

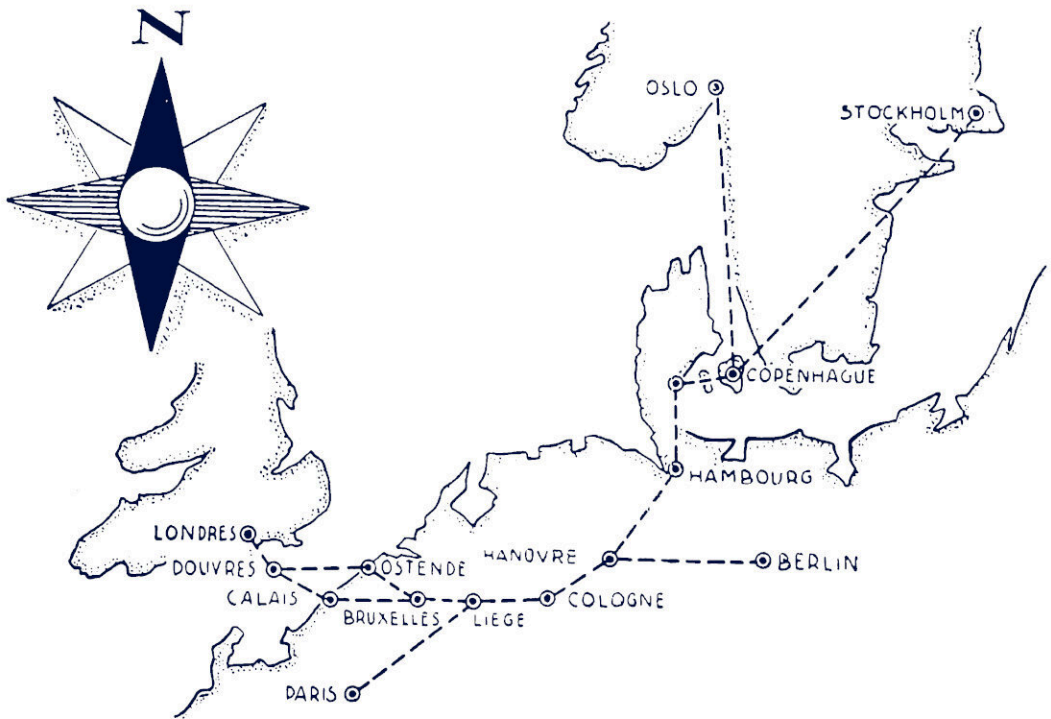
SCIENCE ET VIE

NUMÉRO
HORS SÉRIE
100F



LES CHEMINS DE FER

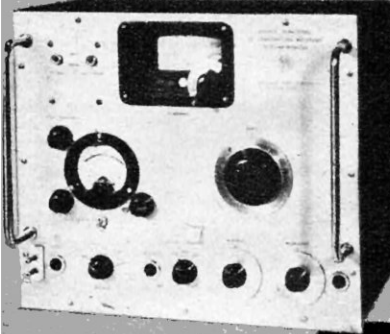
Rembrandt



Le Nord-Express, Salon d'affaires du Nord de l'Europe

GÉNÉRATEUR H. F.

10 Kc/s - 50 Mc/s
Modulation de 0 à 100 %
Tension de sortie étalonnée
réglable de 0,5 V à 0,1 volt



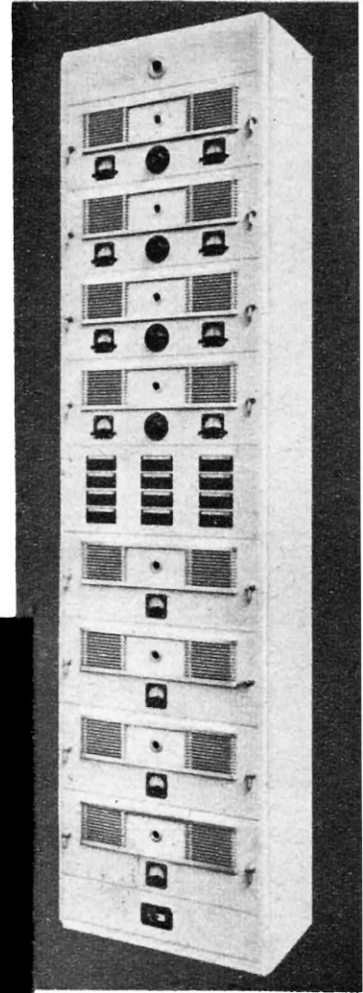
EQUIPEMENTS
DE STUDIOS
ET DE
RADIODIFFUSION

•
APPAREILS
DE MESURES

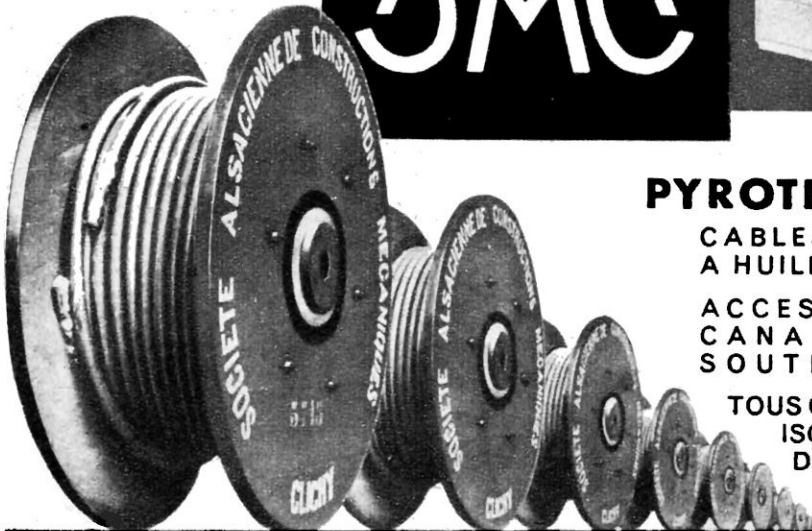
•
INSTALLATIONS
A COURANTS
PORTEURS

•
CABLES
ET FILS ISOLÉS

•
BOBINES
DE CHARGE



SAC



PYROTENAX

CABLES 220 KV
A HUILE FLUIDE

ACCESSOIRES DE
CANALISATIONS
SOUTERRAINES

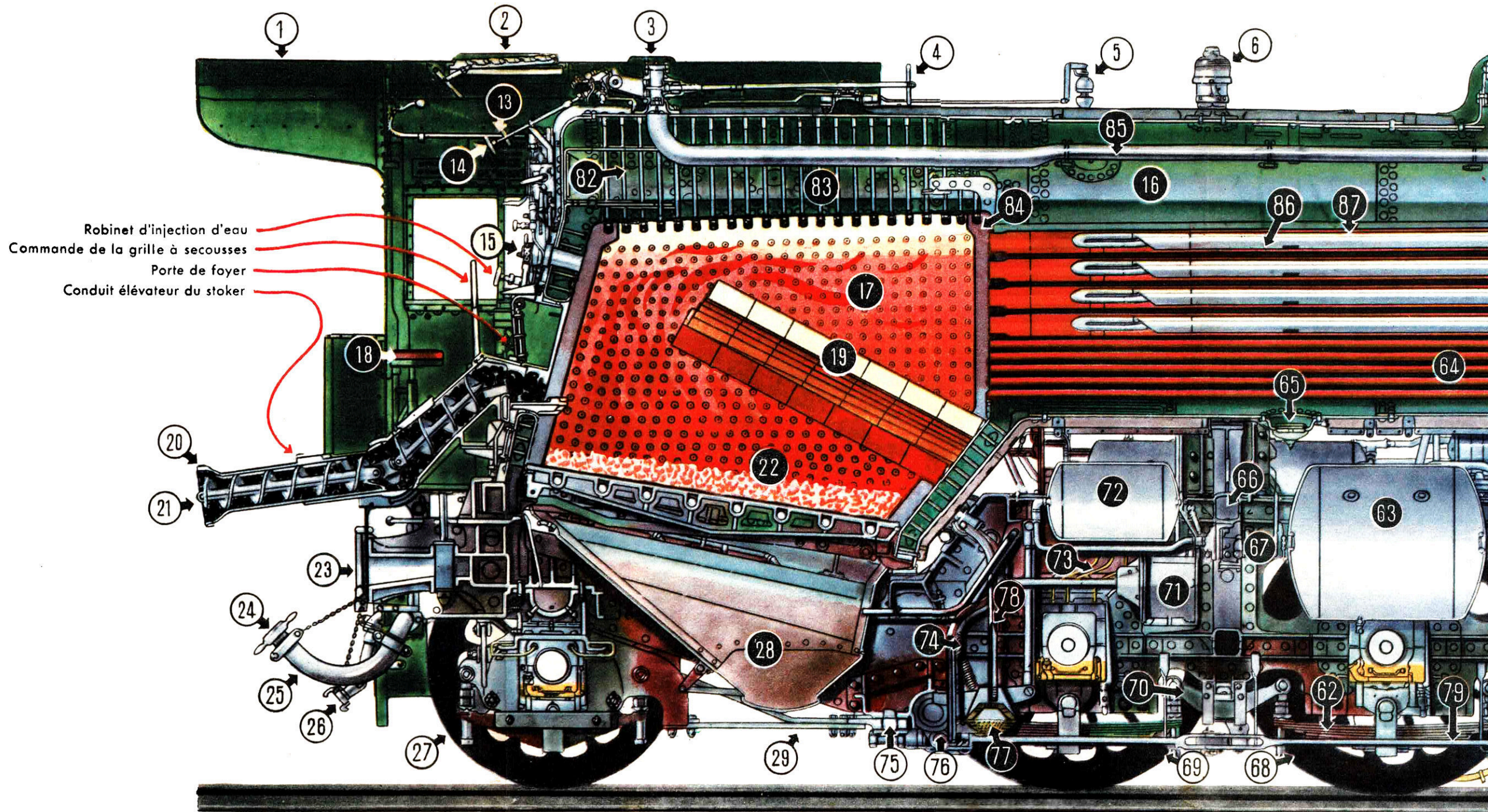
TOUS CABLES ET FILS
ISOLÉS - BOBINES
DE CHARGE

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

DÉPARTEMENT CABLES ÉLECTRIQUES ET TÉLÉCOMMUNICATIONS
51, Rue de l'Amiral Mouchez, Paris XIII^e - Gob. 85-90, 91

LOCOMOTIVE TYPE 141.P

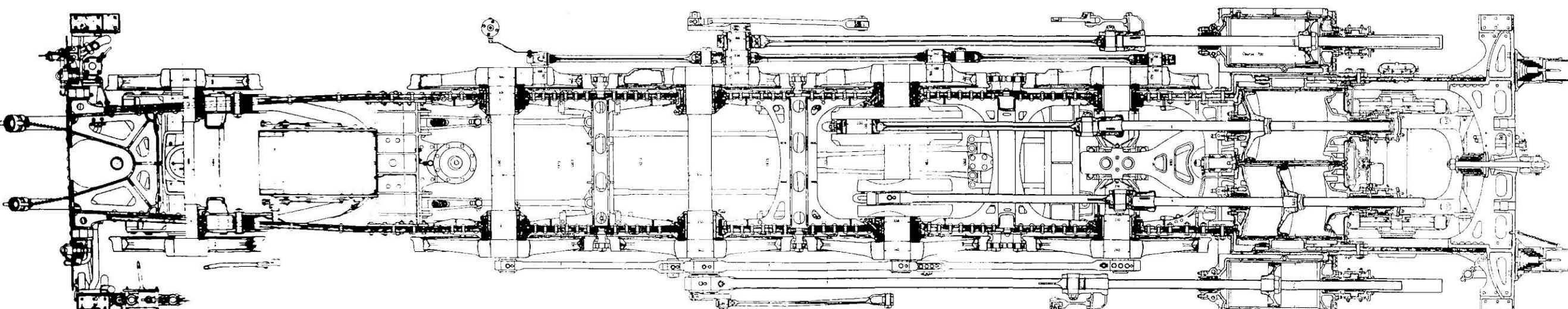
COMPOUND 4 CYLINDRES EN SERVICE SUR LES RÉSEAUX DE LA S.N.C.F

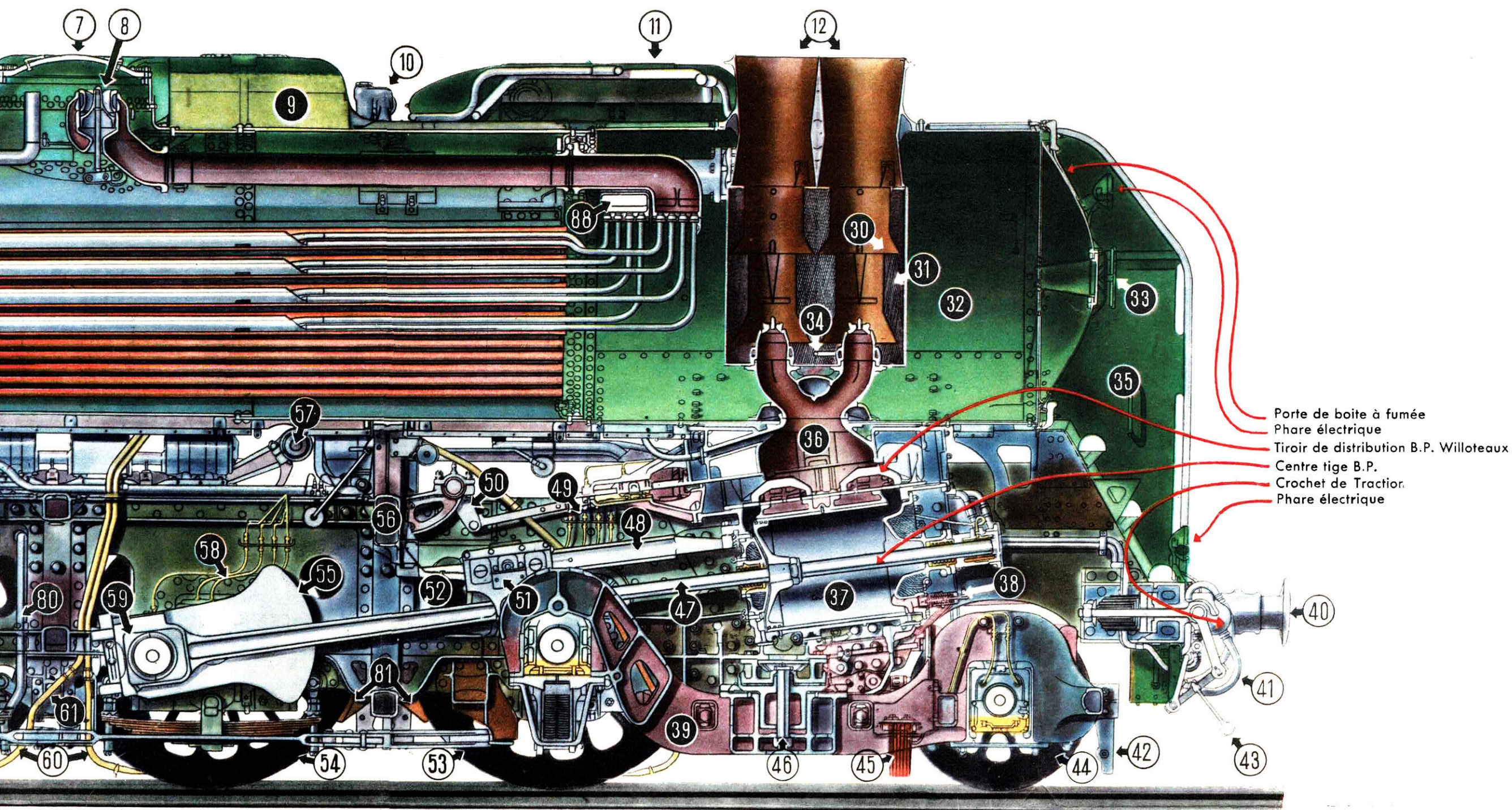


Début de construction	1941
Vitesse maximum autorisée	110 km/h
Diamètre des cylindres HP	410 $\frac{m}{m}$
Diamètre des cylindres BP	640 $\frac{m}{m}$
Course des pistons HP et BP	700 $\frac{m}{m}$
Diamètre des roues motrices	1,650 $\frac{m}{m}$
Diamètre des roues directrices	1,010 $\frac{m}{m}$
Diamètre des roues porteuses	1,370 $\frac{m}{m}$
Timbre de la chaudière	20 hpz
Surface de grille	4,3 m ²

Poids sur rails par essieu accouplé	19.000 kg
Poids total en ordre de marche	112.000 kg
Poids à vide	103.400 kg
Poids adhérent	75.800 kg
Surface de chauffe du foyer	15,7 m ²
Distance entre les plaques tubulaires	6,000 $\frac{m}{m}$
Diamètre ext. et int. des petits tubes	49/54 $\frac{m}{m}$
Nombre des petits tubes	125
Surface de chauffe des petits tubes	115,4 m ²
Diamètre ext. et int. des gros tubes	125/133 $\frac{m}{m}$

Nombre des gros tubes	30
Surface de chauffe des gros tubes	70,7 m ²
Surface de chauffe totale (sans le surchauffeur)	201,8 m ²
Diam. ext. et int. des élém. surchauffeurs Houlet	31/38 $\frac{m}{m}$
Surface de surchauffe	87 m ²
Diam. du corps cylindrique de la chaudière	1,680 $\frac{m}{m}$
Effort théor. de tract. à 100 % d'admis. compound	22.400 kg
Puissance unitaire à la jante (calculée)	3.000 ch
Longueur totale de la locomotive	13,775 m.
Dist. d'axe en axe des essieux accouplés extrêmes	5,600 m.





Porte de boîte à fumée
 Phare électrique
 Tiroir de distribution B.P. Willoteaux
 Centre tige B.P.
 Crochet de Tractor.
 Phare électrique

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 Abri | 23 Caisson d'attelage A. R. | 45 Brosse de contact p ^r la répétit. des sign. | 67 Triple valve du frein |
| 2 Aérateur | 24 Rotule d'alimentation d'eau | 46 Pivot du bogie-bissel | 68 Roue motrice H.P. (Cylindre H.P. extér.) |
| 3 Prise de vapeur multiple | 25 Tuyau d'alimentation d'eau | 47 Tige de piston B.P. | 69 Roue accouplée |
| 4 Robinet d'isol. de la prise de vapeur multip. | 26 1/2 Accouplement de chauffage du train | 48 Glissière BP | 70 Balancier de suspension |
| 5 Sifflet | 27 Roue porteuse | 49 Tuyaux de graissage des boîtes d'essieux | 71 Cylindre de frein |
| 6 Soupape de sureté | 28 Cendrier | 50 Levier de commande du tiroir B.P. | 72 Réservoir auxiliaire du frein à air |
| 7 Dôme de vapeur | 29 Queue de bissel | 51 Crosse de piston B.P. | 73 Tuyaux de graissage des boîtes d'essieux |
| 8 Régulateur | 30 Échappement Kylchap double | 52 Bielle motrice B.P. | 74 Ressort de rappel de timonerie de frein |
| 9 Bac à sable | 31 Grille à flammèches | 53 Roue accouplée | 75 Pivot d'entraînement du bissel |
| 10 Soupape de refoulement d'eau | 32 Boîte à fumée | 54 Roue motrice B. P. | 76 Levier principal de commande du frein |
| 11 Réchauffeur d'eau d'alimentation | 33 Porte de boîte à fumée | 55 Contrepoids de l'essieu coudé | 77 Étouffoir de l'extraction d'eau |
| 12 Cheminée double | 34 Souffleur | 56 Entretoise de chassis form. sup. de chaud. | 78 Tuyau d'extraction |
| 13 Rob. de prise de vap. de la pompe à air | 35 Écran pour éviter le rabat. de la fumée. | 57 Arbre de relevage | 79 Timonerie de frein |
| 14 Rob. de prise de vap. de pompe d'alim. | 36 Conduit d'échappement | 58 Tuyaux de graissage des boîtes d'essieux | 80 Tuyau de purge de la pompe d'aliment. |
| 15 Manœuvre de la porte du foyer | 37 Cylindres BP | 59 Tête de bielle motrice B.P. | 81 Sabots de frein |
| 16 Corps cylindrique | 38 Soupape de sûreté de cylindre | 60 Tuyaux de sablage | 82 Boîte à feu |
| 17 Foyer | 39 Bogie-bissel | 61 Entretoise de chassis | 83 Tirants de boîte à feu |
| 18 Siège du mécanicien | 40 Tampon de choc | 62 Ressort de suspension | 84 Plaque tubulaire de boîte à feu |
| 19 Voûte en brique | 41 1/2 Accouplement de freins | 63 Réservoir principal du frein à air | 85 Autoclave de chaudière |
| 20 Conduit télescopique du stoker | 42 Chasse-pierres | 64 Petits tubes à fumée | 86 Éléments surchauffeurs |
| 21 Vis d'alimentation | 43 Tendeur d'attelage | 65 Poche de vidange de la chaudière | 87 Gros tubes à fumée |
| 22 Grille | 44 Roue directrice | 66 Entretoise de chassis form. sup. de chaud. | 88 Collecteur de surchauffeur |



RIPOLIN

FOURNISSEUR DE LA S. N. C. F.



SOCIÉTÉ RATEAU

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 152.000.000 DE FRANCS
141, RUE RATEAU, LA COURNEUVE (Seine)

USINES :

LA COURNEUVE
LE PRÉ-SAINT-GERVAIS (Seine)
MUYSEN-LEZ-MALINES (Belgique)

AGENCES :

ALGER, BORDEAUX, CASABLANCA, LILLE
LYON, MARSEILLE, NANCY, NANTES, PARIS
TUNIS, BRUXELLES, MUYSEN-LEZ-MALINES

INDUSTRIE

TURBINES A VAPEUR ET A GAZ
POUR TOUTES APPLICATIONS
COMPRESSEURS, SOUFFLANTES
CENTRIFUGES ET AXIAUX
POMPES CENTRIFUGES
VENTILATEURS CENTRIFUGES
COMPRESSEURS A PISTONS
ROBINETTERIE INDUSTRIELLE



CHEMINS DE FER

LOCOMOTIVES
A TURBINES A GAZ
SURALIMENTATION
DE DIESELS
VENTILATEURS
DE LOCOMOTIVES

MARINE - AVIATION

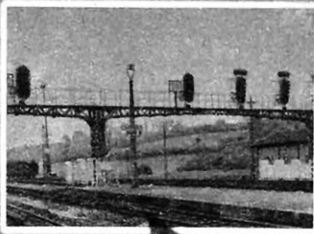
APPAREILS MOTEURS A
TURBINES A VAPEUR ET A GAZ
AUXILIAIRES A MOTEUR
ET TURBINE POUR CHAUFFERIE
COQUE ET MACHINE
TURBO-RÉACTEURS
SURALIMENTATION
DE MOTEURS
STATIONS D'ESSAIS,
SOUFFLERIES
SUBSONIQUES
ET SUPERSONIQUES

Sécurité

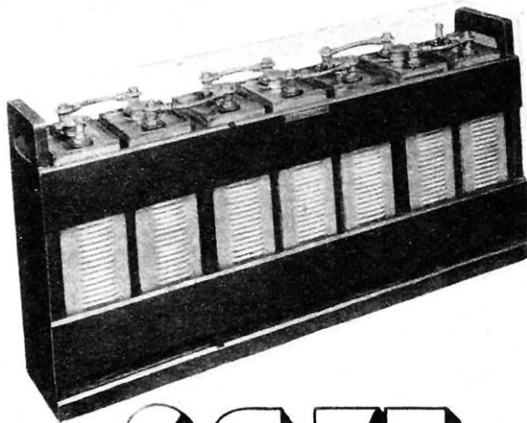
Robustesse

Longue vie utile

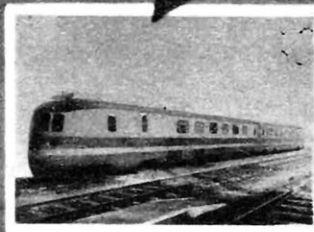
Simplicité d'entretien



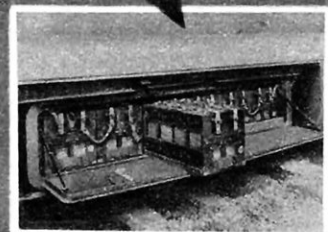
**ACCUMULATEURS
CADMIUM-NICKEL**



SAFT



**SOCIÉTÉ DES
ACCUMULATEURS
FIXES ET DE
TRACTION**



*
Route Nationale - ROMAINVILLE
Seine

Tél. COMBAT 02-37

Télégr. ALCALIN-ROMAINVILLE

Pub. Willeb. Paris

ASTER

SIGNALISATION DES CHEMINS DE FER

Cabines électro-mécaniques
Combinateurs à leviers d'itinéraires
et individuels
Postes enclenchés " tout relais "
Triages à commande automatique
Block automatique

Ateliers de constructions
mécaniques I'ASTER

Siège social :
4, rue du Général - Foy, PARIS

LOCKHEED

Société anonyme des Freins hydrauliques
27, rue Jules-Verne, à St-OUEN
Tél. : MONT. 32-03

**FREINS HYDRAULIQUES
COMMANDES HYDRAULIQUES**
pour l'Automobile, l'Aviation, les
Chemins de Fer, la Marine, l'Industrie

**PUISSANCE - PROGRESSIVITÉ
SÉCURITÉ - SIMPLICITÉ
RÉGLAGE SIMPLE**

Quelques références Autorails :
Michelin - Baudet-Donon-Roussel - Le Tilleul
Franco-Belge - C. G. C. de St-Denis - Aciéries
du Nord - Fougla - Delaunay-Belleville
de Dietrich - Renault - Bugatti - Somua

 **Récupérez 90%**
de vos huiles de graissage
usagées en les épurant
avec un
**ULTRA-FILTRE
MAXEI**
Amortissement rapide
Fonctionnement simple
sans main d'œuvre
spécialisée
Colmatage impossible

●

Demandez la notice S. V.
Sté MAXEI, 25 bis, Bd de Courbevoie
Neuilly-s/-Seine

A. 10



Un bon tuyau !

...branché sur votre robinet à gaz ou sur une source d'acétylène, et

LE CHALUMEAU BRANDT
breveté S. G. D. G. — Licence Schäfer
Suffisent pour braser et souder
à basse température
**SANS AIR COMPRIMÉ
SANS OXYGÈNE**
TOUS MODÈLES DISPONIBLES

En vente chez les quincailliers et
spécialistes en fournitures industrielles
Pour documentation et vente en gros, s'adresser :

Établissements EDGAR BRANDT
52, Champs-Élysées — PARIS (8^e)
— Téléphone ELYsées 18.87 - BALzac 36.26 —

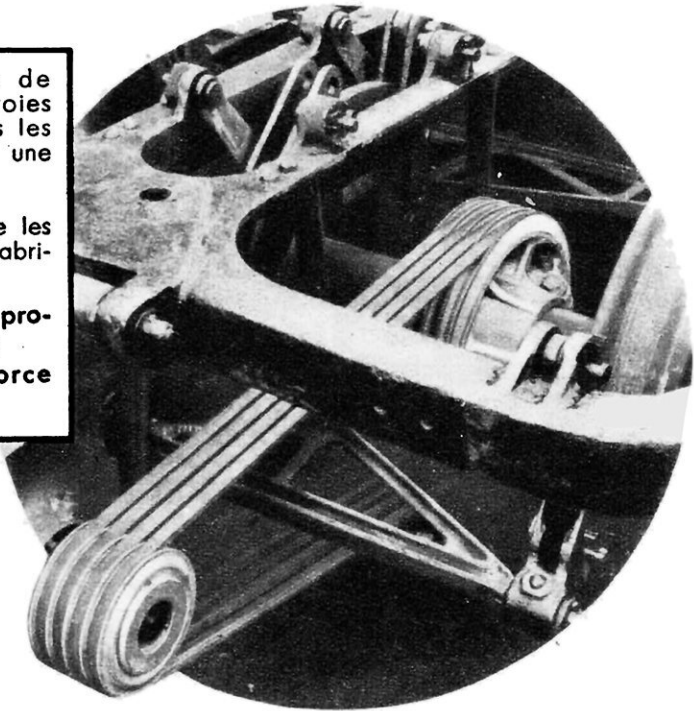
Qui peut le plus...

Adapter le système de transmission par courroies trapézoïdales aux cas les plus difficiles, constitue une référence...

...et une garantie contre les pannes et arrêts de fabrication, permettant :

Une augmentation de production de 10 à 20 % ;

Une économie de force motrice de 15 à 20 %.



et

pour l'usinage des bandages et des fusées

LE

VARIATEUR DE VITESSE COLOMBES-TEXROPE

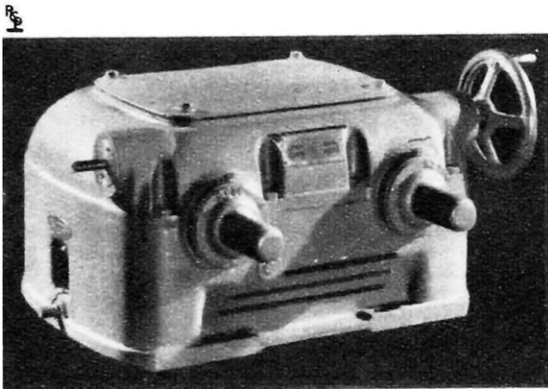
permet de tourner à la
vitesse exacte d'où :

Augmentation de production 25 à 30 %

Diminution du prix de revient 10 à 20 %

Economie de force motrice 25 à 30 %

Amortissement rapide 4 à 12 mois.

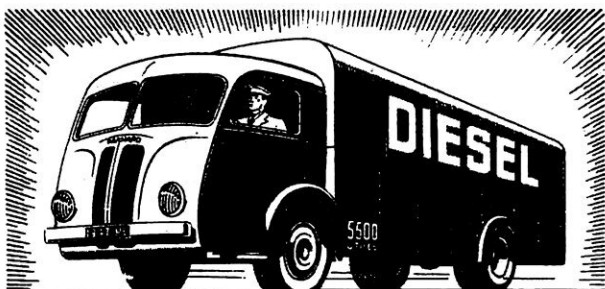


SOCIETE INDUSTRIELLE DE CHATILLON - BRIARE, LEVALLOIS

TRANSMISSIONS COLOMBES-TEXROPE

21 BIS RUE LORD BYRON, PARIS 8^e TEL: ELY. 03-72 & 09-56 (10 LIGNES)

PUISSANCE
AN
N
H
A
R
DURABILITE



PANHARD

ZUVIC 5.500 KGS DIESEL
≡ 16 LITRES AUX CENT KILOMÈTRES ≡
ABSENCE DE BRUIT, D'ODEUR ET DE FUMÉE
DÉPART TOUJOURS FACILE MÊME A FROID
DOUCEUR DE FONCTIONNEMENT INÉGALÉE

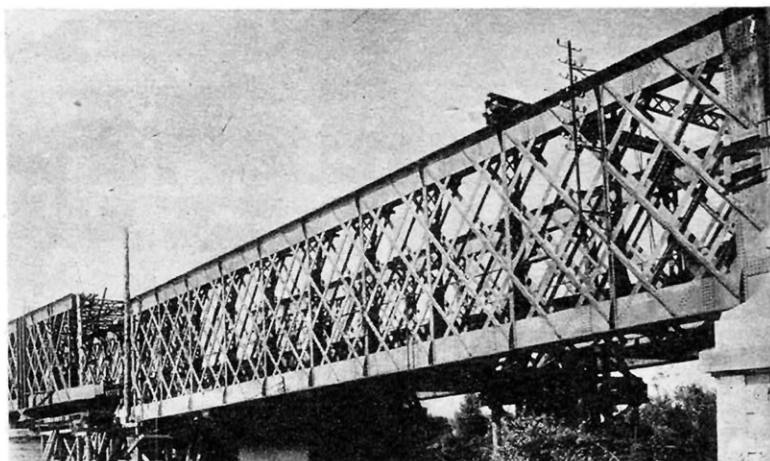
S. A. A. E. PANHARD & LEVASSOR
19, AV. D'IVRY, PARIS. TÉL: GOB. 65-60

FORGES ET ATELIERS DE COMMENTRY-OISSEL

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 52.000.000 DE FRANCS

SIÈGE SOCIAL : 18, rue Jean-Goujon, PARIS

USINES à COMMENTRY (Allier) et OISSEL (S.-I.)



RECONSTRUCTION DU PONT DU MANOIR SUR LA SEINE

ASSOCIATION FRANÇAISE DES ACIERIES DE MOULAGE

A.S.F.R.A.M
9 Rue Alfred de Vigny Paris 8^e

Organisme Professionnel de l'Industrie de l'Acier Moulé

Capacité de production annuelle des Acieries de Moulage
300.000 tonnes de moulages bruts ou usinés en
aciers au carbone de toutes nuances et en aciers alliés

●
Spécialités pour le Matériel de chemin de fer

- *LOCOMOTIVES A VAPEUR*
cylindres haute et basse pression
centres de roues et garnitures
- *LOCOMOTIVES ELECTRIQUES, AUTORAILS*
carcasses de moteurs électriques, roues
boggies monoblocs et garnitures
- *VOITURES ET TENDERS*
boggies monoblocs
roues et garnitures
- *WAGONS*
centres de roues, boîtes d'essieux
boggies monoblocs, garnitures
tamppons de choc
- *MATERIEL DE VOIE*
cœurs de croisement monoblocs
coussinets, entretoises, selles
- *PONTS ET CHARPENTES*
éléments de ponts tournants
appuis de ponts

Asfram

3 fois le tour du monde!

120.000 kms

Sans usure
du moteur



et **Sans vidange**
d'huile

**Voici pourquoi votre moteur s'use
et voilà comment réduire cette usure :**

Quand le moteur tourne, l'huile neuve se charge peu à peu d'impuretés provenant de la combustion, du frottement et de la chaleur, qui griffent et rayent comme du papier émeri cylindres, pistons et bielles.

Vous pouvez éviter cette usure avec le filtre Sofrance. Enfin votre huile reste propre, parce que, absolument toutes les impuretés sont arrêtées et se déposent dans la

cuve du filtre.
A chaque heure le marche, 1 litre d'huile sale devient 1 litre d'huile propre.
Une révolution dans le graissage : des milliers d'adeptes enthousiastes.
Indiquez-nous la marque de votre véhicule, vous recevrez la documentation et des références dans votre région.

SOFRANCE AUTOMOBILE
SERVICE B
32, BOUL. HAUSSMANN
Tél. 42-10 PARIS 9^e

SNEB

JEUMONT

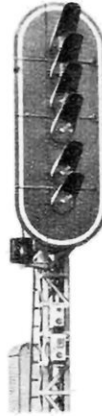
FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES

Direction générale : 50, rue de Lisboame, Paris Tél.: CAR. 08-06

Direction des Usines : JEUMONT (Nord) Tél. 51-13

SIGNALISATION

pour chemins de fer, mines, ports, aéroports, voies fluviales, circulation urbaine, etc.



Tout ce qui concerne la
TRACTION ÉLECTRIQUE

- Locomotives.
- Automotrices.
- Moteurs de traction.
- Équipements de traction.
- Stations centrales.
- Sous-stations.
- Toutes machines tournantes.
- Transformateurs.
- Redresseurs.
- Appareillage.
- Toutes installations fixes.
- Fils et Câbles.
- Ponts et Charpentes.
- Etc.



Plus de mains sales

pour

les travailleurs manuels

grâce aux

PATES PROTECTRICES

ISOLEX



Photos Seher et Boucher.

qui, formant un film solide et souple,
protègent mieux qu'un gant

contre toutes substances irritantes ou salissantes

ISOLEX, 28, rue de Téhéran, PARIS (8^e) - LAB 72-73

Écrivez pour recevoir la brochure explicative

L'OFFICE CENTRAL POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE

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

11, Rue Hamelin - PARIS (XVI^e)

groupe les constructeurs suivants de matériel électrique de traction :

**Sté GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES
& MÉCANIQUES "ALSTHOM"** - 38, av. Kléber, PARIS (XVI^e)

Cie ÉLECTRO-MÉCANIQUE - 12, rue Portalis, PARIS (VIII^e)

LE MATÉRIEL ÉLECTRIQUES-W - 32, c. Albert-1^{er}, PARIS (VIII^e)

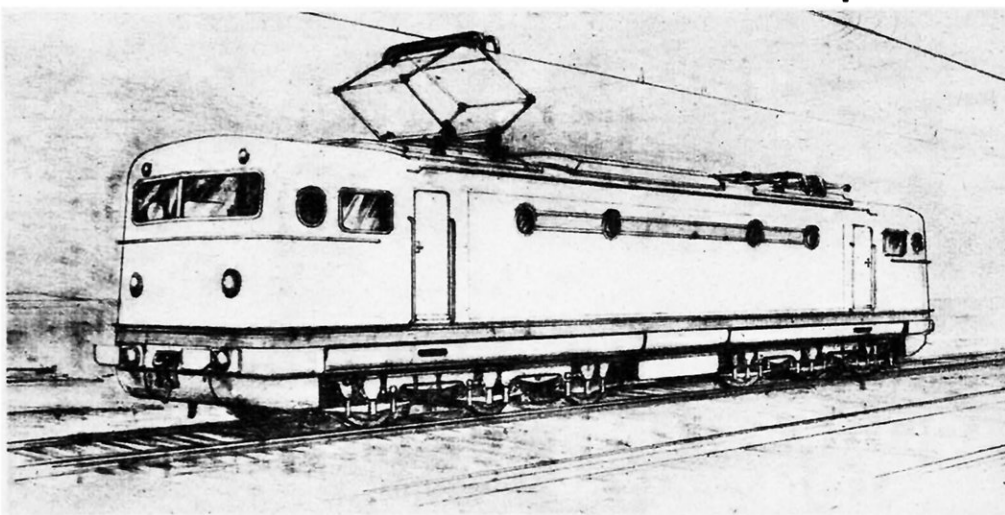
**FORGES & ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLEC-
TRIQUES DE JEUMONT** - 50, rue de Lisbonne, PARIS (VIII^e)

Sté CÆRLIKON - 15, rue de Milan, PARIS (IX^e)

Cie de FIVES-LILLE - 7, rue Montalivet, PARIS (VIII^e)



LOCOMOTIVES ET AUTOMOTRICES ÉLECTRIQUES



LOCOTRACTEURS GASTON MOYSE

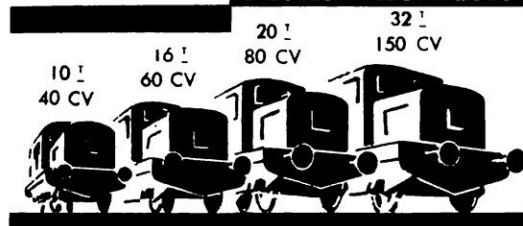


Schefer

*La presque totalité
des locotracteurs
en usage sur les
embranchements
industriels
sont des*

GASTON MOYSE

DIESELS - ELECTRIQUES



10 $\frac{1}{2}$
40 CV

16 $\frac{1}{2}$
60 CV

20 $\frac{1}{2}$
80 CV

32 $\frac{1}{2}$
150 CV

SERVICES COMMERCIAUX : PARIS
67, Champs-Élysées
TÉLÉPHONE : ELY. 38-20

USINE A LA COURNEUVE

LOCOTRACTEURS GASTON MOYSE

CRITERIUM LE CRAYON MÉCANIQUE

*Pour le bureau,
le dessin*

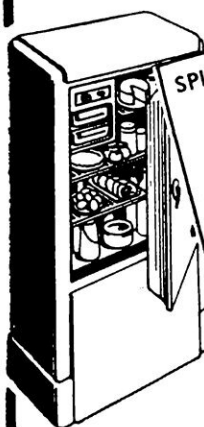
Une
simple
pression
libère
la mine



Gilbert & Blanzzy-Poure

FABRICANTS EXCLUSIFS DE LA PLUME
SERGENT - MAJOR

QUALITÉ D'AVANT GUERRE



SPLENDIDES APPAREILS
FRIGORIFIQUES
ÉLECTRIQUES
AUTOMATIQUES

Pour besoins domestiques :
170 et 180 LITRES

Pour pensions de famille,
restaurants, cantines :
450 et 500 LITRES

Pour tous commerces
1 M³ 200 et 2 M³

Tous renseignements France

GLACIÈRES A GLACE

Le Froid National

BUREAUX :

1, RUE DE STOCKHOLM, 1
PARIS (Métro Gare St-Lazare) LAB. 31-08

**IMPERMEABILISE ET
PROTEGE TOUS LES MATERIAUX**



Les Établissements VAN MALDEREN garantissent formellement que le **SILEXORE** qu'ils fabriquent actuellement possède les mêmes remarquables qualités qui ont, depuis près d'un siècle, consacré sa réputation mondiale. Le **SILEXORE** (*peinture pétrifiante*) s'applique sans préparation aucune sur tous les matériaux qu'il durcit, imperméabilise et protège efficacement des intempéries.

Mais méfiez-vous des imitations et exigez bien la marque SILEXORE, qualité d'avant guerre.

(Notice illustrée franco).

SILEXORE

PEINTURE PÉTRIFIANTE

**ÉTABLISSEMENTS L. VAN MALDEREN
6, CITÉ MALESHERBES, PARIS-9^e**

SIX CENTS GROSSISTES DISTRIBUTEURS (LISTE FRANCO SUR DEMANDE)

Usines à : **SEVRAN** (S.-et-O.), **AVIGNON** (Vaucluse), **LOUVAIN** (Belgique).



HUTCHINSON

TOUS ARTICLES EN
CAOUTCHOUC

COURROIES

POUR
TRANSPORTEURS
TRANSMISSIONS

TUYAUX

POUR
TOUS USAGES

**BANDAGES
BOTTES
VÊTEMENTS**

HUTCHINSON

FOURNISSEURS DE LA S. N. C. F.
DE LA C^{ie} DU MÉTROPOLITAIN

Société des Entreprises de Travaux Publics

André BORIE

Société à responsabilité limitée au Capital
de 20.000.000 de francs

Siège social à PARIS-17^e, 125, av. de Wagram
Téléphone : CARnot 69-20



BUREAUX :

NICE - 42, rue de Châteauneuf Tél. 812-12

MARSEILLE - 40, boulevard-Longchamp
Tél. : NATIONAL 25-41

LYON - 4, pl. Michel-Servet Tél. : BUR. 47-77

PONT-en-ROYANS (Isère) Tél. 15

PEYRAT-le-CHATEAU (H^{te}-Vienne)
Téléphone 30



- TERRASSEMENTS - MAÇONNERIES
- BÉTON ARMÉ - TUNNELS - PONTS
- VIADUC - BARRAGES - ADDUCTION
- D'EAU - BATIMENTS INDUSTRIELS
- ——— CITÉS OUVRIÈRES ———



*La SNCF les emploie
depuis 20 Ans*

I PRODERSIFS

dégraissent
rapidement
économiquement

pour passer et
permettre la pein-
ture des surfaces
rouillées.

A C P 33

I PROLUBRIFIANTS

pour usinage,
tréfilage, laminage,
rectification,
emboutissage.

pour enlever les
peintures sans
attaquer le métal.

DECAPANTS

DEOXIDINES

passivent, dérouil-
lent, dégraissent
avant peinture.

peinture
antirouille
spéciale.

DEOXAL

Produits étudiés par la :

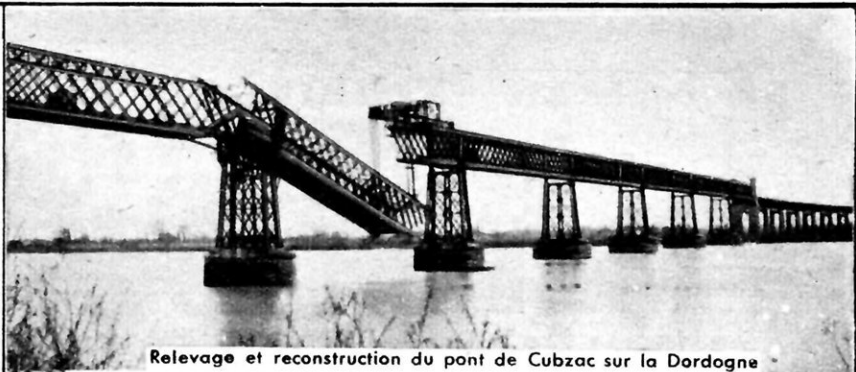
COMPAGNIE FRANÇAISE DE PRODUITS INDUSTRIELS

Siège social et Usine :
85, Rue Raymond-Teissère - MARSEILLE.
Tél. : D. 94-28



Direction générale et Usine :
177, q. du D' Dervaux, ASNIÈRES (Seine)
Tél. : Grésillon 31-20

Quelque soit votre problème d'entretien et de traitement des surfaces :
dégraissage, lubrification, peinture, préparation avant soudure, etc.,
demandez nos conseils. Nous vous fournirons le produit qu'il vous faut.



Relevage et reconstruction du pont de Cubzac sur la Dordogne

CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

Relevage du pont de Chalampé sur le Rhin



PONTS - CHARPENTES
HANGARS D'AVIATION
ENTREPRISE GÉNÉRALE
DE BATIMENTS
INDUSTRIELS
APPAREILS DE CHEMINS
D E F E R

★

E^{TS} FOURÈS

105, RUE DE PESSAC
BORDEAUX

TÉLÉPH. 24-10

ADRESSE TÉLÉGR. METOFOURÈS BORDEAUX
R. C. 37.706 A



★ DE BATEAU, D'AVION, VOTRE HOTEL ★

FER
DE
CHEMIN
DE
BILLETS
VOS
POUR

VOS BAGAGES,
VOS VACANCES,
ADRESSEZ-VOUS

WAGONS-LITS//COOK

ORGANISATION MONDIALE DE VOYAGES

Met au service de tous les voyageurs la chaîne de ses agences

A PARIS : 14, Boulevard des Capucines
2, Place de la Madeleine
62, Rue du Bac

EN PROVINCE : AMIENS, AIX-LES-BAINS
BIARRITZ, BORDEAUX, CANNES, CHAMONIX
LILLE, LOURDES, LYON, MARSEILLE, MENTON
MONTE-CARLO, NANTES, NICE, PAU, SAINT-ÉTIENNE
STRASBOURG, TOULOUSE, VICHY, etc.

