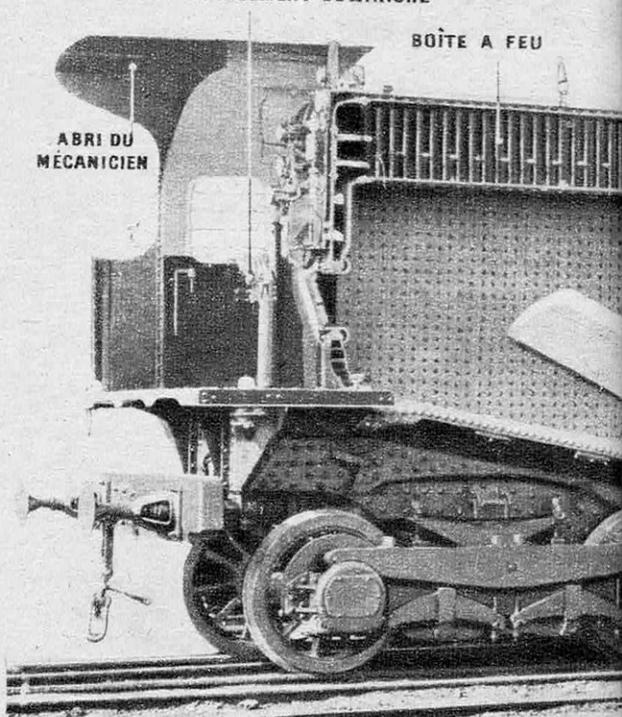
À cette époque, les 220 du P.-L.-M. remorquaient le rapide Paris-Nice, d'un poids de 240 t, à la moyenne de 75,4 km/h sur 1 088 km. Le Sud-Express, d'un poids de 170 t, remorqué également par une locomotive 220, effectuait Paris-Bordeaux (581 km) à la vitesse commerciale de 85 km/h.

LA SURCHAUFFE

Peu après 1900, une nouvelle étape allait être accomplie avec l'application de la surchauffe. Au lieu d'envoyer directement aux cylindres la vapeur saturée que fournit la chaudière, on « surchauffe » au préalable cette vapeur en augmentant sa température. Pour cela, la vapeur sortant de la chaudière est conduite dans un collecteur situé dans la boîte à fumée ; ce collecteur la répartit dans une série de petits tubes placés à l'intérieur des tubes à fumée les plus chauds, qui se trouvent à la partie supérieure de la chaudière et dont le diamètre a été augmenté à cet effet. La vapeur retourne ensuite au collecteur d'où elle est dirigée sur les cylindres.

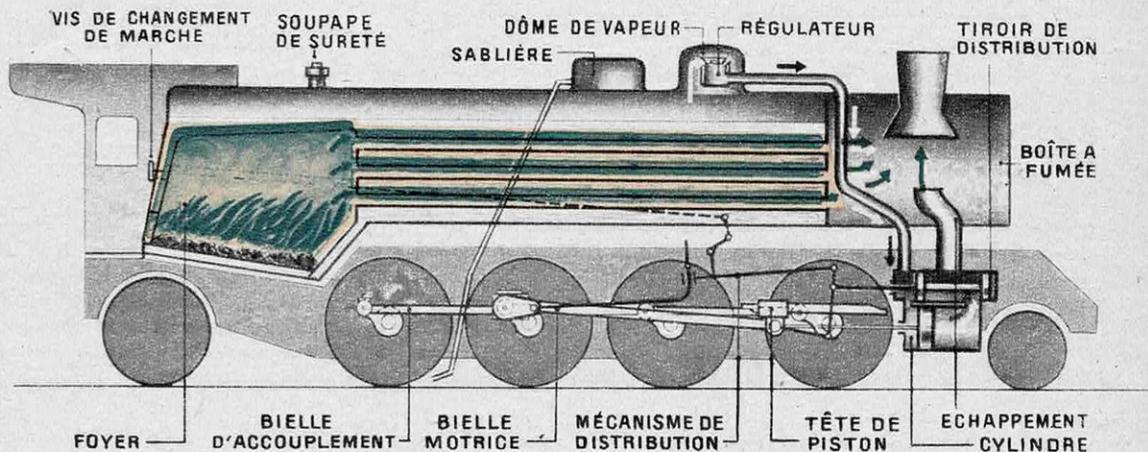
La surchauffe réduit les pertes puisque la vapeur, dont la température est plus élevée, ne se condense plus dans les cylindres pendant l'admission. De plus, le volume spécifique de la vapeur surchauffée étant plus grand que celui de la vapeur saturée, la dépense de vapeur pour obtenir une puissance donnée est moindre. D'où au total un meilleur rendement et par conséquent une économie.

VIS DE CHANGEMENT DE MARCHÉ



VUE EN COUPE D'UNE LOCOMOTIVE

Sur cette locomotive du type 232, on retrouve tous les organes indiqués sur le schéma de principe. La grille du foyer a une surface de 5 m² et la chaudière est timbrée à 20,4 kg/cm². Son poids par essieu est de 23 t ; elle développe 4 000 ch. On voit, à l'avant du foyer, la voûte en briques qui facilite la combustion des gaz et protège la plaque tubulaire contre les coups de feu.



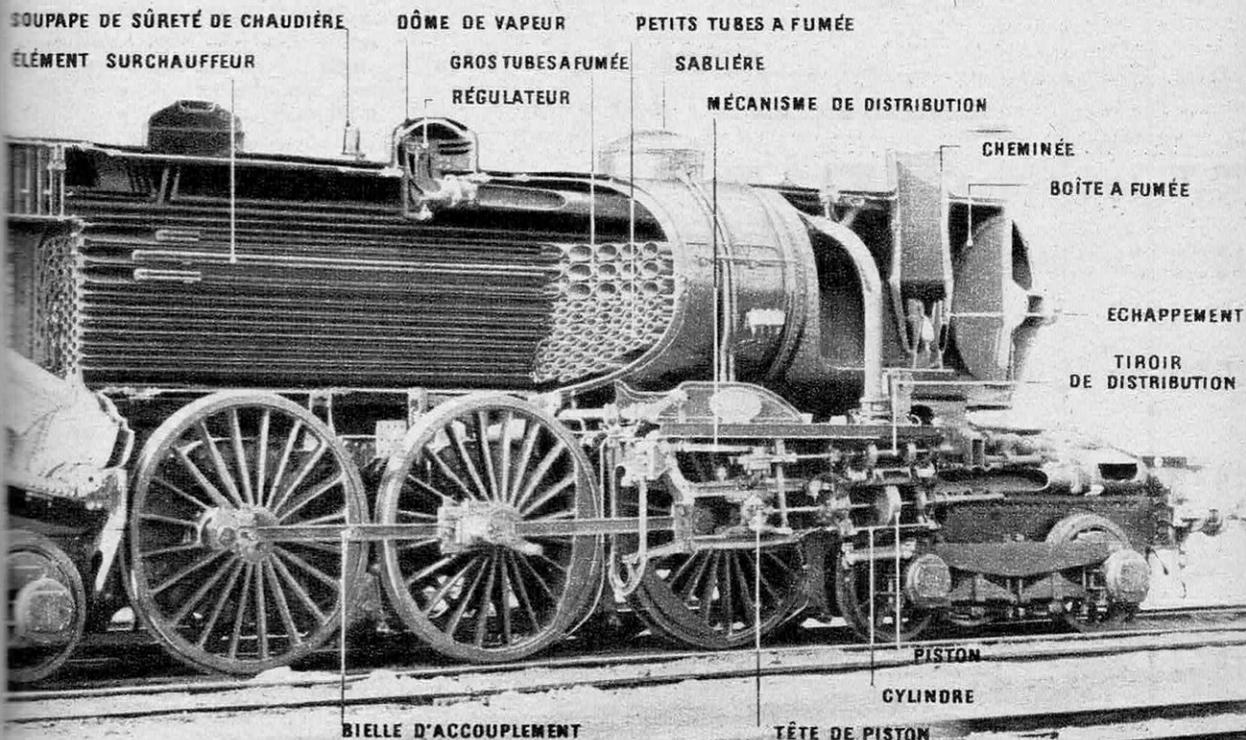
● Ce schéma de principe du fonctionnement de la locomotive à vapeur indique le circuit des gaz de

combustion dans les tubes à fumée (en rouge) et celui de la vapeur (en noir) à partir du dôme où elle est captée.

L'apparition de la surchauffe posait alors un problème : fallait-il utiliser la surchauffe dans des machines à simple expansion ou construire des locomotives « compound » plus compliquées ? Dans l'un et l'autre cas, l'économie de charbon, par rapport à la machine classique à vapeur non surchauffée et à simple expansion, était de 20 % environ. Des locomotives de chaque type furent construites et leurs partisans entamèrent une lutte qui n'est pas encore complètement terminée. Cependant la surchauffe s'imposa rapidement et, depuis 1910, époque à laquelle on superposa la surchauffe au compoundage, il n'a plus jamais, à quelques exceptions près, été construit de locomotive qui ne soit munie

de la surchauffe. Quant au compoundage, il n'a pas disparu, mais il est maintenant discuté pour d'autres raisons sur lesquelles nous reviendrons.

Aux locomotives type 220 succédèrent des machines Atlantic du type 221. Puis la première locomotive Pacific 231 apparut sur le réseau P.-O., en 1907 ; elle était compound quatre cylindres à vapeur saturée. Tous les réseaux adoptèrent alors ce type de machine, et, au lendemain de la guerre 1914-1918, la presque totalité des trains rapides étaient remorqués par des Pacific compound à surchauffe. Modernisées depuis cette époque, les Pacific continuent à être utilisées pour la plupart des trains rapides.



Parallèlement aux machines Pacific, on utilisait pour les trains de marchandises des locomotives du type Mikado 141 ou même des locomotives à cinq essieux accouplés du type Decapod (150). En même temps, le poids par essieu était porté à 18 t, le timbre des chaudières atteignait 16 kg/cm² et les surfaces de grille 4,25 m². La puissance moyenne au crochet était de plus de 2 000 ch. L'effort de traction des locomotives 150 du Nord était de 22 000 kg.

A cette date (1920), les rapides de 436 t effectuaient les 863 km du trajet Paris-Marseille

à la moyenne commerciale de 63 km/h. Il semblait alors que la locomotive à vapeur eût atteint une puissance et un rendement qui ne pouvaient plus guère être augmentés. Cependant il n'en était rien.

En 1929, les travaux de l'ingénieur Chapelon, aujourd'hui chef de la Division des Études de Locomotives de la S. N. C. F., établirent que le rendement des locomotives à vapeur pouvait être encore très sensiblement amélioré par une meilleure disposition des circuits de vapeur, une élévation de la température de surchauffe et l'emploi

ANNÉE	POUSSI. AU CROCHET À 100 km/h		POUR UNE MÊME ANNÉE LE TRAIN REPRÉSENTÉ EN GRIS EST PLUS LOURD ET A PLUS D'ARRÊTS QUE LE TRAIN EN NOIR	
	TYPE	ch.		
1892	220 B.111.400	500	210 T	63 km/h
1896	220 C.21.60	600	240 T	67 km/h
1901	220 C.61.180	700	240 T	75,4 km/h
1904	220 C.61.180	700	178 T	82,2 km/h
			278 T	70,5 km/h
1907	230 B	900	230 T	83,3 km/h
			349 T	66,5 km/h
1914	231 C	1300	327 T	82,8 km/h
			387 T	64,6 km/h
1920	231 D	1300	436 T	63,1 km/h
1929	231 D	1600	448 T	79 km/h
			588 T	66,8 km/h
1938	(1) 231 G	2300	328 T	93,8 km/h
			600 T	68,8 km/h
1938	221 B	aérodyn.	200 T	95,8 km/h
1949	231 K (2)	2500	400 T	82,8 km/h
			570 T	74 km/h
1951	231 G ou 231 H (3)	2500	400 T	90 km/h
			780 T	83,7 km/h

60 ANS DE PROGRÈS SUR PARIS-MARSEILLE

Si l'exploit de la locomotive Crampton 210 de 400 ch, qui ramena Napoléon III de Marseille à Paris à la vitesse moyenne de 100 km/h, est resté célèbre, il s'agissait là d'une performance exceptionnelle, accomplie avec le minimum d'arrêts et en remorquant seulement 2 wagons de 7 t. En 1892, il n'y a pas soixante ans, les rapides en service régulier entre Paris et Marseille ne dépassaient pas 63 km/h de moyenne pour une charge remorquée de 210 t. Grâce à l'emploi de locomotives à vapeur cinq et même six fois plus puissantes, telles que la Pacific 231 G et la 241 P et surtout à l'électrification d'une partie du parcours qui a permis de doubler la puissance de traction, on arrive en 1950 à une moyenne de 100 km/h avec 400 t et de 89,5 km/h avec 600 t, moyenne qui sera encore améliorée quand sera achevée l'électrification de Paris-Lyon.

(1) REMPLACÉE PAR UNE MACHINE TYPE 241, ENTRE LAROCHE-MIGENNES ET DIJON.

(2) REMPLACÉE PAR UNE MACHINE TYPE 240 P, ENTRE LAROCHE-MIGENNES ET DIJON.

(3) PARCOURS DIJON-MARSEILLE SEULEMENT, LA TRACTION ÉTANT ÉLECTRIQUE ENTRE PARIS ET DIJON.

d'échappements perfectionnés. La Pacific P.-O. qu'il transforma en appliquant ces nouveaux principes vit sa puissance augmentée d'environ 40 %

Vers la même époque, les réchauffeurs d'eau d'alimentation, qui utilisent la chaleur que contient encore la vapeur d'échappement pour porter à une température de 100° environ l'eau introduite dans la chaudière, étaient mis au point. Ils procuraient une économie supplémentaire de charbon de 10 %.

Par ailleurs, le souci de la sécurité ayant conduit à construire des voitures métalliques bien plus lourdes que les voitures en bois, le tonnage des trains devenait de plus en plus élevé. C'est pourquoi le poids maximum par essieu était porté en France à 20 et même 22 t sur certaines lignes, tandis que des machines type 241 ou Mountain, encore plus puissantes et plus lourdes, devenaient nécessaires, dès 1925, sur les lignes à profil difficile. On atteignait avec ces machines des puissances de l'ordre de 3 000 ch.

En 1943, les locomotives 240 P et 232 de la S. N. C. F. (ces dernières ayant trois essieux moteurs seulement, mais avec un poids par essieu de 23 t) fournissaient une puissance de 4 000 ch. Et la machine 242-Al, mise en service par la S. N. C. F. en 1946, atteint 5 000 ch aux cylindres. Des surfaces de grille de plus de 4 m² se sont ainsi imposées, entraînant l'emploi de chargeurs mécaniques de charbon. De même, le timbre des chaudières a été porté à 20 hpz (1).

Dans les autres pays, les locomotives à vapeur ont suivi la même évolution qu'en France, mais la machine 242-Al de la S. N. C. F. détient le record de la puissance en Europe.

Aux États-Unis, les locomotives à vapeur ont atteint des puissances et des poids encore plus considérables. Dans ce vaste pays à potentiel industriel immense et où la population est beaucoup plus concentrée qu'en Europe, le trafic commercial exige des trains très lourds. Par exemple, les trains de marchandises atteignent normalement une charge de 4 000 à 5 000 t alors qu'on dépasse rarement 1 500 t en France. Les locomotives à vapeur américaines les plus modernes ont couramment des puissances de 8 000 à 9 000 ch et des surfaces de grille de 11 m², les voies permettant des charges de 30 t par essieu.

LES LOCOMOTIVES « BANALISÉES »

On mesure ainsi les progrès accomplis depuis la « Fusée » de Stephenson. Mais ces progrès ne se sont pas limités à la recherche d'une plus grande puissance et d'un meilleur rendement. Les ingénieurs de tous les pays se sont efforcés aussi de réduire l'entretien des locomotives, soit en diminuant les usures, par exemple en employant des boîtes d'essieux à roulements à rouleaux, soit par d'autres moyens, comme le traitement des

(1) L'hectopièze (hpz) est la nouvelle unité de pression et vaut 1,02 kg/cm².

eaux d'alimentation, qui permettent de diminuer l'importance et la fréquence des réparations.

En employant sur les locomotives des organes robustes et simples réduisant l'entretien, il est devenu possible de les « banaliser », c'est-à-dire d'admettre qu'une locomotive soit conduite par des équipes différentes. La préparation de la machine avant le départ et l'entretien courant sont assurés en série par les spécialistes des dépôts, et les machines banalisées travaillent avec le minimum de temps morts. Par exemple, les locomotives 141-R de la S. N. C. F. effectuent des parcours de l'ordre de 100 000 km par an, tandis que les Pacific compound, plus délicates et non banalisées, ne dépassent pas 50 000 km. De même, les passages à l'atelier des 141-R pour révision ont lieu tous les 135 000 km, tandis que les Pacific doivent être révisées tous les 100 000 km.

On voit ainsi le point faible de la locomotive compound normale, qui est handicapée du fait de ses cylindres plus nombreux et de son mécanisme plus délicat. Il n'a pas encore été possible de banaliser ces machines, et le compoundage, malgré ses avantages incontestables du point de vue thermodynamique, est de nouveau discuté à l'heure actuelle.

LES CHAUDIÈRES

Les chaudières du type classique sont à tubes à fumée. Leur surface de grille est couramment, en Europe, de 5 m²; en Amérique, elle varie de 7 à 11 m². Certaines chaudières européennes dépassent 5 m², mais c'est pour pouvoir brûler des combustibles pauvres et non pour obtenir une puissance élevée.

Une chaudière moderne de 5 m² peut fournir jusqu'à 25 000 kg de vapeur à l'heure. Pour accroître le rendement, on dispose sur les machines récentes une chambre de combustion qui prolonge le foyer à l'intérieur du corps cylindrique. Cette chambre permet une combustion plus complète des gaz avant leur entrée dans les tubes à fumée. Elle a aussi l'avantage de reporter vers l'avant le centre de gravité de la chaudière, assurant une meilleure répartition du poids sur les essieux arrière.

Une voûte en briques, montée à l'avant du foyer, brasse les gaz de combustion, allonge leur trajectoire ainsi que celle des particules de charbon, facilitant leur combustion. La voûte protège la plaque tubulaire contre les coups de feu, et il y a intérêt à lui donner une grande longueur.

Presque partout, sauf en Angleterre où l'on continue d'utiliser le cuivre, les foyers modernes sont en tôles d'acier assemblées par soudure. Plus sensible aux brusques variations de température que le foyer en cuivre, le foyer en acier demande peut-être plus de précautions dans la conduite du feu, mais sa construction, son entretien et ses réparations sont beaucoup plus faciles.

La transmission de chaleur entre deux

fluides séparés par une paroi est d'autant meilleure qu'ils circulent en sens inverse et à des vitesses plus élevées. Différents systèmes ont été employés pour activer la circulation de l'eau et améliorer la vaporisation. L'un d'eux est le siphon Nicholson, tube de fort diamètre monté à la partie inférieure du foyer et prolongé par une partie très évasée assemblée avec le ciel du foyer. Ce siphon est continuellement parcouru par de l'eau en mouvement ; il augmente la surface de chauffe directe et favorise la vaporisation, notamment au moment de la mise en feu. Il offre également l'avantage de constituer un support intermédiaire pour la voûte qui, avec ses grandes dimensions, est difficile à tenir dans les vastes foyers modernes. On monte un ou deux siphons parallèlement dans le foyer, et les machines américaines ont parfois quatre ou cinq siphons, dont deux ou trois montés au travers de la chambre à combustion.

Le timbre des chaudières atteint maintenant 20 hpz ; la S. N. C. F. avait prévu de le porter à 22 hpz sur les machines nouvelles. Il ne semble pas possible actuellement de dépasser cette pression avec la chaudière classique à tubes à fumée. Au delà, il faudrait employer le foyer à tubes d'eau, mais l'expérience a montré que ce foyer était difficilement adaptable aux locomotives. On a cependant construit des chaudières spéciales à très haute pression, de l'ordre de 60 hpz, mais il s'agissait de machines d'essai.

Pour obtenir un bon rendement, la section de passage des gaz à travers les tubes à fumée doit être proportionnelle à la surface de la grille. Ceci conduit, dans les chaudières puissantes, à donner un grand diamètre au corps cylindrique. Comme les efforts auxquels sont soumises les tôles sont proportionnels au diamètre du corps cylindrique, on a été amené,

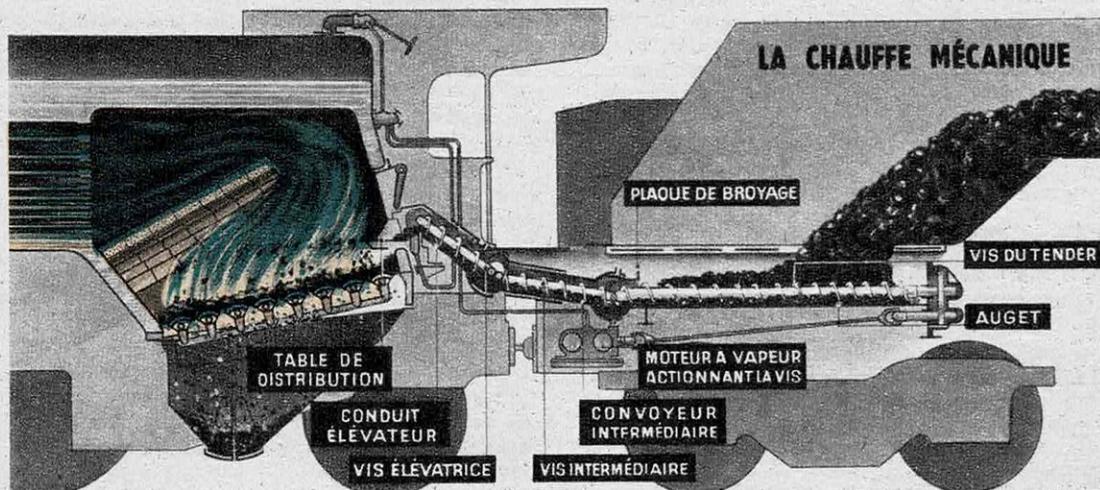
pour limiter le poids, à réduire l'épaisseur de ces tôles en utilisant des aciers spéciaux : en France, l'acier à 2 % de nickel et, en Amérique, l'acier au silicium.

La surchauffe procurant une sensible amélioration du rendement de la locomotive à vapeur, on cherche à obtenir des températures de surchauffe les plus élevées possible. Mais on est limité par la tenue des huiles de graissage, qui se décomposent au-dessus d'une certaine température ; actuellement, la température de la vapeur surchauffée ne doit pas dépasser 425° dans les cylindres. En France, les surchauffeurs Houlet et S P 4 procurent facilement et économiquement des températures de surchauffe de 425°.

LA CHAUFFE MÉCANIQUE

Au delà d'une certaine surface de grille, il devient impossible au chauffeur d'assurer une chauffe normale, et l'on doit munir les locomotives d'un chargeur mécanique, en principe dès que la surface de grille atteint 4,5 m². Mais on l'utilise aussi sur des machines de moindre surface de grille.

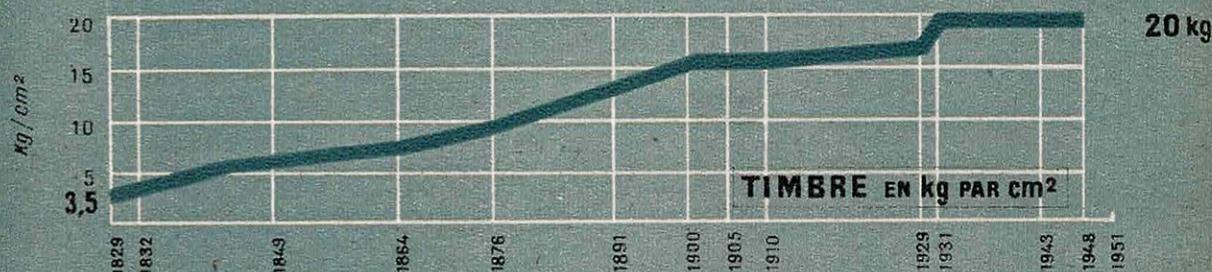
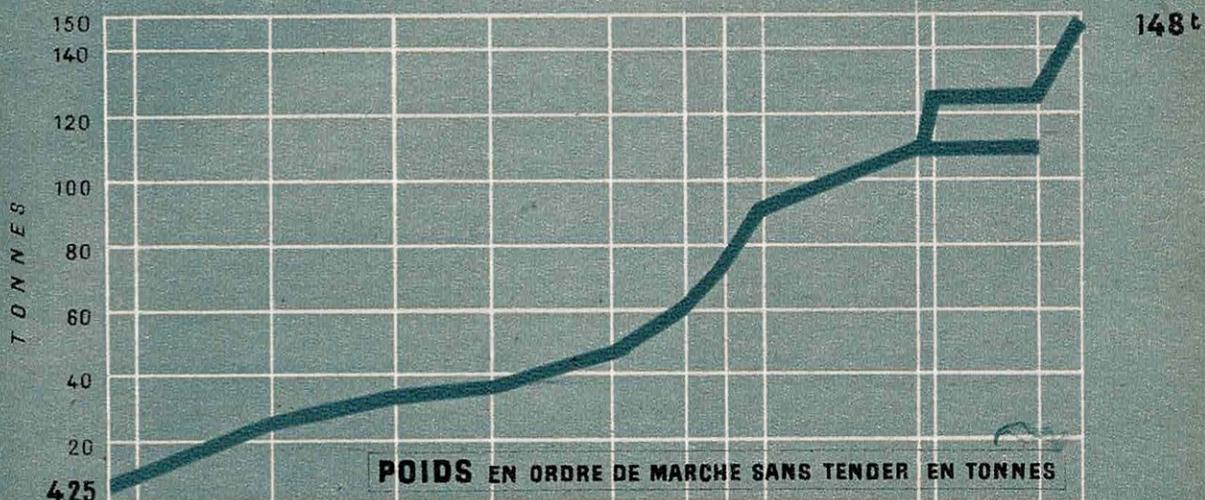
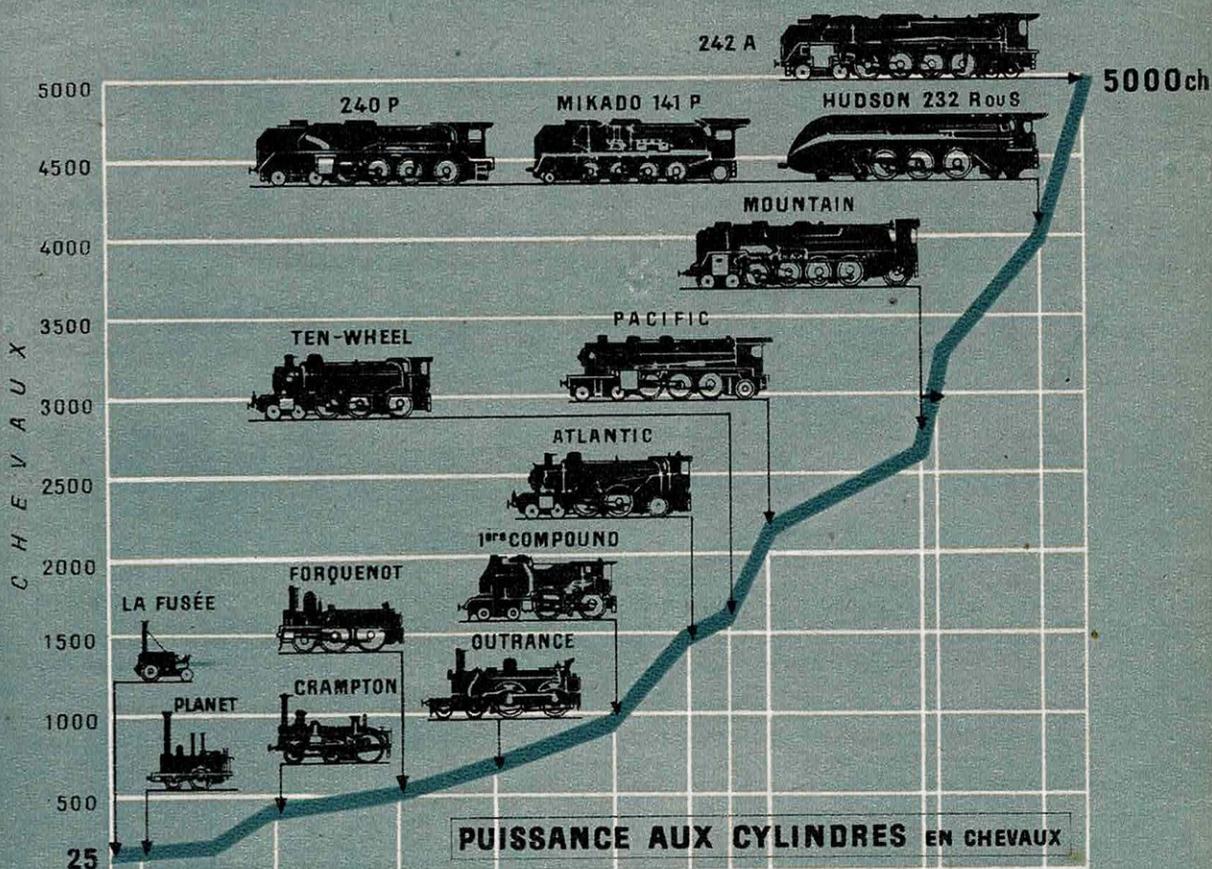
En effet, avec la chauffe manuelle, les combustibles qui donnent les meilleurs résultats sont les charbons à fort pouvoir cokéfiant, qui, dès le début de leur combustion, se débarrassent rapidement de leurs matières volatiles. Ils forment donc du coke, masse poreuse que l'air pénètre intérieurement et brûle complètement sans que des petites particules soient entraînées sous l'action du tirage. La teneur en matières volatiles de ces charbons varie de 10 à 35 %. Avec la chauffe mécanique, on peut brûler des charbons à faible pouvoir cokéfiant, car le charbon est utilisé en grains de petites dimensions qui se consomment non seulement sur la grille, mais aussi pendant leur trajet dans le foyer. Il est alors préférable que la teneur en matières volatiles

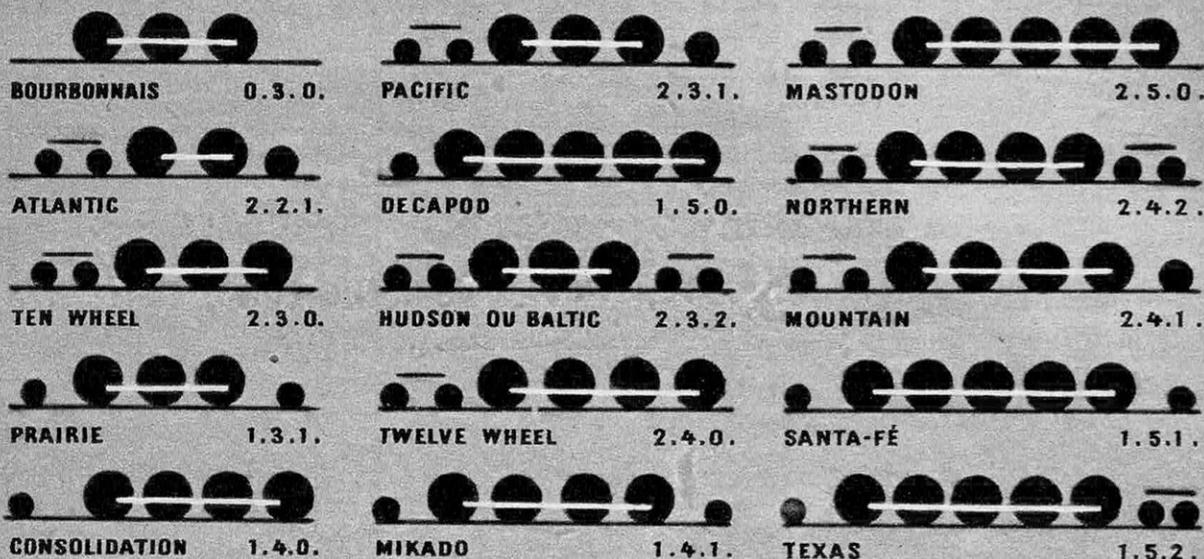


● Dans le stoker, appareil de chargement mécanique, un auget reçoit le charbon qui est conduit à la plaque de broyage par la vis du tender. Une vis intermédiaire

l'amène ensuite à la vis élévatrice qui le déverse sur la table de distribution à l'intérieur du foyer. Là, cinq jets de vapeur le répartissent également sur toute la grille.

LA PUISSANCE DES LOCOMOTIVES FRANÇAISES





de ces charbons soit élevée (plus de 35 %).

L'appareil de chargement mécanique à peu près universellement employé est le stoker d'origine américaine que la Société française Stein et Roubaix construit pour toute l'Europe et qui donne d'excellents résultats. Ce stoker comprend un auget placé à la partie inférieure du tender et qui reçoit le charbon. Des trappes coulissantes règlent la chute du combustible. Une première vis d'Archimède, entraînée par un moteur à vapeur, conduit le charbon sur une plaque de broyage qui concasse les plus gros morceaux. Un convoyeur intermédiaire à vis le dirige vers la vis élévatrice qui le déverse sur une table de distribution à l'intérieur du foyer en dessous de la porte. Là, cinq jets de vapeur le répartissent sur toute la grille.

Pour tenir compte des déplacements relatifs entre locomotive et tender, les trois vis d'Archimède sont assemblées entre elles par des joints de cardan, et le convoyeur intermédiaire, du type télescopique, est articulé par joint sphérique à ses deux extrémités.

On règle la combustion en modifiant l'allure du moteur qui entraîne les vis d'Archimède, et la distribution du charbon sur la grille au moyen des robinets alimentant les jets de vapeur sur la table de distribution.

Le chargeur mécanique exige une grille spéciale et un foyer comportant une voûte très longue. L'emploi du stoker est obligatoire aux États-Unis ; en France, 1 800 locomotives sont munies de cet appareil.

LA CHAUFFE AU MAZOUT

Le pouvoir calorifique du mazout (10 300 calories) étant supérieur à celui du charbon (8 200 calories), on peut, pour un même poids de combustible, effectuer un parcours plus long avec le mazout. D'autre part, le mazout, avec lequel on n'a pas à craindre de projections

d'escarbilles, remplace avantageusement le charbon sur les lignes des pays forestiers.

En Europe centrale, on utilise le mazout dans un système de chauffe mixte : le foyer au charbon est muni de deux brûleurs situés au-dessus de la couche de charbon de la grille.

Dans les régions pétrolifères des États-Unis, on emploie presque exclusivement la chauffe complète au mazout. Elle a été adoptée en France pour 600 locomotives 141-R, pour quelques locomotives 230 en service dans les forêts des Landes et enfin pour les locomotives 230-K qui remorquent les trains sur pneus entre Paris et Strasbourg.

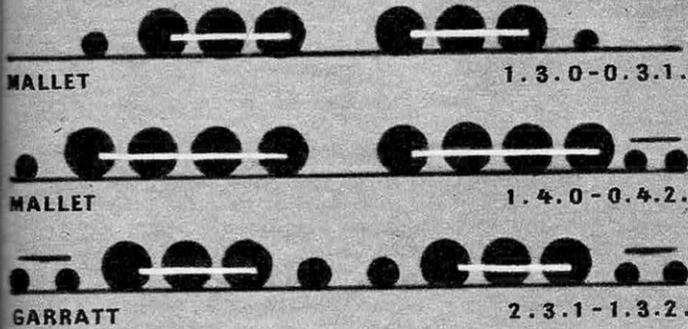
L'équipement comprend un brûleur placé à la partie inférieure avant du foyer ; le mazout arrivant par gravité est pulvérisé dans le foyer par un jet de vapeur qui traverse le brûleur. Dans le foyer, le cendrier classique est remplacé par une sole garnie de briques réfractaires, et les parties du foyer soumises à la flamme du brûleur sont également revêtues de briques. L'air de combustion pénètre dans le foyer par des ouvertures ménagées dans la sole et autour du brûleur.

Mais, à température normale, le mazout est excessivement visqueux, et, pour qu'il puisse s'écouler du tender au brûleur, il faut le réchauffer jusqu'à 80° environ. La soute à mazout du tender est garnie de serpentins que traverse un courant de vapeur, et, sur la locomotive, un second réchauffeur entoure la conduite de mazout.

Le mazout encrassant assez facilement les tubes à fumée, il est nécessaire de ramoner au sable ces tubes pendant la marche. Pour cela, on verse du sable sur un volet à travers la porte du foyer aménagée en conséquence, et le tirage, poussé alors au maximum, suffit pour entraîner le sable à travers les tubes et les nettoyer.

LES PRINCIPAUX TYPES DE LOCOMOTIVES

Suivant le service que sont appelées à fournir les locomotives : traction de trains de voyageurs rapides ou de trains de marchandises extrêmement lourds, et aussi suivant la nature des voies sur lesquelles elles circulent, on a adopté des formules différant par le nombre et la disposition des essieux moteurs et porteurs. Les machines de vitesse ont 6 ou 8 roues motrices de grand diamètre et un essieu porteur avant. Celles des trains de marchandises ont jusqu'à 16 roues motrices de grande adhérence et de diamètre plus faible.



La chauffe au mazout est facile, mais très sensible ; aussi le chauffeur qui règle l'allure de chauffe par un robinet placé sur la conduite de mazout doit suivre très attentivement les variations de marche que le mécanicien impose à la machine.

Notons que l'adaptation sur une locomotive de la chauffe au mazout n'offre aucune difficulté ; il faut seulement que le volume du foyer soit suffisant.

LES RÉCHAUFFEURS D'EAU D'ALIMENTATION

Jusqu'à la mise au point des réchauffeurs d'eau, on alimentait presque toujours la chaudière au moyen d'un injecteur fonctionnant avec de la vapeur. Celle-ci réchauffait bien l'eau, mais aux dépens de la vapeur ainsi prélevée. En réchauffant l'eau avec la vapeur d'échappement, on améliore donc le rendement.

Pratiquement, ce réchauffage est fait à la pression atmosphérique, ce qui limite la température à 100°. Calculons l'économie ainsi réalisée. Pour produire un kilogramme de vapeur saturée à la pression de 14 kg/cm² en partant d'eau à 15°, il faut 650 calories ; si la vapeur doit être surchauffée à 330°, il faut 714 calories. En chauffant l'eau de 15° à 95° avec la vapeur d'échappement, 80 calories sont récupérées, soit une économie théorique de 11 %.

Pratiquement, l'adjonction de réchauffeurs permet d'augmenter de 10 % le tonnage des trains remorqués.

Les réchauffeurs comportent tous un réchauffeur d'eau proprement dit, qui fonctionne en général par mélange de la vapeur d'échappement avec l'eau à réchauffer, complété par une pompe à eau froide et une pompe à eau chaude souvent jumelées.

TRAITEMENT DES EAUX D'ALIMENTATION

Les eaux naturelles contiennent, en général, des sels minéraux en dissolution, tels que carbonates et sulfates de calcium et de magnésium, qui forment dans les chaudières des dépôts adhérents que l'on nomme « tartre ». Ces incrustations réduisent la transmission de la chaleur à travers les parois, accroissent la consommation de combustible et augmentent les travaux d'entretien et les immobilisations des machines. Certaines eaux ont aussi un pouvoir corrosif ; attaquant les tôles, entretoises et rivets, elles diminuent leur résistance mécanique. A la longue on risque des incidents

très graves, qu'on évitait autrefois au moyen de fréquentes visites et de travaux d'entretien coûteux.

On remédie aujourd'hui à ces inconvénients en traitant chimiquement les eaux d'alimentation. En Amérique, les eaux sont épurées à poste fixe dans les dépôts ; en France, elles sont traitées sur la locomotive même par le « Traitement Intégral Armand » (T. I. A.), inventé et mis au point par le directeur général de la S. N. C. F.

Ce traitement consiste à faire agir sur l'eau, à l'intérieur de la chaudière, un « complexe » composé de plusieurs réactifs : extraits tannants et sels alcalins. Ce complexe transforme les sels incrustants dissous dans l'eau en solides non entartrants qui seront éliminés sous forme de boues ; il supprime, en outre, le pouvoir corrosif de l'eau. Le mécanicien doit donc pratiquer en marche, à intervalles réguliers, des purges de déconcentration de l'eau de la chaudière pour extraire les boues et limiter la teneur de l'eau en sels dissous afin d'éviter les entraînements d'eau par le régulateur (primage). L'efficacité du traitement des eaux a été prouvée par une réduction très importante des frais d'entretien des chaudières, constatée depuis l'application du traitement.

L'appareillage se compose de :

— un réservoir doseur de complexe sur la caisse à eau du tender, muni d'un distributeur qui, par l'effet de la compression de l'air contenu dans un tube et fonction du niveau de l'eau dans le tender, déverse la quantité voulue de complexe dans le tender chaque fois qu'on le remplit d'eau. Pour empêcher la cristallisation du complexe, le réservoir contient un serpentín de réchauffage mis en action quand la température extérieure descend en dessous de + 15° ;

— une vanne d'extraction des boues en marche placée à la partie inférieure avant de

la boîte à feu, qui est commandée à distance (à vapeur ou à air) par le mécanicien. Les extractions se font en principe tous les 50 km. Un détendeur brise la violence du jet qui détériorerait le ballast ;

— un dispositif de contrôle qui enregistre les extractions sur la bande de l'indicateur de vitesse de la locomotive.

L'ÉCHAPPEMENT

Cet organe adapte automatiquement le tirage à l'allure de la machine. Il en existe de nombreux types, la section de passage de la vapeur à travers la tuyère d'échappement pouvant être variable ou non. A l'expérience, l'échappement fixe, à section de passage invariable, qui dispense le mécanicien de tout réglage et qui est le plus simple, a donné toute satisfaction. Plus la section de passage de vapeur dans la tuyère est faible, plus le tirage est grand, mais la contre-pression de la vapeur s'élève en même temps, ce qui diminue le rendement de la locomotive.

Aussi le meilleur échappement est-il celui qui donne le tirage correspondant à un régime de marche donné avec le minimum de contre-pression.

C'est en France que cette question a été la plus étudiée, et l'échappement « Kylchap » appliqué sur un grand nombre de locomotives françaises s'est répandu dans tous les pays du monde. Au sommet de la tuyère d'échappement, quatre barrettes triangulaires disposées en croix divisent le jet de vapeur. Ces quatre jets entraînent les gaz de la boîte à fumée, et le mélange traverse ensuite les quatre tuyères d'un ajutage à la sortie duquel il aspire à nouveau des gaz de la boîte à fumée. Un second ajutage cylindrique entraîne encore une nouvelle quantité de gaz avant que le mélange s'échappe par la cheminée. La grille à flammèches qui entoure l'échappement arrête les escarbilles qui pourraient causer des incendies.

Dans les machines puissantes, il a fallu accoler deux échappements sous une cheminée double.

CHASSIS, ESSIEUX BOITES D'ESSIEUX

Le châssis joue un rôle essentiel : il supporte la chaudière et les cylindres; il résiste aux effets de la pression sur les fonds des cylindres ainsi qu'à la poussée transmise par les bielles aux boîtes à huile; enfin il maintient invariables les distances entre les pièces du mécanisme en résistant aux efforts auxquels elles sont soumises et aux réactions de la voie qui lui sont transmises par les roues et les boîtes d'essieux.

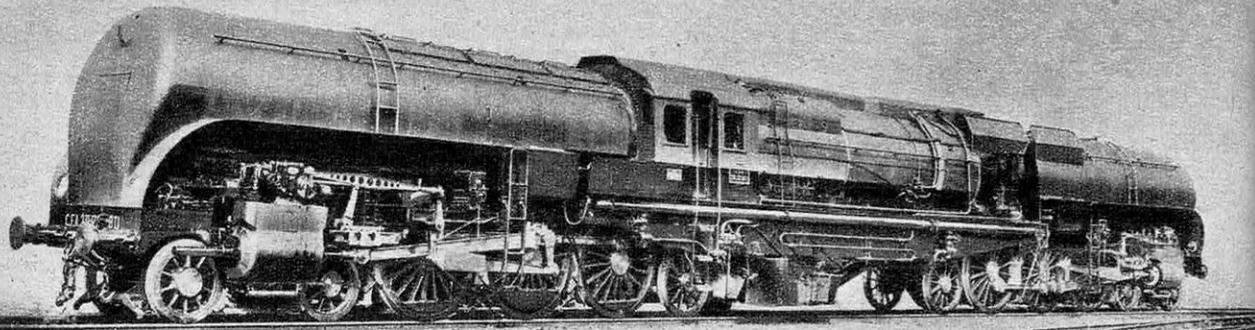
Les châssis doivent donc être extrêmement rigides et robustes. En Europe, on utilise surtout des longerons en tôle d'environ 30 mm d'épaisseur, entretoisés par des traverses en acier moulé. En Amérique, après les longerons en barres, plus épais et par conséquent plus résistants que les longerons en tôle, on emploie; depuis quinze ans, des châssis monoblocs coulés d'une seule pièce avec leurs cylindres. Ces ensembles, dépassant souvent 50 t, constituent de remarquables ouvrages de fonderie qui résolvent de la façon la plus complète le problème de la rigidité.

La suspension des châssis sur les boîtes d'essieux est constituée par plusieurs groupes de ressorts pour mieux partager la charge et améliorer la stabilité en marche. Dans chaque groupe, les ressorts sont reliés par des balanciers qui répartissent la variation de charge d'un ressort sur l'ensemble du groupe.

Les essieux et boîtes d'essieux jouent un rôle important dans la tenue en service et dans l'entretien des locomotives. Les corps de roues sont entourés par des cercles en acier appelés bandages, montés par serrage à chaud.

Depuis quelques années, pour réduire l'usure et les risques d'ébranlement, ces bandages sont en acier dur à 75 ou 80 kg/mm² de résistance à la traction et leur épaisseur a été portée de 70 mm à 90 mm.

Les boîtes d'essieux, ajustées directement sur la « fusée » de l'essieu, forment en quelque sorte tampon entre l'essieu et le châssis



SUR LA LOCOMOTIVE GARRATT 231-132 (Algérie), la chaudière est montée sur un châssis reposant par deux

pivots sur deux trucks moteurs. Cette locomotive peut circuler dans les courbes de faible rayon.

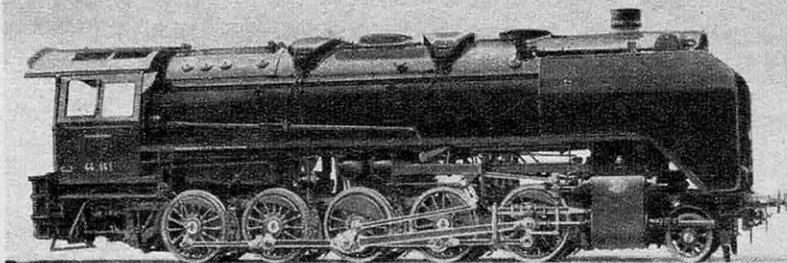
qu'elles entraînent. On cherche à les rendre le plus rigide possible, et leurs dimensions sont en proportion des efforts fournis par la locomotive. Les coussinets qui reposent sur les fusées ont été longtemps ajustés dans les dessus des boîtes d'essieux en contact avec les cales des longerons ; aujourd'hui, ils sont le plus souvent emmanchés à la presse.

Un nouveau progrès a été accompli en utilisant des boîtes d'essieux à roulement à rouleaux des types S. K. F. ou Timken, qui présentent de nombreux avantages : suppression presque complète du frottement de la boîte sur la fusée, dépense infime d'huile en service, entretien sensiblement nul. Ces boîtes à rouleaux ont d'abord été montées sur les essieux porteurs qui ne supportent pas les efforts du mécanisme, puis sur les essieux moteurs. Cette solution, parfaitement au point, tend de plus en plus à se généraliser.

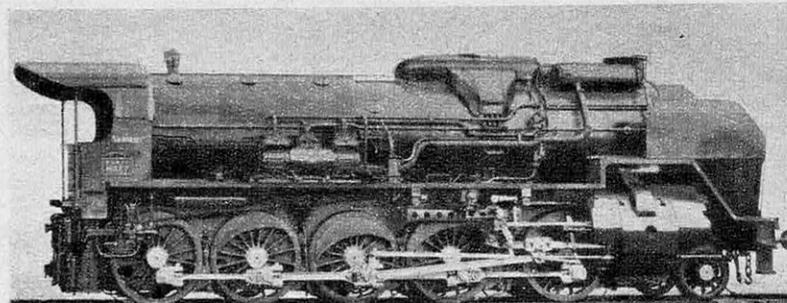
Les boîtes d'essieux se logent dans des ouvertures des longerons. Dans les châssis à longerons en barres, on intercale, entre la boîte et le longeron, d'un côté une cale et de l'autre côté un coin de rattrapage de jeu. Dans les châssis à longerons en tôle, l'ouverture du longeron est entourée par une pièce appelée guide de boîte ; entre le guide et la boîte, on place d'un côté une cale et de l'autre une cale montée sur le guide avec interposition d'un coin de rattrapage de jeu entre la boîte et cette cale.

Chaque boîte d'essieu est en mouvement continu en raison des oscillations du châssis et de la poussée des bielles. Les surfaces en contact s'usent et prennent rapidement du jeu qu'il faut rattraper. Pour y remédier, on emploie depuis peu des rappliques en acier au manganèse, dont on munit les surfaces en contact : boîte d'essieu d'une part et cales ou coins d'autre part. L'acier au manganèse frottant sur lui-même s'use, en effet, très lentement.

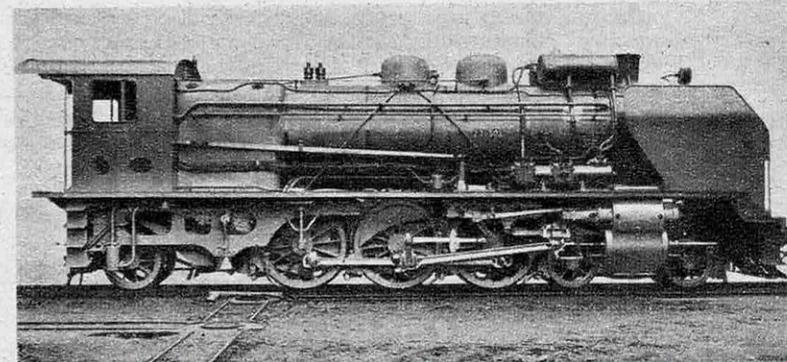
Pour reprendre les jeux des boîtes d'essieux, on utilise aussi sur les machines récentes des coins à rattrapage de jeu automatique système Franklin. Le coin de rattrapage, placé entre guide et boîte, est poussé par deux ressorts et annule le jeu.



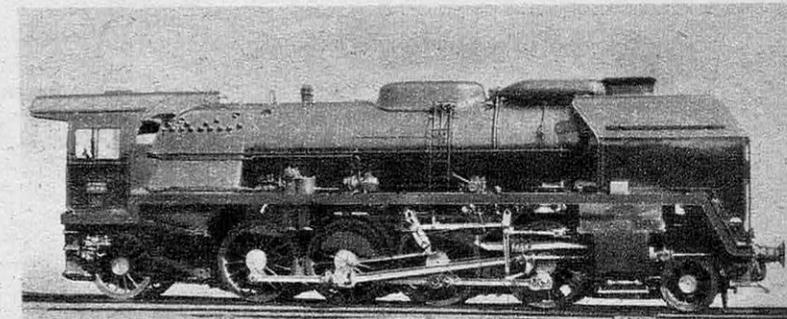
LA LOCOMOTIVE ALLEMANDE DU TYPE 150 est construite par Krauss-Maffel. Cette machine de 110 t exerce une traction de 34 t.



LES LOCOMOTIVES DE MARCHANDISES 150-P (S. N. C. F.) sont, pour la plupart, équipées d'un chargeur mécanique stoker.



CETTE LOCOMOTIVE DU TYPE 231, des chemins de fer d'Indochine, a été construite pour les voies coloniales étroites (1 m).



LES LOCOMOTIVES mixtes 141-P (S. N. C. F.) ont un chargeur mécanique stoker. Les plus récentes ont un siphon Nicholson.

LES CYLINDRES

Les locomotives ont deux, trois ou quatre cylindres, autrefois en fonte et, dans les machines modernes, en acier moulé avec chemises de fonte. Dans les locomotives à simple expansion, il y a deux cylindres et parfois trois ; dans ce cas, l'un d'eux est placé dans l'axe de la machine et attaque un essieu coudé. Mais, comme le diamètre des cylindres est limité à cause du gabarit, il faut parfois prévoir quatre cylindres dans les locomotives très puissantes. Les États-Unis utilisent quatre cylindres extérieurs à simple expansion sur les locomotives Mallet, et le Pennsylvania a mis en service une locomotive d'un type bien particulier, 2222, où les quatre cylindres à simple expansion sont extérieurs aux longerons (deux à l'avant, deux au milieu de la machine). Ces machines ne comportent pas d'essieux coudés, tous les cylindres étant extérieurs.

Les machines compound ont presque toujours quatre cylindres, deux cylindres à l'extérieur et deux à l'intérieur des longerons. Ces derniers attaquent un essieu doublement coudé. Les essieux coudés sont soumis à de gros efforts et leur forme les rend plus fragiles qu'un essieu droit normal ; dans les machines modernes, ils sont en acier spécial ou en acier ordinaire trempé et revenu.

L'augmentation des puissances conduit à accroître considérablement le diamètre des cylindres BP, qui travaillent à des pressions bien plus basses que les cylindres des locomotives à simple expansion. Mais, la puissance augmentant, on ne peut plus les placer

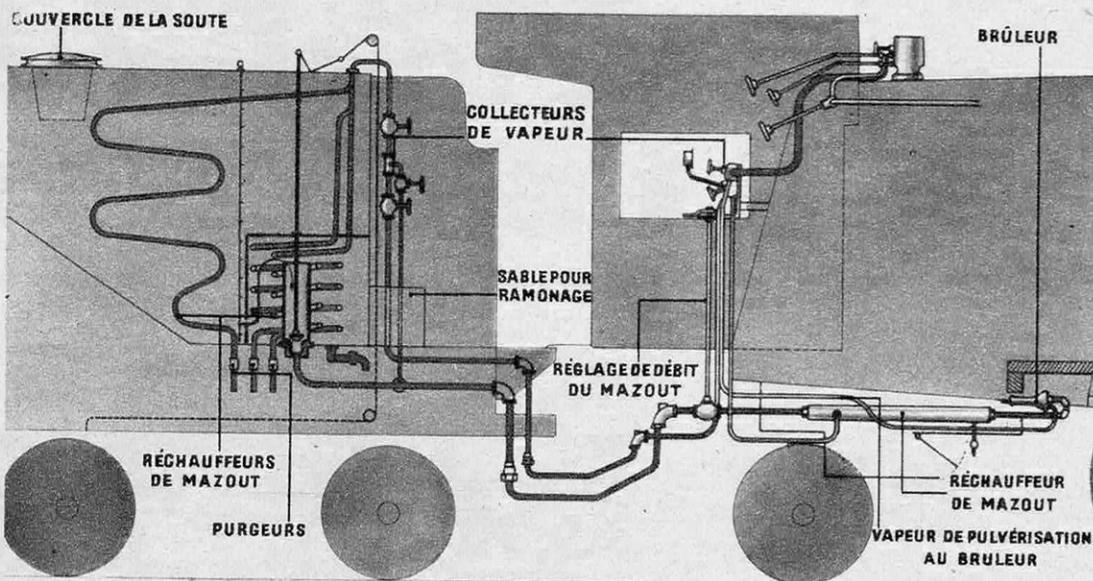
ni à l'intérieur des longerons, ni à l'extérieur du châssis à cause du gabarit. En même temps, la construction de l'essieu coudé pose, pour les machines de puissance élevée, des problèmes difficiles.

C'est pourquoi les toutes dernières locomotives compound puissantes n'ont que trois cylindres, un cylindre HP intérieur et deux cylindres BP extérieurs, ceux-ci travaillant en outre à une pression plus élevée que ne le font habituellement les cylindres BP des machines compound quatre cylindres. Ainsi, dans la 242-A1 de la S. N. C. F., machine compound à trois cylindres construite en 1946, la pression de régime BP est 8 à 9 kg, tandis qu'elle n'est que de 4 à 6 kg dans les locomotives 141-P compound à quatre cylindres qui ont été construites depuis 1943. De même, les chemins de fer tchécoslovaques ont fait construire, en 1948, une série de locomotives compound à trois cylindres.

TIROIRS ET SOUPAPES

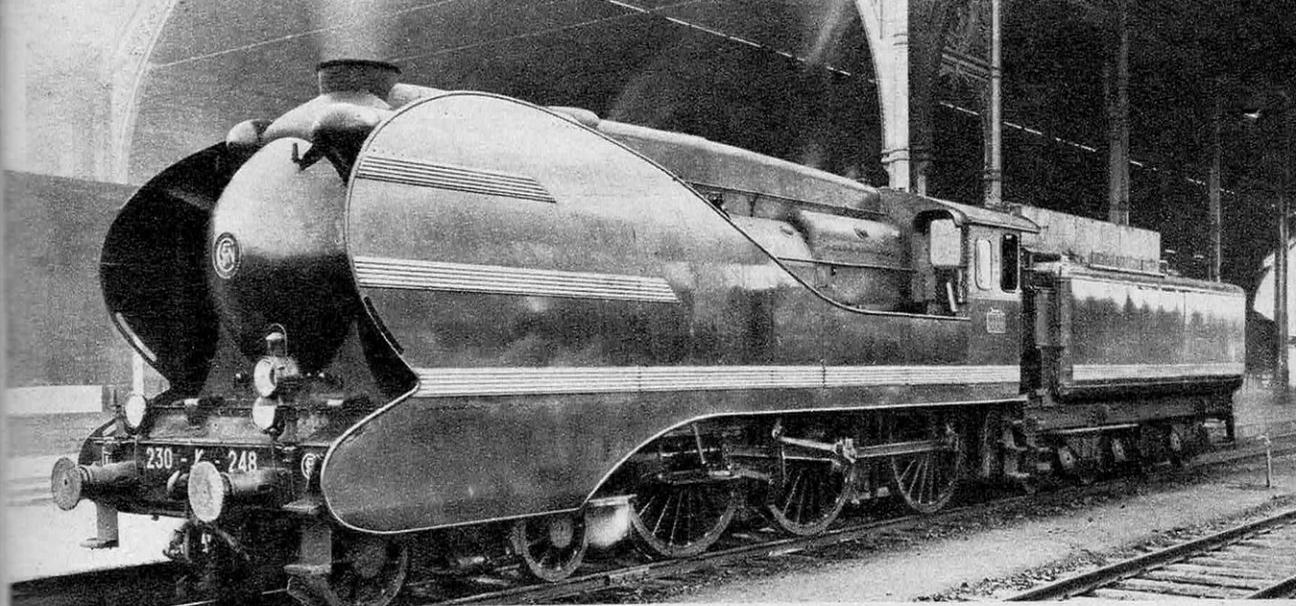
La vapeur est distribuée dans les cylindres par des tiroirs qui, depuis longtemps, sont du type cylindrique ; leur mouvement est commandé, à partir de l'essieu moteur, par un mécanisme qui, dans le monde entier, est du type Walschaert. Aux États-Unis, on rencontre cependant quelques distributions du type Baker.

Les tiroirs ont l'inconvénient de provoquer à l'ouverture et à la fermeture des « laminages » de la vapeur. On a donc cherché à les remplacer par des soupapes s'ouvrant et se fermant rapidement. En Autriche, on utilise les soupapes Lentz. En France, on a expérimenté



● Avant de s'écouler vers le brûleur à l'avant du foyer, le mazout, excessivement visqueux, est réchauffé dans le tender par un système de serpentins traversés par un courant de vapeur ; un second réchauffeur

le conduit à mazout sur la locomotive. Arrivé au brûleur, le mazout est pulvérisé dans le foyer par un jet de vapeur. Un volet sur la porte du foyer permet le ramonage au sable des tubes à fumée pendant la marche.



LES LOCOMOTIVES 230-K, de la région Est, à 4 cylindres et à surchauffe, ont été équipées pour la chauffe complète au mazout. Elles sont spécialement

utilisées pour la remorque des trains rapides sur pneumatiques qui relient Paris à Strasbourg (504 km) en 5 h 15 mn, soit à la vitesse commerciale de 96 km/h.

notamment les distributions à soupapes Dabeg, à cames oscillantes ou rotatives, qui dérivent du type Lentz. Les cames oscillantes sont commandées par un mécanisme du type Walschaert comme des tiroirs. Les cames rotatives sont montées sur un arbre en rotation continue, commandé à partir d'un arbre de prise de mouvement actionné directement par un essieu moteur.

Tiroirs et soupapes ont leurs avantages et leurs inconvénients. Leur compétition est née de l'intérêt primordial qu'offrent des circuits de vapeur à larges sections et bien étudiés, comme les essais de la locomotive Pacific n° 3566 du réseau P.-O. l'ont démontré en 1929.

L'influence des dimensions et du tracé de ces circuits sur le rendement de la locomotive est très sensible, et l'un des points critiques se trouve évidemment dans la traversée du distributeur.

D'où l'intérêt de la soupape, qui offre rapidement une large section de passage à la vapeur et s'accommode bien des hautes températures de surchauffe.

Mais, les volumes de vapeur à débiter étant importants, il a fallu adopter de grandes sections, donc de grands diamètres (de 160 jusqu'à 275 mm) ainsi que des doubles sièges, pour réduire les efforts de soulèvement qui auraient atteint des valeurs trop élevées avec un seul siège.

De ce fait, l'étanchéité est plus difficile à obtenir et l'entretien plus onéreux qu'avec des tiroirs.

En même temps que les distributions à soupapes étaient expérimentées, les tiroirs se perfectionnaient.

Ils furent d'abord sensiblement allégés, puis des distributions à longue course permirent d'offrir à la vapeur des sections de passage nettement agrandies.

Les tiroirs Willoteaux ou type Est, à double

admission et à double échappement, répondaient aux mêmes nécessités. Finalement le tiroir, qui a le mérite d'une plus grande simplicité de construction et d'entretien, a retrouvé la faveur des techniciens. La soupape serait cependant préférée aux tiroirs pour des locomotives à très grande vitesse.

ÉQUILIBRAGE

En voyant passer en vitesse un train rapide, on peut se demander comment la locomotive à vapeur arrive à conserver son équilibre et sa stabilité, malgré les mouvements vertigineux de son mécanisme aux allures dépassant 100 km/h. Les locomotives à vapeur sont en effet des engins bien équilibrés et très stables qui peuvent circuler aux vitesses les plus élevées, en particulier à cause de la disposition de leurs essieux avec bogie uniquement directeur à l'avant et aussi en raison de la valeur élevée du rapport du poids suspendu au poids total.

C'est ainsi que les locomotives 242 du Norfolk and Western Railway remorquent chaque jour, depuis plusieurs années, entre Roanoke et Cincinnati et dans chaque sens, un train dont le tracé comporte un parcours à la vitesse de 160 km/h.

Et voici quelques vitesses records :

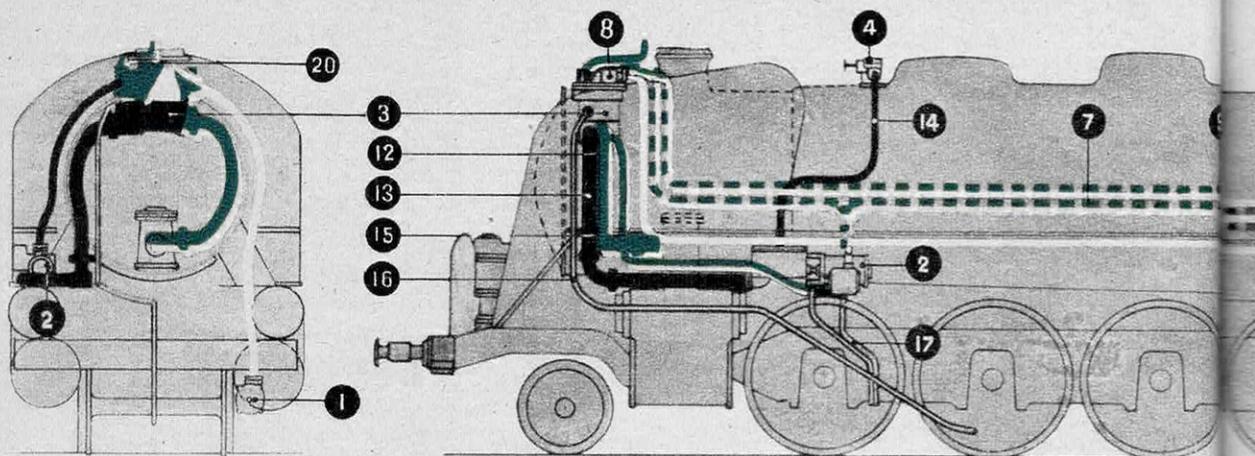
— en 1935 : une Pacific du L. N. E. R. (London and North Eastern Railway) (Angleterre) circule à 181 km/h ;

— en 1936 : une 232 des chemins de fer allemands circule à 200 km/h entre Berlin et Hambourg ;

— en 1938 : aux États-Unis, la 232 du train Hiawatha circule à 200 km/h ;

— en 1939 : une Pacific du L. N. E. R. atteint la vitesse de 202 km/h.

En fait, la vitesse des locomotives à vapeur n'est limitée ni par leur équilibrage ni par leur manque de stabilité. Toutes les masses



en mouvement rotatif sont totalement équilibrées par des contrepoids disposés dans les roues motrices. Les masses en mouvement alternatif sont équilibrées au maximum par des contrepoids que l'on compose avec les précédents. Mais pour ces masses l'équilibrage est très complexe, car il dépend du calage des manivelles et du nombre des cylindres. Cependant l'influence des masses en mouvement alternatif est suffisamment réduite pour que leur effet sur la stabilité de la locomotive soit à peu près négligeable. Enfin, les mouvements perturbateurs provenant des jeux de la locomotive dans la voie ou des jeux propres à la locomotive en marche sont combattus très efficacement en donnant aux rappels des déplacements de bogies et bissels des valeurs appropriées. Ces rappels sont obtenus par gravité, ressorts, etc.

ENTRETIEN

L'entretien du mécanisme des locomotives est fatalement important puisqu'il s'agit d'organes en mouvement. De nombreuses dispositions ont été prises pour le réduire autant que possible. En France, toutes les articulations sont munies d'axes tournant dans des bagues dont l'usure en service est faible. Les axes et bagues sont normalisés, ce qui permet, lorsque les jeux deviennent importants, de les changer sans modifier les pièces qui les reçoivent.

On a cherché également à améliorer la tenue des segments de pistons et de tiroirs, c'est-à-dire des anneaux élastiques qui entourent ces organes et assurent leur étanchéité. Il en va de même des garnitures de tiges de pistons et de tiroirs constituées par des anneaux entourant ces pièces à leur sortie des cylindres pour assurer l'étanchéité. De très bons résultats ont été obtenus avec les segments Koppers à double couronne d'éléments multiples en fonte et en bronze, ainsi qu'avec les garnitures de tiges à anneaux métalliques en fonte spéciale ou en métal « rose » (50 % de cuivre et 50 % de plomb). Ces nouveaux dispositifs augmentent considérablement le service des pièces malgré l'emploi de surchauffes élevées.

Le graissage est un élément primordial du

bon fonctionnement des locomotives. Les cylindres et tous les organes en mouvement sont maintenant abondamment graissés à l'huile, la graisse étant très peu employée. La dépense d'huile par kilomètre est de l'ordre de 12 g pour les cylindres et de 15 à 25 g pour les autres organes. On utilise des graisseurs mécaniques à multiples départs pouvant graisser jusqu'à quarante-huit points. Ce sont de petites pompes, actionnées par le mécanisme, qui refoulent l'huile sous forte pression. Un graisseur mécanique spécial, débitant de l'huile capable de résister aux hautes températures, graisse les cylindres ; un autre distribue de l'huile de moins bonne qualité aux boîtes à huile, guides de boîtes, etc.

LES CABINES DE CONDUITE

Malgré tous les perfectionnements dont la technique moderne a doté les locomotives, ce sont des hommes qui conduisent ces énormes machines, toujours plus puissantes et plus rapides, dans des conditions bien souvent pénibles et difficiles. Il est peu de métiers où l'attention vigilante, dont dépendent tant de vies humaines, doit se combiner plus complètement à de durs efforts physiques, le mécanicien et le chauffeur étant tenus, en toute circonstance, d'obéir rigoureusement aux signaux et de respecter scrupuleusement l'horaire.

Tout a donc été fait pour faciliter de plus en plus le travail de l'équipe de conduite, ce qui contribue d'ailleurs à augmenter la sécurité. Les cabines des machines modernes sont spacieuses et le personnel bien abrité ; la visibilité à travers les glaces avant est étudiée de façon à être la meilleure possible. Des écrans parafumées en tôle, placés à l'avant sous la cheminée, empêchent que les fumées ne se rabattent sur l'abri et ne gênent la visibilité des signaux.

Les commandes qui demandent un gros effort physique ont été dotées de servomoteurs ; c'est le cas du changement de marche qui règle l'admission de vapeur aux cylindres, des purgeurs des cylindres, etc. Les abris sont éclairés à l'électricité. La chauffe mécanique et la chauffe au mazout diminuent

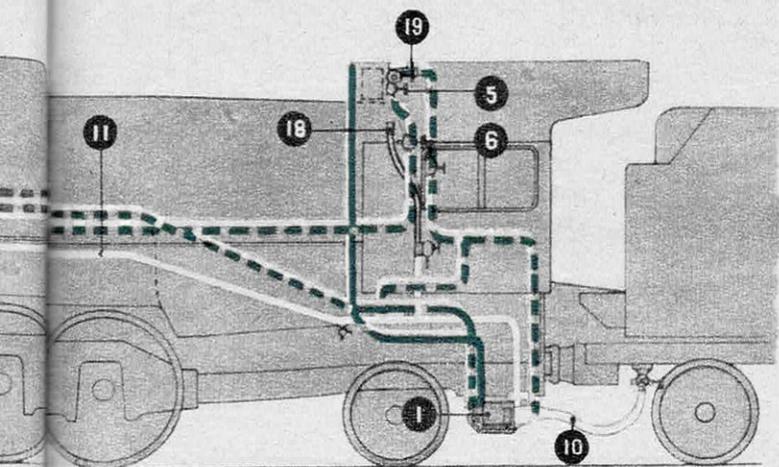


SCHÉMA DU RÉCHAUFFEUR D'EAU WORTHINGTON

L'eau froide (en blanc) récupère dans le réchauffeur les calories de la vapeur d'échappement (en rouge). Les pompes à eau chaude et froide sont entraînées par la vapeur « vive » empruntée à la chaudière (trait rouge et blanc). En noir : l'eau chaude alimentant la chaudière.

- 1, Pompe centrifuge à eau froide.
- 2, Pompe alternative à eau chaude.
- 3, Réchauffeur.
- 4, Chapelle de refoulement.
- 5, Prise de vapeur des pompes à eau froide et chaude.
- 6, Robinet de réglage de vapeur de la pompe à eau chaude.
- 7, Vapeur alimentant les pompes à eau froide et chaude.
- 8, Régulateur de vapeur.
- 9, Tuyauterie de vapeur alimentant la pompe à eau froide.
- 10, Rotule d'alimentation.
- 11, Refoulement d'eau froide.
- 12, Prise de vapeur d'échappement.
- 13, Tuyauterie d'eau chaude.
- 14, Refoulement d'eau chaude à la chapelle de refoulement.
- 15, Échappement de la pompe.
- 16, Trop-plein du réchauffeur.
- 17, Purges de la pompe.
- 18, Manomètre.
- 19, Prise de vapeur (réchauffage).
- 20, Dégazage.

considérablement le travail du chauffeur. La répétition acoustique sur la machine de la position des signaux est réalisée en France sur toutes les locomotives. Enfin, dans les locomotives modernes pourvues de la chauffe mécanique ou au mazout, on a groupé tous les appareils de commande et tous les indicateurs de telle façon que mécanicien et chauffeur puissent normalement faire tout leur travail en marche en restant assis. C'est le cas notamment des machines des types 141-P et 141-R, soit au total plus de 1 800 machines de la S. N. C. F.

DIFFÉRENTS TYPES DE LOCOMOTIVES

On classe les locomotives suivant la disposition de leurs essieux. Les machines de vitesse ont généralement trois ou quatre essieux moteurs au plus avec un bogie à l'avant ; leurs roues motrices ont un grand diamètre, généralement de 1,80 m et 2 m, afin de limiter la vitesse angulaire du mécanisme. En Europe ce sont surtout des Pacific et des Mountain.

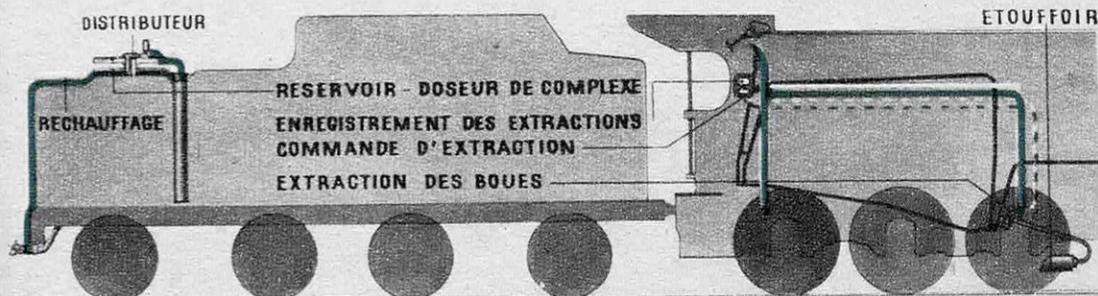
En Amérique, des 232 et plus récemment des 242 remorquent les trains rapides.

Les machines des trains de marchandises doivent avoir une grande adhérence permettant des efforts de traction élevés ; elles ont donc quatre ou cinq essieux moteurs et parfois davantage. Leurs roues motrices sont de faible diamètre pour augmenter l'effort de traction. De plus, pour un même chemin parcouru, l'effort de traction minimum (cet effort est variable au cours d'un tour de roue) se reproduit d'autant plus souvent que les roues motrices ont un diamètre plus faible. Il est donc avantageux d'utiliser de petites roues (1,35 m à 1,55 m) pour remorquer des trains lourds ou circulant sur des lignes à fortes rampes.

Lorsque les charges à remorquer dépassent certaines limites, la locomotive à châssis unique devient insuffisante et l'on utilise des machines des types Mallet ou Garratt.

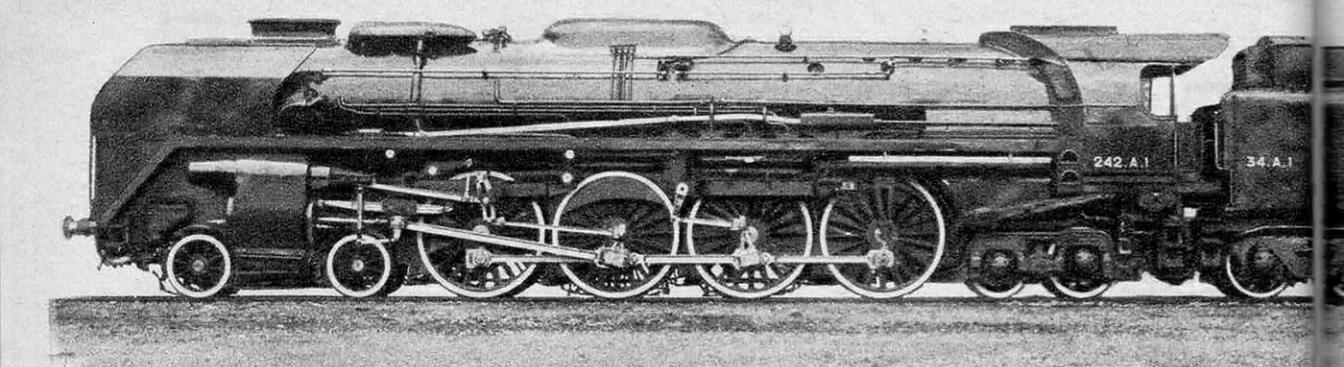
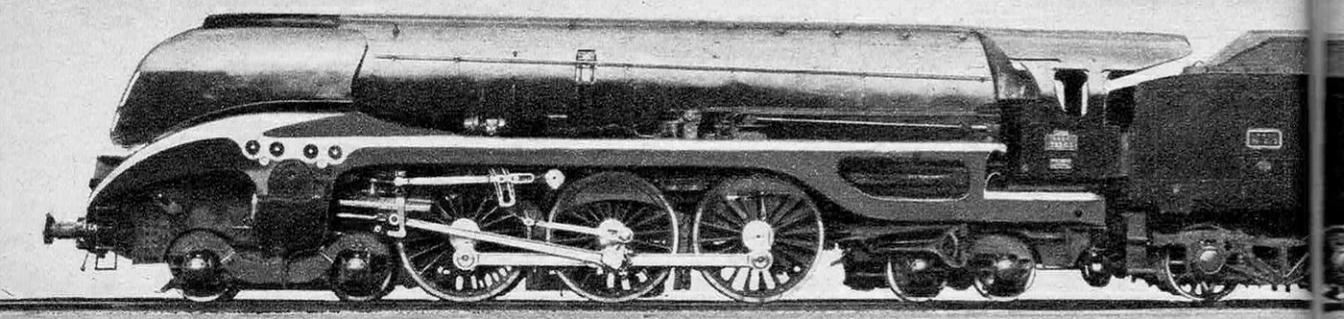
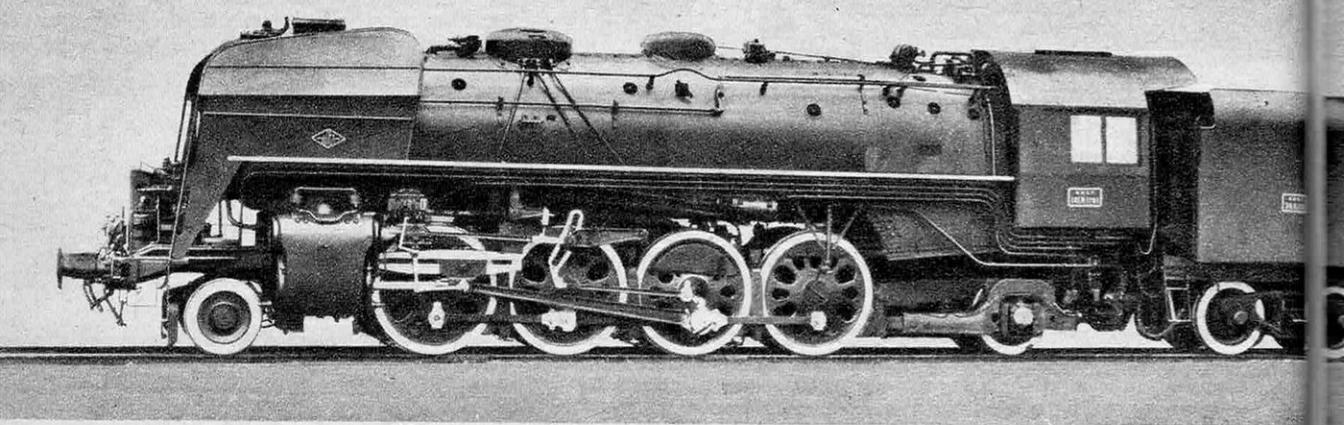
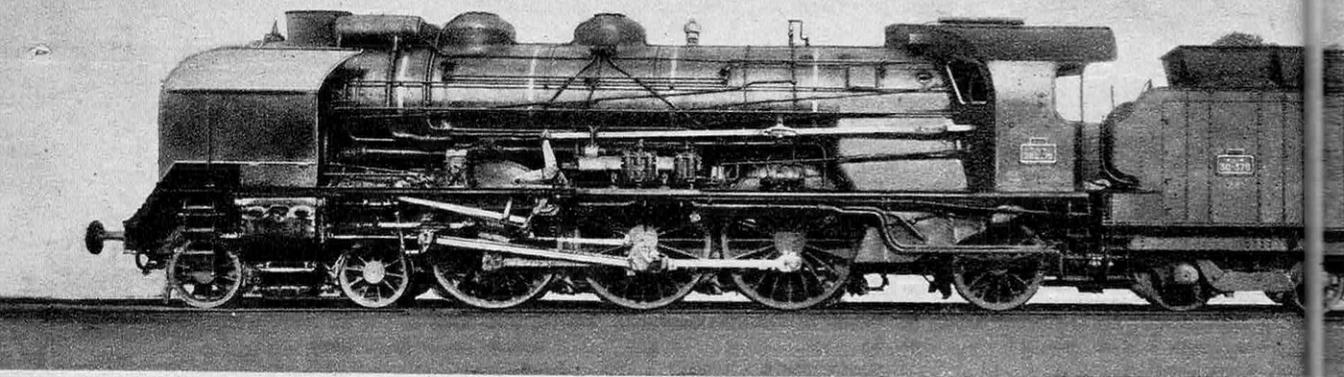
Les locomotives Mallet sont constituées par un châssis portant la chaudière et dont l'arrière seul est monté sur des essieux moteurs. L'avant repose par un pivot sur un second

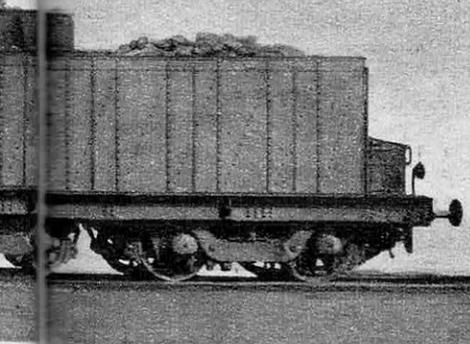
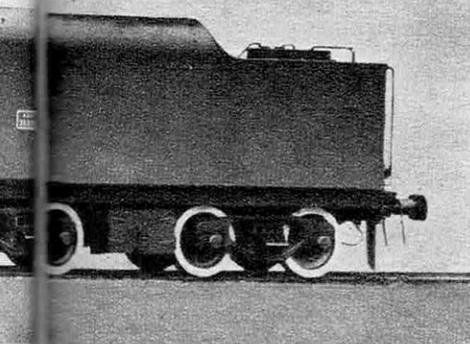
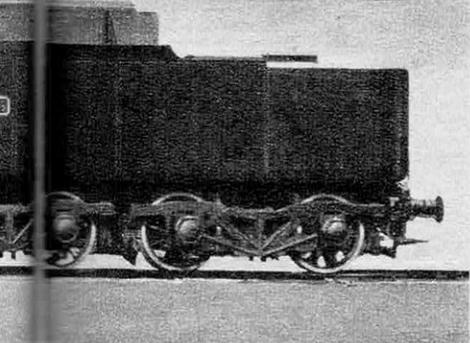
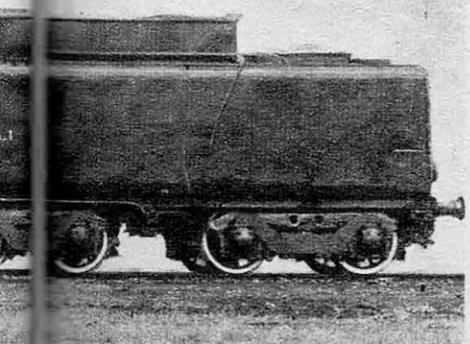
TRAITEMENT DES EAUX D'ALIMENTATION (T. I. A.)



● Les sels calcaires et magnésiens dissous dans l'eau d'alimentation des locomotives ont tendance à entartrer la chaudière. Pour remédier à cet inconvénient

grave, on traite l'eau par un produit chimique qui élimine les « ions » indésirables sous forme de boues, que l'on chasse en marche par la vanne d'extraction.



LOCOMOTIVE 231-G**LOCOMOTIVE 141-R****LOCOMOTIVE 232-U****LOCOMOTIVE 242-A1**

châssis qui comprend d'autres essieux moteurs. Les essieux moteurs arrière sont attachés par deux cylindres montés sur le châssis principal et les essieux moteurs avant attachés par les deux cylindres montés sur le châssis avant. Les deux mécanismes sont donc indépendants. Ces locomotives ont en général six à huit essieux moteurs ; elles sont surtout utilisées aux États-Unis, où des trains de marchandises particulièrement lourds exigent des machines à poids adhérent très élevé, donc pourvues de nombreux essieux moteurs.

Dans les locomotives Garratt, la chaudière est montée sur un châssis qui repose par deux pivots sur deux trucks moteurs comprenant chacun leur mécanisme et leurs essieux moteurs indépendants. Les locomotives Garratt ont également l'avantage de circuler très facilement dans les courbes de faible rayon. Elles sont très utilisées aux colonies où les voies généralement à écartement étroit ont un tracé particulièrement sinueux.

Entre les machines de vitesse et les locomotives de marchandises se placent les locomotives mixtes dont les roues ont un diamètre d'environ 1,65 m. Ces machines sont généralement du type 141 (Mikado) ; leur bissel avant limite la vitesse, mais permet de reporter du poids sur les essieux moteurs. Elles remorquent indifféremment des trains de marchandises de tonnage moyen, des express lourds ou des trains de messageries ; ce sont des machines « à tout faire » dont la vitesse est limitée entre 90 et 100 km/h.

Le service des grandes gares de triage est fait par des machines-tenders à adhérence totale (sans essieu porteur) qui ont aujourd'hui cinq essieux moteurs. Le trafic de banlieue est assuré par des machines-tenders du type 242 ou 141 dont les quatre essieux facilitent les démarrages fréquents.

Pour les locomotives modernes à grande vitesse, on a recherché des formes aérodynamiques. En fait, les gains obtenus sur la résistance de l'air ne sont appréciables qu'aux très grandes vitesses. Par contre, l'habillage disposé autour du mécanisme gêne l'entretien et diminue notablement le refroidissement en pleine marche. On se contente donc depuis quelque temps de carénages partiels qui réduisent la résistance à l'avancement et donnent une ligne harmonieuse à la locomotive sans apporter de gêne dans le service.

A. Pellevat,

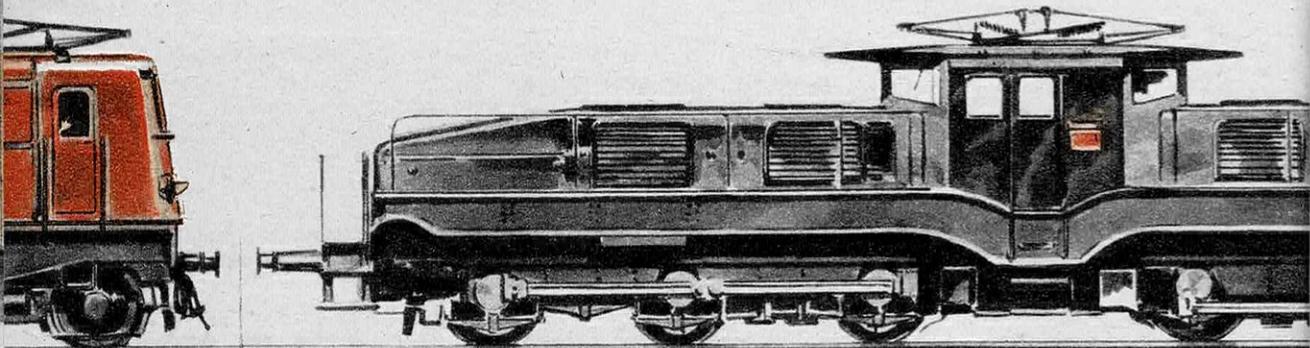
*Ingenieur au Service Technique
du Matériel de la S. N. C. F.*

LA LOCOMOTIVE 231-G de la région Sud-Est est compound 4 cylindres à surchauffe. Les locomotives « Pacific », apparues pour la première fois sur le réseau du P.-O. en 1907, ont été modernisées à plusieurs reprises et elles remorquent aujourd'hui la plupart des trains rapides français.

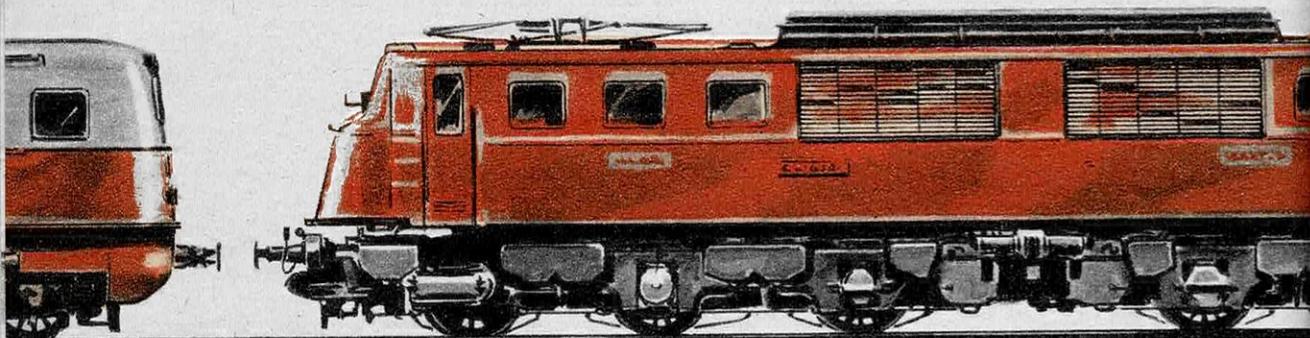
LA LOCOMOTIVE 141-R, simple expansion à surchauffe, construite en Amérique après la guerre pour la S. N. C. F., pèse 115,5 t et développe un effort de traction maximum de 24,2 t. C'est une machine mixte pour trains de voyageurs et de marchandises. Sa conduite a été banalisée.

LE PROTOTYPE DE LA LOCOMOTIVE 232-U, compound à surchauffe de la S. N. C. F., résulte d'une modification d'une 232-S de 127 t. Sa puissante chaudière timbrée à 20 hpz est équipée d'un chargeur mécanique. Sa distribution est à tiroirs allégés à très grande section.