ET DANS LES PRINCIPALES VILLES DU MONDE

**Renseignez-vous sur les voyages
spécialement organisés pour
la saison d'Été 1947**

- LA NORMANDIE ET LA BRETAGNE
- LES ALPES, LA COTE D'AZUR ET LA PROVENCE
- ROCAMADOUR ET LES GORGES DU TARN
- BORDEAUX, BIARRITZ, LOURDES ET LES PYRÉNÉES
 - LA TOURAINE
 - L'ALSACE

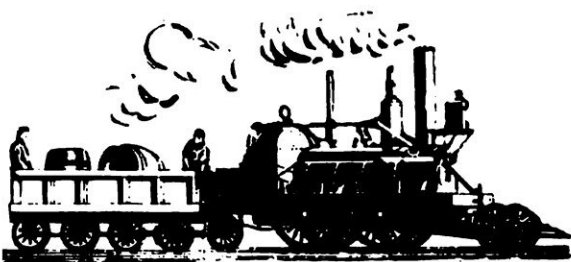
**DEMANDEZ AUX AGENCES LA BROCHURE DONNANT
LE PROGRAMME DÉTAILLÉ DE CES ITINÉRAIRES**

★ AUX AGENCES WAGONS-LITS//COOK ★

LES CHEMINS DE FER

SOMMAIRE

	Pages
★ LA VOIE FERRÉE	5
★ LA TRACTION A VAPEUR.. .. .	17
★ LA LOCOMOTIVE A VAPEUR ET LA VITESSE.	26
★ LA 242. A. 1	37
★ LA 141. R	43
★ LA TRACTION ÉLECTRIQUE	50
★ LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES FRANÇAISES	54
★ LES AUTOMOTRICES ÉLECTRIQUES	62
★ DU MOTEUR DIESEL A LA TURBINE A GAZ.. .. .	67
★ LA CIRCULATION DES TRAINS	80
★ LA SÉCURITÉ : SIGNALISATION, AIGUILLAGE.. .. .	85
★ LES ENGINS RAIL-ROUTE.. .. .	105
★ LES GARES DE TRIAGE	111
★ LES VOITURES A VOYAGEURS.	117
★ LES GRANDES VITESSES SUR RAIL	125



EDITORIAL

LE 20 novembre 1830, l'actrice Marie Dorval écrivait à Alfred de Vigny les lignes suivantes, de Saint-Étienne :

« Je suis partie hier de Lyon par le chemin de fer ; nous trainions derrière nous six énormes voitures. Un seul cheval attelé à tout cela... le chemin qui mène au sabbat n'est pas autrement effrayant que celui de Lyon à Saint-Étienne... des convois de quarante voitures toutes noires qui passent à côté de vous et qui roulent toutes seules pendant sept lieues, seulement parce qu'on les a poussées par derrière. D'autres qui passent avec un bruit effroyable et une fumée qui vous engloutit pendant cinq minutes, parfois sous la terre dans des souterrains qui serpentent pendant une demi-lieue ; il y en a treize à passer, tous plus lugubres les uns que les autres et qui menacent de s'écrouler de tous côtés... »

EST-IL rien de plus évocateur des premières expériences de traction sur voie ferrée que cette description si précise dans sa naïveté, et n'est-il pas frappant d'y comparer la complexité de la perfection réalisée un siècle plus tard ? En effet, dans une période où tout se démode si vite, le chemin de fer aura bénéficié d'une position particulière, car il aura tenu la vedette pendant plus de cent ans.

Il le doit à l'extraordinaire fertilité de cette invention du rail sur laquelle tous les progrès de la technique sont venus se greffer et se développer.

Le chemin de fer allait provoquer une révolution complète du système des transports, en puissance comme en vitesse.

Au début du XIX^e siècle, le record de vitesse restait depuis l'antiquité détenu par le cheval, et Napoléon I^{er} ne se déplaçait pas plus vite que César ; cinquante ans plus tard, le chemin de fer avait réduit sur une grande distance telle que Paris-Bordeaux la durée du trajet de trente-six heures à six heures cinquante, réalisant ainsi la plus ample progression concevable avant l'ère atomique.

L'inbond considérable fut franchi dans le domaine de la puissance : sur la route, la résistance au roulement des transports hippomobiles était de l'ordre de 20 kg à la tonne. Le chemin de fer disposa de machines développant plus de 1 000 ch et, comme la résistance à l'avancement sur le rail n'est que de 2 à 3 kg à la tonne, c'est à plus de 1 000 que se chiffra le multiplicateur du chemin de fer par rapport aux charrois routiers.

CETTE révolution s'offrit à point pour permettre l'évolution rapide de la civilisation du XIX^e siècle, toute fondée sur des éléments lourds : la houille, l'acier, le ciment.

Mais, dira-t-on, aujourd'hui nous en sommes aux éléments légers : l'électricité, l'essence, en attendant l'uranium, l'aluminium et les matières plastiques au lieu de l'acier ; demain, la centrale atomique au lieu des barrages...

Et pourtant le chemin de fer s'est maintenu étonnamment actuel au point que ce centenaire a conditionné l'évolution de la dernière guerre.

C'est que le chemin de fer a su, depuis son origine, s'assimiler toutes les nouveautés en profite et se perfectionner au fur et à mesure que tout s'améliorait autour de lui.

Le rail fut à l'origine en fer, mais se fit en acier dès que cette matière fut usinée en grande quantité. Demain l'invention française du procédé Perrin permettra sans doute d'améliorer encore la qualité et le prix de revient du rail.

La voie, primitivement objet de calculs approximatifs, s'assied et se nivelle aujourd'hui au millimètre près d'après une technique française originale.

Le développement de la construction en acier a été mis à profit pour accroître la sécurité par l'emploi de voitures métalliques, domaine dans lequel la France a été à la pointe du progrès.

La construction métallique s'enrichit-elle du procédé de la soudure que la technique ferroviaire en tire aussitôt parti, et ce sont les voitures soudées, chef-d'œuvre de la résistance des matériaux, où, sans perdre rien en solidité, on fait tomber le poids de 45 à 32 t.

Puis apparaît l'acier spécial qu'on utilise pour le matériel léger. On connaît les rames électriques en acier inoxydable qui circulent au départ de Paris-Montparnasse. Demain, un matériel du même genre desservira toute la banlieue parisienne où les démarrages fréquents sont incompatibles avec des convois pesants.

L'UTILISATION la plus spectaculaire et la plus poussée de la puissance du feu, quand l'homme l'eut dompté, ce fut la locomotive à vapeur. Partie des 5 t et des 25 ch de « la Fusée », cent ans après, dans la ligne même de la création de Stephenson, elle avait dépassé 125 t et 4 000 ch ! Elle avait tiré parti de tous les progrès dont certains ont été inventés pour elle, la double détente que Mallet mit au point en France, la surchauffe, le réchauffage de l'eau d'alimentation, les soupapes... et tous les progrès de la métallurgie et de la mécanique — sans parler de l'aérodynamisme pour l'habillement de la machine et la circulation de la vapeur, ou de la chimie pour le traitement des huiles et la lutte contre le tartre.

Le chemin de fer devait apprivoiser facilement les nouvelles conquêtes énergétiques. L'électricité en était encore à ses débuts qu'on faisait déjà circuler les premières locomotives électriques ; aujourd'hui, toujours en progrès, la traction électrique, reine du confort et de l'économie des transports, se développe irrésistiblement.

Autre énergie domptée, celle qui se dégage du pétrole. Le chemin de fer est preneur — et il se l'adapte : c'est le chauffage des locomotives à vapeur au mazout et c'est surtout la belle réussite du Diesel. Les deux locomotives diesel-électriques mises en service en France en 1937 furent, à l'époque, à l'avant-garde du progrès avec leurs 4 400 ch.

Le moteur diesel léger, par ailleurs, concourait à la naissance de l'autorail dont certains types marquèrent une grande réussite de l'industrie française.

Plus simple à réaliser et susceptible de brûler des combustibles moins nobles, apparaît ensuite la turbine à gaz. L'avion utilise les progrès réalisés dans ce domaine et le public applaudit au succès de l'avion Gloster « Meteor » ; mais le premier utilisateur de ces principes nouveaux avait été la locomotive à turbine à gaz que sortit l'industrie suisse pendant la guerre, et dont des sœurs françaises et américaines verront bientôt le jour.

DEMAIN viendra l'énergie nucléaire. Le chemin de fer sera preneur, d'abord peut-être comme élément moteur d'une centrale électrique, mais sans préjudice d'une autonomie à venir des locomotives, car le rail peut supporter les poids correspondant à une petite usine atomique roulante.

Cette même faculté d'adaptation se retrouve dans le détail.

Le chemin de fer n'est pas plus inféodé à l'acier qu'il ne l'a été à la vapeur. L'aluminium a permis l'allègement des autorails et le confort des michelines, les matières plastiques seront utilisées pour les voitures ; celles-ci ont été éclairées à l'huile, puis au gaz, puis à l'électricité et, pour suivre le progrès, demain avec des tubes à luminescence.

LES signaux apparurent au début frustes, comme sortis d'une forge de village, avec leurs fils de fer, leurs roulettes et leurs petites lanternes au pétrole. Quels progrès jusqu'au bloc automatique !

Demain, utilisant toutes les formes des courants faibles, on verra les signaux et aiguilles d'une ligne commandés par un poste central lançant en toute sécurité les trains dans les deux sens sur chacune des voies — ce qui équivaut pratiquement à un quadruplement des voies.

Ces mêmes courants faibles assurent la régulation des trains qui permet à un seul agent de suivre toutes les circulations d'une zone étendue (deux départements en moyenne). Demain, des téléimprimeuses signaleront de gare à gare la composition des trains de marchandises.

Courant faible, c'est encore l'œil électrique qui déclenche sur les voies de triage les débranchements de wagons.

Par T. S. F. se commandent les équipes de locomotives des gares de triage. L'Amérique, pratique la communication entre le chef de train placé à l'arrière du train et le mécanicien. On ira probablement jusqu'à la communication directe de tout train avec le régulateur.

QUELS progrès depuis le frein à main ! Le Westinghouse, premier exemple général d'un servo-moteur, le remplaça très vite ; il fut constamment perfectionné et devint un outil assez souple pour pouvoir aussi bien arrêter à quelques centimètres près une machine sur un pont tournant que faire stopper en gare, avec une perte de temps minimum, un rapide de 800 t lancé à 120 km à l'heure. Le freinage électrique, de plus récente application, permet de récupérer l'énergie des trains qui dévalent des pentes et d'en faire monter un, sans rien dépenser, contre deux qui descendent. Autre application de l'électricité, le frein électromagnétique dont l'aimant vient se coller sur le rail pour mieux arrêter le convoi.

Le chemin de fer, tant il est resté fixe dans ses grandes lignes, n'est aux yeux de certains qu'un centenaire fossilisé ; ils fondent en partie leur jugement sur les résultats de sa gestion comparés à ceux d'autres moyens de transport, oubliant que le chemin de fer est soumis à la politique économique des gouvernements et qu'il assume toutes les charges d'un service public.

En fait, son inertie conservatrice ne lui interdit pas une grande puissance de transformation et d'adaptation, prouvant sa vitalité comme il l'a fait par sa rapide reconstruction d'après guerre et sa présente réforme des tarifs.

C'EST pour souligner cet aspect essentiel du chemin de fer que *Science et Vie* a voulu entretenir ses lecteurs des transformations en cours. La S. N. C. F. l'a bien volontiers aidée dans cette entreprise. Puissent les Français en mieux apprécier la richesse que constitue leur grand service public !

LOUIS ARMAND
Directeur Général Adjoint de la S. N. C. F.



34.A

242.A1

Handwritten signature



LA VOIE FERRÉE

La voie ferrée, de toute évidence, est ce qui, entre tous les modes de transport, caractérise le chemin de fer. Son avantage fondamental sur les transports routiers réside dans la faible valeur de l'effort de traction nécessaire pour remorquer de lourdes charges : en palier et en alignement droit, il est pratiquement indépendant de la vitesse et de l'ordre de 2 kg par tonne (1), alors que sur une bonne route, il est normalement de 20 kg par tonne (2). Dans tous les pays du monde, aujourd'hui, les rails d'acier s'alignent inlassablement sur des millions de kilomètres, en deux longs rubans d'écartement constant. Deux écartements, d'une manière générale, se partagent le monde : la voie normale, 1,435 m et la voie métrique (1 m ou 1,06 m, suivant qu'il s'agit de pays d'obédience française ou anglaise, et encore ce critérium n'est-il pas absolu). La voie normale l'emporte nettement (c'est celle des Etats-Unis et de la majeure partie de l'Europe) ; c'est sur elle que circulent les trains les plus rapides comme les plus lourds, où l'on rencontre les plus puissants engins de traction. C'est aussi celle où la technique de la pose est la plus évoluée, où le ballastage est le plus épais, le rail le plus lourd, le « travelage » (écartement des traverses) le plus serré. C'est là aussi que, du fait du trafic exceptionnellement intense, les frais les plus importants ont été engagés pour améliorer la sécurité par une signalisation aussi parfaite que possible. Mais il y a des réseaux à voie de 1,06 m où cette recherche de la perfection est aussi poussée que sur des réseaux à voie normale. C'est le cas en particulier du beau réseau de l'Union des Etats d'Afrique du Sud qui fait circuler sur voie métrique à 120 km/h des locomotives « Pacific » de plus de 100 tonnes.

(1) C'est le cas de véhicules munis de bandages métalliques ; pour des autorails sur pneumatiques, il faut compter 10 à 12 kg par tonne.

(2) Il varie avec l'état de gonflement des pneumatiques et avec la vitesse entre 8 ou 16 kg/t aux très faibles vitesses et 13 ou 53 kg/t à 150 km/h.

UNE partie importante des voies ferrées françaises est centenaire : elles ont été conçues et tracées à une époque où le chemin de fer était le seul moyen de transport, hormis les diligences, les fardiers et les caboteurs ou bateaux fluviaux. C'est pourquoi, à côté des lignes principales qui reliaient les grandes villes entre elles, et les grands ports ou les points de passage vers les pays voisins à la capitale, et qui sont restées l'armature de notre réseau, de nombreuses lignes d'importance moindre ont été construites pour desservir et couvrir d'une trame serrée tout le territoire. Sans doute, les transports ferroviaires auraient-ils été organisés d'une façon différente s'ils étaient nés en même temps que leur rival, mais aussi leur auxiliaire, le transport routier automobile.

Les grandes artères, telles que Paris-Marseille, Paris-Bordeaux, Paris-Le Havre, Paris-Lille, Paris-frontière belge, Paris-Strasbourg, etc., et les grandes transversales ou rocadés, par l'ampleur considérable du trafic qu'elles assurent, due à l'importance économique même des centres qu'elles relient, sont devenues rapidement les lignes essentielles du réseau, équipées avec le matériel le plus moderne. D'autres lignes du réseau initial ont favorisé, par leur existence même, la création de certains centres industriels qui, par l'importance économique qu'ils ont prise, exigent maintenant leur desserte par des trains lourds et rapides.

D'autres lignes encore, construites dans des conditions souvent très difficiles pour desservir les régions montagneuses, ont pris, avec le développement du tourisme de montagne et des sports d'hiver, un essor parfois difficilement compatible avec leur tracé et leur équipement, qui n'avaient pas été conçus pour de telles tâches, et qui posent des problèmes d'exploitation très ardues (c'est le cas notamment des lignes de Savoie).

Certaines lignes, enfin, n'ont pas bénéficié de la même fortune : ce sont le plus souvent celles qui desservent des régions uniquement agricoles, sans centres urbains importants. Leur tracé, souvent en pays accidenté, les rend peu aptes à la réalisation de vitesses moyennes élevées, et elles résistent mal

parfois à la concurrence des transports routiers, tout au moins pour le trafic voyageurs. Ce sont les lignes secondaires.

Certaines de ces lignes sont exploitées, ou ont été afferméées par des compagnies secondaires qui, grâce à des règlements d'exploitation et de sécurité plus libéraux, peuvent assurer, dans des conditions économiques acceptables, leur charge de transporteurs publics, tandis que d'autres effectuent surtout des transports de marchandises, à pointes saisonnières souvent, et parfois un trafic voyageurs restreint. On cherche actuellement à tirer parti des installations de ces lignes grâce à une exploitation économique par autorails légers.

Ce classement des lignes s'est fait peu à peu d'après l'importance du trafic, et donne au réseau français sa physionomie actuelle.

CHARGES PAR ESSIEU

Le trafic que peut supporter une ligne, c'est-à-dire son débit, est fonction du nombre de trains, de leur tonnage et de leur vitesse. L'installation du « block automatique » (1) a permis d'augmenter au maximum le nombre des trains circulant sur les grandes artères ; mais, pour éviter la saturation, on a eu recours, soit au triplement ou au quadruplement de certaines lignes, soit à l'affectation de lignes parallèles à un trafic spécialisé (telles que la ligne de la rive droite du Rhône, affectée surtout au trafic marchandises entre Lyon et la côte de la Méditerranée, ou celle de Longueau au Bourget par Montdidier, dite « ligne des houillères »).

Le tonnage des trains s'est accru depuis la fin du siècle dernier dans des proportions considérables, sinon spectaculaires. Alors qu'en 1900, on considérait en France comme lourds des trains de voyageurs de 120 tonnes et des trains de marchandises de 250 tonnes, il est courant de voir maintenant des trains rapides de 700 tonnes et plus (sur les lignes électrifiées en particulier), et des trains de marchandises à marche accélérée de 1 200 et même de 1 500 tonnes. C'est surtout par

(1) Voir page 85.

ANNÉE	TYPE DE LA LOCOMOTIVE	POIDS MAXIMUM PAR ESSIEU (T)
1828	Marc Séguin	2,25
1849	Crampton	10,3
1893	220	15,5
1904	Ten Wheel	17
1909	Pacific	18,5
1925	Mountain	18,5
1928	241 C	20
1932	141 T	21,5
1947	2D2 (locomotive électrique)	23

Fig. 2 — Tableau des charges maximum par essieu de divers types de locomotives en service depuis 1828.

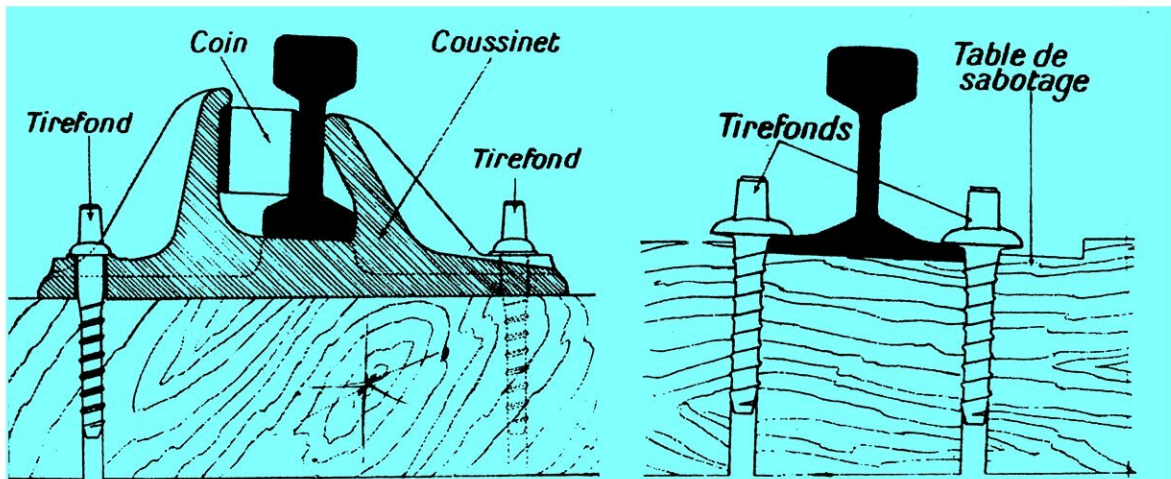


Fig. 3. RAIL A PATIN OU VIGNOLE ET RAIL A DOUBLE CHAMPIGNON

Chacun de ces systèmes de rails a ses partisans. En effet, si le rail Vignole résiste moins bien que le rail à double champignon aux efforts latéraux, il résiste aussi bien aux efforts verticaux et exige des frais de premier établissement moins élevés. Il semble que ce type de rail convienne plus particulièrement aux lignes à trafic et à vitesse modérés. L'Angleterre n'emploie que le rail à coussinets (double champignon) ; l'Allemagne, l'Autriche, la Hongrie, la Russie, l'Italie, l'Espagne n'utilisent que le rail Vignole, de même que la France. Mais ce rail est renforcé sur les lignes parcourues par des trains lourds et rapides.

cette augmentation énorme du tonnage des trains qu'il a été possible de faire assurer aux lignes principales le débit correspondant aux besoins croissants des transports, nés de l'essor industriel et commercial des dernières décades.

L'augmentation du tonnage des trains ne résulte pas tant de l'accroissement du nombre des wagons que de l'augmentation de la charge de ceux-ci. En effet, l'amélioration du rendement des transports exige un rapport charge utile, tare aussi grand que possible, ce qui conduit à augmenter la charge par essieu des wagons chargés. Actuellement, presque toutes les lignes de la S.N.C.F. admettent des charges de 17 t par essieu, et les plus importantes d'entre elles admettent 20 t.

Parallèlement à cette augmentation de la charge des trains, il a fallu augmenter la puissance et l'adhérence des machines et, par conséquent, accroître leur charge par essieu, qui vient d'être fixée à 20 t pour les locomotives de trains de marchandises, et 23 t pour celles de trains de voyageurs lourds et rapides.

L'électrification du réseau, qui est en plein développement, puisque la grande artère Paris-Lyon est en cours d'équipement, permet de tirer la plus grande puissance possible des locomotives dont les charges par essieu sont limitées à ces chiffres.

L'augmentation énorme des charges roulantes depuis la création du chemin de fer est un des caractères les plus saillants de ce moyen de transport et, quoiqu'il ait été créé à l'origine pour des charges qui nous paraissent ridicules, la modernisation progressive de sa superstructure l'a rendu apte à supporter les charges actuelles, sans que des travaux importants d'infrastructure aient été rendus

nécessaires, sauf en ce qui concerne le renforcement des ouvrages d'art et l'assainissement de certaines plateformes instables.

L'ARMEMENT DE LA VOIE

L'armement de la voie moderne est constitué par des rails lourds reposant sur des traverses aussi rapprochées que le permet l'entretien du nivellement. Les traverses reposent elles-mêmes sur un matelas de pierre cassée dure, le « ballast », fortement comprimé sous les traverses, qui répartit les charges sur la plateforme de la voie. Cet armement n'est pas tant calculé en fonction des efforts qu'il subit qu'en fonction de la fatigue, car le tonnage qu'il supporte actuellement est, pour la superstructure, et spécialement pour l'acier des rails, synonyme de fatigue.

Les lignes les plus importantes de notre réseau, qui sont en cours d'équipement pour supporter les essieux de 23 t (soit 10 000 km) seront armées de rails Vignole pesant 50 kg au mètre, reposant sur 1 722 traverses au km. Celles à équiper pour les essieux de 20 t (soit 15 000 km sur les 40 500 km du réseau) seront armées de rails Vignole pesant 46 kg au mètre, sur 1 722 traverses au km également.

La réalisation de ce programme d'équipement, sera facilitée par le retard de près de sept années des renouvellements de voies, dû à la guerre. C'est, en effet, à l'occasion des renouvellements massifs qui sont entrepris, pour rattraper ce retard et rajeunir les voies arrivées souvent à limite d'âge, que le renforcement de la super-

	Poids maximum par essieu des locomotives (t)	Poids du rail (kg)
Pologne	18,2	42,5
Italie	20	46
Suisse.....	21,5	46
Angleterre	22,9	49,6
France	23	50
Belgique	24	50
Canada (Pacific Ry)..	28,6	49,6
U. S. A. (Reading Cy).	35,7	64,5

Fig. 4. — Poids des essieux et poids des rails admis par quelques réseaux modernes.

structure peut être réalisé dans des conditions financières acceptables.

Le tableau de la figure 2 montre que, si la France n'est pas en retard, bien au contraire, dans l'adoption de charges et de voies lourdes par rapport aux pays européens, ceux-ci par contre sont nettement décalés par rapport aux réseaux américains. Ce décalage tient surtout à l'échelle des distances, très différente entre les pays européens et les Etats-Unis. Les distances à parcourir d'un centre important à un autre aux Etats-Unis sont infiniment plus grandes qu'en Europe et justifient le groupement d'un tonnage très important pour les desservir.

Notons d'ailleurs que les réseaux américains ont pu adopter un gabarit beaucoup plus large que les réseaux européens qui sont prisonniers de dimensions données, au moment de leur construction, aux ouvrages d'art, aux tunnels en particulier, et à la plateforme en général, et qu'on ne peut envisager d'élargir, ce qui limite les dimensions et, par conséquent, le poids des chargements. C'est aussi le resserrement du travelage qui permet des charges élevées. Ainsi le Chicago-Milwaukee Railroad fait circuler des locomotives « 232 » à 32,5 t par essieu sur des voies équipées avec un rail de 56 kg ; mais il y a 2 400 traverses au kilomètre contre 1 722 chez nous. Ce resserrement du travelage en Amérique est rendu possible par une conception différente de l'entretien beaucoup plus coûteuse et prodigue en matériaux que la conception européenne.

L'armement des artères moins importantes et des lignes secondaires est, bien entendu, fonction également du trafic et des charges plus restreintes qu'elles supportent. Ces lignes sont généralement équipées avec des rails de remploi, retirés des voies principales, après un service de douze à vingt-quatre ans, suivant la fatigue qu'ils ont subie et qui peuvent encore supporter pendant de longues années un trafic restreint. On trouve donc, sur ces lignes secondaires, des rails anciens, de tous les types, généralement plus légers, puisque leur poids descend à 30 kg au mètre, posés sur des traverses plus espacées (de l'ordre

de 1 200 par kilomètre). Cette méthode de déclassement du matériel de superstructure, dans l'ordre hiérarchique décroissant, permet d'en tirer le parti maximum, tout en réservant à chaque type de ligne le matériel économiquement le mieux adapté.

Enfin, il est intéressant de signaler l'adaptation de la superstructure de la voie à un régime particulier des charges, celui du Métropolitain. Ce réseau urbain est caractérisé d'une part par un trafic extrêmement intense, par le nombre de trains et les efforts dus aux accélérations et aux freinages, et d'autre part par une faible charge par essieu. La superstructure est, en conséquence, constituée par des rails lourds, de 52 kg/m, conçus pour résister le mieux possible à une usure intense, et posés sur des traverses courtes (2,20 m au lieu de 2,60 m sur les autres réseaux) et espacées (1 277 par km), qui suffisent à répartir les faibles charge sur le ballast. —

L'augmentation de la puissance et de la vitesse des locomotives, celui du tonnage des trains rendent indispensables une surveillance constante et un entretien correspondant de la voie. Les chocs verticaux et latéraux que les convois rapides et lourds infligent au chemin de roulement tendent à désolidariser ses éléments constitutifs. Les joints subissent des « coups de marteau » qui matent le rail aval, font jouer les éclisses et enfoncent les traverses voisines ; de plus, les mouvements de « lacet » des véhicules provoquent des chocs latéraux du boudin des roues sur les rails, qui tendent à arracher les attaches des rails sur les traverses et à déformer le tracé des voies, notamment aux entrées et aux sorties de courbe.

C'est pourquoi il est nécessaire de procéder périodiquement à des vérifications de l'état de la voie, à des révisions tant du matériel que du nivellement et du tracé. Cet entretien s'effectue une fois par an sur les lignes très importantes, une fois tous les deux ans sur les grandes lignes, une fois tous les quatre ans sur les autres. Mais, lorsqu'une voie est trop fatiguée, soit que le pourcentage des traverses à remplacer prenne trop d'importance, soit que le ballast devienne boueux ou terreux, soit que les rails soient devenus trop faibles pour les charges roulantes, le renouvellement de la voie s'impose. Le retard causé par la guerre dans le remplacement périodique des voies en France va exiger dans les années à venir un effort considérable. Cela va nécessairement conduire à une utilisation intensive des procédés de renouvellement mécanique.

RENOUVELLEMENT MÉCANIQUE

Un premier procédé, utilisé dès 1927 sur la région du Nord (procédé Drouard) consiste à assembler, dans un parc spécialement aménagé dans une gare voisine du chantier, des « travures » ou longueurs montées de matériel neuf, rails et traverses. Chargées sur

wagons, à l'aide d'une grue portique, ces longueurs montées sont amenées sur le chantier par l'une des voies pour être déchargées mécaniquement à l'emplacement qu'elles doivent occuper définitivement dans l'autre voie.

L'opération inverse est réalisée pour les longueurs montées de voie ancienne qui sont saisies sur place sans démontage, comme on le voit sur la figure 6, chargées telles quelles sur des wagons vides en attente, et dirigées sur un parc spécialement affecté à leur démontage.

Le ballast est travaillé dans l'intervalle qui sépare l'enlèvement des longueurs anciennes de la pose des longueurs nouvelles. Un dégarnisseur-cribleur (fig. 8), enlève la couche de ballast mise à nu par la dépose de la voie. Ramassé par des godets, le ballast est transporté dans un cribleur rotatif qui récupère le caillou propre au emploi et élimine les impuretés et les éléments trop fins. Le ballast récupéré est rejeté sur la plateforme de la voie, et réparti mécaniquement sur une épaisseur uniforme. Les débris sont rejetés en dehors de la plateforme.

Un dispositif permet d'ailleurs le cas échéant de charger directement sur wagon les produits provenant de l'épuration.

Il reste alors à amener le ballast complémentaire nécessaire pour compenser les déchets de l'épuration, c'est-à-dire pour rétablir le profil normal du ballast. Pour cela, on amène le train de ballast sur la voie substituée : les wagons de ce train sont munis de trémies basses dont chacune est manœuvrée au moyen d'un levier par un homme qui se tient sur une plateforme à l'extrémité du wagon (fig. 9).

Le train de ballast vidé et garé, on met en

place des bourreuses mécaniques ou électriques au moyen desquelles la voie est relevée et stabilisée jusqu'à sa cote normale (fig. 10).

Avec ce procédé, le rendement moyen est de 500 à 600 m par journée de travail et le personnel employé, inférieur des deux tiers à celui qui est nécessaire quand le renouvellement est fait à la main, exécute un travail nettement moins fatigant et plus régulier.

Mais le procédé ci-dessus présente l'inconvénient d'occuper simultanément les deux voies et il faut, en conséquence, détourner ou suspendre le trafic pendant les périodes de travail. C'est là une gêne importante et il n'est pas possible, en outre, d'utiliser ce procédé pour la substitution d'une voie unique. Aussi a-t-on mis au point une autre solution (Collet-Loiseau) qui permet de n'occuper qu'une seule voie.

Comme dans le premier procédé, la dépose et la pose de voie s'exécutent par longueurs montées entières, mais il n'est pas fait usage de wagons pour le transport de ces traverses qui sont munies directement de galets leur permettant de rouler sur la voie normale entre le chantier et la gare voisine. De plus, les engins utilisés pour la pose et la dépose de la voie sont très légers et très faciles à déplacer sur rails ou à ranger sur les accotements.

La suite des opérations est la suivante :

Avant dépose de la voie, on procède au dégarnissage et à l'épuration du ballast en utilisant une dégarnisseuse mécanique qui, tout en n'occupant que la voie à dégarnir, exécute de façon continue l'enlèvement, le criblage et la remise en place du ballast sous les traverses de la voie.

On utilise, à cet effet, soit la dégarnisseuse

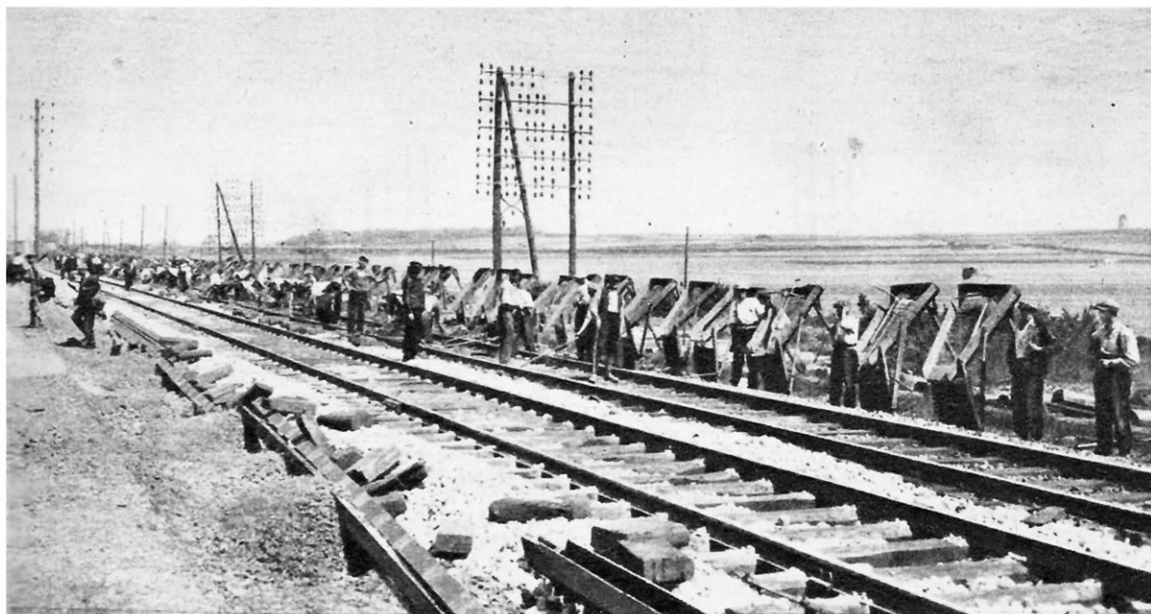


Fig. 5. RENOUELEMENT A MAIN : LE BALLAST EST PIOCHÉ, CRIBLÉ ET REMIS EN PLACE

étudiée par M. Scheuchzer en Suisse, soit la dégarnisseuse construite par la Société d'Études et de Construction d'Outillage de Paris (fig. 11 et 12).

Le matériel de dépose et pose de la voie que l'on utilise ensuite se compose de trois éléments principaux (fig. 13, 14 et 15).

a) Un diplory dont la traverse, longue de 3,30 m et munie à chaque extrémité d'un appareil « lève-rail », est destinée à transporter et à placer de part et d'autre de la voie des rails qui constituent une voie de service, à l'écartement de 3,3 m. Cette voie est installée sommairement sur de simples pièces de bois ou même, le cas échéant, directement sur le ballast ;

b) Un portique avec treuils, constitué par un chariot spécial à poutre mobile dont la hauteur est réglable à l'aide de vérins situés sur chaque axe de roulement et dont l'écartement est de 3,30 m, ce qui lui permet de rouler sur la voie de service. Ce portique est muni de deux treuils pouvant soulever 1 000 kg ;

c) Un essieu de roulement constitué par deux galets à écartement normal réunis par une traverse munie d'un système d'agrafes qui lui permet de se fixer sous le patin des rails de la voie à réfectionner. La voie de service de 3,3 m ayant été posée de part et d'autre de la voie à renouveler à l'aide des diplorys spéciaux, les portiques y sont installés à raison de trois portiques pour une longueur. Les longueurs à déposer sont saisies toutes montées et soulevées par les treuils des portiques qui les transportent jusqu'à ce qu'elles se trouvent au-dessus de la voie encore en place (fig. 16).

Deux essieux de roulement, un à chaque bout, sont alors fixés sur ces longueurs (fig. 17) qui sont descendues sur la voie restée en place où, après attelage, elles for-

ment un train remorqué par une draine ou un tracteur (fig. 18). Les tronçons de voie déposés sont acheminés de la sorte jusqu'à une gare voisine où ils sont démontés.

Les mêmes opérations effectuées en sens inverse permettent d'amener sur le chantier des tronçons de voie neuve préalablement montés en chantier.

On peut avec ce procédé exécuter la substitution complète de 500 m de voie par jour avec environ 60 hommes, dans le cas où aucune sujétion ne limite la durée pratique du travail, et l'on espère arriver, dans un proche avenir, à des rendements de l'ordre de 1 000 m par jour.

VITESSE ET COURBES

Nous allons voir maintenant comment, et dans quelle mesure, l'accroissement du trafic peut être recherché par l'augmentation de la vitesse des trains.

N'oublions pas que la plupart des lignes ont été tracées voici près de cent ans ; la vitesse des trains de cette époque, « lancés à toute vapeur », nous paraît ridicule ; notre réseau n'a donc pas été conçu pour les grandes vitesses actuelles.

L'obstacle principal aux vitesses élevées réside dans les courbes, et, si la superstructure a pu être adaptée d'une façon remarquable à l'augmentation des charges, elle s'est heurtée souvent à ces courbes. Cet écueil a deux aspects : d'une part, le rayon des courbes, d'autre part le tracé de l'entrée et de la sortie de ces courbes.

Le rayon des courbes limite la vitesse, par suite des effets de la force centrifuge. Celle-ci est en général compensée par le « dévers » ou inclinaison vers l'intérieur de la courbe que l'on donne à la voie ; mais ce dévers a

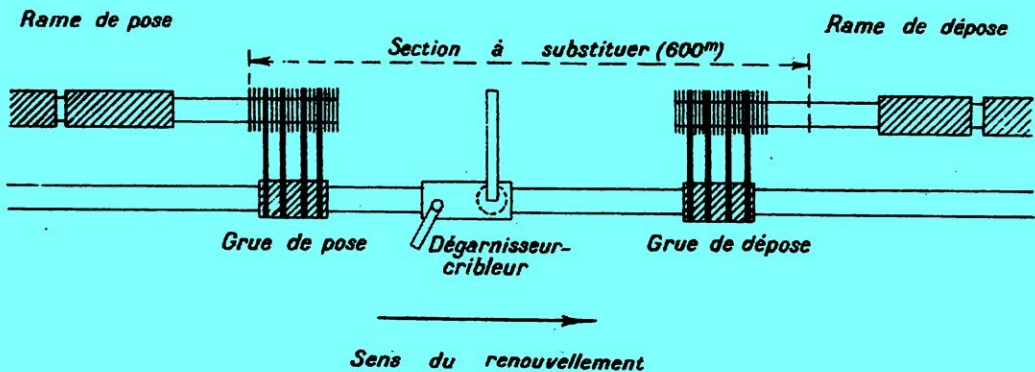


Fig. 6. MÉCANISME DE RENOUVELLEMENT DE VOIE PAR LE PROCÉDÉ DROUARD

La grue portique de dépose saisit les « travures » anciennes et les dépose sur les wagons vides de droite. Lorsque quelques « travures » ont été déposées, le dégarnisseur-cribleur entre en action et aménage la plate-forme. Dès qu'un emplacement suffisant a été dégagé, la grue-portique de pose saisit les travures nouvelles amenées sur les wagons de gauche et les dépose avec précision à leur emplacement sur le ballast.

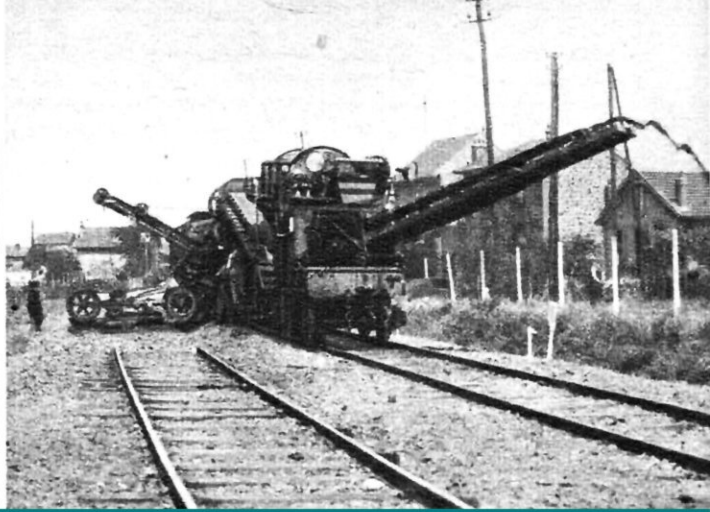
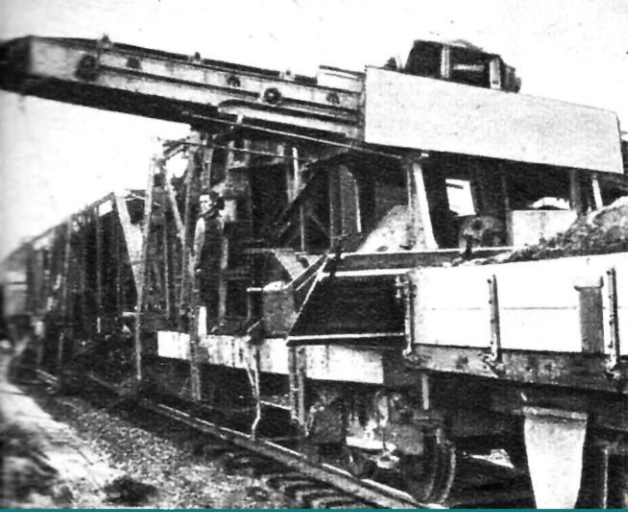


Fig. 7 et 8. DÉPOSE D'UNE « TRAVURE » ANCIENNE : CRIBLAGE MÉCANIQUE DU BALLAST

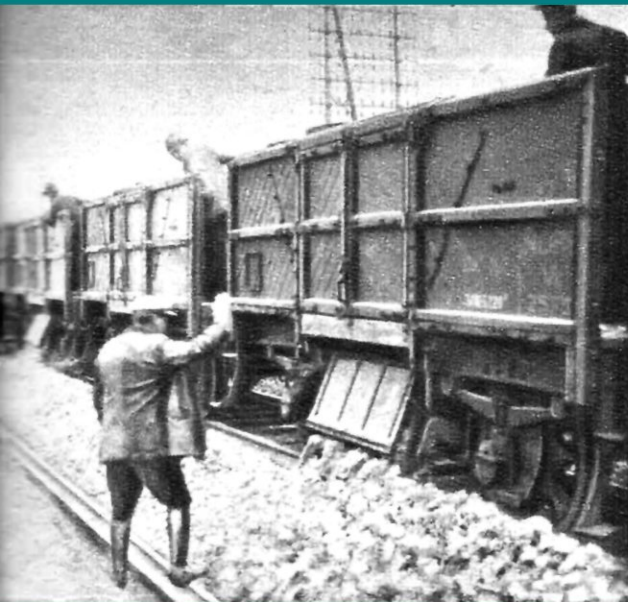


Fig. 9 et 10. APPORT DU BALLAST NEUF SUR LE CHANTIER ET BOURRAGE DE TRAVERSES

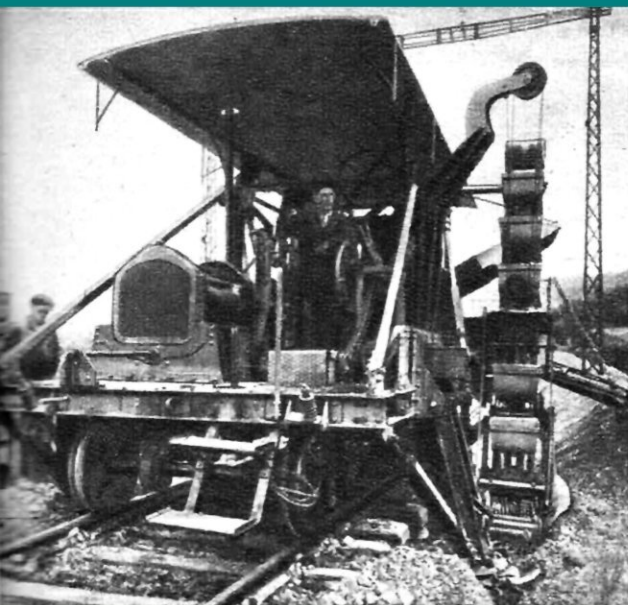


Fig. 11 et 12. DÉGARNISSEUSES SCHEUCHZER ET « SECO » : CRIBLAGE SANS DÉPOSE DE LA VOIE

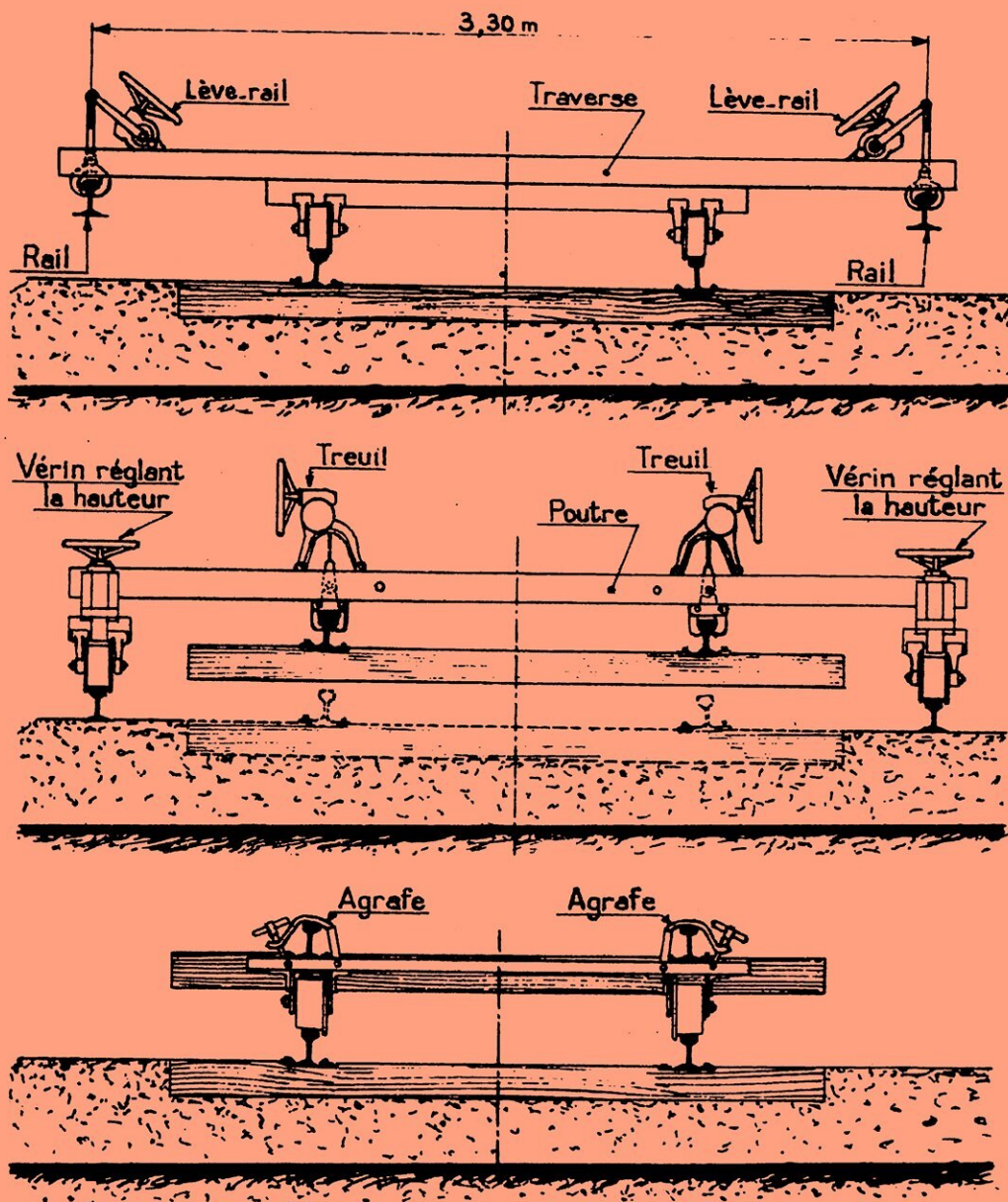


Fig. 13, 14 et 15. MATÉRIEL DE POSE ET DE DÉPOSE DE LA VOIE

En haut, le diplory (poids 250 kg) place de part et d'autre de la voie normale des rails qui constitueront une voie de service à l'écartement de 3,30 m. Au centre, le chariot spécial formant portique (poids 225 kg) roule sur la voie de service ; il porte deux treuils capables de soulever 1 000 kg et qui assurent la dépose et la pose de la voie nouvelle. En bas, l'essieu de roulement (poids 70 kg) qui se fixe par des agrafes sous le patin des rails.

une limite, fixée à 16 cm de dénivellation entre les deux rails, car les courbes doivent pouvoir être franchies non seulement par les trains rapides auxquels le crévier est adapté, mais encore par les trains très lents qui appuient alors dangereusement sur le rail intérieur. Bien que l'on admette de faire passer les trains rapides à une vitesse telle que la force centrifuge non compensée par le dévers soit, au maximum, égale au dixième de l'intensité de la pesanteur, beaucoup de lignes sont

tracées avec des rayons si faibles qu'il est nécessaire de réduire la vitesse des trains.

Le tracé de l'entrée et de la sortie des courbes a également une très grande importance pour fixer la vitesse limite d'une ligne. En effet, nos ancêtres avaient tracé des courbes circulaires tangentes aux alignements droits. Or, dès que la vitesse est devenue un peu plus élevée, et qu'il a fallu donner du dévers dans les courbes, il est apparu nécessaire de raccorder progressivement ce

dévers a l'entrée et a la sortie de la courbe, aux alignements posés sans dévers de façon que les véhicules s'inclinent progressivement. Pour que cette inclinaison progressive ne soit pas ressentie par le voyageur aux grandes vitesses, il faut, d'une part, que la variation du dévers ne soit guère supérieure à 1 mm par mètre, et d'autre part, que le tracé en plan de la courbe soit une « parabole cubique », dont les rayons de courbure sont proportionnels au dévers en chaque point.

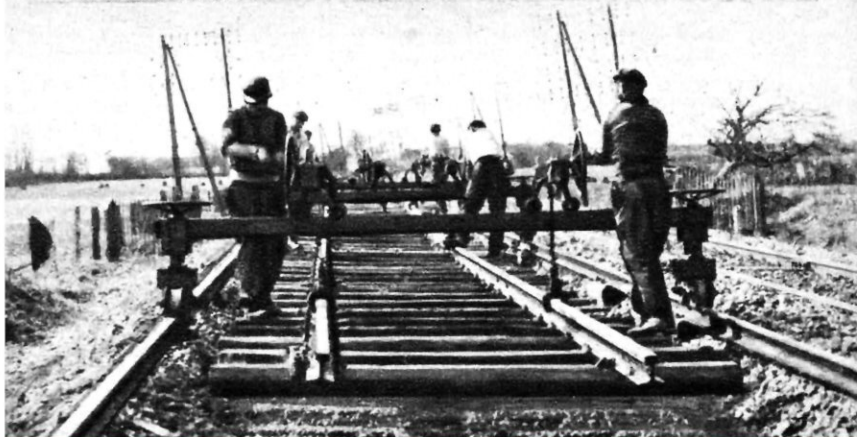
Il a donc été nécessaire de remanier le tracé de toutes les courbes, établies sans ce raccordement progressif, et ceci n'a pu être réalisé, dans de nombreux cas, dans des conditions satisfaisantes, car l'introduction de la parabole de raccordement conduit le plus souvent à diminuer le rayon de la partie circulaire de la courbe, d'où augmentation corrélatrice du dévers nécessaire. On se trouve donc, dans de nombreux cas, devant un problème délicat surtout si les courbes et contre-courbes se succèdent.

Certaines lignes, construites en pays accidenté surtout, ne peuvent être, pour ces raisons, parcourues qu'à une vitesse limitée malgré les travaux souvent considérables exécutés pour améliorer le tracé. Elles gardent donc, de ce fait, le caractère de lignes secondaires, surtout si une ligne parallèle permet des vitesses plus élevées.

Ce sont des considérations de cet ordre qui ont motivé, en particulier, la construction très coûteuse de la ligne de Paris à Creil par Chantilly, sur Paris-Lille, dès qu'il est apparu que le tronçon ancien Paris-Creil par Epluches était incompatible, par son tracé, avec les vitesses élevées exigées de cette importante artère.

Fig. 16, 17 et 18.

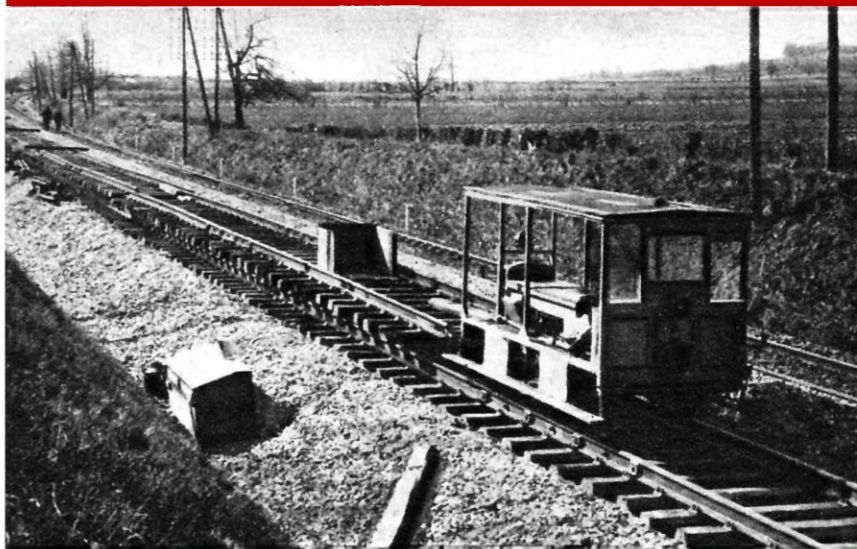
ENLÈVEMENT D'UNE « TRAVURE » ANCIENNE



LA TRAVÉE ancienne à substituer est soulevée par les treuils des portiques qui roulent sur la voie de service de 3,30 m.



LA TRAVÉE amenée au-dessus d'une partie de voie encore en place est fixée par des agrafes à des essieux de roulement.



LES TRAVÉES, fixées sur les essieux de roulement, sont attelées pour former un véritable train remorqué par une draine.

La construction de lignes de montagne, enfin, est parfois impossible sans que les rayons de certaines courbes descendent en dessous d'une valeur voisine de 150 m qui est le minimum admis pour l'inscription de la plupart des machines. On doit, dans ce cas, renoncer à la voie normale de 1,50 m d'écartement, pour adopter celle de 1 m beaucoup plus favorable à l'inscription des véhicules.

Cet écartement a été choisi, pour cette raison, par un grand nombre de chemins de fer vicinaux, à tracé sinueux, et même par les anciens grands réseaux, pour certaines lignes de montagne, comme celle de Saint-Gervais à Chamoni et Vallorcine.

Notons enfin que le tracé en profil de certaines lignes est incompatible avec la circulation de trains lourds et rapides, par suite de l'énorme puissance des machines qui serait nécessaire à leur traction. L'électrification a cependant permis, en particulier sur la région du Sud-Ouest, d'accroître de façon sensible les performances des trains parcourant ces lignes accidentées, grâce à la puissance massive élevée et à la grande adhérence des locomotives électriques. L'électrification de Paris-Lyon permettra, notamment, un gain de temps appréciable dans la fameuse rampe de Blaisy.

Si les caractéristiques du tracé limitent la vitesse de trains et le débit de certaines lignes, il est cependant possible de créer des trains spécialement adaptés aux grandes vitesses, qui, par la position basse de leur centre de gravité, la valeur réduite de leur

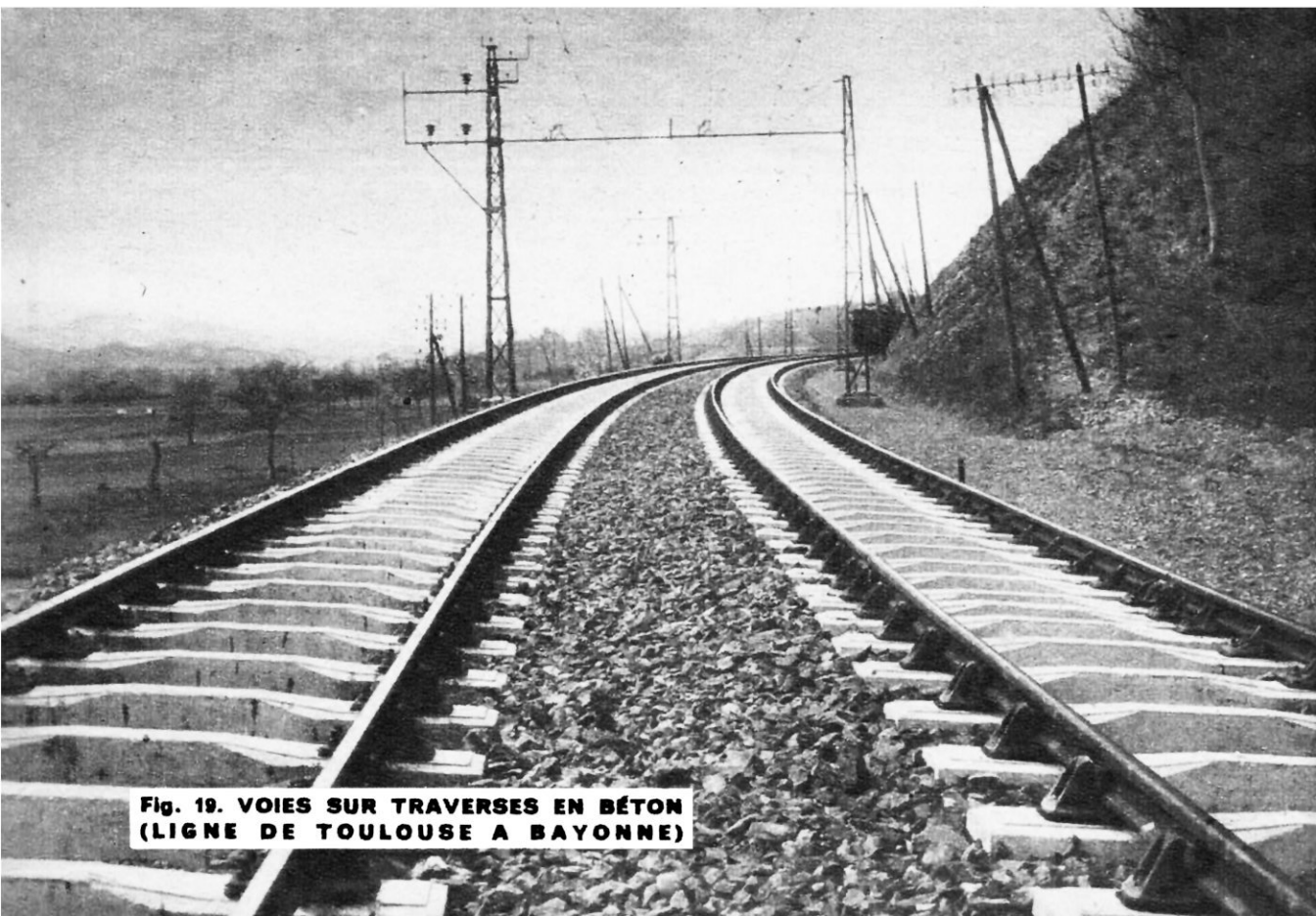
charge par essieu et leur puissance massive, s'accroissent à la fois des rampes, des raccordements, des dévers peu progressifs et des dévers insuffisants. C'est dans cet esprit que sont étudiées les rames rapides qui parcourront bientôt les grandes artères à des vitesses commerciales très élevées.

LA VOIE DE DEMAIN

En matière « voie » les progrès sont nécessairement lents : le matériel de voie dure longtemps et l'ensemble de la superstructure du réseau français est un volant extrêmement lourd. De plus, les expériences doivent, en général, avant qu'on en puisse tirer des conclusions, durer de nombreuses années ; l'expérimentation d'un nouveau joint de rail ne peut être concluante qu'au bout de dix ans au minimum, celle d'un procédé d'imprégnation du bois des traverses ne l'est qu'au bout de vingt ans ou plus, etc., ce qui donne aux ingénieurs de la voie une réputation de circonspection, sinon de conservatisme.

Les progrès réalisés depuis quelques dizaines d'années en matière de superstructure résident principalement dans le renforcement du matériel, l'allongement des rails par soudure des joints, et surtout dans la perfection de l'entretien du nivellement et du tracé.

Parmi les problèmes posés dans l'après-guerre, le plus préoccupant pour la voie est celui de l'approvisionnement en traverses, en bois ou métalliques.



**Fig. 19. VOIES SUR TRAVERSES EN BÉTON
(LIGNE DE TOULOUSE A BAYONNE)**

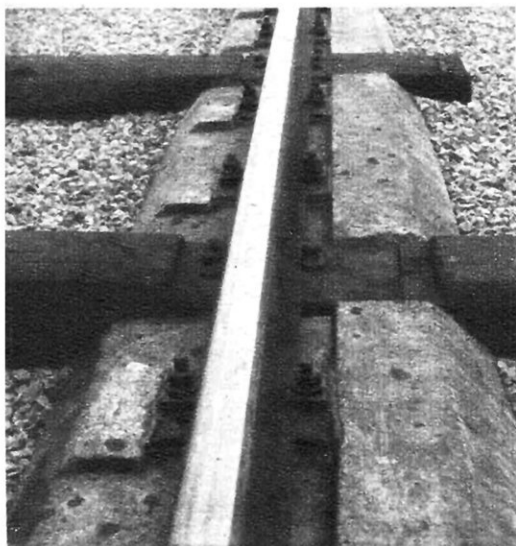


Fig. 20. VOIE SUR LONGRINES EN BÉTON

Jusqu'à présent, le bois avait été presque seul utilisé. Les traverses en bois sont économiques, souples, relativement élastiques, insonores et elles étaient le matériel idéal pour soutenir le rail et répartir les pressions sur le ballast.

L'entretien en était aisé, les attaches faciles à réaliser et rustiques, par le tirefonds, et le bois avait l'avantage d'être isolant, et de se prêter, par conséquent, à l'installation du « block automatique » (1) par circuit de voies.

Malheureusement, les ressources annuelles se sont réduites, environ 3 millions de traverses en bois pour des besoins plus de deux fois supérieurs.

Les traverses métalliques, si elles donnent de bons résultats dans les lignes peu rapides, et non munies du block automatique, sont plus rares encore que celles en bois, par suite de la pénurie mondiale de charbon et d'acier.

Aussi les études se sont-elles orientées vers les traverses en béton armé, utilisées déjà, avec des résultats variables, après la première guerre mondiale, mais en tenant compte de cette expérience ancienne et en profitant des perspectives très intéressantes que donne la « précontrainte » (2).

Des quantités importantes de ces traverses, dont les attaches du rail ont été particulièrement adaptées à ce matériel, vont être posées prochainement. C'étaient les attaches, copiées jusqu'ici sur celles des traverses en bois, qui avaient donné le plus de déboires.

Si les traverses en béton présentent certains inconvénients, tels que leur poids, leur

(1) Voir page 85

(2) Le béton armé est dit « précontraint » lorsque son armature métallique a été mise sous tension préalable avant et pendant la coulée et la prise du béton. Ce dernier demeure donc soumis à une compression, même lorsque par la suite on exerce sur la pièce armée des efforts de traction qu'il ne pourrait supporter, autrement, sans se fissurer.

manque d'élasticité et de souplesse, il est cependant intéressant, en adoptant pour leur emploi une technique appropriée, de tirer parti de leurs caractéristiques, du poids en particulier.

En effet, les études menées dans le but de résoudre le problème de la voie sans joints, qui est un des plus tentants pour l'ingénieur de la voie, ont montré que, si la voie était suffisamment lourde, et le rail fixé d'une façon assez énergique aux traverses, on pouvait supprimer le joint et laisser le rail subir les contraintes longitudinales dues aux variations de température, sans qu'on ait à redouter ses déformations par « flambage » (1). Cette manière de réduire ou même de supprimer les joints serait plus élégante que celle qui a donné lieu jusqu'ici aux essais en France, et qui consiste à adopter des joints complexes à coupe biaisée et à jeu de dilatation important (joint Dupuy par exemple).

On peut remédier au manque d'élasticité du béton en interposant des semelles élastiques en caoutchouc cannelé entre rail et béton, ce qui conduit d'ailleurs à fixer élastiquement le rail sur la traverse.

On est même allé plus loin dans ces recherches sur la voie posée sur béton et on a mis à l'essai un tronçon de voie dans lequel le rail repose sur des éléments de longrines en béton armé, à large base, qui répartissent les charges sur une grande surface de ballast. Une telle voie, si les essais sont satisfaisants, et si l'entretien de son nivellement et le maintien de son tracé peuvent être facilement et correctement assurés, ouvriraient des perspectives nouvelles, en particulier quant aux charges qu'elle pourrait supporter et quant à la suppression des joints.

(1) Un rail libre de 18 m de long varie de 14 mm pour une variation de température de 75° C.

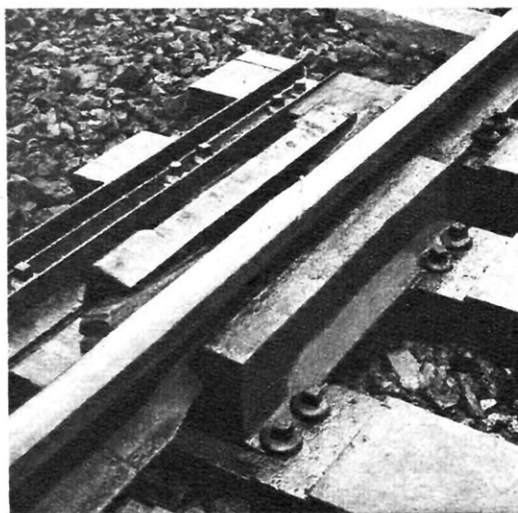
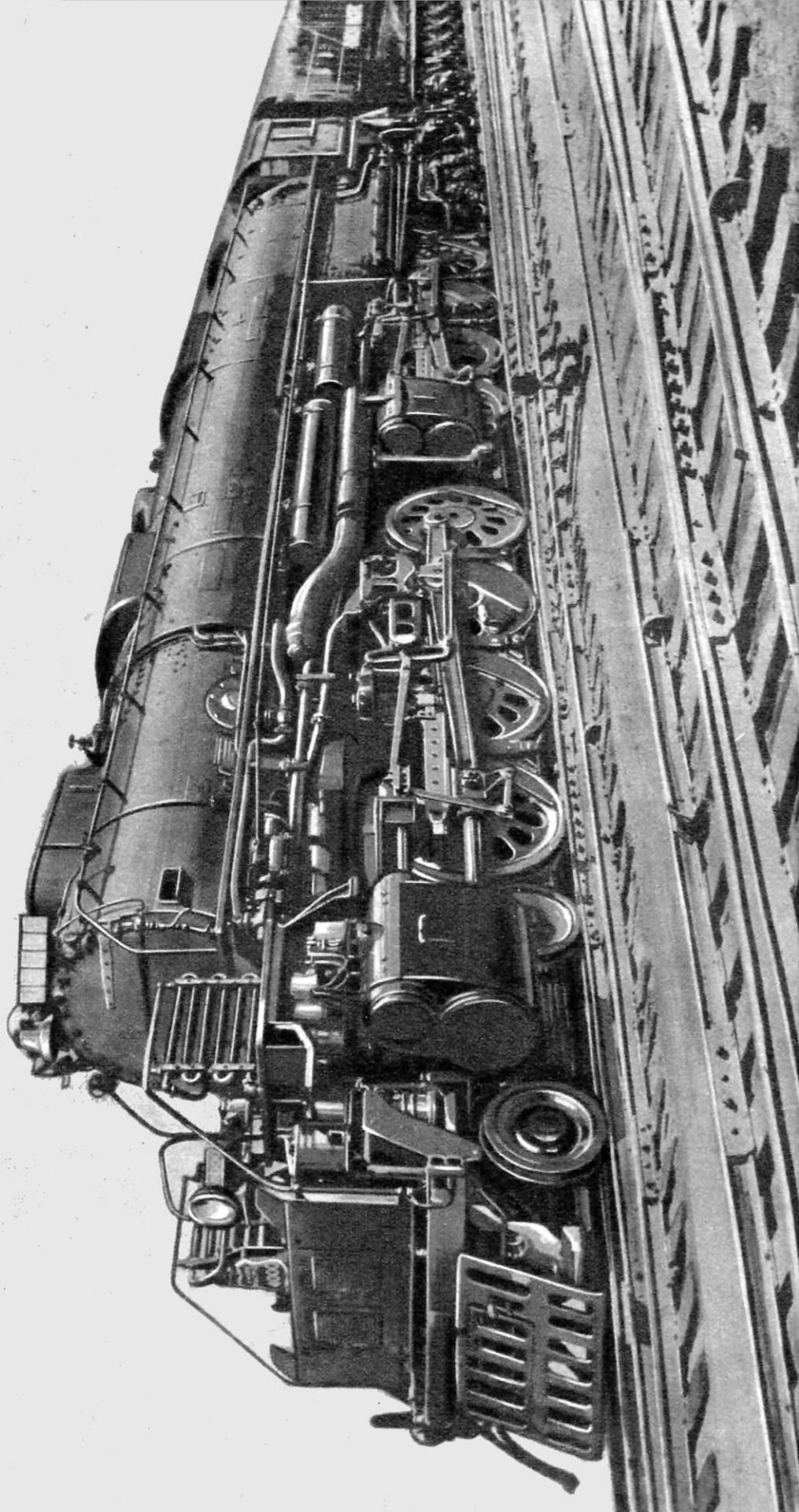


Fig. 21. LE JOINT DUPUY A COUPE BIAISÉE

LA LOCOMOTIVE LA PLUS PUISSANTE DU MONDE

Fig. 22. Construite par l'American Locomotive Company, cette locomotive articulée, du type 2442, pèse 350 t et développe un effort maximum au démarrage de 61 t.



LA TRACTION A VAPEUR

Le domaine d'utilisation de la locomotive à vapeur classique a subi, depuis un certain nombre d'années, des amputations sensibles : la traction électrique s'est étendue aux services de banlieue et à nombre de lignes à trafic intense : le moteur à combustion équipe des engins affectés soit à de longs parcours directs où leurs qualités d'autonomie prennent toute leur valeur, soit au service des lignes secondaires ou aux manœuvres de gares. En outre, relevant de techniques plus récentes, des locomotives à vapeur de types spéciaux et des locomotives à turbines à gaz sont actuellement à l'étude en de nombreux pays. Cependant, bien que d'une conception centenaire et devenue de ce fait de plus en plus difficilement perfectible, la locomotive à vapeur classique, pour les très nombreux services qui nécessitent des machines puissantes, sans justifier le recours à la traction électrique, conserve encore des avantages certains, grâce à sa simplicité relative et à sa remarquable souplesse, fruits d'une judicieuse adaptation de ses organes essentiels aux besoins très particuliers de la traction sur les voies ferrées, et à l'harmonie de structure qui caractérise une machine parvenue à son stade définitif

DÉPUIS 1825, date de son apparition en Angleterre à la tête d'un train de voyageurs, la locomotive à vapeur a su s'adapter aux exigences toujours croissantes du trafic ferroviaire (tonnage, vitesse, sécurité), grâce aux perfectionnements sans cesse réalisés.

A quoi tient cette survivance et ces progrès d'un engin qui a plus d'un siècle d'existence ?

Tout d'abord, à deux qualités inhérentes à sa conception même.

D'une part, la chaudière tubulaire à tirage forcé (échappement de vapeur dans la cheminée) suit avec une fidélité parfaite toutes les variations d'allure.

D'autre part, la transmission du mouvement aux roues s'effectue avec une grande simplicité et une grande souplesse et, pour ainsi dire, d'une manière fluide, puisque, entre la machine et la roue, l'effort se transmet par le matelas de vapeur enfermé dans le ou les cylindres mêmes.

C'est par sa simplicité et sa faculté d'adaptation que la locomotive à vapeur a compensé la faiblesse relative de son rendement thermique.

LES GRANDES ÉTAPES DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR

Des 1828, la machine de Seguin, mise en service en France entre Saint-Etienne et Lyon, utilisa la *chaudière tubulaire* et le *tirage forcé* (par ventilateurs).

De 1829 à 1876, amélioration de la construction : cylindres horizontaux ; roues métalliques au lieu de roues en bois ; distribu-

tion de la vapeur dans les cylindres au moyen de la *coulisse* qui permet de modifier les diverses phases du cycle de la vapeur, telles que l'admission, la compression, la détente, l'échappement. Déjà, en 1850, la machine de Trewithick atteint 126,5 km/h, la Crampton remorque 50 t à 100 km/h en palier. Enfin, la charge des trains s'accroissant, il fallait augmenter l'adhérence sur les rails, sans dépasser par essieu la charge tolérée par la voie. C'est l'avènement des *essieux couplés à l'essieu attaqué par la bielle principale*.

1876. Date mémorable dans l'histoire de la locomotive. Mallet réalise une petite machine où la détente de la vapeur s'effectue successivement dans deux cylindres (double expansion, haute et basse pression). C'est la naissance du *compoundage*, dont les avantages sont bien connus : atténuation sensible des pertes dues aux condensations de la vapeur ; réduction des efforts maximum et de la pression moyenne sur les pistons ; régularisation du couple moteur par répartition dans le temps des efforts moteurs des cylindres haute et basse pression ; limitation des pertes par espaces morts et par fuites, par suite du fractionnement de la détente.

Remarquons d'ailleurs, et on en trouvera des exemples plus loin, que la double expansion n'a pas été universellement adoptée.

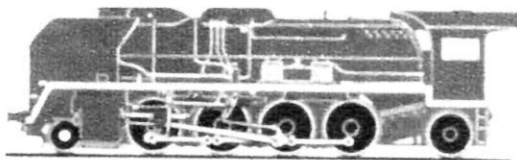
La fin du siècle dernier a assisté à d'autres innovations sensationnelles : accroissement de la pression à la chaudière de 10 à 15 kg/cm² ; emploi dans la chaudière de tubes à fumée à ailettes : apparition, en France, de quelques foyers en acier.

C'est en 1893 que la locomotive américaine 999, du New York Central Railroad, remorquant l'*Empire State Express*, atteignit

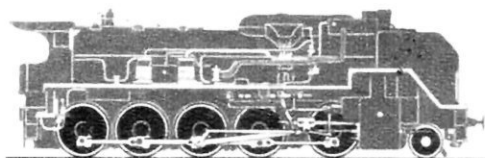
QUELQUES TYPES DE LOCOMOTIVES A VAPEUR

Fig. 23. La principale caractéristique d'une locomotive étant son poids adhérent, c'est-à-dire la charge totale supportée par ses essieux moteurs accouplés, c'est le nombre d'essieux qui a été choisi pour définir un type de locomotive. On le fait précéder d'un chiffre indiquant le nombre d'essieux porteurs avant, et on le fait suivre du chiffre donnant le nombre d'essieux porteurs arrière.

MARCHANDISES

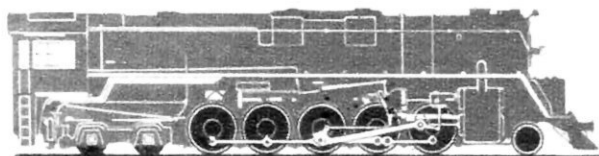
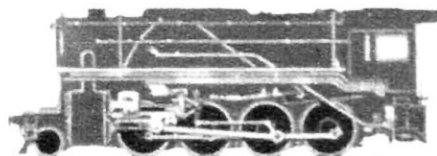


141 MIKADO



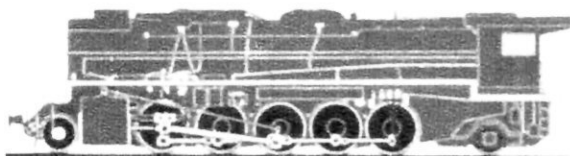
150 DECAPOD

140 CONSOLIDATION



151 SANTA FÉ

152



180 km/h, avec, cependant, une grosse consommation de combustible.

Et voici la *surchauffe*, appliquée en 1898, grâce aux efforts de Schmidt. En portant la température de la vapeur à 300 ou 350° C, le rendement est accru par réduction des condensations. La combinaison de la surchauffe et du compoundage, jointe à l'accroissement de section des passages de la vapeur, aboutit à la création des « Pacific » françaises.

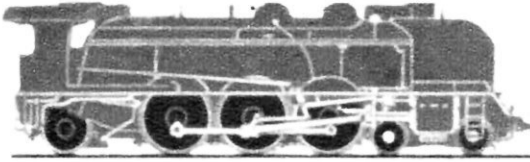
Rappelons que ces mêmes « Pacific », transformées par M. Chapelon, sur lesquelles les sections de passage de la vapeur ont été encore augmentées, ou les tiroirs de distribution de vapeur ont fait place aux soupapes afin de diminuer le « laminage » (résistance offerte à la circulation de cette vapeur), où la surchauffe a été poussée à environ 400° C,

ont enregistré une augmentation de puissance de 5 à 12 % et une économie de charbon de l'ordre de 10 %.

Ainsi, de 1828 à nos jours, la consommation de combustible est passée de 75 kg de coke par 100 tonnes-kilomètres (en roulant à la vitesse de 7 km/h), à 2,35 kg de houille par 100 tonnes-kilomètres remorquées, cela sur des trains de 600 tonnes, à 110 km/h (entre Tours et Bordeaux).

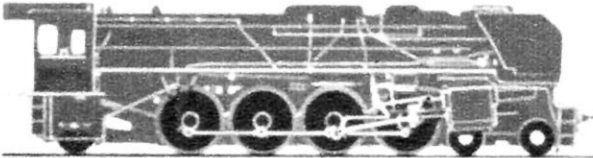
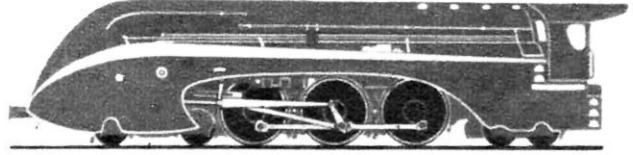
La puissance maximum au crochet, en régime continu à 110 km/h, des « Pacific » transformées atteint 2 700 ch. Les réseaux français ont largement profité de ces améliorations ; ils en ont fait de nombreuses applications, notamment sur leurs machines « Mikado » (141), « Mountain » (241), et « Ten Wheel » (230). Il est d'ailleurs difficile, du

VOYAGEURS



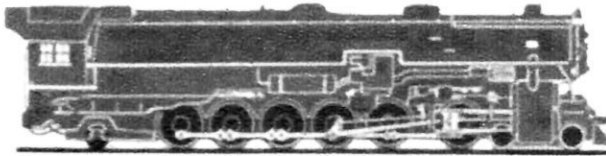
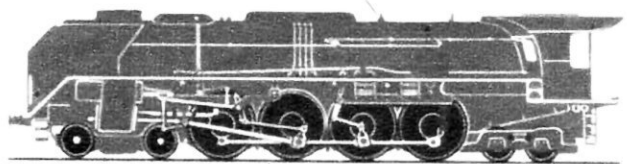
231 PACIFIC

232 HUDSON



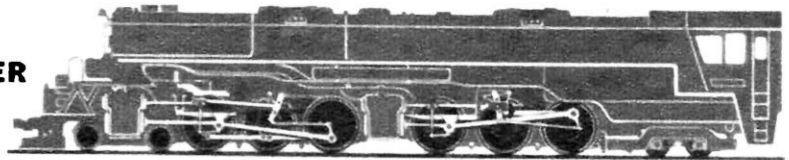
241 MOUNTAIN

242-A. 1



261

2332 CHALLENGER

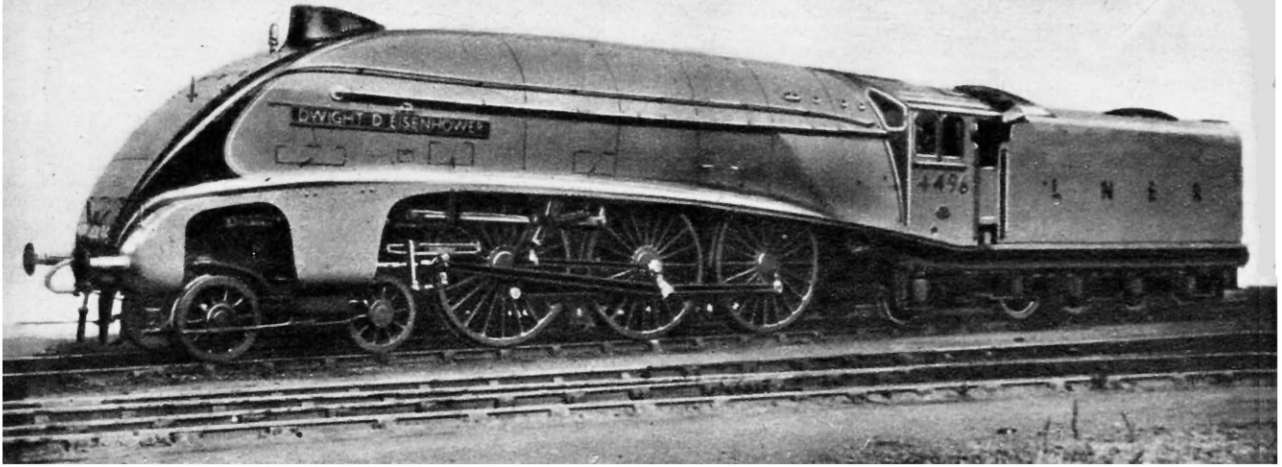


fait même que ces machines se prêtent fort bien aux gros efforts temporaires, de définir leur puissance. Il semble cependant que la puissance soit surtout limitée par l'obligation de ne pas exagérer le taux de combustion (quantité de charbon brûlée en une heure par mètre carré de surface de grille) sous peine de diminuer le rendement économique de la chaudière et de fatiguer le foyer. On se tient le plus communément à 450 kg. La consommation spécifique de charbon des machines modernes étant de l'ordre de 0,9 à 1 kg de charbon par cheval-heure à la jante, on voit que la puissance à la jante normalement utilisable en service peut être évaluée à 500 ch par mètre carré de surface de grille. Cependant, les locomotives 141 P de la S. N. C. F., pesant 172 t avec tender à moitié

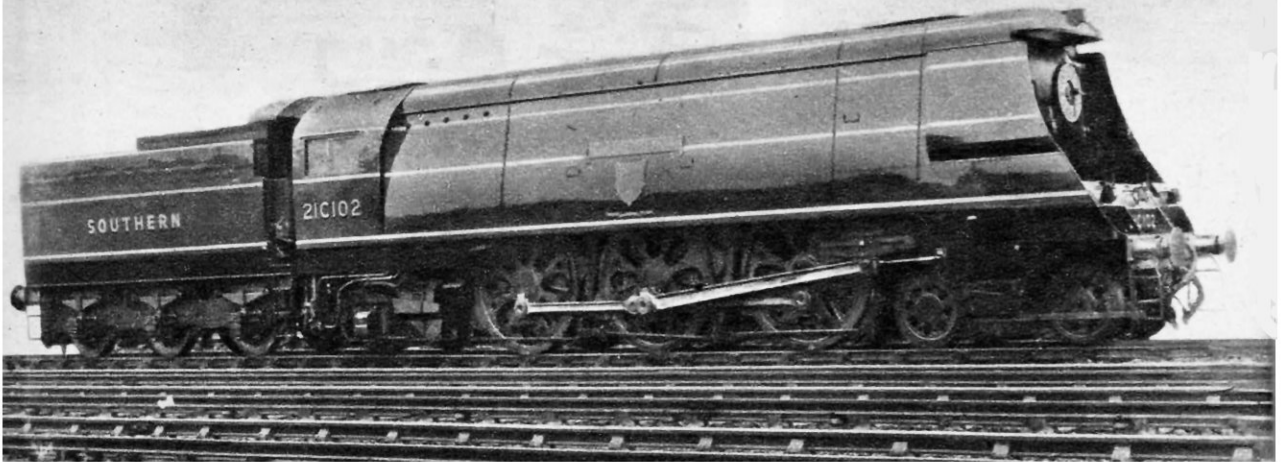
plein, sont capables de développer couramment **700 ch par mètre carré**, soit 2 900 ch et même 3 200 ch à la jante des roues motrices ; elles admettent alors un taux de combustion évidemment élevé de 800 kg par mètre carré de grille. Leur puissance massique ressort à 28 ch/t sans tender (18,5 ch/t avec tender). Pour soulager l'industrie française encore affaiblie, la S. N. C. F. a fait appel à l'industrie américaine qui lui livre 1340 locomotives 141-R, de ce type.

Le nouveau type 242 A.1, pesant 148 t sans tender (208 t avec tender à moitié plein) où, grâce aux deux essieux porteurs arrière, on a pu supporter une grille de 5 m², a une puissance massique maximum de 25 ch/t sans tender (18 ch/t avec tender à moitié plein).

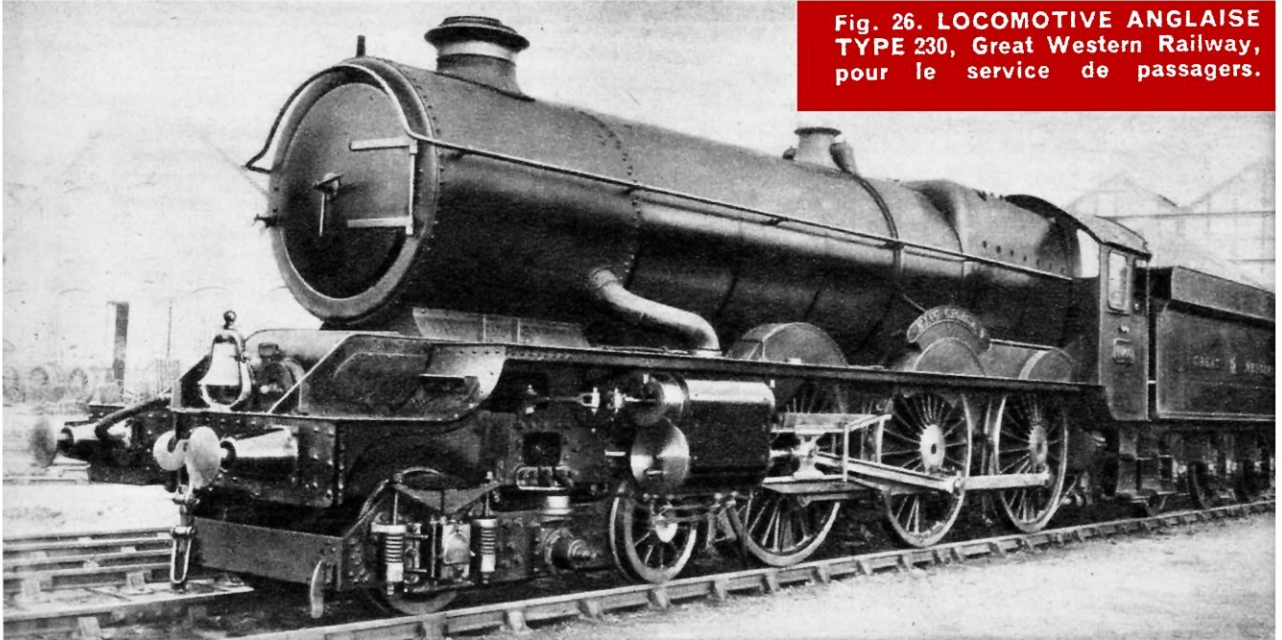
**Fig. 24. LOCOMOTIVE ANGLAISE
TYPE 231-A. 4 du London and North
Eastern Railway pour trains express.**



**Fig. 25. LOCOMOTIVE ANGLAISE
TYPE 231, Southern Railway, classe
« Merchant Navy », poids 95 t.**



**Fig. 26. LOCOMOTIVE ANGLAISE
TYPE 230, Great Western Railway,
pour le service de passagers.**



LA TRACTION A VAPEUR A L'ÉTRANGER

Nous avons signalé, plus haut, qu'en matière de locomotives à vapeur, l'Ecole française s'était faite, dans l'ensemble, le champion du « compoundage » ; longtemps fixée dans le mode de stabilisation à quatre cylindres, la « compound » a, ces temps derniers, abordé d'autres terrains et on a vu apparaître des machines à trois cylindres, un à haute pression, deux à basse pression. La raison de cette évolution doit être recherchée dans le désir de faire des engins plus résistants, pouvant supporter la « banalisation » (1) sans aggravation des frais d'entretien. A ce titre, la substitution d'un essieu coudé à un seul coude à l'essieu classique a deux coudes paraît devoir donner des résultats intéressants.

Tous les réseaux étrangers sont restés partisans de la simple expansion. Et si les Britanniques ont conservé leur faveur aux locomotives à trois cylindres (Southern Railway, London and North Eastern Railway) ou à quatre cylindres (Great Western Railway, London Midland and Scottish Railway), en obtenant d'ailleurs des réalisations remarquables, la majorité des réseaux du monde entier utilise des locomotives à deux cylindres extérieurs. L'absence de tout mécanisme

(1) La « banalisation » consiste à confier la conduite d'une locomotive à plusieurs équipes mécanicien-chauffeur. Elle permet d'obtenir un meilleur rendement économique de la machine, mais exige de celle-ci des qualités de robustesse supérieures à celles d'une locomotive utilisée par une seule équipe responsable.

intérieur rend, en effet, ces engins particulièrement aptes à s'accommoder d'un entretien réduit ; leur tenue de voie en vitesse était autrefois l'objet de critiques assez vives, d'autant plus qu'elles s'accompagnaient à la longue d'une fatigue des mécanismes pouvant aller jusqu'à provoquer des ruptures dans les organes en mouvement.

Ces défauts ont été remarquablement maîtrisés par la technique américaine qui s'est attaquée avec vigueur à la solution de ces problèmes à partir de 1925 et qui a porté à la quasi-perfection la réalisation des locomotives à vapeur à cylindres extérieurs en profitant du poids par essieu élevé, 32 t, admis aux U. S. A. On peut dire que toutes les causes de fatigue ou d'avaries ont été décelées, analysées et facilement écartées par un choix adéquat des matériaux employés, par un dimensionnement convenablement calculé des divers organes et par la mise en œuvre de procédés d'assemblage faisant un large appel à l'emploi de gros ensembles d'acier moule. La précision des machines-outils employées a permis la suppression totale des jeux si préjudiciables à la bonne tenue prolongée en service des mécanismes moteurs ou de distribution. Les résultats auxquels sont parvenus sur ce point les grands réseaux et les constructeurs américains sont stupéfiants. C'est ainsi que la locomotive prototype Niagara 242 à soupapes, construite par l'American Locomotive Company pour le réseau New York Central, a pu couvrir une distance supérieure à 40 000 km dans le mois suivant sa sortie d'usine, en assurant la remorque de trains chargés à 1 000 ou 1 200 t,

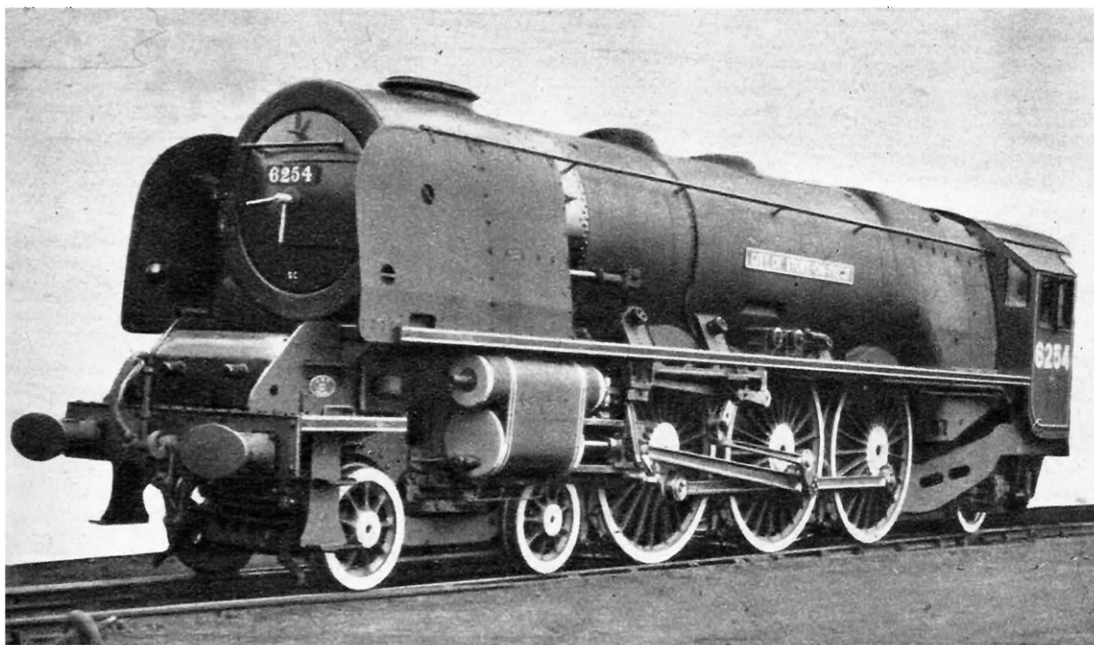
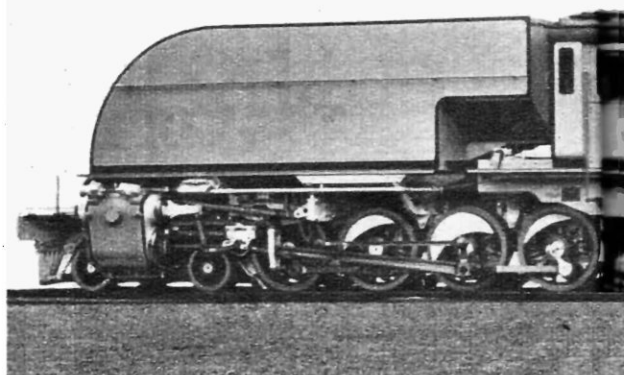


Fig. 27. LOCOMOTIVE ANGLAISE du London, Midland and Scottish Railway, type 231, classe « Coronation », capable de remorquer un train de 620 t sur 780 km à la vitesse de 88 km/h.

et de trains à des vitesses commerciales supérieures à 100 km/h sur de très longs parcours.

Evidemment, les puissances requises par de telles performances, lorsqu'on les réalise avec deux cylindres seulement, impliquent des efforts sur la voie qui soulèvent des questions importantes d'entretien pour cette dernière. Aussi doit-on voir là une des raisons de l'évolution vers le diesel qui est devenue si frappante depuis deux ans aux Etats-Unis. Mais les partisans de la traction à vapeur et de l'emploi du charbon ont, de leur côté réagi en conséquence et c'est ainsi que le Pennsylvania Railroad, de concert avec la Société Baldwin et la Société Franklin, a mis en service des locomotives à vapeur pour trains extra-rapides absolument remarquables, du type T₂, de figuration d'essieux 2 2 2 2, à quatre cylindres extérieurs, et dont la puissance est voisine de 6 200 ch.

Pour diminuer encore les forces d'inertie du mécanisme, Franklin a mis au point une distribution à soupapes, dite distribution Woodard, particulièrement résistante en service et où on a pallié les défauts d'étanchéité présentés par les grandes soupapes qu'exigeait une bonne circulation de la vapeur en remplaçant systématiquement une grande soupape par deux plus petites. La déformation des soupapes de faibles dimensions s'avère extrêmement faible lorsqu'on les réalise avec un métal convenablement étudié. On appréciera le soin avec lequel on a procédé à la mise au point de cette distribution



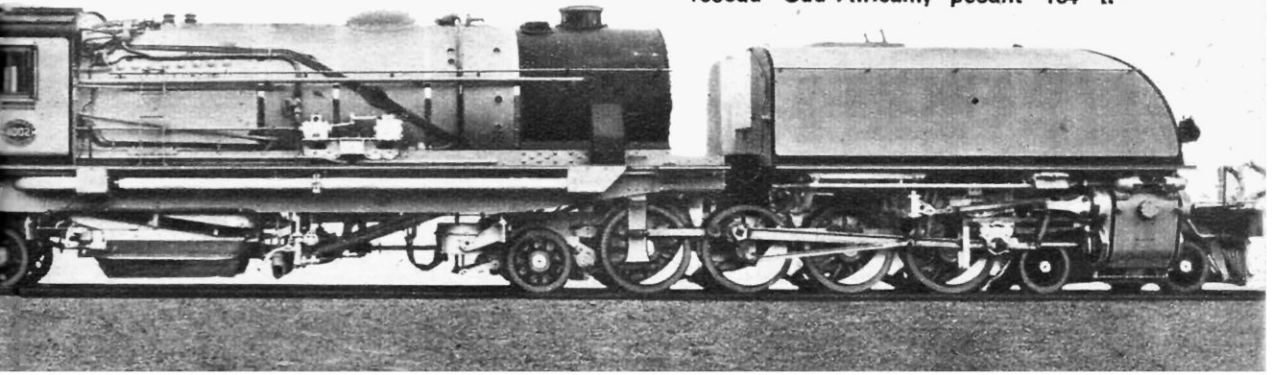
en notant que, pendant plusieurs années, deux prototypes successifs de la distribution furent essayés à l'atelier, chacun d'eux tournant sur place pendant des périodes correspondant à des parcours de l'ordre de trois millions de kilomètres.