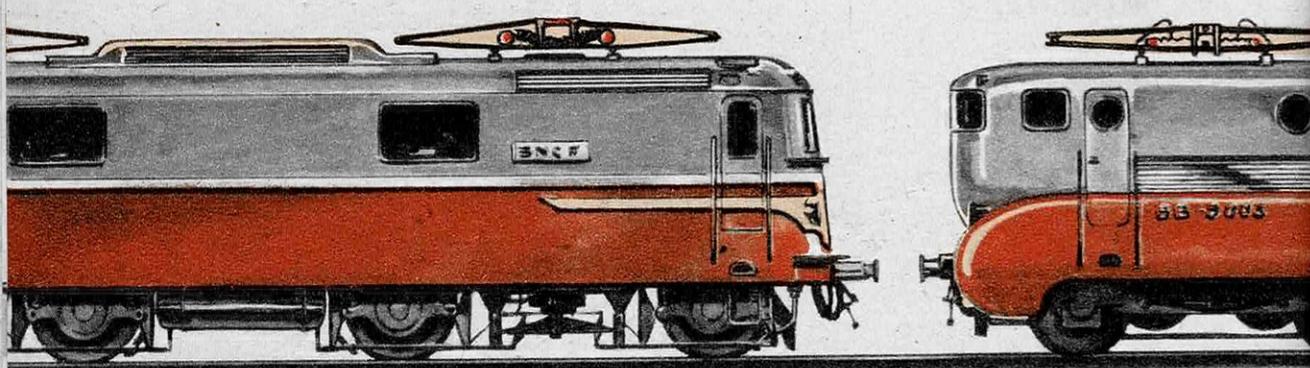
LA LOCOMOTIVE 242-A est actuellement la locomotive à vapeur la plus puissante d'Europe. C'est une compound à 3 cylindres (1 HP, 2 BP). Timbrée à 20 hpz, avec surchauffe, elle possède un chargeur mécanique. C'est la première machine à échappement triple. Son poids est de 148 t.



● Locomotives S. N. C. F. de manœuvre CC 1100 à courant continu, d'un poids de 90,4 t, développant 600 ch. Elle peut circuler « haut-le-pied » à 25 km/h.



● Locomotive S. N. C. F. de montagne CC 6001 à courant continu. Poids : 120 t. Diamètre des roues : 1,35 m. Puissance : 4000 ch sous 1 500 volts. V. max. : 105 km/h.

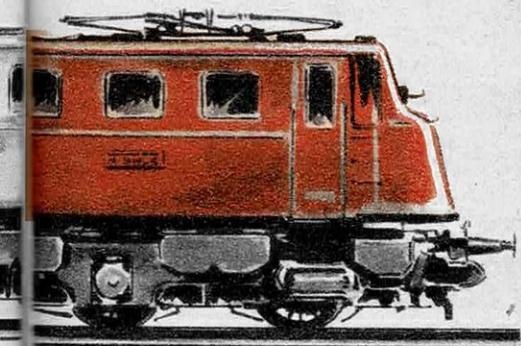
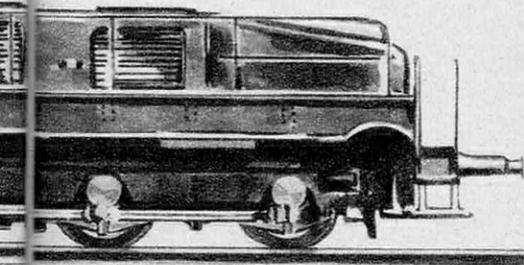


● Prototype S. N. C. F. de vitesse BB 9001 à courant continu de construction suisse, dérivant des machines BB du Lötschberg. Poids : 80 t. V. max. : 160 km/h.



● Locomotive italienne BBB de 3 200 ch à courant continu 3 000 volts, pour lignes accidentées. Elle remorque aussi des trains de 1 500 t en palier.

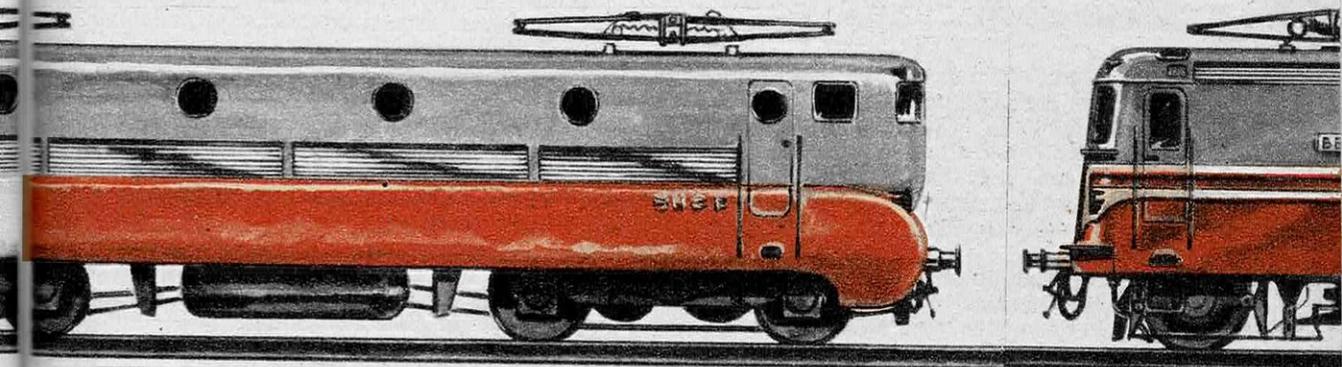
LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES



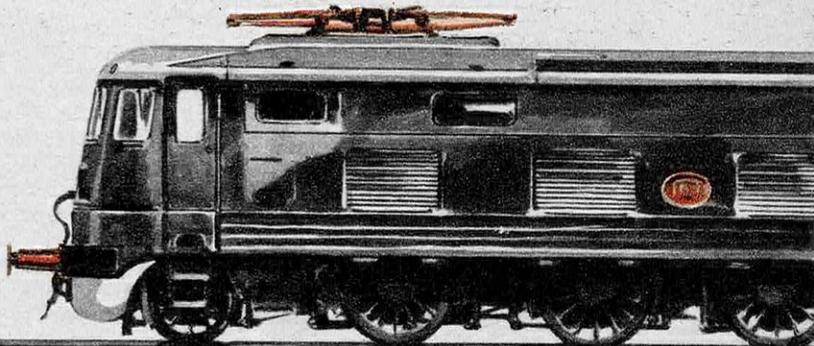
C'EST en Europe que se trouvent les principaux réseaux électrifiés : il existe ailleurs de magnifiques réalisations, mais aucune n'atteint l'ampleur de celles que l'on trouve en Suisse, en Italie, aux Pays-Bas, en Allemagne, en Autriche, en Suède et en France. Sur les quelque 44 000 km de lignes exploitées dans le monde entier avec la traction électrique, l'Europe occidentale représente à elle seule environ 30 000 km de lignes électrifiées, soit plus des deux tiers.

Deux systèmes principaux sont employés : le courant continu à 600, 1 500 ou 3 000 V (environ 27 000 km de lignes) et le courant alternatif monophasé (environ 15 000 km) en général à la tension de 15 000 V, mais avec une fréquence spéciale, plus faible que la fréquence industrielle : en Europe, 16 périodes 2/3 par seconde (au lieu de 50 périodes) et aux États-Unis 25 périodes (au lieu de 60).

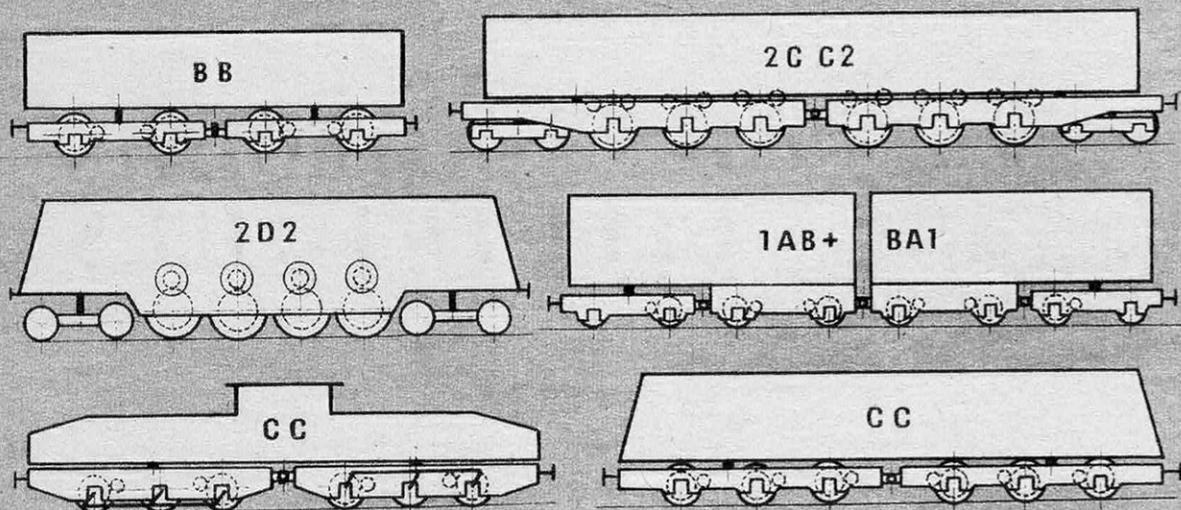
Parmi les réseaux ayant adopté le courant continu figurent l'U. R. S. S., la France, l'Italie, la Grande-Bretagne, la Hollande, la Belgique, l'Espagne, le Maroc, alors que le courant monophasé est employé en Suède,



● Prototype de locomotive S. N. C. F. de vitesse BB 9003 à courant continu, construit en France. Poids : 80 t. Puissance sous 1 500 V : 4 050 ch. Vitesse : 160 km/h.



● Locomotive hollandaise 1A B A1 à courant continu. Poids adhérent : 72 t. Diamètre des roues motrices : 1,55 m. Puissance : 4 480 ch. Vitesse : 160 km/h.



● Dans la désignation d'un type de machine électrique, le nombre des essieux porteurs est indiqué par des chiffres et celui des essieux moteurs par des lettres dont

le rang dans l'alphabet correspond au nombre d'essieux. Ainsi une locomotive 2-D-2 possède quatre essieux moteurs encadrés par deux bogies porteurs.

Suisse, Allemagne, Autriche, Norvège, Hongrie. Aux États-Unis, quelques réseaux, tel le Chicago-Milwaukee, ont adopté le continu 3 000 V et d'autres le monophasé à 25 périodes (Pennsylvania Railroad).

LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES FRANÇAISES

L'ensemble du trafic sur les lignes françaises qui sont alimentées en courant continu 1 500 V est effectué avec un parc de 924 locomotives : 719 locomotives du type BB, 151 locomotives du type 2-D-2 et 54 locomotives de types divers, machines de manœuvres ou de débranchement et machines pour lignes accidentées.

Ce parc s'augmentera d'ici peu de 39 unités, quand les dernières machines des types BB et 2-D-2 commandées pour la ligne Paris-Lyon auront été livrées. A ces machines vont s'ajouter bientôt 43 machines de vitesse du type CC, également destinées à Paris-Lyon. Ainsi le nombre des locomotives électriques affectées à l'exploitation de cette grande artère atteindra 216 machines : 136 type BB, 35 type 2-D-2 et 45 type CC (y compris les deux prototypes CC 7001 et 7002) ; ces 216 machines remplaceront d'ailleurs plus de 700 locomotives à vapeur.

Dans un proche avenir, la S. N. C. F. va entreprendre les essais de quatre prototypes de machines du type BB, à la fois puissantes et rapides. A ce moment, le parc sera de 1 010 locomotives à courant continu. Enfin des prototypes de locomotives à courant industriel (monophasé 50 p.) sont en construction ou déjà en service sur la ligne d'essai Aixles-Bains-La Roche-sur-Foron. Ces locomotives seront décrites plus loin.

LOCOMOTIVES DE MANŒUVRES OU DE DÉBRANCHEMENT

Ces locomotives doivent posséder une puissance assez élevée pour assurer le service des manœuvres et, d'autre part, être capables de refouler, sur la butte de débranchement des gares de triage, des trains de marchandises très lourds à des vitesses variant de 2 à 5 km/h. C'est donc un type de locomotive très particulier, qui doit posséder un poids adhérent de l'ordre de 100 t pour pouvoir développer à la jante l'effort nécessaire au triage de trains atteignant 1 800 t.

Sur les voies de triage, on ne peut dépasser 18 t par essieu ; ce sont donc des machines à six essieux moteurs.

Les locomotives CC 1101 à 1112 peuvent remorquer sur la butte un train de 1 800 t à 12 km/h et le refouler à 2 km/h. Elles peuvent circuler haut-le-pied à 25 km/h.

Les trois essieux de chaque bogie sont accouplés. Seuls les essieux extrêmes sont entraînés par un moteur à suspension élastique par le nez. La caisse comporte au centre une cabine de conduite.

Les quatre moteurs de traction sont alimentés par un groupe moteur-générateur qui fournit séparément le courant aux inductifs et aux inducteurs. Il n'y a donc pas de rhéostat de démarrage et le réglage de la vitesse s'obtient en faisant varier la tension d'alimentation et le courant d'excitation des moteurs de traction. La conduite est d'une grande simplicité. A chaque position du volant de conduite correspond une vitesse de marche à peu près indépendante de la charge et du profil. En ramenant le volant en arrière, on provoque le freinage par récupération jusqu'à ce que la vitesse ait atteint celle correspondant à la nouvelle position du volant.

Si l'on va au delà du cran zéro, la locomotive freine, s'arrête, puis repart en sens inverse.

Ces machines, d'un type très spécial, sont bien adaptées au dur régime des manœuvres dans les gares de triage.

LES LOCOMOTIVES BB POUR SERVICES MIXTES

Le type BB remonte aux premières électrifications. Sa simplicité et ses possibilités de fonctionnement en unités multiples lui ont valu une grande faveur en France et à l'étranger. Mais, alors que les premières BB n'atteignaient pas 1 000 ch, celles du type Paris-Lyon dépassent 2 800 ch. Et le poids par cheval des moteurs est passé de 12 kg à moins de 7 kg. Enfin, l'emploi de la soudure par les constructeurs français a permis de réaliser des allègements considérables en faisant travailler le métal dans les meilleures conditions, les éléments essentiels de la machine étant construits en forme de caissons.

Les locomotives BB 8101 à 8236, en service sur la ligne Paris-Lyon, sont les dernières nées de cette longue lignée de machines. Elles peuvent remorquer soit un train de marchandises de 1 350 t en rampe de 5 mm/m à 60 km/h, soit un train de messageries de 775 t en palier à 105 km/h.

Chaque essieu est entraîné par un moteur à suspension par le nez, à transmission bilatérale avec engrenages élastiques. La caisse, entièrement métallique, repose sur chacun des bogies par l'intermédiaire d'un pivot et de deux appuis latéraux élastiques appelés équilibreur.

Ces machines ont des bogies en tôle pliée et soudée, avec boîtes d'essieux du type « Athermos » liées au châssis par deux biellettes munies de « silent-blocs ». Tout l'appareillage est rassemblé dans six blocs :

- un bloc central comprenant les résistances de démarrage, les contacteurs de ligne et de démarrage, les commutateurs de couplage et les relais principaux ;

- quatre blocs de moteurs, comprenant en outre l'inverseur, l'appareil d'isolement, les contacteurs et les résistances de shuntage correspondants ;

- un bloc pneumatique, groupant toutes les servitudes : compresseur, réservoirs, détendeurs.

Ces blocs sont facilement démontables. Ils peuvent être retirés de la machine par le toit et leurs circuits basse tension se relient aux circuits de contrôle par des coupleurs multiples.

Ces locomotives assurent un service très sévère sur la grande artère du Sud-Est. Leur conduite et leur entretien sont aisés. Elles marquent d'énormes progrès par rapport aux machines BB 1 à 80 mises en service en 1925, qui, cependant, sont encore utilisées sur les lignes de banlieue de la gare de Lyon en attendant les éléments automoteurs en construction.

LOCOMOTIVES POUR LIGNES ACCIDENTÉES

Pour remorquer sur la section Limoges-Montauban de la ligne Paris-Toulouse des trains de marchandises de 1 200 t à une vitesse commerciale de 45 km/h, la machine BB risquait d'être insuffisante. Pendant plus de 250 km se succèdent des rampes et des pentes de 10 mm/m, compliquées parfois de courbes de 500 m de rayon. On a recherché pour ce service un type de machine capable, en outre, de remorquer des trains (messageries ou voyageurs) de 750 t à 105 km/h. Seule une locomotive à six essieux moteurs et d'un poids adhérent de 120 t était capable de réaliser ce programme. Deux prototypes ont été étudiés et construits, la CC 6001 et la BBB 6002.

Chaque essieu de la CC 6001 est entraîné par un moteur à suspension par le nez. Le châssis de chaque bogie est entièrement soudé. Une des traverses porte les tampons et le crochet de traction, l'autre un système servant à l'attelage des deux bogies l'un avec l'autre. Ce système comporte des ressorts verticaux jouant un rôle d'anticabrage et des ressorts latéraux pour faciliter l'inscription en courbe de la locomotive.

L'appareillage est disposé dans un compartiment central entre les deux cabines de conduite. L'équipement électrique, tout à fait moderne, est entièrement automatique et

CARACTÉRISTIQUES DES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES MODERNES S. N. C. F.

	BB 8100 Paris-Lyon	2-D-2 9100 Paris-Lyon	BBB 6002	Loc. de vit. à adhérence totale		
				CC 7000	BB 9001 (en construction)	BB 9003 (en construction)
Vitesse max. de service (km/h) ..	105	140	105/120	150/175	140/160	140/160
Longueur totale hors tampons (m)	12,93	18,08	18,70	18,83	15,40	16,20
Diamètre des roues motrices (m) ..	1,40	1,75	1,10	1,25	1,30	1,25
Charge par essieu moteur (t)	20	22	20	17	20	20
Poids total de la locomotive (t) ...	80	144	120	102	80	80

d'un type jusqu'alors utilisé seulement sur des automotrices. Il fallait en effet réaliser un démarrage aussi progressif que possible, donc avoir un nombre élevé de crans qu'il aurait été trop long de passer en manœuvrant à la main.

Mise en service en 1946, la locomotive CC 6001, après de longs essais, assure maintenant le service des trains lourds.

Sur la locomotive BBB 6002, on a recherché, en outre, une grande stabilité — notamment en augmentant la période de roulis de la caisse sur les bogies — en vue de vérifier par des essais en ligne si une machine ayant trois bogies de deux essieux moteurs pouvait circuler à des vitesses de 150 et 160 km/h.

Sur cette machine, chaque essieu est entraîné par un moteur à suspension par le nez. Les bogies, en acier moulé, ne sont pas attelés entre eux et les organes de choc et de traction sont portés par la caisse. Les pivots des deux bogies extrêmes peuvent se déplacer latéralement de ± 20 mm (avec rappel par des ressorts), tandis que le pivot du bogie central peut se déplacer de ± 280 mm (déplacement non rappelé). Les mouvements de rotation des bogies par rapport à la caisse sont contrôlés par un dispositif anti-lacet.

Livrée en 1948, la BBB 6002 a subi de nombreux essais au cours desquels les résultats obtenus ont répondu largement aux espoirs.

LES LOCOMOTIVES DE VITESSE

Jusqu'à ces dernières années, les locomotives de vitesse étaient du type 2-D-2. C'est encore ce type qui a été adopté avec quelques améliorations pour répondre aux besoins de la ligne Paris-Lyon (p. 54).

Mais, depuis quelques années, on s'oriente vers la construction de machines de vitesse à adhérence totale, certaines réalisations, notamment en Suisse, ayant montré qu'à 125 km/h on pouvait parfaitement se passer de trains roulants directeurs.

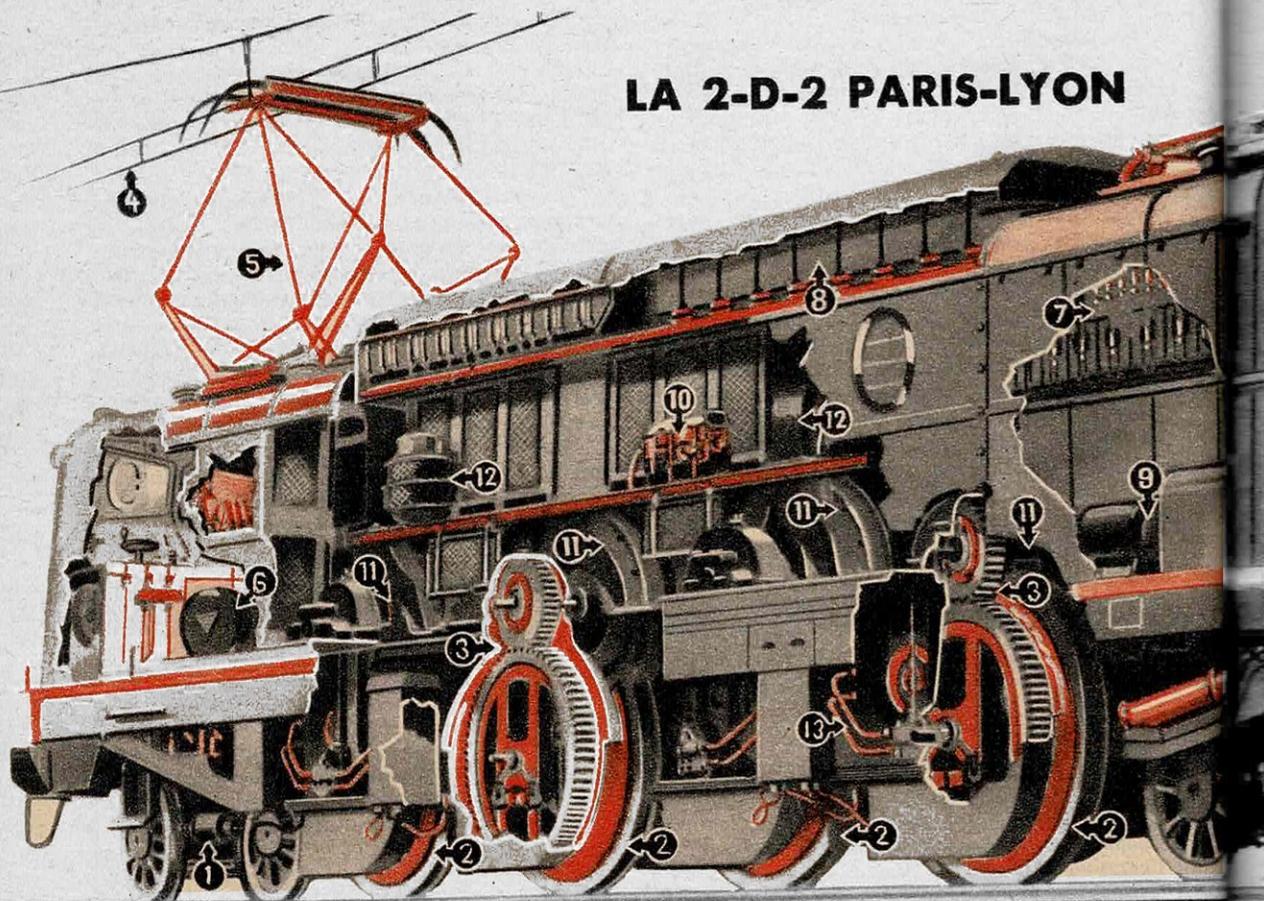
La S. N. C. F. a fait construire deux locomotives prototypes à très grande vitesse (160 km/h) du type CC qui ont donné d'excellents résultats, et une première tranche de quarante-trois autres machines de ce type a été commandée.

Ces machines CC 7101 à 7143 dérivent étroitement des deux prototypes CC 7001 et 7002 (p. 59).

LES MACHINES BB DE VITESSE

D'autres prototypes de locomotives de vitesse du type BB sont en construction. Ils répondent au besoin d'une machine à adhérence totale, capable d'assurer le même service de vitesse que les machines 2-D-2

LA 2-D-2 PARIS-LYON



antérieures à celles de Paris-Lyon. En réalisant à puissance égale des locomotives pesant 80 t, au lieu des 130 t que pèsent au minimum les 2-D-2, on a le double avantage de diminuer le prix d'achat dans une proportion importante tout en augmentant la charge remorquée des 50 t gagnées sur le poids mort.

Les progrès de la technique permettent aujourd'hui d'installer, sur une machine de 80 t à quatre essieux moteurs du type BB, une puissance voisine de 4 000 ch, suffisante pour assurer la traction des express lourds et des rapides. La S. N. C. F. a donc été autorisée à passer commande de quatre locomotives BB de vitesse : deux, dérivant des locomotives BB de la ligne du Lötschberg, sont construites en Suisse, les deux autres en France suivant des principes nettement différents. Ces locomotives doivent être mises en service vers le milieu de l'année 1952 ; elles pourront remorquer un train de 750 t à 140 km/h en palier et à 90 km/h en rampe de 8 mm/m, ne dépasseront pas un poids total de 80 t (20 t par essieu) et présenteront une bonne stabilité à grande vitesse.

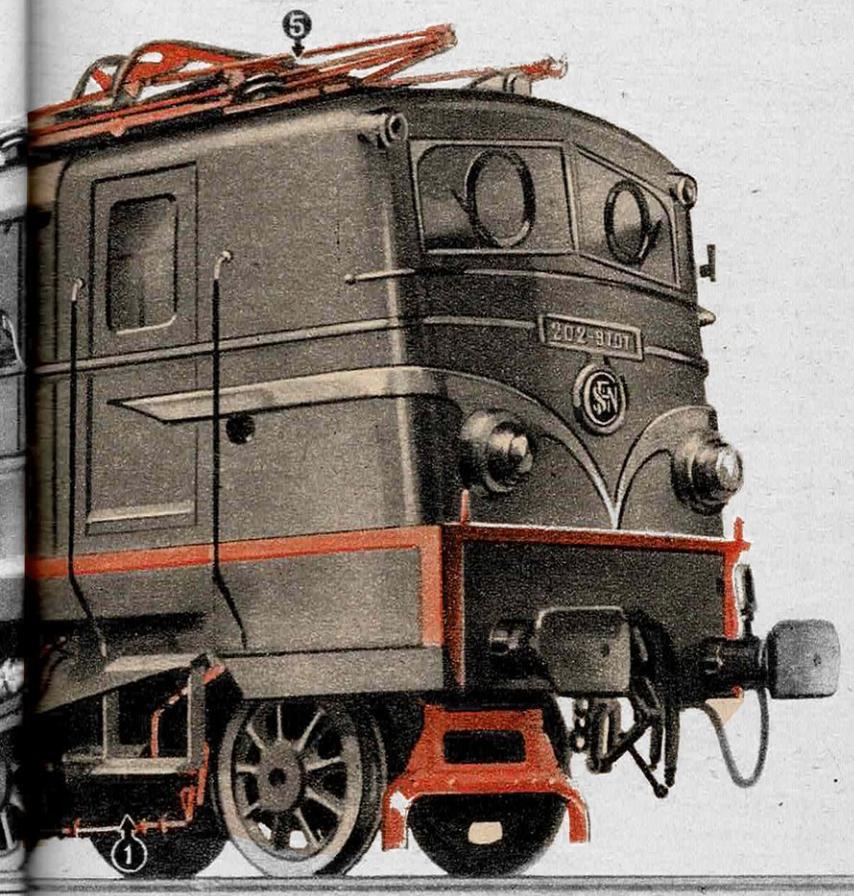
Les locomotives BB 9001 et 9002, de construction suisse, dérivent étroitement des locomotives BB à courant monophasé des Chemins de fer des Alpes bernoises, série RE 4/4 n° 251 à 254, qui remorquent les rapides sur la ligne Berne-Lötschberg-Simplon à la

vitesse limite de 100 km/h, mais qui ont également effectué des essais satisfaisants à des vitesses supérieures. Les moteurs, fixés au châssis de bogie, seront montés avec une transmission à disques flexibles et attaqueront le pignon d'un train d'engrenages à simple réduction dont la roue dentée est calée sur l'essieu.

Les locomotives BB 9003 et 9004, de construction française, présenteront de nombreuses particularités mécaniques inédites. L'extrapolation d'un des types de machines BB françaises ne permettait pas, en effet, de résoudre le problème posé.

Les bogies, de construction soudée, doivent être tels que les deux moteurs de traction, entièrement suspendus, soient concentrés au milieu de leur châssis. On est donc conduit à une disposition spéciale pour réaliser, d'une part, la liaison bogie-caisse et, d'autre part, la transmission du mouvement entre chaque moteur et l'essieu correspondant (transmission à cardans avec roues intermédiaires et roues de liaison). L'équipement électrique automatique dérivera de celui qui a fait ses preuves sur les automotrices et sur la locomotive CC 6001.

Dès leur livraison, ces locomotives subiront une série d'essais complets pour vérifier leur comportement aux grandes vitesses et leurs possibilités en service commercial.



ORGANES MÉCANIQUES

- 1, Bogie porteur deux essieux.
- 2, Essieux moteurs.
- 3, Engrenages réducteurs.

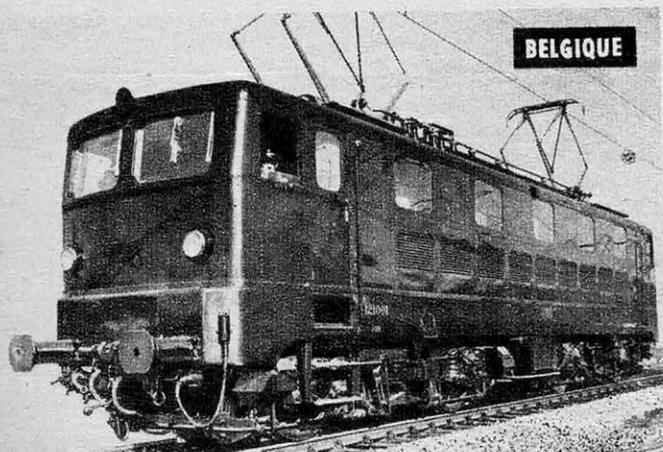
ORGANES ÉLECTRIQUES

- 4, Fil de contact en bronze.
- 5, Pantographe à servomoteur.
- 6, Interrupteur-disjoncteur.
- 7, Contacteurs et arbres à cames.
- 8, Résistances de démarrage.
- 9, Compresseur 2 000 l/mn.
- 10, Inverseur de sens de marche.
- 11, Moteurs de traction suspendus.

ORGANES DIVERS

- 12, Ventilateurs des moteurs.
- 13, Circulation d'huile.

● Les locomotives 2-D-2 du type 9100 sont des machines de vitesse capables de remorquer à 150 km/h un train de 950 t en palier, ou de 535 t en rampe de 5 mm/m, ou enfin de 410 t en rampe de 8 mm/m. Chaque essieu moteur est relié, par un entraînement bilatéral à biellettes système Büchli à un moteur de traction fixé rigidement dans la caisse. La puissance totale de la machine est de 4 800 ch.



● Semblable aux BB 251 monophasées du Lötschberg, la BB 121 belge à courant continu atteint 130 km/h.



● Locomotive BB construite par Alsthom, 80 t, 2 900 ch, vit. max. 135 km/h (roues de 1,25 m).

LOCOMOTIVES ÉTRANGÈRES A COURANT CONTINU

Italie

Après avoir utilisé le système triphasé, l'Italie a adopté le courant continu à 3 000 V, d'abord expérimenté sur les lignes de Foggia à Naples et de Bologne à Florence.

Une fois cette décision prise, les Chemins de fer italiens mirent au point, entre 1926 et 1937, trois séries de locomotives :

- E 626 type BBB, pour les trains de marchandises ;
- E 326 type 2-C-2, pour les rapides légers ;
- E 428 type 2-BB-2, pour les trains lourds directs.

L'expérience ayant montré la nécessité d'apporter des modifications à ces machines, aussi bien à la partie électrique qu'à la partie mécanique, les Chemins de fer italiens décidèrent d'adopter de nouveaux types de locomotives à adhérence totale, donc dépourvues d'essieux directeurs. Ils construisirent deux nouvelles séries : 117 machines E 636 type BBB et 153 machines E 424 types BB.

Les locomotives E 636 peuvent rouler à grande vitesse (140 km/h), fournir un effort de traction élevé et circuler sur des lignes accidentées ayant des courbes de faible rayon. Mais, avec leurs six moteurs et leurs 3 200 ch, elles peuvent aussi être mises en service sur les lignes à profil facile (rampes inférieures à 5 mm/m) et remorquer des trains de 1 500 t.

La charge des trains italiens dépassant rarement 800 t, les locomotives E 424 sont nées de la nécessité d'avoir un type de locomotive à quatre essieux moteurs capable de remorquer cette charge moyenne dans des conditions économiques et aussi d'assurer de nombreux services de voyageurs qui ne pouvaient être effectués avec des automotrices.

Les locomotives 636 et 424 ont beaucoup de points communs : dans la partie mécanique, les châssis de bogies et les supports de moteurs ; dans la partie électrique, tout l'appareillage électrique à quelques détails près.

Grande-Bretagne

L'essentiel du réseau électrifié britannique est constitué par les lignes de la Southern Region qui relient Londres à la côte sud de l'Angleterre. Il s'agit sur ce réseau d'un très important trafic de voyageurs qui est effectué au moyen de rames automotrices analogues aux trains de banlieue. Les locomotives anglaises sont donc peu nombreuses. Il faut citer la machine type BB 6700 utilisée sur la ligne à 1 500 V Manchester-Sheffield, qui remorque les trains de voyageurs et de messageries à la vitesse maximum de 105 km/h et développe une puissance de 1 900 ch.

Pays-Bas

Sur 2 630 km de lignes ouvertes au trafic des voyageurs, 900 km sont électrifiés en courant continu à 1 500 V et 400 autres kilomètres sont en cours d'électrification.

Jusqu'à ces derniers temps, seul le trafic des voyageurs utilisait la traction électrique au moyen de rames automotrices en unités multiples. Les rapides internationaux et les trains de marchandises étaient remorqués par des locomotives à vapeur. Les travaux d'électrification, très rapidement réalisés depuis la fin de la guerre, ont conduit les Chemins de fer hollandais à faire construire des machines électriques pour ces trains, ce qui permettra de supprimer complètement la traction à vapeur sur les lignes électrifiées.

Le problème que doivent résoudre les locomotives hollandaises est assez particulier : les machines doivent pendant la journée remorquer des trains de voyageurs d'environ 500 t avec des vitesses et des accélérations élevées pour pouvoir s'intercaler facilement entre deux circulations de rames automotrices ; pendant la nuit, au contraire, elles doivent assurer la traction de trains de marchandises atteignant 1 650 t. La densité de circulation des rames automotrices le jour oblige, en effet, à reporter les trains de marchandises dans la période de nuit où le trafic des voyageurs s'arrête. Le profil particulièrement facile des lignes hollandaises est, cependant, coupé par

des rampes très courtes, mais fortes — 8 mm/m, — accédant aux grands ponts qui enjambent les fleuves.

En 1948, l'industrie suisse a livré à la Hollande dix locomotives du type 1-ABA-1 fournissant une puissance de 4 500 ch à 100 km/h et pouvant atteindre la vitesse maximum de 160 km/h.

Ces machines peuvent remorquer :

- des trains de charbon de 2 000 t à 60 km/h ;

- des trains de marchandises de 850 t à une vitesse de 80 à 100 km/h ;

- des trains de voyageurs de 600 t à une vitesse de 100 à 130 km/h ;

- des trains rapides de 400 t à une vitesse de 130 à 160 km/h.

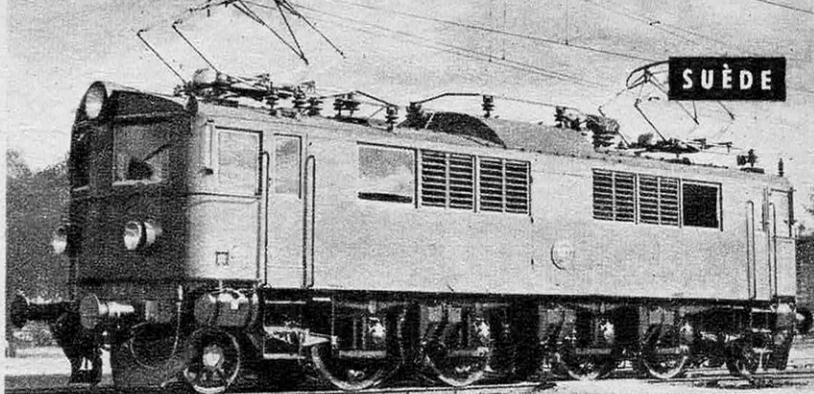
En 1950, la France a livré à la Hollande les premières unités d'une série de cinquante locomotives type BB présentant de nombreux points communs avec les dernières BB (série 8100 Paris-Lyon) et avec les CC 7000 à grande vitesse de la S. N. C. F. Ces machines ont rempli largement en service courant les conditions imposées.

Enfin, les Chemins de fer néerlandais ont également commandé en France dix locomotives du type CC 7100 actuellement en construction pour la S. N. C. F. et aux États-Unis dix autres machines répondant aux normes américaines (Westinghouse).

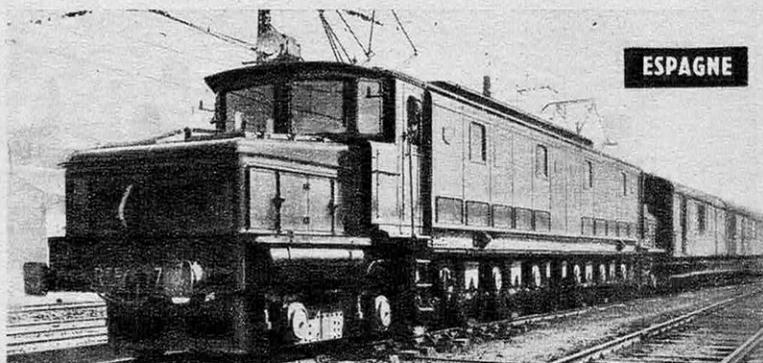
Belgique

La nature du trafic sur le réseau belge est caractérisée, elle aussi, par de nombreux trains de marchandises circulant principalement la nuit, les trains de voyageurs circulant surtout le jour. La Société Nationale des Chemins de fer Belges (S. N. C. B.) a donc recherché un type de locomotive à courant continu 3 000 V qui soit apte à remorquer aussi bien les trains de marchandises lourds que les trains de voyageurs rapides. Les résultats fournis par les récentes locomotives de vitesse à adhérence totale ont conduit la S. N. C. B. à faire construire des machines BB capables de remorquer des trains de voyageurs à grande vitesse.

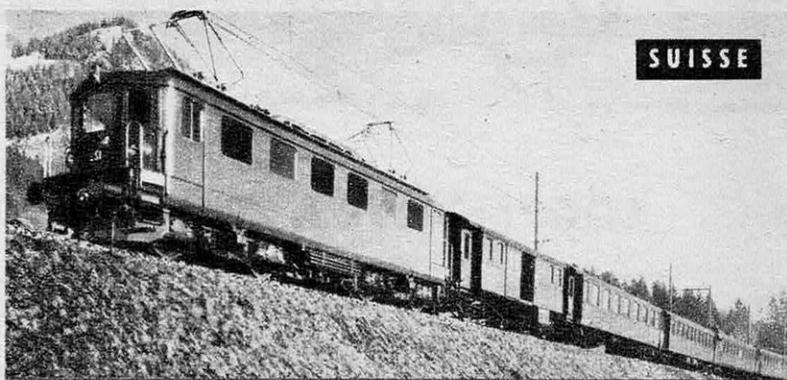
Le type BB 101 (20 locomotives) développe 1 720 ch et atteint 100 km/h ; le type BB 120 (3 locomotives), 2 300 ch et 125 km/h ;



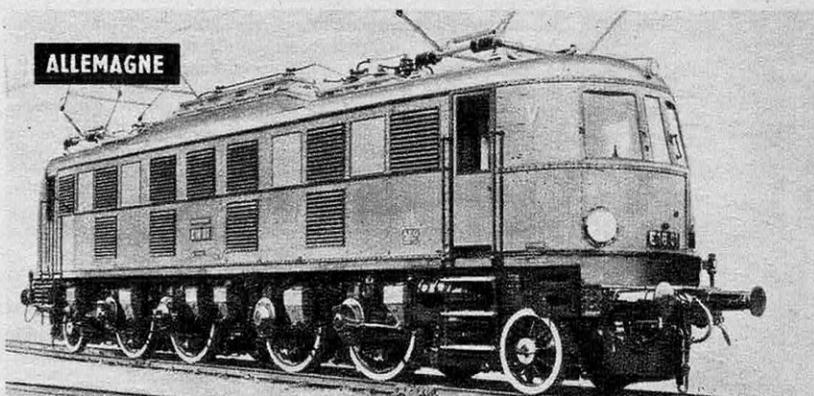
● Les locomotives monophasées type 1-D-1 des Chemins de fer suédois sont capables de remorquer en palier des trains de 600 t à 120 km/h.



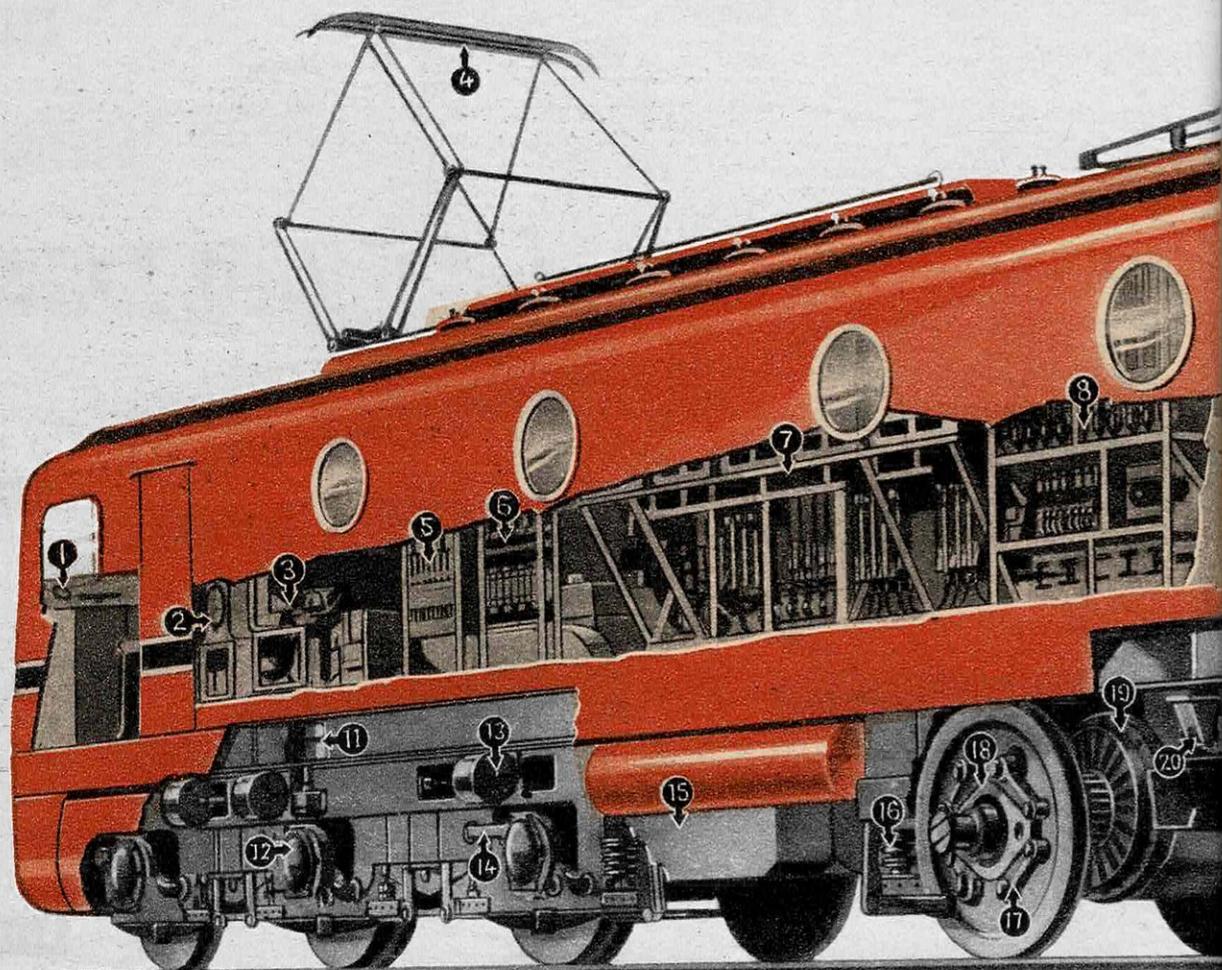
● Les locomotives espagnoles 2-CC-2 à courant continu peuvent remorquer un train de 400 t à 75 km/h sur rampe de 11 mm/m.



● Une remarquable machine suisse : la BB 251 monophasée du Berne-Lötschberg-Simplon. (4 000 ch, poids 80 t, vitesse 125 km/h).



● Le type E-18 (1-D-1) des Chemins de fer allemands, à courant monophasé, pour trains de voyageurs, peut atteindre 150 km/h.

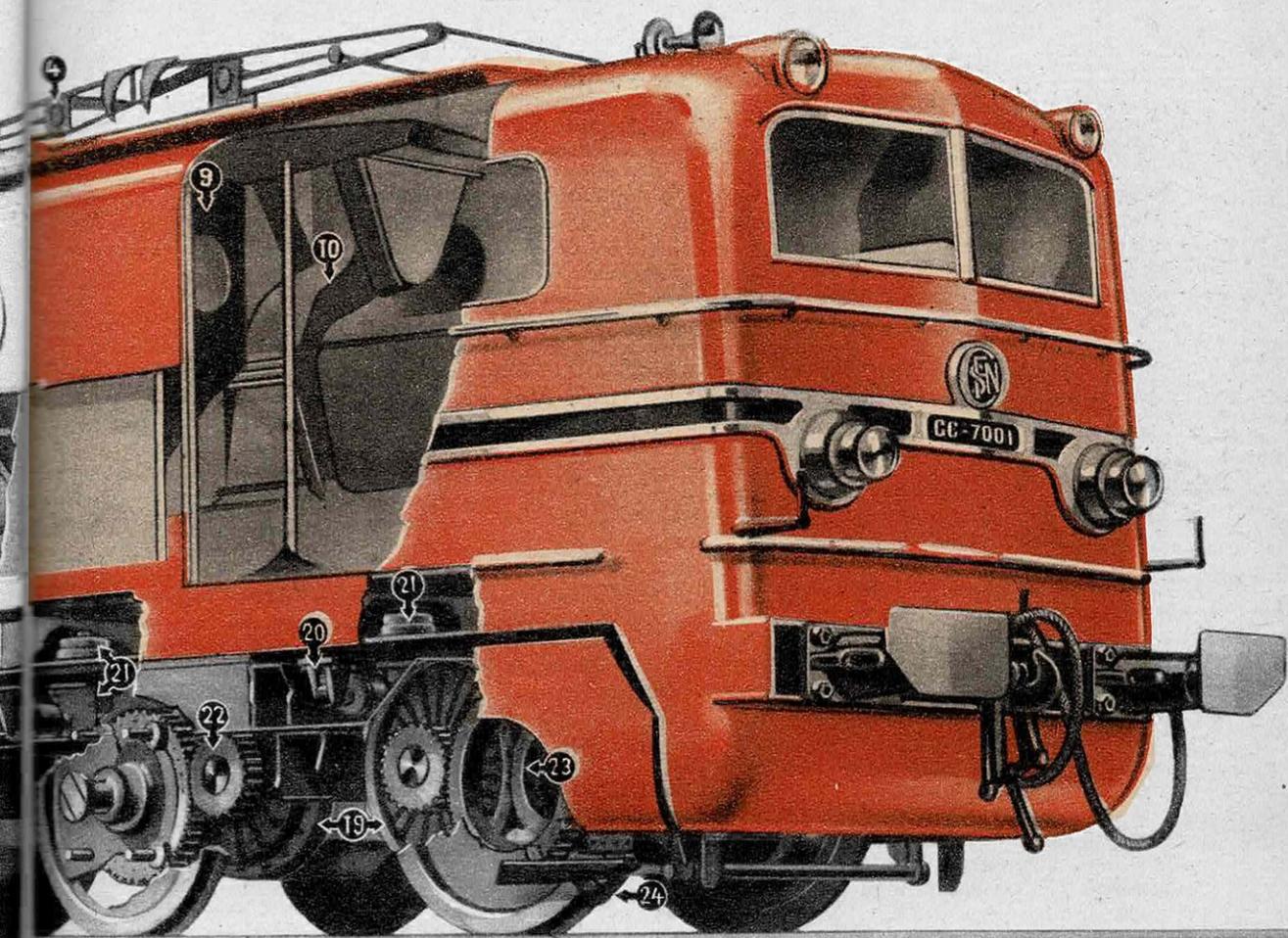


LOCOMOTIVE A TRÈS GRANDE VITESSE CC 7000

- 1, Pupitre de commande de la cabine de conduite.
- 2, Groupe moteur-compresseur alimentant les freins à air comprimé.
- 3, Disjoncteurs à déclenchement ultrarapide.
- 4, Pantographes.
- 5, Bloc des appareils auxiliaires.
- 6, Bloc d'appareillage de batterie.
- 7, Bloc central (résistances de démarrage, contacteurs principaux et d'élimination des résistances).
- 8, Bloc de shuntage comprenant : contacteurs, résistances de shunt, inverseurs, appareils d'isolement se rapportant à un groupe de trois moteurs.
- 9, Porte donnant accès à l'un des deux couloirs de circulation (de part et d'autre des blocs).
- 10, Ventilateur assurant le refroidissement des moteurs de traction.
- 11, Équilibreur latéral assurant l'assise de la caisse.
- 12, Boîte d'essieu.
- 13, Cylindre de frein pneumatique.
- 14, Bielles de liaison boîtes d'essieux-châssis de bogie articulées sur silent-blocs.
- 15, Coffre des accumulateurs.
- 16, Ressort hélicoïdal.
- 17, Bielle articulée d'accouplement à silent-blocs.
- 18, Anneau dansant de l'accouplement à silent-blocs.
- 19, Moteurs de traction entièrement suspendus et fixés sur les châssis de bogies.
- 20, Bielle élastique de rappel du pivot oscillant.
- 21, Pivot oscillant à double rotule (deux par bogie).
- 22, Pignon moteur.
- 23, Arbre creux attaqué par le pignon moteur.
- 24, Sablière (augmente l'adhérence sur le rail).

CONSTITUÉES par une caisse reposant sur deux bogies libres à trois essieux moteurs, les locomotives CC 7000 remorquent à 160 km/h un train de 525 t en palier ou un train de 300 t en rampe de 5 mm/m; à 140 km/h, 1 000 t en palier ou 550 t en rampe de 5 mm/m. Puissance : 4 300 ch sous 1 500 V. Longueur totale : 18,83 m. Poids : 102 t. Les bogies et la caisse sont entièrement soudés. La caisse repose sur chaque bogie par deux pivots-béquilles inclinables à double rotule, liés

transversalement à la caisse par des bielles élastiques. L'emploi de deux pivots réalise le rappel du bogie pour les translations comme pour les rotations. Les pivots forment butée longitudinalement et assurent ainsi l'entraînement de la caisse et le freinage. Chaque essieu est attaqué au moyen de deux trains d'engrenages élastiques, par un moteur de traction entièrement suspendu. Les six moteurs sont hexapolaires avec un enroulement de compensation.



LA LOCOMOTIVE CC 7001

le type BB 121 (3 locomotives), 2 340 ch et 130 km/h. Leur poids est de l'ordre de 80 t.

Espagne

Au lendemain de la guerre civile, la situation du réseau espagnol était mauvaise et 41 % des locomotives se trouvaient hors d'usage. Le plan de reconstruction prévoyait l'extension des électrifications à 4 500 km de lignes. En 1946, un plan plus restreint fut adopté et l'on entreprit l'électrification de 1 360 km. Certaines lignes comme Barcelone-Mataro et Torre-Branuelas sont déjà en exploitation. L'Espagne dut donc commander des locomotives à l'étranger : la Compagnie English Electric de Londres et la Société française Alsthom reçurent chacune une commande de vingt machines de 3 000 ch, à courant continu 3 000 V, du type CC, aptes au service des voyageurs et des marchandises. Ces Sociétés doivent en outre aider les constructeurs espagnols à fabriquer soixante autres locomotives de chacun de ces deux modèles.

Les locomotives CC en cours de construction en France seront du même type que les CC 7100 de la S. N. C. F., mais adaptées à l'écartement de 1,674 m des voies espagnoles et au fonctionnement sous 3 000 V.

Signalons enfin que, sur la ligne Irun-Alsasua, électrifiée en courant continu 1 500 V, dans le Nord de l'Espagne, circulent des locomotives du type 2-CC-2 construites en 1929 à Bilbao d'après des plans suisses. Ces locomotives remorquent un train de voyageurs de 400 t à 65 km/h sur les rampes de 16,5 mm/m et à 75 km/h sur les rampes de 11 mm/m.

Maroc

Les Chemins de fer du Maroc et les Chemins de fer du Tanger-Fez utilisent, les premiers depuis 1925, les seconds depuis 1931, des locomotives électriques à courant continu 3 000 V du type BB, dérivées des locomotives BB 1 500 V du réseau français du Midi.

Le développement du trafic depuis la fin de la guerre a amené les Chemins de fer du Maroc à commander en France à la Société Alsthom quatorze nouvelles locomotives BB capables de remorquer des trains de marchandises de 675 t en rampe de 15 mm/m tout en soutenant en palier la vitesse de 80 km/h et des trains de voyageurs de 430 t en rampe de 15 mm/m à la vitesse maximum de 115 km/h moyennant la modification du système d'engrenage. Ce sont les machines BB 701 à 714 qui ressemblent beaucoup aux BB série 8100 de la S. N. C. F. et série 1100 de la Hollande.

LES LOCOMOTIVES A COURANT MONOPHASÉ

Suisse

La traction en courant alternatif monophasé 16 périodes 2/3 est avant tout l'œuvre des Suisses. On connaît les magnifiques réalisations des Chemins de fer Fédéraux Suisses et du Berne-Loetschberg-Simplon. On sait que la

locomotive électrique la plus puissante du monde est la locomotive n° 11852 construite pour la ligne du Gothard et qui développe une puissance unihoraire de 12 000 ch.

Les réalisations suisses sont particulièrement remarquables par leur haut degré de perfection technique. Que ce soient les quatre locomotives BB lourdes, série 251 à 254 livrées au Chemin de fer du Loetschberg, ou les cinquante locomotives BB légères Re 4/4 série 401 livrées aux Chemins de fer Fédéraux, toutes ont fait l'admiration des techniciens de tous les pays. Les premiers, les Suisses ont construit avec succès des locomotives de vitesse à adhérence totale. En plus de ces deux types de machines, les Chemins de fer Fédéraux ont en construction deux prototypes de locomotives CC destinées à la remorque des rapides sur la ligne du Gothard. Ces machines à deux bogies de trois essieux, d'un poids total de 120 t, développeront une puissance unihoraire de 6 000 ch à 75 km/h. En plaine, la vitesse maximum de 125 km/h pourra être atteinte. La mise en service de ces deux machines doit marquer une nouvelle période dans l'histoire de la ligne du Gothard.

Allemagne

En dehors des locomotives destinées à des usages spéciaux, les Chemins de fer allemands ne font construire que trois types de locomotives standard :

- la locomotive lourde à voyageurs E 18 pouvant atteindre 150 km/h ;
- la locomotive du type E 44 pour remorquer des trains de voyageurs ou des trains de marchandises légers (v. max. 90 km/h) ;
- la locomotive lourde à marchandises E 94 (vitesse maximum 90 km/h).

Afin de pouvoir assurer le service des lignes accidentées des Alpes, où les rampes atteignent 31 mm/m avec des dénivellations de l'ordre de 800 m, les locomotives E 94 répondent au programme suivant :

- remorque de trains de 1 600 t à 40 km/h sur des rampes de 10 mm/m ;
- remorque de trains de 600 t à 50 km/h sur des rampes de 25 mm/m.

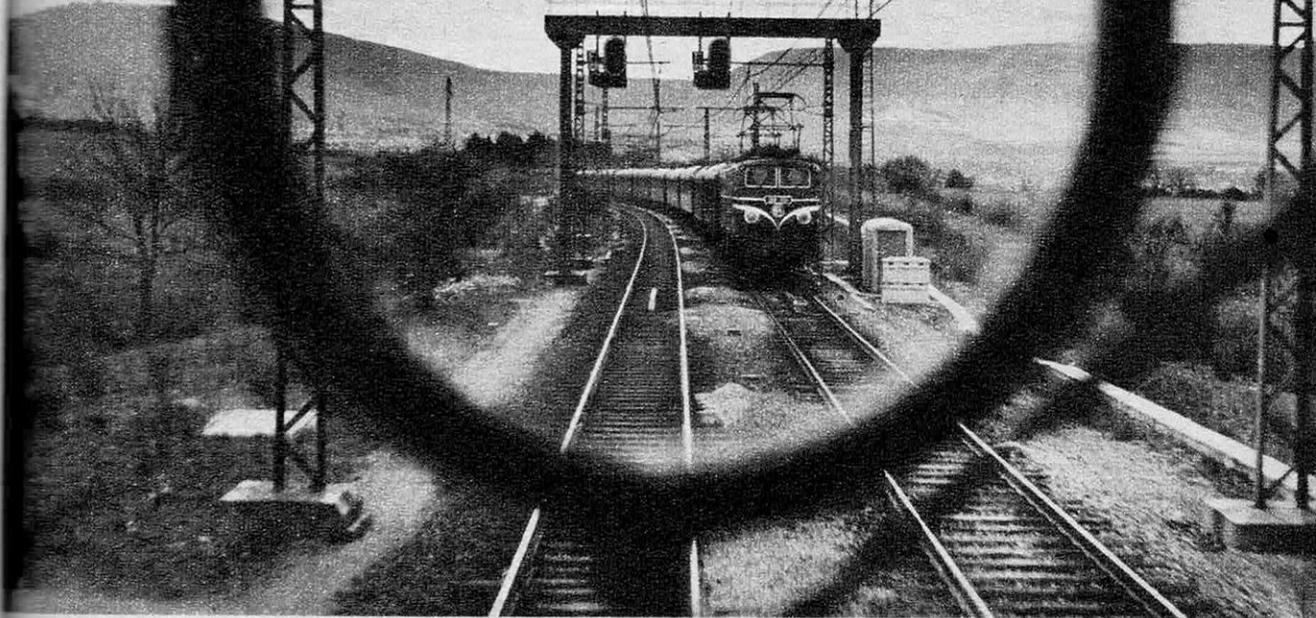
Pays Scandinaves

Parmi les plus belles réalisations figurent les locomotives du type 1-D-1 suédoises et les locomotives qui, sur la ligne des minerais entre Boden et Narvik, remorquent des charges de 1 900 t. Du type CC à 102 t de poids adhérent sur la partie suédoise de la ligne, du type 1-CC-1 sur la partie norvégienne, ces locomotives assurent un service extrêmement régulier dans des conditions climatiques souvent très dures, prouvant, s'il en était encore besoin, que la traction électrique est capable de résoudre les problèmes d'exploitation les plus difficiles.

P. Lothon

Ingénieur à la Division des Études
de Traction Électrique

PARIS-LYON en 4 h 15



ENTRE PARIS ET DIJON, UN RAPIDE EN PLEINE VITESSE VU DE LA CABINE DU « MISTRAL »

L'ARTÈRE Paris-Lyon, qui relie Paris aux centres industriels et commerciaux importants de Dijon et Lyon et, par eux, au Jura, aux cités industrielles de Blanzay et du Creusot, à la Savoie, au Dauphiné, aux Alpes, au Bassin de Saint-Étienne, à la Suisse, à l'Italie, et enfin au grand port de Marseille, à la région du Languedoc et aux stations de la Côte d'Azur, assure à la fois un trafic de voyageurs et de marchandises qu'on ne retrouve en France sur aucune ligne de cette longueur.

Le trafic des voyageurs comporte 64 trains réguliers express et rapides dans les deux sens entre Paris et Dijon et 42 entre Dijon et Lyon. A ce trafic permanent vient se superposer un trafic saisonnier vers la Savoie et la Côte d'Azur, qui nécessite à certaines périodes, en juillet, août et au moment des fêtes de fin d'année, la mise en marche de nombreux trains supplémentaires.

Avant la guerre, les pointes atteignaient 155 trains express et rapides par jour, et le nombre des trains se maintenait aux environs de 125 en moyenne pendant les trois mois d'été. Et en 1949, malgré certaines restrictions de trafic, le nombre des trains de voyageurs mis en marche certains jours a dépassé 100 entre Paris et Dijon.

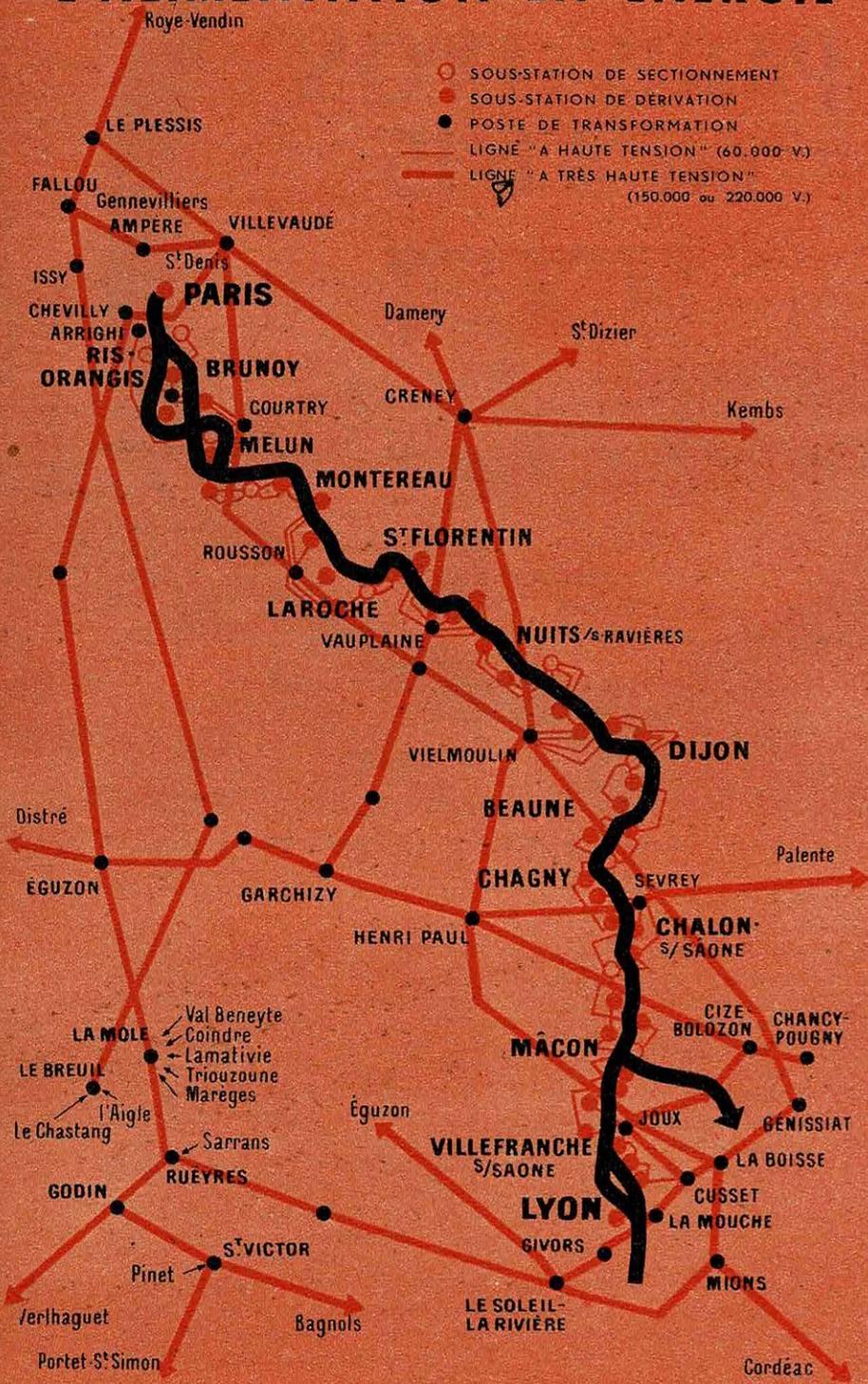
Le trafic de messageries et de marchandises (régime accéléré et régime ordinaire) est

également important et atteint près de 10 000 tonnes utiles par kilomètre et par jour. Il sera d'ailleurs augmenté en 1953, après mise en service complète de la traction électrique entre Dijon et Lyon, par un assez grand nombre de trains qui devraient normalement suivre cette ligne, mais que les difficultés de circulation en traction à vapeur obligent à reporter soit sur la ligne du Bourbonnais par Lyon, Paray-le-Monial, Nevers, Paris, soit, dans une faible mesure, sur l'itinéraire Lyon, Ambérieu, Dijon. A ce trafic il faut ajouter les trains de toutes natures en provenance de Genève, de la Savoie, de l'Italie, qui ne prennent actuellement la grande ligne qu'entre Dijon et Paris et qui, à l'avenir, seront acheminés par Bourg, Mâcon et Dijon de façon à effectuer le maximum de parcours en traction électrique.

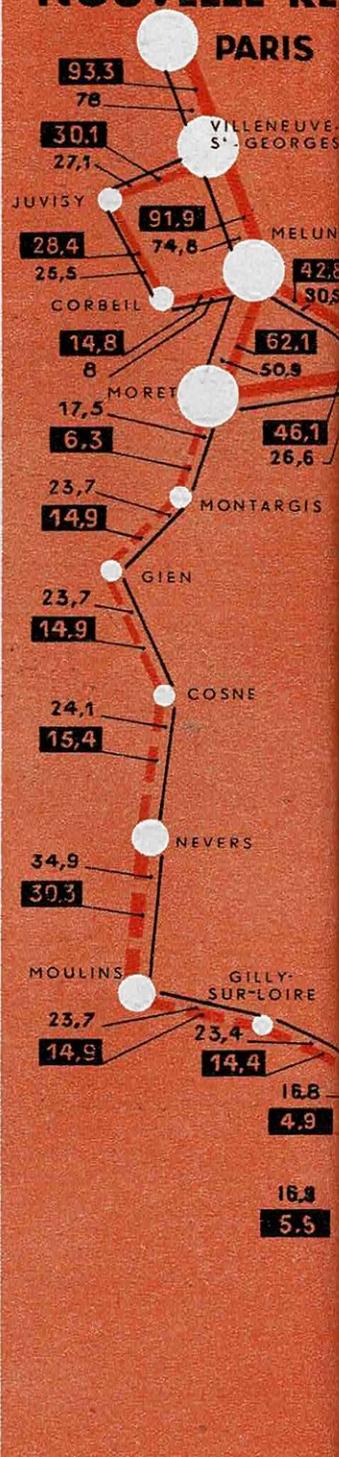
On voit que le tronçon Paris-Lyon est incontestablement parmi les plus chargés du réseau français. La consommation kilométrique annuelle de charbon, qui constitue un autre moyen de mesure, était, avant l'électrification, d'environ 1 050 t pour Paris-Lyon ; cette consommation n'atteignait que 700 t pour Paris-Bordeaux et 590 pour Paris-Le Mans.

Dès 1938, M. Le Besnerais, directeur général de la S. N. C. F., fit entreprendre les études d'électrification en courant continu de la ligne

L'ALIMENTATION EN ÉNERGIE



NOUVELLE RÉ



Paris-Lyon. Interrompues par la guerre, ces études furent reprises dès la fin de 1940.

Le bilan, établi sur la base des conditions économiques d'avril 1940 et en fonction du trafic de 1938-1939, faisait ressortir une économie annuelle égale à 8,5 % de la dépense totale. L'opération était donc financièrement avantageuse. Elle présentait, d'autre part, des avantages techniques indis-

cutables aux points de vue qualité du service et régularité du trafic. L'emploi de la traction électrique devait permettre, en particulier, d'améliorer les horaires et de faciliter la remorque des trains sur la partie difficile de la ligne comprise entre Les Laumes et Dijon, le « seuil de Bourgogne », où de longues rampes de 6 et 8 mm par mètre posaient en traction à vapeur un problème difficile.

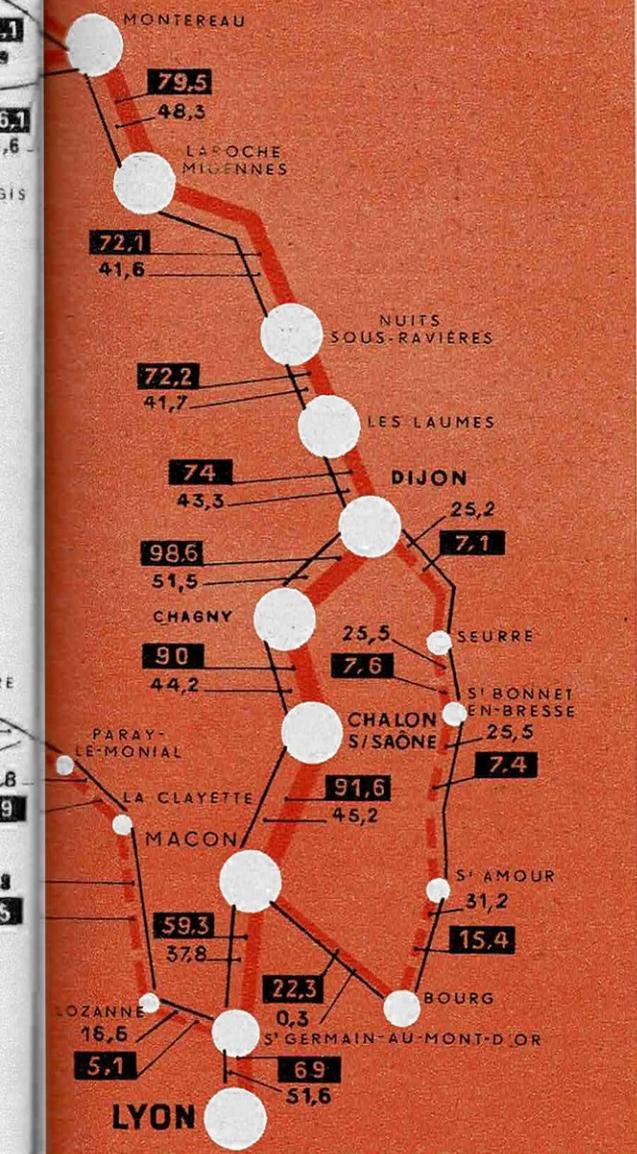
REPARTITION DU TRAFIC

1° LIGNES PARCOURUES ACTUELLEMENT PAR CERTAINS TRAFICS QUI SERONT REPORTES SUR PARIS-LYON, MACON-BOURG

12 (DEBIT APRES ELECTRIFICATION)
+24 (DEBIT AVANT ELECTRIFICATION)

2° LIGNES QUI RECEVRONT UN TRAFIC NOUVEAU DU FAIT DE CE REPORT

14 (DEBIT APRES ELECTRIFICATION)
17 (DEBIT AVANT ELECTRIFICATION)



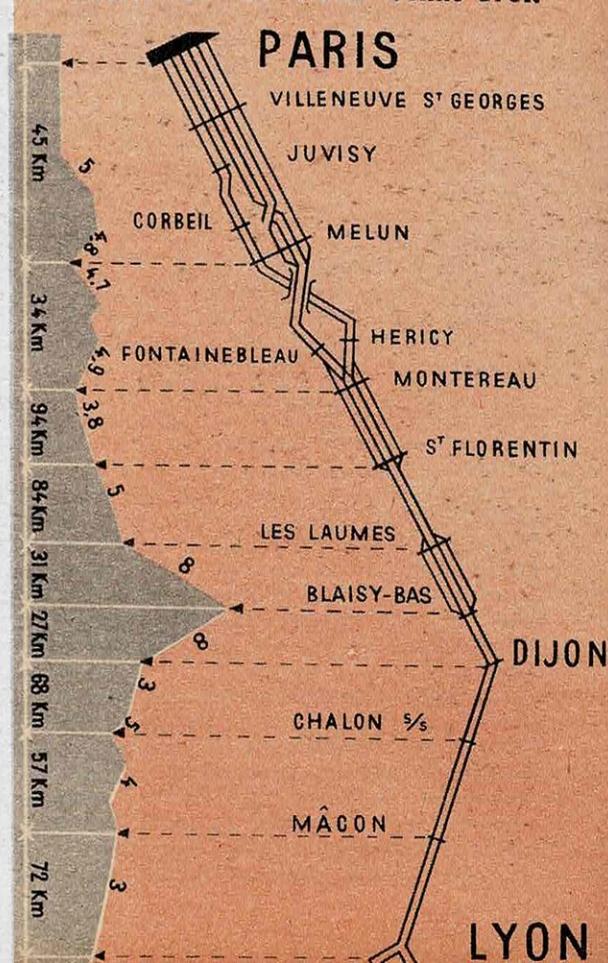
L'ALIMENTATION EN ENERGIE HAUTE TENSION

L'énergie est prélevée sur le réseau général à très haute tension, à partir de postes de transformation entre lesquels a été établie une ligne spéciale de distribution à 60 000 V. Cette ligne alimente les sous-stations échelonnées le long de la voie. Parmi les usines qui débitent sur le réseau français interconnecté et qui fournissent l'énergie de Paris-Lyon, l'usine de Génissiat a de beaucoup le rôle le plus important. Cette usine, dans laquelle la S. N. C. F. a une participation de 25 %, sera équipée en définitive de 6 groupes (5 seulement sont en service) et produira alors 2 milliards de kWh. Les besoins de l'électrification Paris-Lyon ne dépassent pas le cinquième de la production de Génissiat.

La ligne spéciale à 60 000 V est une ligne double sur presque tout son parcours, constituée par deux lignes triphasées montées sur supports indépendants. Ces deux lignes, écartées d'une trentaine de mètres, suivent un tracé « en festons » pour éviter les agglomérations, et surtout les lignes téléphoniques, afin de ne pas en troubler le bon fonctionnement par induction.

Ces lignes sont constituées par des câbles alu-

LE PROFIL DE LA LIGNE PARIS-LYON



Enfin, moyennant l'utilisation de 400 millions de kWh, l'électrification permettait une économie annuelle de 650 000 t de charbon cokéifiable, spécialement utilisable dans la métallurgie, économie qui devait permettre une réduction appréciable des importations.

La question fut reprise dès la Libération et les travaux furent commencés dans le courant de l'année 1946.

minium-acier d'une section totale de 228 mm². Les pylônes, d'un type classique, ont été conçus en vue de réduire le plus possible le volume de béton des fondations. Il atteint environ 13 m³ de béton par kilomètre de ligne simple. On a employé sur les pylônes un type de console nouveau, dans laquelle la liaison avec le fût du pylône comporte un élément déformable. Si un câble se rompt ou si les tensions des câbles sont déséquilibrées, par exemple en cas de givre, la console est soumise à une force qui donne naissance dans le pylône à des efforts de torsion dangereux. À partir d'une certaine limite, l'élément déformable de la console commence à céder et absorbe une grande partie de l'énergie mise en jeu. La console tourne autour d'un axe vertical voisin de l'axe du pylône. Avec cette disposition, un pylône d'alignement droit de la ligne peut jouer passagèrement le rôle d'un pylône d'ancrage dont le poids serait à peu près double. Cet aménagement original augmente beaucoup la sécurité de fonctionnement des lignes à haute tension alimentant les sous-stations.

PRODUCTION ET DISTRIBUTION DU COURANT CONTINU 1 500 VOLTS

La répartition des sous-stations

La transformation en courant continu à 1 500 V du courant triphasé à 50 périodes amené par les lignes à 60 000 V s'effectue dans des sous-stations réparties le long de l'artère ferroviaire. La donnée principale qui conditionne la répartition et la puissance des sous-stations est le graphique de circulation des trains.

Pour calculer l'équipement de Paris-Lyon, on a tablé sur :

— dix-huit trains de 750 t marchant à 105 km/h dans l'heure la plus chargée de la journée, pour l'ensemble des deux voies ;

— trente trains analogues dans la période de deux heures la plus chargée ;

— un espacement de 4 mn entre les démarrages successifs des trains, s'effectuant après un arrêt général dû à un incident, une coupure de courant par exemple.

À partir de ces données, les études pour répartir les sous-stations ont été conduites de façon que la chute de tension moyenne au pantographe de la locomotive d'un train de 750 t marchant à 130 km/h et croisant un train lent de marchandises chargé à 1 300 t ne dépasse pas 180 V, soit 12 % de la tension nominale.

Les lignes électrifiées avant guerre avaient, dans chaque sous-station, un groupe de réserve chargé de maintenir la puissance en cas d'incident. Les équipements de Brive-Montauban et de Sète-Nîmes ont été réalisés différemment, suivant le système des sous-stations « réparties ». Dans ce système, pas de réserves, mais les sous-stations sont assez

rapprochées pour qu'en cas d'arrêt de l'une d'elles les sous-stations encadrantes continuent à alimenter de façon encore acceptable le double intervalle. En situation normale, l'alimentation est meilleure que dans le système classique, bien qu'il y ait moins de groupes installés au total.

Ce système des sous-stations « réparties » a été intégralement appliqué entre Dijon et Lyon ; les sous-stations, espacées de 8 km en moyenne, ont chacune un seul groupe redresseur de 4 000 kW.

Entre Paris et Dijon, section en majeure partie à quatre voies, des sous-stations aussi rapprochées auraient conduit à une dépense élevée. On a donc adopté un espacement moyen de 15 km, chaque sous-station étant équipée de deux groupes redresseurs de 4 000 kW. Le principe des sous-stations réparties se retrouve encore, puisque ces deux groupes sont appelés à fonctionner ensemble au moment des périodes de fort trafic.

Cependant quelques sous-stations devaient présenter des garanties particulières : celles des banlieues de Paris et de Lyon, ainsi que celles de la section Blaisy-Dijon en rampe de 8 mm à double voie banalisée. Ces sous-stations sont équipées avec trois groupes redresseurs de 4 000 kW, dont un en réserve.

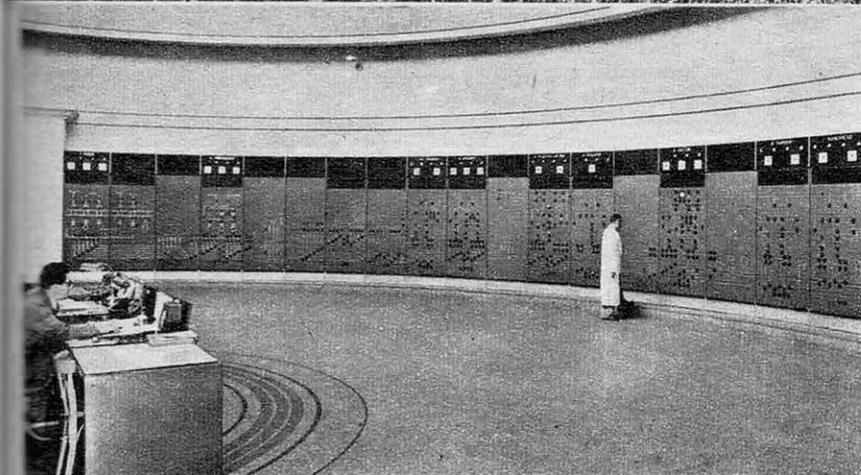
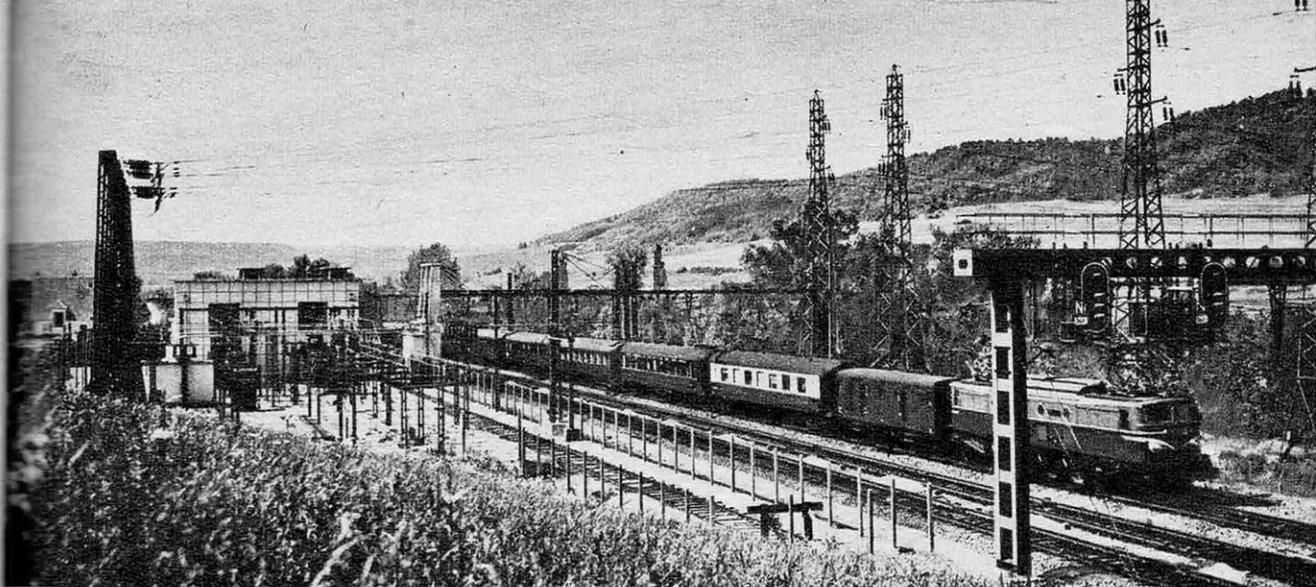
Au total, la ligne de Paris à Lyon compte 51 sous-stations équipées avec 92 groupes redresseurs. En plus, trois groupes de secours ont été montés sur wagons pour parer à des révisions du matériel ou à une défaillance prolongée dans les sous-stations à un ou deux groupes.

L'alimentation des voies

En raison des faibles distances entre sous-stations, on n'a pas prévu de sectionnement dans l'intervalle entre deux sous-stations, comme il en existe sur les lignes où les sous-stations sont espacées de 20 km et plus. Les « secteurs » de ligne de contact sont donc délimités par les sous-stations encadrantes, chaque départ de sous-station étant pourvu d'un disjoncteur ultrarapide.

Pour couper automatiquement le courant 1 500 V sur un secteur avarié, il faut tenir compte à la fois de la valeur atteinte par l'intensité, et de son allure d'accroissement. Cette délicate question a été résolue au moyen de disjoncteurs qui fonctionnent non seulement quand l'intensité débitée dépasse une certaine limite, mais quand la vitesse de variation de cette intensité devient trop grande. Par exemple, ces appareils peuvent admettre sans déclencher un débit de 3 500 ampères s'établissant progressivement, mais déclenchent sous la rapide apparition d'un courant de 2 500 ampères seulement due à un défaut d'isolement. La rapidité de fonctionnement de ces disjoncteurs est de l'ordre de 15 millièmes de seconde.

Les groupes de traction sont des groupes redresseurs à vapeur de mercure de 4 000 kW, tandis que les groupes utilisés dans



● Les 51 sous-stations de la ligne Paris-Lyon sont réparties en trois groupes correspondant aux trois Arrondissements de l'exploitation (Paris, Dijon et Lyon). Chaque groupe de sous-stations est contrôlé par un poste de commande centralisée en liaison permanente avec le régulateur de la circulation. Ci-dessus, une de ces sous-stations, celle de Gissev. Ci-contre, le poste de commande centralisée de Paris.

les précédentes électrifications avaient des puissances de 2 000 et 2 750 kW seulement.

Le problème des perturbations dues à la tension redressée sur les lignes téléphoniques voisines de la voie a reçu sur Paris-Lyon une solution radicale du fait de leur mise en câbles souterrains pour diverses raisons indiquées plus loin. De son côté, le problème des harmoniques engendrés par les redresseurs sur le réseau primaire à haute tension a été étudié de très près, en raison de l'importance de la puissance installée, et résolu de façon élégante.

On sait qu'en augmentant le nombre des phases d'un redresseur on supprime les premiers harmoniques, ceux qui sont les plus importants. Avec un redresseur à 24 phases, le premier harmonique serait de rang 23, avec une amplitude au plus égale au $\frac{1}{23}$ du fondamental. Le montage de redresseurs avec plus de 6 phases présente des difficultés ; on a donc cherché à grouper des sous-stations déphasées les unes par rapport aux autres pour multiplier artificiellement le nombre des phases.

Sur Paris-Lyon, les sous-stations consécutives ont été successivement déphasées de 15° ;

ainsi 4 sous-stations constituent un ensemble à 24 phases qui, du point de vue des harmoniques sur le réseau primaire, est exactement équivalent à un redresseur à 24 phases si les charges sont uniformément réparties. Bien entendu, les charges de 4 sous-stations consécutives ne sont pas à chaque instant égales et il subsiste un résidu d'harmoniques. Mais l'expérience, après le calcul, a prouvé que ce résidu ne dépassait pas le niveau d'harmoniques correspondant à un seul train en ligne s'il était alimenté par des sous-stations non déphasées. On est donc revenu à une situation parfaitement acceptable et n'affectant pas les réseaux primaires.

L'agencement des sous-stations

Il a découlé de deux considérations principales. Dans les sous-stations « réparties » sans réserve, qui sont les plus nombreuses, on a simplifié au maximum les installations accessoires. D'autre part, la commande à distance des sous-stations, à partir des trois postes de commande centralisée de Paris, Dijon et Lyon, a dispensé de traiter chaque sous-station comme une petite centrale.

Suivant ces deux principes, on a poussé le plus loin possible l'interchangeabilité et la

maniabilité du matériel. Il n'est pas prévu de décuver des appareils sur place, donc pas de moyens de manutention ni de levage dans les sous-stations. Tous les gros appareils, transformateurs et redresseurs, sont montés sur galets et peuvent être roulés directement sur la plate-forme d'un wagon, ce qui rend leur remplacement très facile.

Quant au « tableau » d'autrefois, auquel aboutissaient toutes les commandes de la sous-station, il n'avait plus de raison d'être, puisqu'il n'y a plus personne dans une sous-station commandée à distance. On a donc fait « éclater » ce tableau en plaçant les commandes individuelles à côté de chaque appareil ou de chaque groupe d'appareils. Il en est résulté une grande simplification du câblage.

Finalement, une sous-station à deux groupes de 4 000 kW représente une surface couverte un peu plus faible qu'une sous-station de Tours-Bordeaux et beaucoup plus faible qu'une sous-station de Paris-Le Mans, l'une et l'autre comprenant deux groupes de 2 000 kW seulement, soit la moitié.

La commande centralisée des sous-stations

La commande des sous-stations à partir d'un poste central avait déjà été réalisée sur Paris-Le Mans et sur Sète-Nîmes. C'est un mode d'exploitation à la fois meilleur et plus économique que la commande à pied d'œuvre par des agents logés sur place, mal utilisés et moins bien informés de ce qui se passe en ligne qu'un régulateur central des sous-stations travaillant en liaison directe avec le régulateur de la circulation des trains. Le principe de la commande à distance a donc été appliqué sur Paris-Lyon.

Les 51 sous-stations sont réparties en trois groupes, dont les limites sont celles des trois Arrondissements de l'exploitation. Chaque groupe a un poste de commande centralisée, à Paris, Dijon et Lyon, dans le même bâtiment que le régulateur de la circulation des trains ou à proximité de celui-ci.

Le système employé sur Paris-Lyon n'utilise, pour l'ensemble des télécommandes, télésignalisations et télémesures nécessaires à l'exploitation des sous-stations par commande centralisée, que 2 « quartes », soit 8 conducteurs pris dans un câble mixte S. N. C. F.-P. T. T. qui longe les voies. Pour trouver dans ces 2 « quartes » autant de « voies de transmission » qu'il y a de sous-stations à commander, on envoie simultanément sur le même conducteur des courants de fréquences musicales susceptibles d'être sélectionnés par filtrage. Pour réaliser les conditions essentielles de fidélité, de sécurité et de rapidité de transmission, on a eu recours à un système utilisant des sélecteurs téléphoniques actionnés par

des impulsions de courants harmoniques. A chaque ordre envoyé à la sous-station correspond un signal de contrôle qui donne au poste central la position finale de l'organe manœuvré.

Le système nécessite deux fréquences par sous-station. C'est, en somme, une transposition en fréquences vocales des systèmes de téléphonie automatique, avec cependant adjonction de sécurités supplémentaires. Car, si un faux appel est admissible en téléphonie, toute fausse commande comme toute fausse signalisation sont inacceptables en matière de commande centralisée des sous-stations.

Ajoutons que cette commande centralisée a permis d'employer, dans les sous-stations, des schémas plus simples. L'opérateur de la commande centralisée provoquant et contrôlant la mise en marche ou l'arrêt de chaque groupe, la fermeture ou l'ouverture de chaque disjoncteur, il devenait possible et logique de supprimer dans les sous-stations différents équipements tels que :

- les équipements automatiques de mise en route et d'arrêt des groupes suivant l'intensité débitée ;

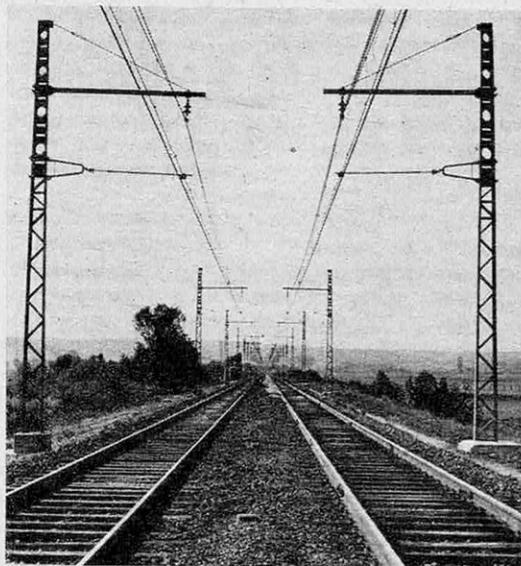
- les équipements de réenclenchement automatique des disjoncteurs de caténaires après déclenchement dû à une surcharge passagère ;

- certains équipements de « blocage » qui, dans les sous-stations commandées sur place, nécessitent, après leur fonctionnement, une intervention manuelle sur les redresseurs.

Au total, outre l'extrême souplesse et l'économie de personnel qu'elle procure, la commande centralisée des sous-stations a permis d'appréciables simplifications de l'appareillage et du câblage des sous-stations.

L'ÉQUIPEMENT DE LA VOIE

En dehors des installations servant à la production du courant de traction, l'électrification d'une ligne de chemin de fer exige :



Les caténaires se composent d'un porteur principal, d'un porteur auxiliaire et de deux fils de contact sur les sections à deux voies (447 km) ; elles sont portées par des supports distincts pour chaque voie.



● Sur les sections à quatre voies (170 km), les caténaires sont identiques à celles des sections à deux voies, mais, pour leur installation, on a utilisé des portiques

haubannés communs aux quatre voies au lieu de pylônes distincts. En certains points, ces portiques de caténaires sont utilisés pour porter les signaux.

— des lignes de contact, au-dessus des voies, pour distribuer le courant aux locomotives électriques. Cela implique non seulement l'implantation des supports et l'établissement des lignes de contact, mais aussi la réalisation, sur toute la ligne, d'un gabarit nouveau tenant compte de l'isolement indispensable des organes sous tension par rapport au matériel roulant et aux obstacles situés le long de la voie. Il faut, en particulier, augmenter le débouché des ouvrages d'art, ponts et tunnels, rendre étanches les tunnels et déplacer ou supprimer les lignes téléphoniques trop proches de la plate-forme ;

— l'adaptation à la traction électrique de toutes les installations du chemin de fer qui sont incompatibles avec le retour par les rails du courant de traction, comme les installations de signalisation utilisant des circuits de voie à courant continu.

Enfin, s'agissant d'une ligne comme Paris-Lyon, une des plus importantes d'Europe, sinon du monde entier, il était rationnel, pour tirer de l'électrification tout le parti possible, de réaliser des aménagements particuliers, en définitive générateurs d'économies, tels que :

— allongement des voies de garage, pour les adapter à la longueur des trains que sont capables de remorquer les locomotives électriques ;

— augmentation du débit de la ligne, pour pouvoir y reporter tous les trains que la traction électrique permet d'acheminer à meilleur compte que la traction à vapeur.

Les lignes de contact

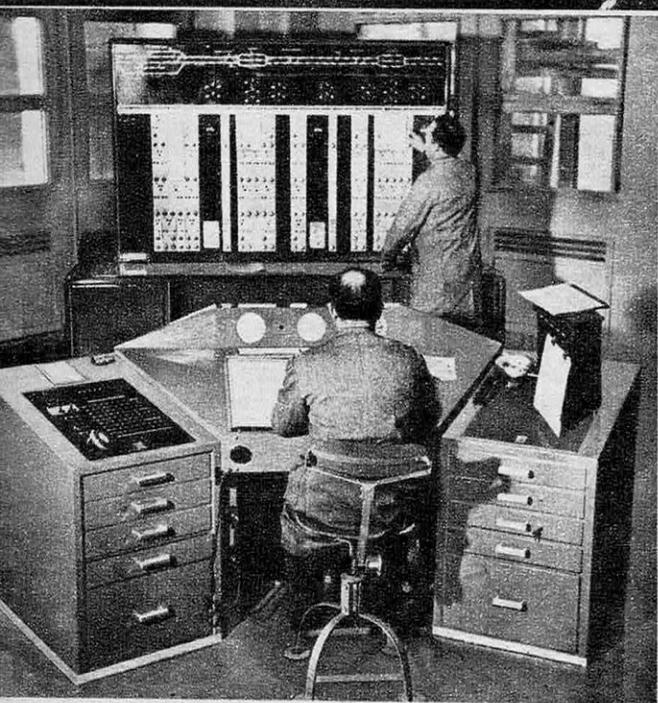
Paris-Lyon comportait, y compris le détournement de Villeneuve-Saint-Georges à Montereau par Corbeil, Melun, Héricy, 7 km de ligne à 6 voies, 170 km à 4 voies, 447 km à 2 voies et 94 km de voie simple pour les sauts-de-mouton, raccordements, traversées de gares. Au total, 1 710 km de voies principales à munir de lignes de contact, auxquelles il fallait ajouter 754 km de voies de service (voies de garage et de manœuvres) à électrifier.

On a réalisé des installations qui sont en principe les mêmes que sur Paris-Le Mans et Tours-Bordeaux ; les caténaires se composent d'un porteur principal en bronze, d'un porteur auxiliaire et de deux fils de contact en cuivre avec dispositif automatique de réglage de la tension des fils de contact entre certaines limites de température. Cette disposition est celle qui assure, jusqu'aux vitesses élevées, le contact le plus régulier entre les fils et le pantographe de prise de courant des locomotives, condition primordiale pour capter un courant qui peut atteindre 2 000 et 3 000 A sous 1 500 V.

Cependant, sur Paris-Lyon, la densité du trafic était bien plus élevée que sur toute autre ligne déjà électrifiée ; de très importantes batteries de rapides parcourent cette ligne qui présente, en outre, des rampes de 8 mm par mètre entre Les Laumes et Dijon, au franchissement du seuil de Bourgogne. Pour éviter des chutes de tension excessives et un échauffement exagéré des conducteurs, il a fallu



LE « SAUT-DE-MOUTON » QUI, A LA SORTIE SUD DE LA GARE DE DIJON, SUPPRIME UN CISAILLEMENT



← Le poste de Commande Centralisée de la Circulation manœuvre de Dijon les aiguilles et signaux du tronçon Blaisy-Dijon (27 km) dont les deux voies sont utilisables indifféremment dans les deux sens par les trains.

augmenter la section des lignes de contact. Cette augmentation a été réalisée au moyen de feeders, mais aussi par un accroissement de section de la caténaire proprement dite.

En effet, la vitesse de 140 km/h était prévue de bout en bout et les réactions aérodynamiques sur les pantographes et par conséquent les efforts qui en résultent sur la ligne de contact croissent comme le carré de la vitesse. Pour compenser ces réactions, il fallait augmenter le poids des fils de contact. On a donc employé des fils rainurés de 150 mm² au lieu de 107 mm². Le porteur auxiliaire a une section de 143 mm² au lieu

de 104 mm². Finalement, la caténaire renforcée, utilisée sur Paris-Lyon, a une section correspondant à 480 mm² de cuivre, au lieu de 400 mm² dans les électrifications précédentes.

Sur la majeure partie de la ligne, les pylônes sont métalliques. Cependant, pour économiser l'acier, 185 km de double voie (sur 447 km) ont été équipés avec des poteaux en béton armé précontraint.

Autres travaux

On a vu que, pour installer les caténaires, il fallait augmenter le débouché des ouvrages qui ne laissaient pas une place suffisante au-dessus du gabarit. La ligne Paris-Lyon est franchie par 173 ponts et 21 passerelles et elle traverse 21 tunnels d'une longueur totale de 11 600 m. Le « gabarit électrique » a dû être aménagé pour 95 ponts et 20 tunnels en abaissant les voies ; pour 41 ponts et 16 passerelles, on a surélevé le tablier de l'ouvrage. C'est ainsi que le pont de Saint-Florentin, « bow string » en béton armé de 52 m de portée et pesant 1 500 t, a été rehaussé de 42 cm. Enfin, 5 passerelles ont été supprimées.

D'autre part, tout le long de la voie couraient des lignes aériennes groupant des circuits téléphoniques des P. T. T. et de la S. N. C. F. et des circuits de signalisation du chemin de fer. En bien des endroits, ces lignes auraient dû être déplacées pour installer les

pylônes des caténaires. De plus, l'électrification exigeait l'installation de nouveaux circuits, en particulier les circuits d'alarme en cas d'incident de l'alimentation électrique et les circuits de la commande centralisée des sous-stations. Enfin, ces lignes aériennes risquaient d'être influencées par des harmoniques subsistant dans le courant redressé de traction.

Il fallait choisir entre reconstruire une nouvelle ligne aérienne à distance suffisante des voies ou mettre tous les circuits correspondants dans des câbles souterrains le long de la plate-forme. On a retenu cette dernière solution, un peu plus coûteuse, mais bien plus avantageuse du point de vue de la sécurité de fonctionnement et de l'économie d'entretien. La mise en câbles a été réalisée à frais communs avec les P. T. T. L'artère souterraine comprend deux câbles mixtes P. T. T.-S. N. C. F. pour les relations à grande distance, un câble régional P. T. T. à moyenne distance et un câble auxiliaire S. N. C. F. desservant toutes les installations le long de la voie.

Les circuits à grande distance, à l'exception des circuits à haute fréquence, sont pupinisés tous les 1 830 m et répétés tous les 60 km environ. La pupinisation consiste à placer sur le circuit, à des distances convenables, des bobinages destinés à compenser par leur self-induction les effets de capacité, importants dans les câbles. La répétition combat l'affaiblissement des transmissions. Il y a dix stations de répéteurs entre Paris et Lyon ; chacune comprend les installations d'énergie nécessaires aux répéteurs (redresseurs et accumulateurs) et un groupe électrogène de secours.

Adaptation des installations existantes à la traction électrique

La signalisation sur les grandes lignes utilise le plus souvent des circuits de voie. Un circuit de voie est constitué par les deux rails d'une section de voie, isolés des rails des sections encadrantes, et dans lesquels on fait passer un courant. Les essieux mettent les deux rails en court-circuit. Les variations d'intensité de courant à l'extrémité de la section agissent sur un relais électrique qui enregistre ainsi la présence ou l'absence de véhicules sur la section. Les circuits de voie sont à la base du block-system automatique et de nombreuses autres installations de signalisation.

Sur les lignes non électrifiées, les circuits de voie sont alimentés en courant continu, solution la plus simple et la plus économique. Sur les lignes électrifiées, le retour du courant de traction aux sous-stations se fait par les rails et il faut alimenter les circuits de voie avec un courant différent. En France, sur les lignes électrifiées en courant continu, on utilise pour les circuits de voie du courant alternatif à 50 périodes.

Avant de mettre en service la traction électrique, il fallait transformer sur Paris-

Lyon 245 km de double voie équipée en block automatique et 610 km en block manuel contrôlé par circuits de voie, ainsi que 70 postes de signalisation de gares. En fait, ces transformations ont souvent été faites en même temps que des modifications des installations, par exemple remplacement du block manuel par le block automatique.

Amélioration du rendement de la ligne

On sait que, par son aptitude au démarrage et par sa souplesse de marche, une locomotive électrique peut, à puissance égale, remorquer des trains bien plus lourds qu'une machine à vapeur. L'augmentation de longueur des trains conduit à allonger les voies de garage des trains de marchandises et les voies à quai des gares de voyageurs ; par exemple, les quais de Paris n'avaient que 300 m et il a fallu les porter à 400 m. On a dû en faire autant dans toutes les gares importantes.

L'alimentation en courant de traction d'une ligne électrifiée doit être calculée pour faire face aux pointes de trafic. Et, comme la traction électrique est bien plus économique que la traction à vapeur, on utilise cette marge de puissance pour détourner par la ligne électrifiée les trains qui suivent des lignes voisines non électrifiées, même s'il en résulte une légère augmentation de parcours.

Il était donc économique de ramener sur Paris-Lyon le trafic de bout en bout qui suit la ligne du Bourbonnais par Nevers et Moulins, et en particulier tout le trafic des fruits et primeurs du Midi. De même, les trains de Savoie entre Dijon et Bourg ont intérêt à passer par Mâcon au lieu de Saint-Amour. Au total, pour tirer de l'électrification le maximum de bénéfices, on a été conduit à aménager la ligne pour augmenter son débit.

Pour réduire la longueur des cantons de block, qui fixe l'espacement minimum des trains, le block automatique a remplacé le block manuel sur les sections qui en étaient encore munies. De même, quelques points singuliers comportant des cisaillements ou des ralentissements dus au tracé de la voie ont été supprimés. En particulier, un « saut-de-mouton » a été construit à Paris pour supprimer les cisaillements entre les voies de banlieue et les voies d'amenée et de rentrée des rames vides de grande ligne, un autre à Dijon, où la voie Paris-Lyon était cisailée par les mouvements de locomotives venant du dépôt de Perrigny, et enfin un autre à Mâcon, où la grande ligne coupe la ligne de Bourg.

Le débit d'une ligne dépend aussi de la rapidité avec laquelle un train lent se gare pour laisser passer un train plus rapide. Un garage de train par rebroussement demande un délai de l'ordre de 10 à 15 minutes. Sur Paris-Lyon, 50 garages nouveaux ont été aménagés avec entrée directe par aiguille en pointe, disposition qui permet de garer un train en 3 ou 4 minutes seulement.

Enfin, Paris-Dijon, ligne à quatre voies sur 203 km au total, comprend encore deux sec-

tions à double voie, l'une entre Saint-Florentin et Les Laumes, l'autre entre Blaisy et Dijon. Sur cette dernière section, très accidentée, quadrupler les voies aurait été un travail considérable. Il était bien plus économique de « banaliser » les deux voies, c'est-à-dire de les équiper pour qu'elles puissent être utilisées, l'une et l'autre, dans n'importe quel sens de circulation.

Ce résultat a été obtenu, en toute sécurité, en créant à Dijon un poste de Commande Centralisée de la Circulation (C. C. C.) qui commande à distance toutes les aiguilles et tous les signaux du tronçon Blaisy-Dijon, long de 27 km.

Grâce à cette installation, on peut, le cas échéant, utiliser les deux voies pour écouler le trafic d'un même sens, notamment pendant les batteries de rapides de nuit qui, depuis la mise en service de la traction électrique et grâce aux améliorations de vitesse, se croisent maintenant au sud de Dijon. On peut aussi expédier de Dijon un train lent devant un rapide ; le second doublera le premier avant Blaisy et ce dernier aura pu gagner plusieurs dizaines de minutes en ne se garant pas à Dijon jusqu'au départ de l'autre.

PREMIERS RÉSULTATS

Commencés en 1946, mais ralentis pour des questions d'ordre budgétaire, les travaux sont actuellement terminés jusqu'à Dijon et s'achèvent entre Dijon et Lyon. La traction électrique a été mise en service au printemps 1950 sur Laroche-Dijon et à l'automne de la même année sur Paris-Laroche. Enfin, les trains électriques commenceront à circuler entre Dijon et Lyon en 1952.

Mais déjà d'importantes améliorations ont été apportées aux horaires de tous les trains, voyageurs et marchandises : en particulier, les rapides gagnent en moyenne une heure entre Paris et Dijon par rapport à la traction à vapeur. Le parcours Paris-Dijon est effectué en 2 h 32, à la vitesse moyenne de 124 km/h, et le parcours Paris-Lyon, en 5 h 06, à la vitesse commerciale de 100 km/h, malgré 4 arrêts intermédiaires. Ces moyennes, sont d'autant plus remarquables que la vitesse maximum des trains est limitée à 135 km/h. Le faible écart entre la moyenne commerciale et le maximum de vitesse met en valeur la puissance, la souplesse et la régularité de la traction électrique.

Du point de vue économique, l'électrification a également tenu ses promesses. Certes, seule l'électrification de bout en bout permettra, comme il a été dit, de reporter sur Paris-Lyon un important trafic de marchandises actuellement acheminé en traction vapeur par la ligne du Bourbonnais, et ce report de trafic procurera de très importantes économies. Mais la mise en service de la section Paris-Dijon permet déjà de les évaluer.

Au bénéfice de l'électrification Paris-Lyon, il faut inscrire :

— une légère diminution du nombre des trains, due à l'accroissement de tonnage des rapides. Le gain, de l'ordre de 7 %, permet une économie du personnel d'accompagnement ;

— une très large réduction du service des dépôts de locomotives, atteignant 60 %. On sait que 225 machines électriques remplacent 700 locomotives à vapeur et que la même machine fait le parcours Paris-Lyon ; on sait aussi que la machine électrique ne nécessite qu'un entretien très réduit. C'est, au total, un gain très important, du même ordre que l'économie réalisée sur l'énergie de traction (combustible ou électricité) ;

— parallèlement, une diminution massive du personnel de conduite, les temps morts étant réduits au minimum, et toute équipe de conduite pouvant monter sur toute machine. Le gain sur ce chapitre est de l'ordre de 50 % ;

— de même que l'entretien dans les dépôts est diminué à 60 %, de même les réparations en atelier sont considérablement réduites. On admet sur ce point une diminution des dépenses de l'ordre des deux tiers ;

— enfin, et c'est là le poste le plus important, les locomotives à vapeur de Paris-Lyon brûlaient, par an, 650 000 t de charbon de bonne qualité à 5 100 f la tonne tout compris. Les machines électriques consommeront moins de 400 millions de kWh, à 4,5 f le kWh en haute tension. L'économie annuelle dépasse donc un milliard et demi.

Toutes ces évaluations reposent sur des statistiques très précises, des bases expérimentales extrêmement sûres.

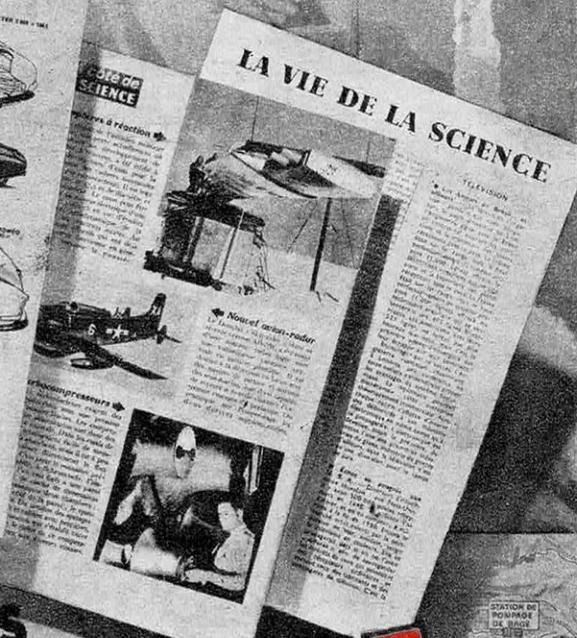
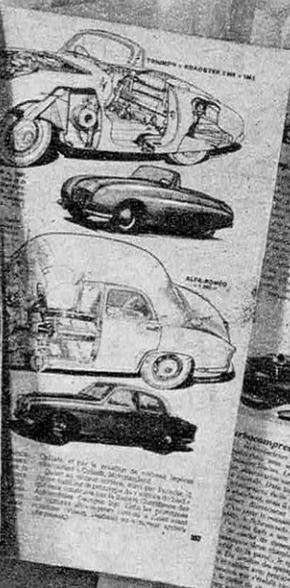
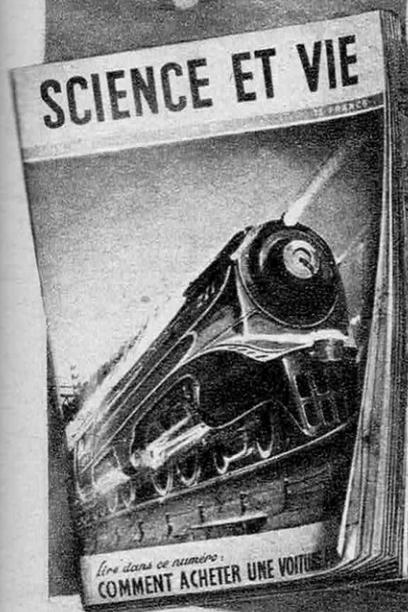
Au total, on arrive à un taux de rentabilité d'environ 9,8 %. Ce taux donne la mesure de l'intérêt financier de l'opération.

Mais l'économie réalisée sur le plan énergétique est bien plus intéressante encore. Car la France importe du charbon, et l'électrification de Paris-Lyon libérera, nous l'avons vu, 650 000 t d'un combustible de qualité, indispensable à notre métallurgie. En regard, elle consommera 400 millions de kWh qui représenteraient seulement 200 000 t de charbon de basse qualité, s'ils devaient être entièrement fournis par des centrales à vapeur.

Mais plus du tiers de l'énergie électrique consommée sera fournie par des centrales hydroélectriques : la seule production de l'un des cinq groupes turbo-alternateurs de Génis-siat suffirait à alimenter tous les trains de la ligne. Et, de plus, en raison de la répartition du trafic suivant les heures de la journée, l'énergie électrique sera, pour les deux tiers, consommée entre 8 h du soir et 8 h du matin, c'est-à-dire aux heures creuses où la consommation industrielle et domestique est la plus faible, donc au moment où les centrales thermiques sont en veilleuse et où les barrages débitent à vide. On voit que l'électrification gagne ainsi sur les deux tableaux.

R. Vaubourdolle et M. Garreau,
Ingénieurs en Chef à la S. N. C. F.

toute la vie de la science



tous les mois

SCIENCE ET VIE

à la portée de tous



LIGNES ÉLECTRIFIÉES : EUROPE-AFRIQUE DU NORD

Les lignes électrifiées se partagent à peu près également, quant à leur longueur, entre les deux systèmes de traction par courant continu (1 500 V en France, Espagne, Angleterre, Pays-Bas; 3 000 V en Italie, Belgique, Maroc) et par courant monophasé à la fréquence de 16 2/3 périodes/sec (Suisse, Allemagne, Autriche, Suède, Norvège).



VERS UNE FORMULE NOUVELLE:

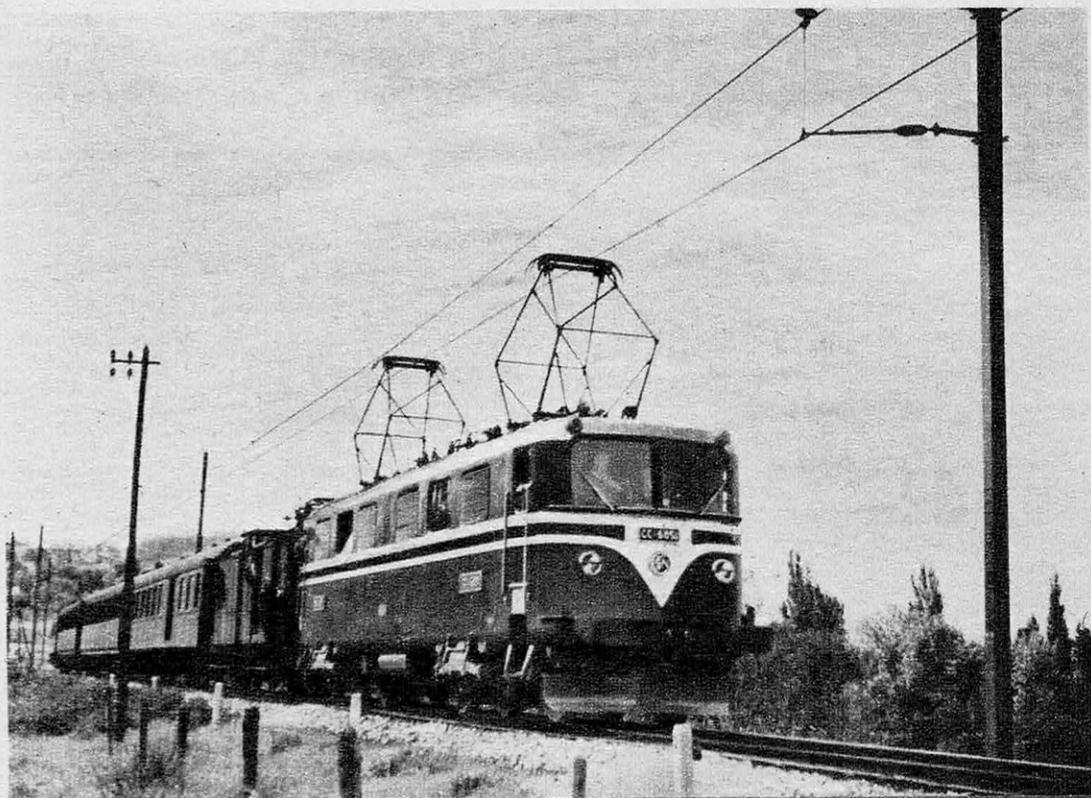
La traction monophasée à 50 périodes

DEUX grands systèmes concurrents de traction électrique existent actuellement dans le monde : la traction par courant continu et la traction par courant monophasé de fréquence spéciale. Nous nous proposons de rappeler ici les caractéristiques essentielles de ces différents systèmes. Cela nous amènera à exposer pourquoi la S. N. C. F. croit devoir rechercher maintenant une nouvelle formule dans l'utilisation du courant monophasé de **fréquence industrielle**, quelles études ont été faites à ce sujet, quels résultats d'essais déjà acquis assurent maintenant notre confiance dans ce système d'électrification qui apporte des économies d'installation très appréciables et qui semble, de ce fait, susceptible d'ouvrir un champ d'application plus large à la traction électrique.

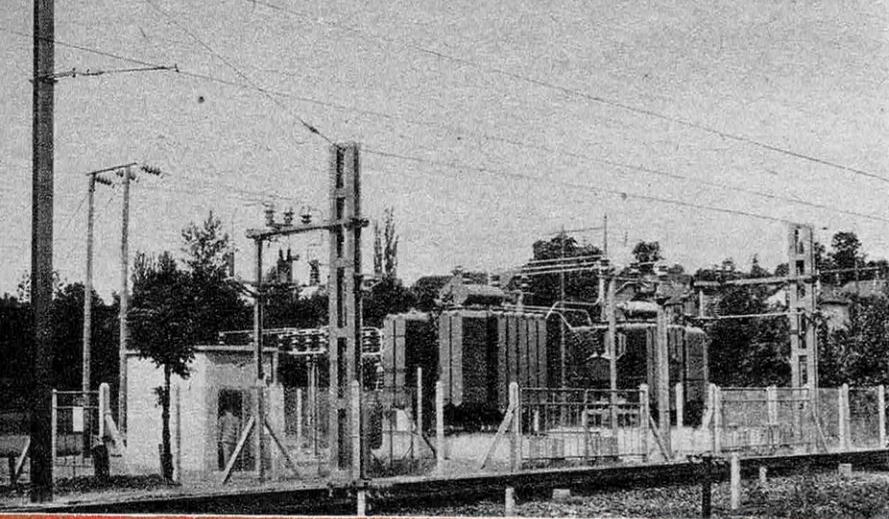
Nous ne citerons que pour mémoire la

traction triphasée. Ce système a pu paraître séduisant, car il répondait à la tendance de plus en plus générale d'utiliser l'énergie électrique sous forme triphasée. Il a connu un important développement, principalement en Italie. Mais les difficultés de réalisation qui lui sont propres, notamment celles posées par l'amenée des trois phases jusqu'à la locomotive, le font maintenant considérer comme périmé. Les chemins de fer italiens poursuivent désormais leurs électrifications en adoptant un autre système et procèdent même à la dépose progressive de leurs installations triphasées.

Les deux autres formes de courant : le monophasé à fréquence spéciale et le continu, ont atteint par contre des positions à très peu près équivalentes. Pour fixer les idées, l'ensemble de l'Europe et de l'Afrique du



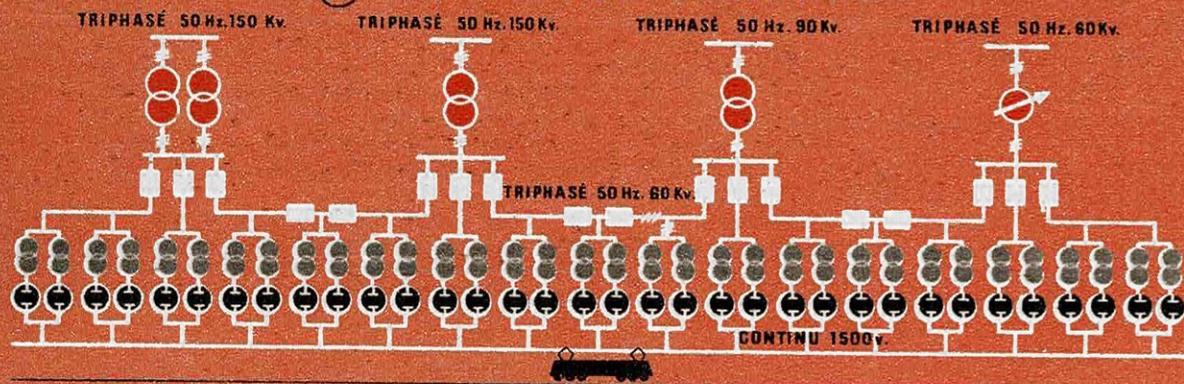
LOCOMOTIVE CC 6051 SUR LA LIGNE D'AIX-LES-BAINS A LA ROCHE-SUR-FORON



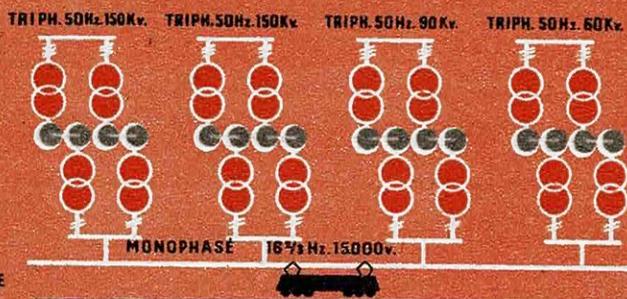
← La ligne d'Aix-les-Bains à La Roche-sur-Foron est alimentée en courant monophasé 50 périodes par la sous-station d'Annecy, qui comporte deux transformateurs d'une puissance unitaire de 6 000 kVA, alimentés par le poste de la ville.

Sur une partie de la ligne, → on a expérimenté une caténaire inclinée ou « gauche ». En alignement, la disposition du porteur oblige le fil de contact à décrire des courbes de part et d'autre de l'axe de la voie ; en courbe, il s'écarte peu de l'axe.

(A) TRACTION A COURANT CONTINU



(C) TRACTION A COURANT MONOPHASÉ 16 2/3 Hz ALIMENTÉ PAR LE RÉSEAU GÉNÉRAL



● Ces schémas illustrent la simplification apportée aux installations fixes par l'emploi de courant monophasé à 50 périodes. La haute tension est amenée sous 20 à 25 Kv

jusqu'aux pantographes des locomotives ; l'énergie est puisée au réseau général par des sous-stations très simples espacées de 50 à 70 km (D). Le courant continu (A)

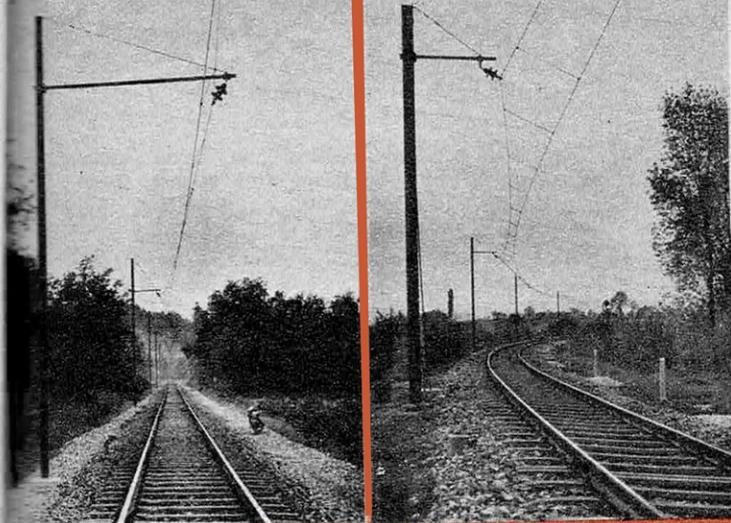
Nord comprend 13 049 km de lignes électrifiées en courant continu et 13 249 km de lignes électrifiées en courant monophasé à 16 2/3 périodes. La carte page 72 montre comment se répartissent les zones électrifiées.

LE COURANT CONTINU

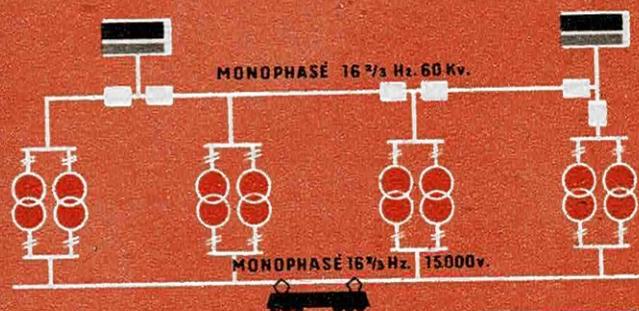
L'emploi du courant continu s'est particulièrement développé en France, en Hollande

et en Espagne sous la tension de 1 500 V, en Italie, en Belgique et au Maroc sous 3 000 V. Les tensions plus basses sont restées réservées aux réseaux de traction de faible étendue géographique : tramways, trolleybus, banlieue des grandes villes.

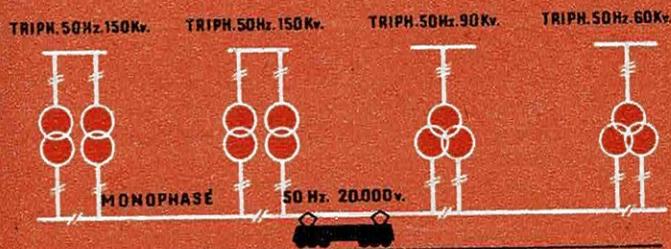
L'énergie électrique arrive, sous forme triphasée haute tension, des grands postes du réseau général aux sous-stations de traction échelonnées le long de la voie. Le courant



**(B) TRACTION A COURANT MONOPHASE 16 2/3 Hz
ALIMENTÉ PAR RESEAU H.T. SPÉCIAL**



**(C) TRACTION A COURANT
MONOPHASE 50 Hz**



exige une ligne haute tension alimentant des sous-stations nombreuses. La traction monophasée 16 2/3 périodes/s exige un réseau spécial (B) ou des sous-stations complexes (C) à faible rendement.

triphasé y est, après abaissement de sa tension, transformé en courant continu.

Ce mode de traction a atteint un degré d'évolution technique voisin de la perfection.

Les difficultés inhérentes à l'alimentation haute tension se sont aplanies avec le développement de l'interconnexion et du maillage des réseaux de transport d'énergie. Dans un pays comme la France où les centres de production se répartissent sur la quasi-totalité

du territoire, l'électrification d'une ligne de chemin de fer peut, en général, se raccorder aisément au réseau national d'énergie. C'est ainsi que la ligne Paris-Lyon jouit d'une place de choix dans le triangle constitué par les centres de production d'énergie électrique de la région parisienne, des Alpes et du Massif Central.

Et, si le réseau de distribution doit, à l'occasion d'une électrification de chemin de fer, être complété par des lignes à haute tension amenant l'énergie dans des zones jusque-là peu favorisées, ce prolongement ne peut manquer de profiter au développement industriel des régions traversées par cette nouvelle irrigation électrique.

Quant aux locomotives à courant continu, elles couvrent sans défaillance les besoins les plus divers de l'exploitation. Elles ont atteint un degré de robustesse, de simplicité et de puissance certainement inégalé dans les modes de traction non électriques.

Solution technique accomplie, la traction par courant continu a vu jusqu'à présent son emploi se développer sur les lignes d'exploitation difficile à profil accidenté, mais surtout sur les lignes à fort trafic, car c'est sur ces dernières que la rentabilité est la meilleure.

Le principal reproche que l'on peut faire à l'électrification en courant continu est le coût des installations fixes. Rien ne servirait de construire des locomotives aptes à développer 4 000 ch sous 1 500 V et absorbant à cet effet plus de 2 000 ampères si un tel appel de courant suffisait à faire tomber la tension au pantographe à la moitié de sa valeur. Il faut des sous-stations assez rapprochées et assez de cuivre dans la ligne de contact : une section de caténaire équivalente à 600 mm² de cuivre est courante en 1 500 V.

L'augmentation de la tension allégerait évidemment ces installations fixes en réduisant l'intensité des courants. C'est la raison pour laquelle le 3 000 V est a priori plus avantageux que le 1 500 V. Mais la réalisation des locomotives présente plus de difficultés en 3 000 V, difficultés qui proviennent essentiellement des moteurs de traction, dont la commutation et la tenue en régime transitoire sont rendues plus délicates lorsque la tension

s'élève; elles se traduisent dans la pratique par des performances moins brillantes des machines.

Il n'en reste pas moins que l'élévation de la tension présente un réel intérêt économique pour les électrifications en courant continu. La France, qui s'était orientée dès 1920 vers l'emploi du courant continu 1 500 V en raison principalement des difficultés techniques que posait encore à l'époque l'emploi de plus hautes tensions, a préféré cependant s'en tenir à ce système pour ses électrifications les plus récentes. La comparaison a été faite à l'occasion de l'étude de l'électrification Paris-Lyon. Elle a montré que les avantages financiers du 3 000 V, dans ce cas particulier, n'étaient pas suffisamment déterminants, comparés aux sujétions inhérentes à l'emploi de deux modes de traction différents dans le même pays.

Quant aux tensions supérieures à 3 000 V, leur emploi en courant continu peut difficilement être envisagé dans l'état actuel de la technique. Aux sujétions existantes, qui seraient aggravées pour des tensions de 4 000 ou 6 000 V, viendraient s'ajouter des obstacles très sérieux, tels le chauffage des trains et la réalisation des appareillages auxiliaires de protection et de commande des locomotives.

LE COURANT MONOPHASÉ A FRÉQUENCE SPÉCIALE

Le courant monophasé permet de transporter très simplement l'énergie en haute tension (15 ou 20 000 V) jusqu'à la locomotive et de la transformer à pied d'œuvre. Son emploi procure donc un abaissement sensible des dépenses d'installations fixes grâce à l'éspacement accru des points d'alimentation et à l'allègement de la ligne de contact.

Les distances entre points d'alimentation sont en moyenne trois fois plus importantes en monophasé : elles se situent entre 50 et 70 km, tandis qu'en courant continu elles sont généralement comprises entre 10 et 30 km. Simultanément, la section de la ligne d'alimentation (ligne de contact et feeders essentiels) peut être sensiblement réduite. Exprimée en section équivalente de cuivre, elle reste voisine, en monophasé, de 150 mm² et n'atteint au maximum 200 mm² que pour les lignes à très fort trafic, tandis qu'en continu elle doit être au moins trois fois plus forte : les sections supérieures à 500 mm² y sont très fréquentes.

Malheureusement, dans les débuts de la traction électrique et jusqu'à une époque encore récente, on ne savait pas construire de locomotives pour la fréquence industrielle de 50 périodes. Plus précisément, on ne savait pas construire de moteurs de traction alimentés directement à cette fréquence — nous indiquerons plus loin pourquoi, — et les équipements à groupe tournant ou redresseur, qui auraient permis une conversion de la

nature du courant à bord des locomotives elles-mêmes, se révélaient trop lourds pour pouvoir être installés dans un engin de quelque puissance.

C'est la raison pour laquelle les pays qui adoptèrent dès l'origine la traction monophasée furent obligés de choisir une fréquence spéciale assez basse (16 2/3 périodes en Europe, 25 périodes en Amérique) de façon à rendre possible la construction des moteurs.

Il faut reconnaître que cette nécessité d'utiliser une fréquence spéciale a fait perdre au système monophasé une partie des avantages attendus d'un allègement des installations fixes.

Deux solutions se sont développées concurremment : la première consiste à établir tout un réseau de production et de transport (usines et lignes haute tension) pour le chemin de fer, ce qui revient à établir deux réseaux dans le pays : le réseau général triphasé 50 périodes et le réseau monophasé 16 2/3.

Cette solution fut retenue par la Suisse, l'Allemagne et l'Autriche à une époque où les réseaux d'énergie étaient peu développés.

L'autre solution consiste à prendre l'énergie sur le réseau général et à la transformer en monophasé à basse fréquence dans des sous-stations de conversion de phase et de fréquence. Cette solution, adoptée en Suède, nécessite des installations complexes où l'énergie subit une quadruple transformation : abaissement de tension du triphasé, conversion dans un groupe tournant triphasé 50 périodes-monophasé 16 2/3 périodes, élévation de tension du monophasé. L'ensemble n'offre évidemment qu'un rendement assez bas. Quant aux sous-stations de conversion par mutateurs à vapeur de mercure, après des mises au point laborieuses, elles ne se sont pas développées.

Comme la traction en courant continu, la traction monophasée à fréquence spéciale atteint maintenant un stade de perfectionnement qui en fait un mode de traction parfaitement au point.

Mais, comme en courant continu, on ne voit guère le moyen de réaliser sur les dépenses d'établissement les économies substantielles qui permettraient d'améliorer encore la rentabilité des électrifications.

LE SYSTÈME DE TRACTION LE PLUS ÉCONOMIQUE

Ce rappel très succinct des solutions appliquées à grande échelle montre qu'aucune ne saurait maintenant faire l'objet d'économies massives.

Un seul système apparaît idéal de ce point de vue, mais n'a pu être retenu à l'origine comme solution possible, en raison des difficultés techniques qu'il soulevait : c'est celui basé sur l'emploi à bord des engins moteurs du courant monophasé à fréquence industrielle. Le succès des autres solutions devait en

La ligne d'essai française pour la traction monophasée à 50 périodes, d'Aix-les-Bains à La Roche-sur-Foron, est longue de 78 km. Elle est alimentée par une sous-station provisoire unique installée à Annecy.

retarder l'étude approfondie jusqu'au jour où il apparaîtrait comme le seul capable d'apporter à la traction électrique de substantielles économies et d'en élargir le champ d'application.

Les avantages du courant monophasé de fréquence industrielle ressortent de ce qui vient d'être dit : permettant, comme le courant monophasé de fréquence spéciale, l'emploi d'une tension élevée sur la ligne de traction (20 ou 25 kV), il ne nécessite que des sous-stations extrêmement simples ne comportant que des transformateurs statiques, par ailleurs d'excellent rendement.

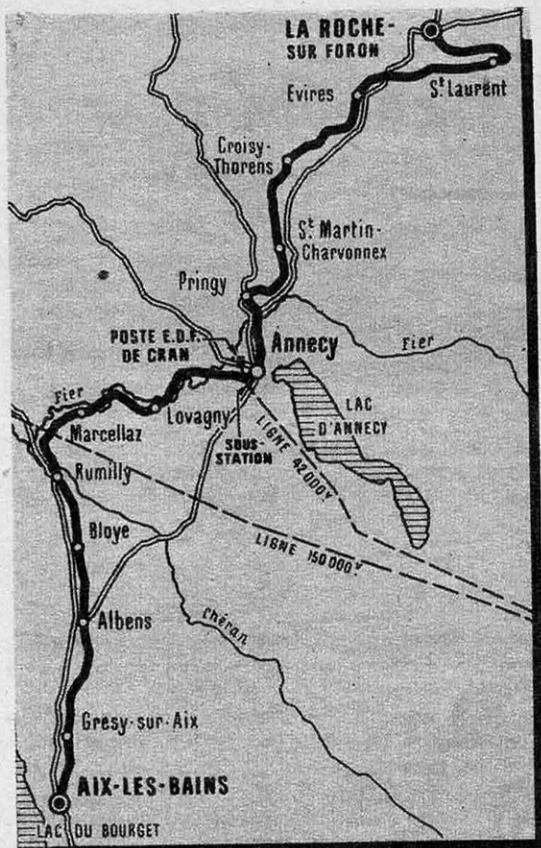
L'énergie des locomotives est puisée directement sur le réseau général : alors qu'en traction à courant continu on mène le courant industriel jusqu'à l'arrivée haute tension des sous-stations, en monophasé 50 périodes on le mène jusqu'aux pantographes des locomotives.

De plus, les sous-stations étant beaucoup plus espacées (50 à 70 km au lieu de 10 à 30 en courant continu), il n'est généralement plus nécessaire de créer, pour les alimenter, de lignes haute tension tout au long des lignes ferroviaires. On peut se contenter de lignes partielles, souvent très courtes, pour se raccorder aux centres de production ou aux artères haute tension existantes.

Par rapport aux systèmes monophasés à fréquence spéciale, l'avantage est évident. Au point de développement qu'ont atteint aujourd'hui les réseaux d'énergie dans les pays comme le nôtre, il ne saurait être question de superposer au réseau national un ensemble d'usines et de lignes à fréquence spéciale. Le chemin de fer doit être, vis-à-vis du fournisseur d'énergie, un client qui puise aux mêmes sources et qui peut même apporter au réseau général un élément de régulation avantageux grâce au fait qu'il a généralement un bon coefficient d'utilisation et que, dans bien des cas, ses pointes de consommation ne coïncident pas avec les pointes des autres usagers.

C'est d'ailleurs une des principales raisons qui avaient inspiré à l'origine les pionniers de la traction électrique en France dans leur préférence donnée au courant continu par rapport au courant monophasé à 16 2/3 périodes. Nous restons dans la ligne générale de leur pensée tout en revenant au courant monophasé, parce que nous revenons en même temps à la fréquence utilisée normalement sur l'ensemble du réseau.

La traction monophasée à 50 périodes pose quelques problèmes techniques pour les installations fixes, mais surtout pour le matériel roulant.



INSTALLATIONS FIXES

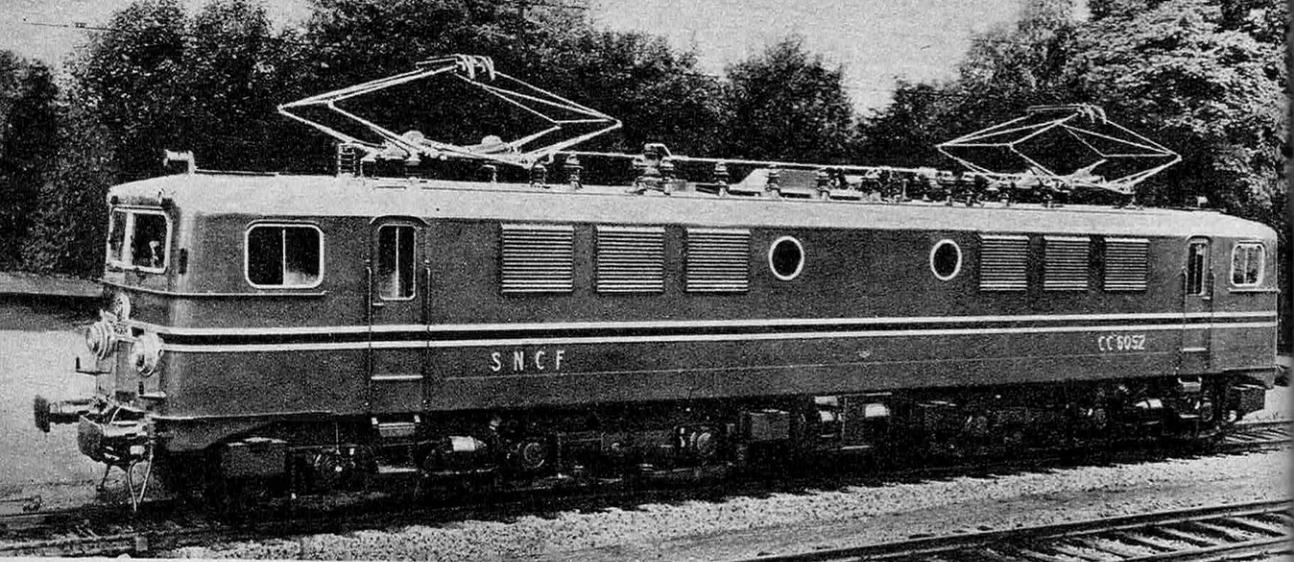
Une première difficulté est celle de la ponction de puissance monophasée que l'on effectue sur le réseau général triphasé. Ce prélèvement provoque entre les trois phases du réseau des déséquilibres qui risquent d'être gênants pour les autres utilisateurs.

On connaît cependant les dispositions à prendre pour réduire ces déséquilibres. Elles consistent à choisir judicieusement les points de branchement sur le réseau général haute tension, à sectionner la ligne de traction en plusieurs tronçons de façon à permettre un branchement successif sur chacune des phases, enfin à réaliser dans les sous-stations certains montages spéciaux, tels que les « montages Scott ».

Une deuxième difficulté est liée aux perturbations que le courant de traction à 50 périodes peut provoquer sur les lignes téléphoniques aériennes longeant les voies. La solution adoptée réside dans la mise en câbles de ces lignes.

MATÉRIEL ROULANT

Ce ne sont évidemment pas les quelques difficultés qui viennent d'être exposées qui auraient suffi à empêcher le développement de la traction par courant monophasé à



● Cette locomotive prototype CC 6052 de la S. N. C. F. a été construite par Alstom pour fonctionner sous courant monophasé 20 000 V, 50 périodes. Elle est équipée

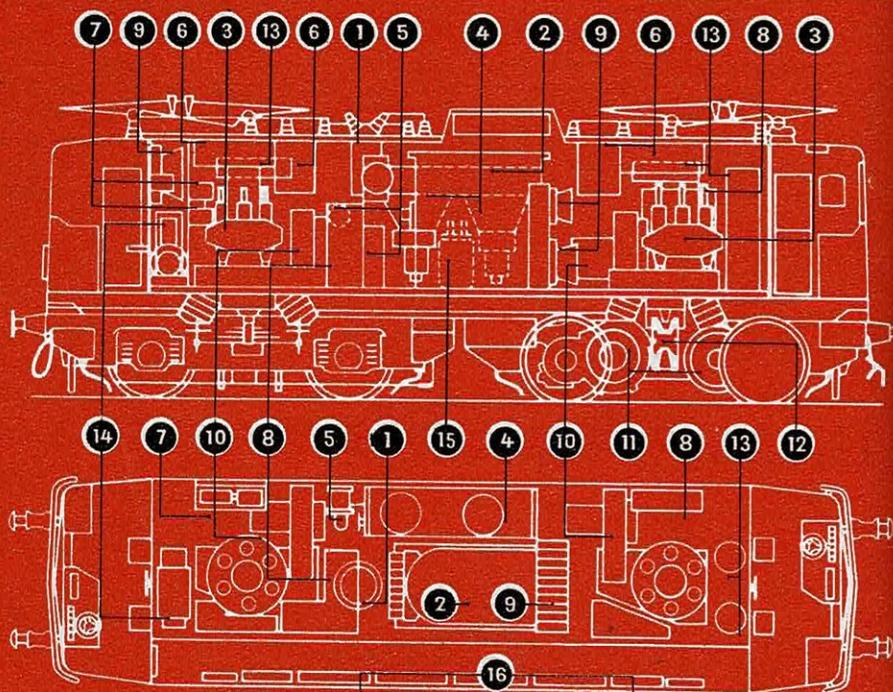
de six moteurs monophasés entièrement suspendus d'une puissance totale unitaire de 4 050 ch. Elle pèse 114 tonnes et sa vitesse maximum est de 90 km/h.

50 périodes. Le problème essentiel est celui des locomotives et notamment celui des moteurs de traction du type série à collecteur alimentés directement en courant monophasé à 50 périodes.

C'est dans la commutation, comme on le sait, que réside le principal écueil à surmonter pour la construction des moteurs monophasés. La force électromotrice induite dans la spire en commutation se compose de deux éléments : une force électromotrice d'origine dynamique due, comme en courant continu, à

l'inversion du courant au passage sous les balais, l'autre d'origine statique due à la forme pulsatoire du flux inducteur. On compense tant bien que mal l'ensemble à l'aide de pôles auxiliaires, qui induisent dans la spire une force électromotrice d'origine purement dynamique, n'apportant une correction parfaite que pour une seule vitesse. La commutation risque d'être délicate aux autres vitesses et tout particulièrement au démarrage, où la force électromotrice statique n'est pas combattue.

- 1, Disjoncteur 20 kV
- 2, Transformateur principal
- 3, Redresseur à six anodes
- 4, Réfrigération de l'huile du transformateur
- 5, Redresseur auxiliaire (oxyde de cuivre) et pompe
- 6, Selfs de filtrage
- 7, Gr. de polarisation redresseurs
- 8, Appareillage
- 9, Contact. princip.
- 10, Gr. de ventilation mot. tract. et redresseurs
- 11, Mot. de traction
- 12, Pivot de bogie
- 13, Réserv. d'air
- 14, Compresseur
- 15, Transformateur auxiliaire du compresseur
- 16, Accumulateurs



Le problème est sensiblement plus facile à basse fréquence.

Les difficultés s'accroissent quand on passe à 50 périodes, et le dimensionnement permettant d'obtenir une commutation acceptable conduit à des moteurs plus lourds et plus encombrants que les moteurs à 16 2/3 périodes de puissance équivalente. Cependant, des progrès remarquables ont été obtenus dans les cinq dernières années grâce aux efforts développés par l'ensemble presque unanime des constructeurs suisses, allemands, français et belges. Bien que la commutation du moteur monophasé à 50 périodes ne soit pas encore impeccable, ces progrès laissent espérer une solution parfaite dans un avenir qui pourrait être assez proche. Dès maintenant, en tout cas, on sait construire, dans des limites d'encombrement et de poids acceptables, des moteurs de puissances allant jusqu'à 1 000 ch et aptes à assurer les programmes des locomotives « de vitesse », des locomotives pour trains de messageries et des automotrices. L'application à des locomotives pour trains de marchandises à démarrages lents est également possible, mais doit être faite avec plus de prudence.

Signalons en passant que la fréquence de 50 périodes n'introduit pas que des difficultés, elle s'accompagne également pour la locomotive de certains bénéfices non négligeables. Si l'on compare la locomotive monophasée en général à la locomotive à courant continu, on note à l'avantage de la première la basse tension des moteurs (400 à 500 V en 16 2/3 périodes, 200 à 250 V

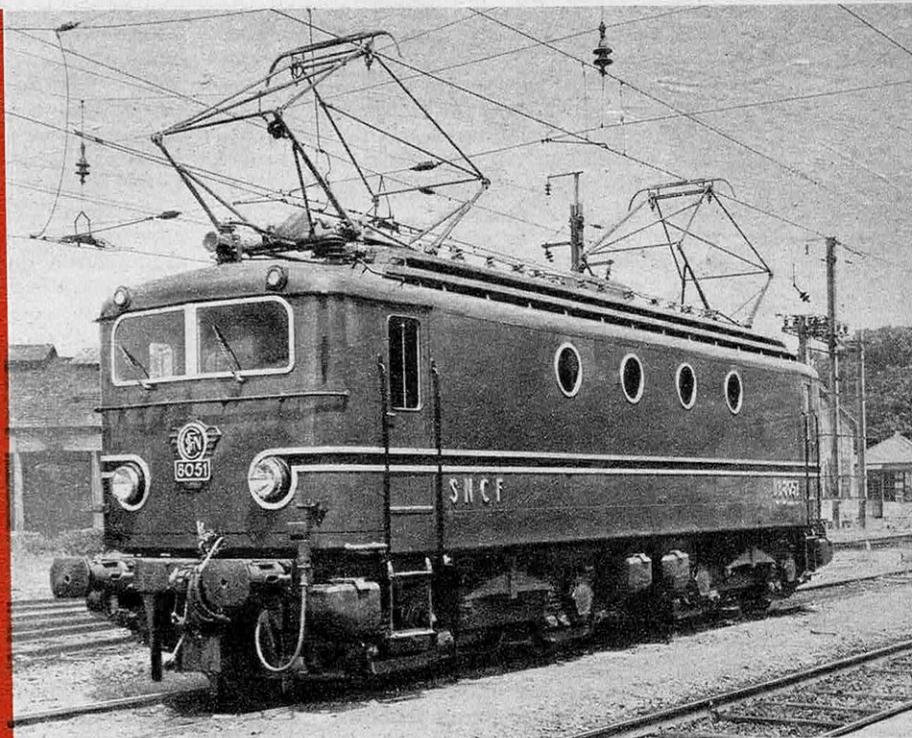
en 50 périodes), ce qui est favorable à la tenue en service. On remarque également les facilités inhérentes au réglage de la vitesse des moteurs monophasés par alimentation sous tension variable, solution plus rationnelle que le réglage par le champ, adopté en courant continu à cause de la tension d'alimentation constante. Si l'on compare maintenant la locomotive monophasée à 50 périodes à la locomotive monophasée à 16 2/3 périodes, on note, en outre, certains bénéfices propres, liés à l'augmentation de la fréquence. On bénéficie d'un allègement très sensible sur le poids du transformateur. On peut enfin profiter de la fréquence industrielle pour adopter des moteurs d'auxiliaires du type à induction extrêmement robustes et d'un dimensionnement réduit qui ne pouvait être atteint avec une fréquence trois fois plus petite.

Dans tout ce qui précède, il n'a été fait allusion qu'aux locomotives à moteurs monophasés appelées parfois locomotives à moteurs « directs » et nous avons voulu montrer que cette solution est parfaitement viable malgré les difficultés rencontrées. Mais la technique actuelle permet également de construire des locomotives de types différents, comportant une conversion du courant monophasé sur la machine.

Dans les locomotives à groupe tournant « mono-continu », par exemple, le courant monophasé est transformé en courant continu alimentant des moteurs de traction classiques à courant continu, et l'on peut assurer cette alimentation sous tension réglable.

Dans les locomotives à groupe tournant

● La nouvelle locomotive française BB 8051 fonctionnant sous courant monophasé 50 périodes, construite par Alsthom, a été mise en service fin juin 1951. Elle est équipée de deux redresseurs à vapeur de mercure, que l'on peut voir sur le schéma de part et d'autre du transformateur situé au centre de la caisse. Ces redresseurs polyanodiques à cuves très légères sont refroidis par ventilation et sans pompes. Ils transforment le courant monophasé en courant pseudo-continu pour alimenter sous 675 V quatre moteurs de traction, voisins des moteurs ordinaires à courant continu, d'une puissance totale de 2 700 ch. Cette locomotive de près de 80 t roule à la vitesse maximum de 100 km/h.



« mono-triphasé », le courant monophasé est transformé en courant triphasé alimentant des moteurs de traction triphasés à champ tournant. Les études actuelles permettent la construction de groupes convertisseurs de phase et convertisseurs de fréquence, alimentant sous des fréquences variables des moteurs du type « à cage », extrêmement robustes.

Ces locomotives à groupes tournants constituent un domaine dans lequel s'affirme particulièrement la supériorité du 50 périodes sur le 16 2/3 périodes, car l'augmentation de fréquence permet la construction de groupes convertisseurs d'un poids et d'un encombrement compatibles avec les limitations de charges par essieu pratiquées en Europe. Ces locomotives, construites à partir de matériels aux éléments connus, apportent des solutions parfaitement sûres, applicables sans aléas au problème de la remorque des trains lourds. Elles bénéficient en outre de certaines qualités très appréciables, notamment la possibilité d'obtenir un bon facteur de puissance, la facilité de réaliser le freinage électrique, l'aptitude à une bonne utilisation de l'adhérence.

Les progrès de la technique en matière de redresseurs à vapeur de mercure permettent enfin la construction d'un autre type de locomotives, dans lesquelles le courant monophasé est transformé en courant redressé alimentant des moteurs de traction tout à fait analogues à ceux des machines à courant continu. De telles locomotives, si elles se prêtent moins bien que les machines à groupes au réglage du facteur de puissance et au freinage électrique, ont par contre un équipement plus léger.

On voit au total la richesse des solutions permises par le courant monophasé à fréquence industrielle en matière de locomotives, les machines à conversion de courant ne constituant nullement une faillite du moteur « direct », mais représentant, au contraire, un élargissement du champ d'action accessible aux locomotives monophasées.

LA LIGNE D'AIX-LES-BAINS A LA ROCHE-SUR-FORON

L'expérience française n'est pas la première. Une ligne d'essai a déjà été électrifiée par les chemins de fer allemands en courant monophasé 20 000 V, 50 périodes. Cette ligne dite du Hoellental, en Forêt-Noire, équipée en 1936, a servi avant la guerre de champ d'essai à quatre locomotives prototypes. Les conclusions officielles de ces essais, déposées à la veille de la guerre, furent très réservées quant aux possibilités d'extension du système. Une mission française étudia cette expérience au lendemain de la Libération; elle aboutit à la conviction que certains échecs partiels devaient trouver des remèdes dans les progrès de la technique et que, dans l'ensemble, le problème comportait de grandes chances de succès et valait d'être repris.

La ligne à voie unique d'Aix-les-Bains à La Roche-sur-Foron, longue de 78 km, a été choisie comme ligne d'essai parce qu'elle offre un profil varié, favorable à l'expérimentation, et qu'elle présente à Aix-les-Bains un point de contact avec la ligne Culoz-Modane, déjà électrifiée en courant continu 1 500 V, circonstance nécessaire pour l'étude des problèmes posés par la jonction des deux systèmes et l'utilisation de locomotives « bi-courant ». Elle comporte quelques tunnels où peuvent être éprouvées les dispositions à adopter pour leur équipement électrique à 20 000 V.

Dans l'immédiat, la ligne d'Aix-les-Bains à La Roche-sur-Foron ne se présentait pas très favorablement en ce qui concerne son alimentation en énergie. On ne pouvait que faire appel au poste peu puissant qui dessert la ville d'Annecy et n'est relié aux usines voisines (à plus de 50 km) que par des lignes à 42 000 V déjà chargées. Mais, comme il s'agissait très rapidement d'essayer un petit nombre de locomotives et d'automotrices, il a été décidé, en accord avec l'Électricité de France, d'adopter provisoirement cette solution; outre l'économie qu'elle devait procurer, elle permettait en effet d'expérimenter l'action des prélèvements monophasés sur des réseaux peu puissants, alors que les essais antérieurs de la ligne allemande du Hoellental portaient sur l'important réseau à 110 000 V de la Badenwerke.

Au surplus, l'Électricité de France se déclarait capable, du fait de la réalisation de ses propres programmes d'équipement, de substituer à cette alimentation, dans un délai de quelques années, des alimentations à la fois sûres et puissantes, au voisinage de La Roche-sur-Foron d'une part, et au nord d'Aix-les-Bains d'autre part.

Dans ces conditions, nous avons établi à la sortie sud de la gare d'Annecy une sous-station provisoire, qui transforme à la tension de la caténaire (20 000 V) l'énergie fournie à 42 000 V par le poste de cette ville. Elle comporte deux transformateurs d'une puissance unitaire de 6 000 kVA en « Scott », l'un alimentant la caténaire de la section Annecy-Aix, l'autre la caténaire de la section Annecy-La Roche.

Les deux éléments de transformateurs, avec les quelques interrupteurs et sectionneurs indispensables, côté 42 000 V et côté 20 000 V, sont installés en bordure de la voie ferrée, sans autre bâtiment qu'un local de dimensions vraiment modestes (3 m x 2 m) abritant les appareils délicats (relais de protection, compteurs). Cette sous-station ne rappelle nullement celles qu'on est habitué à voir le long des lignes électrifiées en courant continu. Elle ressemble plutôt à un poste de transformation de distribution locale.

Elle ne comporte aucun personnel à demeure; les manœuvres à faire sont exécutées à distance par le poste d'aiguillage voisin.

La ligne de contact se compose uniformément, pour les voies principales, d'un por-

teur en bronze de 65 mm² de section et d'un fil de contact rainuré en cuivre de 107 mm² de section. Un câble en cuivre de 147 mm² de section, dit feeder de contournement, assure la continuité électrique de la ligne à la traversée de chaque gare, en vue de faciliter les travaux d'entretien.

PROTOTYPES MONOPHASÉS A 50 PÉRIODES

Les trois prototypes de locomotives commandés à l'origine (1948) représentaient les initiatives prises par ceux des constructeurs qui avaient dès le début appuyé nos efforts, à savoir Oerlikon, Alsthom et Le Matériel Électrique S. W.

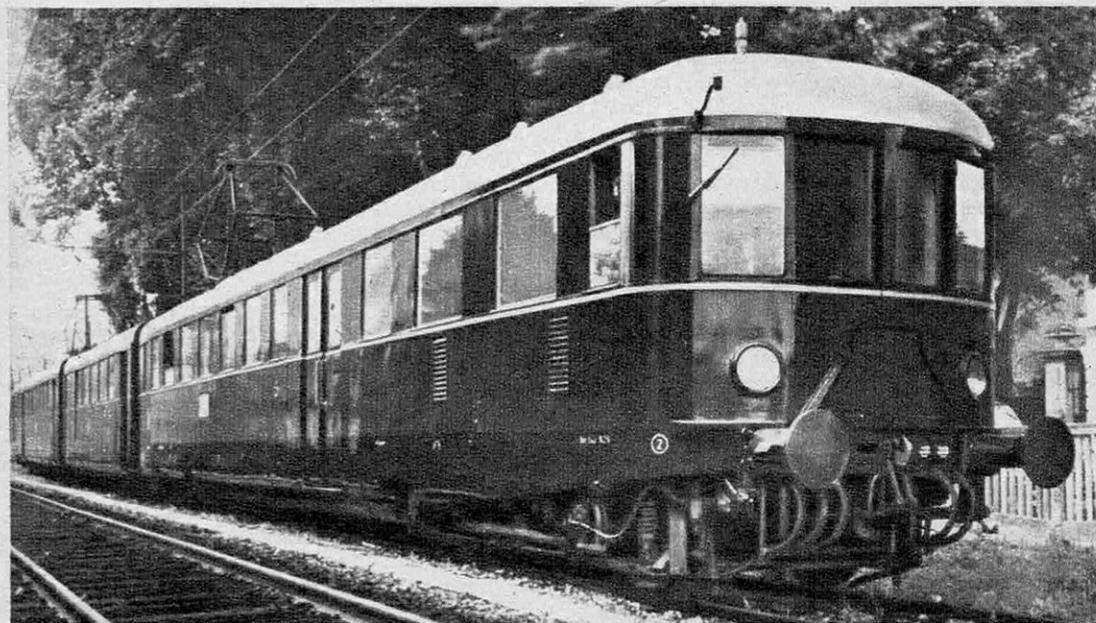
Ces locomotives, limitées à une vitesse maximum de 100 km/h, devaient pouvoir remorquer une charge d'au moins 500 t dans les plus fortes rampes de 20 ‰ de la ligne avec une charge par essieu ne dépassant pas 19 t. On était donc conduit, compte tenu de l'adhérence, à des machines à 6 essieux moteurs du type CC ou BBB, d'une puissance continue égale ou supérieure à 3 000 ch à la jante. Ces locomotives étant appelées à circuler également sous courant continu 1 500 V en gare d'Aix-les-Bains devaient posséder un équipement « bi-courant ».

La locomotive Oerlikon CC 6051 mise en service en septembre 1950 est équipée de 6 moteurs monophasés à collecteur, entièrement suspendus, à raison de un par essieu. Sa puissance totale au régime continu, mesurée aux essais de réception, est de 4 150 ch. La marche sous courant continu

1 500 V est assurée à puissance réduite par un groupe continu alternatif.

La locomotive Alsthom CC 6052 est équipée de six moteurs monophasés, mais à deux induits chacun, entièrement suspendus, d'une puissance totale de 3 600 ch au régime continu. La partie mécanique est dérivée de celle des locomotives rapides CC 7001 à courant continu. Le fonctionnement sous courant continu 1 500 V est assuré à puissance réduite par un groupe continu-continu.

Le troisième prototype commandé au groupement M. T. E. et dont la partie électrique est principalement construite par « Le Matériel Électrique S. W. » possède un équipement mono-continu qui transforme le courant monophasé de la ligne de contact en courant continu pour alimenter six moteurs de traction qui ne sont autres que des moteurs de locomotives à courant continu. Sa puissance, conditionnée par le groupe convertisseur, est de 3 500 ch. La partie mécanique dérive de celle de la locomotive BBB 1 500 V. La particularité de cette locomotive est que son équipement à groupe tournant permet la marche sous pleine puissance en courant continu 1 500 V comme en courant monophasé. C'est donc au plein sens du terme une locomotive « bi-courant ». Enfin, la Société Alsthom a pris l'initiative de construire une locomotive du type BB équipée de deux redresseurs à vapeur de mercure qui transforment le courant monophasé en courant pseudo-continu pour alimenter sous 675 V quatre moteurs de traction extrêmement voisins de moteurs ordinaires à courant continu. La puissance de cette locomotive est de 2 700 ch.



● Cette automotrice double, prototype pour courant monophasé 50 périodes, est constituée par un ancien élément automoteur allemand qui fonctionnait alors

sous courant monophasé 16 2/3 périodes. Équipée en Allemagne sous la direction de la Mission française, elle comporte quatre moteurs de traction de 460 ch.

Elle n'est pas prévue pour la marche sous courant continu.

La S. N. C. F. entendait également mener l'expérimentation d'automotrices. Aussi passa-t-elle commande aux firmes Oerlikon et M. T. E. d'équipements qui seront montés sur la partie mécanique d'anciens éléments automoteurs de la banlieue Sud-Ouest. L'équipement Oerlikon comprend quatre moteurs monophasés d'une puissance continue de 425 ch. Le montage est actuellement en cours. La seconde automotrice comportera également quatre moteurs monophasés construits par S. W. sensiblement de même puissance, mais on prévoit d'y essayer également des moteurs d'une autre construction.

De plus, un troisième élément constitué par une ancienne automotrice double des chemins de fer allemands, avariée par fait de guerre, fonctionnant autrefois sous courant monophasé 16 2/3, a été transformée pour fonctionner en 50 périodes. Elle comprend également quatre moteurs de traction de 460 ch.

Enfin la S. N. C. F. a commandé à la Société Westinghouse aux États-Unis un équipement d'automotrice à « ignitrons », c'est-à-dire à redresseurs monoanodiques à excitation provoquée, exactement semblable dans son principe à celui qui est en service depuis octobre 1949 sur une automotrice monophasée 11 000 V, 25 périodes, du Pennsylvania RR.

De tous ces engins qui constituent, on le voit, une gamme d'expérimentation étendue, seule la locomotive Oerlikon à moteurs monophasés, livrée en septembre 1950, a eu le temps de faire un long parcours.

Le roulement régulier auquel elle a été affectée lui a permis d'atteindre, un an après sa mise en service, le parcours de 150 000 km, résultat tout à fait remarquable pour un prototype ne présentant que des dispositions nouvelles. Sur la section Aix-Annecy, seule ouverte au service jusqu'au 20 mai 1951, la charge autorisée est de 630 t (en rampe de 15 ‰). Les tonnages effectivement remorqués ne peuvent être que ceux offerts par le trafic normal de la ligne. Mise à part la période de décembre-janvier où de nombreux trains atteignaient 500 à 700 t, le tonnage habituel des trains sur la ligne reste compris entre 300 et 400 t. Toutefois, les horaires semi-directs ou omnibus imposent à la machine des démarrages fréquents, dont certains en rampe, et l'on sait que là réside la principale difficulté de la traction monophasée avec moteurs directs. C'est ainsi que le parcours moyen entre arrêts est de 13,5 km, alors qu'il atteint en moyenne 40 km pour les locomotives à courant continu.

Les frais d'entretien courant sont faibles — bien qu'il s'agisse d'un prototype, — de l'ordre de grandeur de ceux des locomotives à courant continu les plus récentes. La part qui revient aux moteurs de traction est d'ailleurs restée jusqu'à présent infime. Les moteurs de traction se sont en effet parfaitement bien comportés.

L'AVENIR

Comme nous l'avons dit plus haut, nous n'avons été aidés au début que par un certain nombre de constructeurs ; les autres s'étaient tenus à l'écart de nos recherches, soit que leurs moyens d'études aient été absorbés par d'autres problèmes, soit qu'ils aient pensé qu'un changement de formule en traction électrique ne comportait pas pour eux d'intérêt commercial.

Mais, depuis lors, ceux-ci ont spontanément entrepris des études, leurs techniciens tenant à présenter des solutions nouvelles auxquelles ils avaient pu réfléchir, et leurs dirigeants comprenant que leur intérêt était solidaire de celui des chemins de fer, la mise au point d'un système de traction plus économique étant le meilleur moyen de développer les fabrications, quitte à changer de technique.

Brown-Boveri, Siemens, l'A. E. G., Jeumont, les Ateliers de construction électrique de Charleroi, aussi bien qu'Oerlikon, Alsthom et S. W. ont poursuivi des études et des recherches d'où est résultée une floraison de projets.

Dans le domaine des moteurs à collecteur à 50 périodes, ces recherches se sont traduites par des réalisations et des essais en plate-forme qui représentent en quelques années des progrès considérables. D'autre part, des projets portant sur des matériels aux éléments connus, tels que machines à groupes mono-continu ou mono-triphasé, ont abouti à des conceptions qui n'ont même pas besoin de la sanction de la plate-forme, encore moins des essais en ligne, pour constituer des bases certaines de réalisations éventuelles.

Grâce aux possibilités étendues des diverses solutions qu'elle offre, on peut considérer maintenant que la traction par courant monophasé à fréquence industrielle doit couvrir largement tous les besoins de la traction et ne marquera pas une régression, bien au contraire, par rapport au courant continu 1 500 V.

Dans ces conditions, il devient possible d'envisager en courant monophasé 50 périodes une électrification généralisée (lignes principales, lignes transversales et affluentes) des régions non encore touchées par l'électrification en courant continu 1 500 V. C'est la nouvelle orientation que la S. N. C. F. compte donner à ses projets, le recours au courant continu 1 500 V étant en principe réservé à des prolongements de lignes déjà électrifiées suivant ce système, comme par exemple la ligne Lyon-Marseille.

Nous ajoutons que, pour amorcer ce programme de vaste électrification en courant monophasé 50 périodes, il n'est plus nécessaire à notre avis d'attendre le très long délai que nécessiteraient l'achèvement, la mise au point et l'épreuve en service sur des prototypes. Nous pouvons entreprendre dès maintenant l'équipement en monophasé 50 périodes d'une ligne importante sans attendre les résultats complets de l'expérimentation de Savoie.

Les Régions Nord et Est offrent un champ de développement tout indiqué pour le monophasé : quelques grandes lignes radiales à services voyageurs et marchandises importants, quelques transversales à trafic marchandises lourd du fait du développement industriel de ces régions qui constitue la source de trafic la plus riche et la plus régulière du pays, nombreuses lignes affluents constituant des mailles dont l'électrification peut venir compléter l'ensemble.

De plus, comme il vient d'être dit, l'électrification 1 500 V n'ayant pas encore pénétré dans ces régions, on s'affranchit des sujétions que pose la liaison entre les deux systèmes.

La ligne choisie pour l'étude de cette première application à grande échelle est celle de Valenciennes à Thionville et Apach, qui relie le charbon du Nord au minerai de l'Est et qui écoule un des plus gros trafics marchandises de tout le réseau. Il s'agit de remor-

quer en rampe de 10 ‰ des trains de minerai ou de coke de 1 350 t. C'est un programme particulièrement dur, puisque les locomotives à courant continu de 120 t à six essieux moteurs ne remorquent que 1 200 t en rampe de 10 ‰. Mais nous avons vu la variété des solutions offertes par le courant monophasé à 50 périodes en matière de locomotives. Les études sont suffisamment avancées pour que nous puissions dire que, dans ce cas particulier, on est capable de réaliser sans aléas des locomotives à fréquence industrielle pouvant surclasser les locomotives à courant continu actuelles. Et cela sans aucun supplément de prix, laissant par conséquent intactes les économies massives escomptées sur les installations fixes.

M. Garreau,

Ingénieur en chef à la S. N. C. F.,
Chef de la division des Études
de traction électrique.

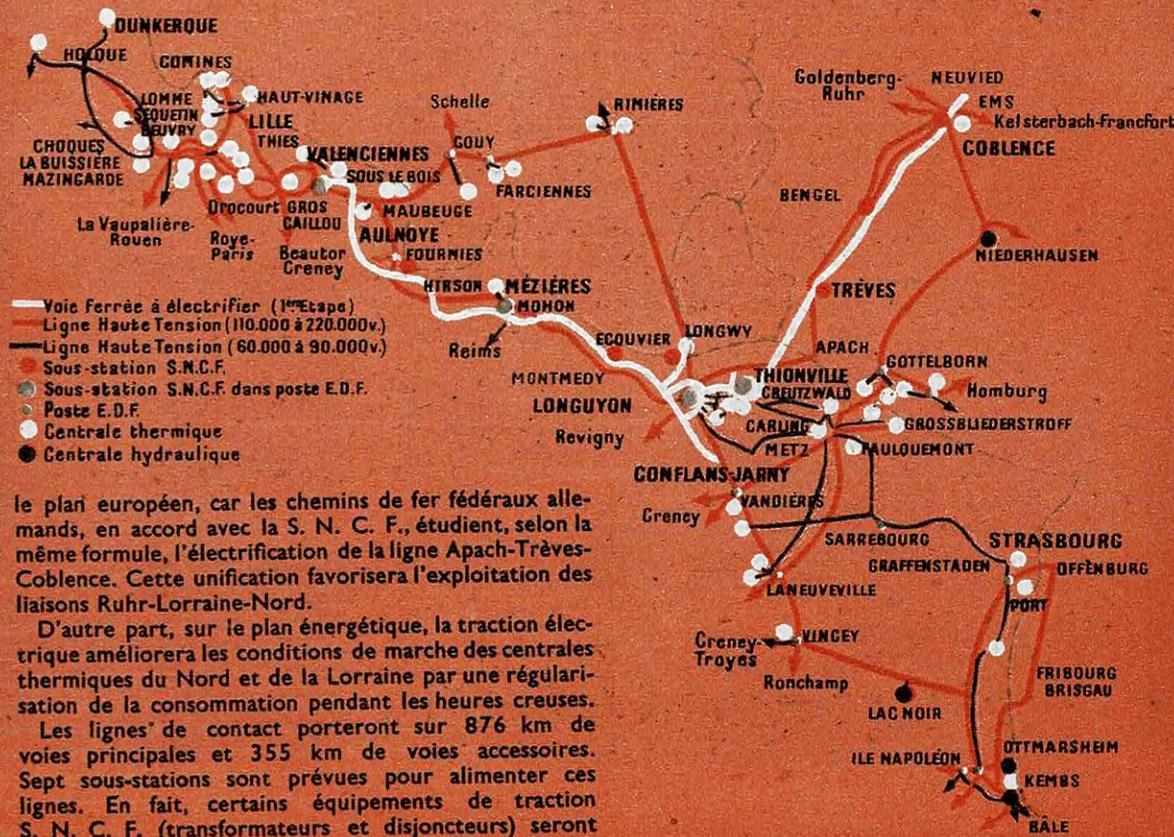
L'ÉLECTRIFICATION VALENCIENNES-THONVILLE

ACTUELLEMENT, la S. N. C. F. étudie la première application à grande échelle du nouveau système d'électrification en courant monophasé 50 périodes dans les régions du Nord et de l'Est, sur la ligne Valenciennes-Thionville-Apach. Cette ligne à gros trafic, desservant des régions peuplées et industrielles, transite 75 000 t-km par jour, c'est-à-dire au moins autant que la ligne Paris-Strasbourg.

Ce projet présente un intérêt incontestable sur

installés dans les postes E. D. F. proches de la ligne, et seules trois sous-stations proprement dites seront établies, raccordées d'ailleurs au poste E. D. F. le plus proche par des lignes H. T. à 60 kV de quelques kilomètres seulement. Les caténaires comporteront en principe un porteur en bronze supportant un seul fil de contact, comme sur Aix-La Roche.

L'opération, largement rémunératrice, aura une rentabilité élevée, de l'ordre de 15 %.



LA TRACTION PAR MOTEURS DIESEL

C'EST un peu avant la première guerre mondiale, c'est-à-dire moins de quinze ans après les essais du premier moteur diesel fixe, qu'une locomotive diesel, à commande directe et démarrant à l'air comprimé, a été essayée. Les difficultés rencontrées étaient de deux ordres : d'une part, les moteurs diesel de l'époque ne développaient qu'une faible puissance par rapport à leur poids ; d'autre part, il fallait réaliser une transmission à démultiplication variable pour transmettre la puissance du moteur aux essieux sur une large gamme de vitesses, car le moteur diesel, par son principe même, ne peut développer un couple utilisable aux très bas régimes.

En 1924, le Professeur Lomonossov put, en faisant appel à la transmission électrique et en profitant des progrès réalisés notamment dans la construction des moteurs diesel pour sous-marins, faire construire en Allemagne une locomotive de 1 200 ch, qui pesait 120 t. Dès cette époque, des essais furent tentés avec les divers types de transmissions que l'on pouvait envisager alors : la transmission pneumatique, la transmission mécanique, la transmission électrique et la transmission hydraulique. La transmission pneumatique se révéla rapidement comme un échec, et la transmission hydraulique était encore, à cette époque, impraticable pour les grandes puissances.

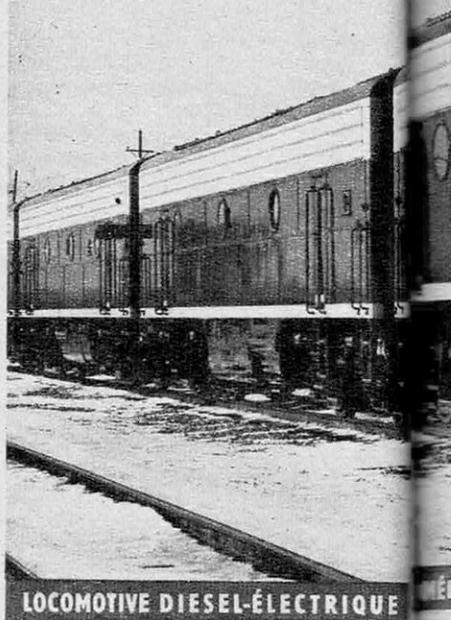
A partir de 1930, l'apparition sur le marché de moteurs diesel rapides, pouvant développer plusieurs centaines de chevaux, rendit possible la construction d'automotrices légères qui marquèrent le début du développement des autorails. Parallèlement, des locomotives diesel, dont la puissance atteignait 500 à 600 ch, furent expérimentées pour les services de manœuvres et sur certaines lignes d'Outre-Mer. Enfin, tandis qu'en Europe, l'ex-Réseau P. L. M., puis les chemins de fer roumains essayaient, en 1936, des locomotives de ligne de 4 000 ch, la grosse traction diesel prenait, en Amérique du Nord, un très large essor.

Actuellement, la traction diesel s'est imposée aux États-Unis et sur de nombreuses lignes de pénétration des pays neufs, tandis que le nouveau mode de traction est à peu près unanimement reconnu comme le plus avantageux pour les services de manœuvres et, fréquemment, pour la desserte des petites lignes ; l'autorail a, de son côté, conquis droit de cité sur de nombreux réseaux où, notamment, il remplace peu à peu les trains omnibus, à l'exclusion des services à grande fréquentation, comme ceux des banlieues.

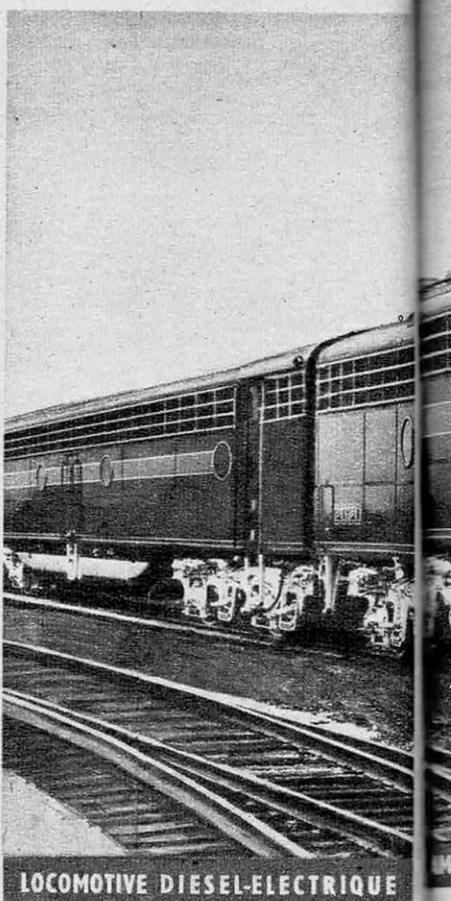
LES AVANTAGES DE LA TRACTION DIESEL

Quelles sont les causes de ce rapide développement du nouveau mode de traction ?

Il est d'abord le plus avantageux au point de vue énergé-



LOCOMOTIVE DIESEL-ÉLECTRIQUE



LOCOMOTIVE DIESEL-ELECTRIQUE



E AMÉRICAINNE (GENERAL MOTORS) FORMÉE DE QUATRE UNITÉS (PUISSANCE TOTALE 6 000 CH) POUR TRAINS LOURDS



AMÉRICAINNE (GENERAL MOTORS), DE 2 250 CH, POUR TRAINS DE VOYAGEURS RAPIDES. ELLE PEUT ATTEINDRE 180 KM/H.

tique, c'est-à-dire qu'il est, grâce à l'excellent rendement du moteur diesel, le plus faible consommateur de combustible.

Comme le rendement reste encore très satisfaisant aux charges partielles, les économies de combustible sont particulièrement sensibles dans tous les cas, généralement fréquents, de marche à puissance très variable. La possibilité d'arrêter et de remettre en marche facilement le moteur diesel accroît encore cet avantage dans tous les services intermittents, tels que les services de manœuvres.

L'absence de consommation d'eau et la faible consommation spécifique de la machine diesel, jointes à l'emploi d'un combustible facile à manipuler et à haut pouvoir calorifique, confèrent à ce mode de traction une grande souplesse d'emploi. Tandis que la locomotive à vapeur doit être fréquemment ravitaillée, la locomotive diesel de ligne parcourt aisément un millier de kilomètres sans ravitaillement. Celui-ci peut d'ailleurs être effectué en tête du train, dans les mêmes conditions que le ravitaillement en eau d'une machine à vapeur. Cette faculté est notamment mise à profit par les réseaux américains, qui assurent sans relais de machines la traction des trains transcontinentaux reliant la côte du Pacifique à Chicago (3 500 km).

De même, tandis qu'une locomotive à vapeur de manœuvres doit interrompre son service plusieurs fois par jour pour les ravitaillements et la réfection du feu, des locomotives diesel restent souvent près d'une semaine en service continu ; le cas échéant, le ravitaillement en gasoil s'effectue dans la gare même, en quelques minutes.

La faible consommation de combustible a également une répercussion favorable sur le prix de revient dans les pays, tels que la plupart des territoires africains, par exemple, qui comportent de longues lignes de pénétration exclusivement ravitaillées en combustible par une de leurs extrémités. Dans de tels cas, les importants transports de charbon destinés aux locomotives à vapeur grèvent lourdement les dépenses d'exploitation.

La conduite d'un engin à moteur diesel est facile et peut être souvent confiée à un seul agent, peu spécialisé ; c'est le cas des services de manœuvres et des dessertes de certaines petites lignes. Comme le moteur peut être arrêté pendant les stationnements de quelque durée, il est possible d'affecter le conducteur à d'autres fonctions et de réaliser ainsi des économies substantielles.

Enfin, en raison de sa structure, qui offre d'ail-

leurs des analogies avec celle de la locomotive électrique, la locomotive diesel se prête beaucoup mieux que la locomotive à vapeur à une utilisation intensive, car il est possible de réduire la durée des immobilisations nécessitées par l'entretien. Alors que l'entretien courant des organes essentiels de la locomotive à vapeur, chaudière et mécanisme, est nécessairement effectué sur la machine elle-même, en immobilisant celle-ci pendant toute la durée du travail, il est possible, dans le cas de l'engin à moteur diesel, d'opérer par remplacement des nombreuses pièces interchangeables, et généralement facilement démontables, qui le constituent ; à cet égard, le matériel diesel se rapproche beaucoup de l'automobile. Ces substitutions de pièces peuvent souvent être effectuées pendant les stationnements normaux dans les dépôts.

L'utilisation très poussée des engins diesel s'impose d'ailleurs impérativement en raison de leur coût élevé, qui fait intervenir les charges d'amortissement pour une part notable dans le prix de revient.

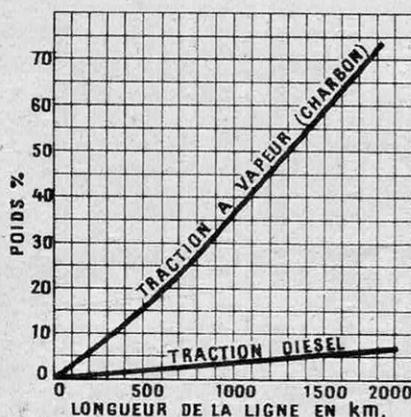
LE MOTEUR DIESEL DE TRACTION

Les premiers moteurs diesel utilisés en traction étaient des moteurs relativement lents (700 tours/mn au maximum), immédiatement dérivés des moteurs stationnaires ou marins ; leur poids atteignait, et dépassait même, 15 kg au cheval, et leur puissance par litre de cylindrée n'excédait pas 6,5 ch.

La plupart des constructeurs de moteurs diesel de traction ont adopté le cycle à quatre temps, qui reste d'un emploi général en Europe. Toutefois, aux U. S. A., la General Motors construit un moteur à deux temps, à priori séduisant par sa simplicité relative et sa puissance élevée par cylindre, qui, après mise au point des culasses et du refroidissement des pistons, est devenu le moteur diesel de traction le plus utilisé.

Vers 1930 prenait pratiquement naissance le moteur diesel rapide (1 500 tours/mn), léger et compact, plus spécialement destiné à l'autorail.