En matière de machines à marchandises, la même thèse des locomotives à quatre cylindres prévaut depuis longtemps, soit sur le mode articulé (les locomotives Mallet dont la plus lourde est actuellement celle de l'Union Pacific, du type 2 4 4 2) soit sur le mode rigide analogue à la T₂ déjà citée, dont la Q₃ du Pennsylvania est aussi l'échantillon le plus remarquable. La puissance de ce dernier engin dépasse nettement 8 000 ch.



Fig. 28. LOCOMOTIVE AMÉRICAINE TYPE 142, POIDS : 204 T ; EFFORT DE TRACTION MAX. : 30 T

**Fig. 29. LOCOMOTIVE ARTICULÉE
BEYER-GARRATT TYPE 241-142, du
réseau Sud-Africain, pesant 184 t.**



LOCOMOTIVES A VAPEUR DE TYPES SPÉCIAUX

Malgré le succès de la locomotive classique et étant donné la difficulté d'accroître encore son rendement qui, en trente ans, n'a guère passé que de 6 à 12 %, les recherches récentes se sont exercées dans des sens divers : chaudières à très haute pression, moteurs à vapeur rapides, ou turbines.

Les essais de chaudières à tubes d'eau à haute pression, jusqu'à 100 hpz (1), sont demeurés infructueux, en raison des difficultés d'entretien (entartrage).

Un essai tenté par la S. N. C. F., et inter-

(1) Un hpz (hectopieze) vaut $1,02 \text{ kg/cm}^2$.

rompu par la guerre, mérite d'être signalé. C'est le remplacement, sur une locomotive d'un modèle déjà ancien, de la chaudière classique à 16 hpz par une chaudière Velox qui, par suite de l'accroissement des échanges calorifiques grâce à une augmentation simultanée de la vitesse de circulation de l'eau dans les tubes évaporateurs et des gaz chauds le long de ces tubes, fournit de la vapeur à 20 hpz. Le chauffage était effectué au mazout.

Malgré un volume d'eau très réduit, cette chaudière s'est révélée d'une grande souplesse et d'un bon rendement (80 à 85 % contre 65 % pour la chaudière classique chauffée au charbon). L'interruption de cet essai ne permet pas de faire le bilan de cet avantage et des sujétions d'entretien.

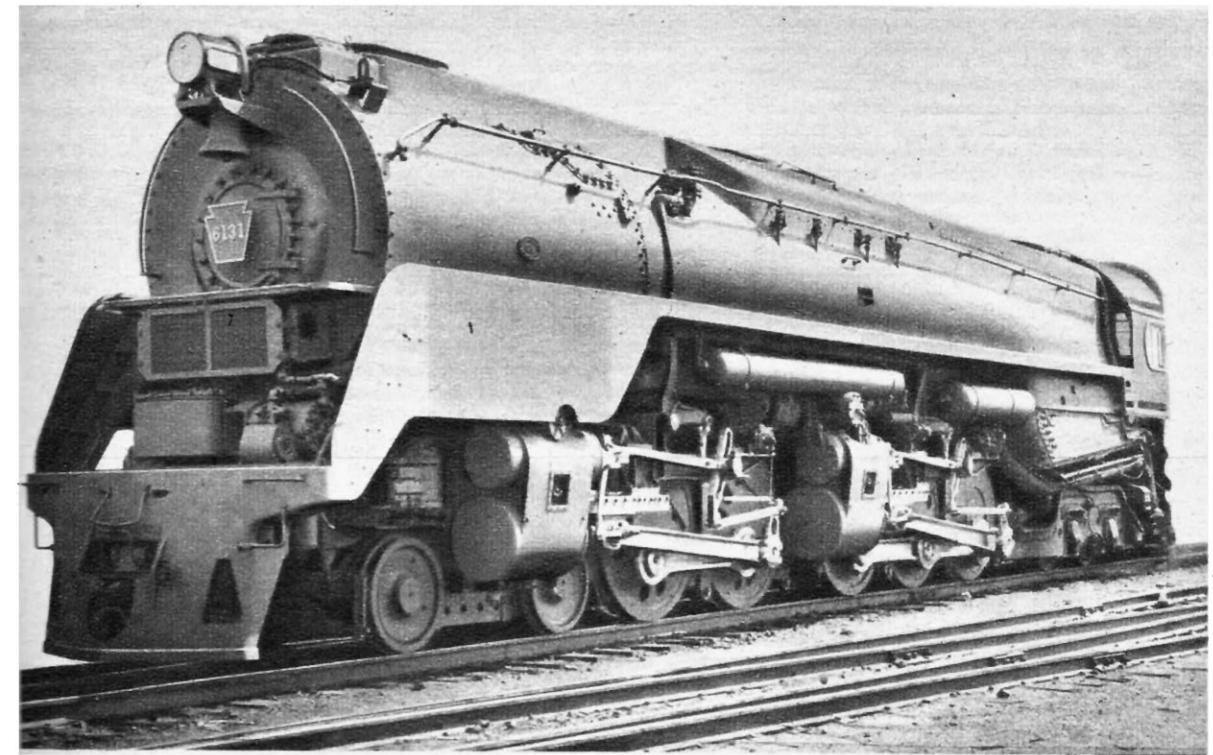


Fig. 30. LOCOMOTIVE AMÉRICAINE TYPE Q 2, REMORQUE 125 WAGONS CHARGÉS A PLUS DE 80 KM/H

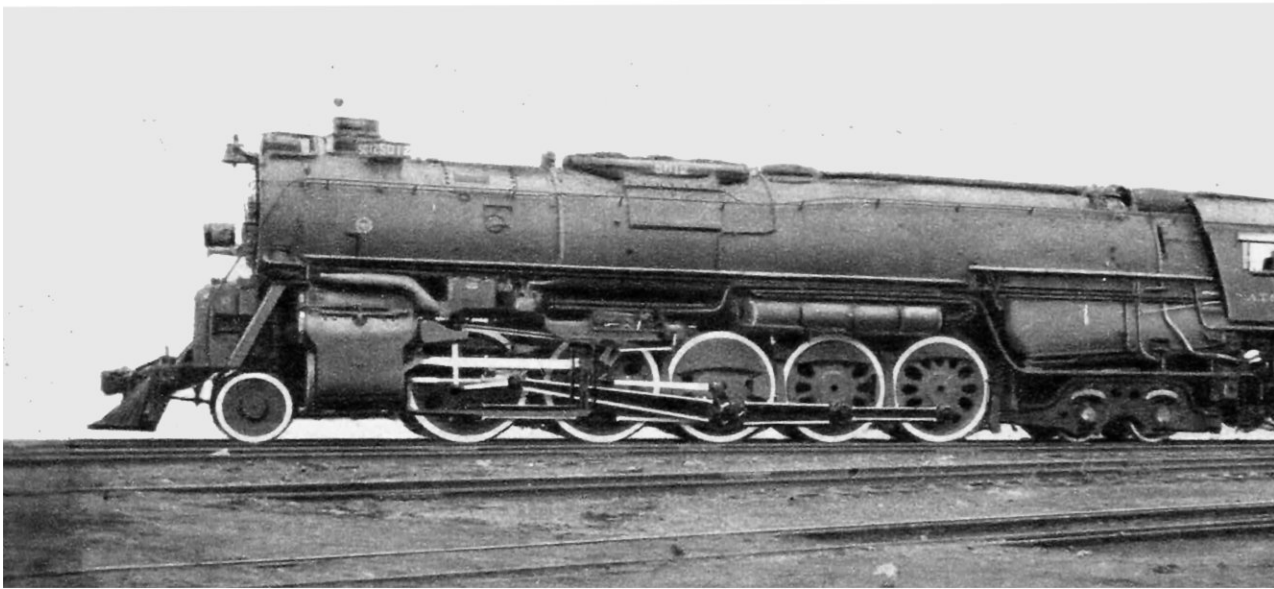
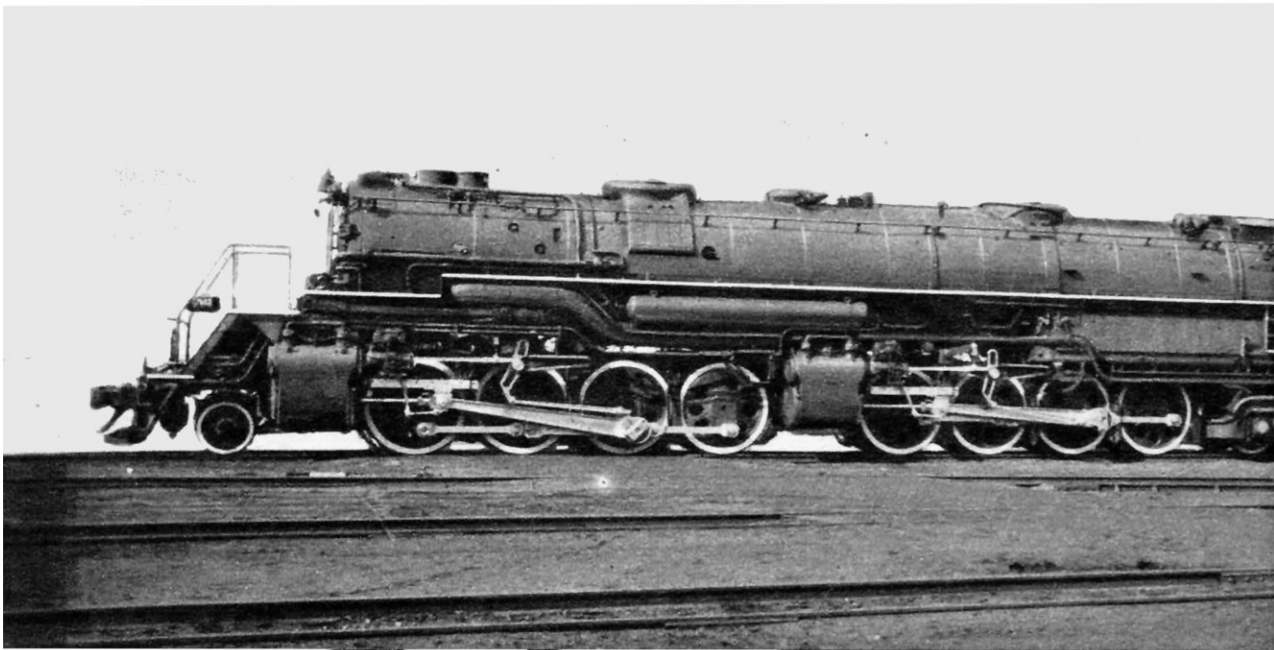
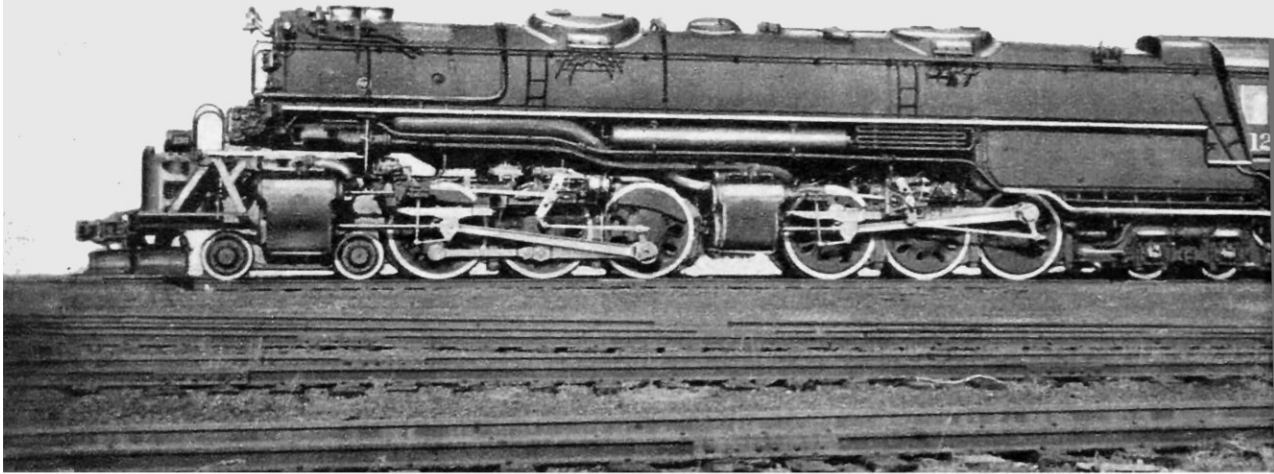


Fig. 31. LOCOMOTIVE AMÉRICAINNE ARTICULÉE TYPE 2332 pour trains de marchandises rapides, construite par Baldwin pour le Western Maryland R.

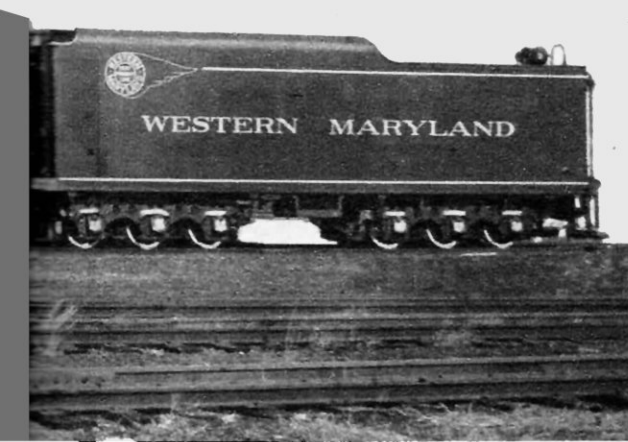


Fig. 32. LOCOMOTIVE AMÉRICAINNE ARTICULÉE TYPE 1442 pour trains de marchandises lourds, construite par Baldwin pour le Baltimore and Ohio.



Fig. 33. LOCOMOTIVE AMÉRICAINNE TYPE 152 pour trains de marchandises, construite par Baldwin pour l'Atchison, Topeka and Santa Fe Railway.



Bien que le moteur à vapeur alternatif classique ait donné les excellents résultats que l'on sait du point de vue de la vitesse, on a cherché aussi, pour réduire les efforts d'inertie, à doter la locomotive de moteurs à vapeur rapides, montés entièrement sur le châssis et attaquant les essieux par l'intermédiaire d'engrenages et d'organes élastiques de liaison, inspirés de ceux en usage sur les locomotives électriques. C'est le cas d'une machine Fives-Lille-Sté Alsacienne-Schneider, de la S. N. C. F., dont la chaudière à haute pression Winterthur (60 hpz) alimente six moteurs de 500 ch à trois cylindres tournant à 1 000 tours/mn.

Enfin, il est naturel, pour supprimer plus complètement tout organe en mouvement alternatif (bielles et pistons), de songer à équiper les locomotives de turbines à vapeur. D'une puissance massive élevée, en raison de sa grande vitesse, la turbine s'accommode d'une forte surchauffe de la vapeur (500° C), puisque celle-ci n'est pas en contact avec des organes à lubrifier. La vapeur, n'étant pas souillée par l'huile de graissage, se prête bien à la condensation. Mais, d'une part, il est indispensable de prévoir des engrenages réducteurs importants entre la turbine et les essieux et, d'autre part, la turbine ne pouvant fonctionner dans les deux sens, la marche arrière ne peut être obtenue qu'au moyen d'un changement de marche mécanique, délicat pour les fortes puissances, ou de turbines distinctes pour chacun des sens de marche. Enfin, la turbine n'a un rendement satisfaisant que pour une gamme de vitesses assez limitée et elle se prête mal aux gros couples de démarrage.

Quelques locomotives à turbines ont été construites à l'étranger. Pour se limiter aux plus récentes, le London, Midland and Scottish Railway en utilise une réalisée sous la forme d'une Pacific qui donne d'excellents résultats. Le Pennsylvania Railroad a aussi construit récemment une locomotive de ce type, remarquable par ses dimensions et sa puissance. En France, la S. N. C. F. a expérimenté une locomotive 2432 à turbine grande vitesse étudiée et construite par la Société Schneider.

Signalons aussi la puissante locomotive américaine construite pour l'Union Pacific Railroad par la General Electric Company, sur laquelle les turbines entraînent des génératrices électriques alimentant des moteurs reliés aux essieux.

La chaudière, chauffée au mazout, timbrée à 100 hpz, fournit de la vapeur surchauffée à 450°C et, grâce à la condensation, la machine peut franchir un millier de km sans ravitaillement.

Citons aussi pour mémoire les locomotives à condensation atmosphérique qui résolvent le grave problème de l'alimentation en eau dans les régions désertiques. Certaines machines de ce genre ont été construites par l'Allemagne pendant la guerre. Plus de 600 engins à condensation circulaient en U.R.S.S., dans le Turkestan en particulier.

LOCOMOTIVE A VAPEUR

VITESSE

Le problème des grandes vitesses se pose d'une manière très particulière pour la locomotive à vapeur. Seule parmi tous les véhicules roulant sur la voie ferrée, elle comporte des masses relativement pesantes effectuant des mouvements rapides. De ce fait, les efforts qui s'exercent tant sur le châssis que sur la voie peuvent atteindre des chiffres très élevés. D'autre part, la traction des trains lourds à des vitesses dépassant 130 km/h exige de la part de l'engin de traction une puissance considérable se chiffrant par 4 000, 5 000 ou même 6 000 ch. Au contraire de la locomotive électrique alimentée sans difficultés par une lointaine centrale, la locomotive à vapeur doit engendrer elle-même sa puissance ; aussi son poids s'accroît-il sans cesse, ainsi que sa longueur, d'où des difficultés pour assurer l'inscription de l'engin géant dans la voie et combattre les redoutables « oscillations de lacet ». Les progrès de la métallurgie d'une part, le perfectionnement des mécanismes de l'autre ont permis de résoudre tous ces problèmes.

LA locomotive à vapeur roule à 150 km/h depuis longtemps (aux essais organisés par le P.-L.-M., entre Sens et Montereau, à l'occasion de l'Exposition de 1889, une machine Crampton, type 210, atteignit la vitesse de 144 km/h), et ce n'est pas sans surprise que ceux qui pensent que la grande vitesse est une nouveauté considéreront le tableau ci-dessous.

On y voit que la conquête de la vitesse a été des plus rapides et date de longtemps.

Elle fait honneur à la largeur de conception de ceux qui ont créé les voies ferrées, comme à l'audace de ceux qui les premiers se sont confiés au rail pour réaliser ces vitesses.

Mais les difficultés du problème pose aux ingénieurs d'aujourd'hui sont autres que

celles du début. Il ne s'agit plus de faire rouler à 150 km/h des locomotives à un ou deux essieux moteurs, machines courtes, s'inscrivant aisément dans les appareils de voie. Il s'agit désormais de faire circuler des machines qu'on peut considérer comme « géantes » par rapport à leurs devancières. Le graphique ci-joint (fig. 36) montre la prodigieuse progression des dimensions et du poids. Cette progression est d'origine toute récente. Elle a peut-être touché aujourd'hui son terme ultime parce que les trains atteignent une longueur qui ne peut guère augmenter et aussi parce que, comme on le verra (1), la voiture lourde métallique de 50 tonnes cédera

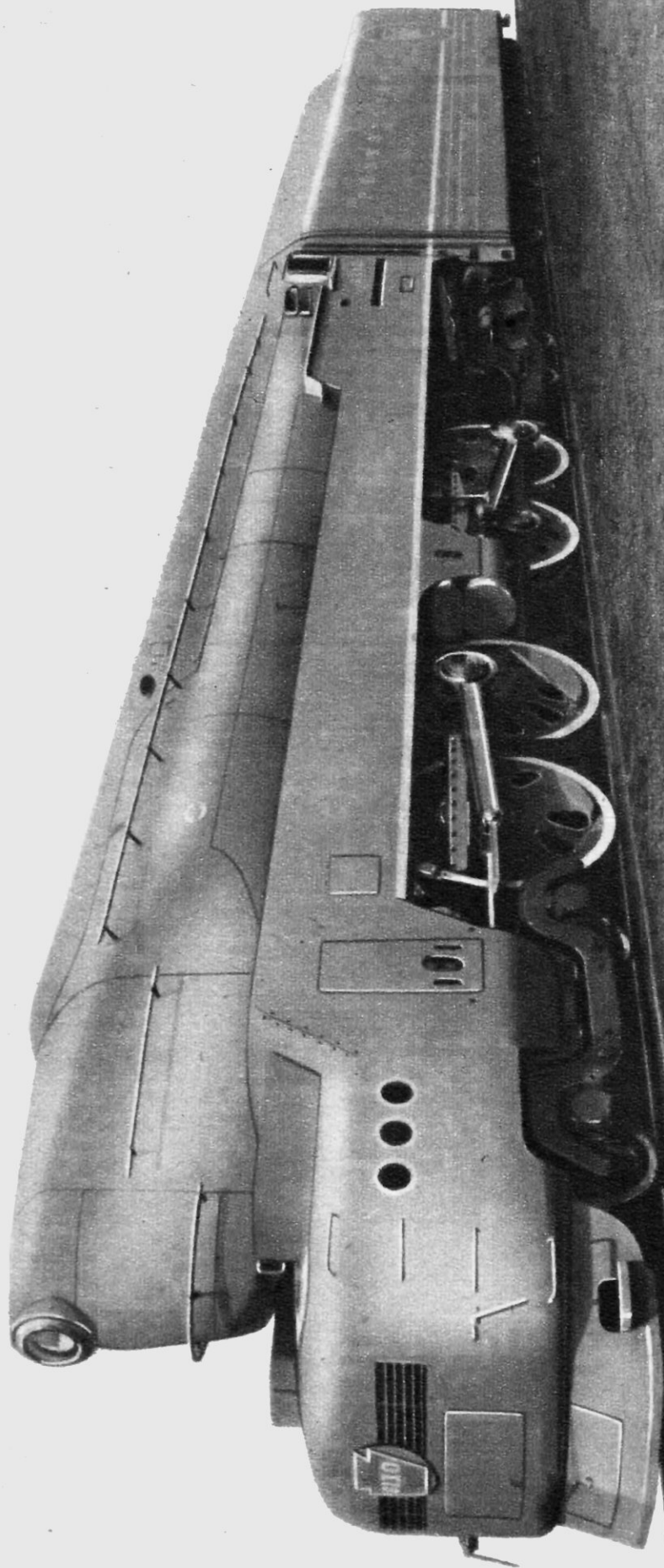
(1) Voir page 117

VITESSES ATTEINTES AUX ESSAIS DANS DIFFÉRENTS PAYS DU MONDE

km/h			km/h		
1839	95	Angleterre.	1935	174	France (loc. Pacific, typ. Chapelon du Nord).
1845	100	Angleterre.	1935	181	Angleterre (loc. Pacific du L. N. E. R.).
1846	120	Angleterre.	1935	193	Etats-Unis (loc. « Hiawatha », 221 du Chicaco-Milwaukee).
1847	126	Angleterre.	1935	196	Allemagne (loc. 232 Berlin-Hambourg).
1853	132	Angleterre.	1936	200	Allemagne (loc. 232 Berlin-Hambourg).
1887	135	Etats-Unis.	1938	200	Etats-Unis (loc. « Hiawatha » 232 du Chicaco - Milwaukee).
1890	144	France (loc. Crampton des essais de Montereau).	1939	202	Angleterre (Pacific Mallard du L.N.E.R.).
1892	156	Etats-Unis (loc. type 220).			
1893	165	Etats-Unis (loc. type 220).			
1907	172	Etats-Unis (loc. Atlantic 221 du Pennsylvania R.).			

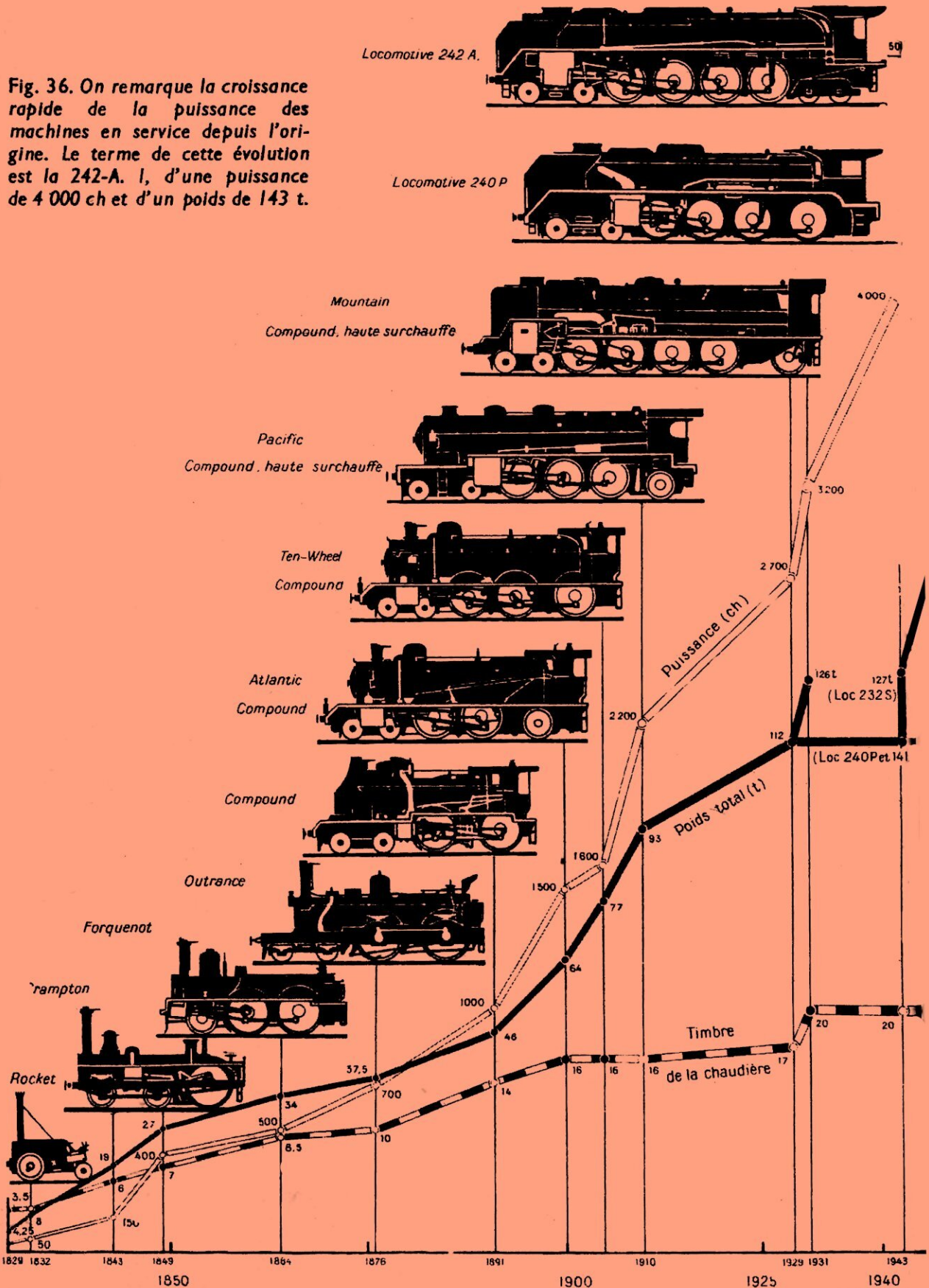
LOCOMOTIVE TYPE T. 1 DE 6 000 CH

Fig. 35. Construite par Baldwin pour le Pennsylvania Railroad, elle atteint 160 km/h. Elle développe, au démarrage, un effort de traction de 30 t et pèse, avec son tender, 430 t. Le tender peut contenir 41 t de charbon.



ÉVOLUTION DE LA LOCOMOTIVE A VAPEUR EN FRANCE

Fig. 36. On remarque la croissance rapide de la puissance des machines en service depuis l'origine. Le terme de cette évolution est la 242-A. 1, d'une puissance de 4 000 ch et d'un poids de 143 t.



dans l'avenir, en France, la place à la voiture allégée à 33 ou 35 tonnes ; mais cette courbe ascendante n'en a pas moins conduit la locomotive à vapeur à des machines rapides à quatre essieux accouplés.

Avec les machines de ce type, par exemple la « Mountain » 241 inaugurée en France en 1925 et sur le type 242 très généralisé aux Etats-Unis, la réalisation des vitesses de 120 à 160 km/h constituait un problème nouveau. Disons tout de suite qu'il a été résolu et fort brillamment, puisque les locomotives 242 américaines roulent journellement à 140 km/h (exactement à 85 milles/h ou 138 km/h) et, sur certains parcours, à 160 km/h.

Toutes les locomotives américaines 242 à roues de 2 m sont étudiées en effet pour circuler à cette vitesse de 160 km/h (100 milles à l'heure). Bien mieux, les locomotives 242 à roues de 1,75 m du Norfolk et Western réalisent les mêmes vitesses, bien que leurs roues soient inférieures au diamètre habituel des locomotives rapides. Elles atteignent fréquemment cette vitesse sur le parcours de Pétersbourg à Suffolk, et une de ces unités, mise en service pendant un certain temps sur le grand réseau du Pennsylvania, a atteint la vitesse de 176 km/h. Cette vitesse record a été réalisée sur l'artère New York-Chicago, entre les villes de Fort-Waynes et de Chicago, dans la grande plaine qui précède l'arrivée dans la capitale du Middle-West.

Si la vitesse des grands rapides lourds n'excède pas pour l'instant le chiffre de 120 km/h sur les lignes françaises, rien n'interdit de dire que, du point de vue technique, le problème de la circulation d'une locomotive à quatre essieux couplés à plus de 120 km/h est résolu, même si cela peut soulever des problèmes de voies ou d'entretien d'ouvrages.

LE PROBLÈME DE LA VITESSE DES GRANDES LOCOMOTIVES

Et d'abord quelles sont les difficultés qu'on a pu rencontrer dans cette lutte pour la vitesse? C'est ce que nous allons indiquer brièvement en examinant la question pour la locomotive à vapeur en général, telle qu'elle a évolué au cours de ces dernières années dans le monde entier, aussi bien en France qu'à l'étranger, notamment en Amérique, en utilisant les progrès de la métallurgie et en perfectionnant le mécanisme.

Les problèmes rencontrés ont consisté surtout à limiter l'action des efforts verticaux, dus à l'influence des masses alternatives et de contreponds, et des efforts latéraux, dus au mouvement de lacet et à l'inscription des machines dans la voie.

LES EFFORTS VERTICAUX. LES MASSES EN MOUVEMENT ALTERNATIF

La locomotive à vapeur du type classique est composée de pièces, pistons et bielles, en mouvement alternatif. A grande vitesse, à 7 ou 8 tours de roue par seconde, le piston a une vitesse moyenne relative de 10 m par seconde. Les efforts d'inertie à fond de course atteignent des valeurs élevées qui, sur les grosses machines modernes, sont de l'ordre de 40 t. Pour atténuer les efforts sur le châssis, on place sur la roue un contreponds qui agit en sens inverse des efforts d'inertie du piston. Mais ce contreponds, s'il est très efficace aux fonds de course, donne, quand il passe par la verticale de l'essieu, un effort de force centrifuge qui tend à soulever la

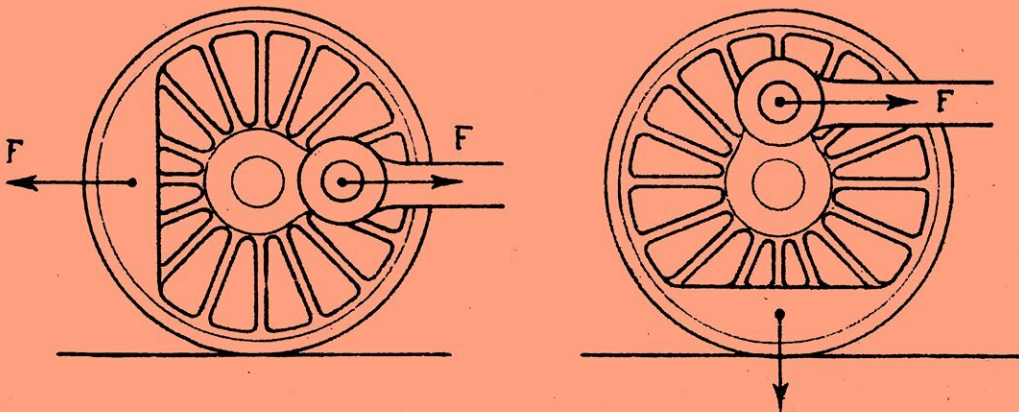
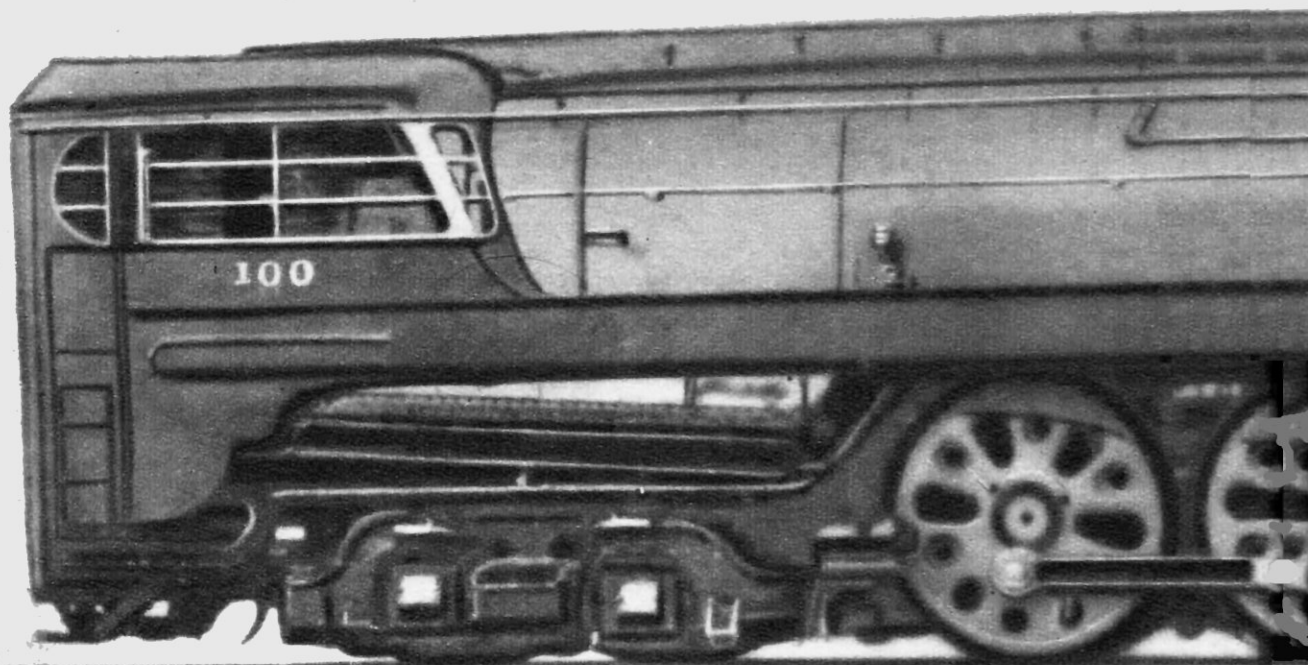
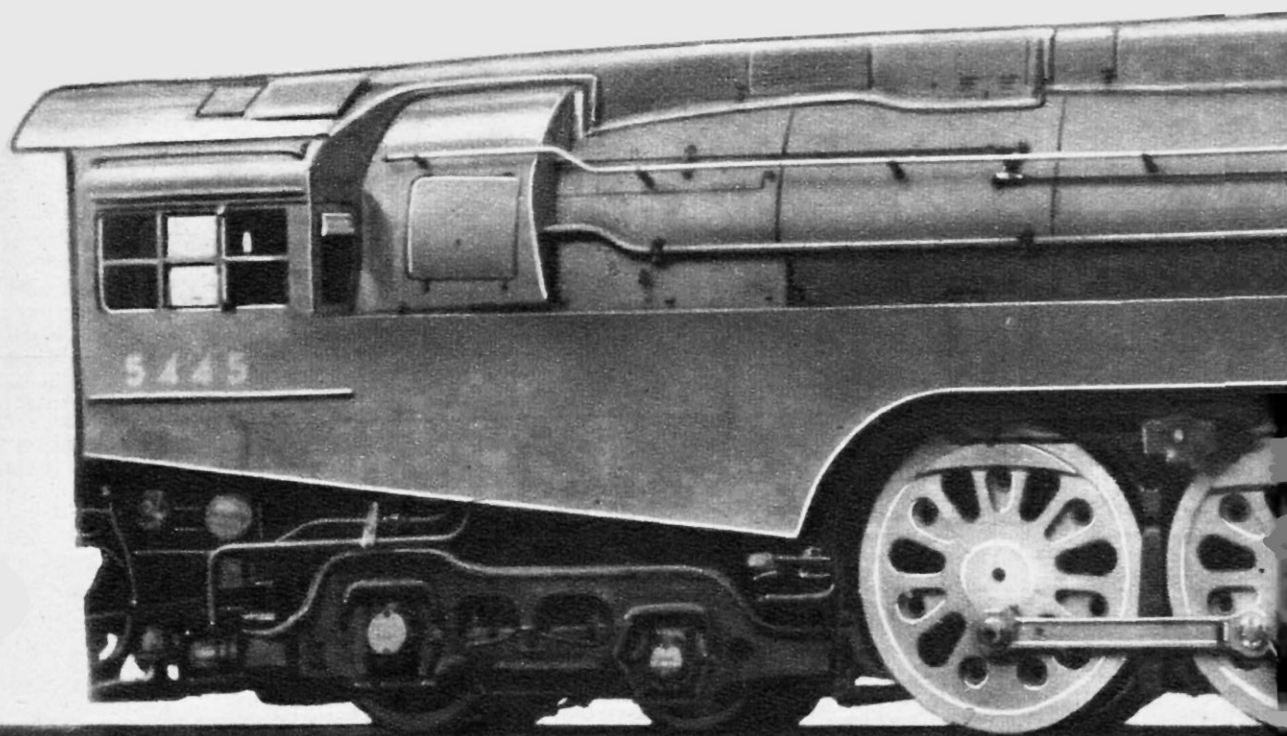


FIG. 37. EFFET HORIZONTAL ET VERTICAL DU CONTREPOIDS DES ROUES MOTRICES.

A gauche, la force centrifuge F équilibre la force F qui se développe par inertie au moment où le mouvement des masses en mouvement alternatif change de sens. A droite, la force centrifuge accroît la charge du rail au moment du passage du contreponds à la verticale. Lorsque le contreponds est en haut, cette même force centrifuge tend à soulever la roue. Il en résulte un martèlement qui s'avère très nuisible pour la voie.



↑ Fig. 38. LOCOMOTIVE TYPE 232 « HUDSON » construite par l'American Locomotive Company pour les trains « Hiawatha », les plus rapides du monde (ligne Chicago-Milwaukee-Saint-Paul), pesant 187 t (sans tender) et soutenant des vitesses de 160 km/h.



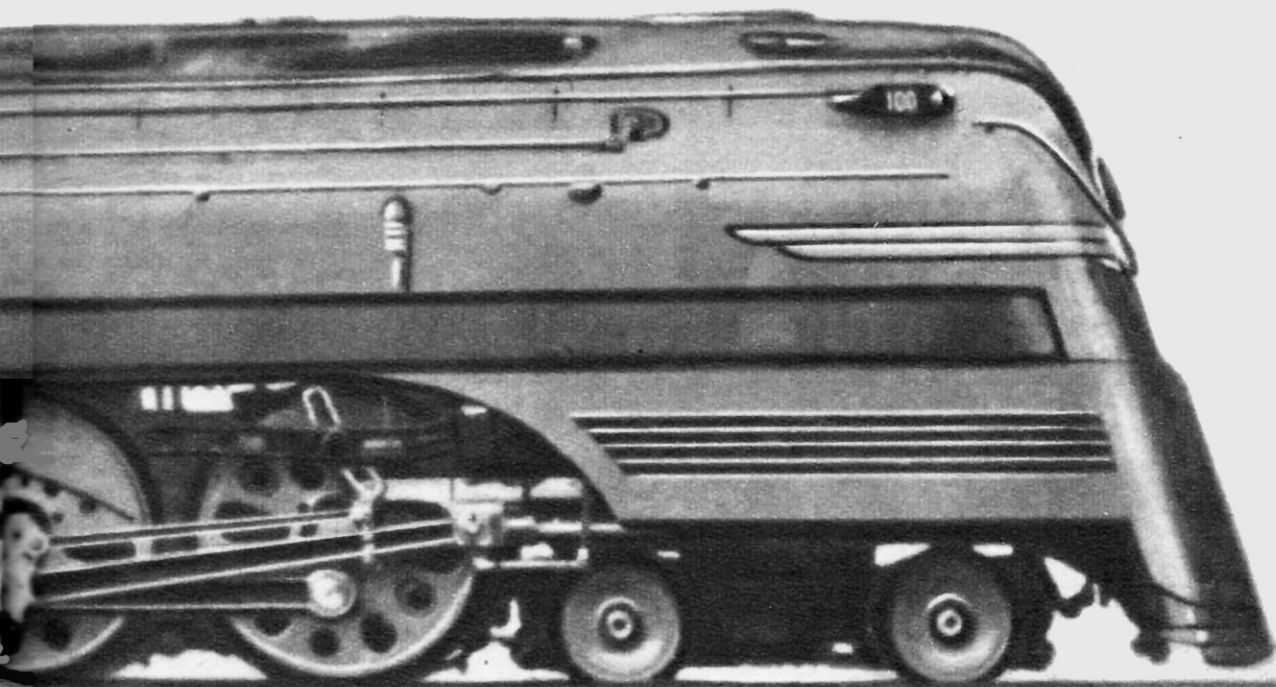
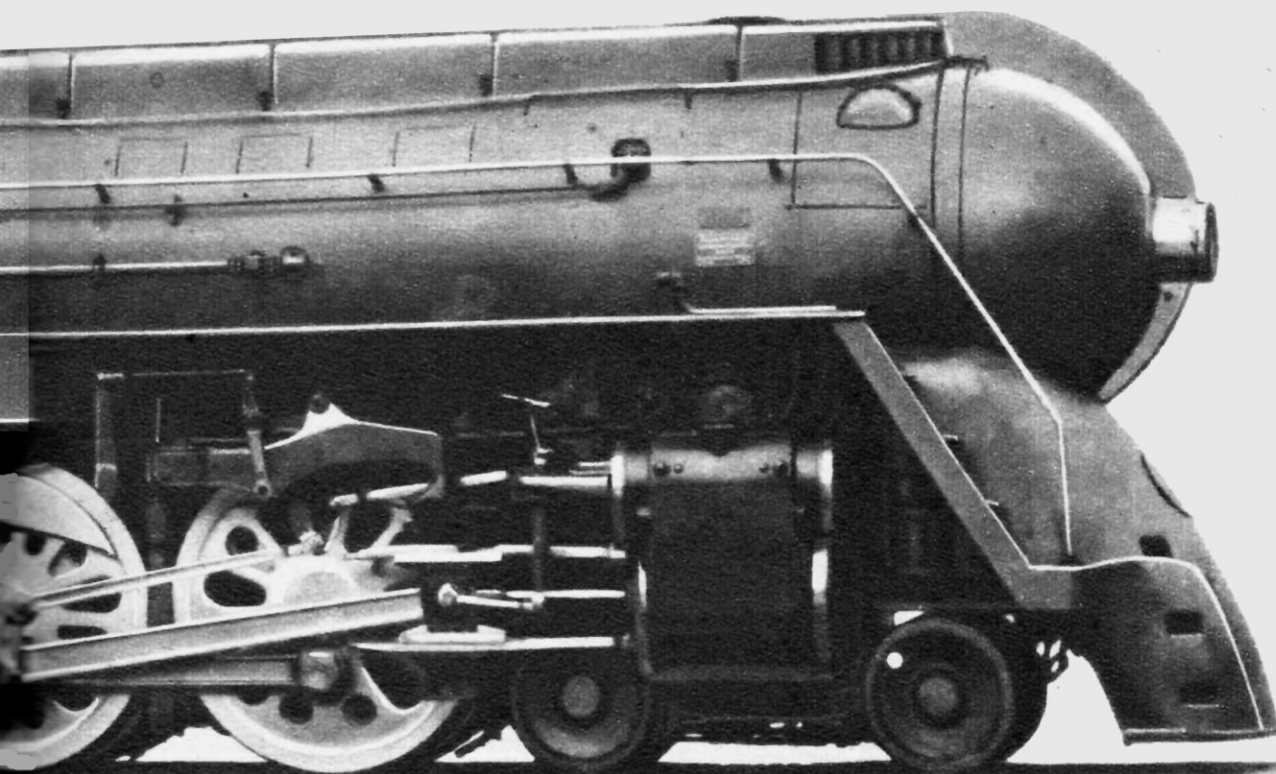


Fig. 39. LOCOMOTIVE TYPE 232 « HUDSON » construite par l'American Locomotive Company (Alco) pour les trains « 20th. Century Limited » du New York Central System (ligne de New York-Chicago), pesant 165 t (sans tender) et pouvant circuler à 160 km/h.



roue ou à l'appliquer plus fortement sur le rail, suivant qu'il passe en haut ou en bas de la verticale de l'essieu. C'est ce qu'on appelle l'effort dynamique ou « hammer blow » (fig. 37). Ces efforts dynamiques sont fonction du tour de roue. Ils sont très différents, comme on le verra, des efforts latéraux dont la période n'est pas liée au tour de roue.

En France et en Angleterre, où l'usage est souvent d'employer quatre cylindres, l'inconvénient de l'effet dynamique du contrepoids n'a jamais été grave, les cylindres se compensant deux à deux de façon à rendre presque inutile l'adjonction d'un contrepoids spécial pour masses alternatives ; même avec l'accroissement de la puissance et du poids des organes, le martèlement du rail ne dépasse pas 1 500 kg par roue ou 17 ou 20 % du poids de la roue sur le rail. Aux Etats-Unis, par contre, où on ne construit que des locomotives à deux cylindres extérieurs, les constructeurs ont rencontré des efforts verticaux très élevés. A certains moments et à très grande vitesse, il est arrivé que les roues appuyaient à peine sur le rail. Qu'on se rassure, il ne pouvait pas en résulter de déraillement, car les roues intéressées n'étaient pas celles qui avaient la charge de guider la machine, mais l'inconvénient était tout de même de faire varier considérablement l'effort vertical et de conduire à une sorte de martèlement de la voie.

La modernisation de la locomotive s'est faite par différents moyens : tout d'abord, on a limité l'équilibrage des masses alternatives et on s'est fié au châssis pour supporter les efforts d'inertie du piston. C'est ici qu'on a mis à profit le grand progrès de la fabrication des **châssis robustes en acier moulé ou en acier soudé** (1) qui sont très supérieurs

aux châssis rivés ; l'industrie française commence cette fabrication, surtout par soudure d'éléments découpés ou coulés séparément. En Amérique où le problème était plus difficile à résoudre pour la raison que les efforts développés y sont plus élevés, il a été résolu plus complètement qu'ailleurs, grâce au châssis moulé monobloc où l'ensemble entier des cylindres et du châssis vient d'une seule coulée de fonderie et qui est une des productions particulières aux Etats-Unis (la Société General Steel Casting Cy et l'Usine Commonwealth de Saint-Louis en ont une sorte de monopole). Les chemins de fer français viennent d'en introduire des spécimens avec 200 des locomotives 141-R américaines décrites par ailleurs. C'est la première fois que roulent en France des châssis de locomotive monoblocs. Ce grand progrès a été rendu possible par l'adoption d'un poids par essieu plus élevé que par le passé ; les chemins de fer français ont adopté, en effet, depuis 1943, le poids de 20 tonnes pour la plupart des lignes à trains de marchandises contre 18 tonnes antérieurement (sur les grandes lignes à voyageurs le poids admis désormais est de 23 tonnes par essieu).