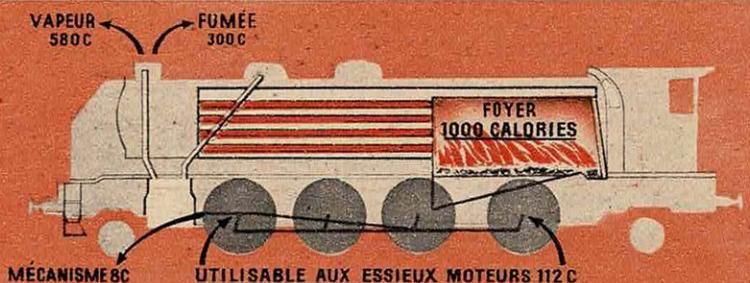
Le tableau page 89 donne les principales caractéristiques d'un certain nombre de moteurs diesel utilisés sur le matériel ferroviaire. On voit que, tandis que la vitesse des moteurs rapides reste toujours voisine de 1 500 tours/mn, celle des moteurs de traction dits « lents » s'accroît progressivement. Les moteurs de cette dernière classe restent encore trop lourds pour être applicables aux autorails, mais



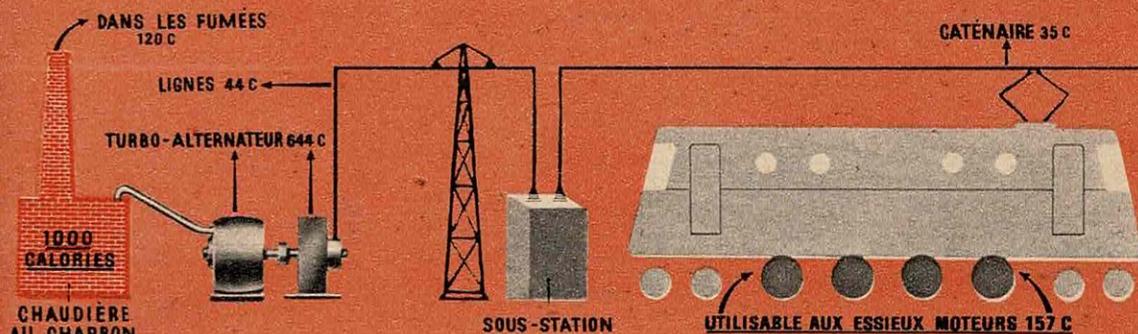
● Sur une ligne ravitaillée par une extrémité, le charbon pour la traction vapeur est une fraction plus forte du tonnage transporté que le gasoil destiné au diesel.

RENDEMENTS COMPARÉS DES MODES DE TRACTION

Ces croquis montrent comment se répartissent 1 000 calories tirées du combustible dans trois modes de traction : vapeur, électrique (en partant de centrales thermiques) et diesel. Seules les calories utilisables aux essieux moteurs correspondent à un travail utile (que l'on peut évaluer en kilogrammètres à raison de 427 kgm par



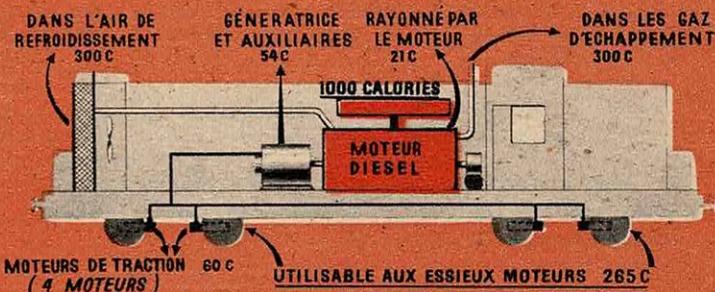
● Malgré des perfectionnements importants : compoundage, surchauffe, etc., le rendement global de la locomotive à vapeur est demeuré faible.



● On a supposé ici que l'énergie électrique utilisée pour la traction est fournie exclusivement par des

centrales thermiques ; on voit que c'est à la centrale que les calories perdues sont le plus considérables.

calorie). On voit que la traction vapeur est particulièrement défavorisée. La traction électrique avec fourniture de l'énergie par centrales thermiques l'est un peu moins, et, d'ailleurs, ce mode de traction ne prend tout son intérêt économique qu'en liaison avec des centrales hydrauliques. La traction diesel se distingue au contraire par son haut rendement. Cette comparaison ne tient évidemment pas compte du fait que les combustibles consommés sont de qualités très différentes.



● Le moteur diesel est de tous les moteurs thermiques celui dont le rendement est le plus élevé, d'où sa faveur dans les pays riches en produits pétroliers.

ils ont, en général, la préférence des utilisateurs pour les locomotives, auxquelles ils confèrent une endurance remarquable, puisque les parcours entre révisions des principaux organes sont souvent de l'ordre de 500 000 km. C'est cette robustesse du diesel qui permet de réaliser des parcours annuels très élevés avec les locomotives de ligne.

LES TRANSMISSIONS MÉCANIQUES

Le moteur diesel ne pouvant développer un couple utile à partir de l'arrêt, il est néces-

saire de doter les matériels équipés de tels moteurs d'un système de transmission à démultiplication variable, qui permet d'utiliser une fraction aussi élevée que possible de la puissance du moteur sur toute la gamme de vitesse du véhicule. En principe, on s'arrange pour utiliser le moteur à des vitesses comprises entre la vitesse nominale et les 2/3 de celle-ci.

Des nombreux systèmes de transmission expérimentés jusqu'à présent, seules les transmissions mécaniques, électriques et hydrauliques ont fait l'objet de réalisations étendues dans les chemins de fer.

Les transmissions mécaniques, du type classique, comportent un embrayage et une boîte de vitesses qui ne diffèrent pas sensiblement, dans leur principe, de celles utilisées sur le matériel automobile. Ces transmissions sont surtout répandues sur les autorails, où elles sont utilisées jusqu'à 500 ch, et sur les locotracteurs, jusqu'à 200 ch. Récemment, l'application de transmissions mécaniques a été faite sur les locomotives de 300 à 600 ch.

Elles ont l'avantage d'un rendement total élevé, de l'ordre de 80 à 85 %, mais ne permettent pas l'utilisation de la pleine puissance du diesel sur toute la gamme de vitesse. D'autre part, dès que les efforts à transmettre atteignent une certaine importance, comme c'est notamment le cas sur les locomotives, les

— enfin, le problème de l'attaque des essieux n'a pas encore reçu de solution assurant à la fois la transmission des gros efforts et la tenue aux grandes vitesses.

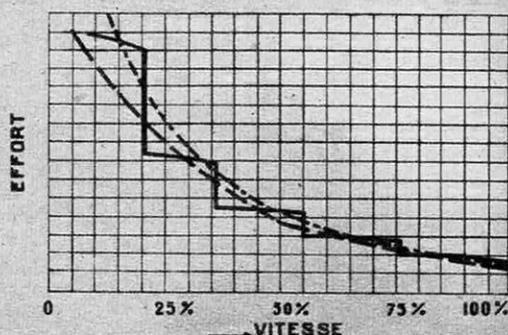
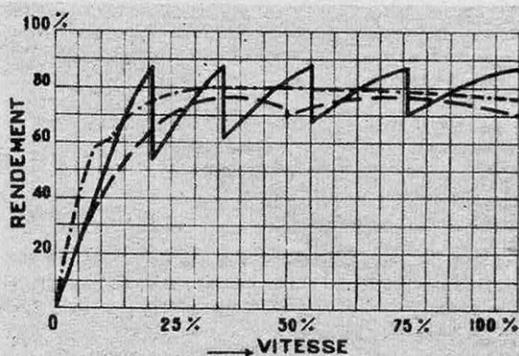
LES TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES

Dès que la puissance à transmettre dépasse 500 à 600 ch, la transmission électrique est d'un emploi à peu près général, en particulier aux États-Unis.

Une transmission électrique classique à courant continu comporte :

— un groupe électrogène constitué par un moteur diesel et une génératrice dite génératrice principale ;

— une génératrice auxiliaire entraînée, dans



● Courbes des rendements comparés et des efforts à la jante d'un engin à moteur diesel en fonction de la vitesse avec les trois systèmes de transmissions :

mécanique, hydraulique et électrique. En trait continu : transmission mécanique ; en tirets : transmission hydraulique ; en trait mixte : transmission électrique.

transmissions mécaniques sont difficiles à réaliser pour les raisons suivantes :

— difficulté de démarrage d'un convoi lourd à partir de l'arrêt. C'est là un problème d'embrayage ; cet organe doit être largement dimensionné pour que la chaleur dissipée lors d'un démarrage n'amène pas de déformation de ses pièces constitutives ; à titre d'exemple, l'embrayage tridisque équipant les transmissions des autorails à moteurs de 500 ch pèse près de 500 kg. Il semble bien que ce soit le maximum de ce qui peut être réalisé. En fait, c'est l'embrayage qui fixe la limite supérieure d'une transmission mécanique. La difficulté a été tournée depuis quelques années en faisant appel au coupleur hydraulique, dont nous parlerons à propos des transmissions hydrauliques ;

— difficultés de synchronisation des arbres de la boîte de vitesses en raison de l'inertie importante des masses tournantes ;

— suppression de l'effort moteur pendant le passage des vitesses, d'où perte de vitesse appréciable sur les fortes rampes et réaction entre les attelages des wagons, pouvant amener leur rupture ; diverses solutions ont été apportées à ces problèmes par les constructeurs ;

la plupart des cas, par le diesel et dont le courant est utilisé à la charge d'une batterie d'accumulateurs et à l'excitation de la génératrice principale ;

— un ou plusieurs moteurs de traction ;

— l'appareillage de commande ;

— un système de régulation plus ou moins compliqué, destiné à ajuster la puissance fournie par la génératrice principale sur la puissance que peut fournir le diesel.

Dans la transmission électrique, la puissance à la jante est, au rendement global près, aussi voisine que possible de la puissance maximum que peut développer le moteur diesel, celui-ci tournant à vitesse constante, et ceci pour toute la gamme des vitesses du véhicule comprises entre celle à partir de laquelle il n'y a plus de risque de patinage jusqu'à la vitesse maximum d'utilisation. Malgré un rendement un peu inférieur à celui d'une transmission mécanique (80 %), elle présente donc le gros avantage de permettre de disposer, au rendement près, de la pleine puissance du diesel sur une plage très étendue de la gamme des vitesses.

Toutefois, l'utilisation de la pleine puissance du diesel est limitée, aux basses vitesses, par l'intensité maximum que peut débiter la

CARACTÉRISTIQUES DE QUELQUES DIESELS DE TRACTION

Marques	Nationalité	Nombre et disposition des cylindres	Caractéristiques du cycle de fonctionnement	Alésage	Course	Régime nominal	Puissance nominale par cylindre	Poids au cheval
				mm	mm	t/mn	ch	kg/ch
M. G. O.	F.	12 en V	4 temps non suralim.	165	180/192	1 500	41,5	8
POYAUD	F.	6 en ligne	4 temps non suralim.	140	180	1 500	28,4	9,5
RENAULT	F.	12 en V	4 temps non suralim.	140	170/179,5	1 500	25	7,3
			4 temps suralimenté	140	170/179,5	1 500	35	6
SAURER	F.	12 en V	4 temps non suralim.	140	180	1 600	31,2	6,2
	S.	12 en V type SBD	4 temps non suralim.	160	200	1 400	37,5	8
			4 temps suralimenté	160	200	1 400	53,3	5,4
S. G. C. M. (SEMT)	F.	12 en V	4 temps suralimenté	175	210	1 250	62,5	6,3
SULZER	F.	6 en ligne	4 temps suralimenté	220	290	900	100	7,7
	S.	6 et 8 en ligne	4 temps suralimenté	250	350	795	109	9,7
		12 en parallèle	4 temps suralimenté	310	390	655	166	11,2
S.L.M. (WINTERTHUR)	S.	6 en ligne	4 temps suralimenté	190	240	1 200	100	10
DAIMLER BENZ	A.	12 en V unifié Reichsbahn	4 temps suralimenté	172	205	1 400	66,5	3,2
		2 x 6 type 1934	4 temps suralimenté	300	380	650	150	7,68
M. A. N.	A.	12 en V unifié Reichsbahn	4 temps suralimenté	175	210	1 400	66,5	4,1
		12 en V unifié Reichsbahn	4 temps suralimenté	160	200	1 400	66,5	3,6
MAYBACH	A.	12 en V type 1950	4 temps suralimenté	185	200	1 400	83,5	3,6
ENGLISH ELECTRIC C^o	G. B.	16 en V	4 temps suralimenté	254	306	750	100	10
PAXMAN	G. B.	6 en L, 12 et 16 en V	4 temps suralimenté	178	197	1 250	52	6,5
		8, 12 et 16 en V	4 temps suralimenté	248	267	1 000	125	9
		6 et 8 en ligne	4 temps suralimenté	317	330	740	170	16,32
ALCO	U.S.A.	12 et 16 en V	4 temps suralimenté	228	266	1 000	135	10,4
BALDWIN	U.S.A.	6 et 8 en ligne	4 temps suralimenté	324	394	635	200	10,4
FAIRBANKS MORSE ..	U.S.A.	8, 10, 12 en ligne	2 temps pistons opposés	206	254 x 2	850	200	9,2
GENERAL MOTORS ...	U.S.A.	12 et 16 en V	2 temps	216	254	800	95	9,2

Légende des nationalités : F. : Français. S. : Suisse. A. : Allemand. G. B. : Anglais. U. S. A. : Américain.

Nota. — Les caractères italiques sont utilisés pour désigner les moteurs d'un type ancien. Les caractères droits sont utilisés pour désigner les moteurs d'un type moderne, les caractères gras pour désigner les moteurs d'un type récent.

génératrice, sans un échauffement incompatible avec la bonne tenue des isolants, et, aux vitesses élevées, par la tension maximum que peut fournir la génératrice.

La transmission électrique présente des facilités d'installation certaines, puisque la liaison entre les organes générateurs (groupe électrogène) et récepteurs (moteurs de traction) se fait par câbles. Elle se prête particulièrement bien au fonctionnement des locomotives en unités multiples, c'est-à-dire accouplées entre elles et conduites par un seul agent.

Elle permet aussi de doubler le poids adhérent d'une locomotive par l'adjonction d'un truck moteur lesté, ne comportant que des moteurs de traction alimentés par le groupe électrogène de la locomotive. Cette disposition a été adoptée en France sur la S. N. C. F. pour les locomotives de manœuvres 030 DA, qui peuvent circuler en unité simple, en unité double ou accouplées à un truck moteur à trois essieux, pour assurer le débranchement des trains lourds de marchandises sur les buttes des gares de triage.

Les moteurs de traction, à courant continu, sont du type à excitation série ; les efforts à la jante dépendent uniquement des intensités absorbées. Pour que la puissance soit sensiblement constante, dans la zone d'utilisation, la tension fournie par la génératrice doit varier à l'inverse de l'intensité.

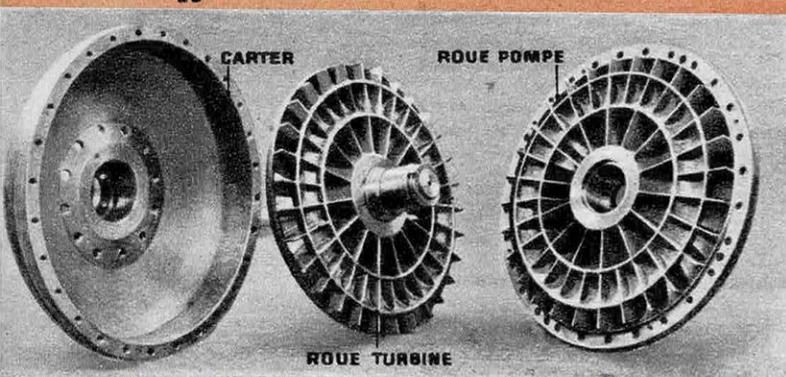
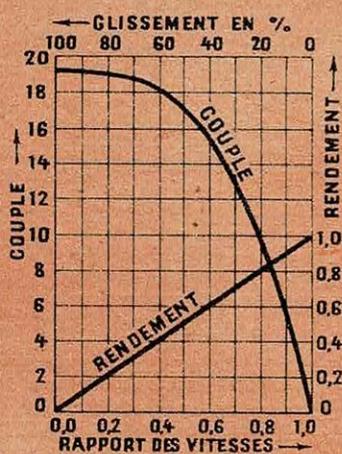
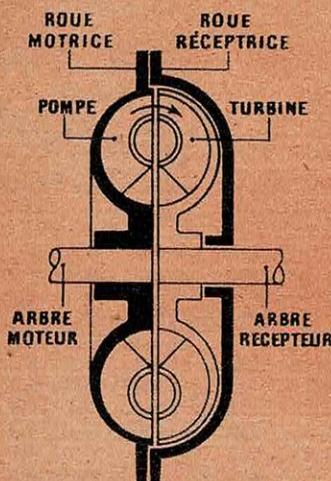
Divers systèmes de régulation automatique permettent de se rapprocher avec plus ou moins d'exactitude de cette loi idéale.

LES TRANSMISSIONS HYDRAULIQUES

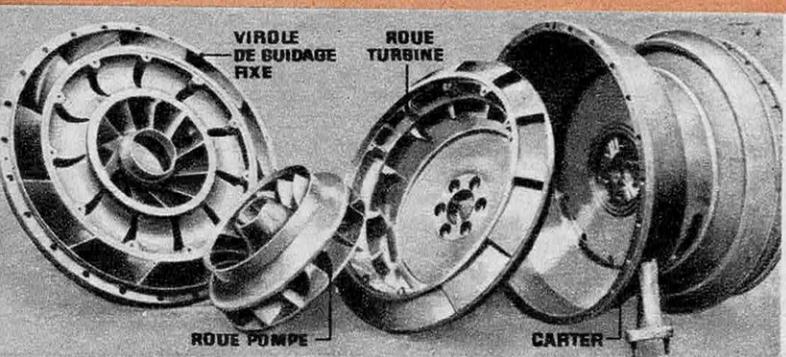
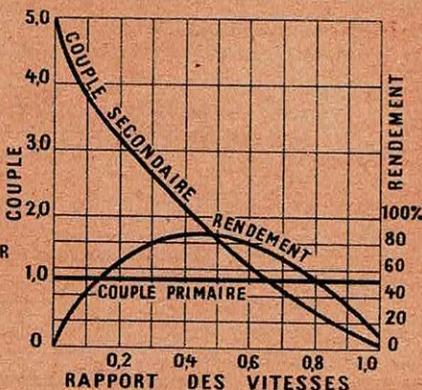
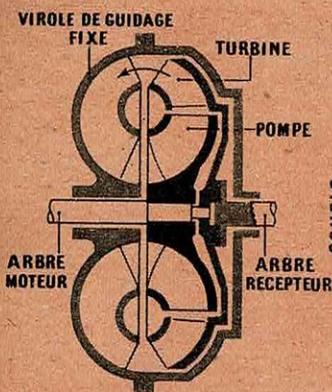
Ces transmissions, relativement récentes, utilisent deux sortes d'appareils : des coupleurs et des convertisseurs de couple.

Le **coupleur hydraulique** est constitué par deux couronnes en forme de demi-torcs creux, disposées face à face, qui tournent dans un carter rempli d'huile. Les deux couronnes sont munies d'aubages plans disposés radialement. La couronne motrice est solidaire de l'arbre du moteur. La couronne réceptrice est solidaire de l'arbre transmettant le mouvement vers les essieux.

La première joue le rôle de pompe centrifuge et la seconde celui de turbine. L'huile, mise en mouvement par rotation de la couronne motrice, circule dans les aubages, sous l'effet de la force centrifuge, et entraîne la couronne réceptrice. Au départ, le glissement relatif des deux couronnes est de 100 %. Au fur et à mesure que la vitesse du véhicule et, par suite, celle de la couronne réceptrice augmentent, le glissement diminue et, en régime établi, ne dépasse pas 2 à 3 %, c'est-à-dire que la vitesse de la couronne réceptrice est 98 à 97 % de celle de la couronne motrice.



● Schéma de principe et vue des organes d'un coupleur hydraulique. La liaison entre roue motrice et roue réceptrice est assurée par le fluide qui circule entre la pompe et la turbine. Couple transmis et rendement de la transmission varient en sens inverse l'un de l'autre avec le glissement.



● On retrouve dans le convertisseur hydraulique de couple la pompe (entraînée par l'arbre moteur) et la turbine (qui entraîne l'arbre récepteur). Mais, entre ces deux organes en rotation, le fluide est dévié par une virole fixe de guidage, et la turbine et la pompe tournent à des vitesses différentes.

Le coupleur, en régime établi, transmet intégralement le couple moteur ; d'autre part, le rendement et le glissement d'un coupleur, exprimés en fractions décimales, ont une somme constante égale à l'unité. Pour un glissement de 2 à 3 %, le rendement est de 98 à 97 %.

Le coupleur est employé soit dans les transmissions hydrauliques, soit comme embrayage dans les transmissions mécaniques avec boîte de vitesses.

Le **convertisseur de couple** comporte, comme le coupleur, une couronne à aubages formant pompe, une deuxième couronne formant turbine et, enfin, une virole fixe à aubages à réaction qui assure le guidage des filets liquides.

L'huile reçoit, par la rotation de la couronne-pompe, l'énergie mécanique du moteur sous forme d'énergie de pression et d'énergie cinétique qu'elle transmet à la turbine, exerçant ainsi un couple déterminé sur l'arbre de sortie. La virole absorbe, sous forme de contre-couple, la différence entre les couples d'entrée et de sortie et dirige l'huile sur la couronne pompe, sous l'angle le plus favorable à l'écoulement.

En général, les convertisseurs sont conçus pour donner, sur l'arbre de sortie arrêté, donc au démarrage, un couple multiple du couple d'entrée, dans un rapport de 3 à 4,5 au maximum. Le moteur fonctionnant à plein couple, sa vitesse varie peu lorsque la vitesse du véhicule augmente, mais le rapport du couple secondaire au couple primaire diminue.

Le rendement du convertisseur de couple varie avec le rapport des vitesses entre le primaire (couronne-pompe) et le secondaire (couronne-turbine). Le rendement maximum, voisin de 85 %, est généralement obtenu quand le rapport ci-dessus est de l'ordre de 0,5 environ. Il y a donc intérêt à utiliser cet appareil au voisinage de la seule zone de rendement favorable.

Une transmission hydraulique est généralement constituée par la juxtaposition de plusieurs appareils (convertisseurs et coupleurs) entrant successivement en service, par remplissage ou vidange de l'un ou de l'autre, et combinés fréquemment avec des

dispositifs mécaniques (engrenages multiplificateurs, inverseurs, etc.).

Les transmissions hydrauliques se sont surtout développées pour des puissances de l'ordre de 250 à 600 ch, et la tendance actuelle semble s'orienter vers les transmissions mécaniques avec coupleur hydraulique en tête.

SERVICES DE MANŒUVRES

C'est dans ce domaine que les engins à moteurs diesels ont fait d'abord leur apparition ; les chemins de fer français, notamment, utilisèrent des locotracteurs de faible puissance dès 1925, dans les gares de petite et de moyenne importance.

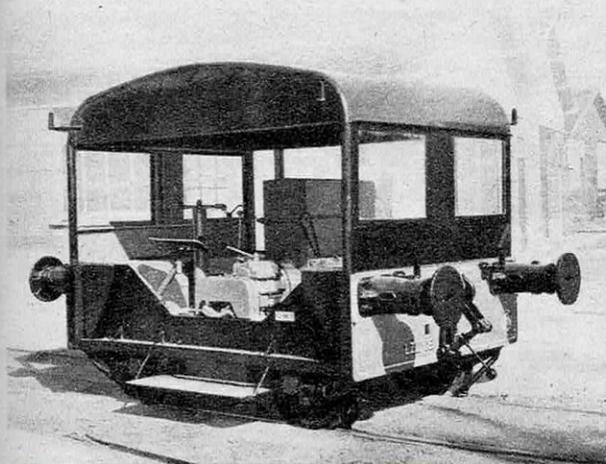
Depuis 1930, les locomotives diesel de manœuvres, dont les puissances s'échelonnent maintenant entre 400 et 1 200 ch, se sont largement développées dans de nombreux pays. On a même reconnu l'intérêt d'en faire usage dans certaines grandes gares des lignes électrifiées, afin d'éviter l'équipe-

ment électrique, toujours assez onéreux, de la totalité des voies de service.

Sur les grands réseaux des États-Unis, plus de 60 % des heures de manœuvres sont actuellement effectuées avec environ 5 000 locomotives diesel. En France, sur le réseau de la S. N. C. F., ce pourcentage reste encore un peu inférieur à 20 %, mais il est prévu de développer largement le nouveau mode de traction dans ce domaine, au cours des prochaines années. La S. N. C. F. dispose actuellement d'un peu plus de 400 engins diesels de manœuvres, et une centaine de locomotives et locotracteurs sont en construction.

Les locotracteurs de manœuvres, c'est-à-dire les engins de puissance modérée comportant seulement deux essieux, sont utilisés non seulement dans les gares, mais par la plupart des établissements industriels raccordés aux chemins de fer. La puissance de ces engins est comprise entre 25 et 200 ch environ.

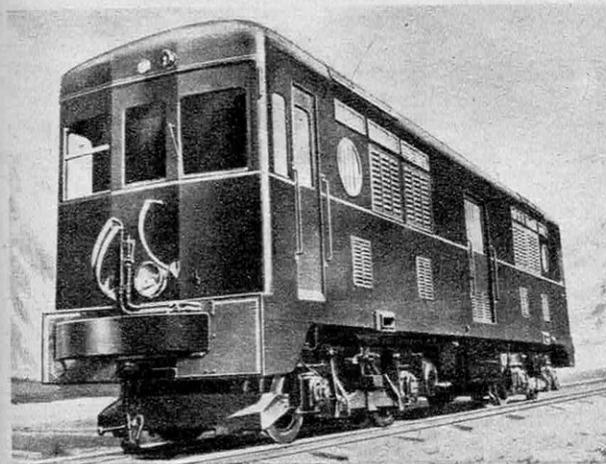
Les possibilités d'un locotracteur de 25 ch,



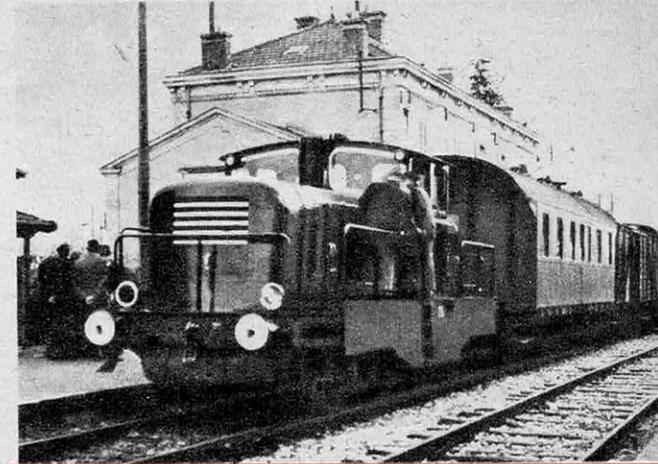
● Locotracteur Cemfar de 25 ch pour desserte des usines et chantiers. Il peut remorquer dix wagons.



● Le locotracteur 6200 S. N. C. F., de 150 ch, poids 32 t, est très répandu sur l'ensemble du réseau.



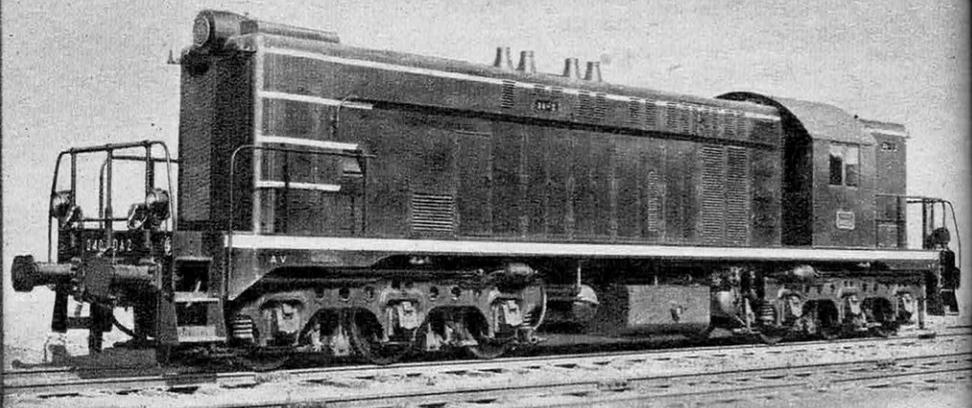
● Fourgon diesel Brissonneau-Lotz, 600 ch. Il est utilisé en Corse, Provence et Dauphiné.



● Locotracteur de 360 ch construit pour les chemins de fer départementaux ; la transmission est mécanique.

LOCOMOTIVE DE MANŒUVRE

Cent locomotives Baldwin de ce type, construites aux U. S. A. pour la S. N. C. F. en 1948, sont utilisées pour le service de manœuvre des gares de triage ou de traction des trains de marchandises en transit sur la petite ceinture Nord. Elles développent 760 ch, et leur poids est de 109 t.



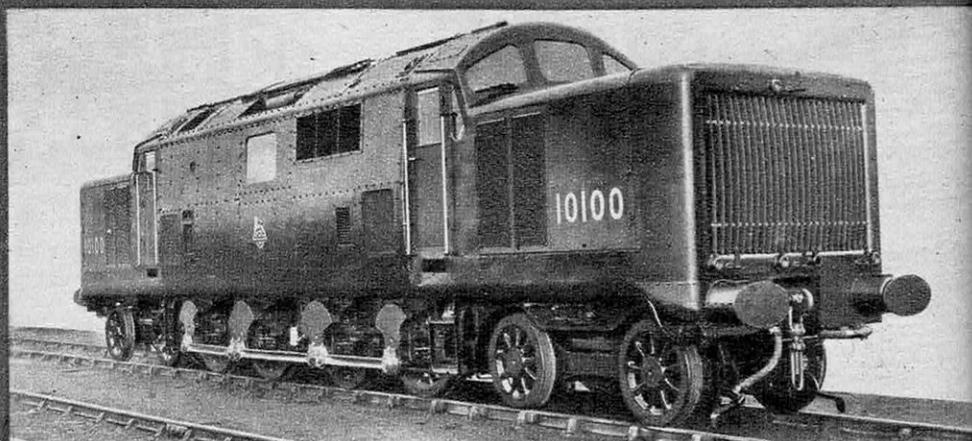
LOCOMOTIVE A TRUCK TRACTEUR

Cette locomotive de manœuvres de 500 ch est accouplée à un tracteur dont les moteurs électriques sont alimentés par le groupe électrogène diesel de la locomotive. Cette solution donne à l'ensemble un poids adhérent élevé et lui permet de débrancher des trains de marchandises de 2 500 t sur les buttes des gares de triage.



LOCOMOTIVE ANGLAISE 2000 CH

Cette locomotive diesel de 2 000 ch est à transmission mécanique. La transmission attaque les deux essieux centraux par des arbres creux avec accouplement élastique. Les quatre essieux moteurs sont liés rigidement par des bielles. La vitesse maximum est de l'ordre de 130 km/h.



pour la desserte d'usines et de chantiers, sont déjà notables ; il peut déplacer une rame d'une dizaine de wagons.

Les chemins de fer français utilisent deux autres catégories de locotracteurs :

— des engins d'une cinquantaine de chevaux, pesant 16 t, plus spécialement affectés à la desserte des gares de moyenne importance ;

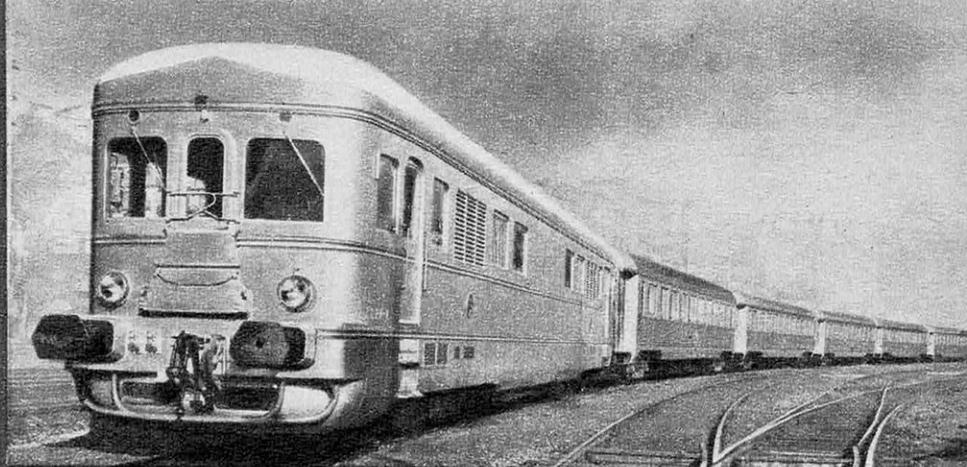
— des engins de 150 ch, pesant 32 t, très répandus sur l'ensemble du réseau. Ils comportent une transmission électrique constituée par une génératrice alimentant un seul moteur de traction accouplé à un réducteur de vitesse

à deux régimes, réalisant deux gammes de vitesses : 0 à 20 km/h et 0 à 60 km/h. Les essieux sont attaqués par des chaînes. Ces locotracteurs, en raison de leur souplesse, remplacent fréquemment d'anciennes locomotives à vapeur à trois essieux. Ils peuvent manœuvrer des trains de 600 à 800 t environ.

Les locomotives diesel de manœuvres utilisées par les réseaux ferrés comportent, le plus souvent, trois essieux couplés, disposés dans un châssis rigide, ou quatre essieux répartis dans deux bogies. En raison de la régularité du couple moteur, les machines à quatre essieux peuvent assurer la presque

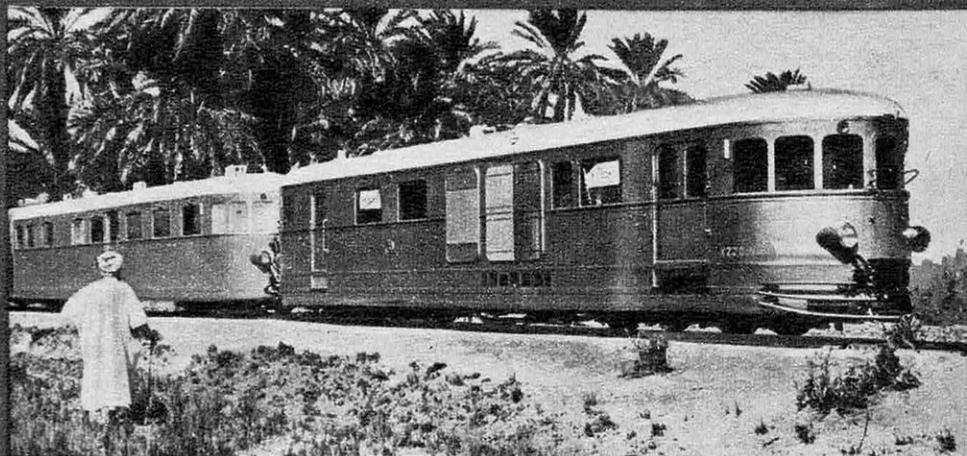
TRACTION DIESEL EN ALGÉRIE

Les fourgons automoteurs De Dietrich sont équipés de moteurs diesel Sulzer de 1 400 ch à transmission électrique. Ils sont utilisés en particulier pour la traction des trains rapides légers entre Alger et Oran et sont alors capables d'atteindre une vitesse voisine de 130 km/h.



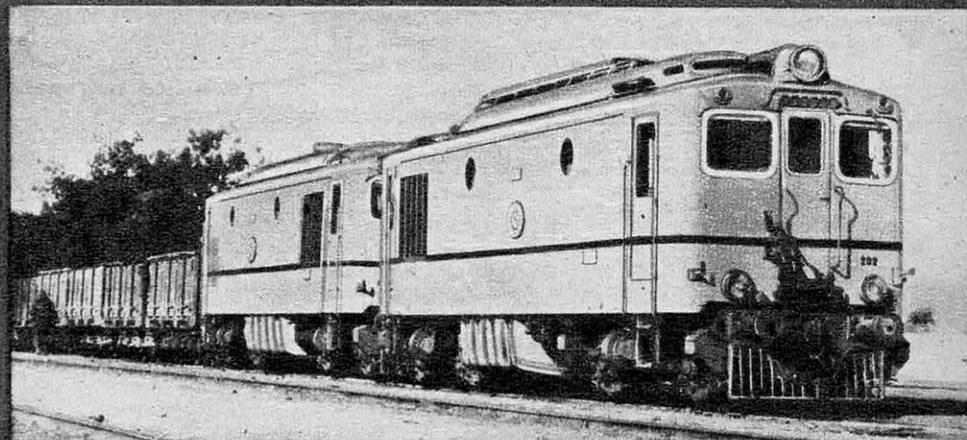
AUTOMOTRICES A VOIE ÉTROITE

Les lignes de pénétration à voie étroite Biskra-Touggourt et Oran-Colomb-Béchar sont desservies par des fourgons automoteurs type De Dietrich diesel-électriques. Cette solution présente d'autant plus d'intérêt qu'elle dispense de se préoccuper du ravitaillement en eau, qui demeure inévitable avec la traction à vapeur.



TRAIN MINIER EN TUNISIE

La ligne Sfax-Gafsa, qui achemine vers la mer les phosphates de Tunisie, est une voie de pénétration sur laquelle les locomotives ne sont ravitaillées qu'à Sfax. Les locomotives à vapeur ont été remplacées par des diesel-électriques Alsthom d'une puissance de 735 ch, poids 52 t.



totalité des services de manœuvres difficiles, antérieurement assurés par des machines à vapeur plus lourdes à 5 essieux couplés.

Toutefois, pour le débranchement des trains de marchandises lourds sur les buttes de triage, qui requiert de très gros efforts, soutenus à une vitesse voisine de 3,5 km/h, la S. N. C. F. utilise des locomotives de 500 ch, à trois essieux couplés, jointes à un truck tracteur. On réalise ainsi un ensemble à grande adhérence (108 t), capable de débrancher des trains dont le tonnage peut atteindre 2 500 t. Des réservoirs supplémentaires de gasoil sont disposés sur le truck, de sorte que la locomotive peut être

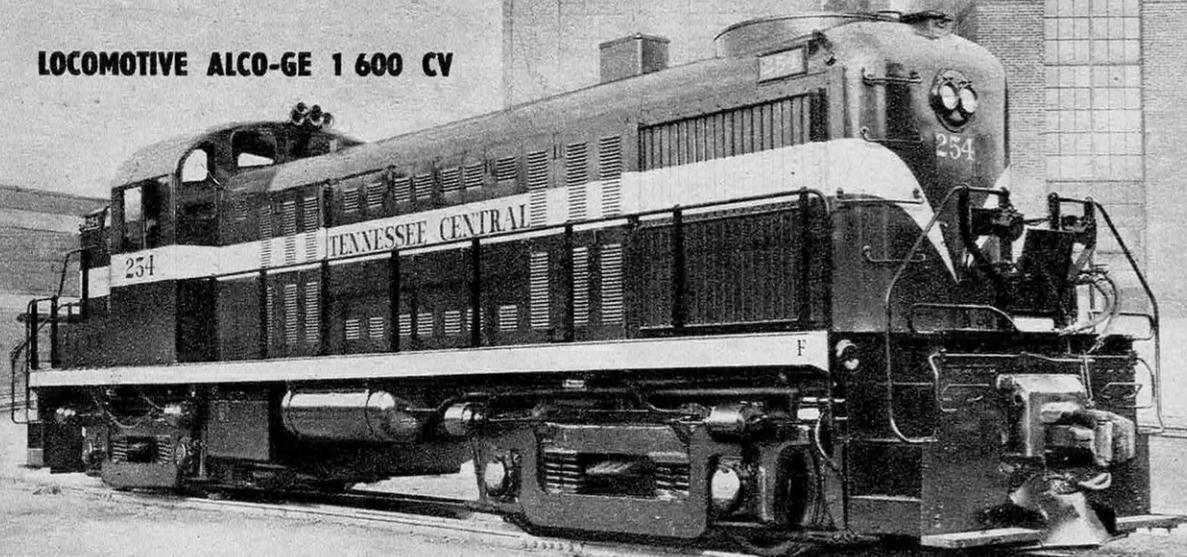
utilisée pendant une semaine, de jour et de nuit, sans être ravitaillée.

En Europe, la puissance des locomotives diesel de manœuvres n'excède guère 600 ch, alors qu'en Amérique, où le tonnage des trains de marchandises atteint fréquemment 5 000 à 6 000 t, la puissance de ces locomotives est d'environ 1 000 à 1 200 ch.

SERVICES DE LIGNE

La traction diesel de ligne a pris un essor particulièrement grand en Amérique, spécialement aux États-Unis, et elle se développe

LOCOMOTIVE ALCO-GE 1 600 CV



très rapidement sur les lignes africaines.

Aux États-Unis, la traction diesel a été d'abord appliquée, vers 1935, aux trains de voyageurs, puis s'est étendue depuis quelques années, à un rythme croissant, aux services de marchandises. Actuellement, plus de 90 % des réseaux américains importants font appel à la traction diesel, et une quinzaine d'entre eux sont entièrement « dieselifiés ». Près des 2/3 des parcours de trains de voyageurs et la moitié du trafic marchandises sont assurés par traction diesel. Le nombre des locomotives diesel de ligne en service atteint 3 500.

Les constructeurs américains de locomotives à vapeur ont tous converti leurs usines, et la production de l'industrie américaine dépasse maintenant 3 500 unités diesel de 800 à 2 400 ch par an (y compris les locomotives de manœuvres).

Les locomotives à vapeur ne sont plus guère construites que pour l'exportation, et les travaux d'électrification ne sont poursuivis que sur les lignes de banlieue.

La faveur dont jouit la traction diesel aux États-Unis provient, pour une large part, des caractéristiques des réseaux américains, très favorables à ce mode de traction :

- grandes distances à parcourir, qui dépassent très souvent les possibilités d'une locomotive à vapeur ;

- nombreuses lignes à voie unique, parcourues par des trains lourds et généralement peu fréquents, facteur peu favorable à l'électrification ;

- libre concurrence entre les réseaux qui incite à investir les capitaux dans le matériel moteur plutôt que dans les installations fixes

LOCOMOTIVE FRANÇAISE 4 000 CH ➔

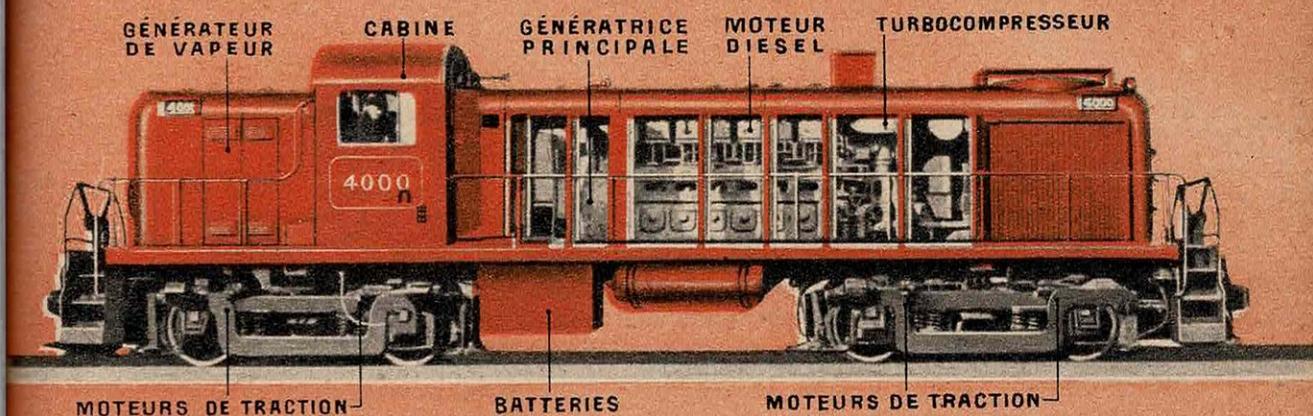
Cette locomotive française de 4 000 ch (2 moteurs Sulzer) pour trains de voyageurs comprend deux éléments identiques placés sous la conduite d'un même mécanicien. Chaque diesel entraîne une génératrice électrique dont le courant continu alimente des moteurs électriques couplés aux essieux moteurs.

qui seraient très dépréciées en cas de déplacement de trafic.

En raison des tonnages élevés des trains américains et des grandes vitesses pratiquées par de nombreux trains de voyageurs, la puissance nécessaire pour remorquer les trains atteint souvent 4 000 à 5 000 ch, parfois plus. Les locomotives diesel, toutes à transmission électrique, sont donc constituées, le plus souvent, par 2 à 6 unités, développant chacune 1 500 à 2 400 ch, accouplées entre elles et conduites par le conducteur de l'unité de tête.

En Europe, les conditions économiques sont moins favorables qu'en Amérique au développement de la traction diesel, en raison, notamment, du manque de produits pétroliers. Sur le réseau français, entre autres, l'électrification





● Sur la locomotive diesel-électrique type ALCO-GE 1600 ch des réseaux américains, tous les éléments sont facilement accessibles grâce à une série de portes

latérales. Ce type de machine à une seule cabine de conduite est d'un emploi très courant lorsqu'il n'est pas nécessaire d'utiliser plusieurs locomotives accouplées.

des grandes artères se présente dans des conditions avantageuses, de sorte qu'il n'est pas envisagé d'y développer l'emploi de locomotives diesel puissantes. Ces dernières pourront cependant recevoir quelques applications dans certains cas particuliers ; c'est ainsi, par exemple, que la section non électrifiée de la ligne de Grande Ceinture de Paris va être exploitée par des locomotives diesel-électriques de 2000 ch.

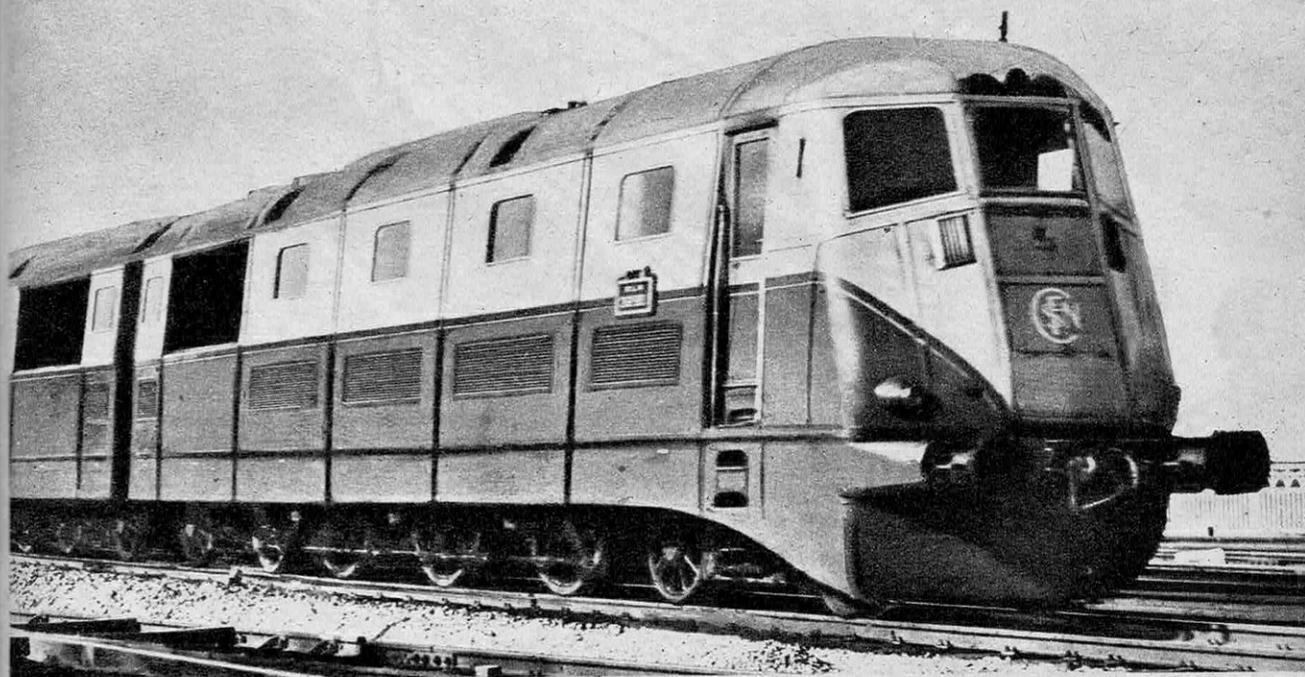
La substitution de la traction diesel à la traction à vapeur apparaît également avantageuse pour la traction des trains de marchandises sur les petites lignes, dont les services de voyageurs, quand ils sont maintenus, sont exécutés par autorails.

De tels services peuvent être assurés par

des locotracteurs de 400 ch environ ou par des locomotives de puissance modérée, telles que les unités de 600 ch actuellement en construction pour la S. N. C. F.

Tous les réseaux secondaires français, de leur côté, substituent progressivement des engins diesel à leurs locomotives à vapeur à marchandises.

En Afrique du Nord, la « dieselification » a fait de rapides progrès, notamment en Algérie : sur les lignes à voie normale, 90 % environ des parcours des trains sont assurés par 65 locomotives diesel, qui ont remplacé plus de 200 locomotives à vapeur, moins puissantes en moyenne, il est vrai, et assez anciennes. La « dieselification » des lignes algériennes à voie étroite, déjà amorcée, va être poursuivie.



Les réseaux à voie normale d'Afrique du Nord ont dû faire appel, dès la Libération, à l'industrie américaine pour la fourniture de locomotives diesel de 1 000 à 1 500 ch, qui remorquent notamment les trains de voyageurs de l'artère principale Fez-Tunis. Plus récemment, des fourgons automoteurs rapides de 1 400 ch, de construction française, ont été affectés aux relations rapides entre Alger et Oran.

Le réseau tunisien, presque entièrement à voie métrique, qui assure par autorails de nombreux services voyageurs, utilise maintenant une cinquantaine de locomotives diesel de 600 ch, notamment pour le transport des phosphates dans la région de Gafsa.

Enfin, à Madagascar, en A. O. F. et en A. É. F., où la traction diesel a été expérimentée avant la guerre, le nouveau mode de traction se développe rapidement ; les réseaux de ces contrées disposeront de près d'une centaine de locomotives diesel.

Cette énumération, d'ailleurs incomplète, donne un aperçu de la place importante que la traction diesel a prise maintenant dans le domaine ferroviaire.

LES LOCOMOTIVES A TURBINE A GAZ

Avant même d'avoir atteint leur plein développement, les locomotives diesel voient maintenant surgir des concurrentes, peut-être redoutables, dans les locomotives à turbine à gaz.

La première locomotive à turbine à gaz a été construite en Suisse pendant la guerre par la Société Brown Boveri, pour les Chemins de fer fédéraux suisses, c'est-à-dire à l'époque même où, en raison des progrès effectués dans la construction des compresseurs d'air axiaux, la turbine à gaz devenait viable, en tant que machine motrice, et qu'elle donnait lieu, chez les nations en guerre, aux premières applications dans la Marine militaire et l'Aviation.

Rappelons, en effet, que la turbine à gaz est alimentée, dans sa conception la plus classique, par les gaz chauds provenant de la combustion directe d'un combustible dans de l'air préalablement comprimé ; pour que la turbine fournisse sur son arbre de l'énergie mécanique utilisable, il faut que la puissance absorbée par le compresseur qu'elle entraîne

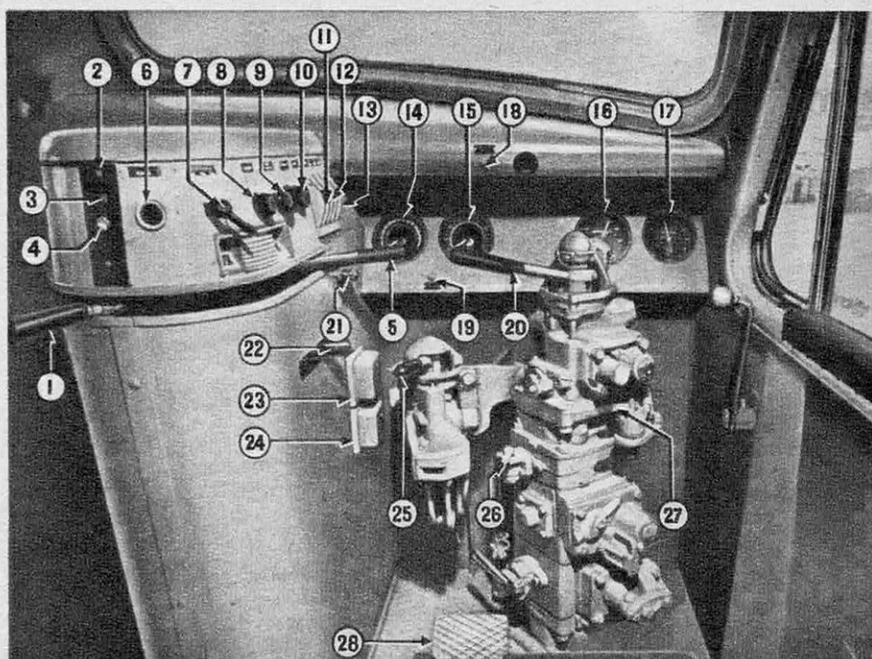


LOCOMOTIVE ALCO-GE 6 750 CH

Cette locomotive diesel-électrique américaine pour trains rapides de voyageurs est composée de trois unités développant chacune 2 250 ch. Chaque unité est équipée d'un moteur diesel de 16 cylindres en V, suralimenté par turbocompresseur alimenté par les gaz d'échappement, d'une génératrice électrique et de quatre moteurs de traction. A la vitesse de 130 km/h, elle développe un effort de traction de 70 t.

CABINE DE CONDUITE DE LOCOMOTIVE ALCO

- 1, Manette de couplage des moteurs de traction.
- 2, Lampe-témoin d'échauffement de l'eau du moteur.
- 3, Lampe-témoin de baisse de pression d'huile.
- 4, Lampe-témoin d'extinction de la chaudière de chauffage.
- 5, Manette d'accélération.
- 6, Bouton d'appel.
- 7, Commutateur des phares.
- 8, Chauffage de la cabine.
- 9, Indicateur de niveau de combustible.
- 10, Bouton d'arrêt d'urgence.
- 11, Fusible des circuits de contrôle.
- 12, Fusible des circuits de traction.
- 13, Fusible du circuit de pompe à combustible.
- 14, Indicateur de charge.
- 15, Tachymètre.
- 16, Manomètre de frein et de conduite générale.
- 17, Manomètre de réservoir principal et de réservoir du robinet de mécanicien.
- 18, Commutateur des signaux d'ordre.
- 19, Lampe-témoin de patinage.
- 20, Robinet de frein automatique.
- 21, Commande d'essuie-glace.
- 22, Inverseur de marche.
- 23, Avertisseur d'alarme pour : baisse de pression d'huile, échauffement de moteur, relais de terre, extinction de chaudière de chauffage, arrêt de ventilateur de moteurs de traction.
- 24, Avertisseur de patinage.
- 25, Robinet de frein direct.
- 26, Robinet de sélection.
- 27, Avertisseur de route.
- 28, Pédale d'homme-mort.



soit inférieure à la puissance mécanique disponible sur l'arbre de la turbine. Cette condition n'a été remplie que lorsque les rendements des turbomachines ont atteint des valeurs notables et lorsqu'il a été possible de faire supporter aux aubages des turbines des températures suffisamment élevées.

Dans le cas de la locomotive précitée, la puissance développée par la turbine atteint environ 10 000 ch, pour ne fournir que 1 400 ch environ à la jante des essieux moteurs, la différence étant absorbée en grande partie par le compresseur.

La température des gaz à l'entrée de la turbine est d'environ 600°. Une transmission électrique, comme sur les machines diesel, entraîne les essieux.

Par rapport à la locomotive diesel, la locomotive à turbine à gaz présente l'avantage de

comporter un mécanisme relativement simple, sans organes à mouvements alternatifs, consommant peu de matières de graissage en raison de la réduction des organes frottants, et ne nécessitant pas d'eau.

La puissance massique de la locomotive à turbine à gaz est un peu plus élevée que celle de la locomotive diesel-électrique, tout au moins dans les régions tempérées ; la puissance de la turbine décroît en effet assez rapidement lorsque la température ambiante augmente.

Par contre, dans l'état actuel de la technique, le rendement de la turbine à gaz n'est guère, à pleine charge, que de l'ordre de la moitié de celui du diesel, et l'écart s'accroît aux charges partielles, de sorte que la consommation de combustible est beaucoup plus élevée. Cet inconvénient est toutefois atténué

par le fait que la turbine à gaz conçue comme il vient d'être exposé peut brûler des combustibles liquides plus lourds, donc un peu moins coûteux que le gasoil alimentant les diesels. On peut d'ailleurs escompter que les progrès constants de la technique permettront une amélioration des rendements, notamment par une augmentation de la température des gaz à l'entrée de la turbine. D'autre part, il n'est pas exclu que l'on puisse brûler du charbon pulvérisé ; des constructeurs américains, soutenus par l'industrie charbonnière, travaillent très activement depuis plusieurs années le problème de la locomotive à turbine à gaz alimentée au charbon, et des résultats très encourageants ont été obtenus.

Outre la locomotive Brown Boveri, dont il vient d'être question, il existe une deuxième

locomotive du même constructeur, dont la puissance est de 2 500 ch, et qui a été mise en service l'année dernière sur les Chemins de fer britanniques ; elle est essayée par ceux-ci conjointement avec une locomotive un peu plus puissante construite chez Metropolitan-Vickers.

Aux États-Unis, plusieurs prototypes de locomotives à turbine à gaz alimentées au fuel oil sont en cours d'essai. En particulier, après les résultats satisfaisants obtenus par l'Union Pacific avec une locomotive de 4 500 ch construite par l'American Locomotive Co et la General Electric Co, dix unités identiques ont été commandées par ce réseau.

D'autres types sont également en construction, dans lesquels les gaz chauds sont produits par un générateur spécial à pistons libres, dérivé des compresseurs système Pescara.

Un tel générateur est construit par la Société française Sigma pour alimenter une turbine Rateau de 1 000 ch ; cet ensemble va équiper une locomotive actuellement en construction aux Usines Renault.

Le rendement, d'environ 35 % à pleine charge, est comparable à celui d'un diesel.

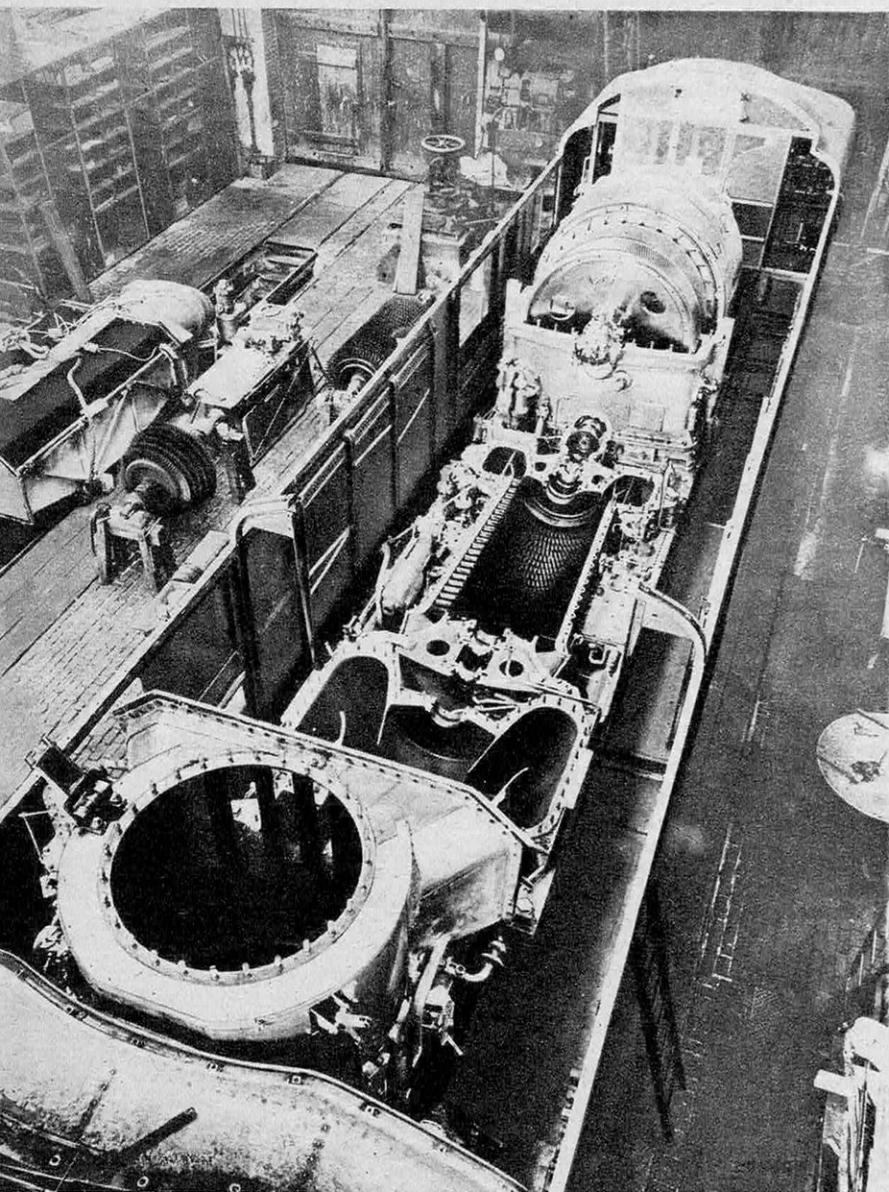
Un prochain avenir montrera si ces nouvelles réalisations sont de nature à freiner l'essor vraiment remarquable pris par le moteur diesel dans le domaine ferroviaire.

M. Tourneur,

Ingenieur en chef à la S. N. C. F.

LOCOMOTIVE 1 A. B. A 1 A TURBINE A GAZ

La locomotive Brown Boveri 1 A. B. A 1 des chemins de fer fédéraux suisses a été la première machine à turbine à gaz. Ci-contre, cette locomotive en cours de montage à l'atelier ; on aperçoit d'avant en arrière : la chambre de combustion, le demi-corps de la turbine et du compresseur, l'engrenage réducteur de vitesse et la génératrice. Bien que la turbine développe 10 000 ch, 1 400 seulement sont fournis à la jante des essieux moteurs, le compresseur absorbant en grande partie la différence. Une transmission électrique analogue à celle des locomotives diesel-électriques transmet la puissance aux essieux.



LOCOMOTIVE 4000 CH DIESEL - ÉLECTRIQUE

Cette locomotive française est constituée par deux demi-locomotives comportant chacune deux groupes électrogènes diesel. Les 4 moteurs diesel S. G. C. M. sont des 6 cylindres suralimentés, montés tête-bêche. Cette machine remorque des rapides dans la région du Sud-Est.



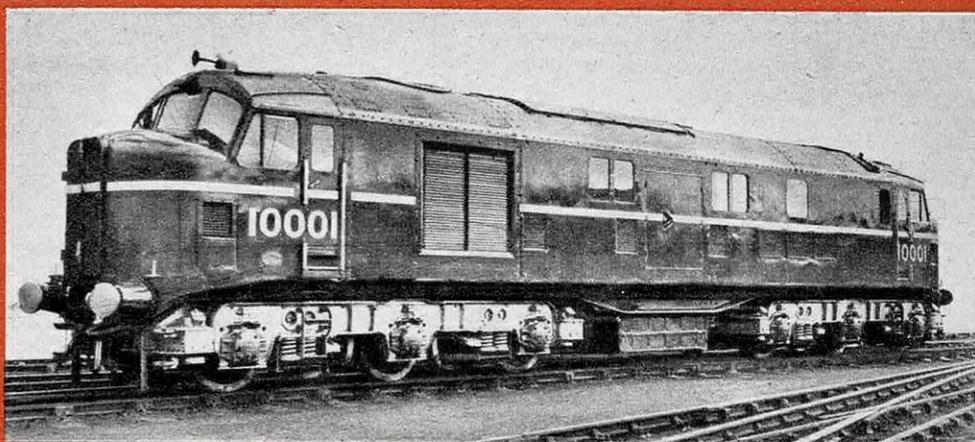
LOCOMOTIVE 1 C-C 1 ANGLAISE, 1 750 CH

Les ateliers d'Ashford des Chemins de fer britanniques ont construit cette locomotive 1 C-C 1 à transmission électrique pour la remorque de trains rapides de voyageurs. Elle développe une puissance de 1 750 ch. Chacun de ses deux bogies possède quatre essieux : trois sont moteurs et l'essieu directeur est porteur.



LOCOMOTIVE C-C A GRANDE VITESSE

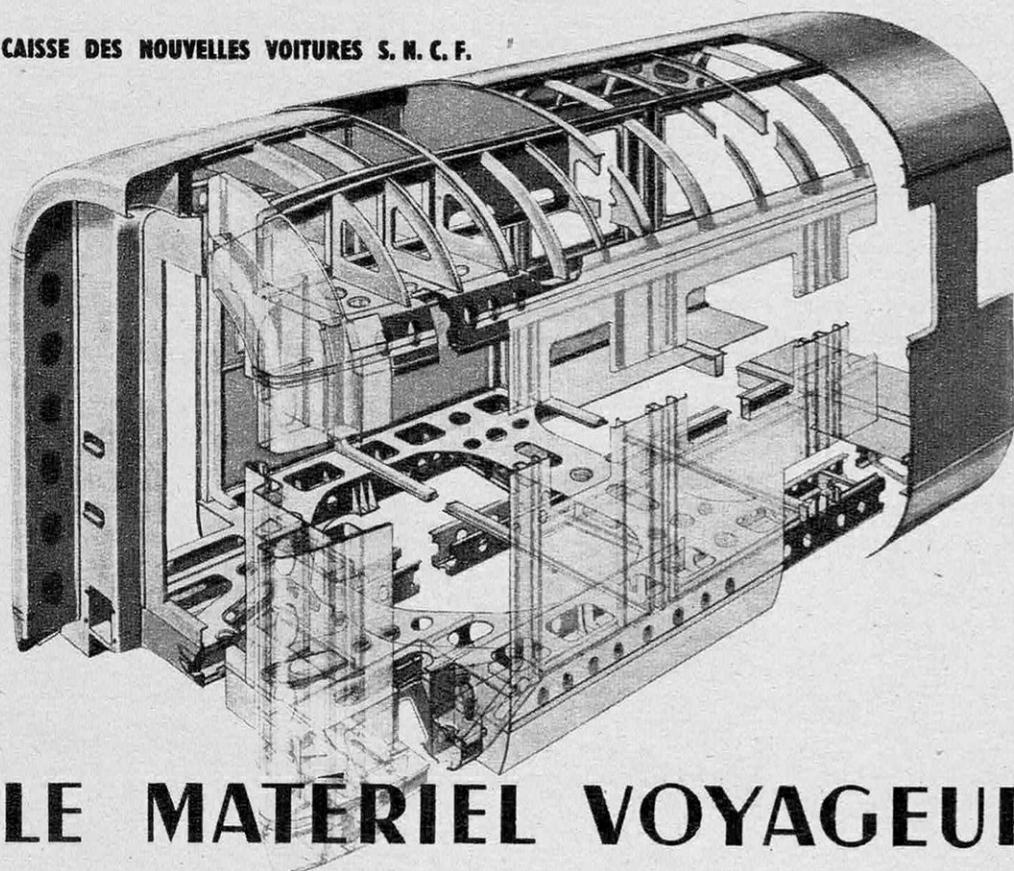
Cette locomotive diesel-électrique britannique à grande vitesse (elle peut rouler à 160 km/h) assure le service des grandes lignes. Elle est équipée d'un moteur diesel English Electric 16 cylindres qui développe une puissance de 1 600 ch. Son poids adhérent total est de 130 t et son effort de traction de 19 tonnes.



LOCOMOTIVE 2500 CH A TURBINE A GAZ

La société suisse Brown Boveri a construit pour les Chemins de fer britanniques cette locomotive à turbine à gaz du type A 1 A-A 1 A. Elle a été mise en service en Angleterre au mois de mai 1951. La puissance de cette locomotive est de 2 500 ch. Elle peut rouler à 145 km/h.





LE MATÉRIEL VOYAGEURS

LA voiture à voyageurs a subi, depuis quelque vingt ans, une profonde évolution, orientée d'une part vers l'augmentation de la solidité et du confort, d'autre part vers l'allègement. Cette évolution s'est trouvée accélérée du fait des destructions dues à la guerre, qui éprouvèrent sévèrement les parcs de matériel européen, en particulier de matériel français. Avant la guerre, près de 12 000 voitures à voyageurs à bogies circulaient sur le réseau français ; 6 000 environ étaient des voitures métalliques d'origine ou des voitures « métallisées » (1). Après la guerre, il restait à peine 6 000 véhicules à bogies, comprenant heureusement près de 4 000 voitures métalliques. Une première fabrication de 250 voitures à bogies de grandes lignes et 100 voitures à bogies pour lignes secondaires fut alors lancée ; puis, en 1948, une seconde commande de 100 voitures à bogies de grandes lignes fut passée ; enfin, en 1950, une troisième de 200 voitures. Ces types de matériels marquent une étape nouvelle dans l'évolution qui avait conduit, en 1938, à la mise en service des voitures métalliques des régions Est, Nord et Ouest.

LA CAISSE « TUBULAIRE »

Les premières voitures à bogie étaient constituées par un lourd châssis, chargé de résis-

(1) De construction ancienne, ces dernières avaient été renforcées pour leur donner une robustesse comparable à celle des voitures métalliques.

ter aux efforts de toutes natures : efforts verticaux dus à la charge transportée, vibrations en marche, étirements ou compressions résultant des efforts de traction ou de freinage enfin chocs extrêmement violents en cas de collision brutale ou de déraillement. La caisse, longtemps construite en bois, était étudiée du seul point de vue du confort des voyageurs et n'intervenait en rien dans la résistance mécanique de l'ensemble. Faiblement dimensionné en hauteur, le châssis était donc soumis à des fatigues importantes en service normal. Il devenait très dangereux en cas de déraillement : si les tampons se chevauchaient, rien ne pouvait empêcher le châssis de cisailer la caisse en bois des véhicules voisins.

La seule solution rationnelle consistait à réaliser une charpente résistante sur toute la hauteur de la voiture et à constituer ainsi une véritable poutre ayant la résistance optimum. Ce résultat ne fut obtenu que très progressivement. Les premières caisses métalliques, charpentées à la façon d'un pont, apportaient déjà un renfort considérable au châssis, mais au prix d'une énorme augmentation de poids. La construction évolua progressivement vers un équilibre sans cesse meilleur, pour aboutir, dans les voitures actuelles, à la répartition optimum du métal.

Parallèlement, l'emploi de la soudure autogène permettait une liaison intime des divers éléments de la construction. On l'utilisa aussi bien pour assembler les membrures de la charpente que pour enrober celle-ci dans la

tôle de revêtement extérieur qui devient alors un élément essentiel de la construction. La caisse des nouvelles voitures est « tubulaire » et s'apparente aux carrosseries automobiles dites monocoques ou autoporteuses.

Ces principes de construction ont procuré un gain de poids important, les nouvelles voitures pesant de 33 t à 36 t suivant les types, contre 45 à 50 t pour les voitures anciennes, mais surtout une robustesse remarquable. Des essais de résistance accompagnés de mesures extensométriques ont déjà fourni de sérieuses garanties sur ce dernier point.

L'AÉRODYNAMISME

En plus de la sécurité et de l'allègement, objectifs principaux des ingénieurs, ceux-ci se sont aussi préoccupés de l'esthétique et du profilage de la caisse, en un mot de l'aérodynamisme. Les lignes fuyantes, la suppression de toute prééminence, la prolongation de la caisse par des « anneaux de garde » destinés à fournir un renfort en cas de collision, mais aussi à réduire l'espace vide qui subsiste entre voitures contiguës, ont donné à ces matériels un excellent coefficient aérodynamique. Aux grandes vitesses, où la résistance de l'air devient le facteur prépondérant de la résistance à l'avancement, l'effort de traction demandé par la remorque d'un train de voitures nouvelles n'est pas sensiblement supérieur à celui qu'exigeait une rame de même tonnage composée de voitures anciennes, et cela en dépit du fait que le premier train, composé de voitures plus légères, est un tiers plus long que le second, formé de voitures anciennes.

SUSPENSION, AMÉNAGEMENTS

On sait le rôle essentiel que joue la qualité de la suspension dans le problème du confort. C'est pourquoi les bogies des voitures nouvelles ont été particulièrement étudiés.

Leur construction rappelle celle de la caisse et ils comportent deux systèmes de suspension : ressorts hélicoïdaux, donc non amortis, entre essieux et corps de bogie d'une part, dispositif mobile dit « de traverse danseuse » entre bogie et caisse d'autre part, fournissant, par ses ressorts à lames, l'amortissement indispensable à l'ensemble élastique et assurant, par sa suspension sur bielles, la liberté transversale indispensable pour absorber les chocs latéraux.

On a donné à ces ressorts toute la souplesse possible. D'autre part, en resserrant les jeux entre organes mobiles et en freinant la rotation des bogies, on s'est rendu maître du « lacet », mouvement transversal périodique auquel sont soumis les véhicules circulant à grande vitesse sur rail.

L'efficacité de ces dispositions s'est confirmée au cours des essais de la nouvelle locomotive électrique CC 7002, en mai 1949. Un train, composé exclusivement de nouvelles voitures, atteignit la vitesse de 180 km/h en

conservant une excellente tenue de marche.

Les aménagements intérieurs sont en harmonie avec les lignes modernes de la caisse. Les cloisons intérieures sont en contre-plaqué ou en isorel et contribuent ainsi à l'insonorisation ; le profil des sièges assure au corps humain un appui rationnel et procure, en toutes classes, un confort bien supérieur à celui des anciennes voitures.

L'ÉVOLUTION EN COURS

Les nouvelles voitures de la S. N. C. F. ne constituent évidemment pas le terme d'une évolution (1). Les ingénieurs rechercheront toujours plus de confort et un meilleur rendement.

Pour la suspension, par une évolution parallèle à celle de la technique automobile, on semble s'orienter vers l'utilisation exclusive de ressorts sans frottement, comme les ressorts en hélice dont on contrôle les mouvements par des amortisseurs hydrauliques. Deux bogies prototypes comportant deux étages de suspension par ressorts hélicoïdaux, conjugués avec des amortisseurs hydrauliques télescopiques, ont donné lieu à des essais de roulement prolongés très satisfaisants. Le roulement est extrêmement doux et le martèlement au passage des joints des rails est très atténué. Les amortisseurs hydrauliques, choisis par commodité parmi les amortisseurs de gros camions, n'ont subi que très peu d'usure après 200 000 km de service, malgré le poids relativement élevé des voitures de chemin de fer. Cela résulte sans doute de l'absence de mouvements de grande amplitude avec les véhicules sur rail, qui n'ont pas à franchir des inégalités aussi marquées que celles que l'on rencontre sur les routes.

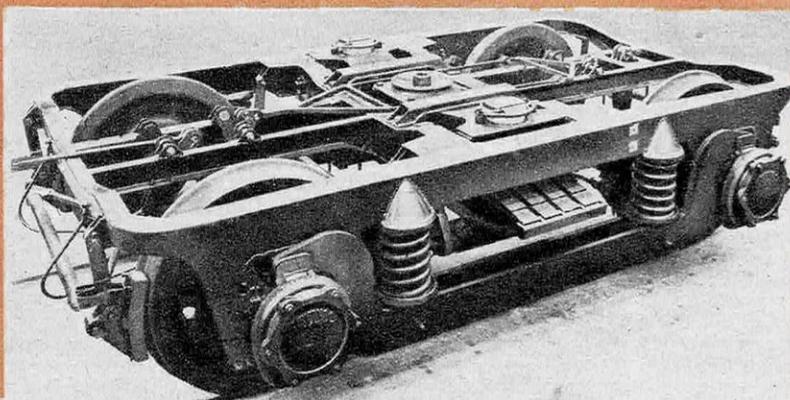
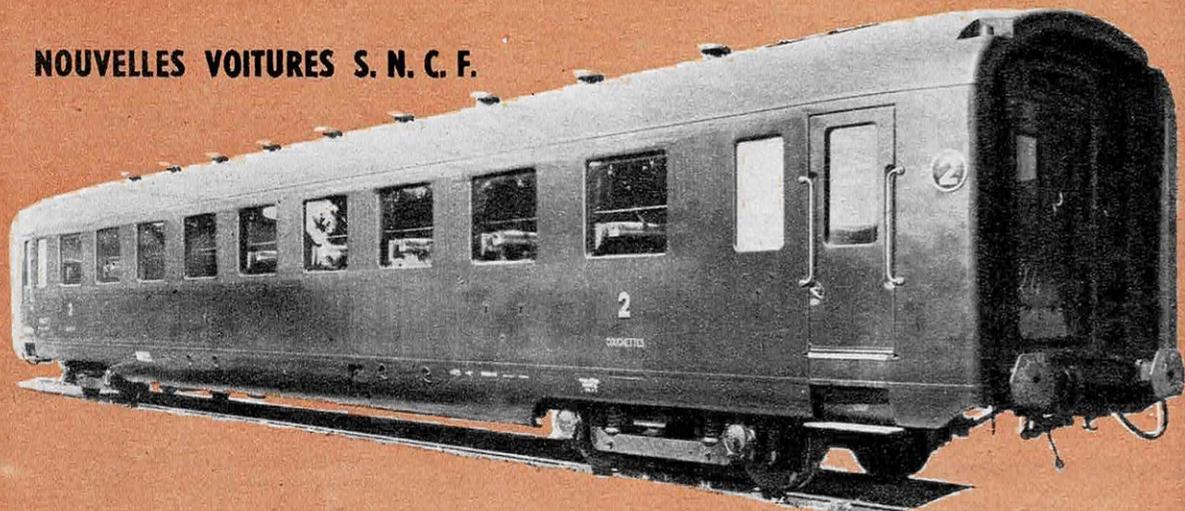
Les nouveaux bogies donnent, d'autre part, une marche tranquille, sans oscillations latérales, même aux plus grandes vitesses. Ce résultat est dû au freinage de leur rotation par l'application de toute la charge de la voiture sur des patins latéraux en acier au manganèse, qualité d'acier qui résiste sans grippage ni usure aux frottements les plus énergiques.

Enfin, toutes les liaisons entre les éléments de ces bogies susceptibles de se déplacer les uns par rapport aux autres ont été réalisées par des bielles élastiques montées sur articulations en caoutchouc. On supprime ainsi quantité de pièces (glissières, guides...) sujettes à usure.

Devant ces résultats, l'essai de ces nouveaux bogies va être étendu à huit voitures en construction et on peut prévoir que ce type de suspension se généralisera. Les chemins de fer étrangers, eux aussi, commencent, pour la

(1) Déjà l'acier inoxydable au chrome-nickel (18-8) est adopté pour la construction des parois et des ossatures de faces et de pavillons sur 36 des 200 voitures commandées en 1950. Ce matériau à hautes caractéristiques mécaniques permettra, à résistance égale, un nouvel allègement, en même temps qu'il garantira le bel aspect et les facilités de nettoyage que l'on a pu apprécier dans les automotrices Budd de la banlieue Montparnasse et dans l'une des rames Michelin de la S. N. C. F.

NOUVELLES VOITURES S. N. C. F.



● On remarque la présence, en avant de la caisse, d'un « anneau de garde » destiné à offrir un premier élément de protection en cas de collision et à améliorer l'aérodynamisme du convoi par réduction de l'espace qui subsiste normalement entre les voitures. Les lignes fuyantes de la caisse et le carénage diminuent encore la résistance de l'air. Tous les assemblages de la charpente du bogie sont effectués par soudure électrique. De part et d'autre du pivot central du bogie, des patins élastiques freinent le mouvement de rotation du bogie.

plupart, à utiliser des suspensions sans frottement avec amortisseurs : barres de torsion et amortisseurs hydrauliques en Suisse, ressorts à lame unique et amortissement par blocs de caoutchouc en Suède, ressorts hélicoïdaux et amortisseurs télescopiques en Allemagne comme en France, ressorts hélicoïdaux et blocs de caoutchouc en Italie.

Les **aménagements** vont, eux aussi, bénéficier des nouvelles possibilités offertes par l'après-guerre.

L'emploi de tubes fluorescents avec diffuseurs en plexiglas est prévu sur les voitures des dernières commandes.

Les matières plastiques sont utilisées non seulement dans les installations électriques, mais encore pour le revêtement des parois et pour le recouvrement des sièges. D'excellents revêtements par placage ont été réalisés dans deux voitures de troisième classe, avec un plastique stratifié d'importation anglaise, la « traffolite », malheureusement encore cher, mais qui, par sa surface brillante et sans défaut, par sa résistance au rayage et sa facilité de nettoyage, rivalise heureusement avec les meilleurs revêtements et avec les surfaces peintes ou vernies.

Un autre plastique, fabriqué en France, recouvrira les cloisons intérieures des futures voitures ; il s'agit du « tarabox », produit se présentant sous forme d'une feuille souple à

surface granitée, qui, collée aux parois, leur donne le meilleur aspect tout en se prêtant, mieux que toute peinture, à de fréquents nettoyages.

Le caoutchouc voit, lui aussi, son domaine s'étendre. Utilisé depuis plusieurs années déjà dans les systèmes élastiques du tamponnement et dans les blocs intercalaires pour insonoriser les bogies, il constitue maintenant le revêtement des soufflets d'intercirculation. Il sera demain, si son prix le permet, l'élément élastique des banquettes et coussins sous la forme de caoutchouc mousse. Peut-être interviendra-t-il dans la suspension des bogies, si les expériences faites à l'étranger prouvent son efficacité et sa bonne tenue en service.

L'aspect même des sièges se modernise et l'on s'oriente vers l'emploi de sièges à dossier, en forme « baquet » en 1^{re} classe, et de sièges à deux places en 2^e classe.

Enfin, deux voitures (1^{re} et 2^e classes) ont été équipées, à titre d'essai, avec des sièges inclinables permettant, la nuit, une position demi-allongée propice au sommeil. Mais l'allongement des sièges conduit à renoncer à la division des voitures en compartiments et il semble que cette nouvelle disposition doive être réservée aux parcours de fin d'après-midi ou de début de matinée, qui comportent un trajet pendant les heures de nuit.

RÉALISATIONS EUROPÉENNES

A l'étranger, de nombreuses constructions ont également vu le jour depuis la fin des hostilités. Les réseaux européens, aiguillonnés souvent par la nécessité de reconstituer un parc éprouvé par la guerre, ont construit des modèles nouveaux faisant appel aux dernières ressources de la technique moderne.

Dès 1945, les **Chemins de fer italiens de l'État** mettaient en chantier un nombre important de voitures allégées modernes. D'un aspect plus traditionnel que les nouveaux matériels français, ces voitures à dix compartiments sont également de structure tubulaire et pèsent, à vide, environ 34 t.

La suspension est réalisée par un bogie comportant trois étages élastiques (voir p. 104). Dans une réalisation très récente et encore à l'essai, on a remplacé les ressorts hélicoïdaux du premier étage par des blocs de caoutchouc en forme de cloches qui procurent une flexibilité variable, et l'on a substitué aux ressorts en hélice du dernier étage des empilements de blocs de caoutchouc qui doivent améliorer l'amortissement de l'ensemble élastique.

Dans tous les cas, le bogie supporte la caisse par des patins latéraux montés sur blocs

disposition, dont l'emploi ne présente pas d'inconvénients en Suisse où les trajets sont courts, permet un allègement remarquable. La caisse nue ne pèse que 8 t, contre 14 t pour les voitures suisses classiques et les bogies 3,5 t contre 6,5 t. Ces voitures tubulaires sont construites tout en acier, avec assemblages par soudure électrique.

La décoration intérieure, de teintes reposantes, se caractérise par la netteté et le modernisme des lignes. Les parois sont en « pava-tex » (panneaux de bois comprimé) avec revêtement de toile huilée en 2^e classe et de linoléum en 3^e classe.

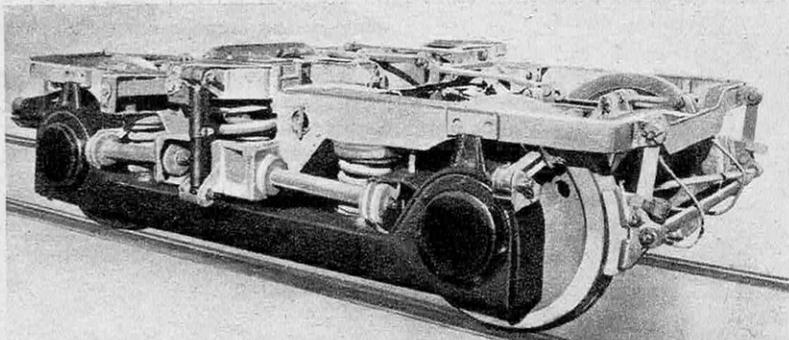
Les sièges, particulièrement soignés, sont en aluminium. Les parties métalliques visibles ont été laissées nettes et, selon l'entourage, dépolies ou polies.

Les **Chemins de fer britanniques** ont mis tout récemment en construction une série de voitures « Standard » avec plusieurs types d'aménagements intérieurs.

La charpente et les revêtements extérieurs sont entièrement métalliques et assemblés par soudure électrique, mode de construction vers lequel on ne s'est orienté que depuis peu en Grande-Bretagne.

La suspension est très souple : les bogies supportent la caisse par l'intermédiaire d'une

● Ce nouveau bogie S. N. C. F. comporte deux étages de suspension à ressorts en hélice, le second conjugué avec des amortisseurs hydrauliques. La liaison châssis-balancier est assurée par bielles avec articulations sur caoutchouc. La traverse danseuse est reliée au châssis par deux bielles longitudinales sur « silent-blocs ». Des amortisseurs freinent ses déplacements transversaux. Le bogie est à pivot cylindrique ; la caisse porte sur deux appuis latéraux.



de caoutchouc, un bain d'huile lubrifiant le frottement avec les patins placés en regard, sous la caisse.

La décoration et le garnissage sont sobres, les parois intérieures sont revêtues de « maso-nite », comprimé de fibres de bois d'un heureux aspect. Les voitures ont une bonne insonorisation due sans doute au caoutchouc interposé entre bogies et caisse et au matelas isolant de fibre de verre, placé entre le plancher et une tôle continue d'aluminium appliquée sous la face intérieure du châssis.

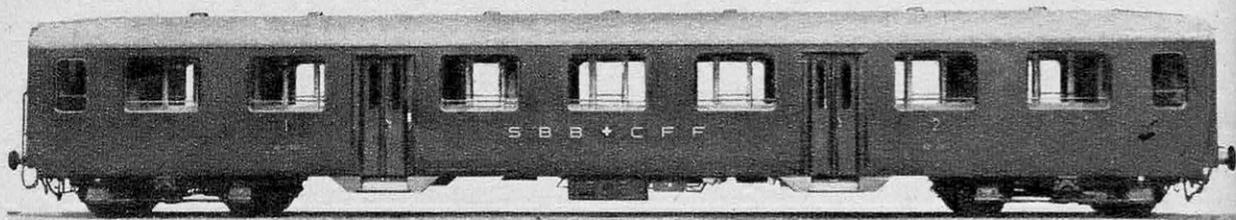
Les **Chemins de fer helvétiques** utilisent sur leurs lignes des voitures allégées modernes à couloir central.

Les entrées, placées entre les bogies, ont des emmarchements commodes, conduisant, par des portières à doubles battants, à de vastes plates-formes entre compartiments. Cette

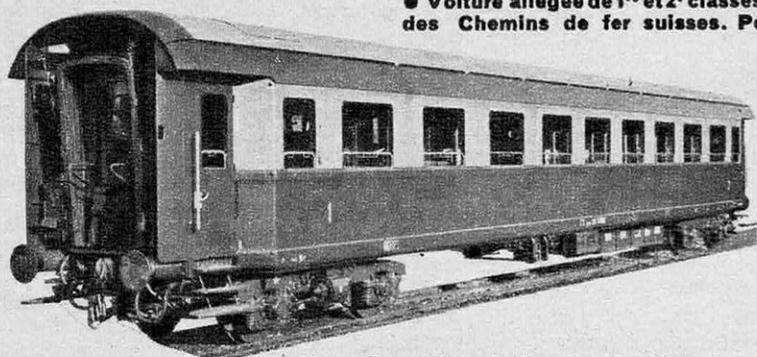
traverse oscillante reposant sur deux étages de ressorts en hélice, disposition qui donne une grande souplesse à la suspension. Le bogie repose lui-même sur les essieux par des ressorts à lames qui fournissent à l'ensemble l'amortissement nécessaire.

Le plancher est fait d'un épais contre-plaqué recouvert de linoléum ; à l'intérieur, cloisons et revêtements sont en bois recouvert de placages différents suivant la classe de voiture. Les sièges de 1^{re} classe ont des coussins à ressorts très souples avec accoudoirs et appuie-tête de caoutchouc mousse. En 3^e classe, les sièges sont rembourrés et pourvus d'accoudoirs.

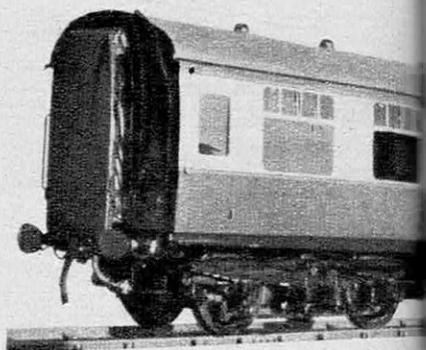
Ces voitures, pourvues du frein à vide d'un usage général outre-Manche, ont un attelage automatique, doublé de dispositifs annexes permettant l'accouplement avec les voitures



● Voiture allégée de 1^{re} et 2^e classes (42 places)
des Chemins de fer suisses. Poids : 29 t.



● Nouvelle voiture tout acier des Chemins
de fer italiens, aménagée en 1^{re}, 2^e ou 3^e classe.



plus anciennes qui n'en sont pas équipées.

La nouvelle voiture des **Chemins de fer de l'État de Suède**, de construction tout acier, a des lignes très modernes et offre un confort remarquable. Elle repose sur des bogies de conception originale (voir page ci-contre).

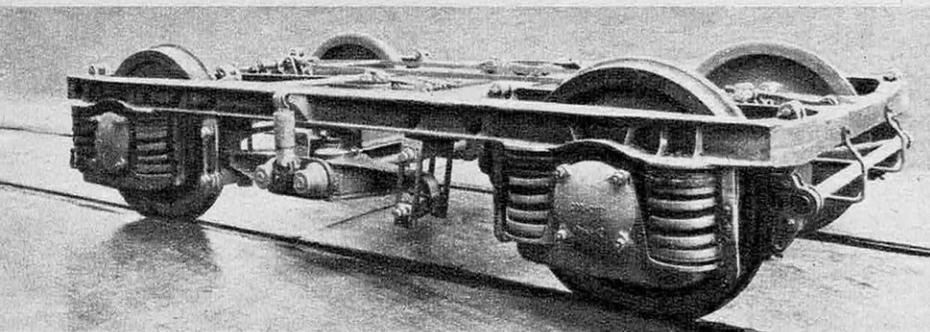
L'aménagement intérieur, conçu sous diverses formes, associe la formule des compartiments et celle de la salle commune avec couloir central. Des compartiments sont spécialement aménagés pour les mamans accompagnées de très jeunes enfants, afin que ceux-ci puissent voyager dans de parfaites conditions malgré la rigueur du climat.

L'**Allemagne** n'a construit pendant les hostilités qu'un petit nombre de voitures de secours, de conception très rustique. Depuis,

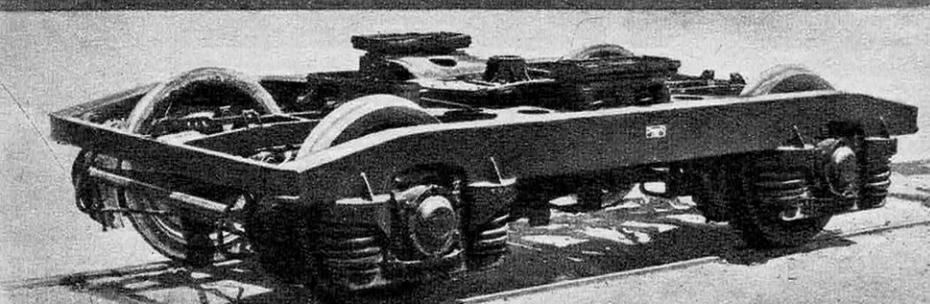
les difficultés économiques ont retardé les constructions nouvelles. Il n'existe encore que quelques prototypes, de conception originale, entre lesquels s'effectuera un choix définitif.

Pour la caisse, deux modes de construction sont en compétition : la conception tubulaire et une autre conception, plus économique et comportant une ossature générale en treillis, supportant, à elle seule, tous les efforts. La tôle de revêtement ne joue alors plus aucun rôle mécanique et peut être fixée par les procédés les plus simples.

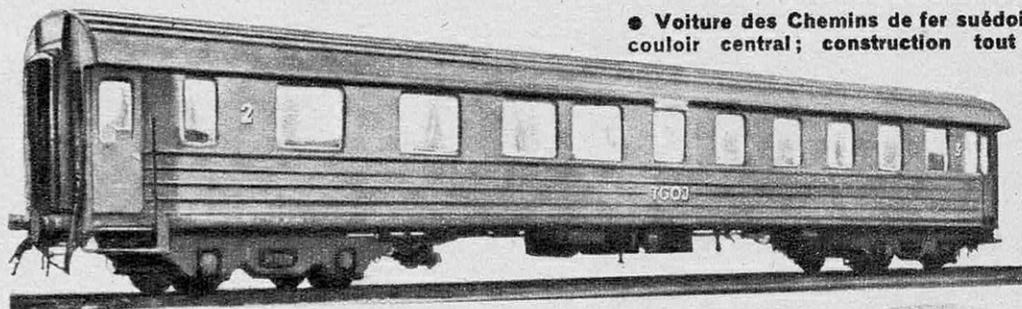
Pour permettre la fabrication en grande série, les aménagements sont unifiés. Par exemple, les compartiments de 2^e et 3^e classes ont les mêmes dimensions, celles d'un compartiment normal de 2^e classe. Mais en 3^e classe



● Les bogies des voitures suisses à deux étages de suspension utilisent des ressorts hélicoïdaux avec amortissement hydraulique et, au second étage, de longs ressorts à lames. Ceux-ci ont été remplacés, dans une version récente (cliché ci-contre) par des barres de torsion avec amortisseurs hydrauliques.

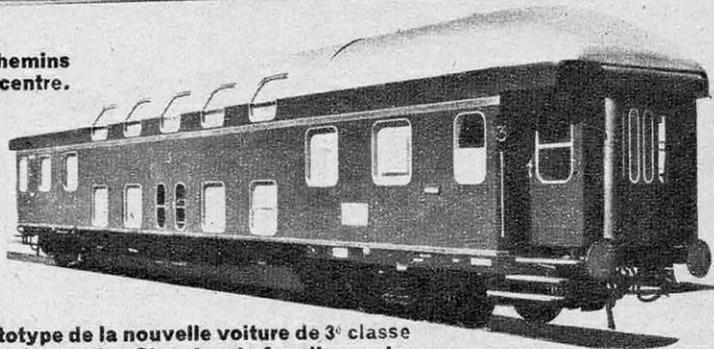


● Les nouvelles voitures italiennes comportent un bogie à trois étages élastiques : ressorts hélicoïdaux entre essieux et corps du bogie, ressorts à lames surmontés de ressorts hélicoïdaux entre bogie et caisse du véhicule. Des patins latéraux lubrifiés, sur blocs de caoutchouc, supportent cette caisse.



● Voiture des Chemins de fer suédois avec couloir central; construction tout acier.

● Voiture de 3^e classe (64 places) des Chemins de fer britanniques avec couloir au centre.



● Prototype de la nouvelle voiture de 3^e classe à deux étages des Chemins de fer allemands.

on trouve, dans le compartiment, des strapon-tins qui augmentent le nombre des places disponibles.

Une variante est constituée, pour la 2^e classe, par des compartiments de surface double, obtenus en supprimant une cloison sur deux. En plus de deux rangées de trois sièges, le long des cloisons transversales, on trouve, au milieu du compartiment, quatre fauteuils mobiles que les voyageurs peuvent placer à leur guise.

Il existe aussi quelques voitures nouvelles à deux étages et qui s'apparentent, par leur aspect, aux voitures de banlieue à étages de la région Ouest. En plan, les dimensions des compartiments sont les mêmes que dans les autres voitures, ce qui permet d'unifier com-

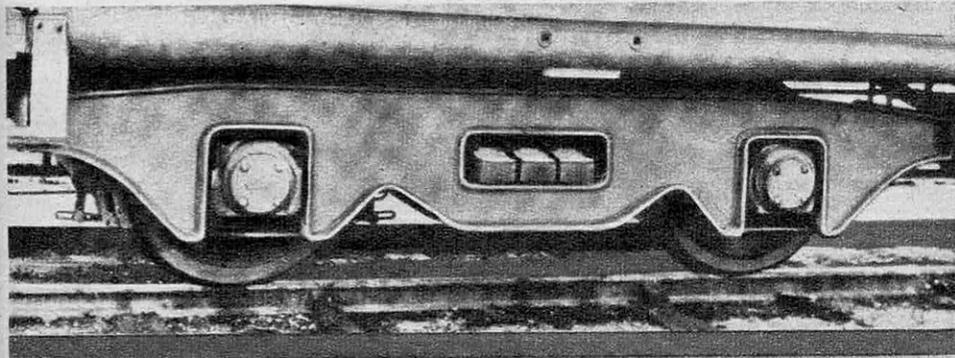
plètement les accessoires : sièges, portes, fenêtres, porte-bagages...

Le chauffage à vapeur, combiné avec le chauffage électrique, est disposé exclusivement le long des parois latérales. Des volets peuvent être ouverts ou fermés pour le réglage ; en position ouverte, ils laissent s'écouler un rideau d'air chaud qui sépare les voyageurs de la cloison extérieure.

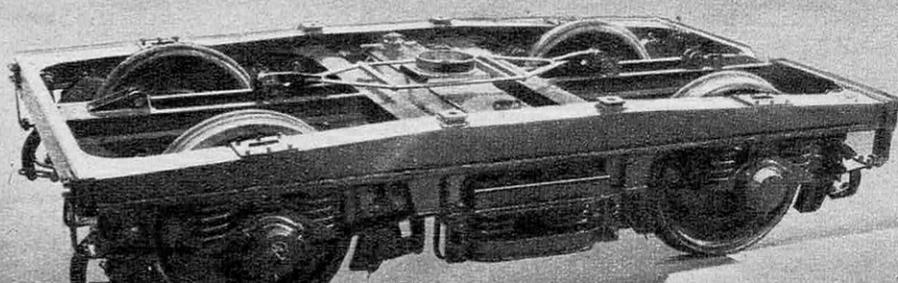
Certaines de ces dispositions sont très nouvelles et il sera intéressant de connaître les résultats obtenus en service normal ainsi que l'accueil qui leur sera fait par les voyageurs.

P. Romestain

Inspecteur Divisionnaire au Service Technique du Matériel et de la Traction



● L'élément élastique des nouveaux bogies pour voitures à voyageurs des Chemins de fer suédois est constitué par des ressorts à « lame unique », donc exempts de frottement. Leurs oscillations sont contrôlées par des blocs de caoutchouc agissant par leur amortissement interne.



● Les bogies des nouvelles voitures prototypes des Chemins de fer allemands possèdent une suspension qui ne comporte aucun ressort à frottement. Seuls sont utilisés sur ces nouveaux bogies des ressorts en hélice, conjugués avec des amortisseurs hydrauliques télescopiques.

LES AUTORAILS EN FRANCE

C'EST que depuis une vingtaine d'années que l'on parle d'autorails (1), dénomination créée vers cette époque pour désigner des engins automoteurs transportant des voyageurs. On avait bien réalisé auparavant quelques véhicules automoteurs, même à vapeur : ce ne furent alors que des tentatives isolées, l'ambiance et l'état de la technique n'étant pas favorables à leur développement.

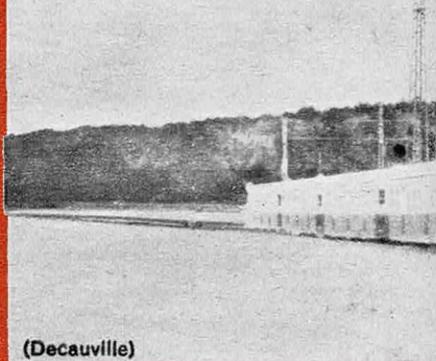
Mais, vers 1930, la concurrence routière donna l'impulsion nécessaire, et toutes sortes d'autorails virent le jour. Ce ne furent, au début, que de petits engins destinés aux lignes secondaires ; puis, très rapidement, on fit des autorails pour des lignes à plus grande fréquentation, ou pour des relations rapides et même luxueuses entre grands centres. Après le temps d'arrêt imposé par la guerre et les restrictions qui l'accompagnèrent, les autorails ont repris leur essor et, dans tous les pays, font des progrès surprenants. La puissance et les dimensions ont crû simultanément, et, actuellement, les autorails ne sont plus de petits engins ; certains sont même les plus grands de tous les matériels de chemin de fer, quant à la longueur hors tout.

La dimension courante des grandes voitures américaines est de 25,91 m entre attelages ; quelques-unes arrivent à 26,22 m. Les plus grandes voitures françaises n'ont pas 24 m hors tampons.

Le tableau ci-dessus donne les dimensions de quelques autorails modernes.

AUTORAILS	Entr'axe des pivots de bogies	Longueur hors tampons
	m	m
600 ch S. N. C. F.....	19	27,73
Budd américain.....	18,14	25,91
Budd français (projet).....	18,90	27,63
Allemand (rames triples).....	19	26,80
Italiens Fiat et O. M.....	20	28
Breda.....	18,50	27

(1) En France, on désigne parfois à tort les autorails sous le nom de michelines : c'est ainsi que Michelin, qui fut un véritable novateur en matière d'autorails légers et contribua grandement à leur succès, appela les autorails sur pneumatiques de sa création. En toute rigueur, ce terme doit être réservé aux autorails montés sur pneus.



(Decauville)



(De Dietrich)

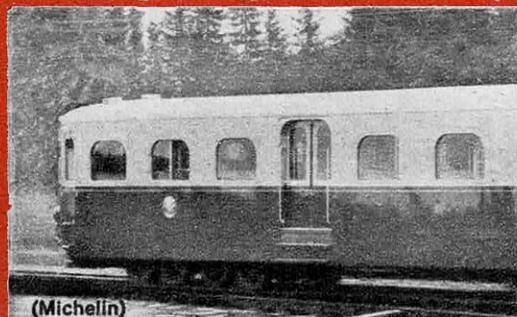


(Budd)

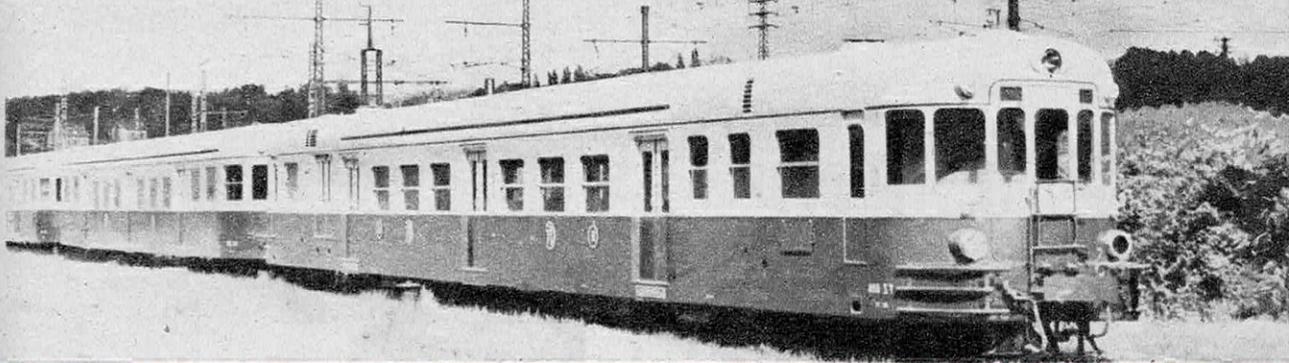


(Société Franco-Belge.)

« MICHELINE » DE 420 CH. POIDS



(Michelin)



RAME DE DEUX AUTORAIS DE 600 CH ET QUATRE REMORQUES (TUNISIE) ↑



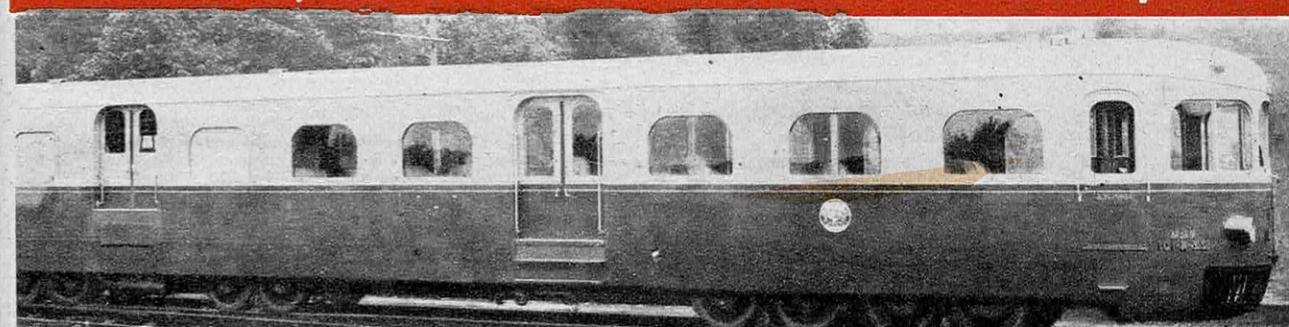
AUTORAIL DOUBLE, ÉQUIPÉ DE DEUX MOTEURS DE 320 CH ↑

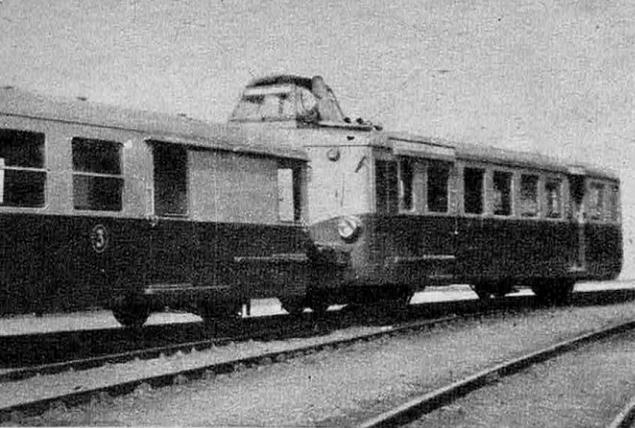


AUTORAIL AMÉRICAIN EN ACIER INOXYDABLE 275 CH × 2) ↑

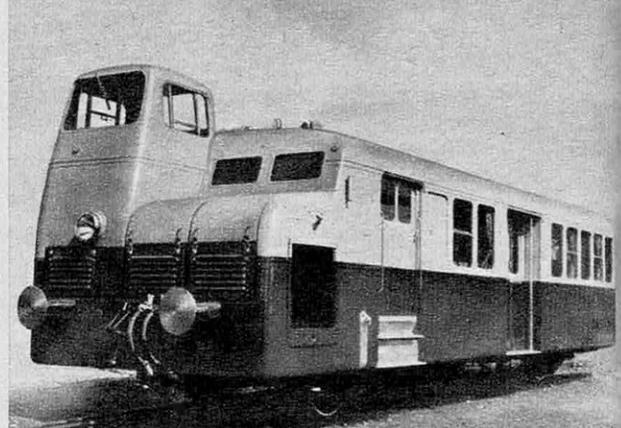


INFÉRIEUR A 22 T ↓ TRAIN AUTOMOTEUR RAPIDE DE 410 CH. VITESSE, 140 KM/H ↑





● L'autorail de 150 ch de la S. N. C. F. a quatre essieux parallèles. Il comporte 66 places, sa remorque 37. Le kiosque permet la conduite dans les deux sens.



● L'autorail de 80 ch de la S. N. C. F. a deux essieux et peut tirer une remorque à deux essieux. Des capots extérieurs permettent de visiter facilement le moteur.

Mais l'accroissement possible des dimensions a une limite et n'est pas suffisant pour fournir la capacité exigée par beaucoup de services : on a été amené soit à atteler deux autorails, soit à faire tirer par l'autorail un véhicule non moteur. On peut, dans la plupart des cas, atteler à un autorail une voiture à voyageurs du type classique, mais ces véhicules sont mal adaptés à cette utilisation : d'un poids trop élevé, d'une forme peu aérodynamique, ils prennent une puissance trop grande. On a donc créé des véhicules spéciaux, appelés « remorques d'autorail », qui sont bien adaptés à ce besoin particulier.

Il y a deux manières possibles de réaliser l'attelage de deux autorails :

— l'attelage peut être constitué — si les autorails sont construits en conséquence — en assurant les liaisons qui permettent de commander de l'un des postes de conduite l'ensemble des deux autorails. On dit alors que les autorails sont « couplés », et l'ensemble forme un « couplage » d'autorails.

— l'attelage peut être réalisé sans que cette condition soit remplie, et il faut un conducteur dans chaque autorail. Les conducteurs des deux autorails communiquent entre eux, pour la concordance des manœuvres, au moyen d'un code de signaux optiques ou acoustiques. On dit alors que les autorails sont « jumelés » ou que l'ensemble forme un « jumelage » d'autorails. Le code de signalisation est le code de jumelage.

Les deux procédés sont également utilisés ; le couplage suppose des autorails du même type et devient délicat lorsqu'il s'agit d'autorails à deux moteurs. Le jumelage permet l'attelage d'autorails quelconques.

LES REMORQUES

Les remorques d'autorails peuvent être soit spécialisées à un type particulier d'autorail, soit utilisées avec divers autorails.

Dans le premier cas, elles forment avec l'autorail un élément automoteur en principe indéformable. Les dispositions sont prises pour assurer la réversibilité de marche. L'élément automoteur peut avoir une composition

plus ou moins importante : un autorail et deux remorques, deux autorails et une remorque, etc. Parfois, plusieurs éléments peuvent être réunis pour former un train automoteur, soit en couplage, soit en jumelage.

Dans le deuxième cas, des remorques en nombre variable (jusqu'à 3) sont attelées à l'autorail, suivant sa puissance et le profil de la ligne. En général, un tel train n'est pas réversible. Cependant, certains autorails munis d'un kiosque de conduite surélevé peuvent être utilisés avec une remorque, aussi bien en tirant celle-ci qu'en la poussant, le conducteur ayant une visibilité suffisante dans les deux sens de marche.

On voit, en somme, que les autorails s'adaptent à des problèmes variés de transport, du moins tant qu'il ne s'agit pas de transporter un nombre de personnes trop élevé : employés en rames à unités multiples et avec remorques, ils peuvent répondre à tous les besoins et transporter jusqu'à 400 voyageurs environ. Jusqu'à présent, toutefois, ils n'ont été prévus que pour des services de jour.

Une utilisation assez fréquente, que permet l'autonomie de circulation des autorails, est leur location à une société ou à un groupement, pour un voyage choisi, suivant un horaire répondant très sensiblement à la demande.

DIVERS TYPES D'AUTORAILS

On classe les autorails en trois catégories, suivant qu'ils sont destinés à la desserte des petites lignes, à celle des lignes à trafic moyen ou aux relations rapides entre grands centres.

Dans la catégorie des autorails de petites lignes rentrent tous les engins de 80 à 200 ch (1) pouvant atteindre 100 km/h. Ce sont surtout des autorails à deux essieux. Mais on trouve aussi, dans cette catégorie, des autorails à quatre essieux parallèles, ou à un essieu et un bogie, ou à deux bogies. Leurs remorques sont généralement à deux essieux également. La

(1) La puissance des autorails est la puissance « installée » et non la puissance à la jante ou au crochet. Elle n'est pas utilisée uniquement par la traction, mais sert également à l'entraînement des auxiliaires : compresseurs, dynamos, etc.

plupart sont à classe unique (3^e classe).

On range également dans cette catégorie des autocars transformés pour circuler sur rails.

Dans la catégorie des autorails de lignes à trafic moyen, on trouve des autorails de 200 à 600 ch, pouvant atteindre 120 km/h. Ce sont principalement des autorails à deux bogies. Il en existe cependant à deux caisses sur trois ou quatre bogies. Leurs remorques sont à bogies. Ils pourraient évidemment tirer des remorques à deux essieux, mais la vitesse de ces dernières est le plus souvent limitée à 100 km/h, ou même moins. Ce sont des autorails à classe unique ou à deux classes.

Les autorails pour relations rapides entre grands centres sont des engins d'au moins 300 ch et pouvant atteindre 1 000 ch. Ils sont capables de vitesses supérieures à 120 km/h et parfois même peuvent dépasser 140 km/h.

Ce sont tous des autorails à bogies à une ou plusieurs caisses. Très souvent, ces autorails font partie d'un élément automoteur comprenant plusieurs unités. Leurs remorques sont généralement des remorques spéciales, incorporées dans les éléments automoteurs.

Les formes de ces autorails sont étudiées en vue des vitesses élevées.

L'aménagement de ces autorails et des remorques est plus confortable que dans les autres catégories ; il est souvent luxueux et on y trouve parfois un service de restaurant.

Ce classement en trois catégories ne peut être rigoureux et présente, bien entendu, des exceptions ; c'est ainsi que l'élément automoteur allemand pour relations à petite distance se classerait dans la deuxième catégorie au point de vue « qualité du service », bien que sa constitution et sa puissance soient plutôt celles des autorails de la troisième catégorie.

LA RECHERCHE DE LA LÉGÈRETÉ

Les autorails ont été conçus pour diminuer le prix de revient des transports ; ils sont donc établis pour atteindre le rendement maximum.

Sauf pour les petites puissances — jusqu'à 180 ou 200 ch — on ne trouve pas, sur le marché, de moteurs de type industriel utilisables dans les autorails. On ne dispose que de quelques types de moteurs spéciaux de plus de 200 ch (il est d'ailleurs très intéressant pour l'entretien de n'avoir que quelques types).

A une puissance donnée correspond pratiquement un poids limité en charge permettant la performance désirée (1). Il s'agit d'utiliser au mieux ce poids pour transporter le maximum de voyageurs : il faut donc construire robuste et léger à la fois.

D'autres considérations sont également favorables à la recherche de la légèreté :

— les trains-autorails ne sont jamais très longs, et, en raison de la faiblesse relative des masses en mouvement, leur résistance n'a pas besoin d'être aussi importante que celle des trains ordinaires, dont le tonnage peut atteindre un millier de tonnes ;

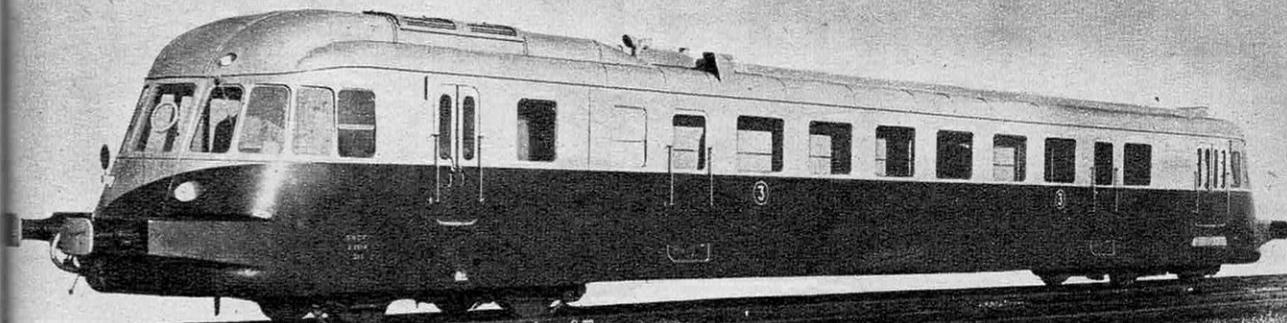
— les progrès de la technique démodent plus vite les autorails que les autres matériels. Il n'y a pas lieu de prévoir une durée d'amortissement importante et une solidité qui dépasse quinze ans.

À titre d'exemple d'allègement, mentionnons seulement deux matériels récents de la S.N.C.F. D'une part, l'autorail de 600 ch, dont la tare est inférieure à 41 t ; si l'on tient compte que, dans ce poids, entrent 12,5 t d'équipement moteur, il reste un véhicule à deux bogies de près de 28 m de long, qui ne pèserait que 28,5 t. Or les plus légères voitures de grandes lignes, de 23,5 m de long, pèsent près de 30 t, grâce à l'emploi d'acier inoxydable. D'autre part, la petite remorque à deux essieux pour autorails de 150 ch a 10,930 m de longueur hors tampons et pèse seulement 6 t.

La construction des autorails est, en outre, conditionnée par la facilité d'entretien : organes simples, robustes et accessibles.

C'est principalement dans ce but de simpli-

(1) Pratiquement, il faut une puissance de 6 à 10 ch à la tonne suivant les services.



● L'autorail de 300 ch est le modèle classique des autorails construits par la Régie Renault. Sa trans-

mission est du type mécanique. La S. N. C. F. possède plus de 100 autorails de ce modèle, qui est aussi exporté.

citée que certains autorails ont un kiosque de conduite surélevé : on peut, de ce poste, commander directement la marche dans les deux sens sans employer de dispositif de commande à distance, les mécanismes moteurs étant situés au-dessous du kiosque.

COMMENT EST CONSTITUÉ UN AUTORAIL

Un autorail comporte essentiellement : un équipement moteur, et des aménagements pour les voyageurs et les bagages.

Suivant la disposition de l'équipement moteur, on peut distinguer : les autorails avec moteur dans la caisse, les autorails avec moteur sur bogie, les autorails avec moteur sous la caisse.

La première disposition s'inspirait directement des autocars ; elle est encore très répandue et a des avantages certains, entre autres la bonne protection des moteurs qui sont à l'abri des projections auxquelles sont soumis les organes placés sous châssis. C'est la seule disposition pratiquement possible pour les moteurs de grande puissance.

Généralement, le moteur est à l'une des extrémités de la caisse, plus rarement au centre.

Lorsqu'il y a deux moteurs, ils sont d'habitude chacun à une extrémité ; on trouve cependant des autorails avec deux (ou même quatre) moteurs au centre. Ce n'est qu'exceptionnellement que l'on trouve des moteurs côte à côte à une extrémité.

Sur un assez grand nombre d'autorails actuellement en service, les moteurs et les transmissions sont montés sur les bogies. Cette disposition favorise l'entretien en groupant

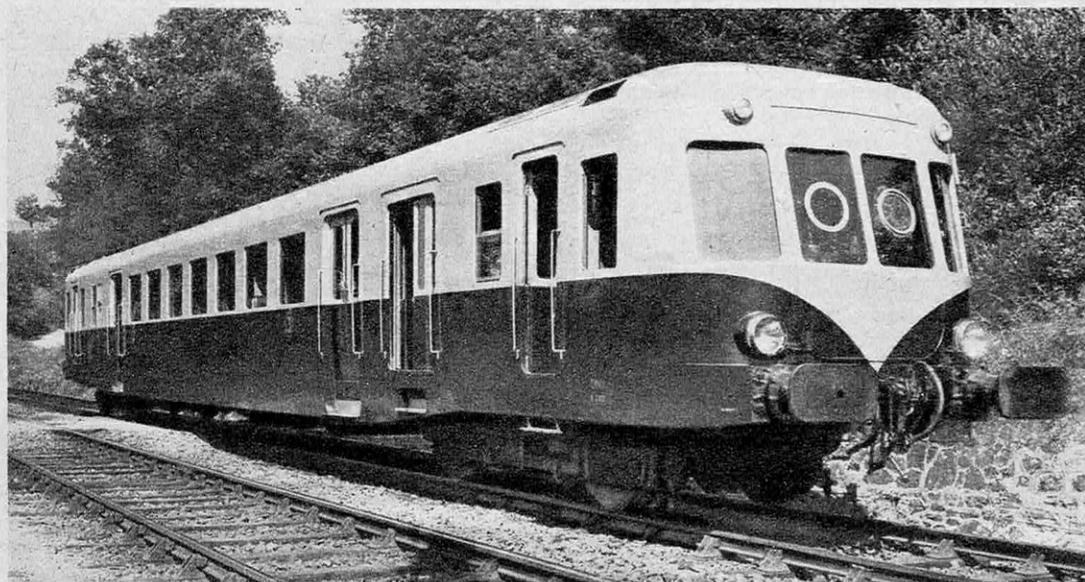
les organes qui nécessitent des opérations périodiques assez nombreuses. Si le changement d'un moteur s'impose, il est relativement aisé sans immobilisation importante de l'autorail : il suffit de remplacer le bogie. Mais le moteur est moins bien suspendu, moins bien protégé, et les liaisons entre le moteur et ses accessoires montés sur la caisse (alimentation, refroidissement, etc.) sont plus compliquées à établir à cause des débattements nécessaires.

La disposition du moteur sous la caisse est la dernière qui ait été imaginée : elle permet l'utilisation maximum de la surface du plancher pour les aménagements. Elle suppose des moteurs d'un encombrement assez réduit pour qu'ils puissent se loger : ce sont, en général, des moteurs à cylindres horizontaux.

MOTEURS ET TRANSMISSIONS

Les autorails modernes sont tous des autorails à moteur diesel. Bien que le poids de ce moteur soit plus élevé que celui du moteur à essence de puissance équivalente, son prix de revient kilométrique est plus avantageux, et il s'impose maintenant dans tous les cas. Ce n'est que dans certains autorails dont la conception exigeait un poids très réduit (autorails Michelin sur pneumatiques), ou lorsque la technique du moteur diesel n'était pas assez évoluée pour permettre d'installer une grande puissance dans un encombrement limité (autorails Bugatti), que l'on a fait appel aux moteurs à essence.

L'énergie du moteur est transmise aux essieux par un certain nombre d'organes qui constituent la transmission. Celle-ci peut être : mécanique, hydraulique ou électrique (voir la Traction diesel, page 84).



● L'autorail de 600 ch de la S. N. C. F. est équipé de deux moteurs développant chacun 300 ch et d'une transmission mécanique. C'est le plus grand des

autorails à deux bogies de la S. N. C. F. Seul, il peut circuler à la vitesse de 140 km/h ; avec trois remorques à bogies et en rampe de 15 mm/m, il atteint 60 km/h.



● Pour la desserte de quelques lignes secondaires à faible trafic, on a transformé des autocars en autorails. A gauche, un autocar Floirat en essai sur route ;

à droite, le même engin sur rail. Peu de modifications ont été apportées : les roues ont été changées et la direction bloquée ; le moteur est demeuré le même.

LES CAISSES

Nous avons déjà signalé les longueurs importantes de certains autorails ainsi que leur légèreté : c'est dire que les constructions d'autorails et, en particulier, celles de leurs caisses, qui en sont les plus gros éléments, sont un peu spéciales si on les compare aux autres matériels de chemin de fer. Ainsi la caisse de l'autorail 600 ch de la S. N. C. F., malgré sa longueur, est réalisée en éléments pliés ou emboutis dont l'épaisseur maximum n'est que de 3 mm.

Les charpentes des caisses sont toujours métalliques. Elles sont constituées, suivant les cas, par deux poutres latérales formant les faces, entretoisées par le châssis et le pavillon, ou par une poutre tubulaire comprenant l'ensemble de ces éléments ; les poutres formant face peuvent être à âme pleine (au-dessous des baies), ou à treillis (de différents modèles), ou à montants verticaux sans diagonales (poutre Vierendeel). Les différents éléments de charpente sont réalisés pour obtenir le maximum de légèreté : emploi de pliés, d'étirés ou d'emboutis (de préférence aux profilés laminés), et évidés au maximum.

La majorité des charpentes sont en acier ; cependant, quelques-unes ont été exécutées en alliage d'aluminium ; on trouve aussi, dans beaucoup de cas, des charpentes avec membrures en acier et revêtements extérieurs en alliage d'aluminium (en totalité ou partiellement). Les aciers utilisés sont le plus souvent des aciers ordinaires, quelquefois des aciers spéciaux de résistance atteignant 60 kg/mm². Les aciers inoxydables n'ont été, pour le moment, utilisés que sur les autorails américains (autorails Budd). D'ailleurs, pour les autorails de grande longueur, l'intérêt des aciers à haute résistance décroît par suite de l'importance des sections de métal qu'imposent alors les flèches admissibles (le module d'élasticité étant sensiblement le même pour tous les aciers) plus que les considérations de fatigue.

Les revêtements extérieurs sont parfois compris dans les calculs de résistance.

La soudure est d'un emploi général pour les assemblages de charpentes.

A l'intérieur, les matériaux utilisés pour le revêtement des charpentes sont très divers : bois contre-plaqués ou reconstitués, alliages d'aluminium, matières plastiques, tissus ou texoids, linoléum et combinaisons diverses de ces éléments, sans compter tous les multiples produits employés à l'insonorisation et à l'isolation.

L'aménagement varie avec les classes et avec les services auxquels sont destinés les autorails. La disposition que l'on retrouve le plus fréquemment est celle de sièges placés dos à dos de part et d'autre d'un couloir central dans de grands compartiments. Certains autorails sont équipés de sièges réversibles. Comme dans les autocars, les voyageurs ne disposent généralement que de porte-bagages placés le long des parois au-dessus des fenêtres. Cependant, pour offrir plus de place, les autorails de la S. N. C. F. sont maintenant munis de porte-bagages installés au-dessus de chaque place de voyageur. La plupart ont, en outre, un compartiment à bagages.

Tous les autorails et remorques modernes comportent un cabinet de toilette.

Quelques-uns sont munis d'éclairage fluorescent. Les autres sont équipés de lampes à incandescence.

Pour le chauffage, on dispose de deux sources de chaleur gratuites : les gaz d'échappement et l'eau de refroidissement des moteurs. Ces deux fluides sont employés par circulation dans des radiateurs ; mais les gaz d'échappement sont de moins en moins utilisés en raison des inconvénients qu'ils présentent (émanations, risques d'incendie). Quelques autorails sont munis d'une chaudière alimentant des radiateurs à eau chaude : c'est la disposition que l'on trouve également dans beaucoup de remorques. Certaines de celles-ci sont cependant munies d'une distribution d'air réchauffé dans un échangeur à brûleur de gas-oil. Pour les remorques de toute petite capacité, un poêle à charbon suffit.

LES ATTELAGES

Au début, certains autorails n'avaient pas d'attelage, mais seulement un dispositif quelconque leur permettant de se faire remor-



← L'autorail allemand à deux essieux, avec moteur de 110 ch sous la caisse et deux postes de conduite, peut transporter 54 personnes assises. Sa remorque comporte 34 places et un compartiment pour les bagages.

→ L'autorail Italien Breda est équipé d'un moteur horizontal de 480 ch monté sous la caisse. A chacune des extrémités, une porte permet le développement d'un soufflet d'intercirculation lors de l'accouplement avec un autre élément.

quer en cas de panne. Actuellement, tous les autorails sont munis d'attelages.

En Europe, la grande majorité ont un attelage classique à tendeur central et tampons latéraux, mais d'un type allégé : c'est la disposition la plus commode pour éviter les avaries lors d'accostages irréguliers et permettre la remorque de n'importe quel autre véhicule à tampons.

Mais cet attelage n'est pas très aérodynamique, surtout pour les autorails de grande longueur qui, pour la circulation en courbe, exigent des tampons ayant jusqu'à 0,70 m de largeur. Aussi certains autorails, plus particulièrement les automoteurs rapides qui n'ont pas à prendre de remorques, sont-ils munis d'attelages automatiques.

L'INTERCIRCULATION

Les dispositions généralement adoptées jusqu'à présent pour les autorails : moteurs dans la caisse ou sur bogies, se prêtent mal à la circulation de bout en bout des voyageurs qui devraient passer le long des moteurs. D'autre part, la recherche d'extrémités aérodynamiques rend difficile l'installation d'organes d'intercirculation. Aussi la possibilité de circulation entre autorails attelés ou entre autorail et remorque n'a-t-elle été généralement prévue que dans des éléments automoteurs de composition définie. Très souvent alors, la liaison entre véhicules voisins comporte une gaine élastique qui assure la continuité de leurs surfaces extérieures.

Mais, avec les autorails avec moteur sous la caisse, il devient possible de circuler : des dispositions originales ont été imaginées pour adapter des soufflets et des passerelles même sur les extrémités profilées des autorails.

ROULEMENT ET SUSPENSION

Les essieux d'autorails comportent généralement des axes en acier spécial avec roues monobloc et boîtes à roulements.

Certains autorails ont des essieux creux.

Mais, en raison des charges peu élevées qui n'imposent que des diamètres d'axes relativement faibles, le gain de poids obtenu par les essieux creux est minime et revient cher.

Il existe également des roues bandagées, soit sur centres en acier, soit sur centres en alliage léger (ces derniers en petit nombre seulement). Quelques autorails sont munis de roues élastiques dans lesquelles la jante est reliée au centre par l'intermédiaire de caoutchoucs (couronnes ou blocs). Citons enfin, pour mémoire, les roues Michelin sur bandage pneumatique avec boudin en acier.

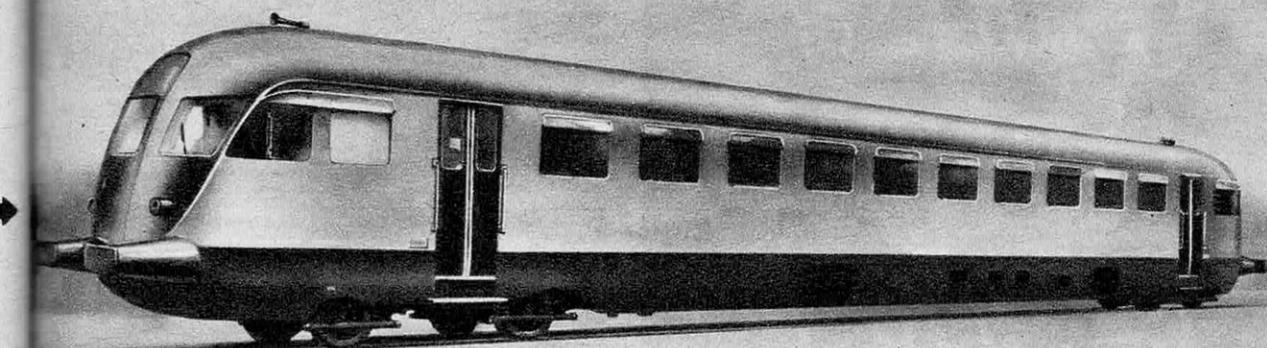
Les roues sont emmanchées à la presse sur portées cylindriques, ou serrées sur portées coniques ; dans ce cas, les boîtes d'essieu sont entre les roues.

Ce n'est que dans des cas bien particuliers — roues sur pneumatiques par exemple — que l'on a fait des bogies d'autorail à plus de deux essieux. Normalement, les charges par essieu sont assez faibles pour n'avoir besoin que de deux essieux par bogie.

L'expérience a montré que le confort est meilleur avec des bogies à double suspension : un premier groupe de ressorts (suspension primaire) assure la suspension du châssis de bogie sur les boîtes d'essieux ; la caisse repose sur le châssis du bogie par l'intermédiaire d'un deuxième groupe de ressorts (suspension secondaire). Des ressorts en hélice conjugués avec des amortisseurs donnent des suspensions légères et confortables ; ils sont parfois combinés avec des ressorts en caoutchouc.

En vue de les alléger, les châssis de bogies sont constitués en tôles d'acier soudées. Une grande rigidité est obtenue par l'emploi de longerons et traverses en caissons ; parfois, ces caissons sont utilisés comme réservoirs d'air pour les freins.

On s'efforce, dans les bogies modernes, d'éviter toute usure par frottement, dans les débattements possibles, soit entre boîtes et châssis de bogie, soit entre châssis de bogie et caisse. Les anciens dispositifs à glissières sont remplacés par des organes articulés. Quand, cependant, des surfaces de glissement sont



nécessaires, elles sont faites en acier dur au manganèse.

Il devient maintenant classique de ne plus faire reposer la caisse sur un pivot de bogie, mais de la suspendre en deux points au droit des ressorts de la suspension secondaire. Le pivot n'a plus qu'un rôle d'orientation et d'entraînement ; il est parfois fictif, les liaisons caisse-bogie étant obtenues par des organes disposés pour assurer ce même rôle — câbles ou bielles — et dégager le centre du bogie pour permettre le passage de la transmission du mouvement entre le moteur et les essieux.

LES FREINS

Le frein classique des autorails est le frein à air comprimé, comme pour les autres matériels sur rails, mais il n'est pas toujours installé de la même façon.

Pour simplifier et alléger les timoneries, les autorails modernes comportent de nombreux cylindres de frein, quelquefois deux par roue.

La plupart des autorails sont freinés par des sabots agissant sur les bandages, deux à quatre sabots par roue. On trouve encore des autorails avec freins à tambour, comme dans les automobiles, mais ce sont surtout des autorails légers pour lesquels il est possible, en raison de la place réduite dont on dispose, de limiter la pression spécifique des garnitures de frein à une valeur compatible avec leur durée.

Un nouveau mode de freinage apparaît en ce moment sur les autorails : c'est le frein à disques que l'on trouve sur les autorails américains et sur certains autorails allemands. Sur l'essieu sont calés un ou deux disques en fonte autoventilés, sur la face desquels agissent des mâchoires munies de garnitures spéciales, soumises à l'action directe des cylindres de frein. Cette disposition permet d'obtenir des freinages très énergiques, tout en espaçant notablement les révisions pour changement de garnitures.

On trouve, en outre, sur un certain nombre d'autorails, des freins magnétiques agissant

par l'application de patins sur le rail. Ce freinage est indépendant de l'adhérence et ne nécessite pas, comme les autres, un dispositif régulateur pour éviter le patinage des roues. Il n'est pas utilisé comme frein normal de service, mais comme dispositif de secours.

L'AVENIR DES AUTORAILS

Les autorails sont en progrès permanent, en quantité et en qualité.

La guerre n'a pas permis de renouveler et d'accroître le parc d'autorails comme il eût été désirable. Certains sont encore d'un modèle ancien ; leur nombre est insuffisant pour répondre à tous les besoins. Cependant ils assurent un service important : sur les lignes de la S. N. C. F., plus de 30% des parcours de trains de voyageurs sont actuellement faits par autorails. Le rajeunissement et l'accroissement du parc que procureront bientôt les matériels en cours de fabrication vont permettre d'augmenter encore les services rendus.

Leur évolution technique est loin d'être terminée. De nouveaux moteurs plus puissants ou moins encombrants sont en essai ou en cours d'étude, ainsi que des transmissions mieux adaptées. De nouveaux matériaux, dans le domaine des matières plastiques en particulier, laissent entrevoir des progrès dans l'allègement, l'insonorisation, l'esthétique. Les procédés de construction offrent également des facilités nouvelles : soudure par résistance en atmosphère d'argon, collage à l'araldite, etc. Dans chacune des catégories d'autorails, il sera encore possible d'améliorer les qualités spécialement recherchées : simplicité, robustesse, légèreté, confort, vitesse et économie.

Dans la concurrence entre les différents moyens de transport, l'autorail et le train automoteur peuvent beaucoup pour retenir ou faire revenir les voyageurs à la voie ferrée, grâce à cet ensemble de qualités difficiles parfois à réunir.

M. Despouy

Ingénieur à la Division des Études de Traction
à Moteurs Thermiques de la S. N. C. F.

Confort AMÉRICAIN

Confort EUROPÉEN



● Sur la ligne Saint Louis-Chicago du Wabash Railroad « Blue Bird » (460 km à 85 km/h de moyenne) comportent

DÉJÀ, avant la guerre, le voyageur européen ne pouvait se défendre d'envier le confort raffiné des rapides américains de grands parcours. La principale raison des aménagements luxueux de ces véritables « paquebots du rail » est la durée des trajets entre les grandes villes des États-Unis : 12 h de Baltimore à Cincinnati par les trains les plus rapides, 13 h de Cincinnati à New Orleans, 19 h de Saint Louis à Atlanta et environ 55 h de New York à Los Angeles. Sur ces trajets circulent quelques rames luxueuses, spécialement aménagées pour vaincre l'ennui des voyageurs et leur donner des moyens de détente physique et intellectuelle.

Ces aménagements reflètent d'ailleurs la

mentalité particulière au voyageur américain, qui se traduit par une camaraderie de bon aloi entre compagnons de voyage et, aussi, par une discipline très librement consentie dans les rapports entre individus, la liberté de l'un finissant là où commence celle de l'autre.

D'autre part, pour lutter contre les progrès incessants de l'avion qui transporte les voyageurs de l'Est à l'Ouest en 12 à 13 h de vol, les Chemins de fer américains ne pouvaient, pour retenir leur clientèle, que lui donner un luxe raffiné et un confort que l'avion ne peut fournir. C'est pourquoi, depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, les réseaux américains ont construit un matériel d'un luxe et d'un confort extraordinaires.



● Cette voiture aménagée en bar-salon permet aux passagers du « Blue Bird » de prendre quelque délassément. Ce train comporte aussi une voiture panoramique.



● Le « Sunset Limited » relie les côtes du Sud et trouve un groupe de trois élé



es « coach » du rapide « Blue
rés luxueux aménagements.



● Ce « coach » de luxe du Lackawanna Railroad, sur la ligne New York-Buffalo est monté sur roulements à rouleaux. Il comporte 62 fauteuils inclinables.

Un grand rapide américain de long parcours comporte toujours des voitures-lits, une ou deux voitures-restaurant selon l'importance du train, et une voiture « bar-observation » située à l'arrière.

Il n'y a, en effet, pas de fourgon de queue sur la majorité des trains, et la plate-forme arrière de la voiture-observation permet aux voyageurs de se délasser en admirant, sans aucune gêne, le paysage ; on peut, en quelque sorte, changer d'air pendant le voyage. Dans ces trains, on trouve une ou plusieurs voitures « coach » pour les parcours de jour, les autres étant des voitures Pullman très luxueuses.

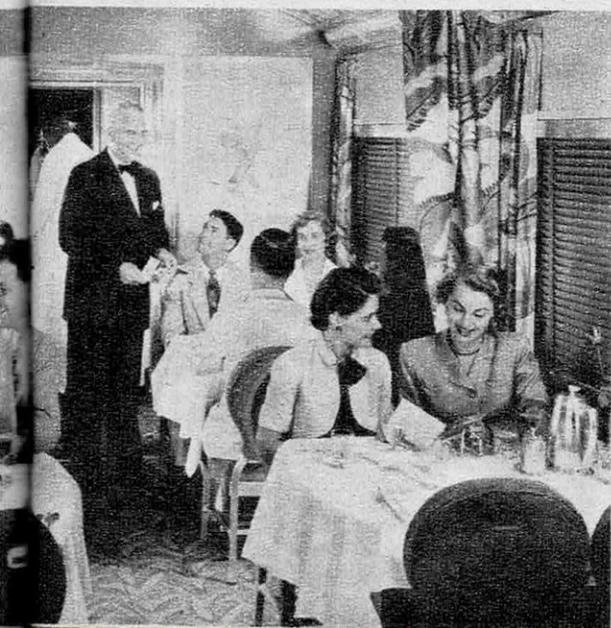
Rappelons qu'aux États-Unis il n'y a que

deux classes : la voiture « coach » et le Pullman, qui comprend lui-même des voitures-salons et des voitures-lits.

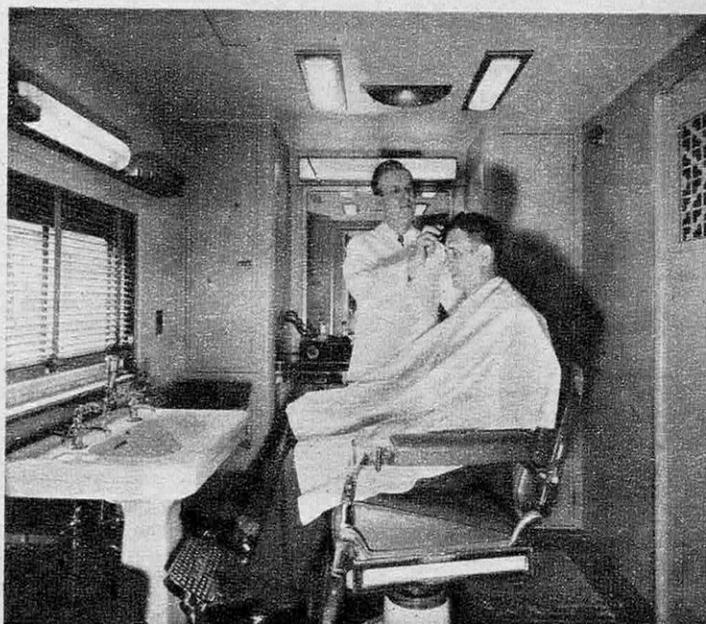
Les « coach » sont la propriété de chaque compagnie. Les voitures Pullman, soit salons, soit voitures-lits, sont la propriété de la Pullman Co ; néanmoins, certains réseaux possèdent les leurs en propre, tels le Chicago-Milwaukee-Saint Paul and Pacific, le Pennsylvania, etc...

VOITURES « COACH »

Une voiture « coach » comprend un grand compartiment traversé par un couloir central, de part et d'autre duquel se trouvent des



Los Angeles à New Orleans (3 288 km en 48 h). On y
ents articulés où sont logés bar, cuisine et restaurant.



● Sur les longs parcours, certaines voitures sont équipées d'un salon de coiffure (Union Pacific Railroad).

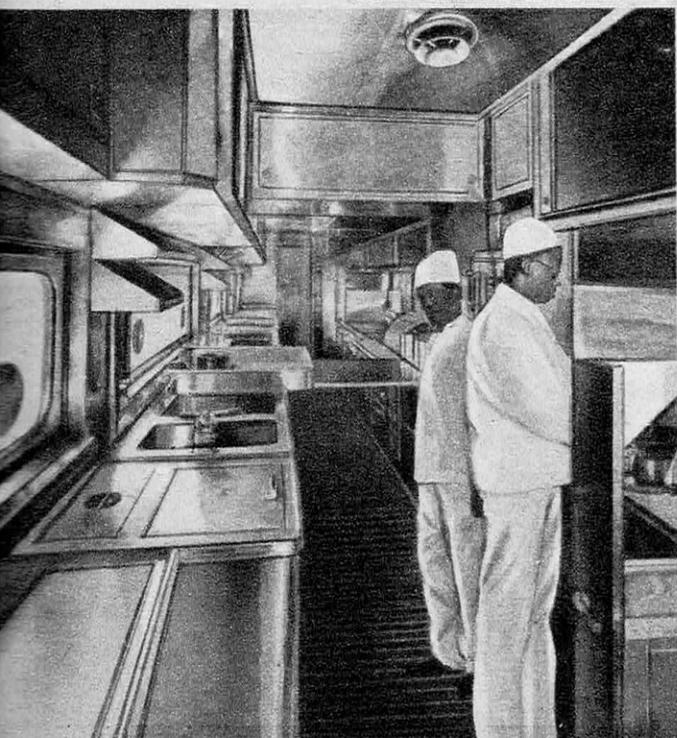


● Lunch dans la voiture bar-salon de l'« Empire Builder » (Great Northern RR) reliant Seattle et Portland à Chicago (3 560 km en 54 h).

● La voiture salon de ce train est spacieuse. La décoration est inspirée par les Indiens qui habitaient les régions qu'il traverse.

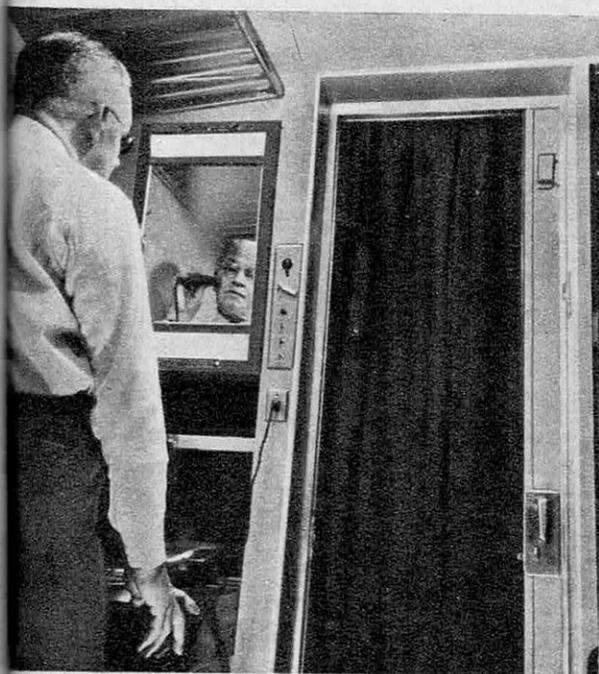


● Cette cuisine, avec réfrigérateur, tables chauffantes et machine à laver la vaisselle, est celle d'une voiture-restaurant.

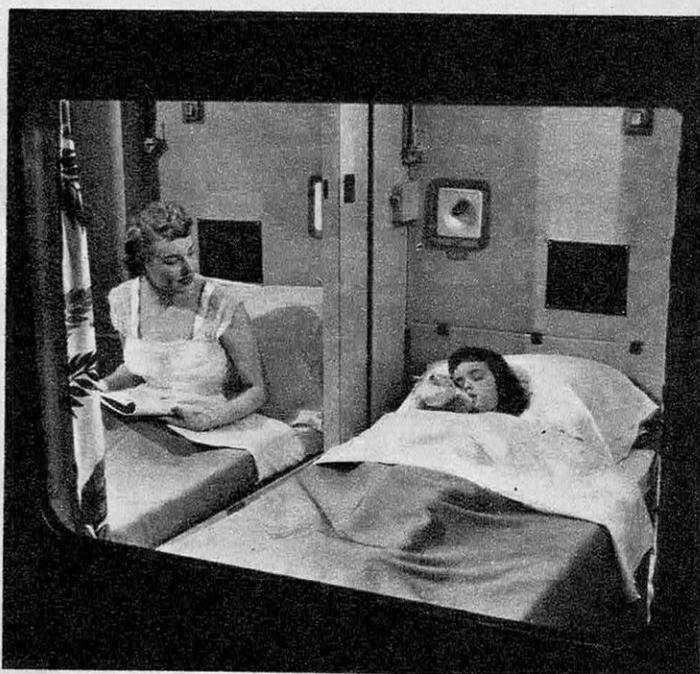


● Dans certains trains américains, comme en avion, des repas individuels peuvent être servis aux voyageurs qui ne désirent pas se rendre au wagon-restaurant. Un repas complet leur est présenté sur un plateau couvert dans des plats et des timbales en carton que l'on jette après usage.





● Bordant un couloir central, les « roomettes », bien qu'exiguës, réunissent tous les éléments du confort.



● Dans une voiture-lits à couloir latéral, une cloison repliable sépare les compartiments, plus spacieux.

rangées de fauteuils avec appuis-tête, analogues aux sièges des autocars. Il y a quatre sièges par rangée, au total 80 places assises par « coach ». A une extrémité de la voiture, il y a un compartiment-fumoir réservé aux hommes, avec toilette ; à l'autre extrémité, un compartiment de repos pour les dames, avec coiffeuses et toilette. Cette disposition est absolument générale aux États-Unis.

Les sièges du « coach » peuvent être orientés dans le sens de la marche du train ou en sens inverse. Mais, au départ, ils sont placés dans le sens de la marche du train et les voyageurs ne jugent pas utile d'en changer la disposition.

Des porte-bagages longitudinaux sont disposés le long des parois. Les fenêtres sont généralement à doubles glaces et fixes, toutes les voitures modernes possédant le conditionnement d'air. Des ventilateurs créent une circulation d'air en cas de panne du système de conditionnement. A l'intérieur de chaque « coach », on trouve toujours de l'eau glacée à boire — cela fait partie de la vie américaine — avec des appareils distributeurs de gobelets. Enfin, dans certains « coach », on peut fumer ; dans d'autres, cela est interdit.

Cette disposition de salle commune pour 80 personnes n'est concevable qu'à la condition qu'une propreté rigoureuse soit maintenue. Aussi, en plus du contrôleur de tickets, y a-t-il, dans le train, un personnel spécial chargé de l'entretien.

Certains « coach », sur les grands parcours, ont à une extrémité une soute à bagages non fermée, placée sous la seule surveillance du public et où chaque voyageur met ses gros bagages ; car, en général, on n'admet dans

les porte-bagages de la voiture que des objets légers : imperméables, serviettes en cuir ou petites mallettes.

VOITURES PULLMAN DE JOUR

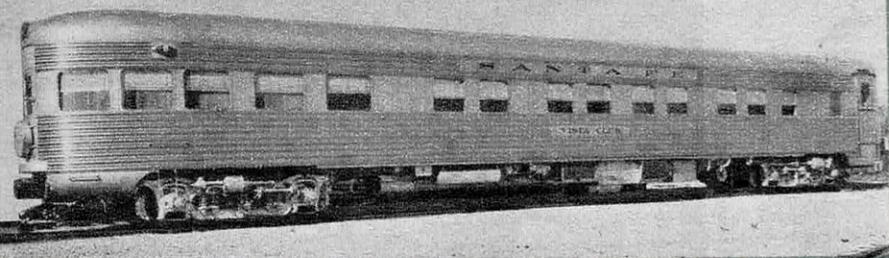
Les voitures-salons Pullman, pour voyages de jour, ont les mêmes dispositions générales que les « coach », mais elles sont beaucoup plus luxueuses. Les sièges sont de vastes fauteuils individuels tournant dans tous les sens. Le nombre de voyageurs par voiture est, de ce fait, limité à 26 ou 28, au lieu de 80 dans un coach. A une extrémité, on trouve généralement un petit compartiment-salon pour trois ou cinq personnes.

Chaque voiture Pullman porte un nom : « Fort Mason », « Juniata Narrows », « North Carolina », par exemple. Un employé, toujours de couleur, lui est affecté ; le nom de cet employé est affiché à une extrémité de la voiture.

VOITURES-RESTAURANT

Ces voitures, analogues aux nôtres, sont divisées en une partie cuisine-office et une partie salle à manger. Dans quelques trains de grands parcours et de luxe, tels que le Broadway Limited, il y a deux voitures-restaurant. Une disposition particulière a été essayée par le réseau Pennsylvania, qui a mis récemment en service une voiture-restaurant formée de trois caisses reposant sur quatre bogies, la caisse centrale étant réservée à la cuisine et ses dépendances (1).

(1) En Angleterre, on trouve une disposition analogue, le restaurant étant en réalité composé de trois unités : une voiture-cuisine encadrée par deux voitures-salles à manger, correspondant chacune à une classe de voyageurs, première ou troisième.



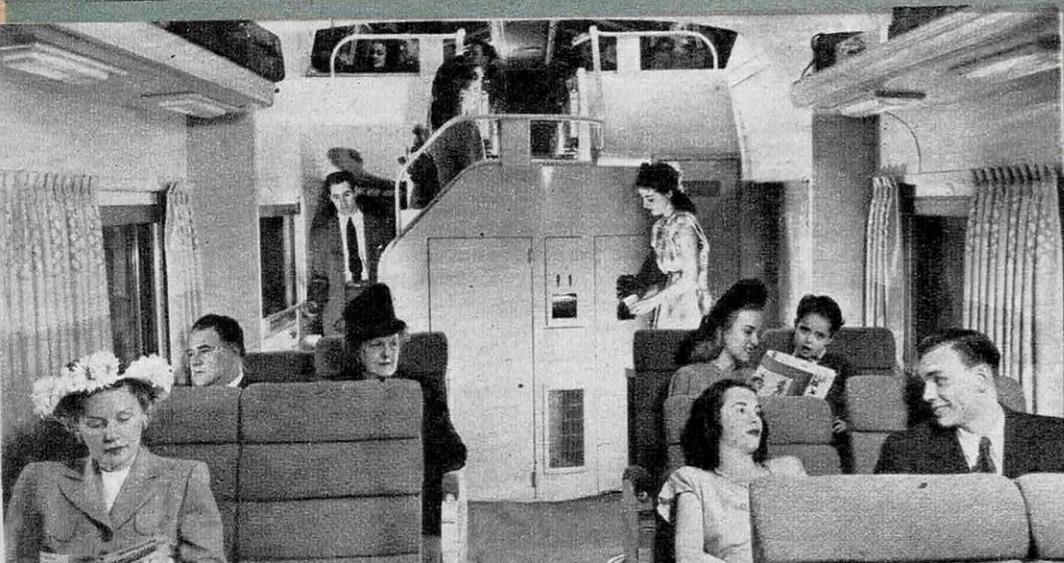
VOITURES-OBSERVATION DE

Pour lutter contre l'avion, les réseaux ferrés américains ont construit un matériel d'un luxe et d'un confort extraordinaires. Un grand rapide comporte toujours, outre les voitures-lits et les voitures-restaurants, une voiture-



VOITURE "COACH" AMÉR

Deux trains du Burlington Railroad : le «Twin Cities Zephyr» reliant Chicago à Minneapolis et Saint-Paul (703 km) et le «Denver Zephyr», Chicago-Denver (1 664 km), sont composés de voitures «coach» à dôme



ION DES CHEMINS DE FER AMÉRICAINS

observation située à l'arrière. Ci-contre, une des voitures « lits-observation » du Santa Fe Railway, et, sur le cliché de gauche, l'aménagement du salon-observation qui peut recevoir seize voyageurs : les fauteuils sont orientables. A droite, l'intérieur d'une voiture « bar-observation » en service sur le Chesapeake and Ohio Railway.



AMÉRICAINNE A DOME PANORAMIQUE

panoramique (ci-contre). Ces voitures sont équipées de sièges à dossier réglable. La photographie de gauche montre l'accès au dôme par un escalier intérieur ; sous l'escalier sont installés la bouche de chaleur, l'appareil distributeur de gobelets et le robinet d'eau glacée. Sur le cliché de droite, l'intérieur du dôme panoramique.



Au restaurant, le voyageur peut choisir entre deux ou trois menus et les repas ne sont pas, comme en France, servis à heures fixes, sauf toutefois sur le train « Capitol Limited » du Baltimore and Ohio. La voiture-restaurant fait partie intégrante du train et le suit de bout en bout du trajet. Elle n'est fermée que quelques heures pendant la nuit pour permettre au personnel de se reposer. Ce personnel, en général de couleur, sauf le maître d'hôtel, est plus nombreux qu'en Europe. Il y a trois ou quatre cuisiniers ou aides et quatre ou cinq serveurs. La cuisine est celle des grands hôtels américains, les plats sont copieux. On sert également des apéritifs, sauf le dimanche ou au cours de la traversée de certains États encore quelque peu « secs ».

VOITURES-LITS

On trouve aux États-Unis plusieurs sortes de voitures-lits. Le type qui a été longtemps le plus courant et qui n'a guère varié depuis sa création par M. Pullman, vers 1880, est un « coach » à deux dispositions : l'une de jour, l'autre de nuit.

De nuit, les banquettes sont rapprochées et on dispose dessus : matelas, draps, couvertures et oreillers pour établir le lit inférieur. Au-dessus, un second lit, tout préparé et dissimulé pendant le jour, est rabattu pour la nuit.

Les lits sont parallèles à la voie et disposés de part et d'autre du couloir central. Pour isoler les voyageurs, l'employé de service dans la voiture, après avoir disposé les lits, accroche d'épais rideaux en toile que le voyageur ferme sur lui-même après s'être installé sur son lit. Le système de la « couchette » européenne, qui est une banquette recouverte d'une housse, accompagnée d'un oreiller et d'une couverture, est inconnu en Amérique où toutes les places couchées sont de véritables lits assez larges, avec draps, et permettent au voyageur de s'isoler.

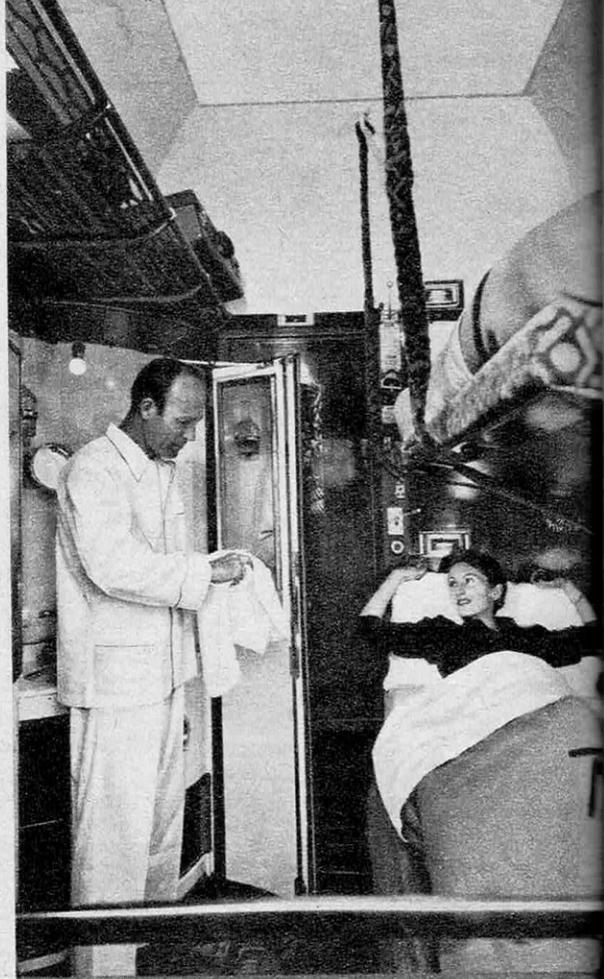
Aux extrémités de la voiture, on trouve un compartiment-lavabo pour les hommes et un autre pour les dames. Dans ce compartiment, qui pour les hommes sert en même temps de fumoir, se trouvent trois lavabos avec de l'eau très chaude à toute heure du jour et de la nuit et une cuvette spéciale pour se laver les dents. Enfin, petit détail, les toilettes ont un siège avec joint hydraulique !

Notons cette particularité du matériel américain : la grande quantité d'eau dont les voyageurs disposent. Certaines voitures ont des réservoirs de 800 gallons, soit 3 000 litres d'eau. Ces réservoirs sont placés sous la caisse de la voiture et l'eau est distribuée sous une légère pression d'air comprimé.

Mais, dans les nouveaux trains américains construits depuis la fin de la guerre, comme le « Chief » et le « Superchief » de l'Atchison, Topeka and Santa Fe, l'« Empire State » et le « Twentieth Century » du New York Central, le « Broadway Limited » et le « Liberty Limited » du Pennsylvania, et bien d'autres, on assiste à



● Le bar d'une rame Michelin équipée de l'éclairage par fluorescence. Luminaires en matière plastique.



● Cette voiture-lits française de deuxième classe offre un confort comparable à celui d'une « roomette ».

une évolution des voitures-lits vers la disposition européenne avec compartiments répartis le long d'un couloir latéral. Il y a des « singles » et des compartiments à deux lits. Mais le voyageur qui retient une seule place peut, moyennant un supplément variable suivant les trains et les parcours (environ 25%), être seul dans son compartiment, le deuxième lit restant inutilisé. Ainsi, chaque voyageur peut avoir son compartiment sans être obligé de le partager avec un autre, mais cela conduit à diminuer le nombre de voyageurs par voiture. Pour y remédier, on a créé la voiture « duplex » où deux compartiments successifs ont un emmarchement différent, ce qui permet de les imbriquer l'un dans l'autre grâce à cette différence de niveau.

Il y a d'autres solutions dont l'une, très intéressante, est la voiture à « roomettes », c'est-à-dire à petites chambres. Dans la longueur de la voiture sont répartis, de chaque côté d'un couloir central, des compartiments individuels à porte coulissante qui peuvent prendre une disposition de jour avec fauteuil, et une de nuit par rabattement d'un lit très large, entièrement dissimulé le jour dans la cloison transversale. Le mécanisme de ce lit est très ingénieux : le lit est parfaitement équilibré et une femme peut le développer sans effort.



Une voiture-restaurant des chemins de fer britanniques dans la voiture de première classe « Pegasus ».

Chaque compartiment comporte un lavabo escamotable et un W.-C. parfois escamotable lui aussi. Le voyageur peut régler à sa guise le chauffage de sa « roomette ». Le seul reproche que l'on puisse faire à ces voitures est que, pour donner au lit une largeur suffisante, le couloir central est très étroit et la voiture ressemble en quelque sorte à un sous-marin. Pendant le jour, et bien que le voyageur puisse laisser la porte ouverte sur le couloir, il se sent emprisonné et beaucoup plus isolé que dans nos compartiments de wagons-lits européens. Mais il a la ressource d'aller se distraire dans la voiture-observation.

Dans d'autres trains, on trouve des aménagements variés ; les lits s'escamotent soit dans les cloisons, soit à la partie supérieure du pavillon, et le compartiment se transforme, pendant le jour, en un petit salon. Certains compartiments deviennent, grâce au repliement des cloisons, de véritables appartements pour toute une famille. On voit que les constructeurs américains rivalisent d'ingéniosité pour accroître le confort et l'agrément du voyageur, variant à l'infini l'aménagement et la décoration des voitures. Enfin, pour améliorer le confort de certains trains transcontinentaux moins luxueux qui ne comportent que des voitures « coach », pour les trajets de jour aussi bien que de nuit, les Chemins de fer américains ont mis en service des « coach de luxe » à sièges inclinables qui s'inspirent des dispositions adoptées dans les avions de grand parcours et permettent aux voyageurs, sans supplément de prix, de dormir dans des conditions encore très confortables.

CONFORT EUROPÉEN

Cet aperçu succinct du confort américain, cette brève évocation des grands et beaux trains d'un pays qui, sur le plan technique, est celui des « possibilités illimitées », pourrait nous faire envie. Soyons justes. Le confort des trains français est parfaitement comparable à celui des trains américains qui n'effectuent que des trajets de quelques centaines de kilomètres ; pour les trajets internationaux en Europe, nos wagons-lits correspondent à peu près aux plus récentes « roomettes ». Ce qui manque sans doute aux réseaux européens, c'est un matériel de type international s'inspirant du « coach » à deux dispositions (jour et nuit) et accessible à une clientèle qui n'est pas celle des trains de luxe.

Revenons donc en Europe et voyons quels progrès ont été accomplis ces dernières années.

Le confort est une question de douceur de roulement, d'insonorisation, d'éclairage et de chauffage.

Nous avons vu, à propos des voitures françaises et de celles des autres pays d'Europe, le souci évident qui se manifeste dans les matériels récents d'améliorer la suspension en combinant des ressorts plus souples avec des amortisseurs. Au fur et à mesure que ces matériels modernes se multiplieront, avec leurs bogies perfectionnés supportant des caisses allégées, tandis que l'entretien de la voie ira en s'améliorant lui aussi, la douceur de roulement se généralisera et les chocs, même aux grandes vitesses, s'atténueront de plus en plus.



niques. A droite, le bar « Tri-
du train qui assure le service

de la « Flèche d'Or » (Londres-Paris) entre Londres et Douvres. Ce train, composé de
voitures Pullman de première et seconde classes, peut transporter 262 voyageurs.

L'absence de bruits en marche est, elle aussi, un élément du confort. Dans la lutte contre les bruits, deux tactiques sont possibles. On peut les supprimer en employant des voitures montées sur pneus et c'est la solution « Michelin » utilisée depuis fin 1948 sur trois rames de cinq voitures, qui assurent les relations rapides Paris-Strasbourg de matinée et de soirée. Solution élégante, mais qui ne peut être largement généralisée, car il s'agit de voitures spécialement construites à cet effet et pesant la moitié de ce qu'atteint la tare du matériel normal allégé, 17 t au lieu de 34 t.

Une autre solution consiste à isoler le voyageur des bruits qui prennent naissance au niveau des rails, principalement à cause du martellement des joints de la voie par les bandages des roues. C'est pourquoi toutes les voitures récentes en Europe sont insonorisées grâce à l'emploi de matériaux spéciaux pour les planchers et de revêtements intérieurs qui amortissent les bruits. Mais, aussi longtemps que les trains européens ne seront pas munis de « l'air conditionné » et que les voyageurs aimeront à ouvrir les fenêtres en marche, le bruit envahira les voitures.

Citons encore quelques réalisations intéressantes. La première est celle des voitures-fauteuils mises à l'essai par la S. N. C. F. depuis le printemps 1950 ; elle correspond précisément au « coach » américain pour trajets de jour et de nuit.

Deux voitures de la S. N. C. F. ont donc été débarrassées de leur compartimentage intérieur et le compartiment unique a été équipé avec des fauteuils analogues à ceux des avions long-courriers. Le galbe du dossier de ces sièges inclinables ainsi que la souplesse des garnissages ont été étudiés pour donner au corps un appui confortable. Le voyageur dispose d'un repose-pieds, réglable généralement, porté par le socle du siège placé devant lui. Certains sièges, plus perfectionnés, ont également un appui-jambes qui, s'il n'est plus utilisé, peut s'escamoter sous le fauteuil. Enfin, ces sièges peuvent se retourner individuellement pour pouvoir être orientés à tout instant dans le sens de la marche ou, le cas échéant, permettre à quatre partenaires de faire un bridge.

Les voitures-fauteuils ont un couloir central de part et d'autre duquel sont disposés les sièges : deux à droite, deux à gauche. Les porte-bagages sont longitudinaux et des soutes à bagages à chaque extrémité de la voiture reçoivent les gros bagages.

Pour l'éclairage, on a retenu les solutions adoptées pour les « coach » américains et pour les avions. Chaque voiture possède un éclairage général par tubes fluorescents, qui peut être éteint la nuit en maintenant des lampes veilleuses pour que les voyageurs puissent circuler, et un éclairage individuel direct permettant à chaque voyageur de lire sans gêner ses voisins. Cet éclairage ne fonctionne que lorsque l'éclairage général est éteint.

Cette formule d'un grand compartiment sans cloisons donne à tous les voyageurs une visibilité excellente sur le paysage. Mais on sait que les voyageurs européens préfèrent l'aménagement en compartiments séparés avec couloir latéral. C'est pourquoi la S. N. C. F. a tenu à faire un essai prolongé de ces nouvelles voitures-fauteuils avant de se décider à les multiplier. Elles semblent cependant fournir une heureuse solution pour les voyages de matinée ou de soirée qui comportent un court parcours de nuit.

Il faut ajouter que, depuis deux ans, la S. N. C. F. a transformé en voitures-couchettes de 1^{re} et surtout de 2^e classe un grand nombre de voitures-lits-salons métalliques ou métallisées des anciens réseaux. Ainsi, la proportion des places couchées dans les trains de nuit est-elle maintenant bien plus importante, certains rapides ne comportant même que des voitures-couchettes.

Une autre réalisation très intéressante est due aux Chemins de fer de l'Afrique Occidentale française ; ils ont mis en service un nouveau matériel comprenant des voitures-lits, des voitures-restaurant des voitures-bar et des voitures ordinaires très confortables. Tout ce matériel, entièrement métallique, possède une bonne isolation thermique et acoustique des parois, ainsi qu'une aération et une ventilation appropriées au climat.

Les voitures-lits ont 8 compartiments, chacun avec 2 places transformables, la nuit, en couchettes, et un lavabo. A une extrémité de la voiture, on trouve un cabinet de toilette et, à l'autre, un compartiment-douches.

Ces voitures possèdent un éclairage électrique avec liseuses et veilleuses dans chaque compartiment.

Les voitures ordinaires offrent un seul compartiment de 39 places, chaque voyageur ayant son fauteuil individuel. Ces fauteuils confortables sont du type des fauteuils d'avion, à dossier inclinable.

En raison de la longueur du parcours de Dakar au Niger (environ 1 600 km), la voiture-restaurant est accompagnée d'une voiture-cuisine-bar. On y emmagasine des vivres en quantité suffisante pour le trajet aller et retour et, la nuit, le personnel de service s'y repose sur des couchettes aménagées dans le compartiment-bar. Ces deux voitures sont placées au milieu du train. La salle à manger du restaurant est analogue à celle de nos voitures européennes et peut recevoir 40 personnes, par tables de deux ou de quatre.

Enfin, toutes les voitures du train sont munies de baies à châssis mobiles avec persiennes escamotables. On voit que les longs trajets en A. O. F. peuvent s'effectuer avec un confort qui, malgré le climat, rivalise avec celui des grands trains d'Europe.

G. Bohl

Ingénieur au Service technique
du Matériel et de la Traction
de la S. N. C. F.

L'ÉCLAIRAGE ET LE CHAUFFAGE



● « Coach » S. N. C. F., avec éclairage par fluorescence. Lampes 80 périodes, 220 V, du type « blanc doré », luminaires en matière plastique.

LA douceur de suspension des voitures, leur aménagement pratique et leur insonorisation constituent autant d'éléments du confort des voyageurs. Mais le confort demande encore, de toute évidence, un bon éclairage et un bon chauffage. Nous allons voir rapidement quelles solutions ont reçu, en France, ces deux questions.

ÉCLAIRAGE

Les premières voitures reçurent, sous diverses formes, des éclairages **par combustion** — éclairages à l'huile, au pétrole ou au gaz comprimé — et plus d'un lecteur se souviendra du terrible accident du tunnel des Batignolles (en 1921), où de nombreux voyageurs périrent brûlés dans la collision de deux trains éclairés au gaz comprimé.

Ce temps est révolu, et, depuis plus de vingt ans, toutes les voitures françaises sont munies de l'éclairage électrique.

Commençons par rappeler que l'éclairage doit fonctionner aussi bien en marche qu'au cours des arrêts, parfois assez longs (terminus, gares de douane), et que, dans ces conditions, deux solutions sont possibles :

— ou bien un équipement dit « collectif », dans lequel l'énergie électrique est produite pour tout le train par un groupe électrogène unique monté sur la locomotive ou dans un véhicule spécialement aménagé ;

— ou bien un équipement dit « autonome » pour chaque voiture.

Le premier n'est utilisé que dans des cas très rares (certaines rames de banlieue, les rames sur pneumatiques), et nous ne parlerons que de la solution de l'équipement, autonome.

Il comporte une **dynamo**, entraînée par un essieu de la voiture et qui assure, en marche, à partir d'une certaine vitesse, l'alimentation des lampes d'éclairage et de tous les autres auxiliaires de la voiture, ainsi que, en même temps, la recharge d'une **batterie d'accumulateurs**. Celle-ci fournit l'énergie électrique à l'arrêt et en marche aux basses vitesses.

Un ensemble d'appareils, appelé **régulateur de la dynamo**, règle, lorsque la dynamo commence à débiter, la tension aux bornes de la machine tournante en fonction de l'état de charge de la batterie et assure, en outre, automatiquement les connexions correctes avec la dynamo ou la batterie.

Enfin, sur certaines voitures, un groupe tournant, appelé **survolteur**, permet, entre autres choses, de maintenir constante, pendant l'arrêt de la voiture, la tension aux bornes de la batterie et de parer ainsi, au moins pendant un certain temps, à l'effet de décharge de cette batterie.

La tension nominale est de 24 V pour la plupart des voitures et de 72 V pour les voitures modernes, plus fortement équipées.

Mais la batterie est lourde et très volumineuse, et l'équipement complet d'une voiture moderne vaut, à lui seul, le vingtième du prix de la voiture bien que les deux lampes de 40 W prévues par compartiment soient un minimum. Il fallait donc, pour l'avenir, chercher autre chose, et c'est vers la lumière fluorescente qu'on s'est tourné.

La lampe fluorescente exige une alimentation sous tension à peu près constante et, avant les tout derniers progrès, imposait l'emploi du courant alternatif. Il fallait le pro-

duire sur la voiture par transformation du courant continu de la dynamo ou de la batterie. Enfin, la lampe fluorescente du commerce, fonctionnant normalement en courant alternatif de 50 périodes par seconde, ne donne pas l'allumage instantané, et il fallut trouver une disposition électrique qui réalisât cette condition et évitât aux voyageurs et aux contrôleurs d'avoir à attendre plusieurs secondes avant d'obtenir l'éclairage d'un compartiment plongé dans l'obscurité.

Sur les premières voitures équipées en 1946, le courant alternatif, 220 V, 400 périodes par seconde, était produit par un groupe convertisseur alimenté par la dynamo ou la batterie. La fréquence et la tension étaient maintenues constantes par des régulateurs. L'allumage instantané était favorisé par un dispositif autotransformateur spécial.

D'autres réalisations suivirent, pour lesquelles on choisit des voitures possédant le « survolteur », dont il a été question précédemment.

On eut alors l'idée de doter son moteur de bagues supplémentaires et de l'utiliser en commutatrice pour fournir du courant alternatif à 80 périodes par seconde, dont on éleva la tension au moyen d'un transformateur statique. De nouveaux dispositifs furent mis au point, compte tenu de cette fréquence, pour l'amorçage et la stabilisation des lampes. C'est cette disposition qui est appliquée sur 100 voitures de 3^e classe, commandées en 1948, qui commencent à sortir des usines.

La même disposition, mais simplifiée par l'emploi d'un groupe tournant régulateur formant survolteur-commutatrice-élévateur de tension, sera appliquée aux 200 voitures commandées au titre du programme 1950.

Tous ces éclairages par fluorescence font appel au courant alternatif. En fait, le courant continu, que l'on croirait inutilisable, peut être employé, comme l'essai vient d'en être réalisé tout récemment par la S. N. C. F.

Inutilisable sous 24 V, le courant continu peut être employé à la tension de 72 V, qui existe déjà sur bon nombre de voitures chauffées à l'air pulsé. Il nécessite l'emploi de lampes fluorescentes courtes, alimentées sous une tension **rigoureusement** constante, grâce à des dispositifs spéciaux de stabilisation. Avec le courant continu, plus n'est besoin de groupes convertisseurs ou de commutatrices dont le rendement est, en général, très inférieur à 1 ; le courant continu pourra peut-être un jour se substituer au courant alternatif, mais il est encore trop tôt pour se prononcer sur la solution qui prévaudra.

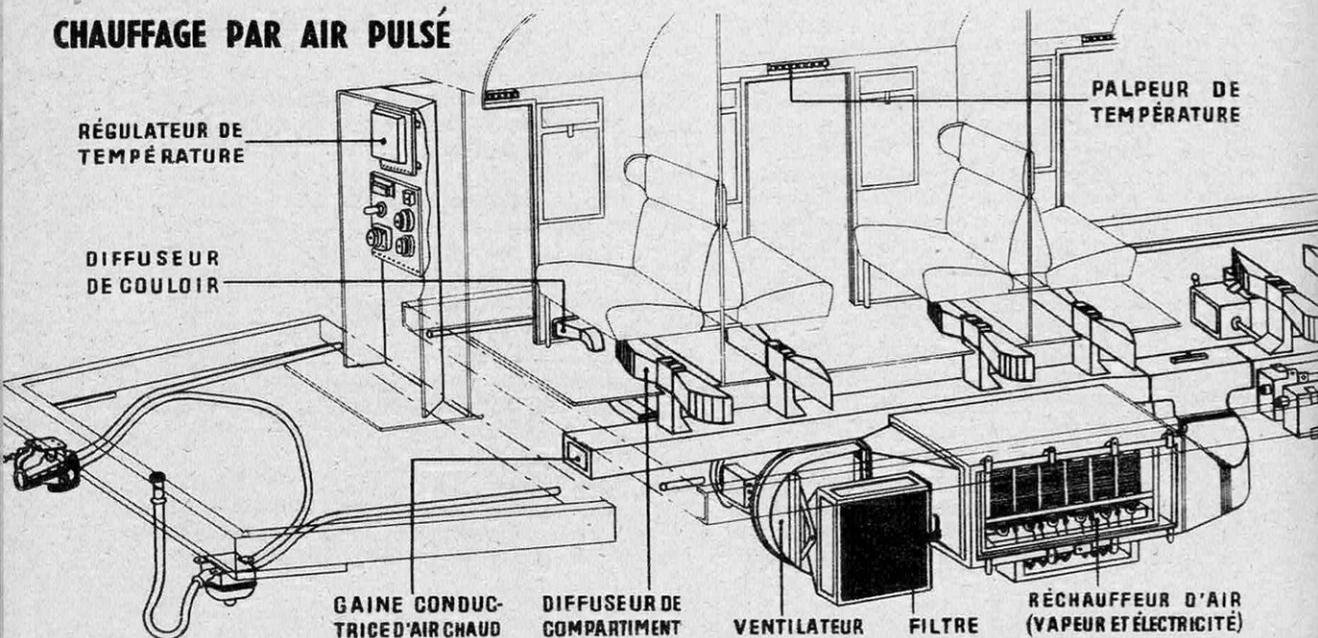
CHAUFFAGE

Contrairement à ce qui est la règle pour l'éclairage et à part de très rares exceptions (wagons-lits de la C¹^e Internationale des Wagons-Lits équipés d'un chauffage à eau chaude avec chaudière particulière), le chauffage des voitures n'est pas autonome, mais collectif, et fait appel à une source d'énergie constituée soit par la locomotive à vapeur, soit par le courant de la caténaire, capté par la locomotive électrique.

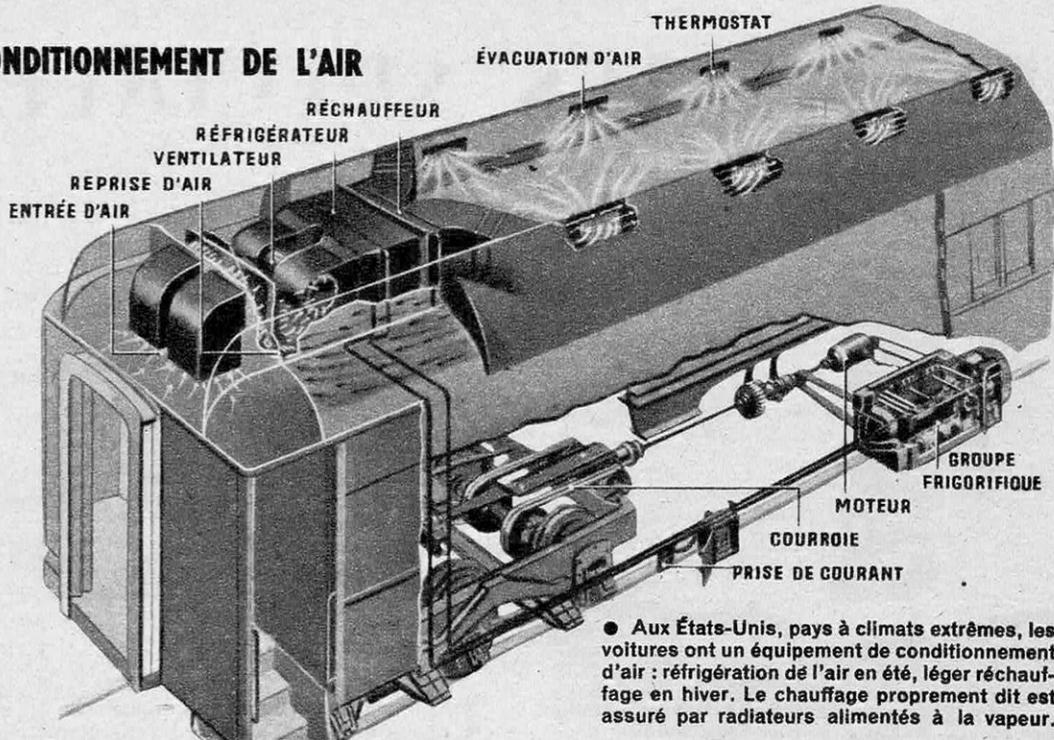
Sur les lignes exploitées avec la traction à vapeur, les équipements des voitures étaient constitués par des radiateurs branchés en dérivation sur une conduite générale de vapeur alimentée par la locomotive. Après la mise en service des grands tronçons électrifiés, on dota les voitures circulant sur la ligne d'une deuxième installation de chauffage par radiateurs électriques.