Les dernières études faites en France réunissent les avantages offerts par l'emploi d'un châssis robuste et de plusieurs cylindres, ou plus précisément de trois cylindres. C'est ainsi que le type de locomotive 152, à roues de 1,650 m et à trois cylindres, ne développerait à 90 km/h, si on faisait rouler cette machine à cette vitesse très élevée pour une locomotive à marchandises, qu'un « coup de marteau » ou « hammer blow » de 1 500 kg par roue.

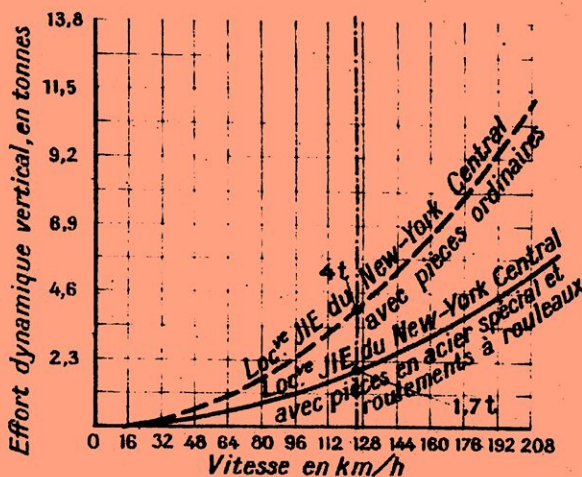
Cette solution, combinant à la fois la robustesse du châssis et la multiplicité des cylindres, paraît indiquée pour les machines très puissantes, puisque on vient de mettre en service aux Etats-Unis, pour la première fois, une machine de 6 000 ch pour rapides à quatre cylindres. C'est la locomotive 242 type T1 du Pennsylvania Railroad (fig. 35) qui a été construite en 1944-1946 à cinquante exemplaires. Cette disposition à quatre cylindres extérieurs a été employée déjà en France en 1932 sur les locomotives type 151-A de la Compagnie P.-L.-M. (fig. 41).

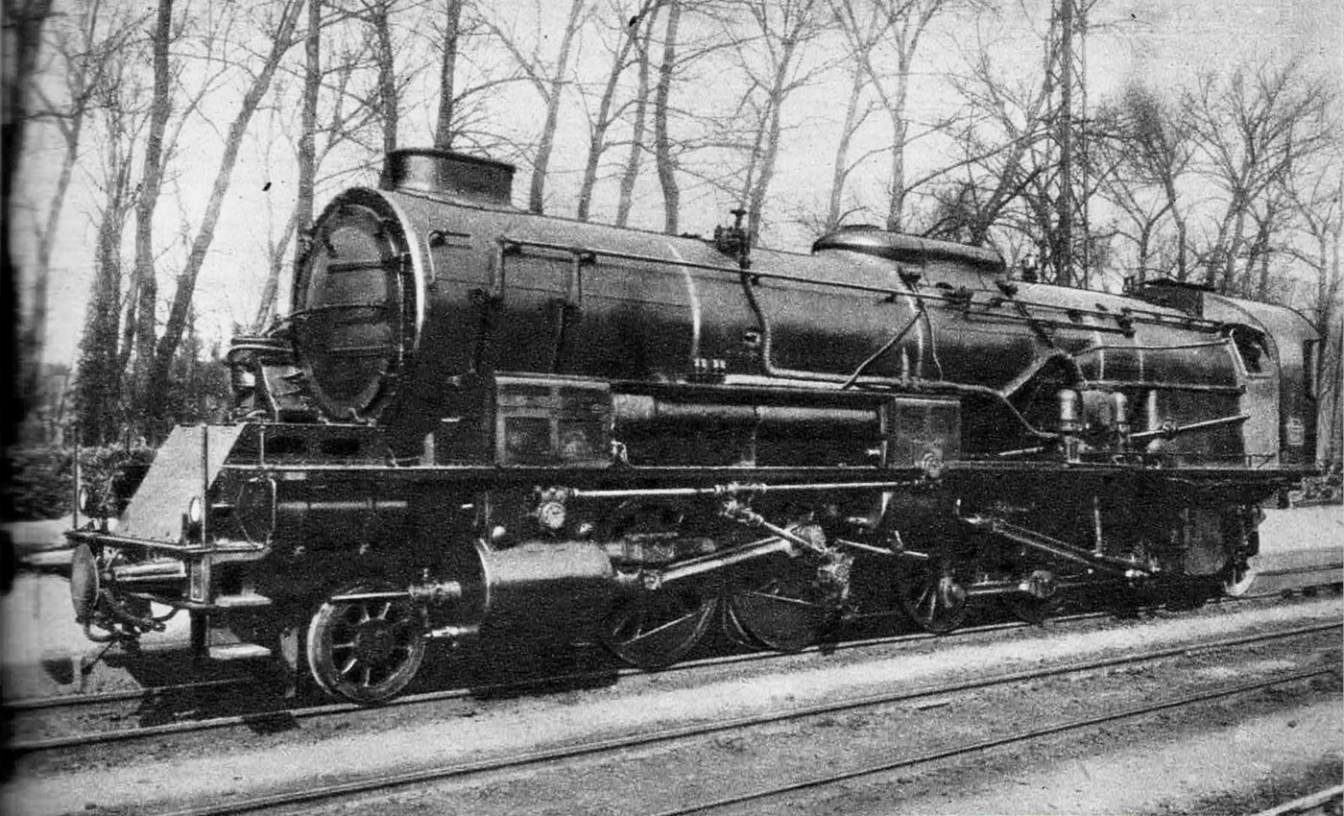
Continuant à passer en revue les solutions employées pour résoudre le problème des masses alternatives, indiquons qu'on peut aussi réduire les efforts dynamiques de ces masses par un moyen bien simple auquel le lecteur aura lui-même songé ; c'est tout simplement de diminuer le poids même des pièces en mouvement : ici intervient l'**usage des aciers spéciaux**, si répandu dans l'automobile et que la locomotive de vitesse met évidemment à profit.

Ainsi par la combinaison d'un châssis robuste de construction monobloc et de pièces en mouvement allégées, la machine à vapeur classique moderne répond à toutes les critiques concernant les efforts dyna-

(1) Voir page 16.

Fig. 40. EFFET DE L'ALLÈGEMENT DES PIÈCES SUR LES EFFORTS DYNAMIQUES





↑ Fig. 41. LOCOMOTIVE FRANÇAISE 151-A de 1932, sur laquelle les quatre cylindres furent pour la première fois installés à l'extérieur des longerons. Aux États-Unis, cette disposition fut inaugurée en 1945, sur la locomotive 242-T 1 du Pennsylvania Railroad.

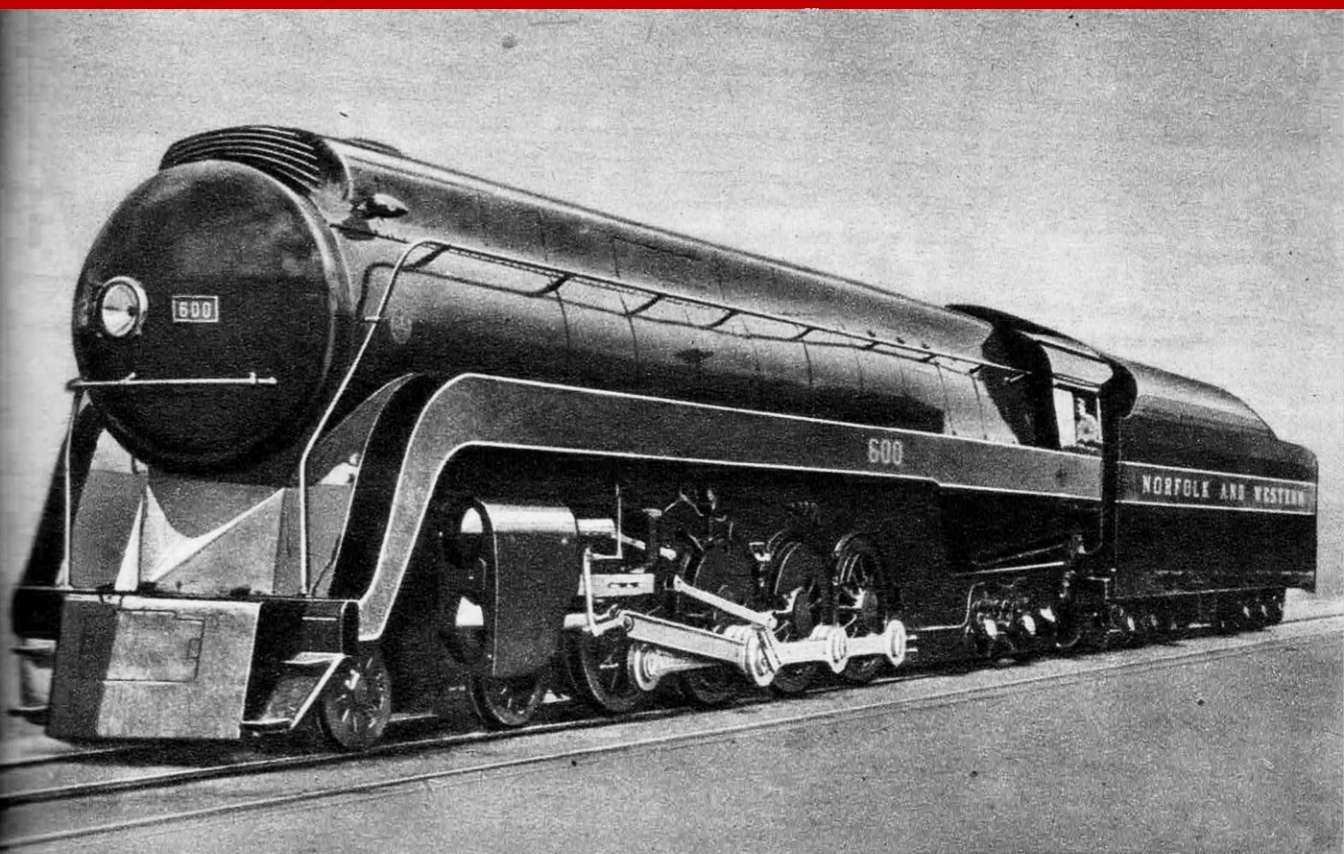
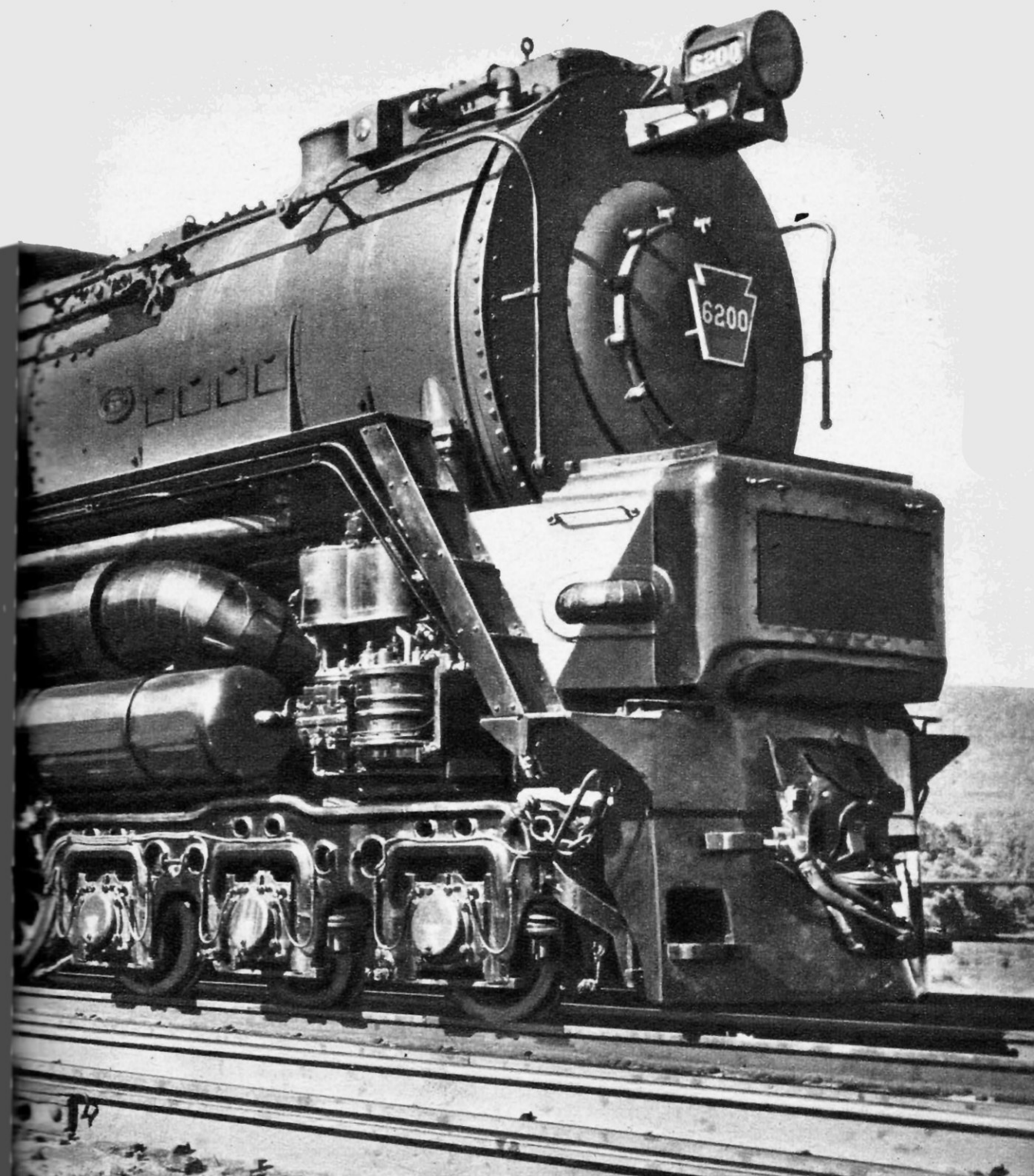


Fig. 42. LOCOMOTIVE AMÉRICAINE TYPE 242 du réseau Norfolk and Western. Construite en 1943, cette machine remorque des trains de 700 t sur le trajet Roanoke-Cincinnati (670 km). Malgré ses roues réduites (1,75m), elle circule à 160 km/h en certains points du réseau. ↑

LOCOMOTIVE AMÉRICAINE A TURBINES TYPE 343



Fig. 43. — Cette locomotive, construite par Baldwin et Westinghouse pour le Pennsylvania Railroad, est chauffée au charbon et comporte : sur le côté droit, une turbine principale pour la marche avant, d'une puissance nominale de 6 900 ch, tournant à 9 000 t/mn ; sur le côté gauche, une turbine plus petite pour la marche arrière, d'une puissance nominale de 1 500 ch, tournant à 8 300 t/mn. Elle pèse au total, avec son tender, 417 t (290 t pour la machine seule). Elle développe, en marche avant, un effort de traction de 32 t et en



marche arrière de 29 t. Sa longueur dépasse 37 m. Les roues motrices, munies de roulements à rouleaux, mesurent 1,75 m de diamètre et sont entraînées par l'intermédiaire d'engrenages à double réduction. La turbine principale comporte plus de mille ailettes en acier au chrome, dont la vitesse périphérique dépasse 1 100 km/h lorsque la locomotive atteint 160 km/h. Le maximum de puissance développée et le rendement optimum correspondent à 112 km/h. La conduite s'effectue à l'aide d'un levier unique réglant l'admission de la vapeur.

miques verticaux sur la voie, et a fait la preuve qu'elle peut rouler, à ce point de vue, à la vitesse de 160 km/h.

UN ÉQUILIBRAGE PARFAIT DES PIÈCES EN MOUVEMENT : LA LOCOMOTIVE A TURBINES

Une solution, qu'on peut dire parfaite, du problème considéré ci-dessus est fournie par la *locomotive à turbine à vapeur*; dans cette machine tout tourne rond

Des essais ont eu lieu tout récemment aux Etats-Unis avec la locomotive 343 du Pennsylvania-Railroad construite en 1944 par les usines Baldwin. Une locomotive Pacific 231 à turbine roule depuis une dizaine d'années en Angleterre sur le L. M. S. Enfin, les chemins de fer français ont fait l'essai, au cours de ces six dernières années, d'une locomotive 233 Schneider, à turbines individuelles, une sur chaque essieu.

Si nous mentionnons ici les locomotives à turbines, c'est qu'il semble bien que leur intérêt, et peut-être leur unique intérêt, est de supprimer radicalement à très grande vitesse les efforts que donnent les masses alternatives. On associe généralement à l'emploi de la turbine l'usage du condenseur. Après de multiples expériences dont la dernière ne s'est terminée que cette année (c'est celle de la locomotive à turbines et condensation de l'Union Pacific Ry). On a unanimement reconnu que la condensation ne présentait pas d'intérêt. Mais pour la réalisation de très grandes vitesses, et si on veut un jour rouler d'une manière soutenue à plus de 160 km/h et rouler couramment à 200 km/h, avec une locomotive à vapeur, c'est la turbine à vapeur qui fournira la meilleure solution.

LES EFFORTS LATÉRAUX. LE MOUVEMENT DE LACET

Il est certainement arrivé au lecteur dans une petite gare, où il attendait l'arrivée de quelque train omnibus, de voir passer devant soi un train rapide remorqué par une machine puissante et roulant, sans aucun ralentissement, même en courbe, et il a admiré l'aptitude de la locomotive à tenir sur ses rails et à se guider. Malgré le fracas qui accompagne le passage du train, la voie se retrouve intacte après ce passage. Machine et voie sont étudiées pour que les efforts latéraux qu'elles exercent l'une sur l'autre n'occasionnent aucune déformation.

Les recherches entreprises, notamment la mesure des efforts latéraux soit à l'aide de quartz piézoélectrique, soit à l'aide de barres d'acier élastiques, ont permis de surmonter les problèmes posés par l'allongement des machines. Ainsi, les locomotives à vapeur types 232 et 242 américaines circulent à 160 km/h. Les machines type 232 du

train « Hiawatha » reliant Chicago, Milwaukee et Saint-Paul roulent à 172 km/h.

L'équipement particulier des grandes machines pour la vitesse consiste dans la façon dont une machine est guidée dans la voie. Un engin qui roule avec des essieux munis de bandages coniques est animé d'un mouvement de lacet très régulier et de grande période qui le porte tantôt à droite, tantôt à gauche tous les 18 ou 20 m environ, suivant le véhicule. Plus on va vite, plus la pression latérale exercée par l'avant de la machine sur le rail sur lequel elle s'appuie est grande. Pour fixer les idées, l'effort de guidage peut atteindre 8 à 10 tonnes dans le cas d'une machine très longue, type 242. Cet effort est exercé par le dispositif qu'on appelle le « rappel ».

Un rappel idéal doit exercer un effort important en alignements droits ou courbes de grands rayons où la vitesse est élevée, et un effort faible pour le passage dans les courbes raides des dépôts que l'on franchit toujours à faible vitesse et où le problème du guidage ne se pose pas, ou tout au moins n'exige pas les mêmes efforts.

Dans une machine longue il convient en outre de répartir l'effort de guidage sur plusieurs essieux, car si, pour étaler l'effort latéral de 8 à 10 tonnes dont nous venons de parler, on se sert d'un seul bogie, il faut 4,5 tonnes environ par essieu ; si on se sert de trois essieux, il ne faudra plus que 3 tonnes environ par essieu. Tout le monde sait que le bogie à deux essieux, à déplacement latéral, a été, depuis son introduction en France, en 1889, le compagnon obligatoire de toutes les machines rapides.

Pour avoir un troisième essieu « directeur », on associe au bogie, dans son rôle de guidage, le premier essieu accouplé en lui permettant un déplacement latéral et en lui appliquant un dispositif de rappel. Cela semble paradoxal de donner à un essieu commandé par bielle un léger déplacement latéral. En fait, l'essieu l'accepte très bien. D'ailleurs, un très léger déplacement (20 mm) suffit. Un dispositif courant consiste en un ressort qui ramène l'essieu dans le milieu de la machine. Sur les grandes locomotives type 242 du North Western, la tension du ressort monté sur le premier essieu accouplé, varie entre 4 tonnes (effort initial) et 6 tonnes (effort pour le déplacement extrême de l'essieu), le poids par essieu étant de 25 tonnes.

Ces dispositifs, qui n'existaient pas sur les locomotives d'avant 1930, résolvent très élégamment le problème de la tenue à grande vitesse des machines longues.

On voit, par ces exemples, au prix de quelles recherches et de quels efforts dans le détail les grandes locomotives modernes arrivent à concilier tous les problèmes qu'elles posent pour elles la marche à grande vitesse, et notamment comment les machines « géantes » peuvent circuler à 120 km/h et plus sur les voies en exerçant leurs efforts avec toute la marge de sécurité voulue.

LA 242-A.1

L'effort des chemins de fer français s'est porté, au cours des années récentes, sur les locomotives capables d'assurer le service le plus général. Dans le chapitre suivant a été décrite la nouvelle série des locomotives type Mikado, 141-R, qui, avec la série également récente des 141-P, assume la traction d'une gamme étendue de trains allant des convois de marchandises roulant à la vitesse maximum de 70 km/h, aux express roulant à 105 km/h. Mais nous sommes au siècle de la vitesse. Les résultats d'exploitation obtenus en Amérique ont démontré que, même en concurrence avec l'avion, un grand train de 700 t, roulant à une moyenne de plus de 100 km/h était assuré du succès. Pour un tel service, la locomotive à vapeur a dû franchir une nouvelle étape de progrès qui a abouti, en France, à la création des 242-A.1 qui, avec leurs 5 000 ch environ, se classent parmi les plus puissantes d'Europe.

ENTRE 1911 et nos jours, le tonnage des trains rapides est passé de 380 t à 700 t et plus ; la vitesse moyenne, dans des pays comme les Etats-Unis, dépasse 100 km/h sur certains parcours. Les machines antérieures à 1935 n'auraient évidemment pu convenir à de tels services.

Pour nous en tenir à la France, depuis le type particulièrement réussi de la locomotive Pacific qui date de 1911 et a supporté si vaillamment la croissance du tonnage, grâce aux perfectionnements d'ordre thermodynamique qui ont marqué son évolution en 1930, on s'est aperçu qu'on ne pouvait obtenir la robustesse et l'endurance nécessaires sans accroître les dimensions de la chaudière et le poids du châssis.

C'est pourquoi, dès 1939, une machine 232 à deux essieux porteurs à l'arrière (la Pacific 231 n'a qu'un essieu porteur à l'arrière) a été mise en service à quelques exemplaires ; l'un d'eux, achevé sur le type d'une machine à tiroirs, a été muni de perfectionnements très récents tels que des paliers à rouleaux sur tous les essieux et sera en service sous cette nouvelle forme à la fin de 1947.

C'est pourquoi, aussi, ayant eu l'occasion de refondre la locomotive 241, type Mountain, les Chemins de fer français ont été amenés

à établir, en avril 1946, une machine à deux essieux porteurs arrière, prototype de machine de vitesse à grande marge de puissance, type 242, que nous allons décrire.

La machine 241 ayant accusé en 1938 des avaries de cylindres importantes, une modification profonde s'imposait. Les études de M. Chapelon, le spécialiste universellement connu de la traction à vapeur, ont conduit à faire l'essai de la disposition à trois cylindres compound qui est la caractéristique principale de la machine, en apportant par ailleurs les renforcements nécessaires. On notera les formes ramassées de la nouvelle machine (fig. 45). Sa longueur est la même que celle de la machine 241 dont elle provient. Ses roues, très dégagées, ont, comme la machine antérieure, un diamètre de 1,950 m, diamètre normal de roues de rapides.

LES SOLUTIONS NOUVELLES : TROIS CYLINDRES " COMPOUND "

La disposition la plus originale de la 242-A.1 est la présence de trois cylindres. La machine possède, en effet, un seul cylindre haute pression (20 hpz), placé à l'intérieur des longerons, et deux cylindres basse pression à

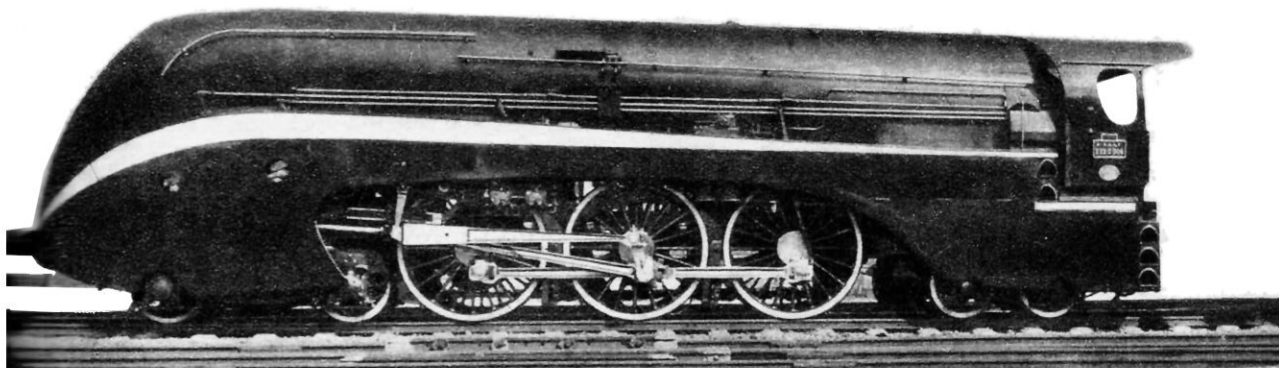
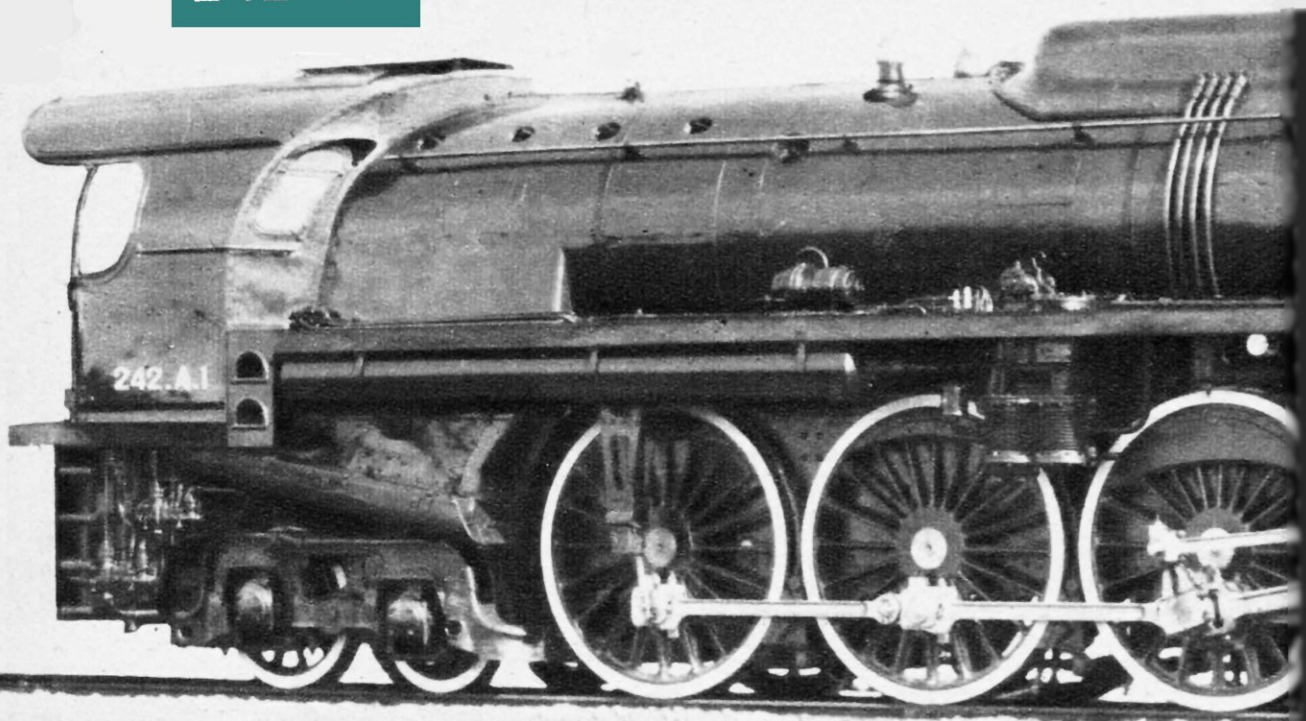


Fig. 44. LOCOMOTIVE FRANÇAISE 232 INAUGURÉE EN 1939 SUR LE RÉSEAU DU NORD



l'extérieur. Les manivelles actionnées par les pistons des cylindres basse pression sont calées à 90° l'une de l'autre, tandis que celle de la haute pression est placée suivant la bissectrice des deux manivelles extérieures.

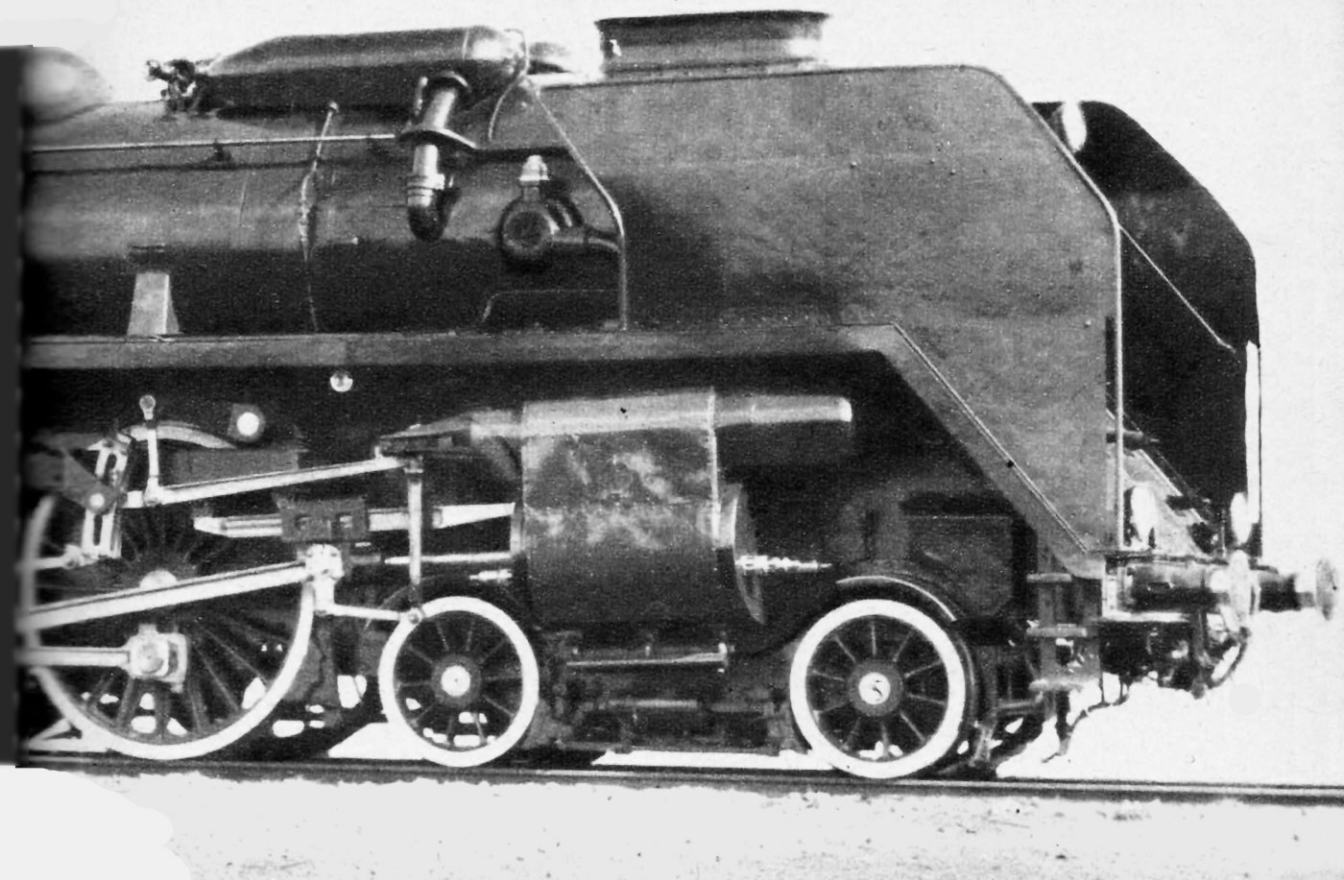
La disposition à trois cylindres compound est assez nouvelle et n'a guère été essayée pour une machine de grande puissance qu'aux Etats-Unis où la Société Baldwin avait construit en 1926 une locomotive dénommée n° 60 000 du type 251 à grille de 7,90 m² et timbrée à 24,6 kg/cm². Essayée au banc d'Altoona, elle avait développé 3 600 ch. Malgré les bons résultats obtenus tant du point de vue de la puissance que du rendement, cette machine, dont la chaudière à tubes d'eau se situait en marge des procédés habituels suivis en Amérique, ne fut pas reproduite. On rencontre toutefois un nombre notable de compound à trois cylindres du système Smith, en Angleterre, sur le réseau London Midland and Scottish.

C'est surtout sous la forme de machine à quatre cylindres que la machine compound s'est développée. La machine à trois cylindres compound est une nouveauté. Pourquoi trois cylindres au lieu de quatre ? C'est parce qu'il est devenu difficile, dans une machine puissante, de placer deux cylindres à l'intérieur des essieux et qu'il est préférable, pour des raisons de solidité, d'avoir un essieu coudé à un seul coude plutôt qu'un essieu coudé à deux manivelles. On peut ainsi

donner à un tel essieu à un seul coude des dimensions particulièrement massives. La machine à trois cylindres reste encore très bien équilibrée et, du point de vue de la fatigue mécanique des organes aux grandes vitesses, représente pour une machine puissante une solution harmonieuse. C'est sur le type à trois cylindres que la plupart des réseaux d'Europe ont conçu leurs locomotives les plus récentes. Sans remonter aux machines d'avant-guerre construites entre 1930 à 1940 par l'Allemagne, signalons que la machine Pacific dernière née des réseaux anglais, la 231 du Southern Railway, désignée sous le nom de « Merchant Navy », est également une machine à trois cylindres.

En France, où la recherche de l'économie de combustible a fait pousser l'étude de la double expansion, on a naturellement cherché à faire bénéficier la nouvelle machine à trois cylindres de la disposition compound sans complication supplémentaire, ce qui représente un double avantage : la simplification due au passage de quatre à trois cylindres et l'économie classique de la double expansion.

Il était particulièrement indiqué de réaliser une machine compound. En effet, les Chemins de fer français ont mis au point depuis 1930 des locomotives où les cylindres basse pression jouent effectivement leur rôle et ces cylindres produisent sur les machines modernes toute leur part de travail. Il n'en a



pas toujours été ainsi, comme on le sait. Sur la locomotive 242-A.1, on est arrivé au résultat très remarquable de faire admettre aux cylindres basse pression une vapeur sous 6 hpz à tous les régimes, et d'obtenir que les cylindres en question fournissent la moitié de la puissance totale.

La nouvelle machine utilise tous les résultats des recherches antérieures sur l'intérêt des larges conduits de vapeur et des larges réservoirs de vapeur pour alimenter les cylindres. A titre d'exemple, le réservoir intermédiaire qui alimente les cylindres basse pression a un volume de 815 litres, soit presque le double de l'ensemble des deux cylindres. Il en est de même de la boîte à vapeur haute pression qui mesure 430 litres pour un cylindre haute pression de 203 litres.

L'échappement est du type Kylchap à grande section. C'est le premier exemple d'application d'un échappement triple à une locomotive (fig. 46).

LA CHAUDIÈRE

La surface de la grille n'est que de 5 m², comme sur la 241, mais son efficacité a été accrue par le remplacement du stoker de type ancien débouchant sous la grille, par un stoker de type récent débouchant dans le gueulard. La surface de chauffe a été en outre augmentée par l'adjonction de deux siphons. Mentionnons enfin que le volume du foyer

atteint 9,88 m³, grâce à une chambre de combustion importante et que ce volume de foyer est particulièrement élevé, le rapport du volume du foyer à la surface de grille étant égal à 1,97, chiffre assez rarement atteint sur les locomotives à foyer large. Notons en passant qu'un tel foyer se prêterait bien à la chauffe au mazout qui, comme on le sait, est à l'ordre du jour et dont le bon fonctionnement est lié au grand volume de la chambre de combustion.

Cette chaudière est également intéressante par la longueur de son faisceau tubulaire (6,320 m) et par son surchauffeur, qui, du type Houlet, permet d'obtenir une haute surchauffe d'environ 400°C.

La locomotive comporte une vanne d'extraction en marche qui permet d'effectuer le traitement intégral de l'eau d'alimentation. Mis en service depuis 1940 sur la S. N. C. F., il a une action prépondérante pour le maintien en bon état de la chaudière. Nous ne pouvons exposer ici le principe de ce traitement, appelé T. I. A. (traitement intégral Armand) et des considérations chimiques qui peuvent en expliquer l'intérêt parmi tous les procédés qui existent. Avant tout, le traitement empêche les dépôts de tartre. C'est grâce à l'emploi d'eau traitée que les réparations peuvent s'espacer. On sait combien l'entartrage est un ennemi de la chaudière des locomotives et en empêche l'utilisation intensive.

La machine a subi d'importants renforce-

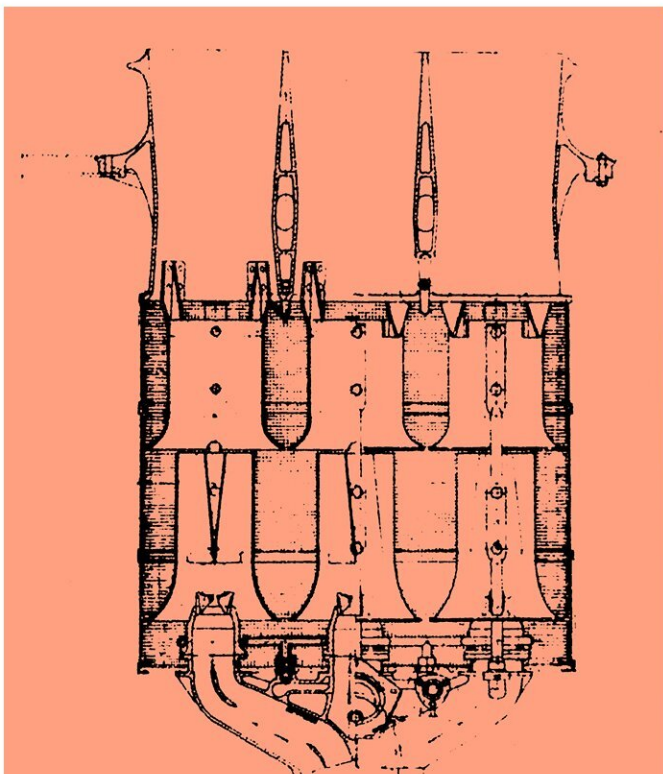


Fig. 46. ÉCHAPPEMENT TRIPLE KYLCHAP
présentant un encombrement moindre en largeur qu'un échappement double ou unique de même capacité.

ments de châssis : les deux longerons ont été reliés par des caissons en acier soudé. Une tôle horizontale relie la partie supérieure des longerons et donne une très grande rigidité au châssis. C'est surtout dans ce renforcement du châssis qu'a résidé l'augmentation de poids de la machine qui a passé de 128 t à 148 t et qui a nécessité un essieu porteur supplémentaire à l'arrière.

UN BOGIE NOUVEAU MODÈLE

Le bogie avant a été muni d'un rappel par rouleaux, et l'action de plans inclinés ramène la machine dans l'axe de la voie. On sait combien le problème du rappel en question est important pour la circulation à grande vitesse d'une machine d'aussi grande dimension. On a vu plus haut que c'est là précisément un des problèmes de la machine à grande vitesse. Il faut disposer d'un effort de rappel élevé et en même temps éviter que cet effort ne croisse et ne devienne trop fort dans les courbes de faible rayon. Dans le cas de la locomotive 242-A.1, les surfaces inclinées sur lesquelles roulent les rouleaux de rappel ont été dessinées de telle sorte que, lorsque le déplacement du bogie approche de son maximum (déplacement supérieur à 115 mm), l'effort de rappel, qui est de 10 t initialement, tombe à 6,7 t. Cette disposition permet les évolutions de la locomotive dans les courbes raides des dépôts.

LE DÉMARRAGE

Le démarrage s'effectue avec prédominance marquée de l'effort des cylindres basse pression dont l'action se rapproche alors de celle d'une machine à simple expansion à deux cylindres extérieurs cales, comme sur cette machine, à 90° l'un de l'autre.

Pour cela, on introduit la vapeur directement dans le réservoir intermédiaire à une pression qui peut atteindre 14 hpz, sans se servir d'obturateur de démarrage du type classique pour mettre le cylindre haute pression à l'échappement direct.

LE GRAISSAGE

Le graissage, dans une machine puissante dont on veut tirer un service intensif, est un élément dominant. L'expérience a été concluante aux Etats-Unis où le parcours des locomotives à vapeur construites ces dernières années atteint, par machine et par mois, le chiffre énorme de 30 000 km, grâce à de nombreux perfectionnements, au nombre desquels il faut compter l'amélioration du graissage.

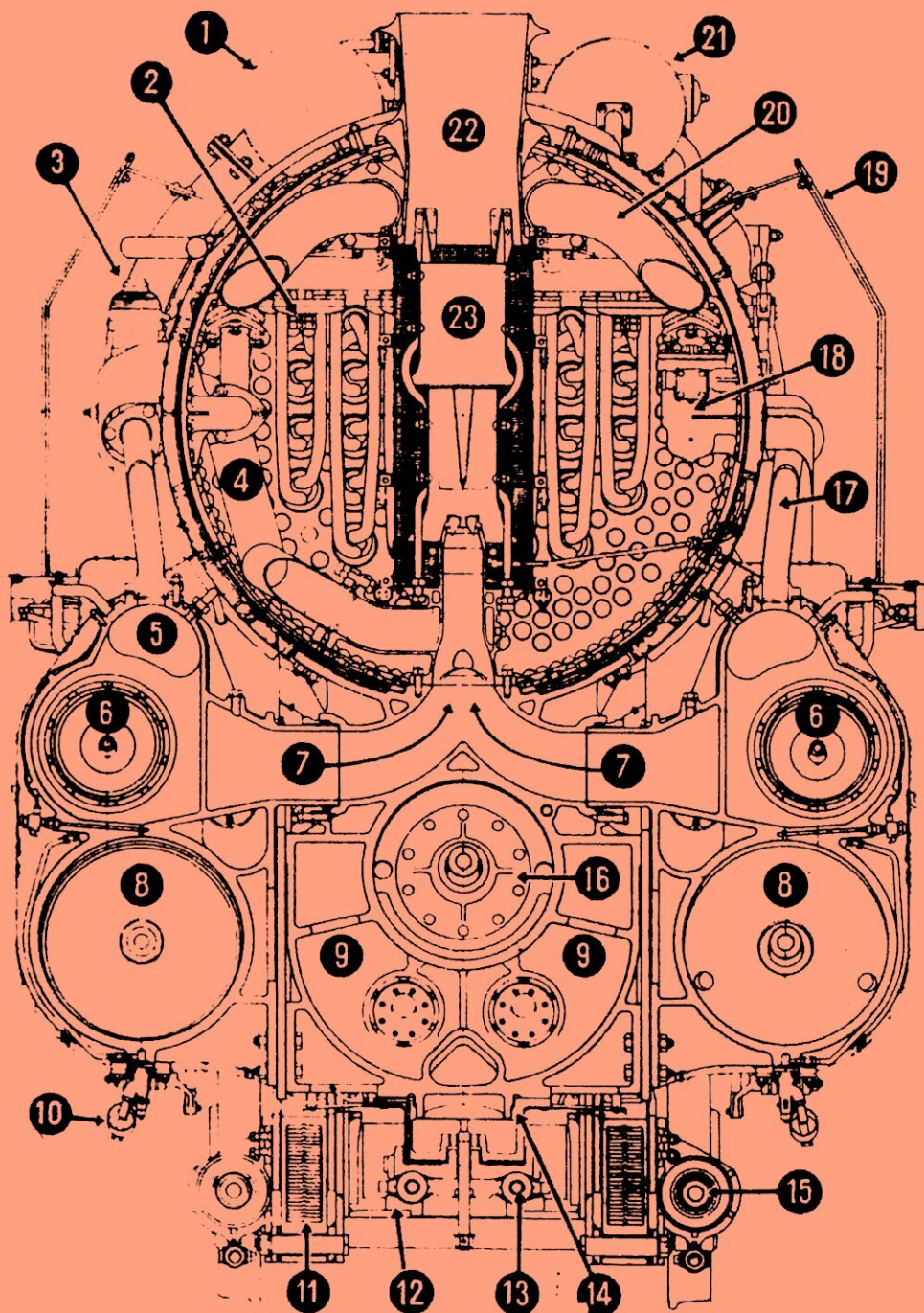
La locomotive 242-A.1 est alimentée par trois graisseurs mécaniques, l'un à 20 départs pour les cylindres, les deux autres à 20 départs chacun pour le mécanisme. Si abondant que soit le graissage assuré par ces distributeurs, il reste nécessaire, dans la locomotive à vapeur, de graisser un très grand nombre de points à la main.

Il est probable qu'on entrera de plus en plus dans la voie du graissage à la graisse, et qu'au lieu de l'antique burette que le mécanicien promène autour de sa machine, on utilisera de plus en plus des dispositifs analogues au système Tecalemit bien connu des automobilistes. Dans les dépôts les plus récents d'Amérique, sur le réseau Norfolk and Western, par exemple, le travail des graisseurs s'effectue absolument comme dans une station-service.

LES RÉSULTATS OBTENUS

La locomotive 242-A.1 a répondu déjà à ce qu'on attendait d'elle. Il faut attendre des mois, voire des années, pour mettre en évidence les qualités d'endurance et de robustesse d'une locomotive, mais en ce qui concerne la marge de puissance, la facilité de conduite, on peut déjà dire qu'un résultat des plus intéressants est acquis. Mise en service sur des trains difficiles comme les rapides Paris-Dijon ou les express de la transversale Lyon - Saint-Etienne - Saint-Germain-des-Fossés, où les rampes atteignent 14 mm par mètre, la machine a montré à la fois ses

Fig. 47. COUPE DE LA 242-A. I



1. Réchauff^r d'eau d'alimentation.
2. Éléments surchauffeurs.
3. Soupape de sûreté de boîte à vapeur BP.
4. Captation de vapeur du réchauff^r.
5. Boîte à vapeur BP.
6. Tiroir BP.
7. Vapeur d'échappement BP.
8. Cylindre BP.

9. Boîte à vapeur HP. et : Tiroir HP. (Pour des raisons d'encombrement, le tiroir HP est dédoublé.)
10. Purgeurs de cylindres BP.
11. Ressort de suspension.
12. Plan incliné de rappel du bogie.
13. Rappel du bogie.
14. Pivot de bogie.

15. Cylindre de frein du bogie.
16. Cylindre HP.
17. Admission directe BP.
18. Régulateur BP.
19. Défecteur.
20. Tuyau d'admission HP.
21. Réchauff^r d'eau d'alimentation.
22. Cheminée.
23. Échappement.

qualités de puissance et de tenue en ligne.

Au train 51 de Paris à Dijon du 24 juillet 1946, la machine remorquant 701 tonnes atteignait déjà la vitesse de 155 km/h au passage à Villeneuve-Saint-Georges. Malgré un arrêt aux Laumes, au début de la rampe de 30 km qui mène au seuil de Blaisy, le train a passé le sommet de la rampe à la vitesse de 109 km/h en développant une puissance au crochet de plus de 4 000 ch (exactement 4 093 ch, puissance au crochet ramenée en palier).

Aux trains de Lyon - Saint-Etienne, la puissance au crochet a atteint couramment 3 200 ch à des vitesses variables allant de 60 à 100 km/h. Voici quelques relevés effectués au train 1 042 du 19 juillet 1946 avec 14 voitures pesant 600 tonnes :

— En rampe de 13,9 mm par m, entre les points kilométriques 521 à 515, la puissance a été de 3 250 ch à 66 km/h. La surchauffe atteignait 394° ;

— En rampe de 5,5 mm, entre les points kilométriques 418 à 410, la puissance a été de 3 378 ch à la vitesse de 97 km/h. La surchauffe atteignait 379°. Enfin, la puissance maximum a été de 4 081 ch à 72 km/h en rampe de 13,7 mm/m.

La consommation au kilomètre a été de l'ordre de 25 kg et, par 100 t-km brutes, de 4,4 kg.

Les puissances relevées ci-dessus classent la nouvelle machine à vapeur parmi les plus

puissantes d'Europe, sinon la plus puissante, elles correspondent à une puissance indiquée, ou puissance du moteur, de l'ordre de 5 000 ch. On voit de quelle marge cette machine peut disposer en service courant, et que cet excédent doit se traduire finalement par une grande robustesse en service. Notons ici l'intérêt primordial qui s'attache à l'excédent de puissance des machines. L'endurance d'un matériel réside dans la charge modérée des organes, c'est-à-dire le facteur « charge ». On sait le rôle prépondérant du facteur « charge » dans l'aviation de transport où les moteurs ne développent en croisière que le tiers de leur puissance maximum. Pour nous en tenir à l'exemple plus voisin de l'automobile, les voitures américaines, dont l'endurance est bien connue, utilisent à 110 km/h la moitié seulement de leur puissance. La nouvelle locomotive 242-A.1 permettra d'obtenir cette marge de puissance si désirable les puissances moyennes couramment demandées en régime continu étant de l'ordre de 2 000 ch au crochet, ou 2 800 ch indiqués, pour les trains considérés, avec bien entendu des pointes de puissance plus élevées mais non prolongées.

Quoi qu'il en soit, il est intéressant de noter que la disposition nouvelle à trois cylindres compound essayée sur cette machine se montre satisfaisante et constitue un succès pour la technique française.

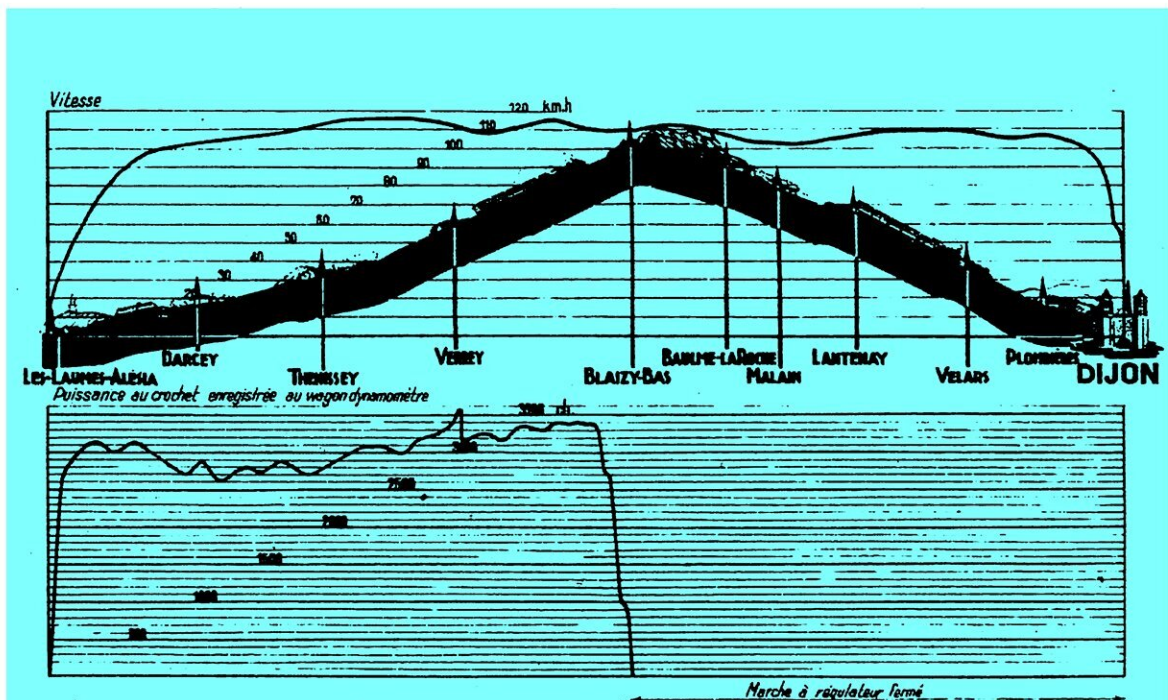


Fig. 48. VITESSES ET PUISSANCES ATTEINTES PAR LA LOCOMOTIVE 242-A.1 remorquant un train de 762 t sur la section Les Laumes-Dijon de la ligne Paris-Dijon.

LA 141-R

Il a fallu la guerre et ses désastreuses démolitions pour que se réalise ce fait, unique dans l'histoire du chemin de fer et triomphe de la standardisation : la mise en service sur un même réseau de 1340 locomotives neuves, du même type, dotées d'organes principaux identiques. Il s'agit de la locomotive mixte type 141-R, commandée par le gouvernement français aux Etats-Unis et dont les premiers exemplaires sont parvenues en France dès novembre 1945. A la fin d'avril 1947, il en avait été débarqué 1 207. La locomotive 141-R ne doit pas être confondue avec les machines plus petites, type 140, débarquées par l'armée américaine à plus d'un millier d'exemplaires après juin 1944 et qui se sont dispersées à travers l'Europe. Ces machines 140, à 16 t par essieu, étaient de puissance assez réduite et construites pour la guerre. La locomotive 141-R, à 20 t par essieu, répond au contraire aux exigences d'un service normal et prolongé, peut développer 2 500 ch à la jante à 90 km/h et groupe de nombreux perfectionnements parmi les plus récentes acquisitions de la technique de la vapeur appliquée à la traction sur rail.

LA commande française aux Etats-Unis des locomotives 141-R est due à une initiative du gouvernement d'Alger, prise en pleine guerre, au début de 1944, avant le débarquement de Normandie. Une mission d'ingénieurs, venue d'Algerie, se trouvait en Amérique. Elle s'est demandé ce que serait la France au cours des opérations prévues et après la guerre, avec ses chemins de fer démolis ou amputés par l'ennemi. Elle a pu faire admettre par l'Armée américaine, dispensatrice du « prêt-bail », que la France avait un premier besoin de 700 machines, puis un besoin ultérieur de plusieurs autres centaines de machines.

Les premiers projets relatifs à cette nouvelle locomotive, du type 141, ont été apportés à la France en juillet 1944, peu de jours après le débarquement de Normandie. Une mission d'ingénieurs des chemins de fer français est partie en avion, en novembre 1944, pour donner outre-Atlantique les précisions nécessaires.

Les firmes Baldwin, American Locomotive Cy et Lima Locomotive Cy se sont mises au travail. La commande a été passée au début de 1945, en pleines opérations militaires, et l'étude entreprise par Baldwin pour l'ensemble des usines, sur les directives des représentants de la S. N. C. F., commencée en février 1945. Cinq mois après, dans un temps record, la première locomotive 141-R était inaugurée aux Ateliers Lima, en juillet 1945.

La 141-R est une locomotive à quatre essieux couplés : un essieu porteur à l'avant et un essieu porteur à l'arrière. Son diamètre de roues (1,650 m) en fait la machine mixte par excellence, capable de remorquer des trains de marchandises ou des express jusqu'à 100 km/h, avec des charges qui atteignent, pour les trains de marchandises, 1 500 t en profil facile, 1 100 t en profil plus difficile

avec rampes de 8 à 10 mm par m, 700 ou 500 t pour les trains express, suivant les rampes.

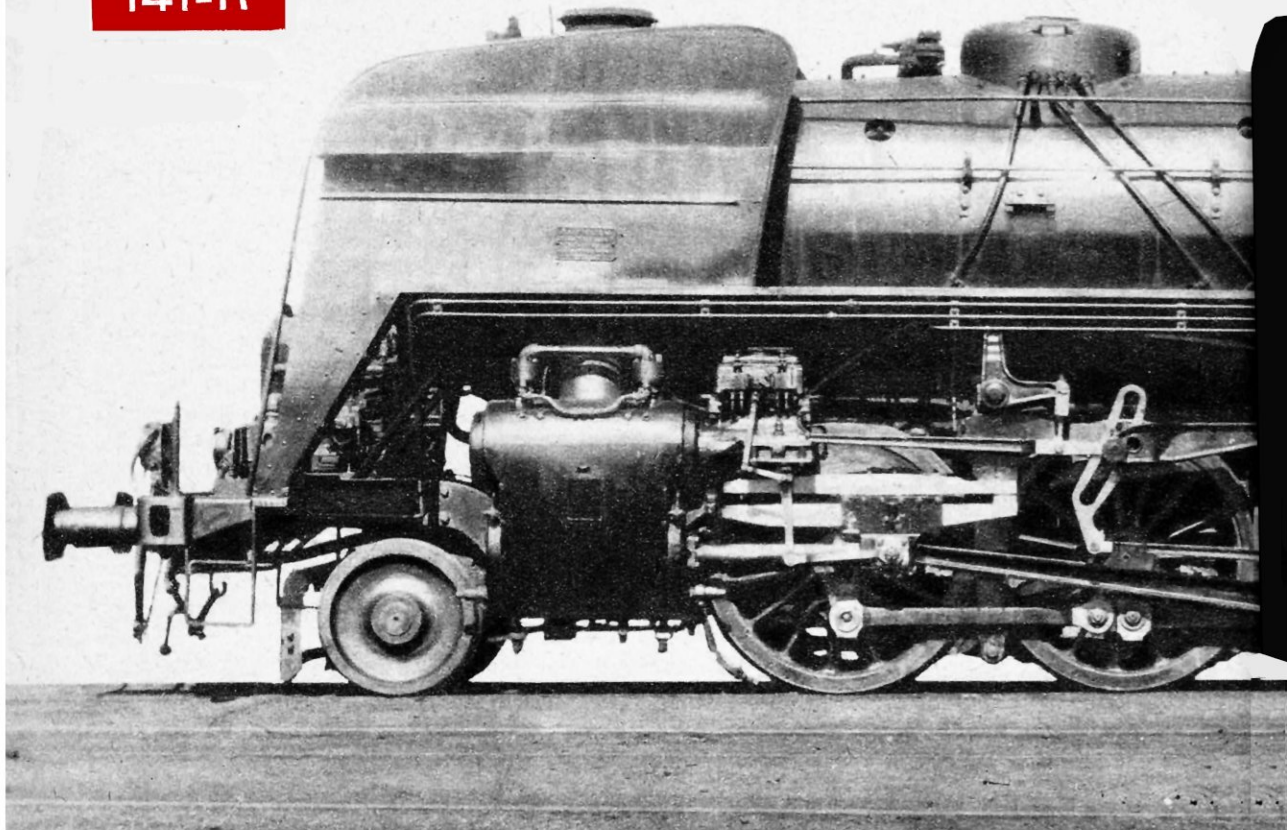
LA CHAUFFE

C'est une machine à grande chaudière (surface de grille de 5,16 m²) timbrée à une pression de 16 hpz (1), pression convenant à une machine à simple expansion, car la locomotive est à deux cylindres extérieurs, à simple expansion, comme le sont les locomotives américaines. Ce qu'il faut noter en particulier dans cette machine, ce sont les dispositifs qui permettent une conduite aisée sans fatigue pour le personnel et qui marquent la tendance générale qu'on peut observer dans la mécanisation moderne du travail ; stoker ou chargeur mécanique, large abri confortable, commande par servo-moteur du changement de marche, etc.

La *chaudière* est du type dit « américain », déjà très répandu en France, avec l'entretènement entre foyer et boîte à feu du type « rayonnant ». Son foyer est en acier soudé. Par ses dimensions, la chaudière des 141-R se place parmi les plus larges qui soient en service, et est de même importance que celle des machines Mountain (241) françaises. Elle comporte des appareils de circulation d'eau placés dans le foyer même, appelés « siphons thermiques Nicholson » qui améliorent la circulation de l'eau, si nécessaire pour une chaudière aussi poussée que celle d'une locomotive. La chaudière de 5,16 m² de cette locomotive peut arriver, en régime continu, à produire 20 tonnes de vapeur à l'heure, en brûlant 770 kg de charbon par m² de surface de grille et par heure. Son régime courant de 12 tonnes à l'heure correspond à une combustion de 370 kg de charbon

(1) Un hpz (hectopéze) vaut 1,02 kg/cm².

141-R



par m², et donne une puissance de 1 700 ch à la jante de la machine. Le siphon, qui supporte la voûte en briques, joue également un rôle intéressant en cas accidentel de baisse du plan d'eau dans la chaudière ; il s'oppose au « coup de feu » et accroît la résistance du ciel de foyer à l'affaissement. Le siphon américain a été introduit depuis 1930 sur les Pacific type P. O. et sur les Decapod.

type Nord 150-P, avec un seul siphon par machine.

On n'aura que les dimensions de la chaudière des 141-R ont conduit à *mettre, pour la première fois sur les machines françaises, deux siphons côte à côte*. C'est aussi le cas de la machine 242-A. 1 de la S. N. C. F., décrite d'autre part.

Large chaudière et cylindres à simple

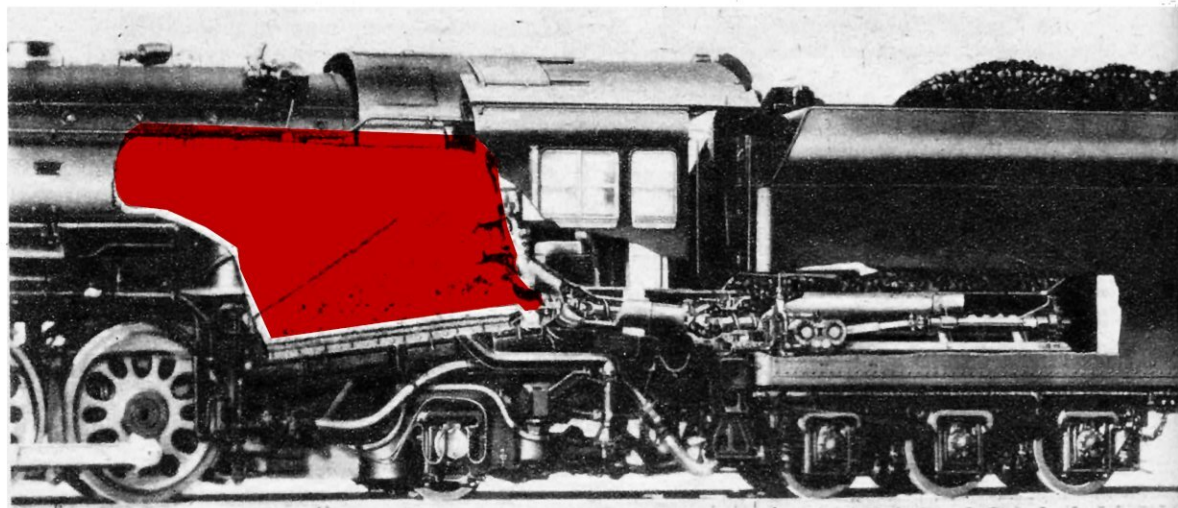
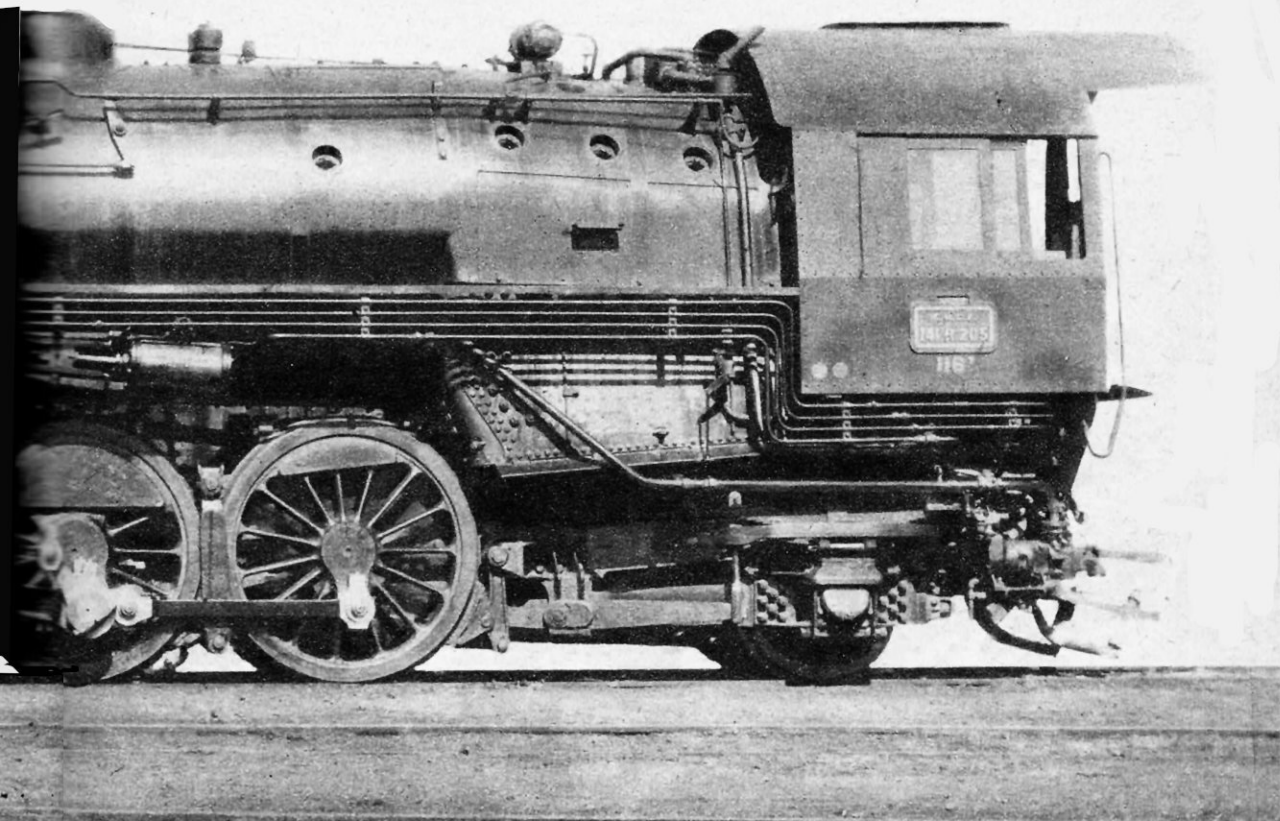


Fig. 50. LE STOKER, ou chargeur mécanique de charbon, en action sur une locomotive 141-R. Le charbon, amené et concassé par une vis sans fin mue par un moteur, est projeté sur la grille par un jet de vapeur.



expansion sont une caractéristique de la construction américaine. On a l'habitude également, en Amérique, de *larges abris*, très confortables, où le mécanicien se trouve assis dans un siège avec dossier, véritable fauteuil, où il conduit avec les organes de commande à portée de sa main, à tel point qu'il ne pourrait pas conduire debout, faute de visibilité dans cette position. La 141-R possède un abri de ce genre.

Le chauffeur aussi peut faire son métier dans un fauteuil : en effet, un *chargeur mécanique*, ou *stoker*, conduit le charbon par une vis d'Archimède, depuis le tender jusque dans le foyer, et le transport du charbon, comme sa répartition dans le foyer, se règle par de simples robinets de vapeur.

Bien que d'un type très classique, la 141-R comporte cependant un certain nombre de perfectionnements, que l'on rencontre en France pour la première fois.

CHASSIS MONOBLOC

Le châssis d'une locomotive est, généralement, constitué de pièces assemblées par boulons et rivets ; mais on a réussi aux États-Unis à fabriquer, d'une manière courante, des châssis en acier moulé où les cylindres mêmes sont venus de fonderie avec le châssis. Ainsi disparaissent tous les points d'assemblage susceptibles de s'ébranler et de prendre du jeu en service. Cette robustesse du

châssis est un des grands progrès de la locomotive moderne. Elle est rendue possible parce que le poids par essieu admis par la S. N. C. F. depuis 1943 est de 20 t pour la machine à marchandises. Bien que ce poids soit très loin des 30 t et même 34 t des locomotives américaines, on a pu, pour les locomotives 141-R, réaliser un châssis monobloc dont la figure 52 montre l'élégance et qui sera appliqué aux 200 dernières machines. Ce châssis pèse 18 t tout usiné.

Pourrons-nous faire de semblables châssis en France ?

Telle est la question que chacun se posera. Disons tout de suite qu'on produit déjà dans nos usines des pièces de locomotives en acier moulé aussi importantes que les cylindres doubles des locomotives compound. Mais il n'y a guère de pays, en dehors des États-Unis, qui aient eu, jusqu'à présent, les débouchés voulus pour pouvoir monter la fabrication des châssis monobloc de locomotives, pièces de construction difficile qui atteignent sur certaines machines américaines le poids de 35 tonnes et qui exigent certainement la mise au point de beaucoup de détails de fabrication, ainsi que de très grosses machines-outils.

On sait, toutefois, que la soudure est le grand procédé rival de l'acier moulé. Par la soudure de tôles d'acier plié ou la soudure d'éléments partiels moulés, on peut arriver à constituer des châssis monobloc ;

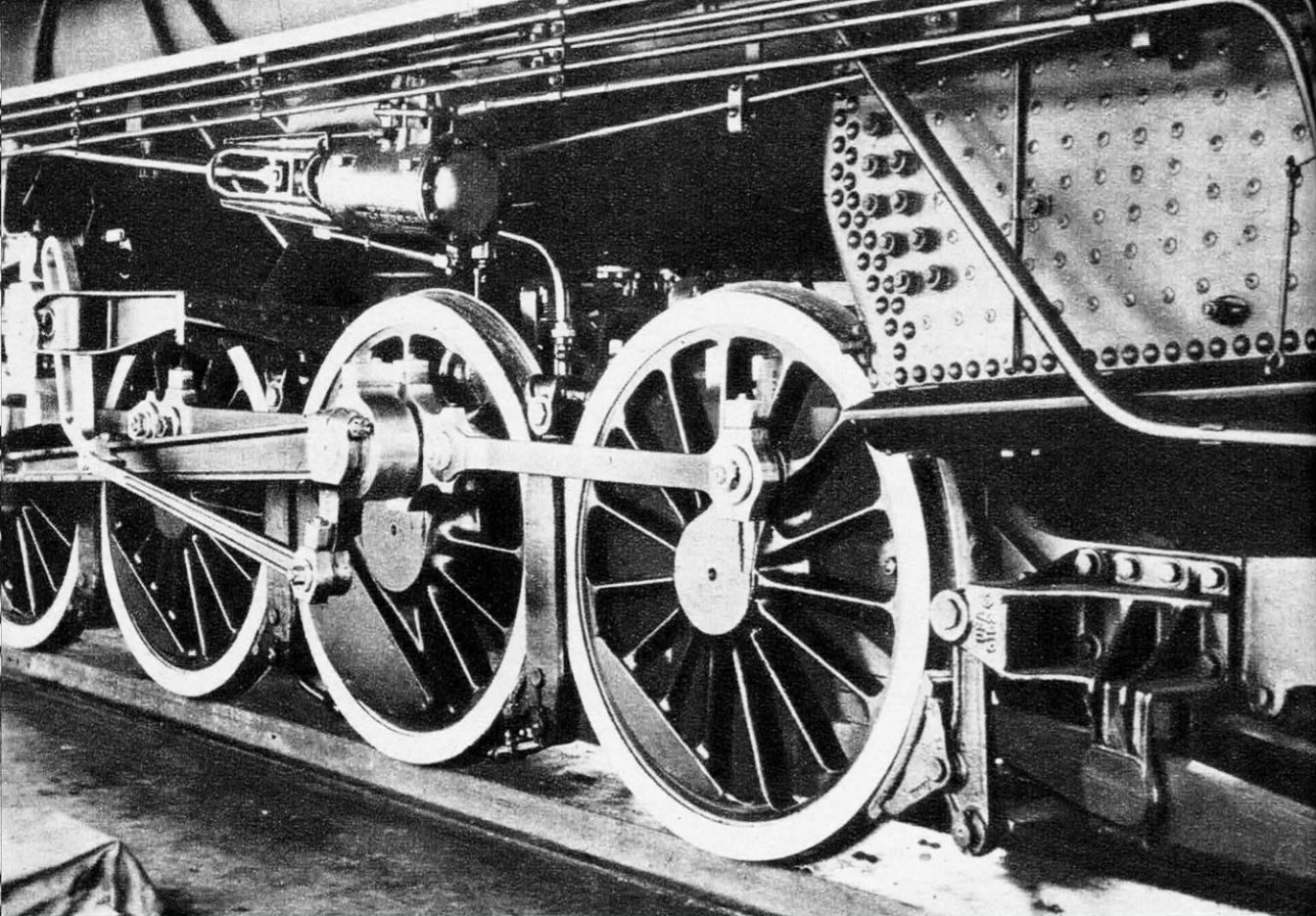


Fig. 51. APPAREIL DE CHANGEMENT DE MARCHÉ A SERVO-MOTEUR DU TYPE FRANKLIN DE LA 141-R

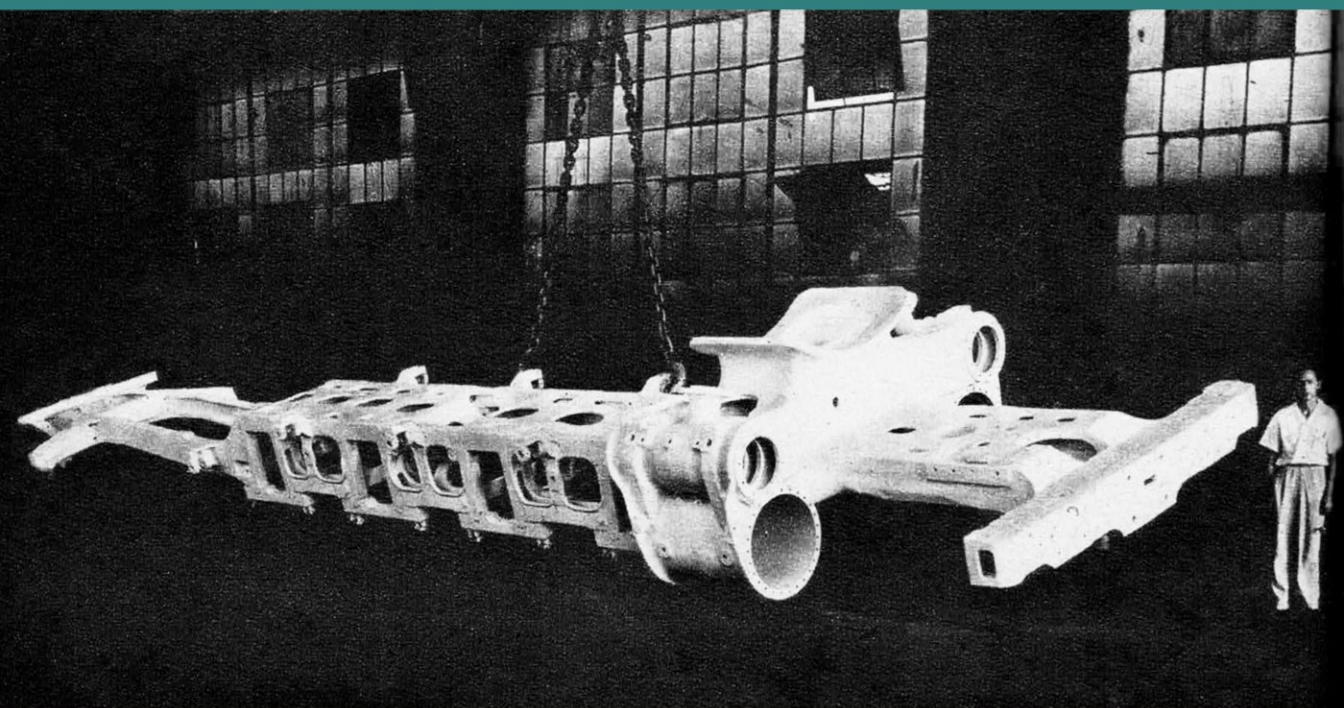


Fig. 52. CHASSIS EN ACIER COULÉ D'UNE SEULE PIÈCE QUI ÉQUIPERA 200 LOCOMOTIVES 141-R

ce sont les voies dans lesquelles s'orientent les constructeurs français, comme on pourra le voir à l'occasion des nouvelles constructions de locomotives électriques type BB, de 92 tonnes, ou le prototype de locomotives à vapeur à marchandises 152-P.

CHANGEMENT DE MARCHÉ À VAPEUR

Avec les locomotives 141-R, la S. N. C. F. introduit en France le changement de marche commandé, non plus à la main, mais à la vapeur. Tout voyageur a remarqué, lors des manœuvres en gare, le temps nécessaire pour faire passer le mécanisme de la marche avant à la marche arrière, ou vice versa. Sur les grosses machines modernes, ce travail est fait plus rapidement à l'aide d'un servomoteur.

On a fait, jadis, à cet appareil, des objections assez motivées, lui reprochant de ne pas rester dans la position choisie par le mécanicien. Des progrès ont été faits. Les 1 340 locomotives 141-R ont reçu, soit le changement de marche Franklin, soit le changement de marche ALCO (fig. 51). La S. N. C. F. a également mis au point un modèle qui équipe sa toute récente locomotive 242-A.1 décrite par ailleurs et qui consiste en un changement de marche classique aidé par servomoteur. Signalons enfin, pour montrer que cette évolution dans la mécanisation est générale, que la dernière locomotive à vapeur anglaise du Southern Railway, créée en 1945 (type 231 « Merchant Navy »), a également un changement de marche à vapeur.

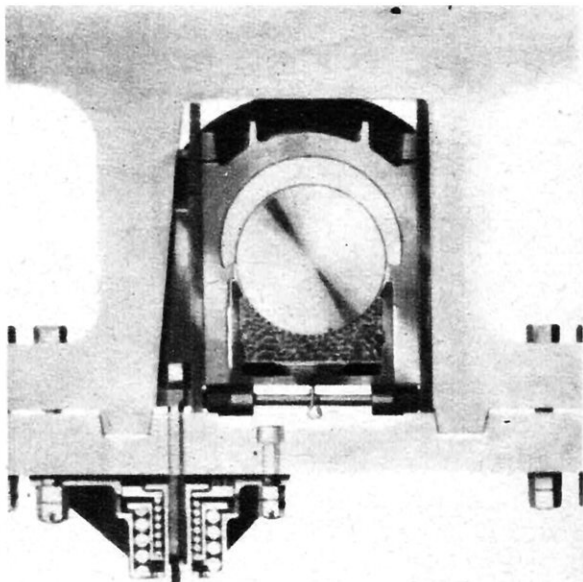


Fig. 53. COUPE D'UN PALIER D'ESSIEU AVEC UN COIN DE RATTRAPAGE DE JEU AUTOMATIQUE

LES ROUES « BOXPOK »

Très différentes de l'aspect habituel des roues à rayons de locomotives sont les roues dites « Boxpok » qui équipent un certain nombre des locomotives 141-R.

La roue classique à rayons, semblable aux roues qui existent depuis des siècles sur les charrettes et les voitures, est un héritage de la diligence. La locomotive à vapeur n'avait pas

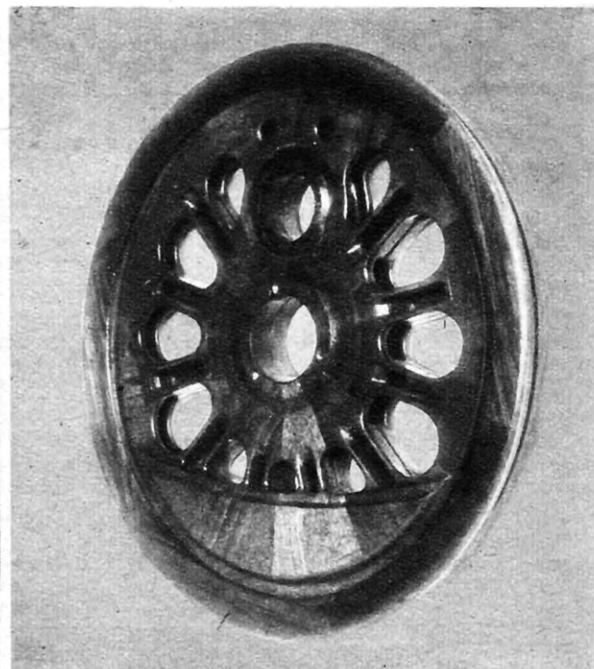
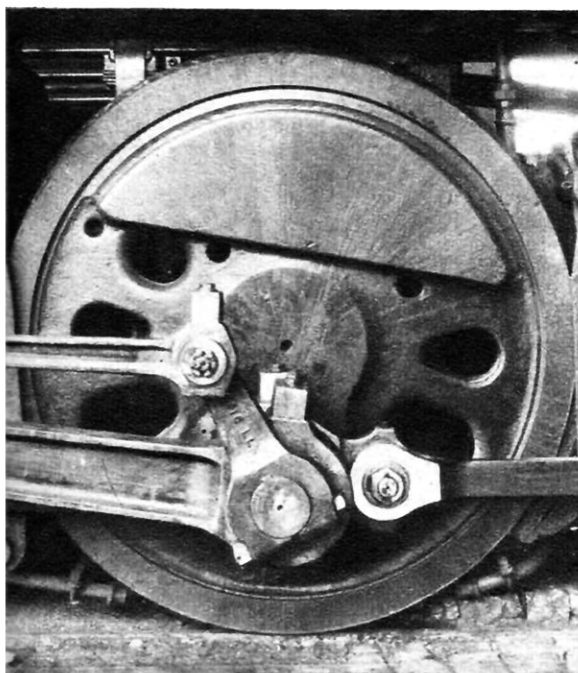
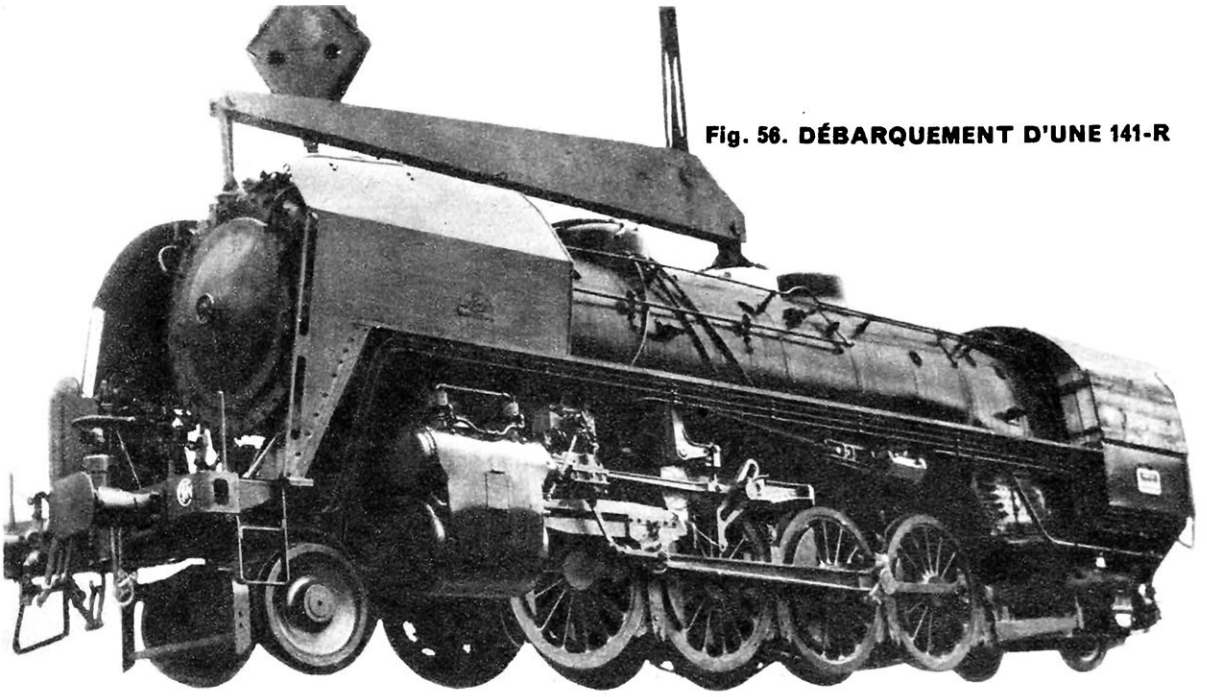


Fig. 54 et 55. LA ROUE BOXPOK ET LE NOUVEAU TYPE DE ROUE ÉTUDIÉ PAR LA S. N. C. F.

Fig. 56. DÉBARQUEMENT D'UNE 141-R



encore fait l'évolution que la roue Michelin à disque a apportée dans l'automobile. La roue « Boxpok » de Baldwin et les roues analogues, mises au point récemment, résolvent le problème pour la locomotive à vapeur. Ce problème, c'est d'éviter d'avoir une jante qui fléchit entre deux rayons, c'est d'assurer le serrage uniforme du bandage sur la jante, et enfin de résister aux efforts latéraux, tout cela avec le minimum de poids. Ici encore, c'est l'acier moulé et peut-être aussi la soudure qui permettent de donner les formes voulues. La figure 54 montre la roue Boxpok de certaines 141-R, et la figure 55 montre une roue étudiée par la S. N. C. F. et qui est d'un type intermédiaire entre celle-ci et la roue classique à rayons.

RATTRAPAGE DES JEUX ROULEMENTS A ROULEAUX

Les coins de rattrapage de jeux automatiques sont un détail du mécanisme des 141-R, mais un détail intéressant pour montrer comment on a pu réduire l'intervention de la main-d'œuvre d'entretien sur la locomotive à vapeur. Au lieu de resserrer périodiquement à la main les pièces qui maintiennent les paliers des essieux, on utilise des pièces ou coins de rattrapage qui resserrent automatiquement, et avec un dispositif limiteur d'efforts, les paliers en question. La figure 53 montre le schéma de tels coins du type Franklin américain.

L'application des roulements à rouleaux à des essieux moteurs de locomotives pose un problème métallurgique et mécanique plus complexe que celui des paliers d'engins plus réduits, comme les automobiles. Certaines 141-R comportent des boîtes Timken à tous les essieux, aussi que sur toutes les roues de leurs tenders. Un autre roulement, type

S. K. F. est sphérique, alors que le précédent est conique. Une autre différence, qui est d'ailleurs secondaire, réside dans le fait que le premier est graissé à l'huile, tandis que le second utilise la graisse.

Nous avons surtout insisté, dans ce qui précède, sur les dispositifs nouveaux que comportent les locomotives 141-R et qui sont de provenance américaine. Bien entendu, ces machines comportent de nombreux dispositifs propres aux conditions du service en France. C'est ainsi qu'elles comportent les tôles contre le rabattement des fumées, pratique européenne qui commence à se répandre aux U. S. A., un gabarit plus bas et moins large, la conduite placée du côté gauche, l'attelage à tampons et crochet, les organes du frein et d'épuration d'eau, type S. N. C. F., etc.

Telle qu'elle est, la locomotive 141-R présente le caractère très original d'être une machine étudiée sur directives françaises, mais réalisée avec des organes américains. Elle est le résultat de la collaboration des deux techniques, américaine et française.

A TRAVERS L'ATLANTIQUE

Les locomotives 141-R ont été acheminées, incorporées dans des trains américains, depuis les usines de Philadelphie, de Schenectady (Etat de New York) et de Lima (Ohio) et aussi depuis les usines canadiennes de la Montreal Locomotive Works et de la Canadian Locomotive Works (le Canada a participé à cette fourniture pour 140 unités) jusqu'aux ports d'embarquement New York ou Philadelphie.

Pour ce trajet sur le territoire des Etats-Unis, l'attelage français a été provisoirement remplacé par l'attelage central automatique américain. Ensuite se posa ce problème inédit

et grandiose d'embarquer des machines pesant 106 t a raison d'une centaine par mois.

Autrefois et avant la guerre, on démontait les locomotives et on les mettait en caisses pour les transporter quand elles étaient aussi grosses. Depuis cette dernière guerre, on utilise un procédé qui évite tout démontage. Il se trouve, par un hasard heureux, qu'on peut suspendre une locomotive par son dôme de prise de vapeur et que la résistance des boulons qui tiennent le dôme est égale au poids de la locomotive. Le couvercle qui bouche le dôme résiste à un effort dû à la pression de vapeur, qui est de l'ordre de 100 t, c'est-à-dire le poids de la machine. Il a donc suffi de visser le plateau de la grue d'embarquement à la place du dôme, et on a pu soulever la locomotive sans aucun démontage.

On a chargé les locomotives sur le pont même des cargos Liberty; on en a mis quatre, puis cinq par bateau. Quand on se représente ce poids de 800 t (5 machines et 5 tenders) sur le pont d'un bateau de 8 000 t, on comprend que les commandants aient pu éprouver quelques craintes sur ce qui se passerait par mauvais temps. La Marine américaine et les services de la marine marchande française ont utilisé aussi, en dehors des cargos Liberty, tous les bateaux spéciaux qui existaient dans le monde, bateaux américains, type Texas, bateaux norvégiens, type Bel-pareil ou Tireby ou bateaux anglais. C'est ainsi que le bateau américain ou « sea-train » « Texas » a pu transporter le chiffre étonnant de 40 locomotives 141-R avec leurs tenders, disposées sur trois étages du bateau. Un

seul accident a été déploré en avril 1947 : la perte du « Bel Pamela » qui a sombré avec 17 locomotives à bord.

On peut voir les locomotives 141-R un peu partout sur les lignes françaises qui admettent 20 t par essieu. On les utilise d'une manière intensive, avec des équipes qui se remplacent sur une même machine, c'est-à-dire en régime de « banalité ». Chacune fait, en moyenne, un parcours journalier de l'ordre de 200 km.

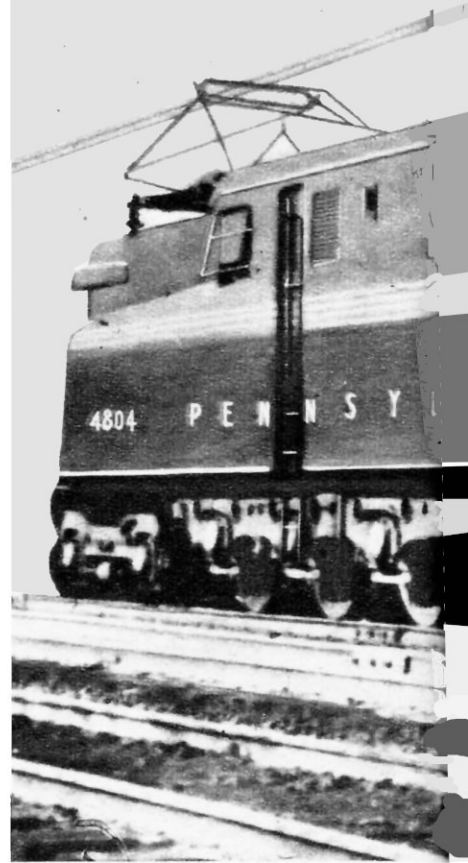
Cette locomotive n'est ni la plus puissante, ni la plus rapide des chemins de fer français. Elle a sa zone d'action dans un grand nombre de trains de marchandises et de voyageurs de vitesse plutôt modérée, allant jusqu'à 90 km/h et même, pour certaines, jusqu'à 100 km/h. Mais, par son ensemble de qualités, par sa puissance et par ses dispositions mécaniques d'un entretien facile et sa conduite aisée en « banalité », elle représente une solution très intéressante du problème journalier du chemin de fer où il faut tenir compte de multiples sujétions. Ces 1 340 unités aux organes identiques permettent une organisation d'entretien répondant à tous les besoins de la standardisation. Jointes aux machines type 141-P, version française, très récente aussi, de la locomotive Mikado, un peu plus rapide et un peu plus puissante que la 141-R, mais de construction un peu plus complexe, et qui constitueront avec les livraisons françaises attendues en 1947, une série de plus de 300 unités, les 141-R donnent aux chemins de fer français un ensemble important de machines mixtes, puissantes, capables d'assurer à volonté les services de marchandises et des express lourds.

Fig. 57. LA 141-P DE CONSTRUCTION FRANÇAISE



LA TRACTION ÉLECTRIQUE

La traction électrique sur voie ferrée a fait ses débuts sur les tramways urbains, puis sur les services de banlieue des métropoles, avant de s'appliquer sur une échelle toujours croissante aux grandes lignes. L'électrification ferroviaire s'est surtout développée dans les pays où la politique de l'énergie a dû s'orienter vers l'exploitation poussée des ressources hydrauliques. Tel est le cas, évident, de la Suisse, où les réalisations dans ce domaine sont de tout premier ordre, et aussi de la France, dont la production charbonnière est fortement déficitaire. L'électrification des lignes permet non seulement de profiter de l'incomparable facilité avec laquelle l'énergie électrique peut être transportée à longue distance et, par suite, de faire appel pour sa production aux régions riches en houille blanche, mais encore de supprimer ces usines thermiques à très faible rendement que sont les locomotives à vapeur classiques. Le programme d'électrification des chemins de fer français, qui doit être réparti sur dix années (1946 à 1955), comprend essentiellement l'électrification de la ligne Paris-Marseille, 863 km, en deux tronçons : Paris-Lyon, 512 km (1946-1950) et Lyon-Marseille 351 km (1951-1955), à laquelle s'ajouteront Mâcon-Bourg-Ambérieu-Culoz, 117 km (1951-1952), Lyon-Genève, 104 km (1951-1952), Bordeaux-Montauban, 206 km (1947-1949), Sète-Tarascon, 105 km (1946-1949), les lignes de banlieue Nord de Paris et la Ceinture Sud. Dans dix ans, le réseau électrifié français comprendra 5 600 km de lignes, 1 507 locomotives (309 voyageurs, 1 094 marchandises, 104 manœuvres) et 714 automotrices.



LA traction électrique sur les voies ferrées est une technique d'un caractère essentiellement européen. Certes, il existe de beaux réseaux électrifiés un peu partout dans le monde, mais, nulle part, on ne trouve de réalisation dont l'ampleur et le niveau technique atteignent ce que l'on peut observer en Suisse, en Italie, en Allemagne, en Autriche, en Suède et en France, bien entendu. Deux conceptions ont dominé l'électrification des grandes lignes de chemin de fer : le courant continu et le courant alternatif. Le courant alternatif triphasé a à peu près disparu du domaine de la technique moderne : restent en présence le courant continu aux tensions de 600 V, 1 500 V, 3 000 V et le courant alternatif monophasé, en général à la tension de 15 000 V, mais avec une fréquence

spéciale qui, dans les pays d'Europe, est de 16 2/3 périodes par seconde, tandis qu'aux Etats-Unis elle est fixée à 25 périodes par seconde.