C'est sur les voitures en construction vers 1936 qu'on a adopté le système de chauffage à air chaud, dit « chauffage par air pulsé à régulation thermique ». Sous chaque voiture, on dispose, dans un coffre commun, bien calorifugé, un réchauffeur d'air par la vapeur et un réchauffeur d'air par l'électricité. L'air froid extérieur, aspiré par un ventilateur à travers

CHAUFFAGE PAR AIR PULSÉ



CONDITIONNEMENT DE L'AIR



● Aux États-Unis, pays à climats extrêmes, les voitures ont un équipement de conditionnement d'air : réfrigération de l'air en été, léger réchauffage en hiver. Le chauffage proprement dit est assuré par radiateurs alimentés à la vapeur.

un filtre, est refoulé d'abord sur les réchauffeurs, puis dans une gaine de distribution calorifugée sur laquelle sont branchées des bouches alimentant en air chaud les compartiments et le couloir. Il n'y a plus alors, pour chaque mode de chauffage, à vapeur et électrique, qu'un seul appareil réchauffeur à alimenter par voiture. Sa mise en action est automatique.

Dans les deux cas — chauffage vapeur et chauffage électrique — un dispositif central de régulation automatique maintient la température intérieure des voitures tout près de 22°. Il agit, en chauffage à vapeur, sur les vannes

du réchauffeur et sur le moteur du ventilateur, ou plus simplement sur ce seul moteur, et, en chauffage électrique, sur le contacteur haute tension du réchauffeur et sur le moteur du ventilateur.

Le chauffage des voitures françaises circulant à l'étranger doit pouvoir fonctionner avec des courants très différents. En France, le chauffage électrique est actuellement alimenté sous 1 500 V continu, mais il n'en est pas de même dans d'autres pays (Italie, Suisse, Hongrie, Belgique, etc.), qui utilisent pour le chauffage soit du 3 000 V continu, soit du 1 000 V alternatif 16 périodes 2/3, soit même du 1 000 V alternatif 50 périodes.

On est donc conduit à modifier les branchements électriques pour chaque tension ; on utilise un appareil manuel, dit « combinateur », qui doit être manœuvré au passage de certaines frontières ou de certaines gares.

Pour éviter les conséquences d'une fausse manœuvre ou d'un oubli, les voitures comportent un dispositif de « sélection », composé d'un jeu de relais, qui paralyse l'installation si le « combinateur » est placé sur une mauvaise position.

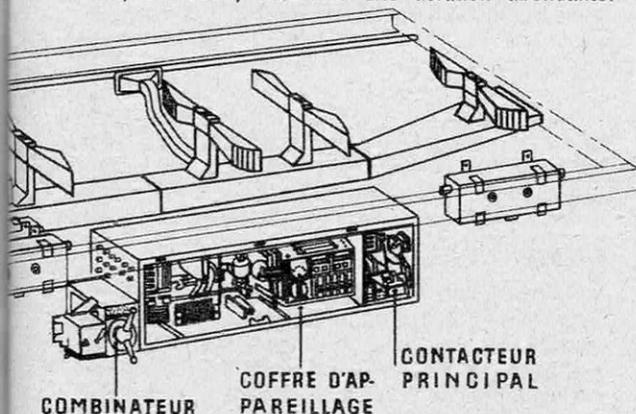
En raison de ses avantages, le chauffage à air pulsé tend de plus en plus à remplacer le chauffage par radiateur, au moins sur les voitures de grands parcours.

Ce n'est d'ailleurs que justice, car l'air pulsé permet, en outre, une aération abondante des voitures.

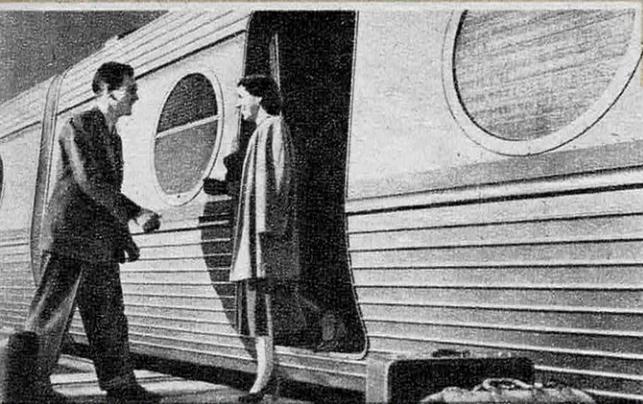
R. Didier

Chef d'Études au Service
Technique du Matériel et de la Traction
de la S. N. C. F.

● Les voitures modernes françaises ont toutes un chauffage à air pulsé intégral, à régulation automatique. Ce mode de chauffage ne comporte pas de radiateurs de compartiments ; très souple, il permet, en outre, d'assurer une aération abondante.



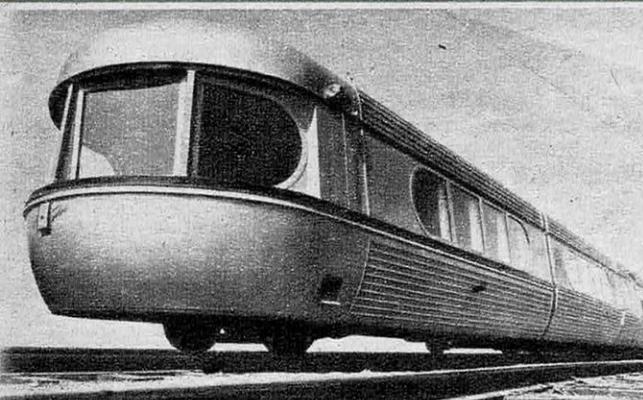
LES RAMES SPÉCIALES



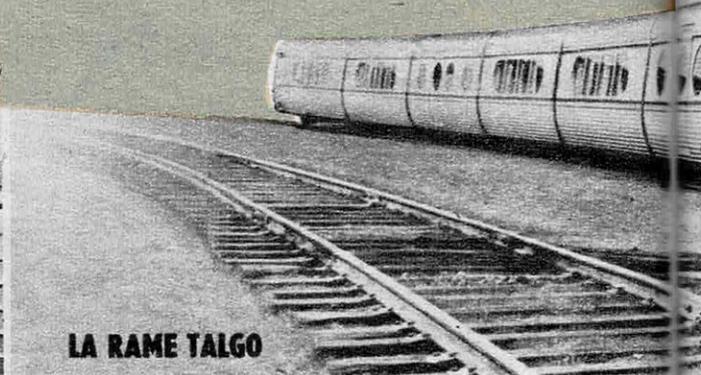
● Le plancher des voitures n'est qu'à 45 cm au-dessus des rails. Le train se trouve à peu près de plain-pied avec le quai et on accède aux compartiments sans marche-pieds.



● Les sièges de la rame Talgo sont individuels et inclinables. Chacun peut être complété par une table s'adaptant sur les appuis-bras. L'éclairage est fluorescent.



● Le dernier des éléments d'une rame Talgo est une voiture d'observation, suivant la disposition fréquente en Amérique. Les sièges sont placés contre les parois.



LA RAME TALGO

LA voiture à voyageurs moderne, de type classique, ne peut pas être allégée au delà d'une certaine limite. On est tenu en effet de doter cette voiture d'un châssis et d'une caisse l'un et l'autre très robustes, d'organes de choc et de traction ainsi que d'organes d'intercirculation, d'une installation d'éclairage électrique, d'installations sanitaires, d'une installation de chauffage complète.

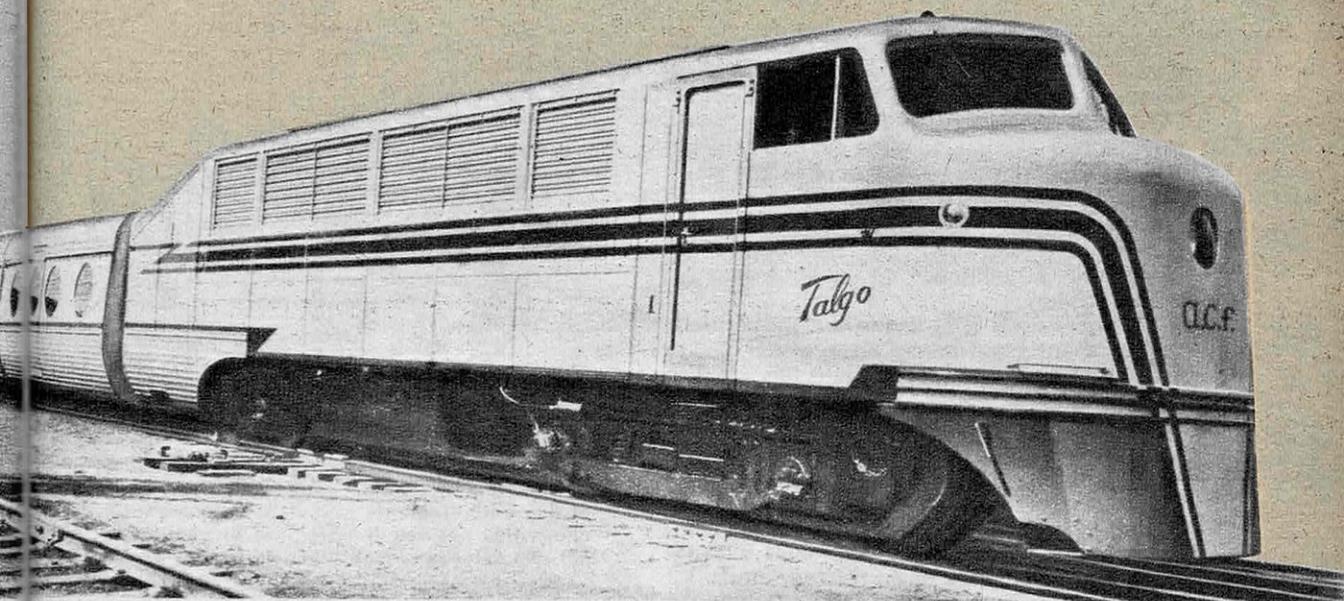
D'autre part, la voiture classique ne peut s'écarter des formes habituelles qui sont dictées par le souci d'utiliser au maximum le gabarit et d'éviter toute disposition de châssis (surbaissément) venant compliquer sa construction ou même affaiblir légèrement la solidité longitudinale. Elle a, de ce fait, un maître-couple important et un centre de gravité assez élevé qui, joints à sa tare relativement forte, peuvent la rendre impropre aux très grandes vitesses sur des lignes très accidentées ou si l'on ne dispose pas d'une puissance de traction suffisante.

Il y a des cas où il peut être opportun de s'affranchir de ces sujétions et on trouve, en fait, sur certaines lignes, des convois comprenant des voitures de construction spéciale constituant parfois des rames de composition rigoureusement inmutable.

Nous allons examiner trois exemples de rames spéciales tout à fait typiques : les rames Talgo des Chemins de fer espagnols, les rames sur pneumatiques de la S. N. C. F. et les rames « Pendulum » des Chemins de fer américains.

RAMES TALGO

Un contraste saisissant s'offre aux yeux du voyageur se rendant à Madrid, lorsque, changeant de train à Irun en raison de l'écartement spécial des voies espagnoles, il continue son parcours avec la rame Talgo. Descendant à proprement parler d'une voiture lourde et



haute sur roues, il s'embarque de plain-pied dans une sorte de chenille qui paraît ramper sur la voie. Dans cette rame il est tout étonné de trouver assez de hauteur pour aller, sans baisser la tête, à la recherche d'une place.

La rame Talgo est, en effet, un ensemble articulé de douze (ou exceptionnellement seize) petits éléments de hauteur extrêmement réduite et dont le surbaissement a été obtenu en utilisant des essieux à axe renvoyé. Un seul essieu est monté tout à fait à l'arrière de chaque élément, c'est-à-dire à l'aplomb de la séparation entre deux éléments successifs. Chaque élément repose à l'arrière sur son essieu et, à l'avant, sur l'extrémité de l'élément précédent.

Deux rames sont en service en Espagne. Elles ont été construites en Amérique d'après les brevets de la Société espagnole Talgo. La composition normale d'une rame de douze éléments est la suivante :

- une locomotive diesel-électrique de 800 ch (tare 64 t) ;
- deux éléments fourgons (tare 3 t chacun) ;
- deux éléments voyageurs (tare 3 t) avec seize voyageurs par élément ;
- un élément de service (tare 5 t) contenant cuisine, deux lavabos, W.-C., appareils de conditionnement d'air et un vestiaire ;
- quatre éléments voyageurs ;
- un élément de service ;
- un élément voyageurs ;
- un élément panoramique de queue contenant, lui aussi, 16 voyageurs (tare 3,5 t).

Le poids total remorqué est donc de 40,5 t pour 128 voyageurs. Ce poids mort très réduit a pu être obtenu en employant l'alliage d'aluminium non seulement dans la confection de la charpente de chaque élément, qui constitue un tube complet, mais encore dans la fabrication de très nombreux accessoires.

La rame Talgo effectue le parcours entre Madrid et Irun (et retour) à près de 80 km/h de

moyenne commerciale alors que le meilleur train rapide de la ligne n'atteint pas 60 km/h. La ligne est, en effet, très accidentée avec de nombreuses rampes de 20 mm par mètre et de nombreuses courbes prononcées ; les voies sont médiocres dans l'ensemble. Sur de bonnes voies, la rame Talgo peut atteindre sans difficulté la vitesse de 140 km/h.

Les divers éléments de la rame sont liés les uns aux autres par un coupleur d'attelage et par des emboîtements articulés placés à l'extrémité et à mi-hauteur des faces. Ainsi, les éléments s'embrochent littéralement les uns dans les autres et se soutiennent mutuellement.

Chaque essieu s'oriente de lui-même, d'après le déplacement transversal de l'essieu précédent. Cette disposition, très ingénieuse, est la plus typique de la rame Talgo ; elle assure un guidage remarquable des essieux successifs et oblige les roues, au passage dans les courbes, à attaquer le rail extérieur avec un angle « négatif », condition très favorable pour écarter les risques de déraillement.

Cette disposition n'est évidemment pas applicable au premier essieu de la rame et il a fallu pratiquement l'abandonner pour la machine diesel.

De plus, ce système d'orientation stabilisatrice des essieux n'est valable que dans un sens de marche. La rame ne peut donc circuler en vitesse que dans un seul sens.

La suspension, au droit de chaque roue, est constituée par un ressort hélicoïdal, donc sans frottement et très souple, combiné avec un amortisseur hydraulique télescopique.

Les essieux ont une grande liberté de déplacement et les chocs latéraux trouvent, pour les absorber, une véritable suspension transversale constituée par des bielles de poussée, fixées à l'essieu et montées en opposition avec des amortisseurs hydrauliques télescopiques qui attaquent le levier de com-

mande d'une barre de torsion très flexible, placée longitudinalement sous la caisse de chaque élément.

Grâce à toutes ces dispositions, le centre de gravité étant très bas, la rame est peu sensible aux imperfections de la voie et offre une stabilité et un confort excellents, même sur des voies moyennes. De plus, les roues sont montées « folles » sur les essieux, ce qui supprime toute tendance au « lacet » dans les lignes droites.

Les sièges de la rame Talgo sont individuels, face en avant (sauf dans l'observation-car) et inclinables. Ils sont répartis, dans chaque élément, en quatre rangées de quatre, séparées en groupes de deux par un couloir central.

Chaque élément de service contient une installation de conditionnement d'air.

En raison du climat particulier de l'Espagne, il arrive, au printemps, sur le parcours Irun-Madrid, que l'installation fonctionne alternativement en chauffage et en réfrigération.

Les roues sont élastiques. Elles sont munies de freins à tambours actionnés par une transmission hydraulique, type Lockheed, à chaque élément ; mais la commande des freins depuis la locomotive est faite par l'air comprimé.

La rame Talgo permet, grâce à sa légèreté et à son faible maître-couple, de gravir des rampes très accentuées et d'atteindre, en palier, des vitesses élevées sans exiger une puissance motrice importante.

Du fait de son excellente stabilité, elle a permis, sur des voies médiocres, de réaliser des performances exceptionnelles tout en maintenant un excellent confort.

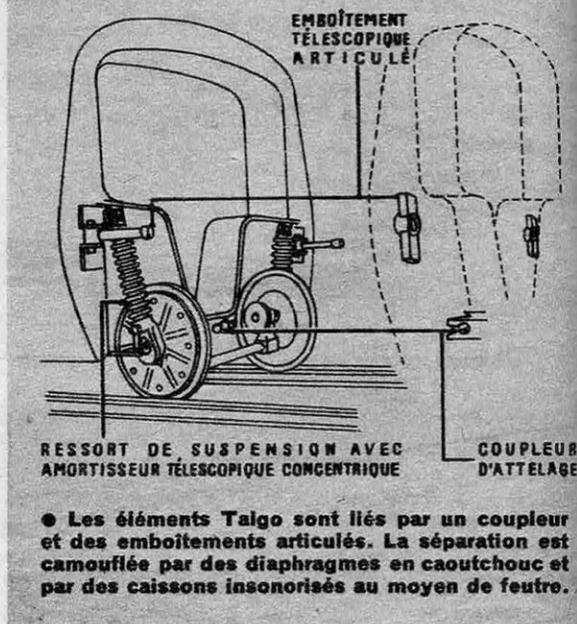
Malheureusement, un maître-couple aussi réduit fait que la place est assez parcimonieusement distribuée à chaque voyageur.

RAMES MICHELIN

L'idée de faire rouler sur pneumatiques des véhicules se déplaçant sur rails n'est pas nouvelle. Parmi les nombreux autorails de la S. N. C. F., il est un certain nombre de « Michelin » au sens exact du terme, qui, depuis près de vingt ans, roulent avec des roues spéciales montées sur pneus Michelin.

Il était intéressant d'essayer de faire profiter de cet élément de confort, dû aux pneumatiques et qui se manifeste principalement par une diminution importante du bruit et des chocs, de véritables voitures à voyageurs.

C'est ainsi que sont nées les trois rames sur

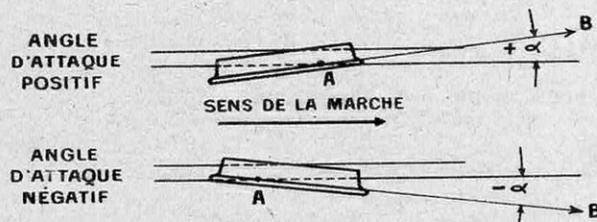


pneumatiques, de six voitures chacune, mises en service en 1948-1949 pour assurer des relations rapides de matinée et de fin de soirée entre Paris et Strasbourg. Ces rames sont remorquées par des locomotives à vapeur type 230, à grandes roues motrices et de construction relativement ancienne, qui ont été sommairement carénées et équipées pour la chauffe au mazout.

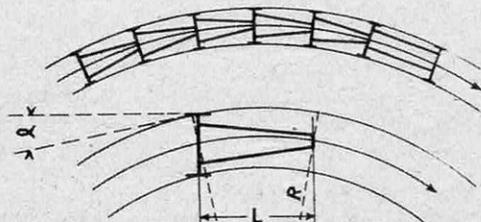
Il fallait construire très légèrement, car le pneumatique roulant sur rail ne peut supporter beaucoup plus de 1 t. On a donc dû, malgré l'emploi de deux bogies de cinq essieux par voiture, réaliser des véhicules de tare inférieure à 17 t, et descendant à 14 t pour les plus légers d'entre eux.

Un pareil allègement aurait posé, pour des voitures de type classique, des problèmes quasi insurmontables. Les roues sur pneus, en éliminant les chocs durs et les bruits, ont permis de calculer moins largement certaines pièces et d'éviter les alourdissements qu'entraîne normalement l'insonorisation du matériel.

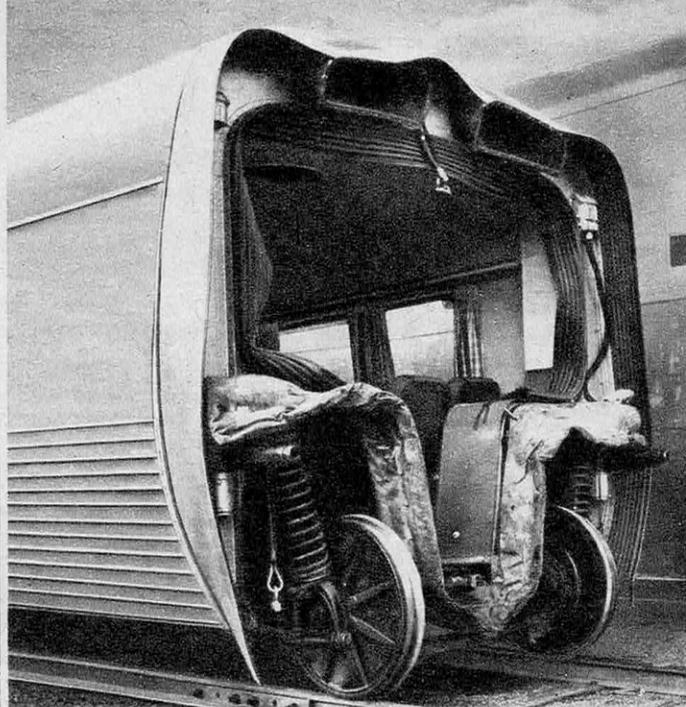
Malgré cela, il fallut réduire un peu le maître-couple des voitures et recourir à des techniques particulières de construction, car — et c'est une des originalités de ces rames — on a constitué leur charpente métallique avec des matériaux différents suivant les rames :



● Schéma montrant les angles d'attaque positif et négatif du rail par un boudin de roue dans une courbe.



● Le mode d'attelage des éléments Talgo rend l'angle d'attaque du rail extérieur négatif dans une courbe.



l'acier inoxydable nervuré à haute résistance pour la première rame, l'alliage d'aluminium pour la deuxième rame, l'acier doux nervuré, soudé à la molette pour la troisième rame, ce qui devait permettre, en même temps, de comparer la tenue en service et les exigences d'entretien des trois techniques.

Chaque rame se compose d'une voiture mixte deuxième classe-fourgon avec 48 places; de deux voitures de deuxième classe, de 64 places chacune; d'une voiture-restaurant de 48 places; d'une voiture de première classe, avec bar au centre et 27 places dans les deux compartiments de première classe qui l'encadrent; d'une voiture de première classe de 46 places. L'intercirculation est assurée d'un bout à l'autre de la rame.

Les bogies sont identiques pour les trois rames. Leur charpente est en acier à haute résistance. Les cinq essieux sont fixés rigidement à cette charpente, de sorte que, si l'un des pneus vient à crever, la charge se répartit sur les autres.

La suspension proprement dite vient coiffer la charpente du bogie. Cette suspension, qui, à l'origine, était composée exclusivement de ressorts à lames, a été remplacée par un jeu de ressorts en hélice combinés avec des amortisseurs hydrauliques.

Des frotteurs métalliques sont, sur chaque bogie, en contact permanent avec les rails et court-circuitent les deux files de rails. Ce court-circuit, indispensable au fonctionnement des signaux de block automatique et qu'assurent tout naturellement les véhicules ordinaires, n'existe plus avec des roues sur pneus et doit être réalisé artificiellement par des frotteurs.

Le frein est du type Westinghouse-Lockheed.

Le coefficient d'adhérence du pneu, plus important que celui de la roue en acier, permet de freiner très énergiquement les voi-

tures. Mais il ne faut pas s'exagérer cet avantage, car on doit compter avec la machine: avec son tender, elle pèse plus que la rame et, ne roulant pas sur pneus, elle a des freins ordinaires.

La crevaison d'un pneu déclenche une soupape montée en bout de valve. Celle-ci ferme un contact électrique qui déclenche un klaxon avertisseur dans le fourgon et allume un voyant sur un tableau installé dans la voiture intéressée.

Le chef de train, installé dans le fourgon, prévient par téléphone le mécanicien qu'il doit ralentir. Puis il visite les tableaux de chaque voiture, repère la position du pneu crevé et donne au mécanicien l'ordre d'arrêter à la prochaine gare ou même plus rapidement s'il s'agit de plusieurs pneus crevés. Dès l'arrêt, on change de roue comme pour une voiture automobile et l'on repart dix minutes plus tard. Il ne reste qu'à rattraper le temps perdu.

Les pneus d'ailleurs se comportent de façon très satisfaisante; leurs crevaisons sont rares et leur usure très faible puisqu'ils durent en moyenne 65 000 km.

Tous les voyageurs apprécient la douceur du roulement et le silence. Chose curieuse, on a l'impression de « se traîner » sur la voie alors que le compteur, placé dans le wagon-bar, marque très loyalement la vitesse de 120 km/h. Le résultat aurait été encore beaucoup plus net si on avait eu la place d'utiliser, pour la suspension, des ressorts plus longs, donc plus souples.

On peut s'étonner que la grande légèreté des voitures sur pneus n'ait pas conduit la S. N. C. F. à tracer des Paris-Strasbourg ultrarapides; c'est que le bénéfice de l'allègement est annulé, du point de vue de la traction, par l'augmentation de résistance au roulement qui résulte des pneumatiques. Cette résistance, à

120 km/h, est de l'ordre de 18 kg par tonne pour les voitures sur pneumatiques et de 6 kg par tonne seulement pour les voitures ordinaires. On voit donc que, pour les rames Michelin, l'allègement « ne paie pas », tout au moins en ligne de plaine.

AUTRES ROUES ÉLASTIQUES

Mais la roue sur pneu n'est pas la seule solution tendant à supprimer les bruits et les chocs. D'autres types de roues élastiques ont été étudiés et même appliqués sur quelques engins de la S. N. C. F.

Ce n'est pas d'aujourd'hui qu'on a eu l'idée d'interposer, entre le bandage et le corps de roue proprement dit, une garniture élastique en métal ou en caoutchouc plein ; c'est par centaines que l'on pourrait compter les inventions basées sur ce principe.

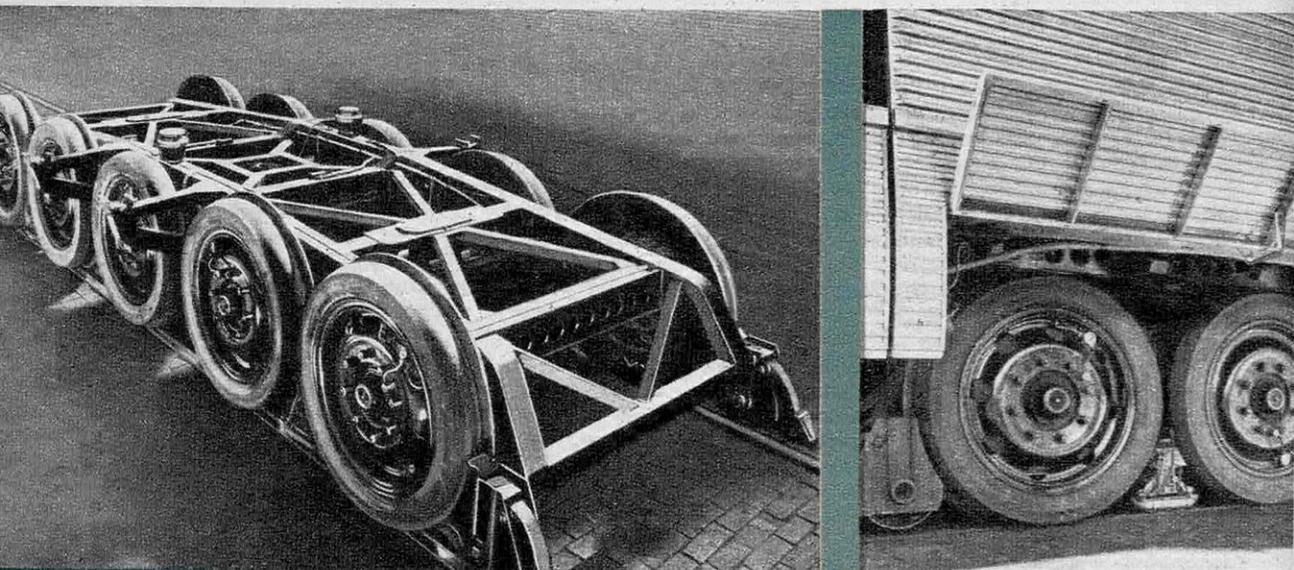
En dehors de la roue sur pneu, il ne reste

que la roue sur pneu supprime pratiquement tout bruit de roulement. Or le volume de bruit transmis par l'air est, en général, très supérieur à celui transmis par la matière.

De plus, il faut que ces roues restent rigoureusement centrées et qu'elles soient parfaitement dépourvues de « balourd », faute de quoi des résonances se produisent entre les vibrations correspondant au nombre de tours de roue par seconde et celles correspondant à la fréquence propre de la caisse de la voiture. Aussi doit-on exiger un fini de fabrication impeccable et admettre des prix élevés qui limitent l'emploi des roues élastiques.

RAMES PENDULAIRES

Le but est de construire des rames capables de dépasser largement la vitesse de 120 km/h et d'atteindre des vitesses de 160 km/h et même plus, sans avoir à se préoccuper de



LE BOGIE A CINQ ESSIEUX DE LA RAME MICHELIN DES FROTTEURS DE MÉTAL

guère maintenant en compétition que deux dispositifs qui font travailler le caoutchouc au cisaillement et non à la compression.

L'emploi du caoutchouc a évidemment pour but d'atténuer les chocs, particulièrement au passage des joints, et de diminuer les bruits.

Le premier objectif est d'autant plus difficile à atteindre que les voitures de chemin de fer ont un poids élevé ; plus les véhicules sont lourds, plus il faut recourir à des caoutchoucs de grande dureté spécifique. On doit alors craindre, malgré cette augmentation de dureté, une fatigue excessive du caoutchouc.

Le second objectif, la diminution du bruit, est encore plus difficile à atteindre. Si la roue élastique empêche bien la transmission par le métal du bruit de la roue sur le rail, elle n'évite pas la transmission de ce bruit par l'air, tandis

ralentir dans les courbes les plus accentuées, de rayon minimum 800 m, que l'on rencontre sur les grandes artères.

En effet, pourquoi limite-t-on en France la vitesse des trains à 120 km/h et exceptionnellement à 130 ou 140 km/h pour quelques tronçons particuliers comme Paris-Dijon ? Il y a, à cela, plusieurs raisons :

D'abord, avec les voitures ordinaires munies de freins classiques, il faut près de 1 000 m pour s'arrêter à 120 km/h. Toutes les fois que les signaux d'avertissement ne seront pas implantés à plus de 1 000 m des signaux d'arrêt, et c'est un cas très fréquent, on ne pourra aller au delà de la vitesse de 120 km/h.

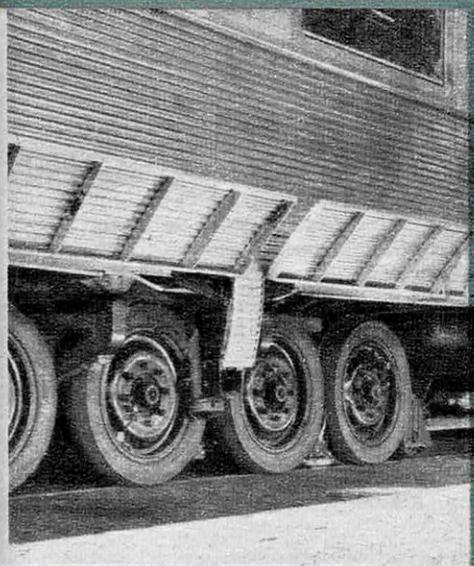
Ensuite, le « dévers » des voies en courbe ne peut dépasser un certain maximum, qui est de 15 cm de différence de hauteur d'une file de

RAMES MICHELIN

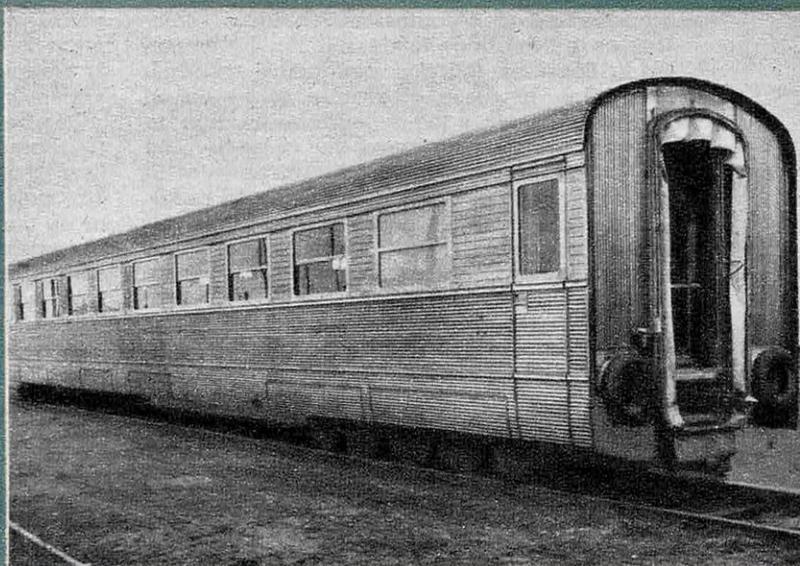
LES trois rames sur pneumatiques qui assurent les relations rapides, entre Paris et Strasbourg présentent un certain luxe d'aménagement intérieur. Les sièges, construits comme ceux des avions, sont légers et confortables. L'éclairage fluorescent est diffusé sans ombres par des plafonniers en plexiglas. Le chauffage, à régulation automatique, est à air pulsé, la vapeur des batteries de chauffe étant fournie par la locomotive; l'énergie électrique pour l'éclairage et la ventilation provient d'un groupe électrogène dans le fourgon de la voiture extrême. Le chef de train, qui se tient dans ce fourgon, dispose d'une commande électro-pneumatique pour la manœuvre à distance des marchepieds. En position de marche, ils s'effacent dans la carrosserie et, aux arrêts, ils s'abaissent vers le quai en faisant saillie.



LES PREMIÈRES CLASSES DE LA RAME MICHELIN



SHUNTENT LE CIRCUIT DE VOIE



VUE D'ENSEMBLE D'UNE VOITURE DE LA RAME MICHELIN

rail à l'autre. Ce dévers doit, en effet, être compatible avec la circulation à marche lente et certains trains, au surplus, contiennent des wagons de marchandises, notamment des wagons citernes, à centre de gravité très élevé. Or un dévers de 15 cm équilibre la poussée de la force centrifuge quand on passe à 100 km/h environ dans une courbe de 800 m de rayon. On comprend donc qu'à 120 km/h, le voyageur commence à « sentir » certains passages en courbe et que, à 160 km/h, il pourrait être projeté sur les parois. En outre, la caisse de la voiture commencerait à s'incliner dangereusement vers l'extérieur de la courbe en comprimant ses ressorts de suspension.

Il faut donc, pour aller très vite, réaliser deux conditions :

— utiliser des voies sur lesquelles les

signaux d'avertissement soient très éloignés des signaux d'arrêt, disposition encore rare en France et qui ne peut être obtenue qu'au prix de travaux très importants, ou bien s'accommoder des signaux existants et disposer d'un freinage très puissant fourni par des dispositifs spéciaux ;

— utiliser des voitures dont le centre de gravité soit très bas et dont les caisses reposent sur des appuis surélevés solidaires des bogies, de telle sorte que ces voitures « pendulaires » s'orientent dans les courbes suivant la « verticale apparente ».

Des voitures de ce genre, dites « Pendulum », existent déjà à quelques exemplaires aux États-Unis, où elles circulent depuis 1942.

Ce genre de voitures ne paraît pas devoir se multiplier aux États-Unis, pays neuf où les

courbes ne sont ni très nombreuses ni très prononcées, du moins sur les grandes artères.

En France, la question se pose d'une façon très différente, sans que l'on puisse encore conclure si l'emploi de voitures « pendulaires » s'imposera ou non. En effet les grandes artères ont toutes — ou à peu près — des courbes de 800 à 1 000 m de rayon qui imposent des limitations de vitesse, à 130-140 km/h ou bien l'emploi de voitures pendulaires.

Mais les distances en France ne sont pas à l'échelle américaine, et la concurrence de l'avion n'est pas encore telle qu'il faille, pour gagner 1 heure ou même 1 heure 30 sur la distance de 863 km qui sépare Paris de Marseille, faire les frais de construire des véhicules coûteux, parce que frappés de sujétions de construction particulières.

Quoi qu'il en soit, une solution technique assez originale a été étudiée par la S. N. C. F. Tous les véhicules du train seraient effectivement pendulaires, le train étant composé exclusivement d'engins automoteurs électriques à adhérence totale. Sur les lignes non électrifiées, un fourgon pendulaire, producteur d'énergie diesel-électrique, serait mis en tête et alimenterait les moteurs de traction de chaque véhicule du train, lui compris. Les bogies auraient des roues indépendantes et un châssis articulé pouvant se déformer en parallélogramme dans les courbes. On faciliterait ainsi l'inscription dans ces courbes tout en équilibrant plus efficacement les efforts latéraux sur chaque roue.

On retrouve, aussi bien dans les voitures « Pendulum » américaines que dans le projet français, une suspension par ressorts en hélice, très hauts et par conséquent très souples, combinés avec des amortisseurs hydrauliques.

LE FREINAGE AUX GRANDES VITESSES

On a vu comment l'implantation des signaux pourrait limiter les vitesses maximum. La distance entre signal d'avertissement et signal d'arrêt, qui est de 1 000 mètres sur les lignes

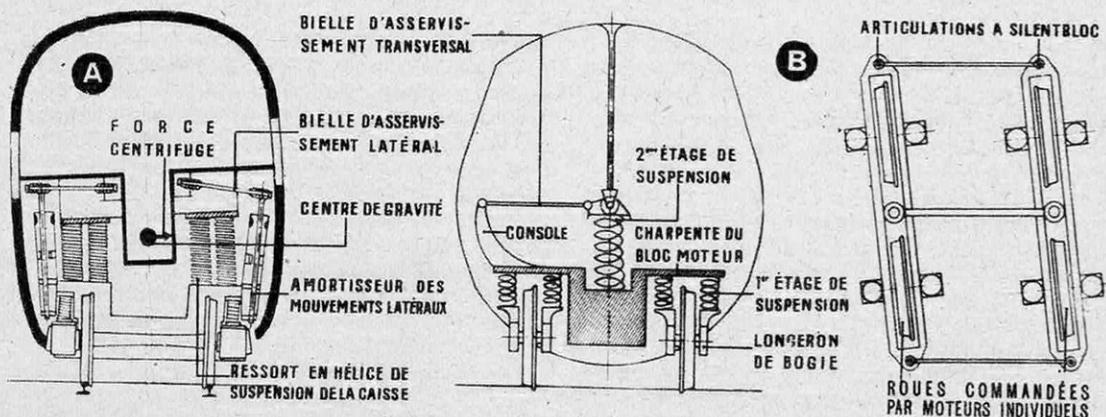
où la vitesse est limitée à 120 km/h, est déjà portée à 1 400 m sur les lignes où les trains sont autorisés à rouler à 140 km/h. Au premier abord, ces distances paraissent considérables, puisqu'en automobile on s'arrête à 120 km/h en cent mètres environ. Les longues distances de freinage du chemin de fer sont la contrepartie de son excellent rendement, puisqu'une machine de 4 000 chevaux remorque un train de 800 tonnes à 120 km à l'heure. Quoi qu'il en soit, on ne peut, pour dépasser ces vitesses, songer à augmenter les distances d'implantation de tous les signaux.

A priori, on pourrait croire qu'il suffit d'augmenter l'effort de freinage pour réduire la longueur d'arrêt. Mais cette solution, apparemment simple, présente de grands risques parce que l'adhérence des bandages en acier sur les rails en acier est très inférieure à celle des pneumatiques sur la route. Une augmentation trop forte de l'effort de freinage provoquerait l'enrayage des roues et leur patinage sur le rail, avec le double inconvénient d'augmenter le parcours d'arrêt et d'user si fortement la roue en un point qu'il y apparaîtrait un méplat.

Les freins classiques des voitures modernes de chemin de fer permettent, en toute sécurité, l'arrêt des trains sur les distances prévues, aux vitesses de 120 et 140 km/h. Le problème ne se complique que lorsqu'on veut dépasser ces vitesses. En effet, le coefficient de frottement d'un sabot en fonte sur une roue en acier varie avec la vitesse et s'établit à une valeur d'autant plus faible que la vitesse est plus élevée au début du freinage. Ce coefficient de frottement reste constant depuis le début du freinage jusqu'à la vitesse de 50 km/h environ, puis il augmente fortement jusqu'à l'arrêt (1).

Pour tirer le meilleur parti de l'adhérence de la roue sur le rail, il faut recourir à des appareils spéciaux donnant une puissance de

(1) Les valeurs de ce coefficient sont d'autant plus élevées que la pression unitaire est plus basse aux sabots. De là l'emploi de doubles sabots, qui, pour une même force totale d'application sur la roue, exercent un effort retardateur plus élevé que les sabots simples.

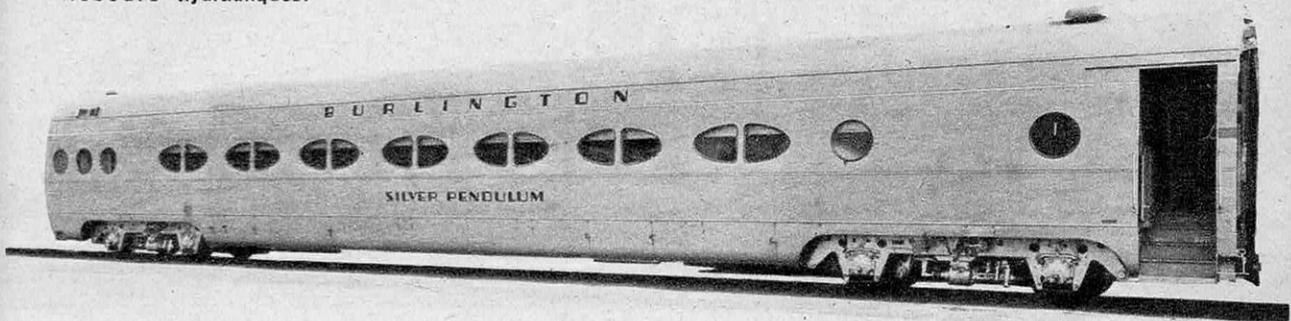
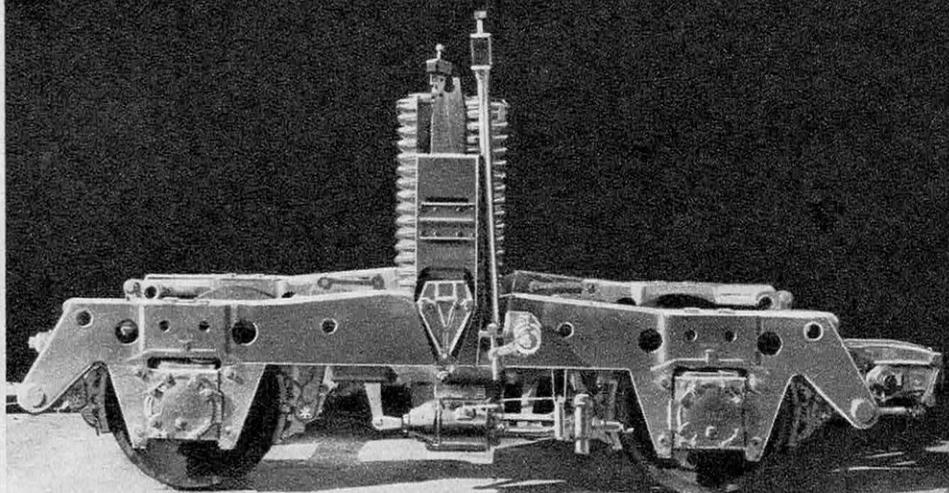


A La voiture Preco Pendulum s'incline vers l'intérieur des courbes sous l'action de la force centrifuge.

B Projet S. N. C. F. de voiture pendulaire automotrice avec bogie à châssis articulé et roues indépendantes.

VOITURE PENDULUM

On retrouve sur la photographie ci-contre les éléments du dessin de la page précédente. Les caisses des voitures Pendulum reposent par leurs extrémités sur des ressorts en hélice de grande hauteur, sur lesquels elles « flottent » et s'inclinent au gré de la force centrifuge constamment appliquée au-dessous des appuis. Les mouvements de translation verticale et de rotation sont constamment freinés par l'intervention d'un jeu d'amortisseurs hydrauliques.



freinage qui tient compte de cette loi de variation du coefficient de frottement. L'effort appliqué sur les sabots aura, au début du freinage, une valeur déterminée, fonction de la vitesse ; cet effort se maintiendra constant jusqu'à 50 km/h environ, puis diminuera ensuite de telle façon que l'effort retardateur reste à peu près constant pendant tout le parcours d'arrêt.

C'est sur ce principe qu'est basé le frein à commande pneumatique à action variable dit « à haute puissance et anti-enrayeur ». Cependant, la puissance de freinage est limitée par l'adhérence de la roue sur le rail et cette adhérence varie du simple au triple suivant l'état du rail : rosée, brouillard, pluie, sécheresse, présence d'huile, feuilles mortes, etc..

D'une façon générale, les appareils de freinage à haute puissance et anti-enrayeurs comportent un autorégulateur centrifuge entraîné par un essieu ; la puissance développée par l'appareil est fonction de la vitesse de rotation de cet essieu. Si, par suite d'un manque d'adhérence, l'essieu tend à s'enrayer, la réduction de vitesse qui en résulte entraîne automatiquement une diminution de la puissance de freinage et l'enrayage est évité. Cependant, comme un essieu se cale en une fraction de seconde, cette condition n'est pas aussi simple à réaliser qu'on pourrait le croire : les appareils doivent être très sensibles et d'une action extrêmement rapide.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de freins munis de sabots en fonte. Depuis quelques années, on étudie la mise au point de sabots

en matières spéciales, généralement à base d'amiante ou de carbone. Ces matières ont le grand avantage d'avoir un coefficient de frottement nettement plus élevé que celui des sabots en fonte et qui reste constant pendant tout le parcours d'arrêt. Mais il reste le problème le plus délicat, celui qui consiste à éviter les enrayerages en toutes circonstances. Pour cela, un appareil uniquement anti-enrayeur sera suffisant, mais, comme nous l'avons vu, il devra être sensible et rapide.

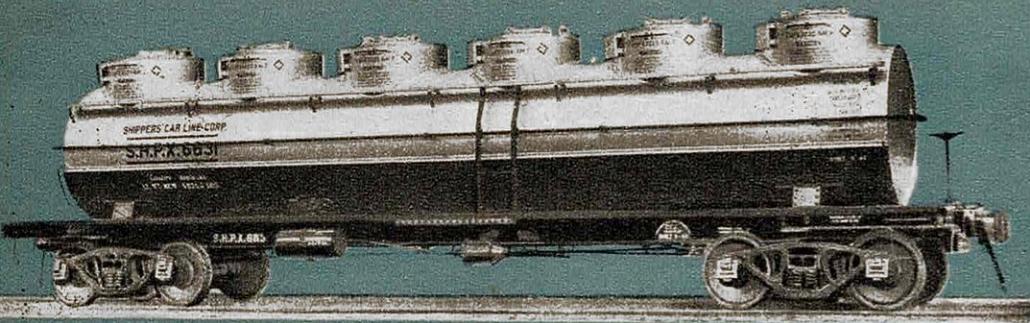
Le haut coefficient de frottement de ces sabots spéciaux permet de plus un allègement appréciable de l'équipement de frein, car l'effort à transmettre est moins élevé.

On pourrait utiliser un appareil uniquement anti-enrayeur avec des sabots en fonte, mais, du fait des variations importantes du coefficient de frottement de ces sabots, l'appareil anti-enrayeur entrerait en action à chaque freinage à faible vitesse et, par le jeu des desserrages et serrages successifs, provoquerait une consommation d'air exagérée.

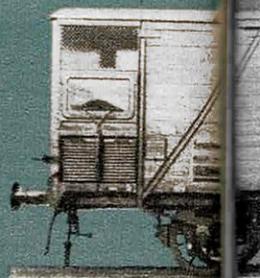
Plusieurs appareils ont été essayés avec des résultats satisfaisants. La S. N. C. F. prévoit d'équiper quelques rames pour vérifier la tenue en service normal de ces différents appareils, exécuter les mises au point nécessaires et choisir parmi eux le dispositif qui devra être monté sur les voitures des trains ultra-rapides de demain.

E. Lejeune et M. Triaureau

Ingénieur et Inspecteur Divisionnaire
au Service Technique du Matériel et de la Traction.

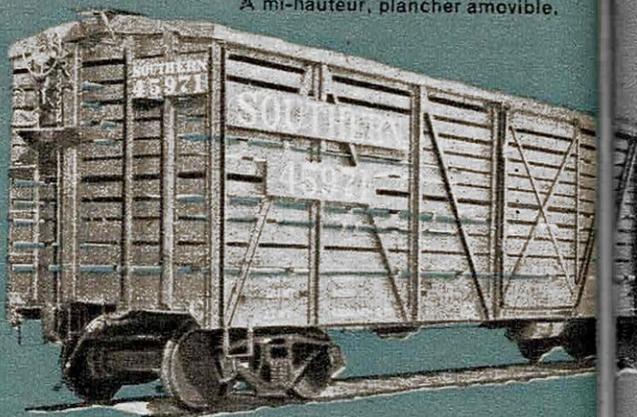


● Wagon-citerne américain servant au transport du vin. Capacité : 30 000 l.



● Wagon pour animaux vivants. A mi-hauteur, plancher amovible.

LE MATÉRIEL MARCHANDISES



LES premiers véhicules qui circulèrent sur voie ferrée, en Angleterre comme en France, transportaient du charbon. Ils constituaient du matériel à marchandises, c'est-à-dire, en terme de métier, des wagons. Depuis cette époque, le chemin de fer est resté, avant tout, un transporteur de marchandises, et il y a, sur la S. N. C. F., vingt fois plus de wagons que de voitures à voyageurs. C'est dire toute l'importance qu'occupe dans la vie du chemin de fer le matériel à marchandises.

LES WAGONS FRANÇAIS DE TYPE COURANT

Un wagon de type courant se compose essentiellement d'une caisse, dans laquelle est placée la marchandise à transporter, d'un châssis en acier supportant la caisse, d'organes de roulement et d'organes de suspension constituant une liaison élastique entre

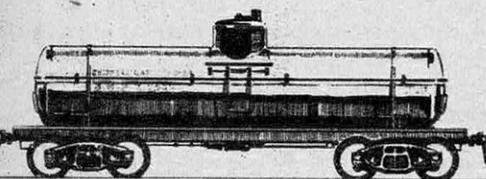
l'ensemble châssis-caisse et les organes de roulement.

Les wagons français de type courant sont tous à deux essieux et se classent en trois grandes catégories :

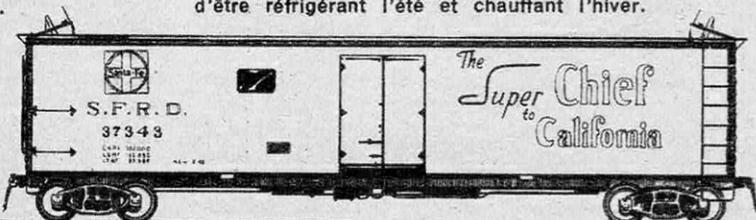
— Les **wagons couverts** dont le modèle le plus récent peut transporter 20 t en régime ordinaire et 15 t en régime accéléré. L'ensemble du châssis et de l'ossature de caisse forme un édifice monobloc de grande rigidité. Tous les assemblages sont réalisés par soudure.

Une variante importante est constituée par les wagons à primeurs. Une toiture à double frisage de bois, avec couche d'air intermédiaire, procure une bonne isolation thermique. Une aération active est fournie par un certain nombre de baies : quatre à la partie inférieure et quatre à la partie supérieure de chaque face, une à chaque bout. Toutes sont munies de volets coulissants et garnies de tôles perforées ou de persiennes, de façon à éviter les vols.

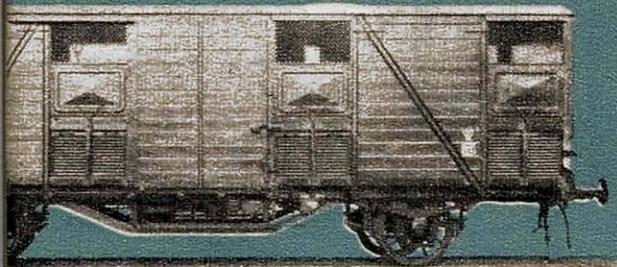
● Wagon-citerne américain pour produits lourds tels que le goudron, avec réchauffage à la vapeur.



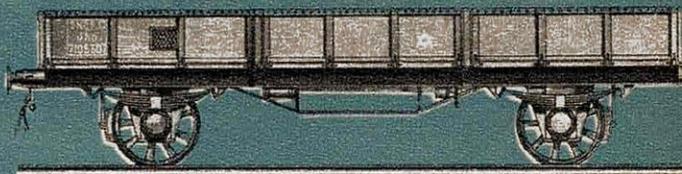
● Wagon américain présentant la particularité d'être réfrigérant l'été et chauffant l'hiver.



● Wagon S. N. C. F. à primeurs avec ses baies latérales ouvertes.

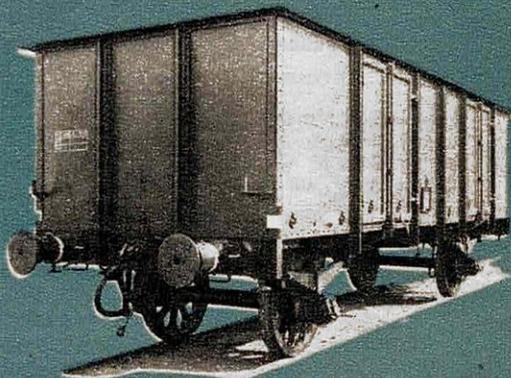
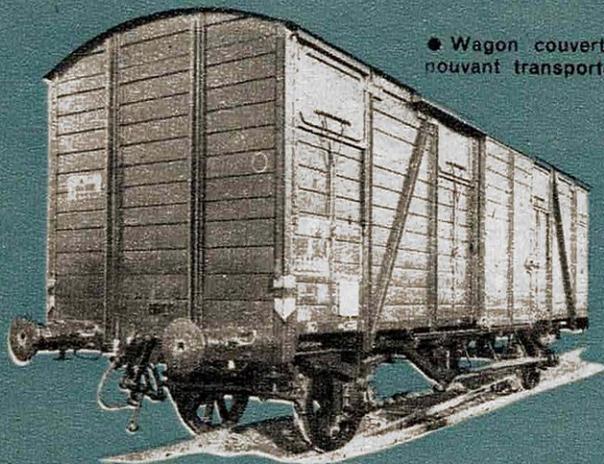


● Wagon plat S. N. C. F. à côtés rabattants, pouvant porter 20 t.



● Wagon couvert S. N. C. F. pouvant transporter 20 tonnes.

● Wagon-tombereau S. N. C. F. portant 20 t à 29,5 t par essieu.



Les wagons à primeurs peuvent être incorporés dans les trains de voyageurs. Ils possèdent donc des conduites de vapeur et des conduites électriques, pour ne pas interrompre la continuité du chauffage.

— Les **wagons-tombereaux** assurent le transport du charbon et du minéral. Le wagon-tombereau standard a une tare de 10,5 t environ. Les voies modernes pouvant supporter 20 t par essieu, le tombereau standard, avec ses deux essieux, peut donc transporter 29,5 t. Sur les voies, encore nombreuses, qui ne peuvent supporter que 16 t par essieu, la charge est limitée à 21,5 t.

— Les **wagons plats** transportent des machines, des automobiles, des cadres, etc. Dans le wagon plat standard, les côtés et, les bouts, constitués par des panneaux en tôle encadrés de plats en acier assemblés par rivets, sont rabattables, afin de permettre à un véhicule de passer directement d'un quai de gare surélevé sur la plate-forme du wagon. La plate-forme a une longueur de 8,23 m et

peut supporter 20 t réparties sur toute la longueur du wagon ou rassemblées au centre, sur une longueur de 3,20 m.

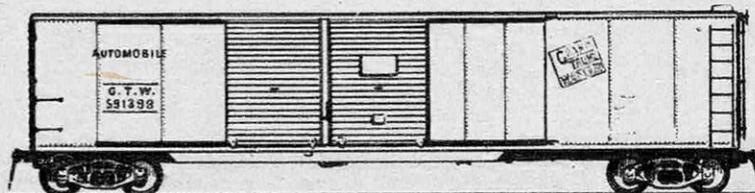
Tels sont les wagons français les plus modernes de chacune des trois catégories, ceux qui constituent le matériel de dimensions standardisées construit en France depuis plusieurs années. Le parc de la S. N. C. F. en comprend quantité d'autres, qui ont les caractéristiques les plus diverses.

LE MATÉRIEL UNIFIÉ POUR L'EUROPE

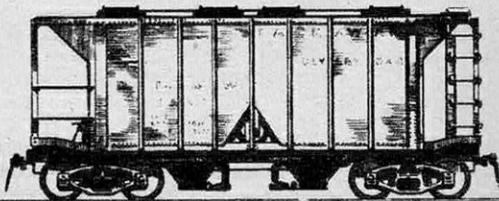
En Europe, les wagons de chaque pays doivent pouvoir circuler sur les lignes des autres pays, lorsque l'écartement des voies le permet, bien entendu (1). Ils doivent donc pouvoir y subir des réparations, et les pièces avariées pouvoir être remplacées rapide-

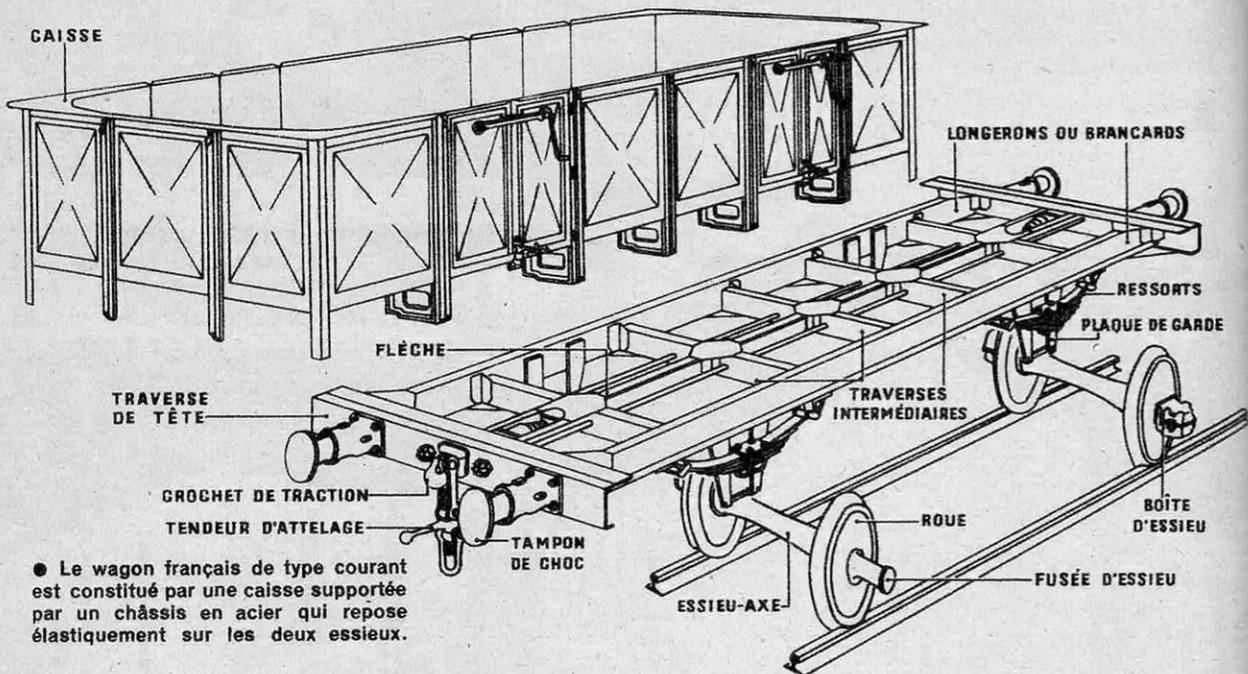
(1) Les chemins de fer espagnols et russes ont un écartement de voies différent de celui adopté par tous les autres pays d'Europe.

● Wagon américain pour le transport d'automobiles, muni de portes latérales et en bout.



● Wagon couvert américain avec une caisse à deux trémiés destinée au transport du ciment.





● Le wagon français de type courant est constitué par une caisse supportée par un châssis en acier qui repose élastiquement sur les deux essieux.

ment. On voit le grand intérêt présenté par un matériel qui serait unifié non pas seulement dans un pays, mais dans toute l'Europe.

Les principes de cette unification, dans le cadre européen, ont été posés, en novembre 1950, par l'Union Internationale des Chemins de fer (U.I.C.) qui a confié les études de détail du futur matériel à un nouvel organisme : l'Office de Recherches et d'Essais (O. R. E.) de l'U. I. C.

L'unification porte, en particulier, sur les points suivants :

1° Le nombre de types de wagons unifiés sera limité à six, dont les caractéristiques intéressant la clientèle sont fixées. A l'avenir, le client connaîtra d'avance la longueur, la largeur, la hauteur, la dimension des portes du wagon qui sera mis à sa disposition. Il pourra ainsi combiner ses chargements et prévoir ses emballages de manière à utiliser au mieux le wagon. Peut-être même l'unification des wagons entraînera-t-elle celle des emballages et l'étude rationnelle des engins de manutention.

2° Le châssis et l'ossature seront unifiés suivant des plans établis par l'O. R. E. La construction dans un pays de wagons destinés

à n'importe quel autre pays deviendra possible, et l'entretien du matériel sera grandement facilité.

3° En ce qui concerne les organes et pièces de détail, on a, dans la plupart des cas, préféré l'interchangeabilité à la standardisation intégrale. Une standardisation hâtive présente, en effet, l'écueil de figer définitivement la technique et d'empêcher tout progrès ultérieur. Il n'est, d'ailleurs, pas nécessaire d'en arriver là pour bénéficier des avantages que l'on attend, qui sont, avant tout, des facilités pour l'entretien des wagons.

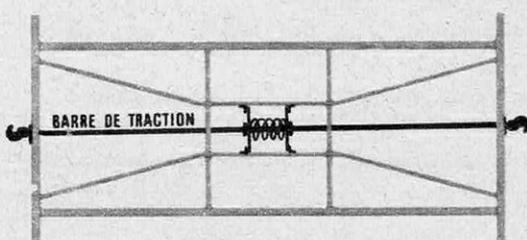
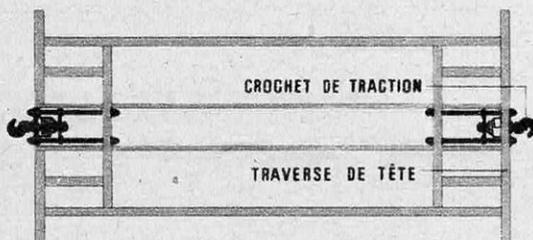
TYPES DES WAGONS UNIFIÉS

Voici les six types de wagons qui seront construits, à l'avenir, dans toute l'Europe :

1° Deux types de wagons couverts, l'un de 21 m² de surface utile de plancher et 50 m³ de volume utile, l'autre de 25 m² et 60 m³ (1).

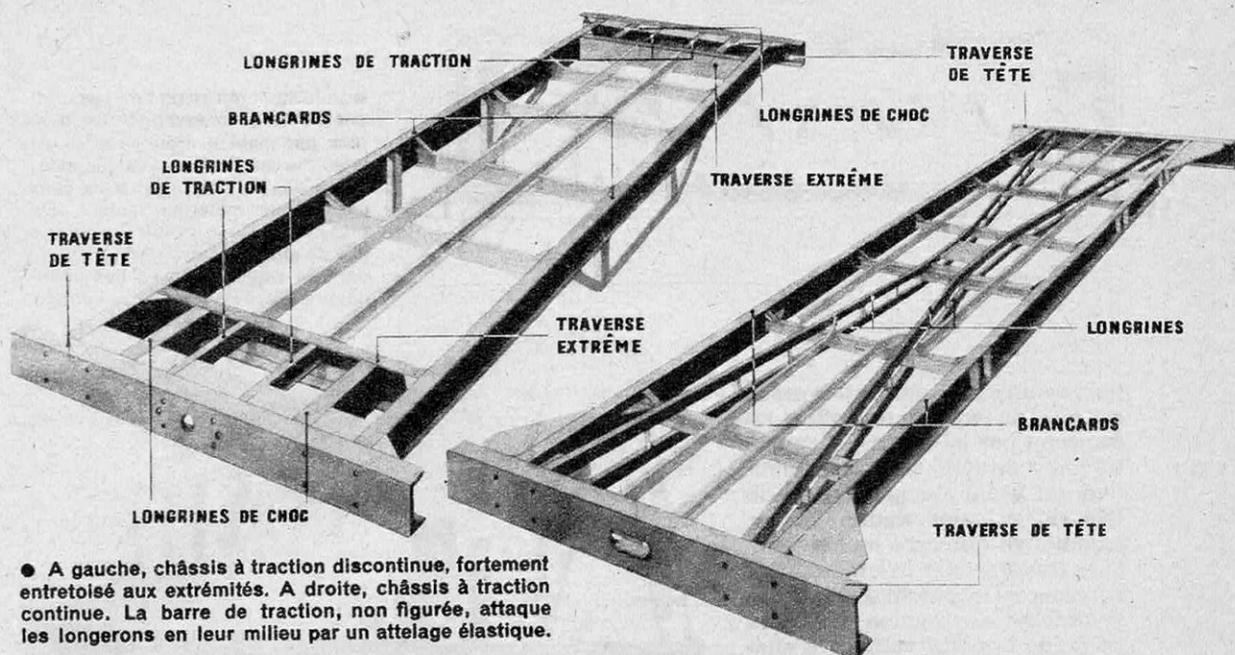
2° Deux types de wagons-tombereaux ayant tous deux une capacité de 36 m³. Mais, dans l'un, cette capacité est obtenue avec un wagon

(1) Le wagon couvert de la S. N. C. F., précédemment décrit, a une surface utile de 24 m² et un volume utile de 55 m³.



● En traction discontinue, les wagons démarrent les uns après les autres grâce à la fixation élastique du crochet. En traction continue, les tiges de traction

forment une chaîne de longueur fixe à laquelle les wagons sont fixés élastiquement. Le démarrage du train s'effectue d'un bloc et exige un gros effort instantané.



● A gauche, châssis à traction discontinue, fortement entretoisé aux extrémités. A droite, châssis à traction continue. La barre de traction, non figurée, attaque les longerons en leur milieu par un attelage élastique.

relativement court, de 7,76 m de longueur utile, et des parois hautes, renforcées à la partie supérieure par une lisse (type 1). Dans l'autre, elle est obtenue avec un wagon plus long, ayant 8,76 m de longueur utile et des parois moins hautes, ce qui permet de supprimer la lisse supérieure. Le wagon-tombereau type 1 comporte quatre portes de chargement, alors que l'autre wagon-tombereau n'en comporte que deux, mais plus larges (1,80 m au lieu de 1,40 m pour le type 1).

La France et un certain nombre d'autres pays donnent la préférence au type 1, parce qu'il permet de constituer des trains plus courts, que les risques de déformation de la caisse sont diminués et que la présence de quatre portes facilite le chargement et le déchargement.

Ajoutons que, dans l'un et l'autre types de wagon-tombereau, les parois de bout cons-

tituent une porte mobile autour d'un axe supérieur, permettant le déchargement du wagon par basculement.

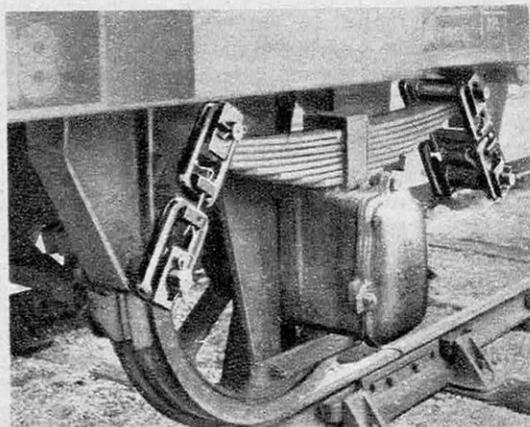
Cette disposition, qui est déjà de pratique courante dans certains pays, constitue une innovation en France.

3° Deux types de wagons-plats, l'un de 8,64 m, l'autre de 12,50 m de longueur utile.

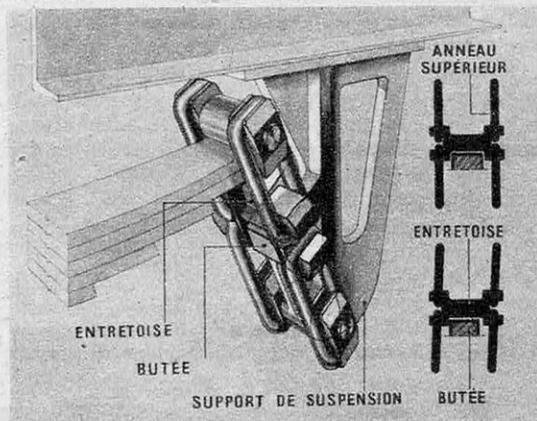
On a recherché des longueurs hors tampons et des empattements tels que ces six types de wagons puissent être réalisés au moyen de quatre châssis différents seulement.

Les wagons constituant un train sont attelés les uns aux autres au moyen de crochets de traction et de tendeurs d'attelage, par l'intermédiaire desquels se transmet l'effort de traction de la locomotive. La transmission de cet effort peut se faire suivant deux modes différents :

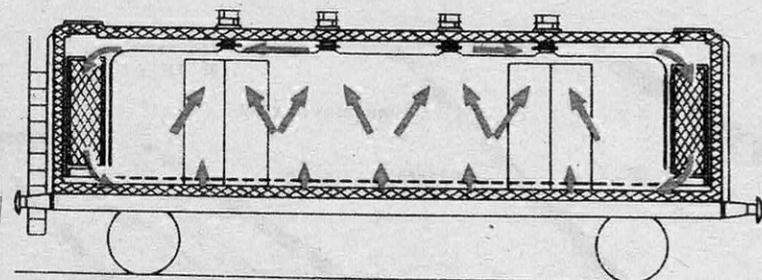
En traction dite **discontinue**, le crochet de



● La suspension à doubles anneaux augmente la force qui rappelle la caisse écartée de sa position normale. Lorsqu'un essieu est déporté vers la droite,



par exemple, l'entretoise vient au contact de la butée, l'anneau supérieur continue seul à s'incliner et l'essieu est rappelé énergiquement vers la gauche.



● Un wagon réfrigérant doit assurer une bonne conservation des denrées périssables. Pour cela, il est isolé thermiquement : caisse blanche à double paroi ; entre les deux parois, un matériau isolant. De plus, une source froide (bacs remplis de glace) refroidit l'air circulant dans le wagon grâce à des ventilateurs (voir schéma ci-contre).

traction tire sur une des traverses de tête du wagon et l'effort se transmet par le châssis à l'autre traverse de tête. C'est, en définitive, en tirant sur la traverse de tête du premier wagon que la locomotive démarre tout le train. Si la traverse est insuffisamment robuste, la locomotive arrachera le crochet de traction. Il y aura ce qu'on appelle rupture d'attelage.

Par contre, le démarrage est facilité parce que les wagons ne démarrent que l'un après l'autre, si les attelages ne sont pas serrés. La rupture d'attelage pourra, d'ailleurs, se produire aussi bien au démarrage du deuxième ou troisième wagon qu'au démarrage du premier. Cependant les véhicules de tête sont soumis à des efforts plus considérables que ceux de queue.

En traction dite **continue**, une tige de traction rigide réunit, sans aucun intermédiaire élastique, les deux crochets de traction d'un même wagon. Lorsque les tendeurs sont serrés, les tiges de traction des wagons composant le train forment une chaîne continue, qui transmet l'effort de la locomotive et à laquelle sont accrochés élastiquement les wagons.

Chaque châssis supporte les seuls efforts relatifs à la traction du wagon dont il fait partie.

La locomotive doit démarrer le train formant un bloc. Si le poids du train est trop considérable pour sa puissance ou si l'on se trouve en rampe, le train ne démarrera pas.

Comme on le voit, chacun des systèmes de traction à ses avantages et ses inconvénients propres. Les considérations d'interchangeabilité des pièces ayant conduit à adopter un crochet de traction court, l'adoption de la traction continue s'en est suivie.

Les châssis des wagons français étudiés



précédemment étaient conçus pour transmettre sans dommage les efforts inhérents à la traction discontinue. Leur constitution était celle d'un rectangle très robuste avec, à chaque extrémité, un caisson fortement entretoisé, de façon à éviter les arrachements de traverse de tête.

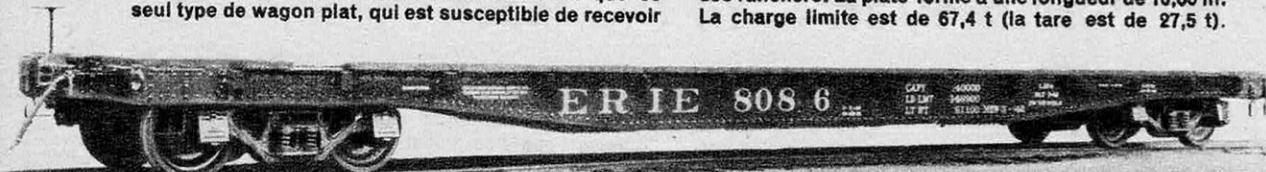
Ces considérations n'existent plus en traction continue. Le châssis étant « accroché » par sa partie centrale à la tige de traction qui l'entraîne, cette partie doit être spécialement renforcée, d'où les quatre longrines qu'on remarque sur la figure de la page 137.

Les caractéristiques à donner aux châssis des futurs wagons européens pour obtenir une bonne tenue en ligne aux vitesses élevées ont fait l'objet de toute une série d'expériences.

Ainsi qu'on le sait, la surface de roulement du rail et celle du bandage sont inclinées. Par ailleurs, l'écartement des rails est un peu plus grand que celui des boudins de roue de façon à permettre à l'essieu de rouler sans contrainte et sans frottement excessif des boudins. Si, pour une cause quelconque, l'essieu est déporté sur la droite ou la gauche, ses deux roues ne roulent plus sur des cercles de diamètres égaux. La roue qui s'est rappro-

● Les Chemins de fer américains n'utilisent que ce seul type de wagon plat, qui est susceptible de recevoir

des ranchers. La plate-forme a une longueur de 16,30 m. La charge limite est de 67,4 t (la tare est de 27,5 t).



chée du rail roule sur un diamètre plus grand ; pour un tour d'essieu, elle fait plus de chemin que l'autre roue qui, elle, s'est écartée du rail. L'essieu cesse d'être perpendiculaire à la voie et amorce un mouvement d'oscillation qu'on appelle le mouvement de lacet de l'essieu.

Ce mouvement de lacet des essieux impose à la caisse du wagon des oscillations rotatoires autour d'un axe vertical passant par le centre de gravité, qui constituent le mouvement de lacet du wagon. Si les impulsions de lacet que les essieux donnent à la caisse ont un rythme qui coïncide avec le rythme propre de la caisse, le mouvement de lacet du wagon prendra une amplitude de plus en plus grande et le wagon déraillera.

On évite ce phénomène en fixant la fréquence propre de l'oscillation rotatoire de la caisse au-dessus ou au-dessous de la fréquence d'excitation de l'essieu. C'est cette dernière solution qui a été choisie. Les expériences faites ont montré que, pour la réaliser, il fallait des suspensions longues, des jeux trans-

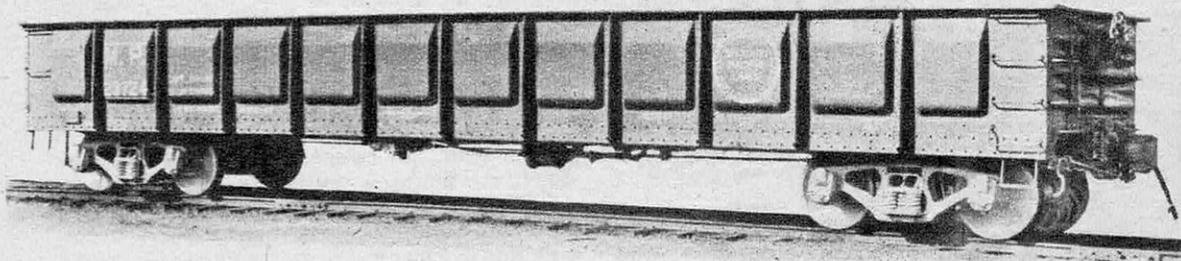
WAGONS SPÉCIALISÉS

En dehors des wagons de type courant, il existe des wagons destinés à des transports qui exigent soit des dimensions ou une conformation particulière de la caisse ou de la plate-forme, soit des agencements spéciaux. En voici des exemples pris sur la S. N. C. F.

Pour les bois en grumes ainsi que les produits métallurgiques de grande longueur, notamment les rails, on utilise un wagon plat qui a une longueur de caisse de 18,50 m et une longueur totale de 19,75 m.

Toute une gamme de wagons dits spéciaux ou superspéciaux a été étudiée pour transporter des pièces de dimensions ou de tonnages exceptionnels : ailes d'avions, rouleaux de laminoirs, transformateurs, etc.

Deux catégories importantes de wagons spécialisés sont les wagons citernes, pour le transport des liquides, et les wagons réfrigérants, pour le transport des denrées périssables : viande fraîche, fruits, légumes, beurre, etc.



● Le wagon-tombereau couramment utilisé en Amérique ne comporte ni portes, ni côtés basculants. Le

déchargement se fait par retournement complet du wagon. Longueur intérieure : 13,71 m. Charge : 56 t.

versaux importants, des plaques de garde souples, un empattement court.

Mais les suspensions longues simples sont sensibles aux déviations latérales d'une certaine importance, produites soit par les inégalités de la voie, soit au moment de l'attaque des courbes. Il fallait trouver un artifice pour augmenter la force de rappel latéral, qui tend à toujours ramener les organes dans la position correcte. C'est ce que réalise la suspension à doubles anneaux.

Les mêmes expériences ont enfin montré que le rapport entre l'empattement et la longueur hors tampons doit être de 0,54.

Cette valeur est réalisée dans trois des quatre types de châssis standard. Dans le wagon plat le plus long, on a dû, pour éviter un porte à faux trop considérable, augmenter l'empattement et réaliser un rapport de 0,58.

On voit le chemin parcouru en matière de construction de wagons. C'est que les wagons ne circulent plus seulement dans des trains tracés à une vitesse relativement réduite ; ils doivent pouvoir rouler en toute sécurité à la vitesse des trains de voyageurs, c'est-à-dire à 100 km/h.

Le wagon réfrigérant est un wagon couvert agencé pour maintenir la marchandise transportée à une basse température pendant tout le voyage, de façon à en assurer la conservation. La caisse est à double paroi ; entre les deux parois, une couche très épaisse de liège assure un bon isolement calorifique. Dans les wagons construits actuellement pour la Société Internationale d'Exploitation de Wagons Frigorifiques « Interfrigo », le liège a été remplacé par d'autres matériaux plus isolants : « l'ozonite », sorte d'ébonite mousse, et l'« isoflex », constitué par des feuilles de cellophane gaufrées. Les parois extérieures des wagons réfrigérants sont peintes en blanc, de façon à réfléchir la chaleur solaire. La marchandise à transporter est refroidie avant son chargement dans le wagon qui a, lui-même, séjourné un certain temps dans une chambre froide.

Pendant le trajet, une source froide, habituellement constituée par des bacs remplis de glace, compense les apports extérieurs de chaleur qui sont inévitables, malgré l'isolement dont nous venons de parler.

Citons enfin les wagons spécialisés au transport des remorques rail-route. La remorque

contenant la marchandise est chargée sur un wagon muni de rails. A l'arrivée, la remorque est replacée sur la route et la marchandise arrive sans transbordement chez le client. C'est une des formules du transport de « porte à porte ».

La formule inverse est possible. Les wagons ordinaires peuvent être chargés sur une remorque spéciale, dite remorque porte-wagon, et être transportés à domicile avec leur chargement.

WAGONS AMÉRICAINS

Les différences entre le matériel américain et le matériel européen dérivent de trois facteurs principaux :

1° L'échelle américaine est différente de l'échelle européenne. Le wagon-tombereau standard peut transporter une charge de 56 t, alors qu'en Europe le wagon-tombereau le plus moderne transporte au maximum 29 t. Cela tient à la vie économique intense d'un pays très peuplé et riche en matières premières, aux énormes agglomérations urbaines souvent éloignées les unes des autres qui multiplient la masse et la distance des transports. Alors qu'en France un train de marchandises a un tonnage de 800 à 1 500 t, il atteint couramment 6 000 t en Amérique.

Pour permettre à un wagon de porter une charge de 56 t, il faut donner à sa caisse une capacité appropriée. Comme la hauteur et la largeur sont limitées par le gabarit, on ne peut qu'augmenter la longueur. La caisse du wagon-tombereau standard américain que nous avons pris pour exemple a une longueur intérieure de 13,71 m.

La charge qu'un essieu peut porter et transmettre au rail est limitée par les caractéristiques de cet essieu et de la voie. Elle ne dépasse jamais 27 t par essieu. Or les essieux ont à porter, outre le poids du chargement, le poids du wagon lui-même qui, dans le cas du tombereau déjà cité, est environ 21 t. Dans l'exemple choisi, il y a 77 t environ à porter. Il faut, par conséquent, multiplier le nombre des essieux. Les wagons américains ont donc quatre essieux, groupés en deux bogies pour permettre l'inscription en courbe.

2° Les wagons, au lieu d'être pourvus, comme en Europe, à chacune de leurs extrémités de deux tampons et d'un crochet de traction, sont dotés d'un organe unique, placé dans l'axe longitudinal, qui sert à la fois à absorber les chocs et à assurer la traction. C'est ce qu'on appelle l'attelage central qui est, en outre, un attelage automatique.

Le fait que tous les efforts importants supportés par le wagon s'exercent suivant son axe a conduit à constituer le châssis autour d'un élément axial robuste, qui reçoit directement les efforts transmis par l'attelage central et qui contient les pivots des bogies. C'est le type de châssis qu'on appelle « en arête de poisson ».

Alors qu'en Europe le châssis est toujours

construit en profilés et tôles assemblés par rivetage ou soudure, il est, en Amérique, le plus souvent en acier moulé.

3° La gamme des wagons de type courant ne se limite pas, comme en Europe, à trois catégories (couverts, tombereaux, plats). La spécialisation des wagons est beaucoup plus poussée.

Le nombre de wagons circulant aux États-Unis atteint environ 2 millions alors qu'il est de 300 000 en France. Sur ce nombre, il y a 147 000 wagons réfrigérants (contre 5 000 en France), 58 000 wagons pour le transport d'animaux vivants et 150 000 wagons-citernes. Tous ces wagons sont considérés comme étant de type courant.

RÉALISATIONS D'AVANT-GARDE

C'est, en général, l'acier qui est utilisé pour la construction des wagons et, à première vue, il paraît difficile de faire appel à un matériau plus léger, en raison des chocs et du service très dur auxquels sont soumis les wagons. Il existe cependant, en France, deux prototypes de wagons presque entièrement réalisés en aluminium : l'un est un wagon tombereau à deux essieux, l'autre un wagon à bogies, à déchargement automatique, pour le transport du charbon et du coke. Ces deux wagons ont, jusqu'ici, bien résisté en service.

Aux États-Unis, l'aluminium est couramment utilisé pour les caisses des wagons-trémies de charbonnage et pour les caisses des wagons couverts.

La diminution du poids mort a été la préoccupation constante des ingénieurs. On y parvient par une disposition judicieuse des membrures et en ne mettant, en chaque point, que la quantité de métal strictement nécessaire pour obtenir la résistance voulue. L'essai d'un châssis prototype sur un banc de compression apporte, à ce point de vue, des enseignements précieux : on admet qu'un châssis ne doit pas se déformer sous une pression de 200 t, exercée sur l'un de ses bouts. Cette méthode expérimentale, qui vient d'être introduite en France, est utilisée dans l'étude du matériel unifié européen.

Parmi les réalisations particulièrement audacieuses, il faut signaler la construction, en Amérique, d'un wagon couvert réfrigérant, dans lequel l'élément résistant de la charpente de châssis et de caisse est le bois contre-plaqué. Les assemblages sont réalisés par collage, suivant une technique très spéciale. La robustesse de ce wagon est telle qu'il a supporté des essais de tamponnement à 20 km/h alors que le wagon métallique tamponné a été quelque peu avarié.

Citons enfin le wagon plat, construit en deux exemplaires, en Amérique, pour porter une charge de 225 t. Ce wagon pèse 44 t et repose sur quatre bogies, soit huit essieux au total.

M. Dufour

Ingénieur Principal
au Service Technique du Matériel
et de la Traction de la S. N. C. F.



LE TRAFIC MARCHANDISES

UN FAISCEAU DE TRIAGE MODERNE : ACHÈRES. AU PREMIER PLAN LES FREINS DE VOIE

EN 1950, le nombre de wagons chargés sur la S. N. C. F. et entrés chargés en France par les gares frontières s'est élevé à 13 482 000, soit environ 37 000 wagons par jour. Pendant la même période, le nombre des expéditions de colis de détail a atteint 57 381 000, soit, par jour, 157 000 expéditions, dont certaines constituées par plusieurs colis.

C'est cette masse considérable de wagons et de colis, expédiés ou reçus par les quelque 6 000 gares françaises, qu'il faut acheminer dans des délais souvent extrêmement réduits.

Autrefois, ces transports étaient effectués suivant deux régimes de vitesse et deux tarifs différents, « grande vitesse » (GV) et « petite vitesse » (PV). A cette tarification double, on a substitué en 1946 une tarification unique qui fixe, pour chaque marchandise, le régime de vitesse du transport — régime ordinaire (RO) ou régime accéléré (RA) — qui leur convient le mieux.

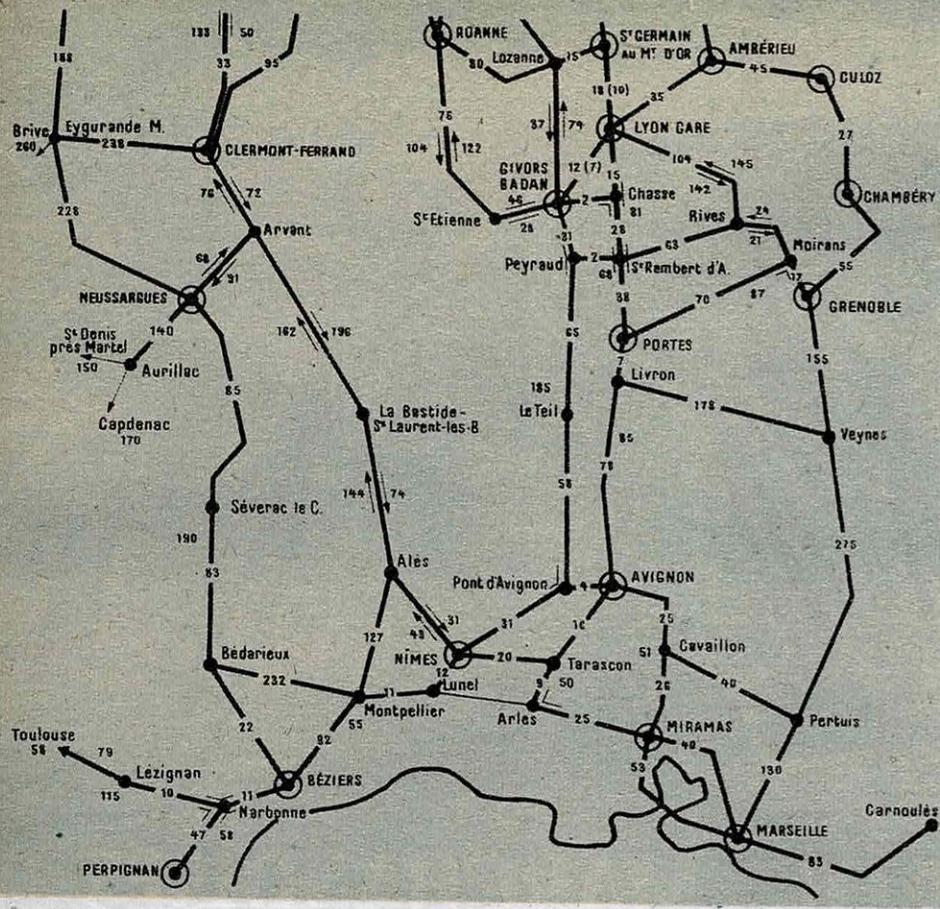
C'est ainsi qu'actuellement bénéficient d'office des délais du RA tous les colis de détail, les denrées, les animaux vivants, différents produits manufacturés, etc. Les marchandises

pondéreuses et les matières premières (engrais, céréales, charbon, minerais, sable, bois, etc.) sont transportées en RO; les expéditeurs peuvent toutefois faire transporter en régime accéléré, moyennant un supplément de prix, des marchandises relevant du régime ordinaire, mais qui auraient exceptionnellement besoin d'un transport plus rapide.