LE COURANT CONTINU

Le courant continu sous 600 V équipe avant tout les chemins de fer urbains et les réseaux de banlieue; il a reçu aussi aux Etats-Unis de remarquables applications à des réseaux dits « interurbains » comme le Chicago, Milwaukee, North Shore qui réunit, le long du lac Michigan, Chicago à Milwaukee en desservant une série de petites villes industrielles. En dépit d'arrêts très fréquents, ces rames ultrarapides, dites « Electroliners », y couvrent des parcours très courts, infé-

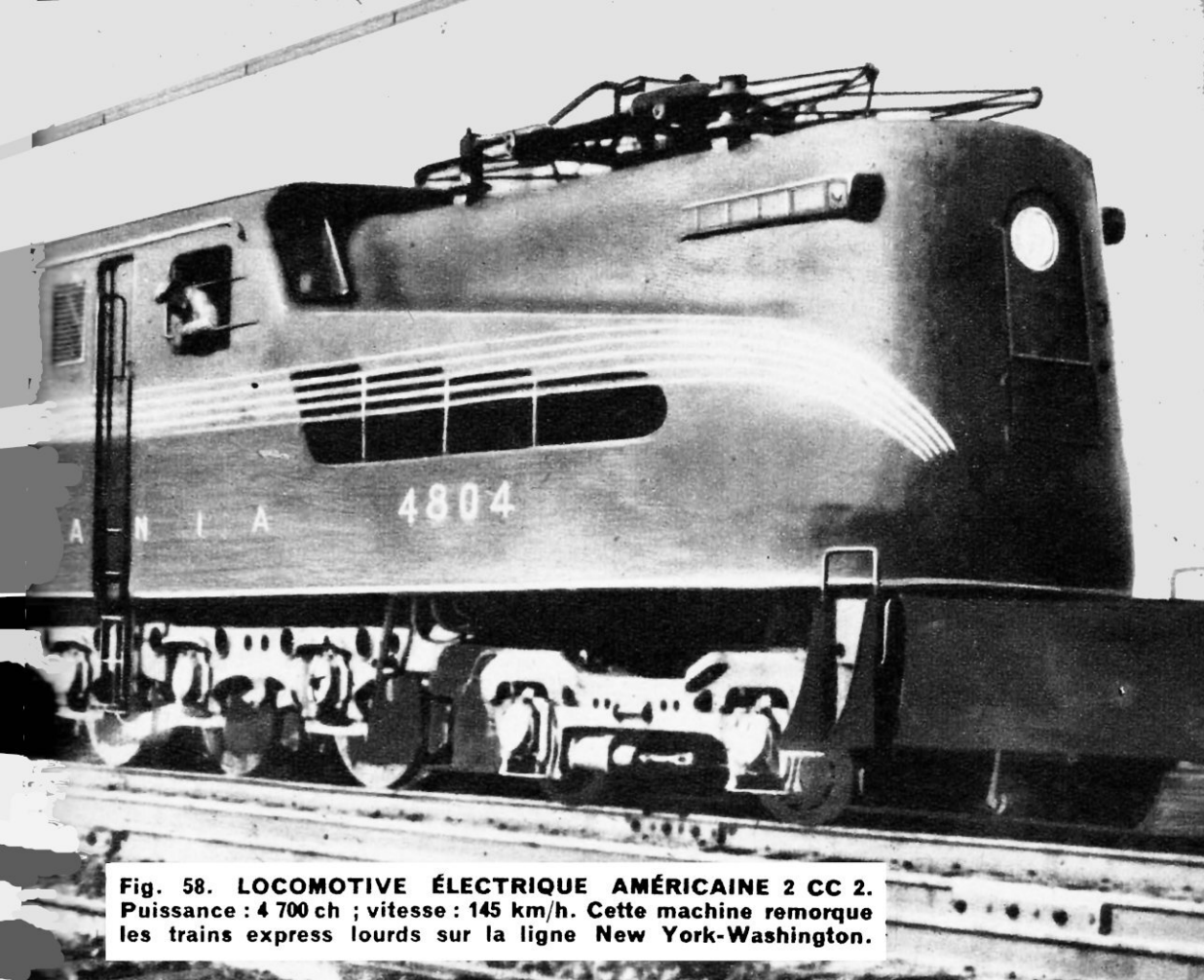


Fig. 58. LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE AMÉRICAINE 2 CC 2.
Puissance : 4 700 ch ; vitesse : 145 km/h. Cette machine remorque
les trains express lourds sur la ligne New York-Washington.

rieurs à 20 km, comme Racine-Konosha, à la vitesse commerciale de 121 km/h. Le courant continu 600 V équipe aussi toutes les lignes électrifiées, ou devant l'être, du Southern Railway, entre Londres et la côte sud de l'Angleterre.

Le courant continu 1 500 V triomphe sur les chemins de fer français. On le trouve aussi en Hollande, et en Angleterre sur le London and North Eastern Railway (ligne Manchester-Sheffield).

Quant au courant continu 3 000 V, il règne en Italie, au Maroc, en Belgique et sur quelques réseaux américains, dont le principal est le Chicago, Milwaukee, St. Paul and Pacific dans la traversée des Montagnes Rocheuses. L'Espagne utilise les deux tensions, mais les domaines électrifiés à 1 500 V et à 3 000 V constituent pour l'instant des îlots séparés, en sorte que le problème des jonctions entre les deux réseaux ne se pose pas.

LE COURANT ALTERNATIF

Le courant alternatif monophasé 16 périodes 2/3 est l'œuvre avant tout des Suisses, de l'ingénieur Bohn-Ehrensbourg en parti-

culier ; on connaît les magnifiques réalisations des Chemins de fer fédéraux suisses et du Berne - Lötschberg - Simplon. L'Allemagne, l'Autriche ainsi que la Suède ont travaillé dans le même sens et en utilisant le même courant ; il faut noter cependant que l'Allemagne avait entamé, en 1938, de remarquables études sur l'utilisation éventuelle du courant de fréquence industrielle, soit 50 périodes/s, à 20 000 V, pour la traction électrique sur la ligne du Hollenthal, dans le pays de Bade, ouvrant ainsi aux électriciens une voie nouvelle qui semble devoir s'avérer aussi féconde que celles déjà exploitées.

Par contre, derrière la Westinghouse Cy et la General Electric Co, les Etats-Unis ont développé des réseaux à 11 000 V en monophasé, avec une fréquence de 25 périodes/s. Le Pennsylvania Railroad a ainsi électrifié la ligne New York-Philadelphie, Washington et Harrisbourg et envisage de la prolonger jusqu'à Pittsburgh, assurant ainsi la traction électrique de ses trains sur la partie la plus difficile de sa grande artère New York-Chicago.

Les réalisations suisses sont particulièrement frappantes entre toutes par le haut

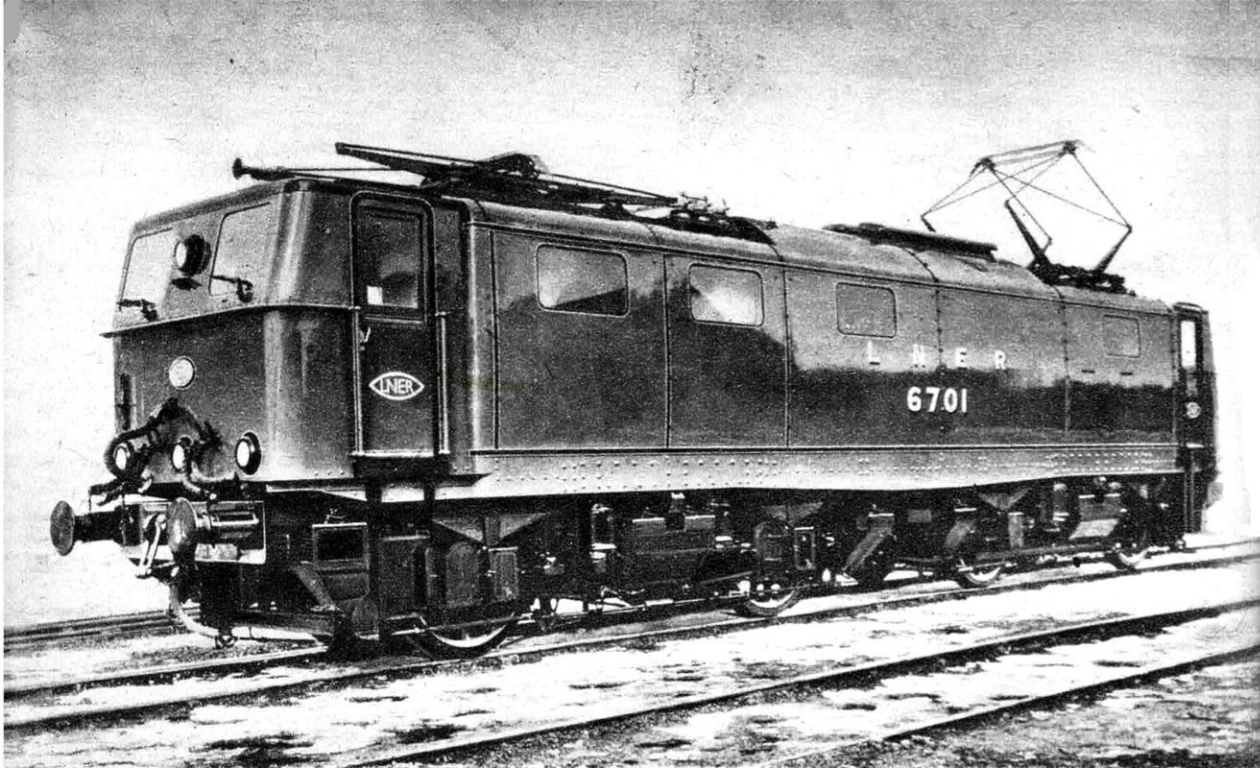


Fig. 59. LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE ANGLAISE BB. Puissance : 1 900 ch ; vitesse maximum : 105 km h. Cette machine assure la remorque des trains de voyageurs et de messageries.

degré de perfection technique qu'elles révèlent au public même le moins averti. Mécaniciens exceptionnels, ils ont su mettre au point des mécanismes remarquables, tant du point de vue rendement que du point de vue entretien. Les locomotives type B-B qu'ils ont livrées récemment aux chemins de fer du Lötschberg (B. L. S.) dont la puissance atteint 4 000 ch pour un poids total

de 80 tonnes seulement, ceci pour des vitesses atteignant facilement 130 km/h (la multiplication choisie et le diamètre des roues correspondent évidemment à un service sur lignes à fortes rampes allant jusqu'à 27 mm par mètre), comptent certainement parmi les plus remarquables engins de traction circulant dans le monde. Ce sont les Suisses également qui ont, tout récemment, ouvert

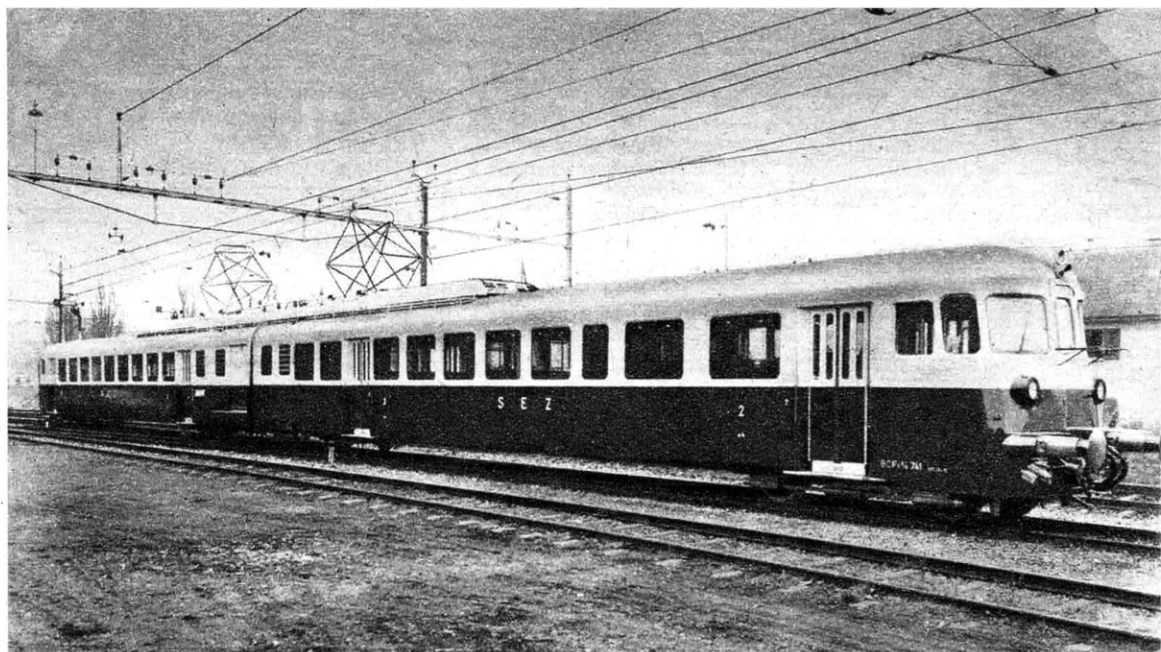


Fig. 60. RAME AUTOMOTRICE ÉLECTRIQUE SUISSE type Flèche Bleue. Cette rame, comprenant 205 places, circule à la vitesse maximum de 110 km/h. La puissance des moteurs de traction est de 1 000 ch.

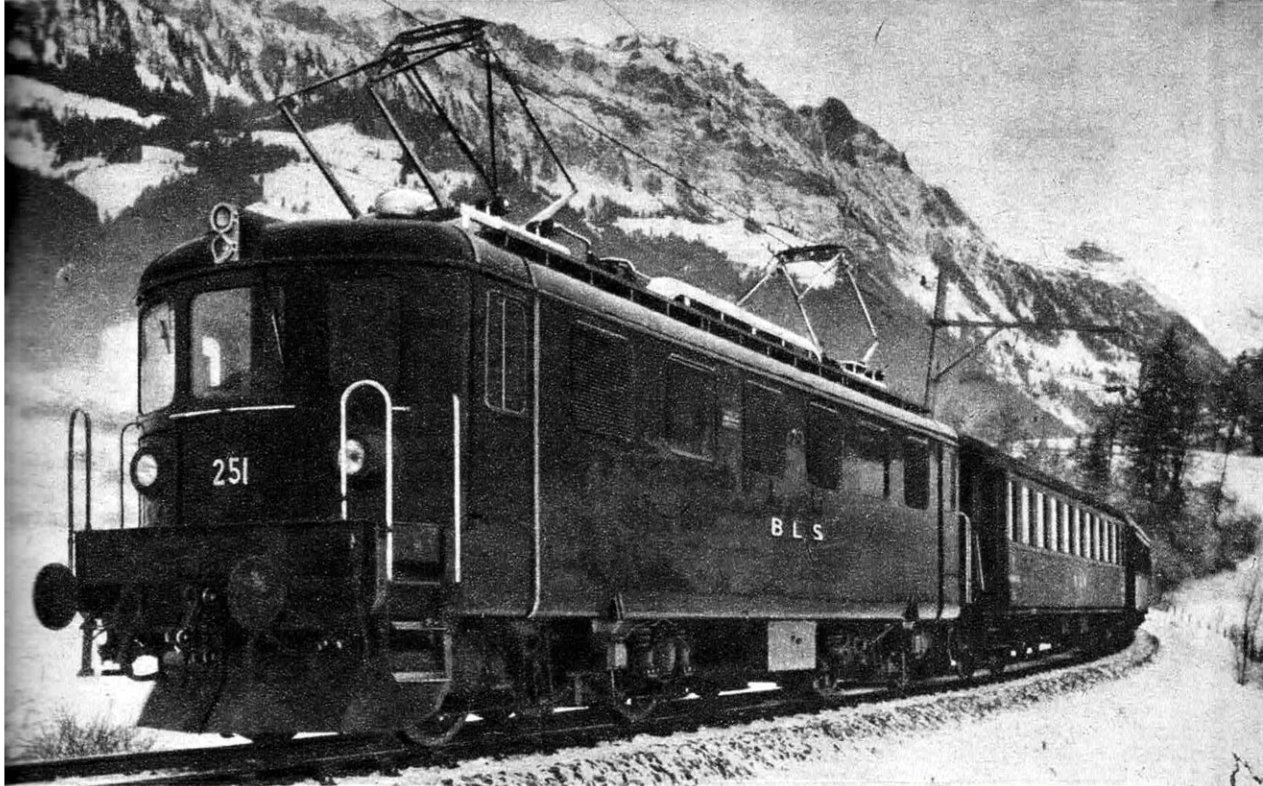


Fig. 61. LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE SUISSE BB (BROWN BOVERY). Puissance : 4 000 ch ; vitesse : 90 km/h sur rampe de 10‰ avec 650 t de charge et 75 km/h sur rampe de 27‰ avec 400 t.

un nouveau chapitre de la technique ferroviaire en sortant la première locomotive turbo-électrique équipée d'une turbine à gaz, engin qui a fait, en France, des essais particulièrement réussis. Actuellement règne, en France, le 1 500 V continu qui se révèle un excellent système pour les lignes à gros trafic ou il est appliqué ou prévu.

L'extension de l'électrification à d'autres

catégories de lignes à faible ou moyen trafic fait actuellement l'objet d'études techniques et économiques qui s'orientent vers le courant monophasé à fréquence industrielle à des tensions de l'ordre de 20 000 V, qui, bien qu'exigeant des locomotives d'un prix plus élevé, permet de réaliser des gains importants tant sur les dépenses d'établissement que sur celles d'exploitation.



Fig. 62. LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE SUISSE DOUBLE (I BBI, I BBI), la plus puissante du monde Puissance : 11 400 ch ; longueur : 34 m ; poids en service : 236 t ; vitesse maximum : 110 km/h (CERlikon).

LES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES FRANÇAISES

La locomotive électrique proprement dite, c'est-à-dire traînant un train derrière elle, n'apparut qu'en 1895. Jusqu'alors, l'électricité n'avait été appliquée, avec succès d'ailleurs, qu'à la traction des tramways. A cette époque, le Baltimore and Ohio Railroad, aux Etats-Unis, mit en service des locomotives électriques de 90 t, remorquant des trains de 1 700 t. Depuis, l'électrification des voies ferrées s'est développée dans de nombreux pays, surtout, comme nous l'avons souligné, dans ceux où l'approvisionnement en combustibles est difficile et où les ressources hydrauliques sont abondantes. La locomotive électrique est caractérisée par le fait qu'elle n'est pas productrice d'énergie par elle-même. Elle est tributaire du réseau de distribution d'énergie électrique dont les moindres perturbations se répercutent sur son fonctionnement. Par contre, recevant son énergie d'un puissant réseau, elle peut exercer des efforts de traction considérables, conserver son allure malgré les variations de profil de la ligne sans être limitée par sa puissance de vaporisation comme une locomotive à vapeur, remorquer sur de fortes rampes des charges importantes. Dans les longues pentes, entraînée par le poids du train, ses moteurs pouvant fonctionner en génératrices, elle peut assurer le freinage et la récupération de l'énergie. A puissance égale, une locomotive électrique est plus légère et moins encombrante qu'une locomotive à vapeur. Elle supprime le travail pénible du chauffeur (auquel on substitue le stoker sur les récentes locomotives à charbon) et sa conduite aisée permet au mécanicien de consacrer son attention à la marche du convoi. Son entretien est minime et, infatigable, elle peut, après un long parcours, être prise immédiatement en charge par une nouvelle équipe. Economie de combustible, trains à vitesse élevée, même sur les lignes de montagne, exactitude des horaires, confort accru des voyageurs, font de la locomotive électrique l'engin de traction le plus moderne et le mieux adapté au trafic ferroviaire.

LA longueur des lignes électrifiées s'étant accrue par étapes successives, l'effectif du parc des locomotives électriques françaises a subi naturellement une augmentation parallèle ; il atteint actuellement un total de 776 unités. La presque totalité de ce nombre est représentée par deux types généraux de locomotives : le type BB, qui entre dans le total pour 600 unités, et le type 2D2 pour 120. Rappelons que, dans la terminologie internationale désignant les trains roulants, le rang alphabétique de la lettre capitale indique le nombre d'essieux moteurs et les chiffres qui lui sont adjoints, le nombre d'essieux directeurs. La locomotive BB est ainsi une machine formée de deux bogies à deux essieux moteurs chacun, sur lesquels repose une caisse unique, alors que la locomotive 2D2, qui est une locomotive de vitesse, comporte quatre essieux moteurs dans un châssis rigide avec un bogie directeur à chaque bout, une caractéristique essentielle des locomotives électriques étant, on le sait, la réversibilité, donc la symétrie.

La locomotive BB remonte à l'époque des

premières électrifications. Elle existait même déjà sur certaines lignes électriques antérieurement à l'application du programme général d'électrification à 1 500 V, et c'est en raison de sa simplicité en même temps que de ses possibilités de remorque, permises par son fonctionnement en unités multiples, qu'elle a acquis une aussi grande faveur, aussi bien en France qu'à l'étranger.

La locomotive 2D2, elle, est apparue quelques années plus tard, à une époque où le besoin s'est fait sentir de locomotives de vitesse, rapides et puissantes.

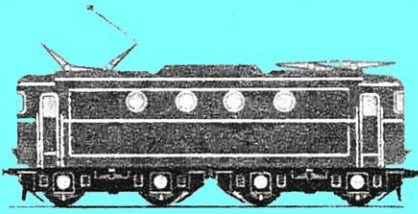
Mais sous ces appellations : 2D2, BB, dont la permanence peut ainsi faire illusion, une évolution importante se cache.

LOCOMOTIVES BB

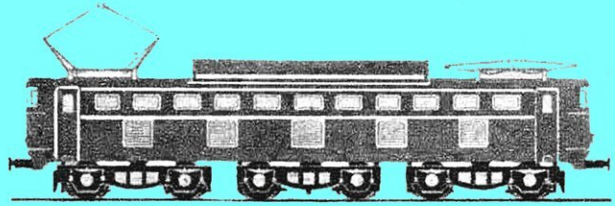
Selon la définition que nous avons donnée plus haut, ces machines comportent deux bogies à deux essieux moteurs chacun, disposés sous une même caisse, toujours entièrement métallique.

Chaque essieu est entraîné par un moteur

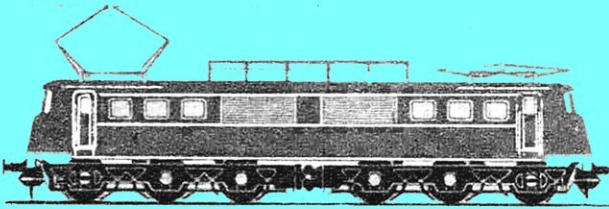
Fig. 63. DIFFÉRENTS TYPES DE LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES



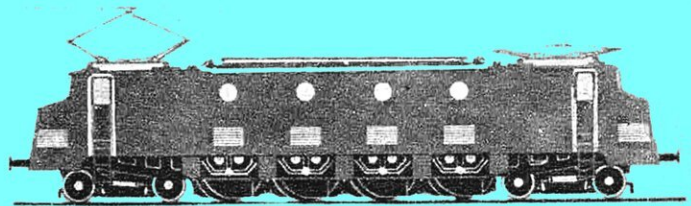
Type BB



Type BBB



Type CC



Type 2D2

à « suspension par le nez », c'est-à-dire suspendu mi-partie sur le corps de l'essieu, mi-partie élastiquement sur le châssis de bogie. Cette disposition, connue également sous l'appellation « suspension tramway », est donc très simple, et on conçoit, qu'en raison même de cette simplicité, elle garde toujours la faveur pour les machines de cette catégorie et assez souvent pour les automotrices où les conditions d'utilisation ne se présentent pas cependant de la même façon. Pourtant, lorsque la vitesse de circulation est poussée au delà de 90 km/h, et pour atténuer les chocs sur la voie inhérents à cette suspension qui augmente effectivement la masse non suspendue de l'essieu, on a adopté, dans certains cas, des engrenages élastiques au lieu des engrenages rigides.

Mais il est bon de rappeler que deux problèmes importants se sont posés à l'origine dans la réalisation des machines BB.

Continuerait-on à utiliser des bogies entièrement libres à la manière de ce que faisaient certaines Compagnies américaines et selon ce qui existait d'ailleurs déjà sur les lignes françaises exploitées électriquement, ou fallait-il adopter des bogies attelés entre eux et portant eux-mêmes les organes de choc et de traction ? De même, convenait-il de prévoir une commande unilatérale de l'essieu, ce qui favorisait l'établissement du moteur,

en lui réservant plus d'espace entre les roues motrices ou fallait-il, au contraire, adopter la commande bilatérale assurant de toute évidence de meilleures conditions de travail des dentures d'engrenages ?

Si, en raison de ces hésitations, une fraction importante du parc de la S. N. C. F. (33 %) est actuellement munie de bogies libres ou plutôt partiellement libres — car sur bon nombre d'entre elles, des amortisseurs hydrauliques ont été appliqués dans ces dernières années — le principe des bogies attelés à complètement prévalu et cela assez rapidement, de même que la commande bilatérale des essieux.

Destinées en principe à la remorque de trains de marchandises et de trains de voyageurs à vitesse modérée (105 km/h au maximum), les locomotives BB possèdent des moteurs de traction à ventilation forcée, assurée par des ventilateurs spéciaux disposés dans la caisse, tandis que le rhéostat de démarrage est soumis à une ventilation naturelle au travers de persiennes ménagées dans les faces de la caisse.

Les différentes connexions nécessaires pour effectuer le démarrage et le réglage de la vitesse sont effectuées par des interrupteurs spéciaux (appelés contacteurs) actionnés pneumatiquement et commandés à distance et à basse tension par les manipu-

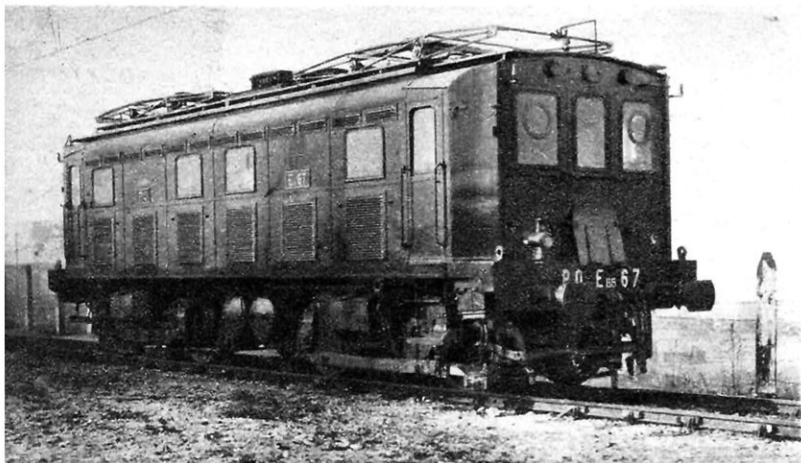


Fig. 64. LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE FRANÇAISE DU TYPE BB

lateurs disposés dans les cabines de conduite (certains de ces contacteurs sont parfois groupés et actionnés par un mécanisme de manœuvre commun).

LOCOMOTIVES 2D2

Pour les trains express et rapides, c'est la locomotive 2D2 qui est utilisée. Toutes les locomotives de vitesse appartiennent à cette série.

Le train roulant comporte quatre essieux moteurs encadrés de part et d'autre par un bogie directeur.

Chacun des essieux moteurs est, en général, entraîné par un moteur de traction, mais à l'encontre de ce qui existe sur les locomotives BB, le moteur est fixé à même le châssis principal, donc complètement suspendu.

De même que la locomotive BB, la locomotive 2D2 a deux cabines de conduite et des compartiments verrouillés renfermant l'appareillage. Du point de vue électrique, les différentes séries de locomotives de ce type se différencient par la conception de leurs moteurs et par la nature de leur appareillage. Les moteurs de traction, à ventilation forcée, comportent, en effet, soit un induit unique, soit deux induits dans la même carcas (type jumelé), soit même trois induits : dans ce dernier cas, le moteur « triple » ainsi constitué assure, par l'intermédiaire d'engrenages appropriés, l'entraînement de deux essieux consécutifs. Les moteurs à induit unique qui équipent le plus grand nombre des machines 2D2 comportent un enroulement de « compensation »

permettant d'obtenir à chaque couplage une gamme étendue de vitesses, de marches économiques, par réduction du champ inducteur.

L'appareillage est, sur certaines de ces machines, constitué comme celui des locomotives BB par un disjoncteur et des contacteurs ou groupes de contacteurs. Mais, sur la plupart d'entre elles, les contacteurs sont actionnés mécaniquement par des cames disposées sur un arbre commun entraîne lui-même par un servomoteur pneumatique placé sous la dépendance des manipulateurs disposés

dans les cabines de conduite. Tous les contacteurs de la machine sont ainsi actionnés par deux arbres à cames et, en cas de défaillance des servomoteurs, une commande directe à la main de ces arbres est prévue pour éviter toute détresse.

Certaines de ces machines sont d'ailleurs prévues pour réaliser le freinage par récupération et comportent, à cet effet, un groupe convertisseur, assurant l'excitation des moteurs de traction afin de permettre leur fonctionnement comme génératrices pendant la descente des longues rampes.

L'ÉVOLUTION

Telles sont, dans leurs grandes lignes, les dispositions des deux types de locomotives les plus courants du parc S. N. C. F. Mais, pour arriver au stade actuel de haute qualité de ces machines, quelle a été l'évolution, durant ces vingt dernières années, des conceptions primitives ?

En ce qui concerne tout d'abord les loco-

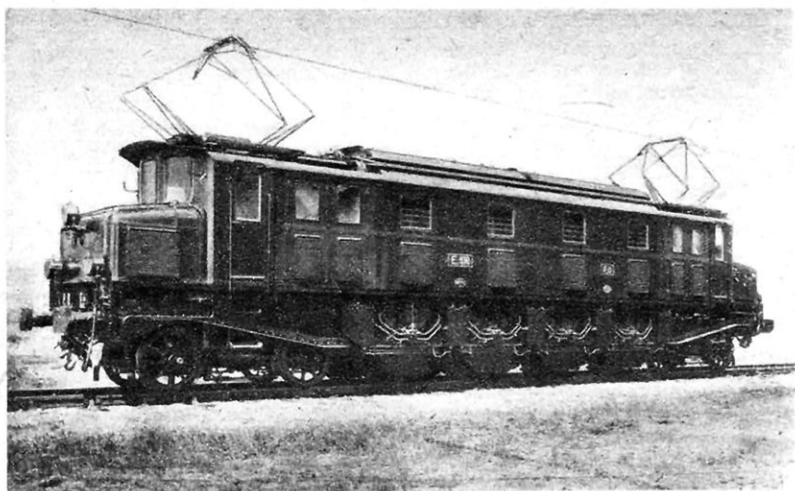


Fig. 65. LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE FRANÇAISE DU TYPE 2D2



Fig. 66. LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE TYPE 2D2 POUR TRAINS EXPRESS ET RAPIDES

motives BB, si les caractéristiques de longueur totale, d'empattement, etc., n'ont subi à peu près aucune variation, en revanche le poids total s'est progressivement élevé de 70 tonnes à 80 tonnes, ce qui correspond à une charge actuelle de 20 tonnes par essieu. Ce chiffre de 20 tonnes n'a pas été dépassé jusqu'ici, mais, étant donné le poids toujours croissant des trains de marchandises remorqués, il impose une limite à l'effort de traction à simple adhérence. C'est ainsi que le démarrage d'un train de 1 300 tonnes en rampe de 5 mm/m est parfois laborieux, l'effort de traction ne pouvant dépasser une fraction donnée du poids par essieu sous

peine de patinage des roues sur le rail. Aussi s'est-on décidé à franchir la limite de 20 tonnes par essieu et à la porter à 23 tonnes sur les nouvelles locomotives BB actuellement en construction ; cela correspondra à un poids total de 92 tonnes pour la locomotive.

D'autre part, les boîtes d'essieu ont été perfectionnées.

La technique de construction des châssis de bogie et des ossatures de caisse a évolué de façon particulièrement marquée ces dernières années. D'abord, la construction en tôle soudée remplace de plus en plus les charpentes rivées. D'autre part, le châssis de bogie comporte des longerons en forme



Fig. 67. CABINE DE CONDUITE DE LA LOCOMOTIVE 2D2



Fig. 68. CABINE DE CONDUITE DE LA LOCOMOTIVE CC

de caisson, qui lui confèrent une rigidité que ne peuvent avoir les bogies construits sur le mode classique avec longerons genre « tender » en tôle épaisse. Et quant à la caisse, du fait d'une répartition plus judicieuse de la matière dans l'ossature et les parois, elle offre, à poids égal, une résistance remarquable.

En ce qui concerne l'équipement électrique, dans son ensemble, le schéma général de ces machines n'a pas subi de modifications appréciables : par contre, des améliorations notables ont été apportées à la construction des moteurs et à la disposition de l'appareillage.

Les deux buts principaux poursuivis au cours de cette évolution des locomotives BB ont été, d'une part, l'augmentation de la vitesse et, d'autre part, l'augmentation de la puissance. En ce qui concerne la vitesse, les premières locomotives étaient limitées à 70 ou 75 km/h seulement, par la vitesse limite de rotation des moteurs, étant donné le rapport de réduction adopté pour les engrenages interposés entre moteurs et essieux. Par la suite, la vitesse maximum a été relevée à 90 km/h, mais cette limitation était encore gênante du fait du parc insuffisant de machines de vitesse, et on a essayé de la porter à 105 km/h en réduisant le rapport de réduction des engrenages, tout en conservant la même limite pour la vitesse de rotation des moteurs. La circulation des locomotives BB étant satisfaisante à cette vitesse, on l'a adoptée comme limite normale pour toutes les locomotives récentes, mais on a jugé nécessaire de substituer aux engrenages rigides employés jusqu'ici, des engrenages « élastiques », c'est-à-dire munis de ressorts interposés entre centre et couronne dentée, pour atténuer les chocs à la denture accrue par l'augmentation de vitesse.

Quant à la puissance, elle a progressé notablement depuis l'origine. Alors que les premières locomotives BB à 1 500 V construites en France avaient une puissance continue de 920 ch et un poids de 76 kg/ch, les locomotives du même type prévues pour l'électrification de Paris-Lyon, et dont le prototype vient d'être livré, auront une puissance de 2 400 ch et un poids approximatif de 34,5 kg/ch.

Quelle a été à son tour l'évolution des dispositions de la locomotive 2D2 ? On peut dire tout de suite qu'elle a été bien moins marquée que celle des locomotives BB. Parmi les diverses séries que ce type de machine comporte, l'une d'elles surtout — il s'agit des locomotives du type 500 — a donné d'excellents résultats tant du point de vue de la robustesse et de la facilité de conduite et d'entretien que du point de vue de son aptitude à remorquer à grande vitesse les trains lourds, et de sa tenue remarquable sur la voie. A ce propos, l'on peut citer de nombreux essais où il a été donné de constater cette stabilité en ligne parfaite à des vitesses dépassant 150 et même 160 km/h.

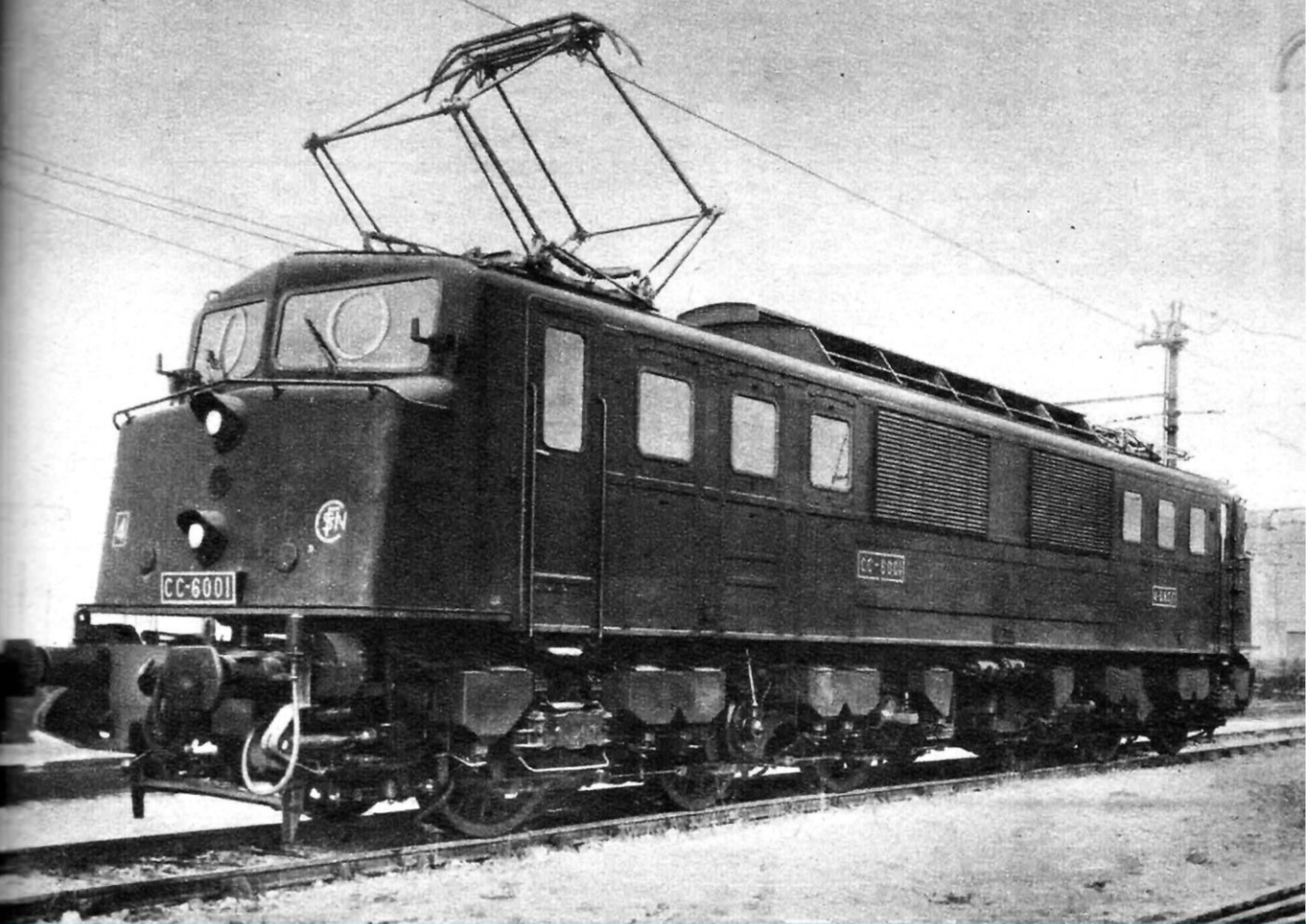


Fig. 69. PROTOTYPE TYPE CC POUR LIGNE ACCIDENTÉE : POIDS 120 T, PUISS. 3 800 CH, VIT. 105 KM/H

Cependant, en vue de satisfaire au nouveau programme d'électrification de la ligne Paris-Lyon, la puissance des nouvelles locomotives 2D2 qui y sont prévues et qui sont actuellement en construction, sera augmentée assez sensiblement. Elle passera de 3 800 ch environ à 5 000 ch (puissance unihoraire). Corrélativement à cet accroissement de puissance est prévue une majoration du poids, les essieux moteurs recevant une charge de 23 tonnes, au lieu de 20 tonnes jusqu'ici — en sorte que le poids adhérent est relevé de 80 tonnes à 92 tonnes. Cet accroissement de poids est nécessaire si l'on veut pouvoir utiliser toute la puissance de la machine et développer un effort de traction plus grand. Enfin, la vitesse limite de circulation sera portée à 140 km/h avec maximum possible à 160 km/h, alors qu'elle ait demeurée jusqu'en 1939 à 130 km/h.

Ces caractéristiques ainsi améliorées donnent lieu à certaines modifications apportées à la construction classique de la locomotive 2D2-500 : adoption de boîtes d'essieux moteurs « Athermos » à palette, renforcement des châssis de bogie et adoption pour eux de boîtes à rouleaux, amélioration de la forme extérieure, augmentation de la puissance des moteurs de traction, amélioration des conditions de démarrage.

Cette évolution technique, en même temps

qu'elle a pour but d'améliorer le service assuré par les locomotives BB et 2D2, vise également à augmenter au maximum leur parcours entre deux révisions générales aux ateliers. Ce parcours, qui est déjà actuellement supérieur à 200 000 km, peut facilement être dépassé en choisissant un appareillage robuste et d'entretien aisé. Il peut être aussi augmenté en veillant à la fabrication des bandages qui conditionnent, en général, le passage en révision : l'emploi d'aciers spéciaux permet d'obtenir des bandages plus durs, qui s'usent moins vite. C'est là une conséquence très importante des nouvelles méthodes de construction de ces locomotives.

PROTOTYPES POUR LIGNES ACCIDENTÉES

Malgré toutes les qualités que présentent les deux séries principales dont il vient d'être question, plusieurs prototypes, amorces de séries futures, sont en étude ou en construction.

Tout d'abord, lorsque l'électrification de la section Brive-Montauban a été décidée, la S. N. C. F. a envisagé de commander une série de 18 locomotives à six essieux moteurs, destinées à la remorque des trains de marchandises lourds sur ce parcours très acci-

denté et particulièrement difficile, de même que sur le parcours Limoges-Brive où se rencontrent de nombreuses déclivités. Actuellement, ces trains lourds nécessitent l'utilisation de deux locomotives BB en double traction ; l'emploi d'une seule locomotive plus puissante permettrait donc de libérer deux locomotives BB, si nécessaires ailleurs.

Les études ont abouti à la mise au point de deux locomotives prototypes à six essieux moteurs répondant à ces conditions :

L'une comportant un train roulant du type CC, c'est-à-dire avec deux trucks à trois essieux moteurs chacun ;

L'autre comportant un train roulant du type BBB, c'est-à-dire avec trois bogies à deux essieux moteurs chacun.

La première de ces locomotives est déjà construite et actuellement en cours d'essai ; son poids est de 120 tonnes, entièrement adhérent, c'est-à-dire que l'effort de traction de cette locomotive peut atteindre, dans le cas d'une adhérence favorable, une valeur voisine de 30 tonnes, bien supérieure à l'effort que peuvent fournir les locomotives à grande vitesse du type 2D2. Cette supériorité permet à la locomotive du type CC d'assurer le démarrage et la traction à la vitesse de 45 km/h d'un train de marchandises de 1 200 tonnes en rampe de 10 mm/m et, en palier, elle est capable de remorquer un train de voyageurs de 750 tonnes à la vitesse maximum de 105 km/h, pour laquelle elle a été établie. La puissance continue atteint ici 3 300 ch et la puissance unihoraire 3 800 ch.

Du point de vue électrique, cette machine comporte 6 moteurs de traction à 750 V à ventilation forcée qui peuvent être couplés en série, en série-parallèle (2 groupes de 3 moteurs) et en parallèle (3 groupes de 2 moteurs). Elle possède un appareillage tout à fait spécial utilisé pour la première fois sur une locomotive de puissance élevée : les divers contacteurs sont commandés par trois arbres à cames entraînés chacun par un moteur actionnant une croix de Malte à multiples positions calée sur l'arbre à cames. Le démarrage de cette locomotive s'effectue « automatiquement » sous l'action d'un relais d'accélération en provoquant le passage d'un cran au suivant sans que le mécanicien ait à intervenir. À l'aide d'un levier spécial disposé sur le manipulateur, le conducteur peut toutefois agir sur le réglage de ce relais, afin de proportionner l'intensité du courant absorbé au démarrage à la charge remorquée et au profil de la ligne.

La machine est équipée en vue de fonctionner en récupération et le réglage de l'effort de retenue dans une pente s'effectue en agissant sur le levier dont il vient d'être question.

La deuxième locomotive prototype à six essieux moteurs est actuellement en cours de construction et sera livrée en 1947. Son poids est également de 120 tonnes et ses caractéristiques et ses performances prévues

analogues à celles du premier prototype. Mais, ici, la caisse repose sur trois bogies libres à deux essieux moteurs chacun. Ces bogies ne sont pas tous du même type ; les deux bogies extrêmes sont identiques, le bogie médian présentant quelques différences, en particulier quant à l'appui de la caisse.

Les mouvements de rotation des bogies par rapport à la caisse sont contrôlés par un dispositif « anti-lacet » constitué par un système de tampons latéraux avec ressorts hélicoïdaux. Étant donné la liberté complète des bogies, cette liaison avec la caisse apparaît comme nécessaire afin d'améliorer la tenue sur la voie en alignement droit et de remettre les bogies dans leur position axiale aux sorties de courbe. Enfin, les mouvements verticaux des bogies par rapport à la caisse sont également limités par un dispositif pneumatique intercalé entre caisse et bogies, de façon à sauvegarder l'adhérence. La transmission entre moteurs de traction et roues est semblable à celle du premier prototype.

En ce qui concerne le freinage à air de cette locomotive, il est d'un type nouveau : on a prévu un cylindre de frein par roue et l'équipement de commande du frein est modérable au serrage et au desserrage ; c'est le premier de ce genre qui ait été installé sur une locomotive (il existe déjà sur des automotrices).

Cette machine comporte 6 moteurs de traction à 750 volts à suspension par le nez et à ventilation forcée. Ces moteurs peuvent être couplés en série, en série-parallèle (2 groupes de 3 moteurs) et en parallèle (3 groupes de 2 moteurs).

Dès la livraison du second de ces prototypes, des essais comparatifs seront effectués avec les deux locomotives afin de déterminer celle qui, donnant les meilleurs résultats en service, sera retenue pour la construction de série.

PROTOTYPE DE VITESSE

En dehors de ces deux prototypes qui répondent au problème bien particulier de la remorque des trains lourds sur lignes accidentées, la S. N. C. F. s'est également orientée, en matière de locomotives à grande vitesse, vers la nouvelle technique qui s'est déjà fait jour à l'étranger et qui vise à l'utilisation de machines électriques de vitesse à adhérence totale. Certaines réalisations semblent, en effet, montrer que la notion de vitesse peut s'accommoder de l'absence d'essieux directeurs, pourvu que les dispositions des trains roulants soient judicieusement établies. Une locomotive prototype à grande vitesse formée de deux éléments CC dédoublables a été aussi commandée.

Ces locomotives CC pourront fonctionner, soit en unité simple, soit en unité double (c'est-à-dire deux locomotives accouplées mécaniquement et électriquement en tête d'un train). Elles seront capables de remor-

quer en unité simple les trains normaux qui ont été prévus dans le programme d'électrification de Paris-Lyon (trains rapides ou express de 750 tonnes tracés à 105 km/h, trains rapides de 350 tonnes à 120 km/h, trains de marchandises de 1 300 tonnes à 80 km/h) ; d'autre part, en unité double, elle pourrait remorquer des trains rapides très lourds à vitesse élevée ou des trains de marchandises de très fort tonnage atteignant la limite permise par les atelages actuels.

Ce prototype a un poids de 96 tonnes, soit 16 tonnes par essieu seulement. Le châssis de chacun des trucks à trois essieux-moteurs est de construction tubulaire en tôle soudeée présentant une résistance transversale élevée. Chaque essieu est entraîné par un moteur de traction qui est, cette fois, entièrement suspendu dans le châssis de bogie ; le mouvement de rotation du moteur est communiqué à l'essieu correspondant par l'intermédiaire d'une transmission à biellettes et silent-blocs en caoutchouc déjà utilisée sur quelques-unes des locomotives 2D2 à grande vitesse. Les suspensions des essieux sont conjuguées afin d'assurer plus de liberté au châssis lorsque l'état de la voie est défectueux.