Ces deux régimes qui se partagent le trafic — le RA pour un tiers des wagons, le RO pour les deux autres tiers — font l'objet de deux organisations indépendantes et de conceptions différentes :

Le régime ordinaire — qui englobe toutes les expéditions par wagons complets de marchandises pondéreuses auxquelles il ne serait pas possible de faire payer un prix de transport élevé — a été conçu de façon à **réduire le prix de revient du transport.**

Le régime accéléré — qui draine toutes les expéditions de colis et tous les wagons complets chargés de marchandises, telles que les denrées périssables, pour lesquelles la rapidité d'acheminement est primordiale — a été conçu de façon à **réduire au minimum la durée du transport.**



LES DISTANCES " FICTIVES "

La taxe de transport en régime ordinaire est calculée d'après l'itinéraire le plus court entre la gare expéditrice et la gare destinataire. Mais l'acheminement effectif se fait par l'itinéraire le plus économique, d'après la carte des distances « fictives » dressée en évaluant, pour chaque section de ligne, le coût de transport d'une tonne brute et en tenant compte des dépenses dues aux escales dans les triages. L'extrait ci-contre fait apparaître l'avantage des lignes électrifiées : pour le parcours à traction vapeur Portes-Avignon (119 km), la distance fictive s'élève à 85 km, alors que, pour le parcours électrifié Narbonne-Lunel (121 km), de profil comparable au précédent, elle ne dépasse pas 45 km.

LE RÉGIME ORDINAIRE

Le problème de l'acheminement d'un wagon entre deux gares pose trois problèmes :

- 1° Choix de l'itinéraire ;
- 2° Détermination des escales, c'est-à-dire des gares où le wagon doit changer de train ;
- 3° Horaires des trains de marchandises successivement empruntés.

Nous allons voir comment ils ont été résolus avec le souci d'obtenir un acheminement avant tout économique, mais aussi rapide et régulier que possible.

Itinéraire

La distance sur laquelle est établie la taxe de transport est la distance la plus courte entre la gare expéditrice et la gare destinataire. Elle est calculée en utilisant toutes les lignes en exploitation. Il en résulte que, bien souvent, l'itinéraire de taxation utilise des lignes à profil difficile où le prix de revient du transport est élevé. On a, par suite, été conduit à dissocier l'itinéraire d'acheminement, que suit réellement le wagon, de l'itinéraire de taxation.

Comme l'on recherche, pour les transports du régime ordinaire, l'acheminement le plus économique, il convient de déterminer, parmi les différents itinéraires que l'on peut suivre pour aller d'une gare à une autre, celui qui permet d'obtenir le prix de revient le moins élevé pour le transport.

Le prix de revient d'un transport comporte

deux éléments essentiels : le coût de transport proprement dit et le coût des escales dans les gares de triage. L'évaluation des dépenses directes que nécessite l'acheminement d'une tonne brute sur les diverses sections des grandes artères de la S.N.C.F., a permis d'établir une **carte de distances fictives**. D'autre part, les dépenses aux escales, qui représentent le coût du tri des wagons dans les gares de triage, ont été elles-mêmes converties en distances fictives. En les additionnant, il est facile de comparer, du point de vue économique les différents itinéraires d'acheminement reliant deux gares, l'acheminement le plus économique correspondant à l'itinéraire donnant la distance fictive minimum compte tenu des escales dans les triages.

C'est ainsi que, pour acheminer, par exemple, un wagon de vin de Lunel à Clermont-Ferrand, deux itinéraires sont possibles : l'un par Nîmes, La Bastide-Saint-Laurent et Arvant dont la distance réelle est de 330 km et la distance fictive de : $12 + 43 + 144 + 162 + 76 + 36$ (2 escales) = 473 ; l'autre par Béziers, Neussargues et Arvant dont la distance réelle est de 486 km et la distance fictive de : $11 + 32 + 190 + 68 + 76 + 36$ (2 escales) = 413.

On voit que l'acheminement via Béziers et Neussargues revient bien moins cher que celui via Nîmes et La Bastide, quoique ce dernier itinéraire présente une longueur réelle plus courte de 156 km.

Cela est dû, pour une part, à ce que le prix

de revient sur ligne électrifiée est beaucoup plus réduit que sur ligne à traction vapeur ; l'itinéraire via Béziers (électrifié sur 375 km, de Lunel à Neussargues) est favorisé par rapport à l'itinéraire via Nîmes (électrifié de Lunel à Nîmes, soit seulement 26 km).

Escales

Il n'est évidemment pas possible, dans la majorité des cas, d'acheminer un wagon de la gare expéditrice à la gare destinataire en l'incorporant dans un train reliant directement ces deux gares ; le volume du trafic considéré ne justifie pas, en général, la mise en marche d'un tel train. Aussi les wagons doivent-ils changer de train et, pour cela, subir des escales dans des gares de triage.

Dans le cas le plus général, l'acheminement d'un wagon du régime ordinaire comporte, de ce fait, trois phases :

— **concentration** de la gare expéditrice jusqu'à la première gare de triage ;

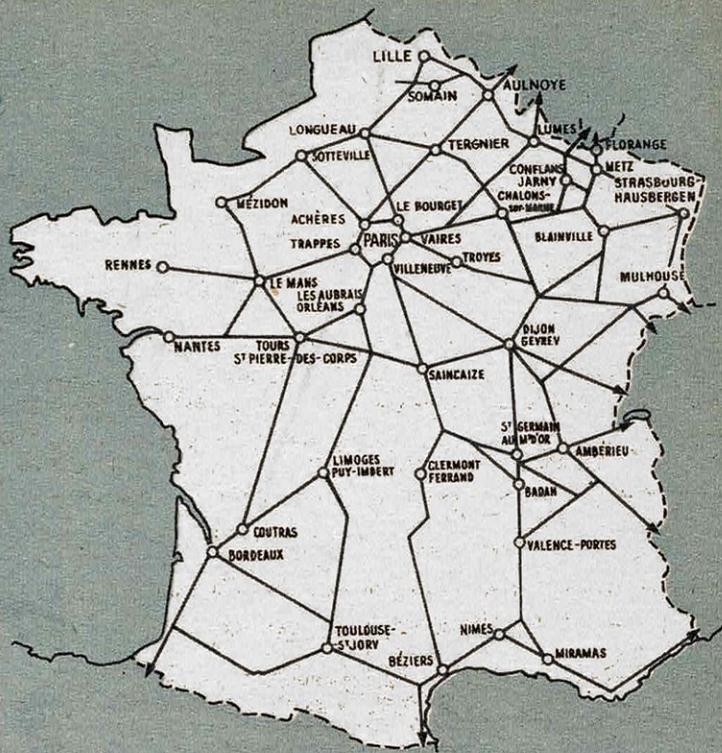
— **parcours**, par trains directs, de cette gare de triage à la gare de triage la plus proche de la gare destinataire située sur l'itinéraire que doit suivre le wagon, avec parfois une ou plusieurs escales dans des gares de triage intermédiaires.

— **distribution** de la dernière gare de triage à la gare destinataire.

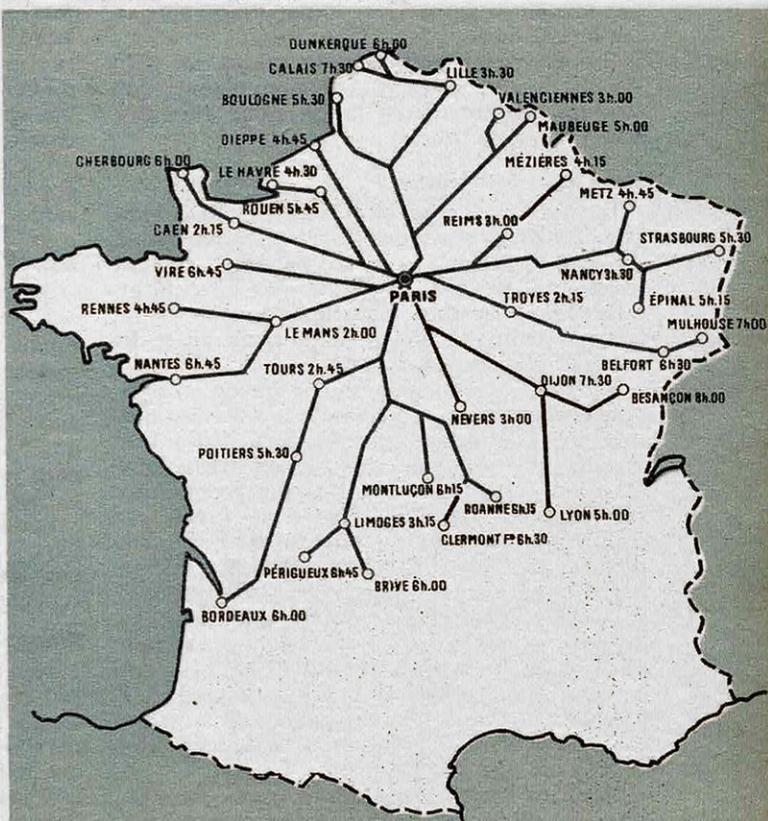
Pour réaliser un acheminement économique, rapide et régulier, il faut limiter strictement le nombre des escales et choisir, comme lieux d'escale sur l'itinéraire économique, des gares de triage modernes où le tri des wagons est d'un prix de revient peu élevé et s'effectue dans le minimum de temps.

La S. N. C. F. dispose, pour les transports du régime ordinaire, d'une quarantaine de grands triages situés soit à proximité de centres importants de production ou de consommation (Paris, Metz, Lyon, Rouen, etc.), soit au point de croisement de grandes artères ferroviaires (Saint-Pierre-des-Corps, Gevrey, etc.). Parmi ces triages, deux (Villeneuve et Le Bourget) traitent entre 3 000 et 4 000 wagons par jour, deux ou trois traitent plus de 2 000 wagons par jour, plus d'une vingtaine traitent de 1 000 à 2 000 wagons et les quinze autres moins de 1 000.

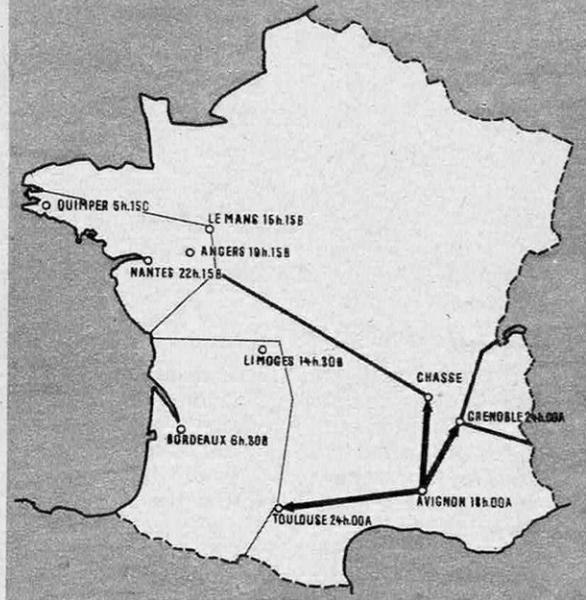
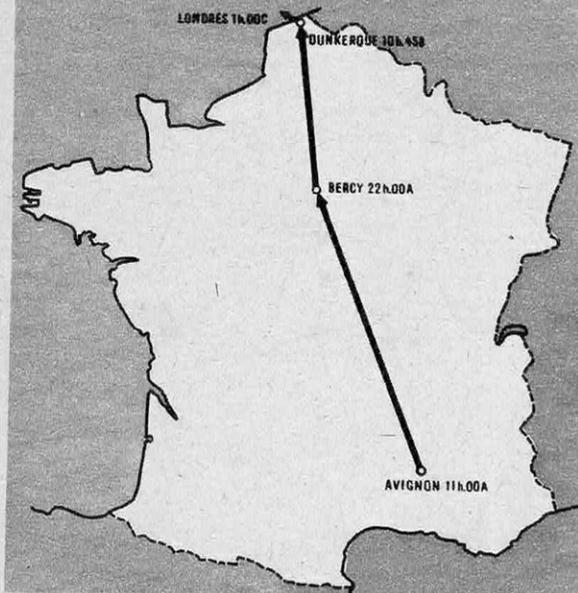
En outre de leur travail local de distribution dans leur zone d'action, ces triages répartissent les wagons qu'ils reçoivent en un certain nombre de lots ; chacun de ces lots groupe



Sur cette carte figurent les principaux triages du régime ordinaire, au nombre d'une quarantaine, installés près des grands centres de production ou au croisement des grandes artères. Les plus importants sont Villeneuve et Le Bourget, près de Paris, où sont triés quotidiennement entre 3 000 et 4 000 wagons.



Le régime accéléré comporte un ensemble de trains directs permanents reliant les grands centres. La carte ci-dessus montre les relations rapides de nuit au départ de Paris grâce auxquelles un transport remis à la gare expéditrice en fin de journée peut être mis à la disposition du destinataire dès le matin suivant.



les wagons à destination d'un autre triage.

La détermination des lots formés par chaque triage est effectuée empiriquement d'après des sondages, avec le double objectif de réduire au minimum le nombre d'escales et de constituer des lots suffisamment importants pour justifier autant que possible deux enlèvements par jour, ce qui concilie au mieux les nécessités contradictoires d'économie et de rapidité de transport. Le nombre de ces lots varie entre 20 et 40 par triage suivant les installations.

Il existe ainsi, pour chaque triage, un plan de transport réglant l'acheminement des wagons partant de ce triage pour atteindre tous les autres triages.

Horaires des trains

Les trains qui assurent la concentration et la distribution des wagons s'arrêtent à toutes les gares du parcours pour les desservir et sont tracés autant que possible aux premières heures de la matinée, pour les trains de distribution, et en fin de journée, pour ceux de concentration ou de ramassage.

Les trains qui acheminent les lots de wagons que chaque triage constitue avec les wagons destinés aux autres triages sont des trains directs qui circulent sans autres arrêts que ceux nécessités par les besoins techniques (échange de machine, prise d'eau, visite du matériel, garage pour laisser passer des trains plus rapides, etc.). Ces trains directs sont des trains généralement lourds (65 à 80 wagons, 1 000 à 1 600 t brutes) qui circulent sur les grandes lignes à une moyenne commerciale de 40 à 50 km/h avec limite à 75 km/h. Leurs horaires sont choisis de façon à dégager les triages d'où ils partent aux heures opportunes et à arriver aux triages destinataires aux heures les plus favorables.

Le cadre des trains réguliers, c'est-à-dire de ceux qui circulent tous les jours, est établi en fonction du trafic du jour le plus faible de la semaine de façon que ces trains circulent

toujours à pleine charge ; ce cadre de trains réguliers est complété par des trains facultatifs qui sont mis en marche lorsque le reliquat des wagons non acheminés atteint la valeur d'un train au moins.

De cette façon de procéder il résulte que l'acheminement des wagons n'est pas rigide et peut être plus ou moins rapide suivant que le wagon trouve place dans le premier train régulier utilisable, ou se trouve rejeté sur un train régulier plus tardif, ou sur un train facultatif. Il s'agit là d'une caractéristique du régime ordinaire, conséquence du souci d'économie qui préside à son organisation et qui oblige à faire circuler les trains à **pleine charge**.

On va voir que, pour les transports du régime accéléré, l'organisation est totalement différente.

LE RÉGIME ACCÉLÉRÉ

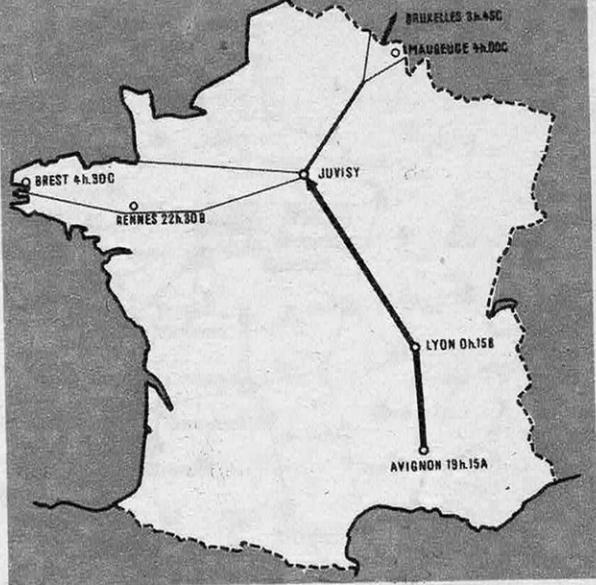
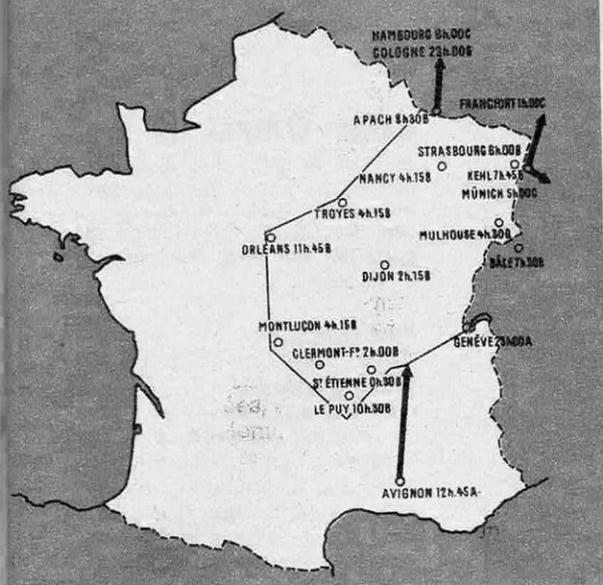
On a vu que le régime accéléré (RA) est celui de toutes les marchandises pour lesquelles la **rapidité** du transport présente un intérêt primordial.

L'organisation du RA est, par suite, établie avec le souci constant de réduire au minimum la durée du transport, tout en maintenant le prix de revient à un niveau raisonnable.

Les transports du RA étant constitués, d'une part, par des **wagons complets**, d'autre part, par les **envois de détail (colis)**, examinons successivement les deux organisations.

Wagons complets du régime accéléré

Le schéma d'acheminement des wagons du régime accéléré est analogue à celui des wagons du régime ordinaire : concentration, parcours direct, distribution. Par contre, en ce qui concerne le tonnage remorqué, les trains d'acheminement du régime accéléré, appelés trains de messageries, sont moins lourds (maximum 50 wagons, tonnage de 500 à 800 t) que les trains de marchandises ; ils sont,



par suite, beaucoup plus rapides (vitesse limite 100 km/h) et réalisent des moyennes commerciales élevées (60 à 75 km/h).

Toujours pour le même motif de rapidité, on ne tient pas compte, pour les transports du régime accéléré, de l'itinéraire le plus économique, mais on achemine par l'itinéraire qui permet d'abrèger le plus possible la durée du transport ; cet itinéraire dépend donc essentiellement des horaires des trains, et il est assez fréquent que, pour une relation déterminée, un transport soit acheminé par des itinéraires différents selon son heure de remise à la gare de départ.

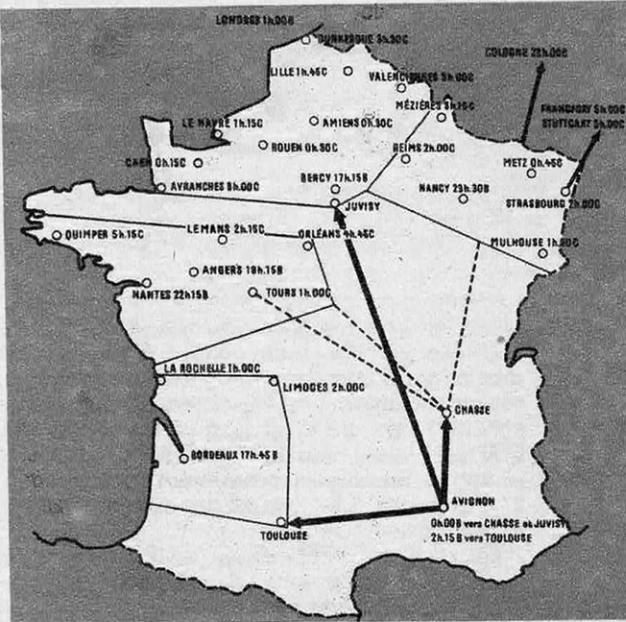
C'est ainsi que les transports de légumes de Saint-Pol-de-Léon à Marseille sont acheminés, suivant les heures de remise, via Le Mans, Saint-Pierre-des-Corps, Bordeaux, ou via Le Mans, Saint-Pierre-des-Corps, Lyon. De même, les transports de fromages de Carentan à Nice s'effectuent, suivant les heures de remise, via Caen, Le Mans, Saint-Pierre-des-Corps, Bordeaux, ou via Caen, Paris-Tolbiac, Lyon.

Les itinéraires d'acheminement sont donc déterminés *a posteriori* lorsque les horaires ont été établis ; on compare la durée d'acheminement par les différentes voies possibles et on retient celle qui offre la durée de transport la plus réduite.

Pratiquement, les grands courants de trafic sont acheminés par des trains qui sont spécialement étudiés pour eux et généralement tracés par l'itinéraire économique.

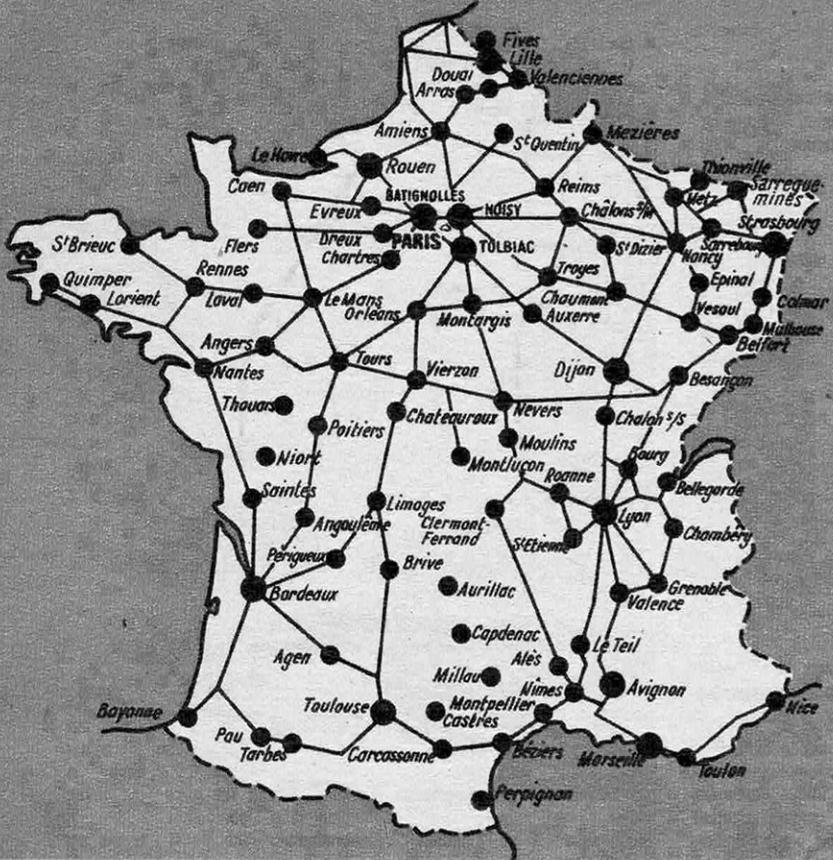
Ce n'est donc que pour la partie constituée par des envois isolés qu'on peut être amené à s'écarter de l'itinéraire économique.

Les transports du régime accéléré sont organisés de façon à subir beaucoup moins d'escales que les transports du régime ordinaire. C'est ainsi que des wagons allant d'Avignon à Lille, de Perpignan à Bruxelles, de Bordeaux à Sarrebruck, de Saint-Pol-de-Léon à Strasbourg, traversent la France en moins de 30 h avec une seule escale à Juvisy. Cette réduction du nombre des escales est obtenue en faisant



DESSERTE DU VAUCLUSE

POUR faire parvenir les fruits et les légumes du Vaucluse sur les marchés de consommation à l'heure de la vente, la S. N. C. F. effectue pendant l'été cinq dessertes au départ d'Avignon. Un premier train part à 11 h du matin pour être à 22 h à Paris et dans la nuit suivante à Londres (après passage sur le ferry-boat Dunkerque-Douvres). Le deuxième train quitte Avignon à 12 h 45 avec tous les wagons qui sont destinés au Centre et à l'Est de la France, ainsi qu'à l'Allemagne. Dans la soirée partent successivement à 18 h les envois à destination de Grenoble, du Sud-Ouest et de la Bretagne-Sud et à 19 h 15 ceux qui s'en vont vers la Bretagne-Nord et la Belgique. Enfin, dans la nuit, à minuit et à 2 h 15, une dernière desserte couvre l'Est, le Nord et l'Ouest.



GARES - CENTRES DU R. A.

Les colis de détail sont rassemblés et triés dans des gares-centres, puis acheminés par trains rapides vers des gares-centres qui les répartissent aux gares destinataires.

l'acheminement des marchandises ; ils sont, en outre, en **correspondance** entre eux dans les gares de triage ; enfin, ils doivent **enlever tous les wagons** pour l'acheminement desquels ils sont désignés. Le cas échéant, on **dédouble**, sensiblement dans les mêmes horaires, les trains insuffisants.

Alors que les transports du régime ordinaire sont anonymes et ont un acheminement fréquemment sujet à fluctuations, ceux du régime accéléré sont, au contraire, individualisés : chacun d'eux bénéficie d'un acheminement déterminé à l'avance et sur lequel on peut compter. Ces conditions sont absolument indispensables pour certains transports, notamment pour les denrées périssables.

effectuer, par les gares de triage du régime accéléré, un classement beaucoup plus poussé des wagons que dans les gares de triage du régime ordinaire ; certains triages du régime accéléré forment ainsi jusqu'à 60 et 100 lots. Ces lots étant souvent peu importants, les trains de messageries enlèvent fréquemment 2, 3 et même 4 lots qu'ils distribuent sur leur parcours.

Ces triages, entièrement distincts de ceux du RO, sont en nombre assez réduit (une vingtaine en France), et le nombre de wagons triés par chacun d'eux est faible en regard de celui des wagons traités dans les chantiers équivalents du régime ordinaire. Très peu de gares de triage du régime accéléré reçoivent plus de 1 000 wagons par jour, et Juvisy, la plus importante de toutes dépasse rarement 2 200 wagons par jour.

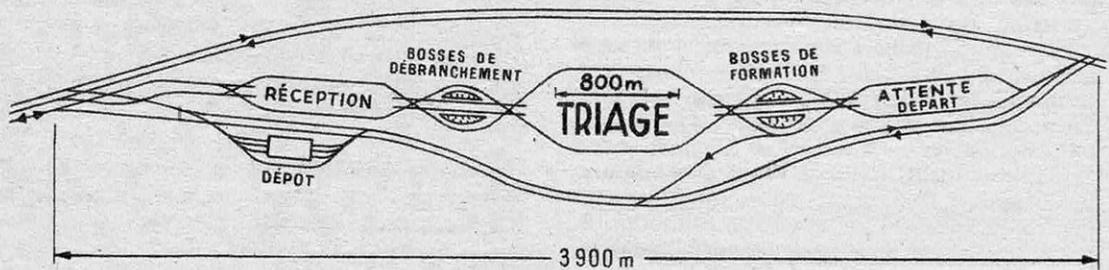
Les trains de messageries — c'est là la caractéristique essentielle de l'organisation — sont tracés dans l'horaire le plus favorable à

Aussi trouve-t-on, d'une part, un ensemble de trains permanents affectés à l'acheminement du trafic tout venant ; d'autre part, une série de trains, saisonniers pour la plupart, affectés à l'acheminement des grosses masses de denrées périssables (marée, primeurs, etc.).

Les trains **permanents** sont tracés, pour la plupart, suivant les grands courants de trafic ; en particulier, les gros centres expéditeurs et destinataires sont reliés par des trains directs permettant à un transport remis à la gare expéditrice dans la journée d'être mis à disposition du destinataire le lendemain en début de matinée. Ces relations de grands centres à grands centres sont extrêmement développées et s'établissent souvent entre des villes distantes de 500 km.

Voici quelques-unes des relations rapides de nuit établies au départ de Paris : Paris-Strasbourg, 504 km ; Paris-Lyon, 515 km ; Paris-Bordeaux, 581 km, etc.

Parmi les trains **saisonniers** affectés à cer-



tains transports de denrées, il convient de citer ceux qui servent aux expéditions de fruits et légumes du Vaucluse et de la vallée du Rhône. La grande diversité de la production de cette région rend le trafic extrêmement variable suivant la saison, de quelques dizaines de wagons à plus de 1 000 wagons par jour. Par ailleurs, les centres de consommation sont dispersés sur l'ensemble du territoire. On a, par suite, été amené, afin de réduire au minimum la durée des transports — et aussi dans le but de répartir le travail sur toute la journée dans les centres expéditeurs — à sérier les départs : chaque départ correspond à un groupe de destinations grossièrement équidistantes de la gare expéditrice.

C'est ainsi que, pendant l'été, il est prévu chaque jour cinq dessertes de la vallée du Rhône et du Vaucluse, qui permettent d'atteindre dans les meilleures conditions les marchés de consommation correspondants.

Colis de détail.

L'acheminement des colis de détail pose le problème du **groupage** des colis dans des wagons dits « wagons de détail », acheminés comme wagons complets par les trains du régime accéléré.

La France est divisée en une centaine de zones, dites « zones de wagnage », qui correspondent chacune à une gare-centre. Dans le cas le plus général, l'acheminement des colis comporte, comme celui des wagons, trois phases :

- concentration rapide sur la gare-centre dont dépend la gare expéditrice ;
- au départ de la gare-centre, triage des colis en différents lots à destination d'autres gares-centres et acheminement sur ces gares par trains directs rapides de messageries ;
- acheminement à partir de la gare-centre

COMBINEUR A BILLES →

Ce meuble comporte autant de tubes verticaux qu'il existe de voies dans le faisceau de triage. Quand un wagon franchit la butte, le chef de butte presse le bouton correspondant à sa voie de destination, provoquant au poste de débranchement la chute dans le tube d'une bille qui suit la progression du wagon et commande les aiguilles.

← SCHEMA D'UN TRIAGE

Du faisceau de réception, les trains sont refoulés lentement sur la butte de débranchement, d'où chaque wagon, dételé au préalable, dévale pour gagner, dans le faisceau de triage, la voie correspondant à sa destination. A l'autre extrémité de ce faisceau, on peut faire un classement supplémentaire, par exemple suivant l'ordre géographique des gares desservies par un train.

dont dépend la gare destinataire par wagons distributeurs mis en marche par cette gare-centre.

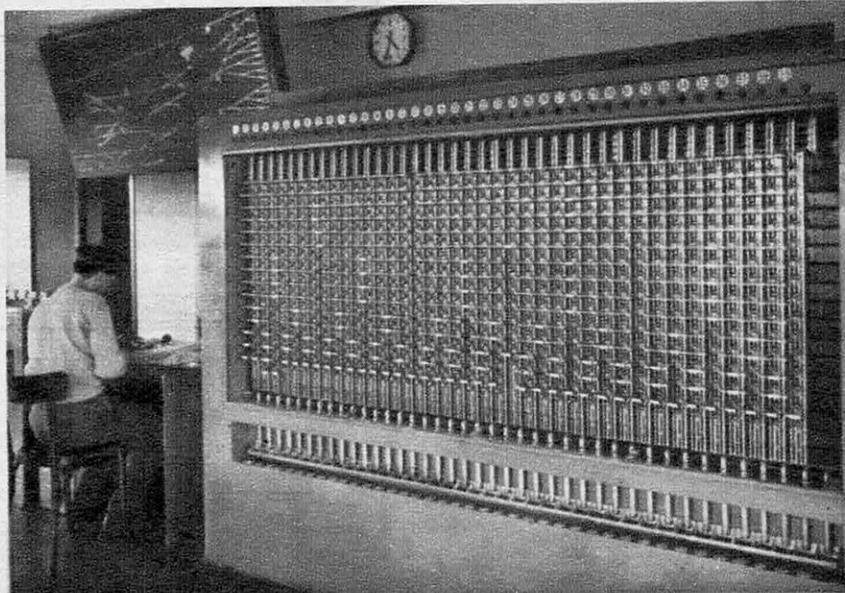
L'organisation ainsi réalisée est économique en ce sens qu'elle est basée sur l'acheminement des colis par des wagons suffisamment chargés. Elle procure un acheminement rapide, car le nombre de transbordements est généralement faible, et les parcours entre gares-centres se font en peu de temps par trains directs de messageries, qui ont des marches de rapides de voyageurs.

GARES DE TRIAGE

La concentration des wagons sur un petit nombre de gares de triage, ayant pour rôle de trier et de redistribuer un grand nombre de wagons d'une façon économique et rapide, a amené la S. N. C. F. à reconstruire, selon une conception moderne, mais en nombre plus réduit, les gares de triage détruites pendant la guerre.

Une gare de triage moderne est constituée normalement par trois faisceaux de voies, placés dans le prolongement les uns des autres et qui sont respectivement le faisceau de réception, le faisceau de triage et le faisceau de départ.

A leur arrivée, les trains à trier sont reçus sur le faisceau de réception, d'où ils sont refoulés lentement sur une « butte » placée à la tête du faisceau de triage. Lorsque chaque wagon, dételé au préalable, arrive au sommet de la butte et qu'il s'engage dans la partie de voie qui redescend, il prend une vitesse de plus en plus grande. Ainsi les wagons successifs s'espacent suffisamment pour permettre de manœuvrer les aiguilles entre deux wagons et de diriger chacun sur la voie appropriée du faisceau de triage. Chaque voie du faisceau





● Le chef de butte communique par radio avec le mécanicien qui refoule le train en débranchement.



● La machine est équipée d'un bloc émetteur-récepteur alimenté par un groupe convertisseur.

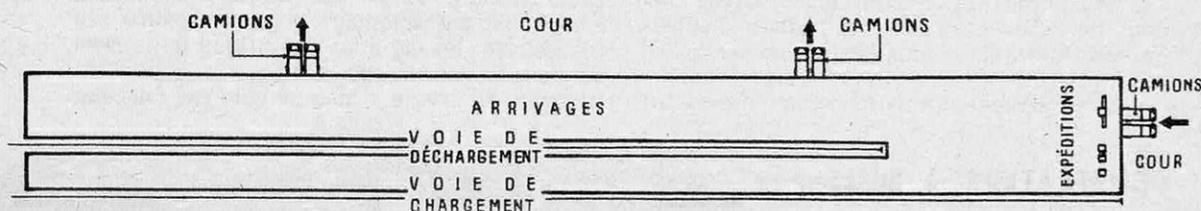
groupe les wagons d'un même lot, en régime ordinaire, ou d'un groupe de lots en régime accéléré. Les wagons ont été ralentis par des dispositifs de freinage qui leur permettent d'aborder sans choc brutal les wagons stationnant déjà sur la voie vers laquelle ils sont dirigés.

Lorsqu'une voie du faisceau de triage a reçu une quantité de wagons suffisants pour constituer un train, ces wagons sont attelés entre eux et tirés sur le faisceau de départ, où ils stationnent en attendant l'heure de départ. Les

voies du faisceau de triage étant dégagées au fur et à mesure qu'elles se remplissent, le débranchement peut ainsi se faire de façon continue.

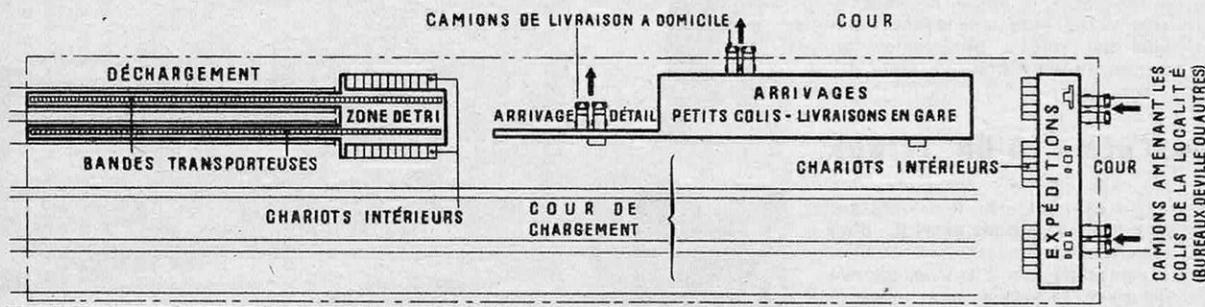
Certains chantiers modernes disposent d'une ou de plusieurs buttes entre le faisceau de triage et le faisceau de départ, ce qui permet d'effectuer des classements supplémentaires.

Un certain nombre de triages sont équipés de la façon précédente : Achères, Toulouse, Saint-Jory, Gevrey, Villeneuve, etc. Le plus important est le triage de Villeneuve qui traite



● Dans une halle classique, les colis isolés ou groupés en petit nombre sont manutentionnés par roulage sur

des quais à la hauteur du plancher des wagons. Cette méthode est onéreuse pour les gros chantiers.



● Dans une halle mécanisée sans quai, le déchargement des wagons s'effectue sur des bandes transpor-

teuses. Les colis sont ensuite distribués par des chariots plates-formes pouvant porter plus de 1 t.

certaines jours plus de 4 000 wagons de régime ordinaire.

Afin d'accélérer le plus possible les opérations de triage des wagons, tout en réduisant au strict minimum la main-d'œuvre nécessaire, les triages modernes comportent tous des postes de débranchement automatique où la manœuvre en temps utile des aiguilles successives d'un trajet, depuis la « butte » jusqu'à la voie de destination du faisceau de triage, est commandée électriquement par le wagon lui-même.

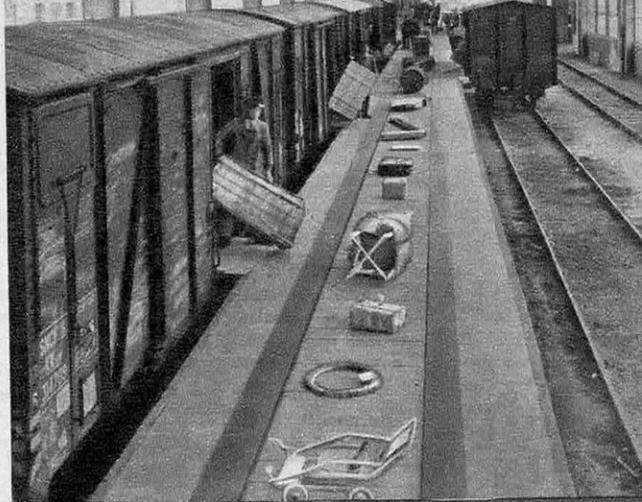
L'automatisme est obtenu grâce à un « combinateur à billes », appareil imaginé par M. R. Lévi, Directeur du Service des Installations fixes de la S. N. C. F. Le combinateur à billes comporte des tubes métalliques verticaux en nombre égal à celui des itinéraires possibles, c'est-à-dire des voies du faisceau de triage. La manœuvre est commandée par le « chef de butte » qui, au passage de chaque wagon, appuie sur un bouton portant le numéro de la voie sur laquelle il doit se diriger. Ce simple geste déclenche, au poste de débranchement, la manœuvre automatique en cascade des aiguilles successives au moyen d'une bille d'acier qui s'introduit dans le tube vertical correspondant à la voie de destination. La bille, en effet, ne descend pas librement ; elle est arrêtée par une série de trébuchets dont chacun correspond à une section isolée de l'itinéraire. Dès que le wagon parvient à cette section, un circuit électrique s'établit et, par un jeu de relais, provoque l'effacement du trébuchet et la chute de la bille au niveau suivant. C'est donc le wagon lui-même qui fait descendre la bille, mais c'est la bille qui, au passage, ferme des contacts électriques qui commandent exactement au moment convenable les aiguilles du faisceau de voies.

Chaque poste de débranchement automatique est complété par une table de commande manuelle des aiguilles du faisceau de triage, reproduisant le tracé des voies de triage avec autant de boutons de commande qu'il y a d'aiguilles et autant de voyants lumineux de contrôle d'occupation qu'il y a de sections isolées.

Cette table ne sert qu'exceptionnellement, pour rattraper une erreur d'annonce du chef de butte ou en cas de non-fonctionnement d'une section isolée.

Pour arriver à « débrancher » 6 à 9 wagons par minute, il faut que la dénivellation entre le sommet de la butte et les voies du faisceau atteigne 3,50 m à 3,75 m. Les wagons prennent ainsi une vitesse élevée, quelles que soient leurs qualités de roulement, ce qui réduit les risques de rattrapage.

Cette vitesse leur permet d'atteindre dans tous les cas l'extrémité de la voie de triage sur laquelle chacun est dirigé. Mais cette voie est généralement occupée par des wagons précédemment triés. Il faut donc pouvoir régler la vitesse des wagons débranchés. On y parvient au moyen de freins de voies, placés sur



● Le déchargement des colis s'effectue sur une bande transporteuse dans la halle mécanisée d'Angers.



● La distribution par chariots intérieurs dans une cour de chargement de la halle mécanisée d'Angers.



● Dans un cadre, les marchandises ne subissent plus de manutentions de l'expéditeur au destinataire.

les voies mères du faisceau, au pied de la butte, là où la vitesse des wagons peut atteindre 12 à 20 km/h.

Ces freins sont constitués par des poutres longues de 15 à 20 m et disposées parallèlement à chaque rail. Elles forment des ornières dans lesquelles s'engagent les bandages des roues et que le « freineur », installé dans le poste d'aiguillage, va faire se serrer, au passage du wagon, au moyen de moteurs pneumatiques ou hydrauliques. Il peut faire varier l'effort qui s'exerce sur le flanc des bandages des roues jusqu'à quatre fois environ le poids porté par cette roue.

Dans les freins à commande pneumatique (Westinghouse), la force du freinage ne dépend que de la manœuvre du freineur. Les freins à commande hydraulique (Saxby) permettent d'obtenir un freinage proportionnel au poids du wagon.

Les deux systèmes assurent un excellent service qui a permis de réduire très sensiblement les avaries de matériel et, plus encore, les accidents dont était victime, autrefois, le personnel chargé d'enrayer les wagons à la main.

LIAISON PAR RADIO

A proximité de la « butte » se trouve le poste d'où un agent dirige le débranchement. L'un des éléments essentiels du bon rendement d'un débranchement réside dans la qualité et la souplesse de la liaison entre cet agent de manœuvres et le mécanicien qui refoule le train en cours de débranchement. La S. N. C. F., depuis quelques années, s'est efforcée d'améliorer cette liaison, obtenue jusqu'alors par des signaux optiques ou sonores, en utilisant la radio.

Les dispositifs radiotéléphoniques réalisent les uns une relation unilatérale, les autres une liaison bilatérale. C'est cette dernière qui est devenue la règle dans les nouvelles installations. Celles-ci comportent soit la modulation d'amplitude, soit la modulation de fréquence. C'est dans les ondes métriques (environ 160 mégacycles par seconde) que les résultats les meilleurs ont été obtenus. L'audition est très satisfaisante pour les portées utiles, qui peuvent atteindre quelques kilomètres. Des mises au point d'ordre technique ont été faites spécialement pour les besoins du chemin de fer, en vue de remédier à l'effet des trépidations, des chocs, à la présence de vapeur et de poussière de charbon. A la butte, l'agent de manœuvres donne ses ordres devant un microphone toujours accroché à portée de sa main ; la réponse du mécanicien lui parvient dans un haut-parleur placé dans le fond du poste. Les résultats sont maintenant excellents, à la fois pour la qualité et pour la régularité des communications.

HALLES DE TRANSBORDEMENT

Il existe une halle de transbordement dans chaque gare-centre de zone du régime accélééré. La plupart de ces halles sont des

halles classiques en service avant guerre.

Dans ces halles, les quais sont à hauteur du plancher du wagon, et la manutention s'effectue par roulage sur des quais, à l'aide de cabrouets ou de diables, des colis isolés ou groupés par quelques unités. Dans quelques gares plus vastes et mieux équipées, le roulage se fait également à l'aide de chariots surbaissés d'une capacité de 300 à 400 kg.

Ce système de manutention, qui convient parfaitement pour les chantiers de petite et moyenne importances, devient onéreux pour les gros chantiers en raison du prix de revient élevé du roulage individuel qui se fait sur des parcours d'autant plus longs que les halles sont de dimensions plus grandes ; aussi, pour ces chantiers, a-t-on dû recourir à une autre solution : les halles mécanisées sans quai.

Dans ces halles, les quais de roulage à niveau du plancher des wagons sont supprimés et remplacés par des cours couvertes ; le transport des colis à l'intérieur de la halle est assuré par des plates-formes de 8 m² de surface, au niveau du plancher des wagons et dénommées « chariots intérieurs ». Elles peuvent être chargées de plus de 1 000 kg de colis, répartis, en principe, en une seule couche, de façon à faciliter la redistribution.

Les wagons à décharger sont passés, dès l'arrivée, au chantier de déchargement constitué par une ou plusieurs bandes transporteuses ; celles-ci sont situées au niveau du plancher des wagons et courent parallèlement aux voies sur lesquelles sont placés les wagons à décharger. Ces bandes transporteuses se déplacent à la vitesse de 25 cm/s et peuvent ainsi transborder plus de 25 t à l'heure. Les colis sont déchargés directement des wagons sur la bande transporteuse. Celle-ci les amène dans une zone de tri où la bande longe une série de chariots intérieurs qui ont chacun une affectation particulière, et les colis y sont déchargés au fur et à mesure qu'ils passent devant un chariot dont l'affectation correspond à leur destination.

Les chariots intérieurs sont ensuite conduits par des tracteurs soit aux wagons, soit aux camions de livraison à domicile. Les envois provenant de la gare locale sont également chargés sur des chariots intérieurs. Enfin, les envois provenant par camion de la localité peuvent être déchargés directement du camion sur la bande transporteuse et traités par la suite comme des colis arrivant par wagons.

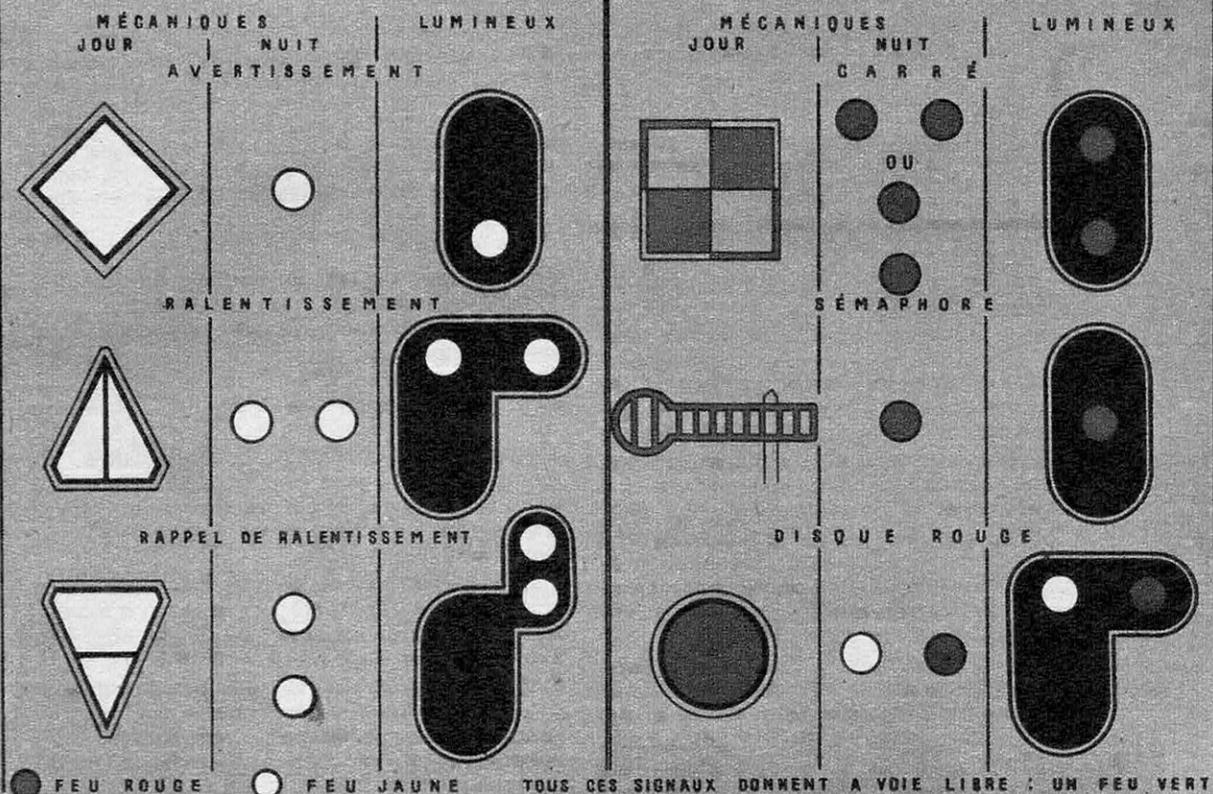
Actuellement, en dehors de la gare d'Angers qui a été une station expérimentale, deux gros chantiers fonctionnent dans ces conditions : Noisy-le-Sec, qui dispose de trois bandes transporteuses, et Paris-Tolbiac, qui dispose de quatre bandes. Un autre chantier est en construction à Lyon-Guillotière avec trois bandes transporteuses.

G. Joffre

Ingénieur en Chef au Service Central
du mouvement de la S. N. C. F.

SIGNAUX D'AVERTISSEMENT ET DE RALENTISSEMENT

SIGNAUX D'ARRÊT



LA SÉCURITÉ

LE premier principe du règlement de sécurité des Chemins de fer est que « tout agent doit obéissance passive et immédiate aux signaux ». Car les signaux sont le langage qu'emploient les agents des gares chargés de régler la circulation pour donner des ordres aux mécaniciens des trains en marche afin d'assurer la sécurité des trains. Certes, depuis la guerre, la radio a fait d'énormes progrès et les Chemins de fer l'utilisent pour diriger les manœuvres dans les gares de triage ; mais les signaux d'aujourd'hui donnent une sécurité si complète que nulle part, même aux États-Unis, on n'a songé à les remplacer par un système d'ordres téléphonés comme ceux que les avions reçoivent des tours de contrôle des aéro-dromes.

LE LANGAGE DES SIGNAUX

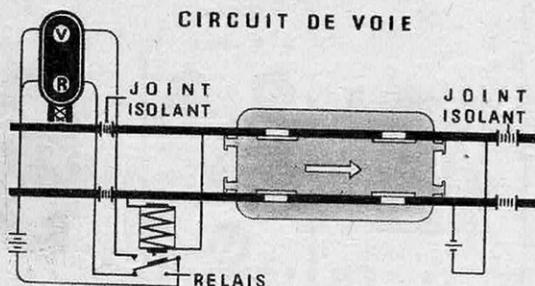
Un train roulant à 120 km/h ne s'arrête pas en quelques dizaines de mètres ; il lui faut plusieurs centaines de mètres, en moyenne 700 à 800 m si la ligne est en palier. Aussi, pour donner à un train un ordre d'arrêt ou

de ralentissement, faut-il par principe deux signaux : un signal préparatoire, dit d'« avertissement », et un signal d'exécution, le premier signal étant en général à 1 000 m en avant du second.

Cette nécessité apporte au chemin de fer un élément essentiel de sécurité. Elle permet au mécanicien de rouler aux plus grandes vitesses, d'entrer dans un tunnel ou dans une courbe masquée par un remblai sans aucune appréhension de rencontrer subitement un obstacle caché. Le mécanicien fait confiance aux signaux et, quand il trouve le signal d'avertissement fermé, il lui suffit de freiner normalement pour pouvoir exécuter l'ordre de ralentissement ou d'arrêt que lui donnera, un kilomètre plus loin, le signal d'exécution.

En France, sur les voies principales (1), il y a deux sortes de signaux d'arrêt : le carré à damier rouge et blanc et le sémaphore à bras rouge. Le premier donne la nuit deux feux rouges et le second un seul. A « voie libre »,

(1) Sur les voies de service, pour éviter toute confusion avec les signaux des voies principales, les signaux d'arrêt sont des carrés violets donnant la nuit un feu violet et, à l'ouverture, un feu blanc.



← Dans un canton de block-system, la voie est isolée aux deux extrémités, formant un circuit électrique fermé en aval sur une source de courant et en amont sur un relais. Un seul essieu dans le canton suffit à court-circuiter le relais, mettant à l'arrêt le signal d'entrée. Le relais se réexcite au dégageage du canton et le signal revient automatiquement à voie libre.

c'est-à-dire effacés, tous deux donnent un feu vert comme tous les signaux sur voie principale. Carrés et sémaphores sont précédés d'un signal d'avertissement à 1 000 m, losange jaune sur pointe donnant la nuit un feu jaune orangé et, s'il est effacé, un feu vert.

Pourquoi deux sortes de signaux d'arrêt ? C'est que le carré, signal de protection d'un obstacle, d'une aiguille ou d'une manœuvre, est un signal d'arrêt **absolu**, infranchissable quand il est fermé, tandis que le sémaphore, qui sert principalement à assurer l'espacement entre trains de même sens se suivant sur la voie, est franchissable **après arrêt**, dans certaines conditions dont la principale est la marche « à vue » ; le mécanicien qui reprend sa marche après avoir franchi un sémaphore fermé doit rester à tout moment maître de sa vitesse pour pouvoir s'arrêter s'il rencontre un obstacle.

Il existe un troisième signal d'arrêt, le disque rouge, encore utilisé sur certaines lignes. C'est un signal à distance qui commande la marche prudente, à vue, et un arrêt différé devant l'obstacle et au plus tard à la première aiguille rencontrée.

L'ordre donné peut-être un ordre de **ralentissement**, par exemple pour franchir une aiguille en pointe en suivant la branche déviée. On sait que, pour passer en vitesse dans les courbes, on donne à la voie une inclinaison appelée « dévers ». Or la branche déviée d'une aiguille ne peut avoir de dévers ; il faut donc que le train ralentisse d'autant plus que le rayon de courbure de la déviation est plus faible. Les aiguilles d'entrée sur voie de manœuvre, par exemple, exigent le plus souvent un ralentissement à 30 km/h. Les bifurcations sont munies d'aiguilles dont l'angle est plus faible et peuvent généralement être franchies à 90 km/h, à moins qu'elles ne soient munies d'aiguilles spéciales, très longues et à très petit angle, franchissables à 120 km/h.

Le ralentissement à 30 km/h est commandé par un signal spécial à distance, appelé « ralentissement » (triangle jaune pointe en l'air ou deux feux jaune-orangé horizontaux), suivi d'un signal de « rappel de ralentissement » (triangle jaune pointe en bas ou deux feux jaune-orangé verticaux) placé là où la limitation de vitesse doit être observée.

Si la vitesse réduite est supérieure à 30 km/h, on emploie des « tableaux indicateurs de vitesse », ou T. I. V., qui sont des plaques

en losange portant un nombre indiquant la vitesse autorisée, 90 km/h par exemple.

On voit qu'en même temps qu'une indication de vitesse, les signaux de ralentissement donnent au mécanicien, dans la plupart des cas, une indication de direction : branche directe ou branche déviée. S'il y a plusieurs aiguilles se succédant à faible distance, on trouve de plus, à la pointe de la première aiguille, un « indicateur de direction », muni d'autant de bras de couleur blanche qu'il y a de directions possibles.

En France, sur la plupart des lignes, les signaux sont « combinés » de façon à simplifier la tâche des mécaniciens. A cet effet, les signaux qui se succèdent à faible distance, le long de la ligne, ont été groupés, et chaque groupe de signaux ne donne la nuit qu'une seule indication, la plus restrictive. Par exemple, le sémaphore d'un poste et l'avertissement du poste suivant, ramenés l'un à côté de l'autre, ou même réunis sur un seul mât, ne donnent, de nuit, qu'un feu rouge si le sémaphore est fermé, quelle que soit la position de l'avertissement, un feu jaune orangé si le sémaphore est ouvert et l'avertissement fermé, enfin un feu vert si les deux signaux sont ouverts. Cette combinaison des signaux constitue un gros progrès. Enfin, sur les lignes à fort trafic, les signaux mécaniques sont remplacés par des signaux lumineux de jour et de nuit, constitués par des feux colorés très puissants réunis sur un écran de tôle noire.

COMMANDE ET CONTROLE DES SIGNAUX ET DES AIGUILLES

Que les signaux soient commandés à distance mécaniquement ou électriquement, le montage est tel que tout « dérangement » se traduise par la fermeture du signal, donc par une indication favorable à la sécurité. On provoque ainsi un ralentissement ou un arrêt inutile, mais on ne risque pas de donner à tort une indication de voie libre.

En outre, la plupart des signaux sont contrôlés au poste qui les commande au moyen d'un voyant actionné électriquement par un commutateur monté sur l'arbre du signal et qui donne à l'aiguilleur l'assurance que le signal a bien obéi à sa commande. Là encore, les précautions sont prises pour qu'un dérangement du dispositif de contrôle se manifeste dans le sens de la sécurité ; si le circuit de contrôle se rompt, le voyant indique au poste de commande que le signal est à voie libre, alors même qu'il est réellement fermé, et l'aiguilleur appliquera les consignes de

sécurité correspondantes tant qu'il n'aura pas obtenu de certitude quant à la fermeture du signal.

De même, les aiguilles sont munies de contrôleurs donnant à l'aiguilleur, par un voyant placé au poste, l'assurance que l'aiguille est bien disposée dans la position où il l'a commandée et que ses lames plaquent bien au rail.

En France, on est allé plus loin encore en munissant les carrés de bifurcation d'un dispositif assurant le « contrôle impératif » de l'aiguille. Le levier du carré, muni d'un verrou électrique, ne peut être mis en position de voie libre que si l'aiguille de bifurcation plaque bien dans la bonne direction. Dans les grands postes électriques, le « contrôle impératif » des aiguilles de bifurcation est permanent, tout défaut de contrôle d'une aiguille provoquant la fermeture du carré qui la protège.

ESPACEMENT DES TRAINS : BLOCK-SYSTEM

Les sémaphores servent à maintenir des intervalles de distance entre les trains se succédant sur une même voie. C'est le système du « cantonnement » ou « block-system » qui interdit, en régime normal, d'avoir plus d'un train à la fois dans le canton délimité par deux sémaphores successifs.

Cette règle peut s'appliquer au moyen d'un échange de messages téléphonés entre postes de sortie et d'entrée du canton ; c'est le block téléphonique. Si un verrouillage électrique interdit de mettre à voie libre le sémaphore d'entrée tant que le train n'est pas sorti du canton et n'a pas été couvert par le poste de sortie, c'est le block enclenché. Enfin, si les signaux se ferment automatiquement quand le train pénètre dans le canton pour ne s'ouvrir qu'au moment où le dernier véhicule a dégagé le canton, c'est le block automatique, qui fonctionne uniquement par l'opération d'appareils électriques mis en action par le passage même des trains, et dont le dispositif essentiel est le « circuit de voie » (page 152).

Chaque sémaphore est précédé à distance par un signal d'avertissement qui l'annonce. En block automatique, les cantons sont courts et ont de 1 200 à 1 500 m en général, puisqu'il s'agit d'une ligne importante à grand débit. On présente sur le même panneau le sémaphore et, bien entendu, l'avertissement du sémaphore suivant.

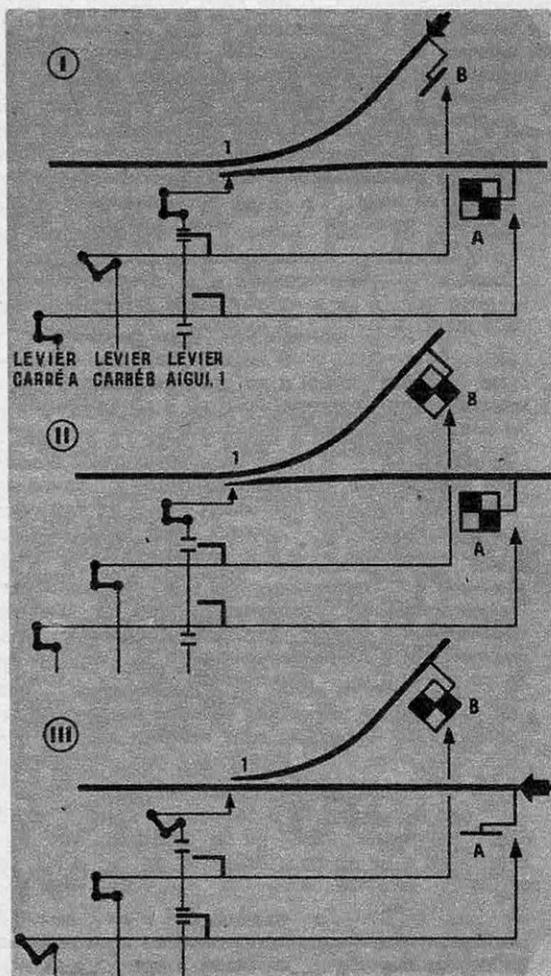
ENCLENCHEMENTS MÉCANIQUES →

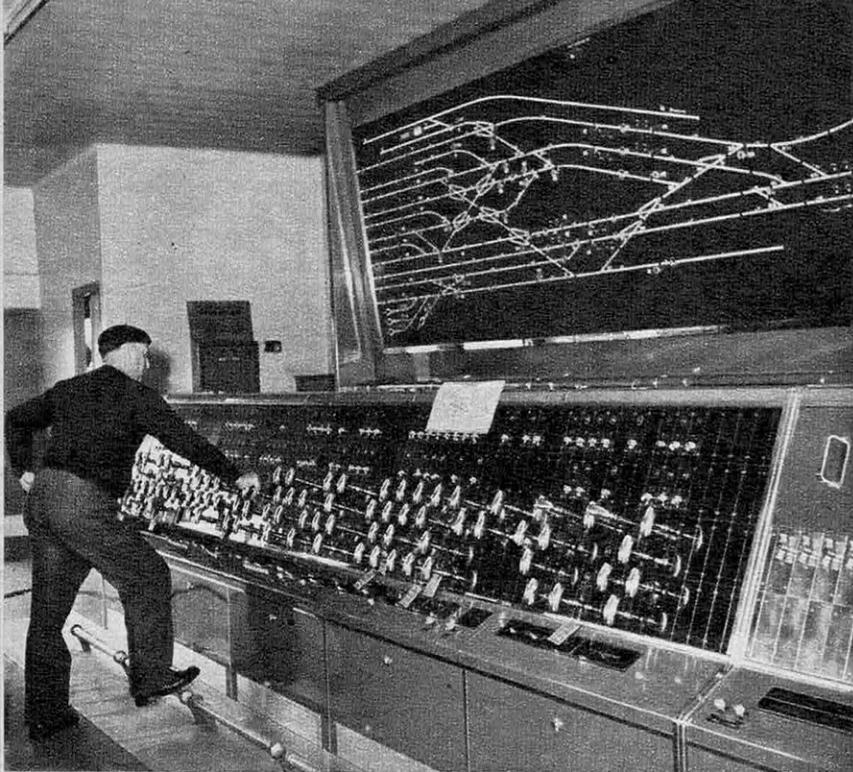
Ce diagramme, très schématisé, représente une aiguille, les deux carrés qui la protègent, leurs organes de commande et leurs verrouillages. On voit que, tant qu'un des carrés est ouvert (I), on ne peut ni manœuvrer l'aiguille ni ouvrir l'autre carré ; ce dernier ne peut être ouvert que si le premier carré a été refermé et l'aiguille mise dans la position correcte (II et III).

LES POSTES D'AIGUILLAGE

Les leviers manœuvrant aiguilles et signaux sont groupés dans des postes d'aiguillage. Dans les postes mécaniques, qui furent longtemps seuls connus, et qui équipent encore un très grand nombre de gares moyennes ou petites, de grands leviers commandent les aiguilles et les signaux au moyen de transmissions rigides ou souples. Les consignes à appliquer pour manœuvrer les leviers voulus, dans l'ordre voulu, afin de donner le passage à un train ou à une manœuvre, sont matérialisées par des « enclenchements », c'est-à-dire des verrouillages mécaniques entre leviers. Par exemple, un signal d'avertissement ne peut être ouvert que si le carré qu'il annonce est déjà ouvert. Et ce carré ne peut, lui-même, être effacé que si toutes les aiguilles qu'il protège sont bien dans la bonne position.

Ces enclenchements, souvent très compliqués, sont complétés par des verrouillages électriques, comme ceux qui servent à réaliser le contrôle impératif des carrés de bifurcations ou encore les enclenchements de poste à poste, lorsque deux postes sont assez





◀ Le poste I de Dijon-Ville est un poste classique à leviers d'itinéraires. Ses « poignées » sont enclenchées entre elles. Tirée, une poignée établit un itinéraire ; son mouvement de rotation, à droite ou à gauche, commande l'ouverture des signaux qui autorisent le parcours dans un sens ou dans l'autre.

der aux aiguilleurs des efforts physiques trop grands pour manœuvrer les aiguilles éloignées. D'où l'idée de remplacer la force musculaire par un fluide moteur, idée qui a été appliquée dès le début du siècle et a donné naissance aux « postes à pouvoir », hydro-pneumatiques puis électro-pneumatiques et enfin purement électriques.

Les premiers postes électriques étaient « à leviers individuels », leviers de petites dimensions, bien entendu, puisqu'ils ne manœuvraient que des commutateurs chargés d'établir ou de couper des circuits de commande.

On augmentait ainsi l'étendue de la zone du poste et on gagnait sur l'encombrement ; on supprimait l'effort physique, mais non la complication résultant d'un grand nombre de leviers, parfois deux cents, réunis dans une même table d'enclenchements.

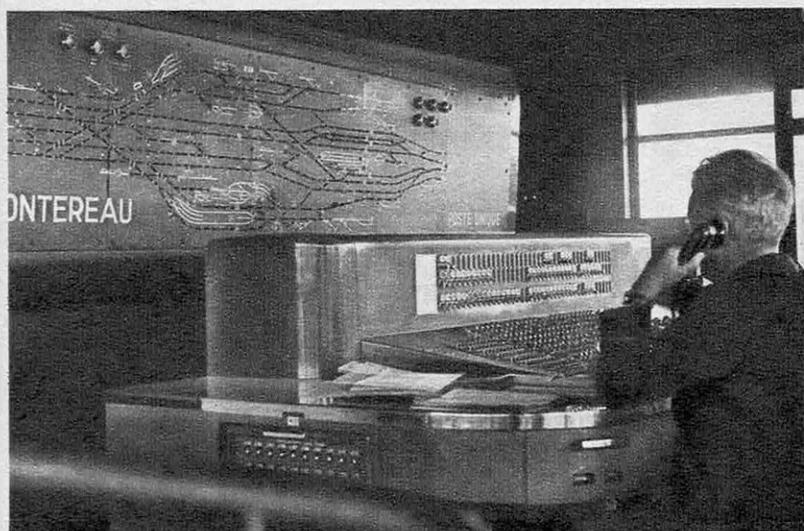
C'est en France qu'ont pris naissance et que se sont rapidement développés les postes « à leviers d'itinéraires » ; dans ces postes, un levier ne correspond plus à un appareil, signal ou aiguille, mais à un parcours géographique à travers la zone du poste, c'est-à-dire à l'ensemble des aiguilles et des signaux jalonnant un itinéraire possible. On diminue ainsi le nombre des leviers, on facilite le service, puisqu'un seul geste établit tout un itinéraire, et, enfin, on réduit au minimum le travail des aiguilleurs et le délai nécessaire pour préparer un passage. Il en résulte plus de sécurité encore et un meilleur rendement.

Jusqu'en 1936, ces postes, remarquables de souplesse et de débit, ne différaient pas des postes mécaniques quant au mode de réalisation des enclenchements. A des leviers réduits correspondaient des tables d'enclenchement plus légères, mais de construction mécanique. L'avant-guerre allait voir apparaître les premiers postes entièrement électriques, dits postes « à leviers libres » où tout enclenchement mécanique est supprimé, où chaque levier est « libre », c'est-à-dire jamais verrouillé, mais où la manœuvre d'un levier n'est suivie d'effet que si l'itinéraire peut être établi en toute sécurité, compte tenu des autres itinéraires déjà accordés et de la position des autres trains dans la zone du poste. Tous les enclenchements entre

rapprochés pour que la distance d'avertissement des signaux du poste aval conduise à placer les signaux d'avertissement correspondants dans la zone du poste amont.

Mais il est nécessaire, dans bien des cas, d'enclencher les leviers du poste avec des circuits de voie matérialisant l'état d'occupation de certaines sections de voie. Par exemple, pour interdire la manœuvre d'une aiguille pendant qu'un train la franchit, on la munit d'un circuit de voie qui englobe et dépasse souvent largement la longueur de l'appareil de voie. Un verrou électrique sur le levier de l'aiguille en interdira la manœuvre tant que le circuit de voie ne sera pas dégagé par le train. C'est le « calage électrique » des aiguilles. On réalise de même les enclenchements suivants : d'une part, des « enclenchements de transit », qui immobilisent toutes les aiguilles de l'itinéraire que va suivre le train dans la zone du poste dès que son passage a été accordé ; d'autre part, des « enclenchements d'approche » qui interdisent, sauf nécessité de sécurité, de retenir un signal carré lorsque le train a déjà franchi l'avertissement correspondant à voie libre, et prolonge ainsi l'enclenchement de transit en amont du poste. Dans les grandes gares, des circuits de voies matérialisent aussi l'occupation des voies à quai et interdisent de recevoir, sans précautions spéciales, un deuxième train sur la même voie.

Mais ces postes mécaniques, quand ils sont installés dans des gares importantes, deviennent très encombrants et le nombre de leurs leviers, en se multipliant, rend difficile la réalisation des enclenchements. D'autre part, la zone d'action des postes mécaniques reste assez réduite, si l'on ne veut pas deman-



Le poste unique de Montereau est un poste tout relais à destruction automatique (P. R. A.). Il remplace 5 postes à leviers individuels totalisant 325 leviers. Le pupitre a 3,6 m de long. Le tableau schématique indique en permanence l'état d'occupation des voies et la position des appareils.

leviers d'itinéraires sont réalisés uniquement par des circuits électriques qui, pour l'établissement d'un itinéraire, vérifient qu'il est compatible avec les autres itinéraires déjà établis, les appareils n'obéissant sur le terrain que si toutes les conditions de sécurité sont bien remplies.

Le premier poste français « à leviers libres » a été installé à Argenteuil ; mais il comportait encore des enclenchements d'incompatibilité superposés aux enclenchements de transit. Ces derniers verrouillages devaient disparaître dans le poste des bifurcations de Darnetal, près de Rouen (1947). On s'acheminait vers le type actuel de poste, entièrement électrique, dit « P. R. A. », c'est-à-dire « Poste tout Relais à destruction Automatique ». Dans ces postes, chacun des relais électriques concourant à l'établissement d'un itinéraire revient au repos au fur et à mesure que le train a dégagé l'appareil correspondant. Mais, si plusieurs trains doivent emprunter successivement le même itinéraire, on peut suspendre le jeu de la destruction automatique et fonctionner en tracé permanent. Enfin, ces postes sont doués d'une possibilité d'enregistrement. Par exemple, deux trains successifs doivent parcourir l'un l'itinéraire AB, l'autre l'itinéraire AC ; l'aiguilleur commande AB et aussitôt après AC. L'itinéraire AB se réalise sur le terrain et, dès que le premier train a dégagé le point au delà duquel AC peut être établi à son tour, l'itinéraire AC se réalise sans intervention nouvelle.

D'une extrême souplesse, de tels postes permettent, comme à Montereau, de concentrer 350 itinéraires dans une seule cabine qui remplace cinq postes dont les zones d'action s'étendaient sur 10 km de la ligne Paris-Dijon. La nouvelle installation n'exige qu'un seul aiguilleur, doublé d'un téléphoniste aux heures chargées.

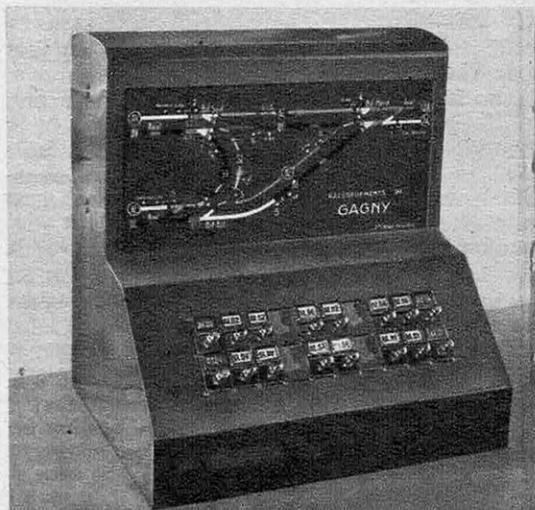
Dans les P. R. A., plus de leviers, bien entendu ; de simples boutons à deux positions :

tiré ou poussé. Les 350 boutons d'itinéraires de Montereau tiennent sur un pupitre de 3,60 m de longueur, au-dessus duquel un tableau schématique des voies indique par des lumières blanches ou rouges l'état d'occupation de chaque section de voie et la position de chaque signal et de chaque aiguille dépendant du poste. Il y a actuellement en service

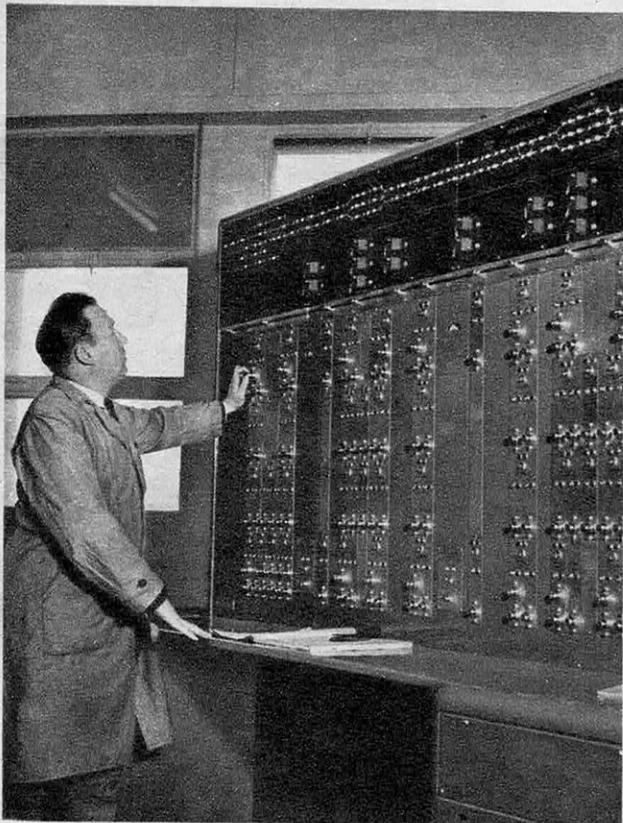
à la S. N. C. F. une vingtaine de postes de ce type, dont quatorze entre Paris et Dijon.

Un exemple fera comprendre toute la souplesse de ces installations. On a mis en service au printemps 1951 le nouveau poste type P. R. A. de Monrepos, près de Bordeaux, qui commande les bifurcations vers Saintes, Eymet et Bordeaux-Deschamps. A 2 km de là, une autre bifurcation, celle de Captaou, conduit à Bordeaux-Bastide. Cette dernière bifurcation est manœuvrée par un petit meuble poste satellite entièrement automatique, qui est commandé à distance par l'aiguilleur des bifurcations de Monrepos.

De la même façon, les différents groupes d'appareils que commande le poste de Montereau sont, pour la plupart, groupés en zones que commandent, en campagne, de petits satellites automatiques rattachés au poste



Un « P. R. A. » de bureau, gros comme une machine à écrire, remplace à Gagny un poste électrique à leviers individuels dont la table mesurait 2,80 m de longueur.



Le poste de la Commande Centralisée de la Circulation dans le bureau du Régulateur à Dijon. La manœuvre de cinq boutons établit un itinéraire de bout en bout sur la section Blaisy-Dijon (27 km) dont chacune des deux voies peut être parcourue dans les deux sens.

central et commandés à distance par un seul circuit à quatre fils qui donne les ordres du poste central et lui renvoie les contrôles. On fait ainsi l'économie d'un grand nombre de circuits.

LES COMMANDES A DISTANCE

Le système employé à Montereau est celui de la télécommande type S. N. C. F., qui utilise des impulsions de courant analogues à celles des appels par cadran en téléphonie automatique ; ces impulsions sont transmises par trois fils de ligne avec un retour commun. Avec trois impulsions de courant seulement, en faisant varier la polarité (+ ou -) et le conducteur de transmission (l'un des trois fils), on peut réaliser 120 codes de transmission. Avec deux trains successifs de trois impulsions, on obtient 3 600 codes, dont chacun est transmis en 7/10 de seconde. Les relais électriques utilisés sont analogues à ceux du téléphone automatique, mais plus robustes et très sûrs.

Le contrôle des commandes, — et, d'une manière générale, le contrôle des appareils dont les changements de position doivent être signalés à l'aiguilleur — est obtenu en explorant, dans le satellite, tous les relais de contrôle des appareils de la zone. La vitesse d'exploration est de quelques centièmes de seconde par appareil contrôlé et la réponse est aussitôt reçue au poste central.

Il existe un autre système de télécommande,

qui a été appliqué pour la première fois en France en 1933, pour réaliser depuis Paris-Saint-Lazare la commande à distance des appareils de la section Houilles-Sartrouville à trois voies sur la ligne de Rouen. Ce système est celui du « Centralized Traffic Control » qui sert, aux États-Unis, à l'exploitation de quelque 5 000 km de lignes, en majorité à voie unique. Ce système utilise des impulsions de courant codées, toutes de même polarité, mais brèves ou longues, émises dans un circuit à deux fils.

La S. N. C. F. vient d'en faire une intéressante application pour la Commande Centralisée de la Circulation (C. C. C.) depuis un poste central à Dijon, sur les deux voies « banalisées » de la section de Blaisy à Dijon, longue de 27 km. Cette section, très accidentée et à très fort trafic, ne pouvait être quadruplée ; on en a largement augmenté le débit en permettant aux trains de la parcourir dans l'un ou l'autre sens, sur l'une quelconque des deux voies.

Le régulateur de Dijon contrôle toutes les aiguilles, tous les signaux et le sens de circulation sur chaque voie de la section banalisée par une commande d'itinéraires. Toutes les combinaisons possibles de circulation sont obtenues par la manœuvre de cinq boutons d'itinéraires. L'installation comporte tous les avantages des postes du type P. R. A. : destruction automatique des itinéraires, transit souple, tracé permanent à la volonté du régulateur et enregistrement. Il y a huit satellites automatiques le long de la ligne, un au centre de chaque zone d'appareils. Mais les petites gares intermédiaires, pour effectuer leurs manœuvres locales, peuvent demander au régulateur de Dijon l'autorisation de reprendre provisoirement leur liberté. Bien entendu, le block automatique fonctionne sur chaque voie pour les deux sens de circulation.

Pour terminer ce bref tour d'horizon sur les commandes à distance en France, signalons leur application dans un nouveau système de block manuel enclenché, le block unifié S. N. C. F. Ce système est progressivement installé sur des lignes qui n'étaient encore munies que du block téléphonique. Il fonctionne avec deux fils de ligne et un fil de retour. Les commandes sont lancées en manœuvrant des boutons ; les contrôles sont reçus sur des voyants. Il constitue une application du système de télécommande type S. N. C. F. par émissions codées de polarités déterminées. Il permet donc d'être totalement à l'abri des actions des courants vagabonds.

Le block unifié S. N. C. F. est installé actuel-

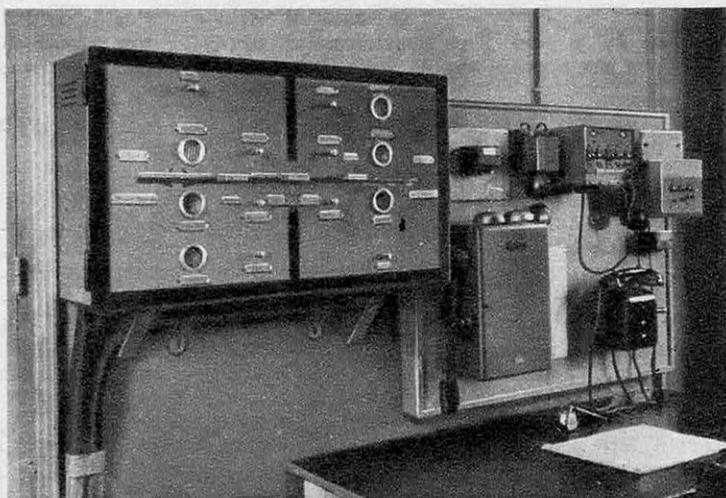
Un tableau de commande du block unifié S. N. C. F. Ce block utilise des émissions codées sur trois fils conducteurs de courants de polarités différentes.

lement sur 400 km de lignes à voie unique et plusieurs sections à double voie.

LA RÉPÉTITION DES SIGNAUX SUR LES MACHINES

Nous avons vu tous les perfectionnements apportés à la signalisation depuis quinze ans. Encore faut-il que les signaux soient exactement observés par les mécaniciens, que ceux-ci ne risquent pas de les « brûler » dans un moment d'inattention ou de fatigue. Sur les grandes lignes, un mécanicien de rapide rencontre un panneau lumineux tous les 1 200 à 1 500 m, soit en moyenne toutes les 40 secondes à 120 km/h. Mais, dans les courbes, où des « mirlitons », panneaux blancs à bandes noires, jalonnent la voie de 100 m en 100 m en annonçant l'approche d'un signal, la visibilité du signal lui-même est, dans certains cas, inférieure à 10 secondes par temps clair. Le brouillard, la neige peuvent réduire considérablement cette visibilité.

Les ingénieurs se sont, de tout temps, préoccupés d'aider les mécaniciens à observer les signaux en installant sur les locomotives des



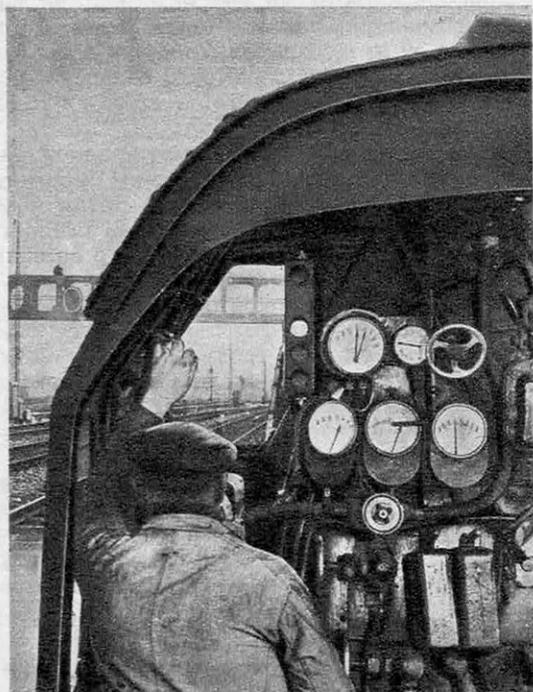
appareils répétant les indications données par ceux-ci. Ces appareils préviennent le mécanicien, par un dispositif acoustique ou optique déclenché dans le poste de conduite de la machine, qu'un signal vient d'être franchi. Ce sont évidemment les signaux d'avertissement qu'il faut répéter et non les signaux d'arrêt, trop proches du point à protéger.

On fait appel à des dispositifs électriques déclenchés au passage soit au moyen de courants induits (en Suisse notamment), soit par l'intermédiaire d'une brosse métallique fixée sous la locomotive et qui établit un contact électrique passant avec une rampe métallique appelée « crocodile ».

C'est cette disposition, simple et peu coûteuse, que les Chemins de fer français ont adoptée et généralisée, depuis 1920, à toutes leurs machines et à tous leurs signaux d'avertissement pour répéter l'indication « signal fermé » et, le cas échéant, « signal au vert ». Cette dernière répétition permet notamment de vérifier en cours de route le bon état des appareils d'enregistrement de la machine.

Mais il ne fallait pas que les mécaniciens fussent tentés de s'en remettre aux crocodiles et cessassent d'observer les signaux. C'est pour écarter ce risque que toutes les locomotives françaises sont équipées d'un « dispositif de vigilance » adjoint à « l'indicateur enregistreur de vitesse ».

C'est sur la bande d'enregistrement de l'indicateur de vitesse que s'inscrivent les fonctionnements du dispositif de répétition au franchissement des signaux d'avertissement et aussi les manœuvres d'un petit levier dit « de vigilance » que le mécanicien doit actionner dès qu'il arrive en vue d'un signal



← Cette machine de la ligne Paris-Cherbourg est équipée d'un signal d'abri. A droite de la fenêtre, des petits feux de couleur renseignent à chaque instant le mécanicien sur l'état d'occupation du canton où il se trouve ainsi que du canton où il va pénétrer.

« fermé » et avant que le dispositif de répétition ait fonctionné. Ces bandes sont contrôlées à la rentrée au dépôt.

LE SIGNAL D'ABRI

Il existe aux États-Unis un dispositif à induction dit « signal d'abri » ou « cab signal » qui, sur les lignes équipées en block automatique, renseigne le mécanicien de façon encore plus complète. On a vu qu'en block automatique une source de courant est connectée aux rails à la sortie de chaque canton, c'est-à-dire au droit du signal d'entrée dans le canton suivant. Imaginons que le courant débité par cette source soit du courant « codé », c'est-à-dire interrompu un certain nombre de fois par minute, à 180 battements par minute quand le signal d'entrée du canton suivant est à voie libre, à 75 battements quand il est à l'arrêt.

Si des bobines sont placées à l'avant de la machine, à quelques centimètres au-dessus des rails, un courant de même pulsation prendra naissance par induction dans ces bobines et actionnera des relais qui pourront allumer sous l'abri du mécanicien :

— un feu vert pour 180 pulsations à la minute : le signal du canton suivant étant à voie libre, le signal précédent l'était aussi quand le mécanicien l'a abordé ;

— un feu jaune orangé pour 75 pulsations à la minute : le signal du canton suivant étant à l'arrêt, le mécanicien a dû franchir le précédent signal à l'avertissement ;

— enfin, un feu rouge, si aucun courant n'est produit par les bobines : il y a déjà un autre train dans le canton, et le précédent signal a été franchi à l'arrêt.

Ainsi, le « cab signal » constitue une signalisation complète, pouvant se suffire à elle-même. Si bien que, sur certaines lignes ainsi équipées, les réseaux américains n'avaient pas hésité à supprimer les signaux fixes de la voie. Mais il suffisait d'une avarie aux appareils de réception de la locomotive pour que le mécanicien, n'ayant plus aucun renseignement sur les trains qui le précédaient, fût obligé de marcher à vue jusqu'à la gare où sa machine pourrait être remplacée. De plus, il était impossible de faire passer sur la ligne des machines non munies du « cab signal ». Aussi les signaux fixes ont dû être rétablis.

Le « cab signal » donne non seulement une grande sécurité, mais aussi une grande souplesse de marche. Le train a franchi un signal à l'avertissement : le canton suivant est donc occupé. Mais, dès le dégagement de ce canton, le « cab signal » passe au vert : le mécanicien peut aussitôt reprendre sa vitesse sans attendre d'arriver en vue du signal de sortie du canton. Inversement, si un canton libre en avant du train devient occupé, le « cab signal » passe aussitôt à l'avertissement, puis au rouge si des véhicules viennent engager le canton où se trouve la machine. Le seul inconvénient du système est son prix extrêmement élevé. Il

s'est développé aux États-Unis où il tend à supplanter le freinage automatique dont nous allons voir ci-après les difficultés d'emploi.

LE FREINAGE AUTOMATIQUE

Une autre façon, plus brutale, de rappeler le mécanicien à l'observation des signaux consiste à réaliser le freinage automatique des trains au franchissement des signaux fermés. La généralisation du frein automatique à air comprimé permet de le faire sans difficulté. Mais il ne s'agit pas de déclencher le frein au franchissement d'un signal d'arrêt ; si un mécanicien brûle un tel signal, c'est un arrêt d'urgence qu'il faut effectuer à tout prix et non un freinage normal sur 1 000 m. C'est donc au franchissement des signaux d'avertissement qu'il faut freiner automatiquement. Mais, bien souvent, un simple ralentissement suffirait pour rétablir un intervalle suffisant avec le train précédent et un arrêt obligatoire entraînerait une grosse perte de temps et d'argent.

Aux États-Unis, en particulier, on a équipé, il y a longtemps déjà, des machines pour le freinage automatique ou « train-control ». Mais, sur ces machines, le mécanicien dispose d'un bouton de vigilance qui, s'il a été actionné avant le franchissement du signal, annule tout freinage ; le système est donc inopérant si le mécanicien, ayant « vigilé », ne freine pas son train aussitôt. Le « train control » ne donne alors pas plus de sécurité que le système français.

En Allemagne, avant 1939, une solution perfectionnée du freinage automatique avait été réalisée sur quelques lignes. Sur les machines, la vitesse était contrôlée automatiquement à partir du moment où un signal d'avertissement avait été franchi fermé. Tout d'abord, si le mécanicien n'actionnait pas un bouton de vigilance dans les 5 secondes qui suivaient, le train était freiné jusqu'à l'arrêt complet.

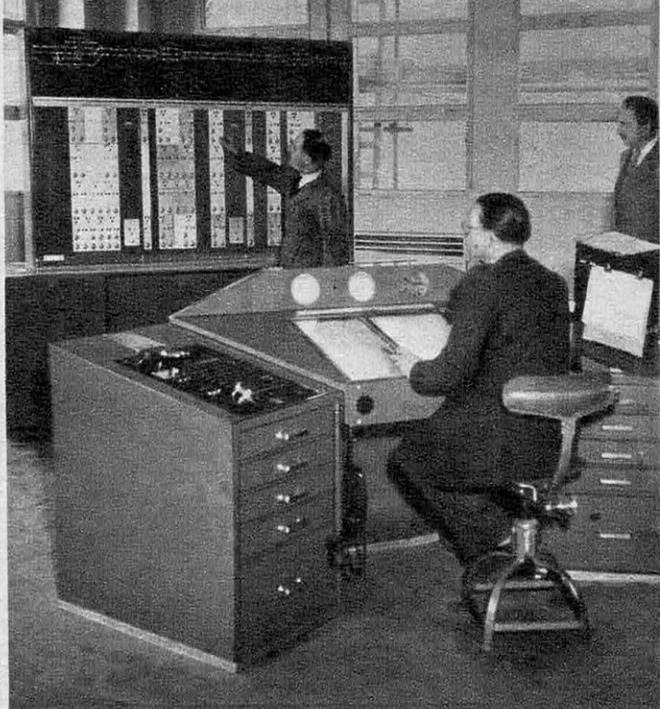
Si le mécanicien opérait correctement, la vitesse était contrôlée en trois points : pour un rapide, par exemple, la vitesse devait être inférieure à 90 km/h au passage au premier point, sinon freinage jusqu'à l'arrêt. Il en était de même au second point si la vitesse dépassait 65 km/h. Le troisième point était le signal d'arrêt qui, franchi, provoquait l'arrêt. Ce programme est très complet, mais le prix d'une telle installation est élevé et il faut un entretien très attentif pour éviter les incidents d'appareillage, avec les risques de freinages intempestifs qui en découlent.

Cependant la S. N. C. F. poursuit des essais en vue de rechercher de nouvelles améliorations au système actuel de répétition, qui, en tout état de cause, rend de très grands services pour la bonne observation des signaux.

J. Walter et R. Barjot
Ingénieur en Chef Ingénieur principal
à la S. N. C. F.



LE RÉGULATEUR DE LA CIRCULATION a devant lui, le graphique théorique et sous sa main le graphique réel ; à gauche, les clés d'appel des gares.



LA COMMANDE CENTRALISÉE DE LA CIRCULATION de Dijon dans le bureau du Régulateur. Les boutons sont manœuvrés par un aiguilleur placé sous ses ordres.

LE RÉSEAU DE COMMANDEMENT

LE trafic du chemin de fer, voyageurs et marchandises, est essentiellement variable. Il comprend une partie relativement stable, à peu près constante d'un bout de l'année à l'autre, à laquelle se superposent des transports saisonniers ou exceptionnels d'ampleur parfois considérable (vacances, fêtes, manifestations sportives ou pèlerinages pour les voyageurs, expéditions de denrées agricoles plus ou moins abondantes et précoces pour les marchandises) et enfin une part très importante de transports à la demande absolument imprévisibles.

Il ne saurait être question de prévoir des trains réguliers en nombre suffisant pour acheminer le trafic maximum possible et, par conséquent, le programme des trains à mettre en marche doit varier sans cesse. Il comporte donc : des trains réguliers dont la mise en marche a lieu tous les jours, certains jours, voire même un seul jour de la semaine ; des trains périodiques ou temporaires, dont la mise en marche s'effectue dans les mêmes conditions que celle des trains réguliers, mais une partie de l'année seulement ; enfin des trains facultatifs qui sont mis en marche en quelque sorte à l'improviste, lorsque le besoin s'en fait sentir.

La mise en marche des trains réguliers ou temporaires est une opération simple : des

roulements préparés à l'avance indiquent avec précision quels jours ils ont lieu, quelles machines assureront leur traction, quels agents seront chargés de leur conduite et de leur accompagnement, et même quel matériel sera utilisé lorsqu'il s'agit de trains de voyageurs ou de certains trains complets de charbon ou de minerai.

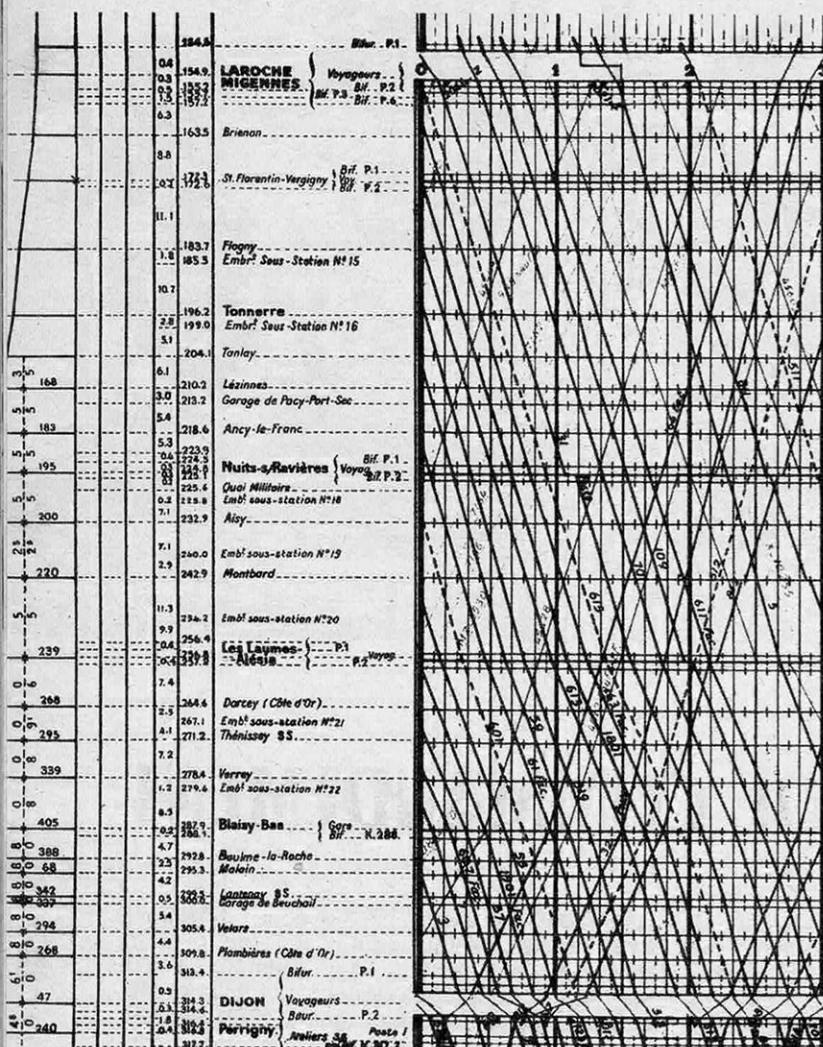
Pour les trains facultatifs, au contraire, rien n'est prévu d'avance et il faut improviser pour ainsi dire heure par heure.

Lorsqu'un train a été mis en marche, il convient de surveiller la façon dont il circule. Des horaires soigneusement minutés ont été établis à l'avance de manière que les trains ne se gênent pas mutuellement et qu'ils n'apportent aucun trouble dans le service des gares et des bifurcations. Mais, dans la pratique, il faut compter avec les pertes de temps inévitables provoquées par un afflux du trafic, les intempéries, un accident matériel ; journalièrement, il faut intervenir pour faire garer en temps voulu un train en retard et le retenir devant une circulation prioritaire ; à l'occasion d'un incident, l'ordre de succession des différents trains peut se trouver entièrement bouleversé ; des mesures sont alors à prendre rapidement pour limiter les conséquences de cette perturbation.

L'établissement des horaires et du pro-

GRAPHIQUE DES TRAINS DE LAROCHE A DIJON

Ce fragment de graphique représente les trains (traits obliques) circulant entre Laroche et Dijon, avant l'électrification. Les traits verticaux correspondent aux heures de 0 h à 3 h, et les traits horizontaux aux gares traversées.



secondaires de la ligne sont branchés en dérivation. Le « dispatcher » dispose de clés d'appel permettant d'appeler à volonté l'un quelconque des postes de la ligne : il est lui-même à l'écoute en permanence de jour comme de nuit.

Renseigné instantanément sur tout ce qui se passe, il peut intervenir à bon escient.

Le « Dispatching System » a été rapidement adopté sous le nom de « Régulation » par la plupart des anciens grands réseaux français, sur toutes les artères de quelque importance. Peu à peu, les attributions du nouvel organisme ont été étendues à la régulation du trafic et on a créé à cet effet des « permanences », organismes mixtes Exploitation et Traction. La S. N. C. F. a finalement unifié les termes et les méthodes en créant des « Postes de commandement ».

gramme de mise en marche des trains réguliers et périodiques s'effectue dans les bureaux des services régionaux ou des arrondissements ; il s'agit, en effet, d'un travail d'ensemble qui ne peut se concevoir que sur un territoire d'une étendue suffisante.

La lenteur des transmissions a, au contraire, fait pendant longtemps confier aux gares le soin de mettre en marche les trains facultatifs et d'assurer la régularité de la circulation des trains de toute nature.

LE « DISPATCHING »

Les progrès réalisés en matière d'installations téléphoniques automatiques ont permis au chemin de fer de résoudre le difficile problème des liaisons. L'origine remonte à 1918, avec l'apparition du « Dispatching System », introduit en France par l'armée américaine pour la coordination de ses transports : dans une telle organisation, un « dispatcher », installé à un poste central, dispose d'un circuit unique sur lequel tous les postes

LE POSTE DE COMMANDEMENT

Il existe actuellement sur la S. N. C. F. un poste de commandement d'arrondissement sur chaque arrondissement (1), un poste de commandement régional sur chaque région, enfin un poste de commandement central unique pour l'ensemble de la S. N. C. F.

Un poste de commandement d'arrondissement, en contact direct avec les services du terrain, gares et dépôts, et avec les chefs des postes de commandement des arrondissements voisins, constitue l'organisme de base qui assure l'acheminement des transports ; indépendamment d'un bureau chargé de préparer les programmes de transports établis à l'avance, de répartir le matériel, de contrôler la régularité de la circulation, chaque poste de commandement d'arron-

(1) Rappelons que le nombre des arrondissements de la S. N. C. F. est actuellement de quarante, chaque arrondissement couvrant l'étendue de deux ou trois départements administratifs.

dissement comprend une régulation et une permanence.

La régulation.

Le poste de régulation est renseigné à chaque instant sur les conditions effectives de circulation des trains d'un bout à l'autre du parcours qu'il contrôle et dont l'étendue est de l'ordre de 100 à 200 km de ligne. Les gares de la ligne lui annoncent au fur et à mesure l'heure de passage de tous les trains ; le Régulateur inscrit ces renseignements sur un graphique qui donne à chaque instant la situation exacte des trains sur la ligne. Si tous les trains circulent pratiquement à l'heure ou s'ils ont tous la même vitesse et les mêmes arrêts (c'est le cas de certaines lignes de banlieue), il est évidemment inutile d'installer un Régulateur et de lui faire tenir un graphique qui sera tous les jours identique à lui-même. Au contraire, à partir du moment où les trains qui circulent sur une ligne ont des vitesses et des points d'arrêt différents et si certains retards ou certaines pertes de temps sont inévitables, on conçoit combien l'action du Régulateur peut être féconde, puisque non seulement il sait à chaque instant ce qui se passe sur la ligne et ce qui s'est passé depuis le début de la journée, mais il a de plus une expérience quotidienne de la ligne, il sait que tel train risque de perdre du temps dans telle gare, que telle machine aura de la peine à « faire l'heure » ou, au contraire, qu'elle rattrapera certainement une partie importante de son retard, etc... Il agit donc en toute connaissance de cause et il donne sans tarder à toutes les gares intéressées les instructions nécessaires.

Dans deux cas très spéciaux, nous avons vu qu'on est même allé plus loin encore et on a donné au Régulateur la possibilité de manœuvrer lui-même à distance les aiguilles et les signaux ; dans ces conditions, c'est le Régulateur qui, sans aucun intermédiaire, aiguille sur la voie de garage les trains qu'il veut retenir et qui leur donne ensuite le départ en temps opportun ; c'est ce qu'on appelle la **Commande Centralisée**, réalisée sur la ligne de Paris à Dijon entre Blaisy-Bas et Dijon.

La permanence.

La permanence, bien que chargée d'un service tout différent, fonctionne dans des conditions un peu analogues à la régulation ; le service y est confié à deux agents, appartenant l'un au service de l'Exploitation, l'autre au service de la Traction. Le Permanent Exploitation, en liaison étroite avec les grandes gares de voyageurs et surtout de marchandises, est tenu constamment au courant de l'importance des éléments à acheminer ; le Permanent Traction, en liaison étroite avec les dépôts, connaît à chaque instant les disponibilités en machines et en personnel. Les deux Permanents se concertent et décident d'un commun accord les conditions dans lesquelles les trains facultatifs sont mis en marche ; en

cas de désaccord, c'est le Permanent Exploitation qui décide.

Cette décision est toujours affaire d'appréciation ; aucune règle précise ne saurait être édictée, car trop d'éléments variables doivent être pris en considération. Par exemple, on peut envisager la mise en marche d'un train facultatif de marchandises dès qu'on a réuni assez de wagons pour le former, solution idéale quant à la rapidité du transport, au rendement du matériel et au dégagement de la gare de formation, mais solution coûteuse puisqu'elle exige la fourniture d'une machine fraîche. On peut, à l'inverse, différer l'expédition de ce train facultatif jusqu'au moment où l'on disposera d'une machine et d'une équipe à renvoyer à leur dépôt, solution économique, mais qui va à l'encontre de la rapidité du transport et du dégagement des gares de triage. Bien d'autres éléments jouent encore : nature du transport, sens dominant et intensité du trafic, possibilités de formation des trains, exigences de la circulation, possibilités d'absorption des gares destinataires et éventuellement utilisation en retour de la machine du train, chacun de ces facteurs variant en importance suivant la saison et parfois même suivant l'heure de la journée.

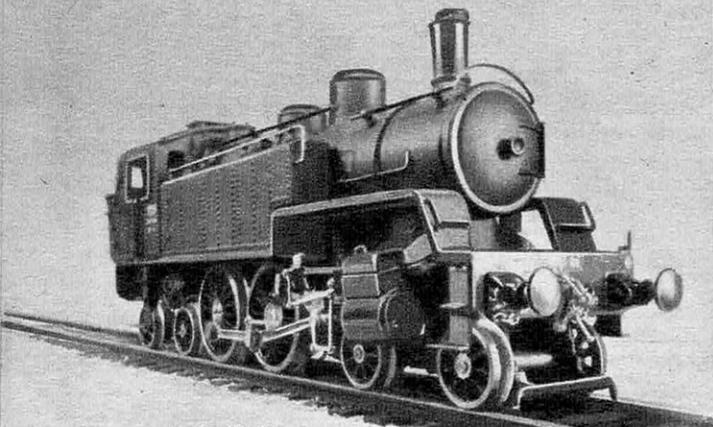
Pour les trains de voyageurs, le problème n'est évidemment pas le même que pour les trains de marchandises, le chemin de fer ne voulant pas et ne pouvant pas retarder l'acheminement des voyageurs qui se présentent ; on conçoit néanmoins qu'un Permanent connaissant le nombre au moins approximatif des voyageurs au départ dans un groupe de gares importantes et connaissant également le degré d'occupation des trains qui circulent sur une ligne est mieux placé pour décider de la mise en marche d'un train supplémentaire qu'une gare, même très importante, qui ne connaît que sa situation propre.

Tel est, brièvement exposé, le fonctionnement d'un poste de commandement d'arrondissement. Les postes de commandement régionaux et le poste de commandement central interviennent moins directement dans l'exécution du service, mais leur intervention est précieuse dès qu'un incident de quelque importance peut avoir des répercussions en dehors des limites de l'arrondissement sur lequel l'incident s'est produit et, en particulier, lorsque, par suite de l'interception d'une ligne, certains courants de trafic doivent être détournés de leur itinéraire normal.

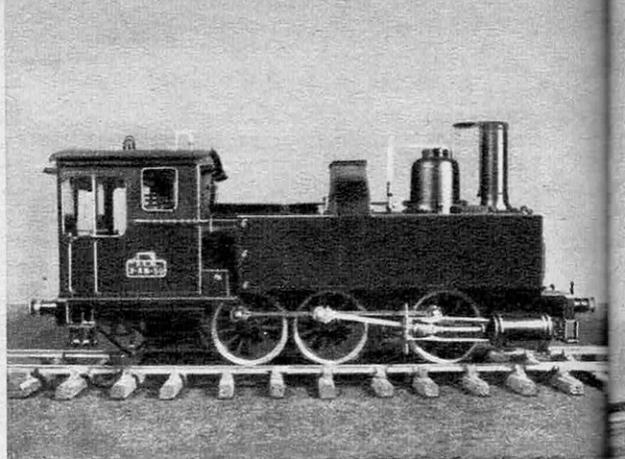
La S. N. C. F. dispose ainsi d'un réseau de commandement très complet qui permet d'intervenir rapidement et efficacement en tout temps et en tout lieu ; les résultats obtenus en ce qui concerne la régularité de la circulation, toujours meilleure d'année en année depuis la fin de la guerre, et l'abaissement du prix de revient des transports permettent d'affirmer qu'un tel système a fait ses preuves.

H. Long,

Ingénieur en Chef au Service Central
du Mouvement de la S. N. C. F.



● Locomotive de l'ancien Nord reproduite à l'échelle « O » par M. Munier, de Compiègne (moteur électrique).



● Une locomotive « Cocou » du P. L. M. construite au « O » par M. Fournereau. Prise de courant par ski.

MODELLISME FERROVIAIRE

LE mot « modèle » vient, paraît-il, de l'italien « modello ». Et c'est pourquoi il est, dit-on, préférable d'écrire « modélisme » et « modéliste » plutôt que « modélisme » et « modéliste ». Nous limiterons là cette recherche étymologique, uniquement destinée à justifier la graphie que nous employons.

Le modélisme ferroviaire a ceci de curieux que ses origines ne sont pas loin de précéder celles du véritable chemin de fer. L'une des premières locomotives à vapeur, attribuée à Hackworth, n'est pas autre chose, en effet, qu'un modèle réduit courant sur trois roues de toute la puissance de son cylindre unique. Et la poignée d'ingénieurs de mines qui conçut le premier chemin de fer français, celui de Saint-Étienne à la Loire, installa tout d'abord, à Saint-Étienne, au 7 de la rue de la Préfecture, un chemin de fer miniature où M. Saignol et ses collaborateurs, sous les ordres de l'ingénieur Beaunier, se livrèrent à de nombreuses expériences préalables, notamment sur l'effet de la force centrifuge dans les courbes de la voie.

Ce modélisme technique fut évidemment limité et l'on cessa d'expérimenter à échelle réduite dès que les chemins de fer à l'échelle « grandeur » existèrent. Il n'échappe en effet à personne que, dans un modèle réduit, les conditions de structure et de fonctionnement sont fort différentes de celles qui existent dans la machine en vrai grandeur et, pour donner un exemple, il est évidemment impossible de faire fonctionner un modèle de locomotive à vapeur rigoureusement construit à l'échelle du 1/10. De nombreux obstacles s'y opposent, ne serait-ce que l'impossibilité d'assurer le tirage du foyer à travers les centaines de tubes minuscules de la chaudière.

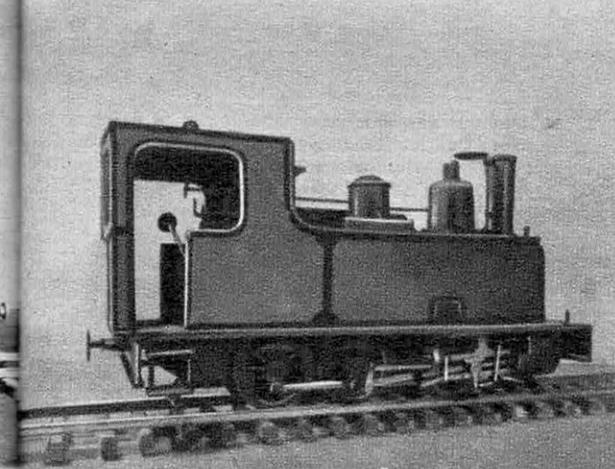
Le modélisme ferroviaire sembla donc se limiter, pendant le XIX^e siècle, à deux sortes

de choses : de très beaux modèles à grande échelle (1/4, 1/5, 1/10) construits par ou pour les compagnies de chemins de fer, principalement à des fins de publicité, et, à côté de ces modèles de musée et d'exposition, généralement respectueux de l'échelle dans ses moindres détails, les modèles construits, si l'on peut dire, par amour. Il est à croire que des mécaniciens, cheminots ou non, ont de tout temps porté à la locomotive cette affection qui pousse le marin à reproduire en petit, voire dans une bouteille, le bateau qu'il aime. Ces modèles sont très rarement soucieux de l'échelle. Presque toujours ils sont déformés, plus courts, plus ramassés, et les détails prennent le plus souvent une importance exagérée. On sent, en les voyant, que leur réalisateur a travaillé autant avec ses sentiments qu'avec son pied à coulisse et il faut y voir une interprétation subjective d'une machine vivante plutôt que la reproduction passive et fidèle des dessins de construction. Il est d'ailleurs curieux de constater que la reproduction fidèle mais passive, quand on la rencontre, ne donne pas toujours de bons résultats. Elle est évidemment préférable à la déformation, mais c'est un fait qu'un modèle exécuté sans chaleur par un modéliste dénué de passion reste définitivement la chose correcte et sans âme, la photographie exacte mais finalement sans ressemblance, un bel animal, mais empaillé.

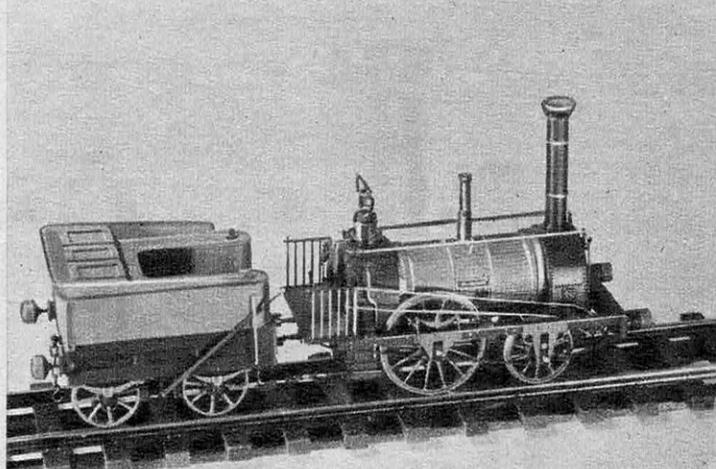
LA VOGUE DU MODELLISME

En fait, le modélisme n'a pas connu de vogue sensible jusqu'au début du présent siècle.

C'est en Angleterre que se créa la première organisation : le « Model Railway Club », constitué en 1912. La principale manifestation de son activité est l'exposition



● L'échelle du 1/30 convient bien pour la reproduction d'une machine de tortillard à voie de 1 m (M. Lengellé).



● La Mathieu Murray du Paris-Saint-Germain de 1837, modèle au « O ». (Conservatoire des Arts et Métiers.)

annuelle, à date fixe, des travaux des membres. La première exposition rapporta, tous frais payés, six livres sterling. La dernière à laquelle nous avons, comme depuis de nombreuses années, assisté a reçu en six jours plus de trente mille visiteurs payants, venus examiner et admirer les 3 000 modèles et la vingtaine de réseaux exposés en fonctionnement.

En France, c'est à un petit groupe d'amateurs de Versailles, Émile-André Schefer, Robert Marescot, Marcel Debrun, Henri Janson, notamment, que l'on doit la création d'une association ferroviaire, l'Association Française des Amis des Chemins de Fer, fondée, après une première tentative infructueuse, en 1929. Pendant de nombreuses années, l'A. F. A. C. a été seule à promouvoir en France non seulement les activités modélistes, mais encore les activités et études de toute sorte ayant, aux yeux des amateurs, le chemin de fer pour objet. Aujourd'hui, le mouvement lancé par l'A. F. A. C. a, comme en Angleterre, essaimé, et, à côté des nombreuses sections de l'A. F. A. C., on assiste à la naissance de clubs locaux purement modélistes.

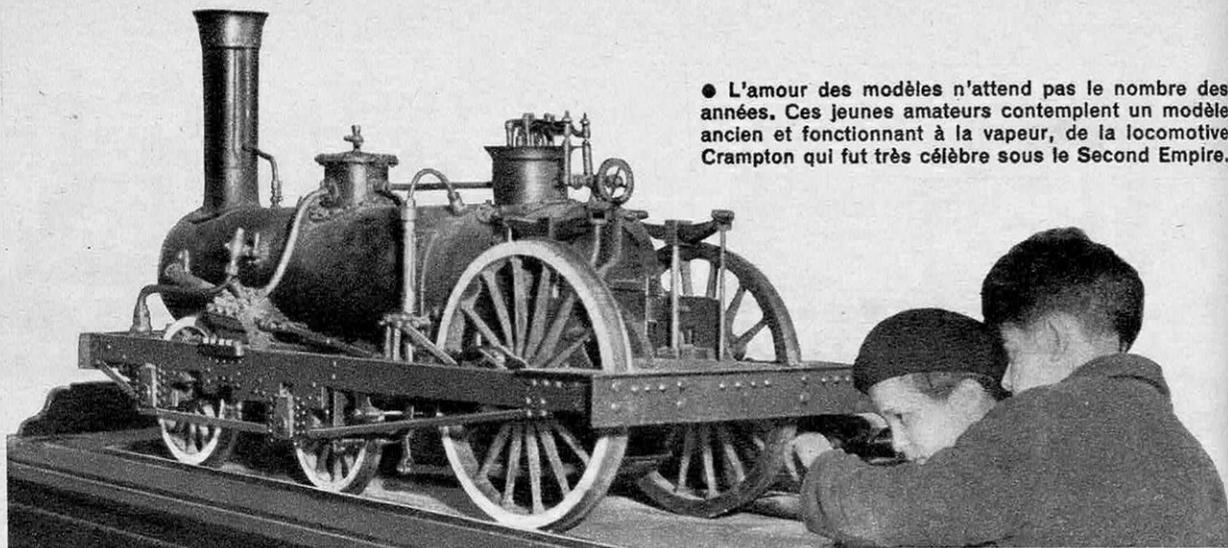
Il n'est plus guère de pays, aujourd'hui, où l'on ne trouve de modélistes ferroviaires organisés. Citons, au courant de la plume : la Belgique, la Suisse, l'Italie, l'Espagne, la Hollande, le Danemark, la Suède, l'Allemagne, l'Autriche. Si nous franchissons la Méditerranée, nous trouvons l'Association algérienne des « Amis des C. F. A. » qui a déjà tenu des expositions réussies. Aux États-Unis, le modélisme connaît, depuis 1930 environ, un essor proportionné aux possibilités de ce pays. Les clubs se comptent par centaines. Le plus répandu des périodiques américains tire à plus de cent mille exemplaires.

LES « GRANDS » ÉCARTEMENTS

Il existe dans tous les pays une classe de modélistes mécaniciens, particulièrement fervents et capables, dont le principal intérêt est la machine à vapeur. Ces amateurs construisent et font marcher des locomotives aux « grands écartements » : l'écartement « I »

(45 mm), qui est le plus petit généralement usité pour le fonctionnement de locomotives à vapeur à foyer intérieur; l'écartement de 2 pouces 1/2, (63,4 mm), qui est sans doute le plus grand écartement où l'on puisse abandonner une locomotive à vapeur à son propre sort, sans garder la main sur le régulateur; celui de 3 pouces 1/2 (88,8 mm), qui commence à permettre de tirer des passagers d'une manière « pratique »; enfin les écartements de 7 1/2 pouces (190,4 mm) et de 15 pouces (380,9 mm), qui permettent une véritable exploitation ferroviaire, dans les parcs d'amusement notamment.

Il faut habileté et compétence pour construire à ces échelles des locomotives à vapeur, fonctionnant à l'eau et au charbon. Il va sans dire que toute une littérature technique, principalement en langue anglaise — et nous citerons en passant les remarquables ouvrages pratiques publiés sous le pseudonyme L. B. S. C. en Grande Bretagne, — facilite le travail et évite aux nouveaux amateurs de tomber dans les embûches propres à ces machines miniatures. L'on trouve également, surtout en Grande-Bretagne et aux États-Unis, des dessins de machines bien calculées et éprouvées par l'expérience, et le matériel pour les construire, par exemple les pièces diverses de fonte et de bronze pour un grand nombre de modèles. L'amateur de ces écartements a besoin de place pour faire fonctionner son matériel. Une grande partie du plaisir réside en effet dans le fonctionnement, et tous ceux qui, juchés sur un étroit wagon plat, les jambes ballantes ou retenues par des étriers, ont tenu entre deux doigts le régulateur d'une machine à l'écartement de 3 pouces 1/2 connaissent la jouissance d'un démarrage à coups de pistons mesurés. En France, lors de la dernière exposition tenue cette année au Printemps, sous les auspices de l'A. F. A. C. et de « Science et Vie », la « Parade des Trains Modèles », un certain nombre de locomotives à vapeur à l'échelle particulière du 1/17 ont été livrées à l'admiration du public. Elles n'étaient malheureusement pas présentées en marche. S'il nous est permis, dans cet examen général, de donner un conseil à



● L'amour des modèles n'attend pas le nombre des années. Ces jeunes amateurs contemplent un modèle ancien et fonctionnant à la vapeur, de la locomotive Crampton qui fut très célèbre sous le Second Empire.



● Ces deux amateurs apprécient la minutie de l'exécution de deux maquettes à l'échelle « HO » (1/86). Une telle réduction exige bonne vue et doigts habiles.



● La S. N. C. F. « exploite » plusieurs réseaux de modèles réduits. Celui-ci est à l'échelle 1/86. Il est destiné à l'apprentissage des jeunes cheminots.

ceux qui pourraient s'intéresser à ces grands écartements, nous le ferons sous l'autorité amicale du secrétaire, d'origine française, du club de Chicago. M. Gilman Lacomp pense que le premier essai d'un amateur ne doit pas porter sur une machine de type compliqué. Il penche pour la disposition « Atlantic » (2-2-1). Nous estimons nous-mêmes, d'après l'expérience anglaise, que les 0-3-0, ou les 2-2-0, constituent des modèles d'encombrement réduit, capables de s'inscrire dans des courbes de faible rayon, et, à l'échelle du 1/16, de remorquer leurs 7 ou 8 passagers adultes.

LES ÉCARTEMENTS RÉDUITS : L'ÉCHELLE « I »

Une deuxième catégorie de modélistes peut être distinguée : celle des amateurs des

échelles « I » (45 mm entre rails), « O » (32 mm) et « HO » (16,5 mm). Le « I », dont nous avons vu, dans la catégorie précédente, qu'il était l'échelle la plus petite permettant la construction de locomotives à vapeur, à foyer intérieur, chauffées au charbon, est aussi un écartement permettant des réseaux d'intérieur et d'extérieur fonctionnant à l'électricité. A vrai dire, le « I », qui représentait, avant la guerre de 1914, l'écartement favori des amateurs, a été progressivement remplacé, d'abord par le « O », et ensuite par le « HO », dans l'engouement des modélistes. Il avait, en fait, complètement disparu comme sujet d'intérêt, en France, avant la guerre de 1939. Depuis, nous assistons à une certaine renaissance. Il faut évidemment une grande place pour construire un réseau à l'écartement « I » à l'intérieur d'une maison. Devant les difficultés de plus en

plus grandes pour les amateurs de pouvoir consacrer à leur réseau une place quelconque, le « I » ne pourra jamais regagner sa popularité passée. Toutefois, il y a en Angleterre, et depuis peu d'années seulement, une association uniquement composée d'amateurs de « I »; et, si le « I » est mal à son aise dans nos domiciles de plus en plus étriqués, il est par contre tout à son affaire dans un réseau d'extérieur. Un escargot causerait une catastrophe sur un réseau extérieur en « O », mais serait défait lors d'une rencontre avec un train en « I ». Il en est de même de la plupart des agents physiques et chimiques de destruction. Les masses des matériaux employés pour la construction d'un réseau « I » d'extérieur

les amateurs de « I » peuvent inscrire un réseau à cette grande échelle dans un espace relativement réduit. Ils y trouvent le double plaisir de pouvoir reproduire plus facilement tous les détails et de pouvoir également copier l'exploitation du prototype.

L'ÉCHELLE « O »

Le « O » est demeuré longtemps la plus petite échelle utilisée. Son écartement est de 32 mm. Le mètre à l'échelle est représenté par 23 mm, et, pour les mesures anglaises, le pied par 7 mm. Il permet une reproduction aussi poussée qu'on le désire de tous les détails visibles d'un véhicule quelconque.



● Un amateur « exploitant » au tableau de commande de son réseau. A la complexité des leviers, on juge de la variété des manœuvres possibles.



● Ces amateurs de l'A. F. A. C. admirent la Mountain Est au 1/17 de M. Hatier. Elle fonctionne à la vapeur et, après un essai au mazout, est chauffée au charbon.

étant plus grandes, sont évidemment plus résistantes. Le « I », avec son écartement de 45 mm, correspond à une échelle de réduction de 1/30 environ. Comme un certain nombre de modélistes, spécialement en France et en Afrique du Nord, s'intéressent aux chemins de fer à voie étroite (voie de 1 mètre), ils ont fait cette constatation qu'un véhicule à voie métrique, à l'échelle du 1/30, roulait sur une voie de 32 mm (écartement « O »). Leur tâche était de ce fait facilitée, car ils avaient sous la main tous les matériaux prévus pour la construction de la voie « O » et, en outre, beaucoup de pièces utilisables pour la construction de véhicules à cet écartement. Comme, d'autre part, les chemins de fer à voie métrique s'accroissent de courbes très prononcées et n'ont jamais un grand empattement fixe, que les trains y sont normalement plus courts,

Et, pour s'en rendre compte, il suffit de visiter, au Conservatoire des Arts et Métiers, la Salle des Chemins de Fer réalisée sur l'initiative de la S. N. C. F. Tout en pouvant faire figurer sur un véhicule en « O » l'intégralité des détails du prototype, l'amateur peut également concevoir un réseau d'intérieur, simple, mais suffisant, à cet écartement dans une pièce moyenne, un grenier par exemple.

Le mode de traction généralement utilisé pour le « O » est l'électricité. Les locomotives, de type vapeur ou électrique, sont mues par des moteurs soit universels, soit à aimant permanent. En France, la tension d'alimentation est d'une vingtaine de volts. On tend à préférer le courant continu au courant alternatif. Avec le courant alternatif, il est en effet nécessaire d'avoir, pour la télécommande des locomotives, des inverseurs sur la machine

A Les prototypes les plus récents, comme cette locomotive CC 7001, sont immédiatement reproduits au 1/86.

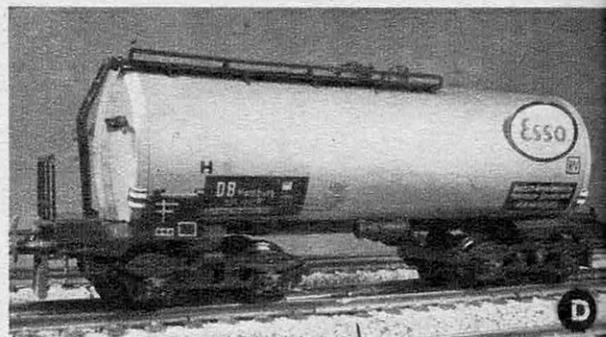
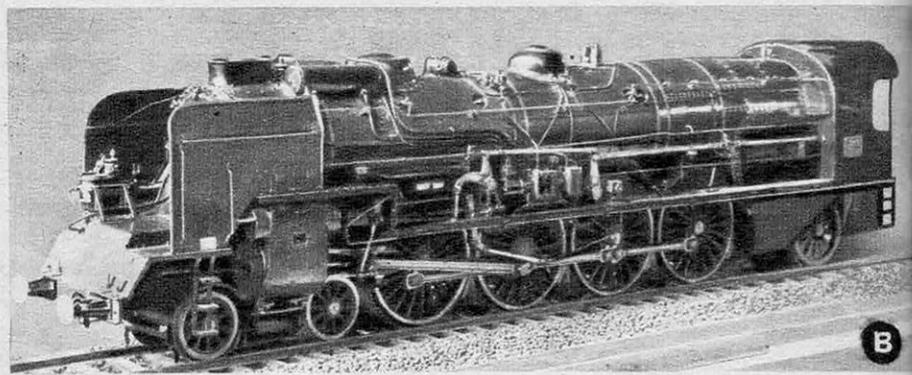
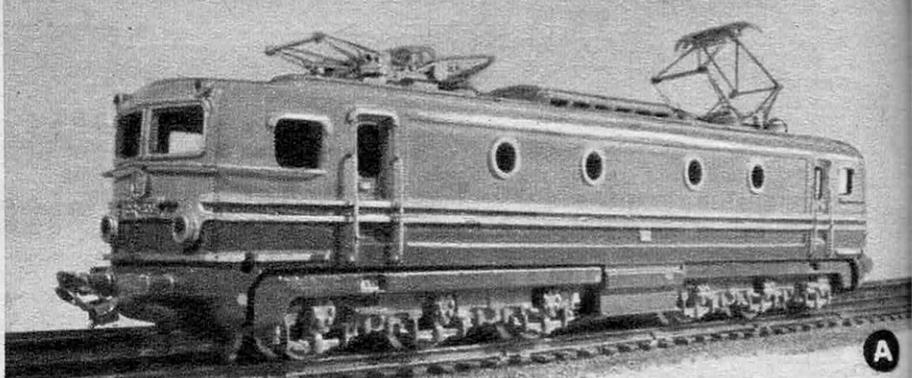
B Les apprentis de la S. N. C. F. construisent traditionnellement des modèles au 1/10. Voici une 241 P. L. M.

C Serviteurs obscurs de l'industrie, les wagons de minéral et de houille inspirent parfois les modélistes.

D Ce beau cliché d'un modèle au 1/86 permet d'apprécier l'exécution minutieuse des moindres détails extérieurs.

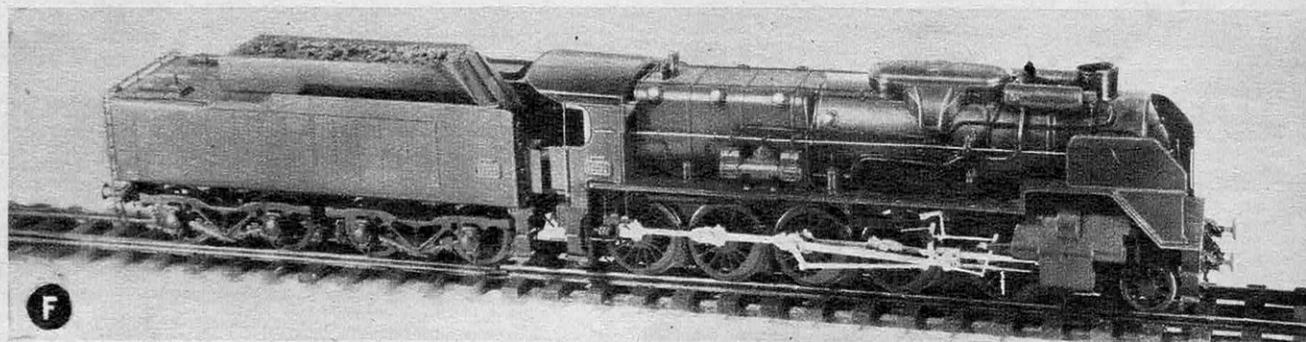
E Les British Railways ont construit un réseau d'exploitation démontable qui obtient un très grand succès.

F Un très beau modèle au 1/43, construit pour la S. N. C. F. par M. Postal. (Conservatoire des Arts et Métiers.)



(inverseur à surtension ou à coupure). Au contraire, avec le courant continu, et si la machine est munie d'un moteur à aimant permanent, il suffit de changer le sens du courant de traction pour que la machine change de sens de marche. Aucun dispositif simple ou compliqué n'est à prévoir sur la machine. Aucun raté de fonctionnement n'est à craindre. On fait maintenant, grâce aux aciers alliés spéciaux, des aimants légers et puissants donnant aux moteurs toute la force nécessaire sans encombrement supérieur à celui des moteurs universels. En général, les moteurs universels sont à induit tripolaire. Une plus grande souplesse de marche est toutefois obtenue avec des induits à cinq et sept pôles. Les moteurs à aimant permanent sont généralement à cinq et sept pôles, en raison du verrouillage magnétique que l'on constate parfois sur les moteurs à induit tripolaire. Le courant alternatif est fourni à partir du secteur, au moyen d'un simple transformateur abaisseur de tension. Le courant continu, quand le secteur est alternatif, est fourni soit par un redresseur à cellules, ce qui donne évidemment un cou-

rant continu modulé dans les appareils simples — inconvénient auquel il est remédié dans les appareils plus importants —, soit par un groupe convertisseur, donnant un véritable courant continu pour la traction. La vapeur est parfois utilisée comme mode de traction à l'écartement « O ». Les Anglais fournissent notamment de très bons modèles commerciaux, chauffés à l'alcool, capables de marcher pendant 20 à 30 mn sans arrêt en remorquant un train de quatre voitures, sur un circuit accidenté. L'inconvénient est le peu de souplesse de marche, et la difficulté de tenir un horaire sans télécommande et sans grande possibilité de faire varier la vitesse ou de tenir arrêtée une machine en pression. Quelques amateurs britanniques, notamment le défunt major Cardew, ont réalisé à l'échelle « O », au prix de dérogations à l'échelle, des locomotives à vapeur chauffées au charbon. Il s'agit de réussites exceptionnelles, mais qui ne permettent pas d'exploiter un réseau modèle. En France, M. Antony a, pendant de nombreuses années, construit des locomotives chauffées à l'alcool, mais où les cylindres extérieurs

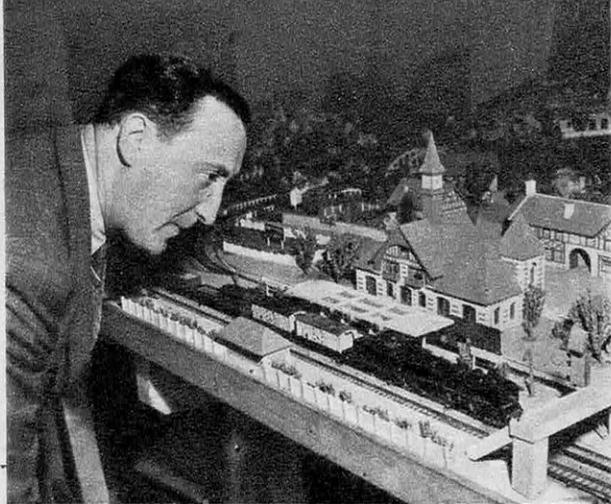


étaient factices. Le moteur à vapeur, caché soit dans la boîte à fumée (machines à tender séparé), soit dans la cabine (machines-tenders), était constitué par un ou plusieurs cylindres oscillants, entraînant, par un train d'engrenage largement démultiplié, les roues motrices. Les résultats d'exploitation de ces locomotives sont remarquables. Une petite machine-tender à trois essieux, du type «Coucou», est capable de remorquer pendant près d'une demi-heure quatre-vingts wagons de marchandises. Il est également possible, sur ces machines, de substituer à la chauffe à l'alcool la chauffe à l'électricité, par des éléments de résistance placés dans la chaudière. L'envoi d'un courant d'intensité variable permet de proportionner le volume de vapeur produit au travail demandé, ce qui n'est pas facile avec l'alcool.

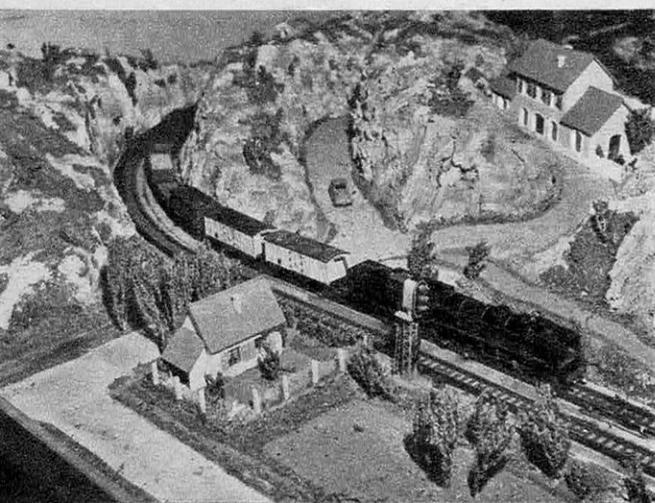
LES LOCOMOTIVES A NEIGE CARBONIQUE

On en est enfin arrivé à construire les locomotives à vapeur froide, c'est-à-dire des

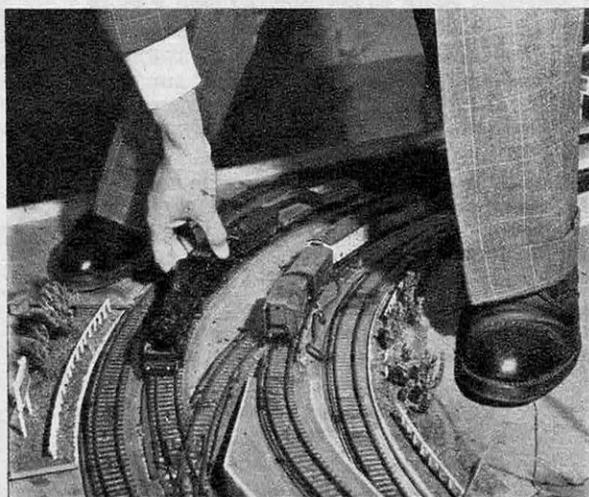
locomotives fonctionnant par la sublimation dans un espace confiné de la glace carbonique. On sait que cette glace est réalisée par la compression à plus de 40 kg du gaz carbonique. La pression restituée par le retour à l'état gazeux permet de compter sur une pression de fonctionnement de l'ordre de 7 kg/cm², ce qui n'est nullement dangereux, et ce qui rend la machine capable de remorquer n'importe quoi. Dans ces modèles, dont le Suisse Vollenweider, établi aux États-Unis, a construit de remarquables spécimens, les cylindres ne présentent, non plus que le mécanisme, aucune différence avec ceux d'une machine fonctionnant à la vapeur d'eau. La glace carbonique est mise dans un réservoir facilement logeable dans le tender. Ce réservoir est muni de deux soupapes de sûreté à débit suffisant, se levant à la pression de 7 kg/cm². Le gaz est conduit à la locomotive par un raccord souple en caoutchouc, dont l'éclatement éventuel constitue également une sûreté. Il traverse ensuite le régulateur, pour se rendre à la distribution, puis aux cylindres, et enfin s'échapper très réaliste-



● Sur le réseau au 1/86 de M. Recordon, on peut admirer cette reproduction exacte de la gare de Senlis.

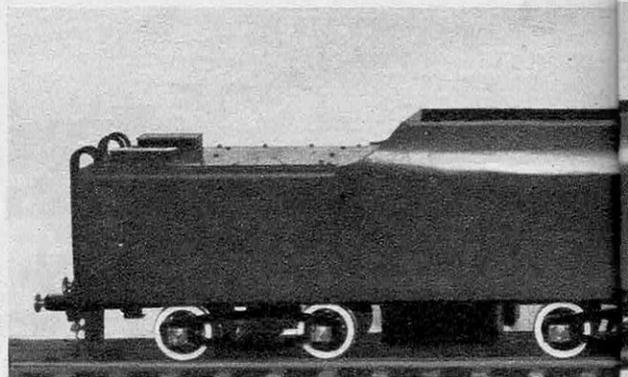


● Sur le même réseau, en quelques pas, le paysage change rapidement et on traverse l'Esterel.



● Les déraillements sont assez rares et la main d'un géant a tôt fait de remettre le train sur ses rails.

ment dans l'atmosphère avec un bruit approprié. L'usage de ce gaz ne pose aucun problème particulier de graissage ; une huile fluide fait parfaitement l'affaire. D'autre part, il n'est pas à craindre de déperdition de chaleur, grave inconvénient en général pour les petites locomotives à vapeur. La détente du gaz dans les cylindres moteurs a tout au plus pour effet de les couvrir extérieurement d'un léger givre, après un certain temps de fonctionnement, en raison de la basse température du métal. Il est évidemment facile de télécommander de pareilles locomotives, qui portent en elles une provision suffisante de glace carbonique pour leur assurer deux heures de marche à pleine puissance. Il suffit de munir le régulateur d'une installation de télécommande par un petit moteur électrique, auquel on donne l'impulsion par le système normalement prévu pour l'alimentation en courant de traction des machines (rail latéral,



système à plots, ou voie à deux files de rails isolés).

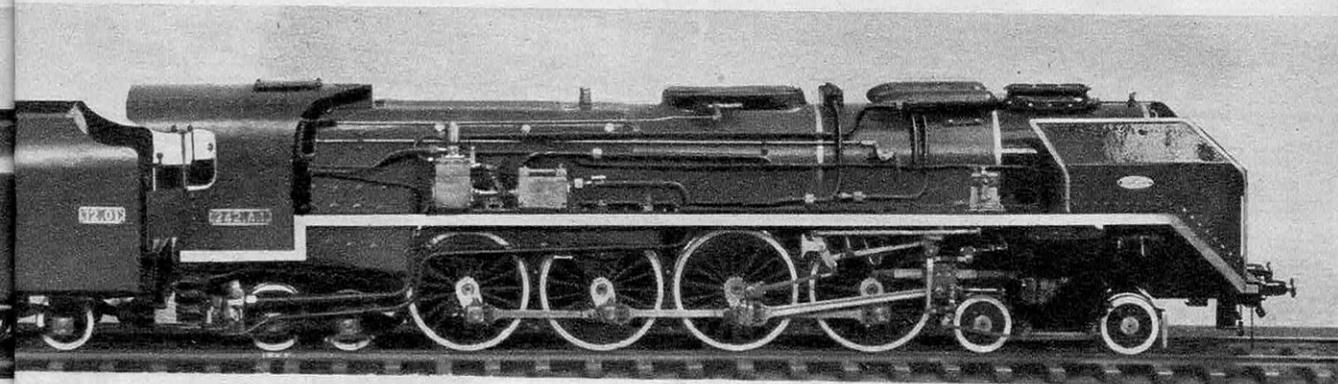
Un avantage de ces sortes de machines est leur propreté. Alors que les petites locomotives à vapeur ont pour habitude de cracher un peu partout de l'eau mêlée d'huile, au grand dam de la propreté des voies et de l'infrastructure, les machines à vapeur froide n'ont besoin que de très peu d'huile et n'ont aucune eau de condensation à dispenser à tort et à travers.

LE RÉSEAU « O »

Quel que soit son mode de traction, un réseau à l'échelle « O » est en général d'une grande sûreté de fonctionnement, et, si l'on dispose de beaucoup de place, il aura certainement les préférences de l'amateur. De même que pour l'échelle du 1/30, il existe à l'échelle « O » (23 mm par mètre) des réseaux complets ou complémentaires représentant des prototypes à voie métrique. L'écartement est alors de 23 mm. Le même intérêt se retrouve, celui de pouvoir bénéficier d'un prototype dont les courbes sont en général

très prononcées et les convois remarquablement courts. Alors qu'un train rapide de grande ligne atteint couramment, avec douze voitures de 23 m et une locomotive de grand empatement, au moins 300 m de long, soit à l'écartement « O » une longueur effective de 7 m, un train de chemins de fer départementaux est dignement représenté par un convoi réel de quatre ou cinq voitures et wagons, d'une longueur de 50 m pour le prototype, soit 1,15 m à l'échelle de 23 mm par mètre. On conçoit qu'il soit pratiquement impossible, sauf très rares exceptions, d'avoir sur un réseau modèle des gares avec des quais de 7 m, alors qu'une gare de 1,25 m est à la portée de tout le monde. D'autre part, sur une ligne à voie normale, le rayon des courbes descend rarement au-dessous de 500 m. (Il n'est évidemment pas possible de reproduire un rayon aussi grand en « O » : 11,5 m.) Il est établi que le rayon le plus faible permettant en « O » de

réseaux électrifiés, la prise de courant par caténares et pantographes est maintenant généralisée; il convient de reproduire sur le modèle ces installations de caténares, et, sur les véhicules moteurs, ces pantographes. Il existe maintenant dans le commerce, spécialement en Suisse, d'excellents modèles de pantographes produits en grande série. On en trouve en France de très bien faits et correspondant aux types français. L'essentiel, pour un bon fonctionnement, est que le pantographe soit très souple et exerce malgré sa souplesse une pression constante quoique faible (quelques grammes) sur le fil de contact. Pour les caténares, on les construit pour le « O » en suivant l'aspect extérieur d'une véritable suspension caténaire, à l'aide de fil de laiton de faible diamètre (0,5 mm). Les Suisses sont passés maîtres dans cet art. En « HO », on trouve en France d'excellentes caténares, d'aspect satisfaisant et de bon fonc-



● Seuls quelques détails minimes permettent de distinguer ce modèle au 1/17 de la 242 S. N. C. F., construit par M. Amelaine, de la locomotive en vraie grandeur.

rouler à tampons joints est de 2,25 m. C'est encore très grand et cela nécessite une pièce ayant au moins 5 m dans sa plus petite dimension. Avec un tortillard, où les courbes de 50 m de rayon sont monnaie courante, la chose est reproduite à l'échelle dans un rayon de 1,15 m. De plus, il est parfaitement possible de s'accommoder même de rayons inférieurs, car les véhicules à voie métrique sont généralement munis d'un seul tampon central. On peut donc refouler sur les courbes les plus réduites, sans craindre un « mariage » des tampons, générateur infaillible de déraillements.

LA PRISE DU COURANT

Avant d'aborder le « HO », nous pouvons encore examiner un point commun aux « O » et « HO », celui des modalités de prise du courant de traction. La chose est évidemment théoriquement simple sur un réseau dont les modèles ont l'aspect extérieur des locomotives électriques. Comme sur les véritables

construites industriellement. On en trouve de plus fines, construites à la main par d'habiles artisans. La reproduction des poteaux eux-mêmes n'offre pas de difficultés. Des poteaux à l'échelle, correspondant aux différents types utilisés, béton, treillis métallique, fers laminés, se trouvent dans le commerce, ainsi que les éléments pour les réaliser soi-même. Dans le système à caténares, le retour du courant se fait dans la réalité et sur les modèles par les rails de roulement.

Lorsque l'on fait circuler sur un réseau « O » ou « HO » des locomotives de type vapeur, d'autres moyens de prise de courant existent. Le moyen le plus ancien, généralisé dans les jouets, est l'arrivée du courant par un rail central, de même niveau que les rails de roulement, sur lequel un frotteur prend un pôle pour l'amener au moteur, et le retour par les rails de roulement. Ce système a évidemment l'inconvénient de ne pas se rencontrer sur les voies ferrées réelles. On a autrefois électrifié quelques lignes urbaines sur ce système, principalement en Angleterre. Un deuxième

système présente une plus grande vraisemblance en ce qui concerne l'aspect de la voie : c'est la prise du courant par un rail latéral légèrement surélevé par rapport aux rails de roulement. On trouve ce système en France sur la ligne de Chambéry à Modane. Comme des locomotives à vapeur circulent couramment, dans tous les pays, même en Suisse, sur des lignes électrifiées, il n'y a aucune invraisemblance à voir une locomotive à vapeur circuler sur une voie comportant un rail latéral de prise de courant. La locomotive est généralement munie à cet effet d'un système de prise de courant constitué par un fil de 1 à 2 mm de diamètre venant glisser plus ou moins silencieusement à la surface supérieure du rail de contact. Pour franchir les coupures

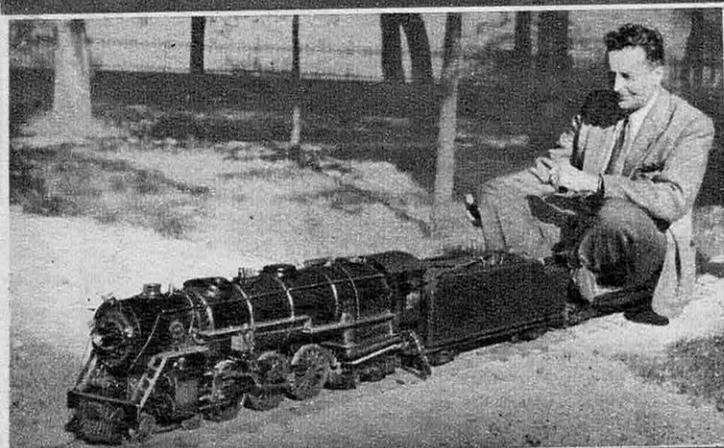
du rail latéral, obligatoires sur certains appareils de voie (branchements à trois directions par exemple), la locomotive est de préférence munie de deux frotteurs bilatéraux, convenablement espacés, l'un des deux pouvant être monté sur le tender dans le cas d'une locomotive à tender séparé. Un troisième moyen, susceptible d'un avenir intéressant, existe : c'est le système à prise de courant par plots axiaux. Dans l'axe de la voie sont disposés, à intervalles de quelques centimètres, des plots constitués par de simples pointes de laiton de faible diamètre, à tête arrondie. En dehors des appareils de voie, ces plots culminent à deux ou trois millimètres au-dessus de la traverse, par conséquent au-dessous du niveau des rails de roulement ;



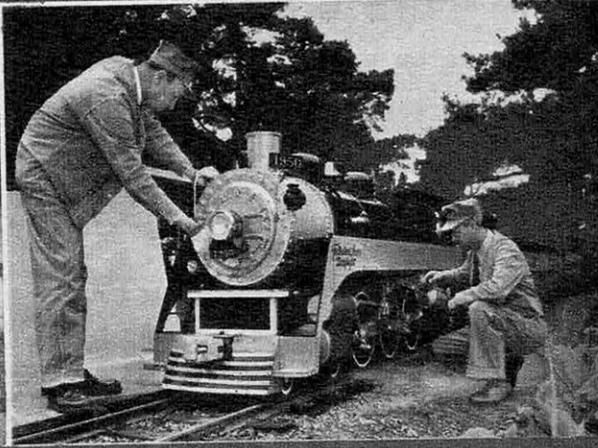
UNE VUE D'ENSEMBLE DU RÉSEAU D'OAKLAND

● Le Club Oakland a profité du beau climat de la Californie pour rouler en plein air. Une machine au 1/16 tire

facilement plusieurs personnes. Étant donné la largeur des voies, la vitesse est impressionnante.



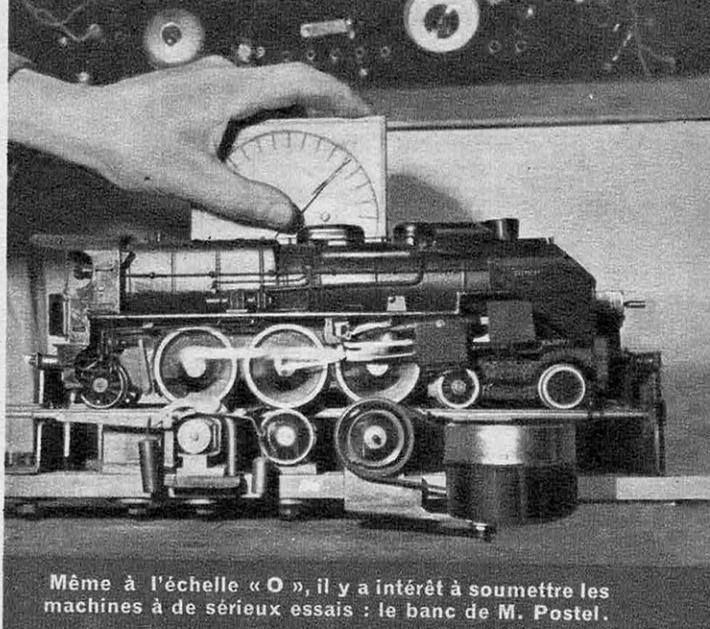
● Sur le réseau plus modeste du Club de Chicago, H. Girod-Eymery essaie un modèle de 231 à vapeur.



● Il y a aussi aux U. S. A. de nombreux réseaux pour enfants, comme celui du Parc d'Oakland.

pour la traversée des appareils de voie, les plots s'élèvent progressivement et culminent à deux ou trois millimètres au-dessus des rails à traverser. Étant donné leurs faibles dimensions et leur nombre limité, ces plots sont pratiquement invisibles. Ils sont alimentés en courant par un feeder qui est logé sous la voie d'une manière invisible. La locomotive prend le courant toujours sur deux plots au moins à la fois, au moyen d'un ski pouvant se déplacer verticalement, d'une manière élastique, des quelques millimètres nécessaires pour suivre les différences de hauteur des plots. Ce système, qui est déjà largement utilisé en Grande-Bretagne sur de nombreux réseaux en « O » et en « HO », commence à se répandre en France. Il a le double avantage d'être aussi simple, au point de vue circuits électriques, que le système à rail central ou à rail latéral, et de ne comporter d'une manière visible que les deux rails de roulement ; les plots étant, comme nous l'avons dit, pratiquement invisibles.

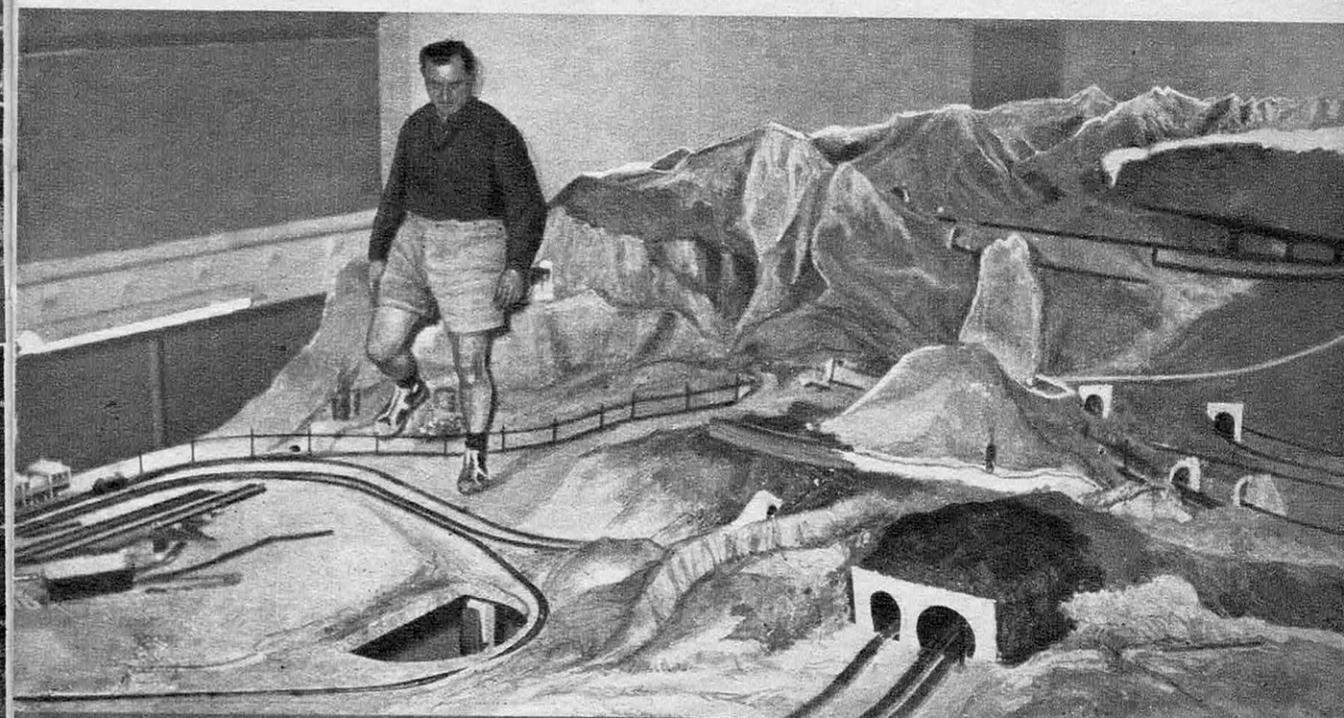
Un quatrième moyen est largement répandu aux États-Unis et se rencontre en Allemagne depuis la guerre. Il avait reçu en France une utilisation voici de nombreuses années sur le réseau en « O » commencé par MM. Marescot et Debrun, à Versailles. Il consiste à isoler réciproquement les deux rails de roulement, et à les utiliser pour l'arrivée et le retour du courant. Il est donc indispensable d'isoler sur tous les véhicules une roue par rapport à l'autre, car autrement un court-circuit viendrait ruiner le fonctionnement prévu.



Même à l'échelle « O », il y a intérêt à soumettre les machines à de sérieux essais : le banc de M. Postel.

Cette solution est évidemment très élégante d'aspect, car la voie se compose uniquement, comme sur le prototype, des deux rails de roulement.

Elle pose des problèmes de circuits électriques dans la voie même, car, surtout si l'on utilise le courant continu, un changement de polarité, d'un rail à l'autre, entraîne le renversement de marche ; et, sans précaution spéciale, il y a changement de polarité dans une simple boucle. Elle pose également le problème de l'isolement électrique des roues de tous les véhicules, ce qui implique la modi-



● Un réseau géant (300 m de voie) à l'échelle « HO » vient de s'ouvrir à Paris. Les visiteurs pourront y

commander eux-mêmes les manœuvres de douze trains sur des circuits différents. Le décor s'étend sur 80 m².

fication ou l'abandon de tout le matériel préexistant.

Sur les voitures et wagons, les roues sont généralement isolées, entre l'essieu et le corps de roue, par une bague isolante interposée sur une seule des roues. Sur le matériel moteur, et particulièrement sur les locomotives de type vapeur, l'isolement doit intervenir avant le corps de roue, puisque ce dernier est relié électriquement au véhicule lui-même par les bielles et la distribution. L'isolement consiste donc en une bague insérée entre le corps de roue et le bandage. On utilise également en Angleterre des essieux métalliques rendus isolants en surface par aluminitage. L'aluminitage est très solide et la roue peut être calée à force sur l'essieu sans abrasion de l'isolant. On utilise également des roues dont le corps est en matière plastique et le bandage en métal (laiton ou maillechort).

En France, où l'on commence seulement à trouver commercialement des roues isolées ou isolables, et où il existe déjà beaucoup d'installations et de matériel, il serait souhaitable que l'on développe plutôt le système à plots que le système à files de rails isolées, car cela permettrait, en obtenant un réalisme satisfaisant de l'aspect des voies, de continuer à utiliser sans changement majeur tout le matériel existant.

L'ÉCHELLE « HO »

Le « HO » est le plus petit des écartements généralement pratiqués. Il y a évidemment de plus petits écartements, qui ont leur succès en Amérique et en Suède ; on trouve en Suisse l'écartement commercialement réalisé de 12 mm, mais en France l'on semble s'être arrêté au « HO » dans le domaine du rétrécissement. La distance entre rails est de 16,5 mm ; et l'échelle de réduction 11,5 mm par mètre, ou 3,5 mm par pied quand on part de mesures anglaises de prototypes. Il va sans dire que le « HO » ne permet pas couramment la reproduction de tous les détails visibles d'un prototype. Outre la difficulté de le faire, il faut aussi songer que l'œil humain ne peut pas pratiquement diaphragmer suffisamment pour examiner de près l'ensemble d'un modèle à cette échelle. Et, d'une certaine distance, il est évidemment impossible de contrôler la présence et l'exécution rigoureuse des détails en cause. Certains amateurs, et notamment M. René Fournier, ont réalisé, en « HO », des prodiges de détails et construits des véhicules qui ont la quasi-totalité de ce que l'on peut voir sur le prototype, y compris l'ensemble de la timonerie de frein, exacte au point de fonctionner réellement ; mais, à cinquante centimètres de distance, ce travail ne se voit pas suffisamment et c'est par des photos, ou en diaphragmant l'œil à travers un orifice de l'ordre du trou d'épingle, que l'on peut apprécier pleinement la finesse du travail.

Le « HO » est riche d'une grande qualité :

son encombrement réduit. Ses dimensions linéaires sont la moitié de celles du « O ». Par un simple calcul, on constate que, sur une même surface disponible, un amateur peut installer un réseau quatre fois plus grand en « HO » qu'en « O ». Bernard Blier, qui ne disposait pour installer son réseau que d'un emplacement de 2,50 m au carré, a pu, dans cet espace limité, contenir un tracé très complexe sans être surchargé, permettant une exploitation multiple et variée. Le « HO » permet donc, en sacrifiant peut-être, et d'une manière peu visible, des détails, de donner libre cours à la joie de l'exploitation. Un tracé bien étudié, un décor pouvant être sobre, mais d'aspect réaliste, permettent, dans un petit espace, de tirer toutes les satisfactions d'une exploitation variée et bien conduite. Il existe sur le marché des éléments de voie d'aspect parfait, qui ont l'avantage d'être démontables. Il existe également sur le marché, en France, des locomotives et du matériel roulant de fabrication française et allemande, pouvant satisfaire tous les goûts des amateurs : machines types vapeur, de gare, de grande ligne, de marchandises, locomotives électriques, voitures à voyageurs, wagons, construits en grande série ou par des artisans, et en général remarquables par leurs proportions et leur fini.

Un point important est résolu en ce qui concerne la place. Un autre point important, pour les amateurs, est le prix de semblables installations. Il y a deux manières opposées de se constituer un réseau ; l'une évidemment facile, pourvu qu'on dispose de fonds en quantité suffisante, consiste à acheter les éléments tout faits et à monter l'ensemble avec le minimum de travail. L'autre, moins rapide, est certainement la plus intéressante. Elle consiste à commencer par une étude approfondie des possibilités de place dont on dispose, du plan du réseau — simple au départ — à réaliser. Ensuite, et progressivement, toujours après avoir vu comment font les autres amateurs, en étudiant la littérature spécialisée qui évite, dans bien des cas, de se fourvoyer et facilite la conception et l'exécution, à monter petit à petit infrastructure et voie, et à faire rouler un premier train. Il n'y a guère à acheter tout fait que la première locomotive et le transformateur-rhéostat. Tout le reste : infrastructure, voie, bâtiments, décor, voitures et wagons, peut être construit facilement, avec seulement quelques outils que l'on a toujours sous la main, à partir des boîtes de pièces détachées et des dessins que l'on trouve abondamment chez tous les revendeurs. L'exploitation d'un pareil réseau, construit par soi, procure, de l'avis général, bien plus de satisfaction que celle d'un réseau né d'un souhait immédiatement réalisé. Et beaucoup d'amateurs trouvent à créer leur matériel une joie au moins égale à celle de le faire rouler.

H. Girod-Eymery et J. Falaize

LES CARRIÈRES à la S.N.C.F.

DE la lecture des précédents chapitres on a pu conclure que, pour assurer les tâches qui lui incombent, la S. N. C. F. a besoin d'un personnel nombreux aux qualifications variées.

Ce personnel, elle le recrute, d'une part, parmi les anciens élèves des Écoles techniques, d'autre part, parmi les jeunes gens qui n'ont fait que des études primaires ou ceux ayant subi un apprentissage complet. Mais tout cheminot, quelle que soit sa formation, ne perd pas pour autant l'espoir d'arriver à une situation importante, car non seulement l'avancement du personnel dépend plus de la valeur propre des agents que de leurs titres, mais encore la S. N. C. F. a institué pour son personnel des cours et écoles de perfectionnement afin d'aider le plus possible ses meilleurs agents à gravir les échelons de la hiérarchie.

LE TRAVAIL DU CHEMINOT



Si, dans certains cas, le personnel est bien encadré et groupé en établissements importants (grandes gares, ateliers, dépôts, etc.), il est souvent dispersé en petites équipes disséminées (petites gares, équipes de la voie, postes d'aiguillage, équipes de machines, postes de visites, etc.). Cette situation amène le subordonné, quel que soit son grade, à prendre des décisions rapides, parfois graves, sans pouvoir toujours en référer à son supérieur qui, de son côté, doit pouvoir compter sur ses subordonnés. Cette collaboration exige un choix du personnel, une action du chef et une confiance réciproque.

Le dévouement au métier, le sentiment du devoir sont indispensables.

Quel que soit l'emploi occupé, les qualités personnelles ont un rôle de premier plan. Au point de vue moral, l'agent de la S. N. C. F. doit posséder des qualités éprouvées d'initiative, de volonté, d'activité, de discipline et d'organisation.

Enfin, les aptitudes physiques ont aussi une grande importance. Les candidats doivent avoir une excellente santé et un physique robuste et sain, les sens de la vue et de l'audition faisant notamment l'objet d'un examen attentif de la part des Services médicaux.

Pour le recrutement de ses cadres moyens et supérieurs, la S. N. C. F. a recours aux titulaires de certains diplômes délivrés par les grandes écoles ou les écoles techniques et les Universités, qui, âgés de moins de vingt-neuf ans, peuvent être embauchés comme attachés sans examen ni concours à des grades de la hiérarchie qui varient suivant le niveau des connaissances des candidats.

Vers quels services peut-on s'orienter ?

L'organisation générale de la S. N. C. F. repose, en particulier, sur l'existence de trois grands Services techniques :

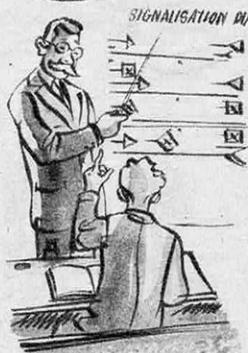
— le Service de l'Exploitation, qui est chargé du mouvement des trains et du trafic, ainsi que de la partie commerciale. Lui seul est pratiquement en contact avec le public. Les gares et les triages sont gérés par lui ;

— le Service du Matériel et de la Traction, qui conçoit, entretient et conduit le matériel moteur (locomotives et autorails) et remorqué (voitures à voyageurs et wagons). Il gère notamment les ateliers et les dépôts ;

— le Service de la Voie et des Bâtiments, qui construit et entretient les installations fixes (voies, ouvrages d'art, bâtiments) et les installations de sécurité (signaux, postes d'aiguillage).

L'ensemble de ces Services est dirigé et coordonné par des organismes de Direction.

Les carrières des services actifs offrent un grand nombre de débouchés et donnent aux agents la possibilité d'utiliser efficacement leurs qualités dans des emplois laissant le plus souvent une large place à l'esprit d'initiative. La diversité de ces emplois permet à chacun de choisir la branche correspondant à ses goûts et à ses aptitudes.





EXPLOITATION



Rappelons, tout d'abord, que les Services de l'Exploitation sont chargés de la formation, de la surveillance, de la manœuvre et de la circulation des trains. A la base, ce service exploite techniquement et commercialement les gares et stations qui sont ouvertes à la clientèle et exécute le service en ce qui concerne tant les voyageurs que les marchandises.

1° Les candidats de dix-huit à vingt-neuf ans, qui ne possèdent pas de diplômes particuliers, peuvent être embauchés dans un grade de début, sous réserve de satisfaire à un examen ou à un concours et à une visite médicale.

Ceux que la carrière des gares intéresse débutent, suivant leurs aptitudes, soit comme **hommes d'équipe**, soit comme **facteurs**, c'est-à-dire qu'ils sont chargés du pointage et de la reconnaissance des trains et du contrôle des voyageurs. Par la suite, ils peuvent devenir **facteurs mixtes** chargés d'un service mixte de mouvement, de bureau, de manutention, **aiguilleurs** chargés de la manœuvre des signaux et aiguilles. Ils peuvent ensuite accéder progressivement à des grades de plus en plus élevés, soit dans la direction des gares (sous-chefs de gare et chefs de gare), soit dans la branche inspection (sous-inspecteurs, inspecteurs).

Les différents grades que l'agent peut conquérir progressivement lui sont donnés par la voie du tableau d'aptitude, si, par ailleurs, il a subi avec succès les épreuves des examens ou concours qui sont exigés pour l'accès à certains grades.

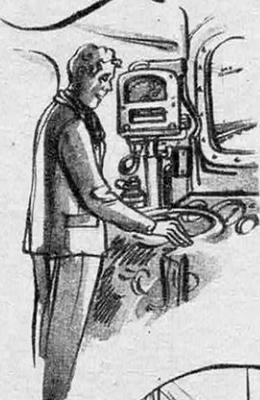
Ainsi la carrière des agents n'a de limite que celles de leur capacité.

Indépendamment des filières dont il vient d'être parlé, de nombreuses autres filières existent. Citons par exemple celles du personnel d'accompagnement des trains (conducteurs, chefs de trains, contrôleurs des trains), des agents de bureau de gare (facteurs aux écritures, commis, sous-chefs et chefs de bureau).

A noter que le passage d'une filière dans une autre est possible suivant les capacités des agents et dans la mesure où les exigences du service le permettent.

2° Les jeunes gens âgés de quinze à dix-huit ans peuvent être embauchés comme **élèves** à la suite d'un concours du niveau du brevet élémentaire. Les « élèves » sont en somme les apprentis du Service de l'Exploitation. C'est parmi les anciens élèves que la S. N. C. F. trouve une partie des cadres des gares dont elle a besoin (chefs et sous-chefs de gare, chefs et sous-chefs de bureaux des gares).

La formation générale et professionnelle de ces jeunes agents dure deux années. Nombreux sont les anciens « élèves » qui occupent des postes importants au Service de l'Exploitation.



MATÉRIEL ET TRACTION



Le Service du Matériel et de la Traction se décompose, en fait, en deux branches :

— le Service de la Traction qui s'occupe de la conduite, de l'entretien et de la réparation courante du matériel moteur. L'établissement de base est le dépôt de locomotives chargé de remiser, d'équiper, d'alimenter et d'entretenir les machines nécessaires à la remorque des trains dans la zone qu'il dessert. Un dépôt important compte 100 à 150 machines et 1 000 à 1 200 agents.

— le Service du Matériel qui possède :

- des « postes de visite » et des « entretiens » chargés de visiter et réparer le matériel remorqué en service ou immobilisé pour de courtes durées ;
- les « grands ateliers » chargés des réparations importantes de toutes les catégories de matériel (matériel moteur et matériel remorqué).

1° Les emplois de début dans lesquels les candidats de dix-huit à vingt-neuf ans peuvent être embauchés sont essentiellement ceux de :

- manœuvres ;
- ouvriers professionnels qualifiés de toutes spécialités.

Ces postes sont accessibles après examen et, le cas échéant, essais professionnels analogues à ceux qui sont demandés pour l'obtention du C. A. P. En outre, pour les agents de la Traction, des conditions physiques spéciales et une vue parfaite sont exigées à la visite médicale.

Les agents qui se destinent au Service de la Traction font leur carrière dans les



dépôts où sont remisés et entretenus les locomotives et les autorails.

Ceux qui se destinent à la conduite des locomotives suivent habituellement le cycle suivant :

Après avoir acquis comme ouvriers à l'entretien des locomotives une bonne connaissance technique de ces engins, ils sont utilisés comme chauffeurs. Puis, une fois qu'ils ont passé avec succès l'examen théorique et pratique de chauffeur ainsi que les épreuves psychotechniques utiles, ils peuvent être nommés chauffeurs par la voie du tableau d'aptitude.

Les meilleurs chauffeurs peuvent ensuite, après avoir satisfait à d'autres épreuves théoriques et pratiques, devenir « élèves mécaniciens » et enfin « mécaniciens de route ».

Les mécaniciens de la S. N. C. F. constituent un corps d'élite en raison des qualités techniques et physiques et de la conscience professionnelle qui sont exigées d'eux.

Pour les locomotives électriques et les autorails, qui sont conduits par des « conducteurs électriciens » et des « conducteurs d'autorails », l'accès à ces grades est régi par des règles analogues.

Enfin, les meilleurs agents du corps des mécaniciens et conducteurs peuvent accéder à des grades supérieurs tels que ceux de « chef mécanicien », de « chef conducteur électricien » et « chef conducteur d'autorail », voire même à des postes de la filière « contrôle et inspection ».

Les agents qui se destinent au Service du Matériel, c'est-à-dire ceux qui veulent faire leur carrière dans les grands ateliers de réparation (locomotives, autorails, voitures et wagons) suivent, selon leur capacité :

— soit la branche « manœuvre » qui comprend notamment les grades de manœuvre, ouvrier spécialisé, chef de brigade et contremaître ;

— soit la branche « ouvriers » qui peut les conduire aux grades de chef de brigade, contremaître, sous-chef et chef des ateliers.

2° Les jeunes gens de quatorze à seize ans peuvent entrer comme **apprentis** à la S. N. C. F. après avoir passé un concours du niveau du certificat d'études primaires.

Après trois années d'instruction générale, théorique et pratique, passées dans les écoles d'apprentissage de la S. N. C. F., ces jeunes gens sont versés dans les dépôts et les ateliers. Ils sont destinés à fournir les spécialistes et les cadres dont le service a particulièrement besoin à une époque où la technique multiplie ses aspects et demande de plus en plus de compétence.

VOIE ET BATIMENTS



Au Service de la Voie, l'établissement de base est le « district ». Son chef est responsable de l'entretien de la voie et des Installations fixes.

Les districts sont groupés en « Sections ». Le Chef de Section a sous ses ordres des Chefs de District et les agents du Service Électrique et de la Signalisation (S. E. S.) chargés de l'entretien des installations électriques de signalisation, de téléphone et d'éclairage.

Le Service de la Voie n'exécute généralement, avec ses propres agents, que les travaux d'entretien de la voie. Pour les travaux de construction ou de renouvellement et pour une grande partie des travaux relatifs aux autres installations fixes, il fait appel à des entrepreneurs qu'il dirige et surveille.

1° Les candidats âgés de dix-huit à vingt-neuf ans peuvent être admis notamment dans l'une des deux filières suivantes :

— la filière entretien et travaux de la voie ;

— la filière du Service Électrique et de la Signalisation (S. E. S.).

a. Dans la première de ces branches, le jeune homme ne possédant pas de diplômes particuliers peut entrer comme « cantonnier », c'est-à-dire comme agent s'occupant de l'entretien des voies sous l'autorité immédiate de sous-chefs et chefs de canton, grades qu'il peut obtenir par son travail et ses éventuelles aptitudes au commandement.

Le grade de chef de district n'est accessible que par voie d'un concours ouvert aussi bien aux agents précédemment cités qu'aux candidats n'appartenant pas au chemin de fer, ayant une bonne formation secondaire moderne ou ayant préparé le concours d'entrée aux Écoles Nationales d'Arts et Métiers. L'agent peut ensuite accéder à l'emploi de « Chef de Section ».

b. Le jeune homme possédant déjà de fortes connaissances en électricité peut s'engager dans les carrières offertes par le « Service Électrique », en passant un examen pour l'emploi de **Surveillant du Service électrique**. Il sera alors chargé de





l'entretien de l'appareillage électrique de la voie (téléphone, télécommunication, block-system, contrôle d'aiguilles, etc.). En franchissant les différents échelons de la hiérarchie, il pourra atteindre et même dépasser le grade de « Chef de Circonscription S. E. S. », comparable à celui de « Chef de District ».

Signalons, pour terminer, l'emploi de « garde-barrière » de passage à niveau ; ces emplois sont tenus, dans les postes importants, par des hommes et, dans les postes de moindre importance, par des femmes, habituellement épouses de cantonniers ou veuves d'agents.

2^o Le Service Voie et Bâtiments recrute chaque année par concours :

— des apprentis âgés de quatorze à seize ans pour l'École inter-régionale des ateliers de la Voie ;

— des apprentis âgés de quinze à dix-sept ans pour ses Écoles du Service Électrique et de la Signalisation.

Le niveau de ces concours est celui du certificat d'études primaires dans le premier cas et du brevet élémentaire dans le second.

La durée des études est de trois ans.

Les anciens apprentis du Service V. B. fournissent à la S. N. C. F. les spécialistes et les cadres dont elle a besoin dans ses ateliers de réparation du matériel de la Voie et au Service Électrique et de la Signalisation.

CARRIÈRES ADMINISTRATIVES



En dehors des carrières du service actif qui sont les plus nombreuses et les plus importantes, la S. N. C. F. utilise un personnel administratif dans les établissements (gares, ateliers, dépôts, sections), les services régionaux et d'arrondissement, et enfin à la Direction générale de la S. N. C. F.

Ce personnel comprend essentiellement des agents de bureau (dactylographes, employés, mécanographes) et des dessinateurs dans les bureaux d'études.

L'accès dans la filière « bureaux » se fait par un concours du niveau du brevet élémentaire. L'agent qui débute comme employé-stagiaire peut atteindre les grades de sous-chef et chef de bureau.

L'entrée dans les bureaux de dessin se fait également par concours. Suivant le niveau d'instruction des candidats, ils sont embauchés comme « calqueurs » ou comme « dessinateurs ». Les uns et les autres peuvent gravir les échelons successifs de cette filière pour atteindre les postes de « chef dessinateur » et de « chef d'études ».

Pour les mécanographes, le concours d'entrée comporte des épreuves théoriques du niveau du brevet élémentaire et des épreuves techniques.

LA FORMATION PROFESSIONNELLE DES AGENTS EN SERVICE



La S. N. C. F. ne se contente pas de former des apprentis, elle veut encore donner aux agents en service la possibilité de développer leur valeur professionnelle en vue de leur permettre d'améliorer l'exécution de leur service et, le cas échéant, de passer avec succès les examens ou concours dont dépend leur progression dans la hiérarchie.

Cette formation des agents comprend une formation générale et une formation professionnelle proprement dite.

La formation générale se fait principalement par les « cours du soir », oraux ou par correspondance, sous la direction de professeurs qualifiés. Ces cours sont de niveaux différents (certificat d'études, brevet élémentaire, par exemple) suivant la catégorie d'agents auxquels ils s'adressent.

La formation professionnelle se fait par des stages et des conférences ainsi que dans les écoles où les agents sont groupés, suivant leur grade ou l'examen à préparer, pour des sessions de plusieurs semaines.

Tels sont, au Service de l'Exploitation, les cours de « mouvement » et de « trafic » ; au Service du Matériel et de la Traction, les écoles de « maistrance » destinées à la maîtrise ouvrière ou au personnel dirigeant des dépôts ; au Service de la Voie, des écoles analogues, principalement dans les diverses spécialités du Service Électrique et de la Signalisation.

H. Renault

Ingénieur au Service du personnel de la S. N. C. F.

ENTREPRISE DESCHIRON

S. A. R. L. AU CAPITAL DE 200.000.000 DE FRANCS

126, Boulev. Auguste-Blanqui - **PARIS-XIII^e** - Port-Royal 11-95

TRAVAUX PUBLICS

GROS TERRASSEMENTS MÉCANIQUES

-----MAÇONNERIE - BÉTON ARMÉ-----

TRAVAUX SOUTERRAINS - TRAVAUX EN RIVIÈRE

VOIES FERRÉES — ROUTES ET AUTOROUTES

TERRAINS D'AVIATION — MÉTROPOLITAIN — OUVRAGES D'ART

BATIMENTS INDUSTRIELS — ÉGOUTS — FONDATIONS

Ceci intéresse

tous les jeunes gens et jeunes filles
tous les pères et mères de famille

L'ÉCOLE UNIVERSELLE la plus importante du monde, vous met en mesure, par son PRESTIGIEUX ENSEIGNEMENT PAR CORRESPONDANCE, de faire chez vous, en toutes résidences, à tout âge, aux moindres frais, des études complètes dans toutes les branches, de vaincre avec une aisance surprenante les difficultés qui vous ont jusqu'à présent arrêté, de conquérir, en un temps record, le diplôme ou la situation dont vous rêvez. L'enseignement étant individuel, vous avez intérêt à commencer vos études dès maintenant. Demandez l'envoi gratuit de la brochure qui vous intéresse.

- | | |
|--|--|
| Br. 42 061 : Toutes classes, tous examens 2^e degré , de la 6 ^e aux lettres sup. et Math. spéc., Bacc., B. E. P. C. 1 ^{er} degré de la section prépar. aux cl. de fin d'études. C. E. P., Brevets, C. A. P. Cl des collèges techn. Brevet d'enseig. ind. et commercial. Bacc. technique. | Br. 42 070 : Orthographe, Rédaction, Rédaction épistolaire, Calcul, Écriture. |
| Br. 42 074 : Licences (Droit, Sciences, Lettres). | Br. 42 064 : Anglais, Allemand, Russe, Espagnol, Italien, Arabe, Tourisme. |
| Br. 42 068 : Grandes Écoles spéciales. | Br. 42 077 : Marine militaire, Marine marchande. |
| Br. 42 052 : Carrières administratives , École nationale d'Administration. | Br. 42 071 : Aviation , industries aéronautiques. |
| Br. 42 075 : Les emplois réservés. | Br. 42 065 : Radio , Diplômes officiels, industr., radiotechn. |
| Br. 42 069 : Industrie : Électricité, Radio, Mécanique, Automobile, Aviation, Dessin industriel, Travaux publics. Certificats d'aptitude professionnelle. | Br. 42 078 : Dessin d'art , Peinture, Aquarelle, Gravure, Caricature, Illustration, Professorats. |
| Br. 42 063 : Carrières de l'Agriculture et du Génie rural. | Br. 42 072 : Solfège, Chant, Harmonie , Composition, Piano, Violon, Accordéon. |
| Br. 42 076 : Carrière du Commerce : Comptabilité, Sténodactylo, Publicité, Banque. Certificats d'aptitude professionnelle. | Br. 42 066 : Carrières du Cinéma , Photographie. |
| | Br. 42 079 : Couture, Coups, Mode , Lingerie, Broderie, Corset, Chemiserie. |
| | Br. 42 073 : Coiffure et Soins de beauté. |
| | Br. 42 067 : Secrétariats , Journalisme. |

Milliers de brillants succès aux baccalauréats, brevets et tous examens et concours.

La liste ci-dessus ne comprend qu'une partie de nos enseignements, n'hésitez pas à nous demander conseils gratuits et aide efficace pour toutes études et carrières.

ÉCOLE UNIVERSELLE, 59, boul. Exelmans, PARIS; Chemin de Fabron, NICE; 11, place Jules-Ferry, LYON.

1102

*Cadeaux
de
Grande Classe*



— Waterman
Flash Fill Duo 7
Le stylo le plus
perfectionné du
monde.
— Waterman
standard
— Jif Panta Lux 4
et 80 autres modèles
JIF WATERMAN
de 600 à 54.000 Frs.

**Jif
Waterman**

Préférés dans le monde entier