La caisse repose sur chacun des trucks par l'intermédiaire de deux pivots de forme spéciale, avec double articulation et déplacement latéral contrôlé par des ressorts de rappel, et par l'intermédiaire de ressorts latéraux dits « équilibrateurs ». L'ensemble de cette disposition doit conférer à la locomotive une tenue de voie excellente aux vitesses élevées.

La machine comportera 6 moteurs de traction à 750 V à ventilation forcée.

LES TRAINS A TRÈS GRANDE VITESSE

Il nous reste à dire quelques mots des nouveaux trains à très grande vitesse qui seront mis en service dans les prochaines années. Il s'agit de réaliser des relations très rapides sur les grandes artères électrifiées de Paris-Bordeaux et Paris-Marseille. Pour de tels trains, dont la vitesse atteindra 160 km/h, le problème est évidemment de faire circuler

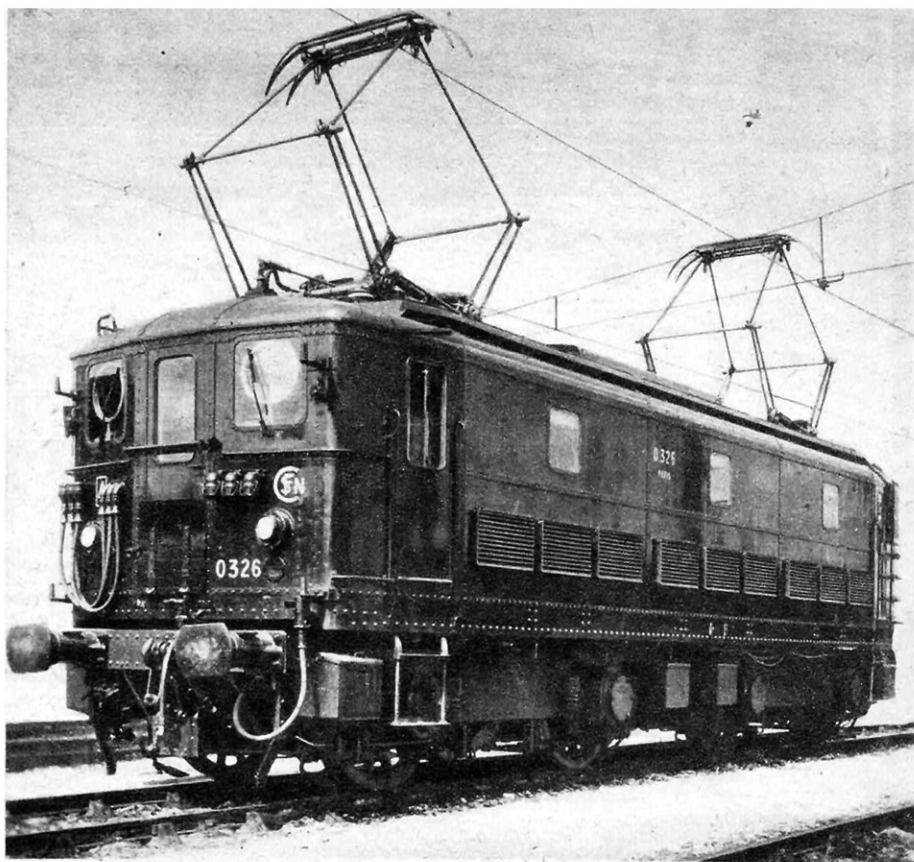


Fig. 70. LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE TYPE BB : POIDS 92 T, PUISSANCE 2 400 CH

en toute sécurité et dans des conditions de confort irréprochables, des trains à très grande vitesse sur des voies non spécialisées dont ni le tracé, ni les dévers ne pourront être notablement changés. Il faut donc faire appel à des matériels relativement légers ou plutôt à charge par essieu peu élevée et dont le centre de gravité devra demeurer assez bas pour ne pas exagérer les amplitudes de roulis à l'entrée ou aux sorties des courbes franchies à grande vitesse.

Pour de telles réalisations, lesquelles en sont encore au stade des études préliminaires, plusieurs prototypes de locomotives seront probablement essayés. Mais il est encore trop tôt pour en donner les caractéristiques, le choix des prototypes n'étant pas encore arrêté.

Plus tard, des rames automotrices électriques à très grande vitesse, de profil aérodynamique parfaitement étudié et aptes à circuler à des vitesses atteignant 200 km/h, pourront assurer ces mêmes relations. Il va de soi que ces vitesses exigeront des solutions spéciales tant en ce qui concerne le freinage que le confort des voyageurs, lesquels devront, bien entendu, être soustraits à l'action de la force centrifuge dans le franchissement des courbes à une vitesse aussi élevée. Mais c'est là une réalisation qui ne saurait être prévue pour l'avenir immédiat, encore que les études théoriques soient en cours et que l'on envisage de prochaines vérifications expérimentales en ligne sur maquettes.

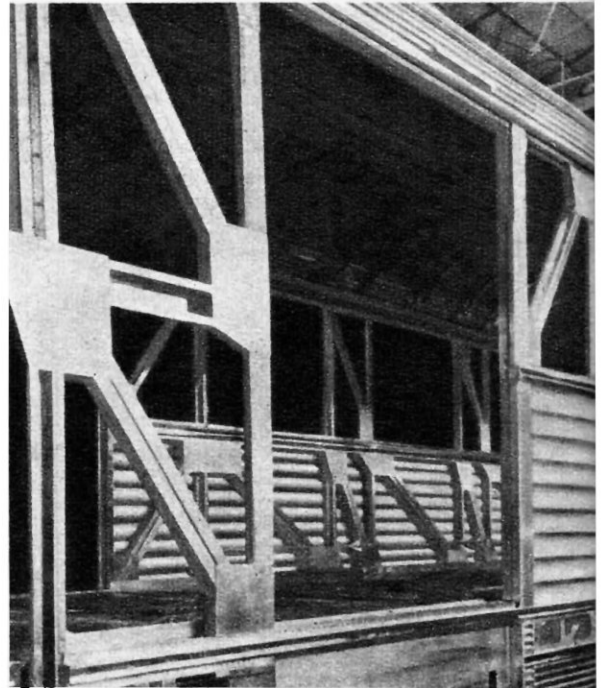
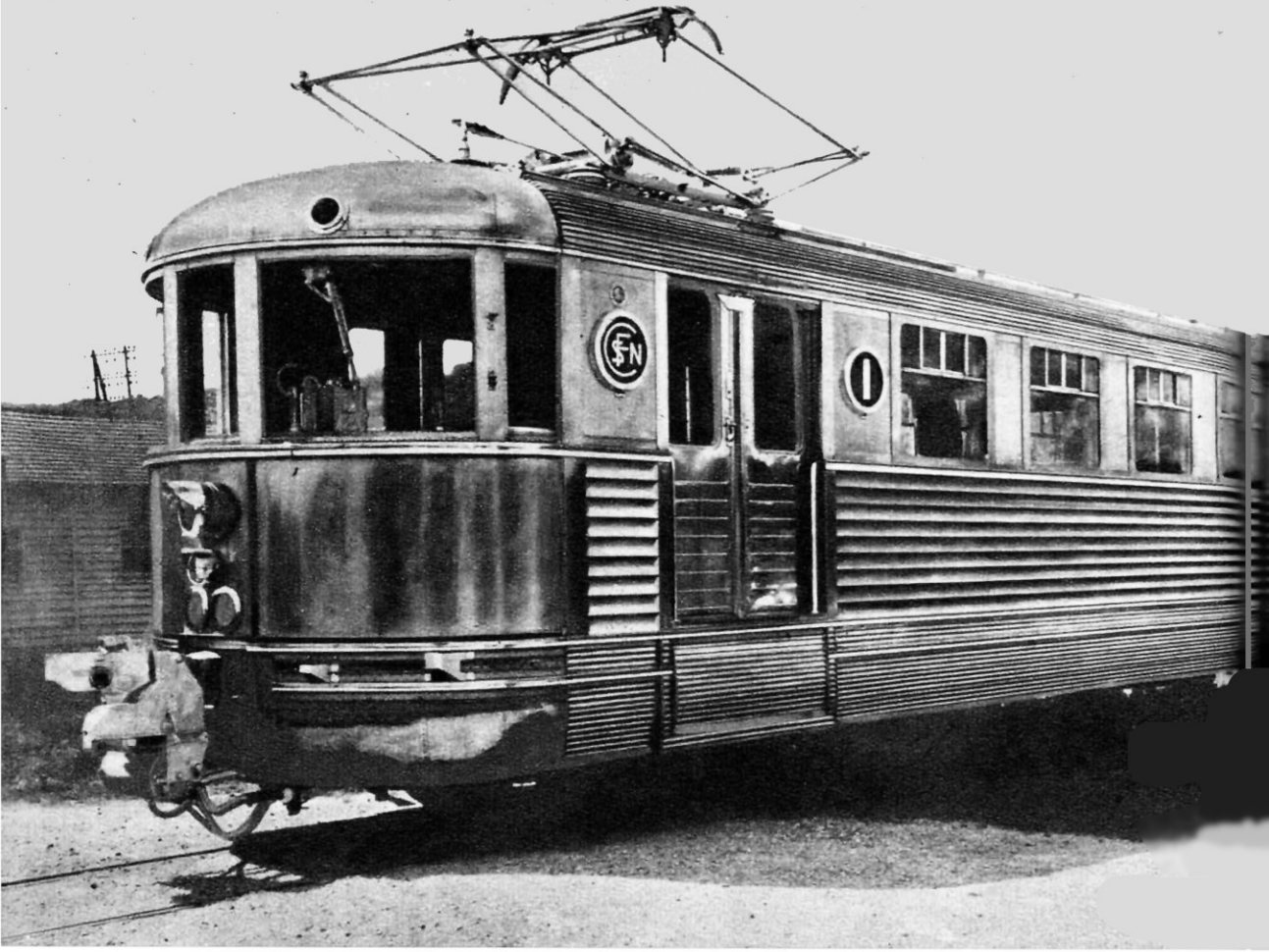


Fig.71. RAME AUTOMOTRICE «BUDD»

Construite en acier inoxydable. Ci-dessous : détails de construction de la caisse.



AUTOMOTRICES ÉLECTRIQUES

Le parc des automotrices électriques françaises comprend environ 550 unités qui, pour la plupart, sont des matériels anciens. Les rames automotrices à 750 V de la banlieue de Saint-Lazare, à Paris, par exemple, remontent pour leur conception à 1920 et leur construction s'est échelonnée entre 1923 et 1935. Bien qu'elles assurent encore un service impeccable sur le secteur le plus chargé de la banlieue parisienne, on ne saurait les présenter comme un matériel moderne. C'est en 1937, à l'occasion de l'électrification de la ligne Paris-Le Mans, que sont apparus en France les deux types modernes d'automotrices électriques : les automotrices dites de « ramassage » et celles de la banlieue de Montparnasse, connues sous le nom de « Budd ». C'est à cette époque, en effet, que la Société américaine Budd de Philadelphie introduisit en France sa technique de construction de caisses en acier inoxydable.

AUTOMOTRICES " BUDD "

LES automotrices type « Budd » sont destinées au service de grande banlieue sur Sevres, Trappes et Rambouillet ; elles ont été construites pour réaliser non seulement de fortes accélérations pour les services à arrêts rapprochés, mais encore des vitesses de régime élevées pour des parcours directs (130 km/h). Elles constituent des éléments indéformables, à deux caisses sur trois bogies, éléments spécialement allégés, à grande puissance et à adhérence totale. La tare atteint 74 tonnes pour une puissance de 1 200 ch.

C'est afin de réduire le plus possible le poids que l'on a fait appel aux procédés « Budd », employés aux Etats-Unis et qui utilisent l'acier inoxydable à haute résistance dénommé 18/8. C'est un acier au chrome-nickel (18 % de chrome, 8 % de nickel) à faible teneur en carbone qui, lorsqu'il a été recuit à haute température (1 200° C) et refroidi rapidement, présente une grande

résistance à la corrosion. Sa charge de rupture à la traction est alors de 60 à 65 kg/mm². Dans cet état, on l'utilise pour la fabrication des emboutis ou pièces de forme. Par laminage à froid, cet acier acquiert une haute résistance mécanique et sa charge de rupture à la traction se trouve portée à 105 kg/mm², mais il devient alors nécessaire de prendre des précautions spéciales pour effectuer la soudure si on veut conserver à cet acier ses hautes propriétés de résistance mécanique et de résistance à la corrosion. Pour ce faire, il faut utiliser des dispositifs dosant rigoureusement la quantité de courant nécessaire à la soudure en limitant la durée de passage de celui-ci à une valeur aussi faible que possible : c'est le procédé « shotweld » de soudure par résistance.

La grande résistance mécanique de cet acier et son inoxydabilité pouvant être conservées, il devenait alors possible de l'utiliser dans la construction sous forme de bandes ou tôles de faible épaisseur et de profils étudiés spécialement pour résister éventuellement au plissement local et au flambage.

L'aménagement intérieur d'une caisse double comprend deux cabines de conduite, une à chaque extrémité, quatre plates-formes d'accès, trois compartiments à voyageurs.

Nous signalerons, en outre, en ce qui concerne les dispositions mécaniques, le système de frein à air comprimé à action variable en fonction de la vitesse et le système moderne de climatisation.

Du point de vue électrique, ces automotrices comportent 6 moteurs de traction à 750 volts, autoventilés, qui peuvent être couplés en série, en série parallèle (2 groupes de 3) et en parallèle (3 groupes de 2). Elles possèdent un appareillage tout à fait spécial : les divers contacteurs sont commandés par deux arbres à cames entraînés chacun par un moteur actionnant une croix de Malte à multiples positions, calée sur l'arbre à cames. Le démarrage de ces automotrices s'effectue automatiquement sous l'action d'un relais d'accélération provoquant le passage d'un cran au suivant sans que le conducteur électrique ait à intervenir.

AUTOMOTRICES DE RAMASSAGE

Les automotrices de « ramassage » constituent en fait des unités prototypes destinées à assurer un service accéléré entre Chartres et Le Mans. Dans ce but, il était nécessaire de construire des véhicules capables de fortes accélérations, atteignant des vitesses de plafond élevées (130 km/h) et possédant bien entendu un système de freinage extrêmement puissant. Par là même, il était indispensable de réaliser un engin de poids aussi faible que possible, sans que ses qualités de résistance fussent amoindries.

Le problème a été résolu par l'adoption d'une caisse à poutre tubulaire exécutée en acier spécial soudé par points, où le revêtement extérieur, dit « travaillant », concourt,

avec l'ossature proprement dite, à la résistance de l'ensemble. De la sorte, on a pu arriver à une tare remarquablement faible de 37 tonnes pour une puissance de 500 ch.

Cette caisse comporte à chaque extrémité une cabine de conduite et deux plates-formes, dont l'une sert pour les bagages. La partie centrale est occupée par un vaste compartiment à voyageurs. Les traverses extrêmes portent chacune un attelage automatique genre « Boirault-Compact » avec coupleurs pneumatiques et électriques permettant l'accouplement et le désaccouplement instantanés.

Les bogies sont d'une conception particulière s'écartant délibérément des dispositions classiques adoptées jusqu'alors car, comme pour la caisse, il s'agissait de réaliser un bogie léger. Le châssis de ce dernier a donc été construit en tôles minces soudées formant des caissons rigides avec et y compris la traverse centrale en forme de croix de Saint-André, qui présente la particularité de constituer les réservoirs d'air en même temps que l'entretoisement principal. Les essieux sont équipés, d'autre part, en vue des grandes vitesses, avec des boîtes à rouleaux à rotules.

Ainsi que nous l'avons déjà souligné, le freinage a dû être particulièrement étudié étant donné le service à assurer : arrêts fréquents tous les 5 à 7 km, effectués à partir de 130 km/h avec une décélération de 1 m/s². Dans ces conditions, il était impossible d'utiliser un frein mécanique seul, sans risquer une usure de sabots et de bandages tout à fait inacceptable dans l'exploitation courante. Aussi a-t-il été décidé d'employer un frein mixte, électrique et mécanique, permettant d'obtenir un effort retardateur sensiblement constant, quelle que soit la vitesse, entre 140 km/h et l'arrêt complet. Le frein mécanique à air comprimé est automatique, modérable au serrage et au desserrage et inépuisable, et, de plus, d'une grande rapidité d'action. Le frein électrique est du type rhéostatique.

Enfin, parmi les divers aménagements réalisés sur ces automotrices, il est à remarquer que l'éclairage des cabines de conduite est assuré en « lumière noire », les indications des divers appareils de mesure étant recouvertes d'une matière phosphorescente (sulfure de zinc) activée par des lampes spéciales émettant des radiations non dangereuses.

LES PROJETS

Deux champs d'utilisation bien distincts s'offrent à l'emploi des automotrices : d'une part, les services de banlieue ou de grande banlieue ; de l'autre, le service omnibus dit de « ramassage » sur les grandes artères.

Pour ce qui est du premier, le programme actuel d'électrification de la ligne Paris-Lyon, qui a pour corollaire celle de la banlieue Sud-Est et l'électrification également prévue de la banlieue Nord, nous permettent de donner quelques précisions sur ce que

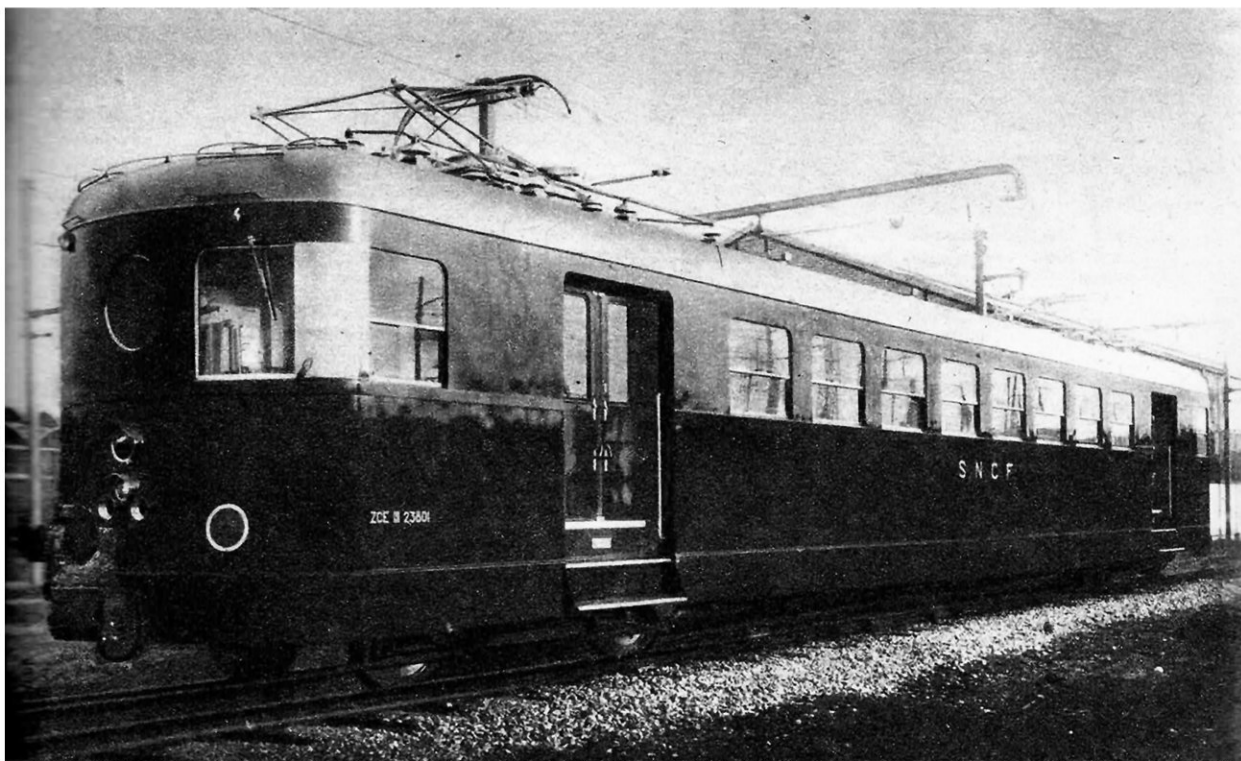


Fig. 75. AUTOMOTRICE DE RAMASSAGE RÉGION OUEST (ALSTHOM), POIDS : 38 T, PUISS. : 825 CH

sera le nouveau matériel de la banlieue.

Bien que le plafond des vitesses doive être porté à 120 km/h (au lieu de 90-100 km/h), il n'a pas été jugé nécessaire d'avoir recours à des éléments automoteurs à adhérence totale. Les nouvelles rames automotrices de banlieue seront établies sur le mode classique à deux véhicules par élément : une automotrice et une remorque.

La recherche d'une légèreté aussi poussée que possible ainsi que le souci de protéger efficacement les caisses contre la corrosion a conduit, d'autre part, à envisager pour les nouvelles rames électriques de banlieue la construction en acier inoxydable 18/8 qui, sur les automotrices « Budd » dont nous avons parlé plus haut, a donné des résultats très encourageants. Cette décision est du reste appuyée par l'expérience présente aux Etats-Unis où l'emploi de l'acier inoxydable sur le matériel de chemin de fer connaît un large développement.

Signalons enfin qu'un des problèmes de base dans la définition des caractéristiques d'aménagement de ce nouveau matériel réside dans l'obligation de pouvoir lui faire desservir à la fois des quais bas du type ordinaire et les quais hauts du souterrain de Paris-Quai d'Orsay (car, dans l'avenir, certains trains de la banlieue partiront de cette dernière gare).

Par contre, pour ce qui est du service de « ramassage » sur les grandes artères, le type n'est pas encore arrêté définitivement. Il devra, bien entendu, tenir compte des résultats obtenus avec les automotrices récentes de la région Ouest et reste surtout subordonné à ce que donneront, à l'épreuve du service

courant, deux nouvelles automotrices rapides à adhérence totale commandées un peu avant les hostilités et dont la première unité doit être livrée incessamment.

Ces automotrices destinées à assurer le service tant sur les lignes de plaine, comme Bordeaux-Hendaye, que sur les lignes à profil accentué, comme la ligne transpyrénéenne Toulouse-La Tour-de-Carol, permettront le transport de 296 voyageurs dont 146 assis. Les performances suivantes seront exigées d'elles lors des essais de réception

— marche à vitesse maximum soutenue de 140 km/h, avec pointe à 160 ;

— parcours de plaine Bordeaux-Hendaye en charge maximum, à une vitesse commerciale de 100 km/h, y compris 6 arrêts intermédiaires (durée du parcours 2 h 20 mn);

— parcours de montagne : Toulouse-La Tour-de-Carol (parcours comportant de longues rampes de 40 0/00) en charge maximum à une vitesse commerciale de 52 km/h avec 28 arrêts intermédiaires (durée du parcours, 3 h 10 mn).

De conception entièrement française, elles sont constituées de deux caisses montées sur trois bogies à deux essieux moteurs, le bogie médian comportant un pivot commun aux deux caisses. La charpente de celle-ci est en tôle d'acier mi-dur soudée électriquement. Chaque essieu est commandé par un moteur entièrement suspendu et les 6 moteurs de l'élément assureront une puissance continue de 1 044 ch sous 1 350 volts.

Sans préjuger de la décision à intervenir, il est probable que c'est vers une

formule de ce genre que s'orientera la S. N. C. F. pour les automotrices de grandes lignes.

Constituées en rames de plusieurs éléments, elles assureront des liaisons rapides dans des conditions de confort particulièrement soignées entre les centres principaux des régions électrifiées. En outre, leur grande accélération, due au fait que tous les essieux seront moteurs, permettra d'effectuer des dessertes de gares intermédiaires avec des

temps de parcours réduits. L'utilisation d'aciers à hautes caractéristiques mécaniques et résistant efficacement à la corrosion, tel l'acier inoxydable 18-8, l'application de procédés modernes de soudure électrique, la conception de caisses dont tous les éléments, y compris le revêtement extérieur, participent efficacement à la résistance de l'ensemble, permettront de réaliser un matériel léger, particulièrement adapté aux exigences d'une exploitation moderne.

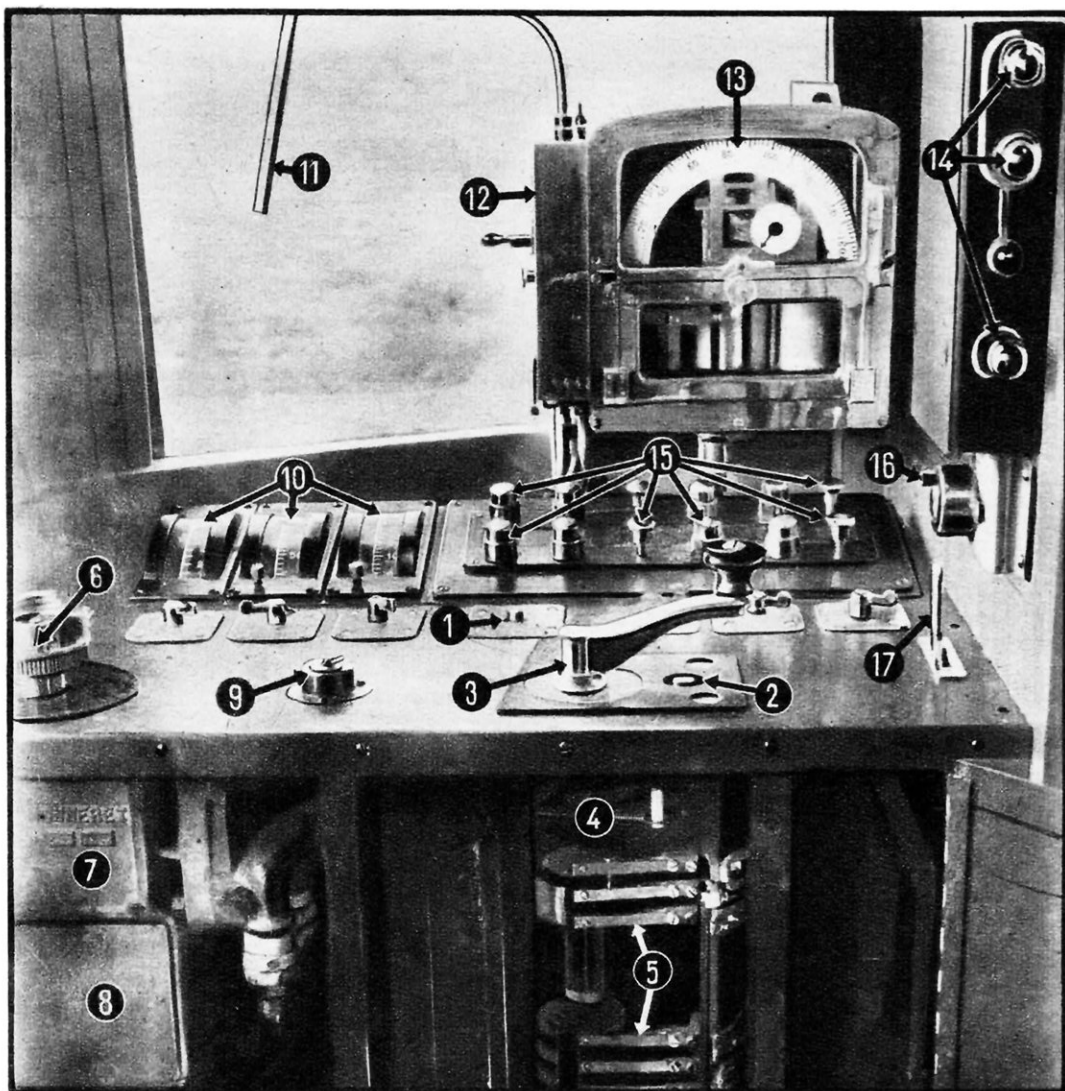


Fig. 76. POSTE DE CONDUITE D'UNE AUTOMOTRICE DE RAMASSAGE

1, mise en service ou isolement du poste de conduite ; 2, marche avant ou arrière ; 3, couplage des moteurs (marche en série ou en parallèle) et réglage de la vitesse par le champ inducteur ; 4, contrôleur de manœuvre ; 5, doigts de contact du contrôleur ; 6, robinet de frein (frein mixte : pneumatique et électrique) ; 7, partie pneumatique ; 8, partie électrique ; 9, « homme mort », dispositif provoquant automatiquement l'arrêt du train en cas de défaillance du conducteur ; 10, appareils de mesures électriques (ampèremètres, voltmètres) ; 11, essuie-glace ; 12, répéteur-enregistreur des signaux fermés ; 13, indicateur-enregistreur de vitesse Flaman ; 14, boutons-poussoirs de manœuvre des pantographes ; 15, boutons de commande des auxiliaires : compresseur d'air, chauffage, etc. ; 16, bouton pour la fermeture des portes ; 17, avertisseur.

DU MOTEUR DIÉSEL A LA TURBINE A GAZ

Avant 1930, les chemins de fer français n'utilisaient guère les moteurs à combustion interne que sur des engins de faible puissance : draisines légères pour l'inspection des voies, petits locotracteurs de manœuvre dans les gares. Il s'agissait presque toujours de véhicules équipés avec des moteurs à essence pour camions. La mise au point du moteur diesel rapide, développant plusieurs centaines de chevaux, fut à la base de l'essor des autorails, qui devaient d'abord améliorer considérablement la desserte des lignes secondaires, pour s'étendre ensuite aux grandes lignes et y assurer même des relations à très grande vitesse. C'est en France, en Allemagne et en Hollande que l'automotrice à moteurs diesels a remporté ses plus grands succès ; un des engins qui fit époque dans ce domaine, et qui a servi d'ailleurs de modèle aux réalisations françaises, hollandaises et belges, est le premier train automoteur rapide (Triebwagen), construit en Allemagne par la Reichsbahn avec des moteurs Maybach. A partir de 1935, les réseaux français expérimentèrent des moteurs diesels puissants sur des locomotives de manœuvre, puis sur des locomotives de ligne développant plusieurs milliers de chevaux et rivalisant, par conséquent, avec les locomotives à vapeur et électriques les plus puissantes. Dans ce dernier domaine, il importe de citer l'exemple des réseaux des Etats-Unis, sur lesquels la traction par moteur diesel a pris, depuis quelques années, un essor considérable ; les avantages obtenus avec le nouveau mode de traction sont tels que, dans ce pays, la construction de locomotives à vapeur est sérieusement ralentie, ainsi que les électrifications de grandes lignes. En France, la grave pénurie de charbon dont souffre notre économie oblige à recourir aux importations de combustibles, et cette situation est en faveur du développement de la traction par moteur à combustion dont le rendement énergétique, très supérieur à celui de la machine à vapeur, contribue à réduire, en fin de compte, nos sorties de devises. Enfin, un nouveau type de moteur thermique, la turbine à gaz, qui constitue déjà un des organes essentiels du moteur à réaction qui équipe les avions les plus modernes, vient d'apparaître sur les voies ferrées où elle semble susceptible de concurrencer vivement les autres systèmes de traction.

DEPUIS une quinzaine d'années, les applications des moteurs à combustion à la traction sur les voies ferrées ont pris une notable extension. Le moteur diesel, en particulier, est devenu suffisamment sûr et suffisamment léger pour concurrencer victorieusement, dans de nombreux cas, la machine à vapeur, et même parfois la locomotive électrique.

Sa supériorité sur les autres machines thermiques réside essentiellement dans la valeur élevée de son rendement global, qui dépasse de loin celui de la machine à vapeur. A pleine charge, le rendement propre d'un moteur diesel atteint 36 ou 38 %, ce qui conduit, pour l'ensemble d'une locomotive, en tenant compte des pertes dans la transmission à un rendement de l'ordre de 28 % : celui de la locomotive à vapeur moderne n'atteint pas 12 % dans les mêmes conditions. Aux charges partielles, le rendement du moteur diesel reste élevé.

Si l'on ajoute à cela que le moteur diesel peut être facilement arrêté et mis en route,

de sorte que la locomotive ne consomme pas pendant les stationnements, on conçoit qu'il procure une économie très importante de combustible ; par voie de conséquence, leur faible consommation a également pour effet de donner aux engins à moteurs diesels une grande autonomie : 500 à 600 km pour les autorails. 1 000 à 1 200 km pour les locomotives.

L'entretien courant des engins à moteurs diesels est très réduit, et il s'effectue le plus souvent par échange standard de pièces rapidement démontables, de sorte que les immobilisations des véhicules sont espacées et de courte durée. L'utilisation du matériel peut donc être intensive, et elle présente, à cet égard, beaucoup d'analogie avec celle des locomotives électriques (les deux locomotives diesels de 4 000 ch de la région du Sud-Est, par exemple, effectuent chaque jour un aller et retour Paris-Lyon, de sorte que leur parcours annuel moyen dépasse 300 000 km ; à elles deux, elles remplacent cinq locomotives à vapeur).

LES MOTEURS

Tant que le moteur diesel n'a pas présente des garanties suffisantes de bon fonctionnement, le moteur à mélange préalable, c'est-à-dire le moteur avec carburateur alimenté à l'essence, a été seul en usage sur nos chemins de fer. Mais, en raison de sa consommation spécifique importante, il n'a équipé que des engins de puissance modérée, locotracteurs de manœuvre ou autorails.

Pour des raisons d'économie, le moteur à mélange préalable est progressivement abandonné, et tous les futurs matériels des lignes françaises comporteront exclusivement des moteurs à injection du type diesel, qui est d'ailleurs celui qui a reçu actuellement les applications de beaucoup les plus nombreuses sur les chemins de fer (1).

Alors que, au début de la traction par moteur diesel, on utilisait surtout le moteur à deux temps, ce dernier est maintenant presque entièrement supplanté par le moteur à quatre temps à injection directe, qui a reçu, depuis une dizaine d'années, un perfectionnement important : la suralimentation par turbo-soufflante à gaz d'échappement.

L'opération consiste à utiliser l'énergie qui reste disponible dans les gaz d'échappement pour actionner une turbine à gaz attelée à un compresseur branché sur l'admission d'air. Ce compresseur, en augmentant la pression de l'air d'alimentation du moteur, procure un surcroît de puissance par litre de cylindrée, sans modifier la pression maximum, c'est-à-dire sans accroître sensiblement la fatigue des organes. De ce fait, la puissance développée par cylindre a pu être augmentée de près de 50 %, sans accroissement important du poids total du moteur.

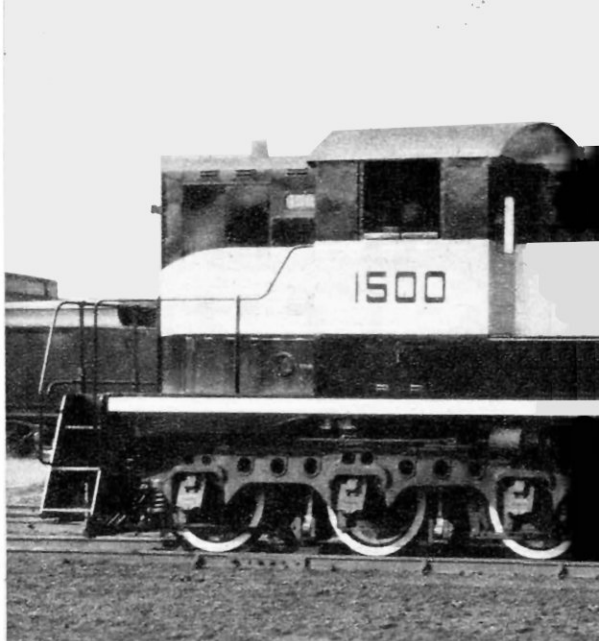
LES TRANSMISSIONS

Les moteurs à combustion ne pouvant développer leur puissance qu'entre certaines limites de vitesse et ne se prêtant pas, notamment, aux démarrages en charge, il est nécessaire d'interposer, entre l'arbre des moteurs et les essieux, une transmission à démultiplication variable. Sur les véhicules ferroviaires, on utilise des transmissions électriques, hydrauliques et mécaniques.

a) La transmission électrique

La transmission électrique, qui a été utilisée dès l'origine de la traction par moteurs à combustion, est encore d'un emploi à peu près général lorsque la puissance à trans-

(1) Cette mesure conduit à abandonner la construction des autorails sur pneumatiques, qui requièrent des moteurs particulièrement légers. Mais il eût été regrettable de ne plus profiter du confort que le pneumatique confère au matériel ferroviaire et qui réside surtout dans la suppression presque totale du bruit et des vibrations. C'est pourquoi, profitant de l'expérience acquise avec les autorails, la S. N. C. F. fait construire, sous la direction des usines Michelin, trois rames de voitures sur pneumatiques qui assureront des relations rapides entre Paris et Strasbourg.



mettre dépasse 500 ch. Elle consiste à alimenter des moteurs électriques de traction, accouplés aux essieux comme sur une locomotive électrique, par un groupe électrogène comportant une génératrice à courant continu.

Rappelons ses principaux avantages :

— Facilité d'installation, l'emplacement du moteur diesel n'étant pas dicté par le souci de la liaison de son arbre moteur avec les essieux. Ceux-ci peuvent donc être nombreux et répartis dans des trucks ou bogies distincts, d'où facilité d'inscription des véhicules dans les courbes et réduction possible de la charge des essieux ;

— Toute la puissance du moteur à combustion peut être utilisée sur une gomme assez étendue de la vitesse de l'engin.

— Lorsqu'on fonctionne à charge partielle, il est possible, avec la transmission électrique, de limiter la vitesse du moteur à celle qui correspond, pour la charge considérée, à la consommation spécifique minimum. Cette faculté compense, dans une très large mesure, l'infériorité du rendement des transmissions électriques vis-à-vis de celui des transmissions mécaniques.

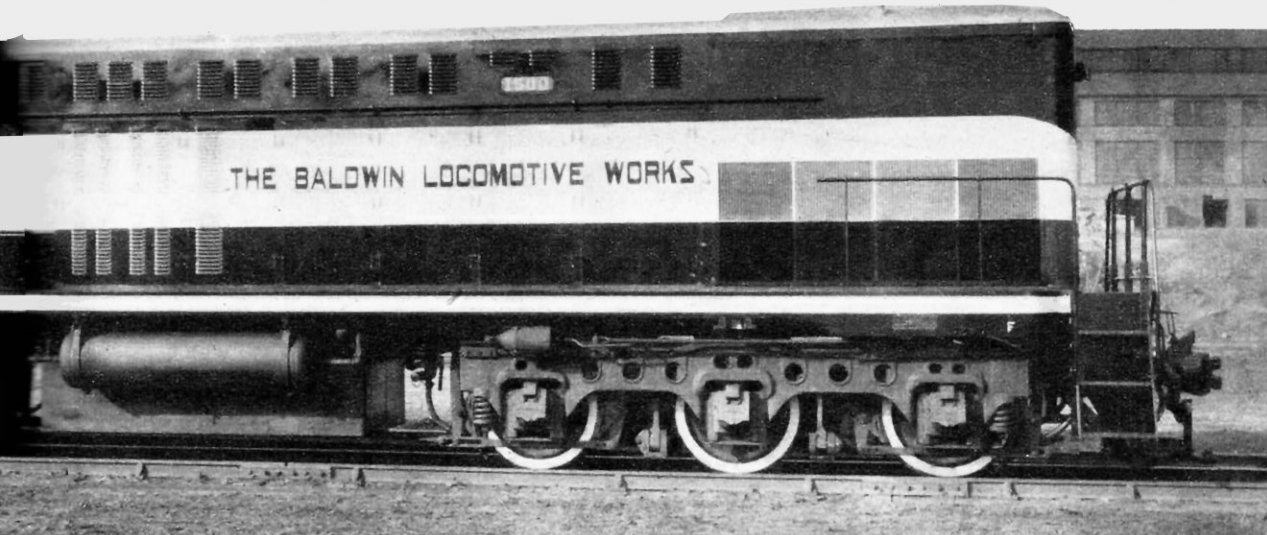
— Enfin, la transmission électrique se prête particulièrement bien au fonctionnement en unités multiples, c'est-à-dire à accouplement de plusieurs engins moteurs conduits par un seul mécanicien.

Par contre, la transmission électrique est plus lourde et plus coûteuse que la transmission mécanique, tout au moins dans le domaine d'utilisation courante de ces dernières transmissions.

b) La transmission hydraulique

La transmission hydraulique n'est utilisée en France que sur quelques locomotives de manœuvre. Ces transmissions font appel à deux catégories d'organes bien distincts : les coupleurs hydrauliques, et les convertisseurs de couple.

Fig. 77. LOCOMOTIVE DIESEL-ÉLECTRIQUE américaine Baldwin de 1 500 ch à compresseur pour la traction des trains et les manœuvres.



Les *coupleurs hydrauliques* sont constitués schématiquement par deux demi-tores creux, remplis de liquide, compartimentés par des cloisons radiales, tournant l'un en face de l'autre dans un carter commun. L'un des demi-tores est fixé sur l'arbre des moteurs, et l'autre sur l'arbre relié aux essieux. Le fluide prend, dans le tore, un mouvement giratoire du fait que les vitesses de rotation des deux arbres sont différentes, et ce mouvement giratoire donne naissance à des accélérations complémentaires productrices de couple.

Ces coupleurs sont utilisés comme embrayages fluides et ils peuvent remplacer avantageusement les embrayages à disques des transmissions mécaniques, grâce à l'élasticité de leur couplage. Leur rendement reste, toutefois, constamment inférieur à l'unité et se tient, en pratique, aux environs de 98 %.

Certains autorails de la S. N. C. F. à transmission mécanique comportent un tel embrayage fluide, dont le fonctionnement est entièrement automatique.

Les *convertisseurs de couple* comportent, dans un même carter, deux groupes d'aubages mobiles, respectivement solidaires des arbres primaire et secondaire, et un groupe d'aubages fixes solidaires du carter. Les aubages mobiles, reliés à l'arbre primaire, fonctionnent comme une pompe centrifuge, et les aubages mobiles reliés à l'arbre secondaire, comme une turbine hydraulique réceptrice. Grâce à la présence des aubages fixes, sur lesquels les filets liquides viennent réagir, les vitesses de rotation et les couples primaire et secondaire peuvent être très différents, par exemple dans le rapport de 4 à 1.

Le rendement de ces convertisseurs ne dépasse pas 85 %.

Ils sont surtout utilisés sur des tracteurs de manœuvre, dont la puissance ne dépasse pas quelques centaines de chevaux. Jusqu'à présent, en effet, les tentatives d'application de tels transformateurs à des locomotives puis-

santes n'ont pas été couronnées de succès.

c) *La transmission mécanique*

Il n'y a pas lieu d'insister sur la transmission mécanique, universellement répandue sur le matériel automobile et dont les principes sont bien connus. Mais l'extension de ces transmissions au matériel ferroviaire ne va pas sans difficultés dues à l'importance des efforts mis en jeu et à l'inertie considérable des masses en mouvement. C'est dire que, sauf sur des petits engins, toutes les boîtes de vitesses utilisées par le chemin de fer comportent des organes de synchronisation entrant en fonctionnement lors du passage des vitesses.

La réalisation de ces organes devient délicate lorsque les puissances à transmettre sont importantes, du fait de la grande inertie des organes ; l'emploi du coupleur hydraulique, qui introduit dans la transmission un lien élastique, facilite, dans une certaine mesure, la solution du problème.

Des progrès importants ont été réalisés par les constructeurs français dans le domaine des transmissions mécaniques, et c'est ce type de transmission qui équipe actuellement la plupart des autorails en service et qui est retenu pour la construction des futurs autorails.

Des perfectionnements très substantiels ont été également apportés au système de commande des transmissions mécaniques, perfectionnements qui rendent possible le fonctionnement de plusieurs équipements moteurs en unités multiples.

LOCOTRACTEURS ET LOCOMOTIVES DE MANŒUVRE

Le service des manœuvres dans les gares nécessite un matériel relativement nombreux, et il entre pour une part non négligeable dans les dépenses du chemin de fer. C'est ainsi, par exemple, que, immédiatement avant la guerre, la consommation de charbon des locomotives



Fig. 75. RAVITAILLEMENT ET VISITE D'UNE LOCOMOTIVE DIESEL-ÉLECTRIQUE FRANÇAISE DE 4 000 CH

de manœuvre atteignait presque 10 % de la consommation totale de la S. N. C. F.

La gamme des engins affectés aux manœuvres est assez étendue, depuis le petit tracteur de quelques tonnes qui remplace le cheval autrefois utilisé dans nombre de gares, jusqu'à la puissante machine, d'un millier de chevaux, pesant une centaine de tonnes, qui déplace les lourds trains de marchandises sur les faisceaux des grands triages.

Dans les gares de faible et de moyenne importance, qui requièrent généralement des engins de manœuvre de puissance modérée, le service est caractérisé par son intermittence ; les manœuvres doivent, en effet, s'adapter aux opérations de chargement et de déchargement, d'une part, et ne gêner en rien les mouvements des trains de passage, d'autre part. C'est ce qui explique la faveur dont ont joui les locotracteurs de manœuvre avec moteur à combustion, dès que la technique de ces engins a pu être suffisamment développée. Ils peuvent en effet être très facilement conduits par un agent de la gare utilisé à d'autres besognes pendant les périodes de stationnement de l'engin ; leur conduite est facile et propre ; la mise en route et l'arrêt du tracteur sont instantanés ; le ravitaillement et l'entretien courant ne nécessitent pas d'installation spéciale et peuvent, par conséquent, être effectués dans la gare même.

Dans les petites gares et dans certains ateliers et dépôts de machines, la S. N. C. F.

utilise des petits locotracteurs à deux essieux de 8 à 15 tonnes, dotés d'un moteur développant 25 à 60 ch et fonctionnant soit au gasoil, soit à l'essence. Ces engins comportent une transmission mécanique rustique, dont la manœuvre présente beaucoup d'analogie avec celle d'un camion.

Pour les services plus importants, il existe de nombreux locotracteurs d'une trentaine de tonnes, avec moteur diesel de 150 ch. Ces tracteurs offrent déjà d'assez larges possibilités, puisqu'ils peuvent remorquer une dizaine de wagons, et effectuer quelques manœuvres au lancer.

Pour les manœuvres qui exigent le déplacement de trains complets, il faut recourir à de véritables locomotives et, jusqu'à ces dernières années, la machine à vapeur était seule en usage sur les lignes non électrifiées. Suivant l'importance des services on utilisait des machines à trois, quatre, et même cinq essieux couplés, susceptibles de développer à la jante de leurs roues des puissances qui s'échelonnaient entre 250 et un millier de chevaux. Mais la machine à vapeur n'est pas sans présenter d'assez sérieux inconvénients pour cet usage, du fait qu'elle consomme du charbon pendant les stationnements, qu'elle nécessite un personnel de conduite spécialisé et qu'elle doit se ravitailler assez fréquemment en eau et en combustible ; c'est ce qui explique la faveur dont jouit la traction diesel dans ce domaine.

Certains pays, comme les Etats-Unis, ont complètement abandonné, depuis plusieurs années déjà, la construction des locomotives à vapeur de manœuvre. En Angleterre même, la Southern Railway envisage d'assurer toutes les manœuvres dans les gares et triages par des engins à moteur diesel. En France, devant les résultats satisfaisants obtenus avec les machines diesels mises en service depuis bientôt dix ans, la même politique va être suivie. On prévoit, à cet effet, l'utilisation de trois types de locomotives à moteurs diesels :

— des locomotives à trois essieux, équipées avec un moteur de 350 ch environ, qui remplaceront les nombreuses petites locomotives à vapeur à trois essieux couplés dont beaucoup de gares sont dotées et qui assurent les services légers ;

— des locomotives diesel-électriques plus puissantes, également à trois essieux couplés, mais pourvues d'un moteur de 500 ch qui, utilisées isolément, assureront les services plus difficiles actuellement confiés à des locomotives à trois et quatre essieux. Ces machines pourront être accouplées par deux, conduites par un seul agent, et effectuer alors les manœuvres des trains lourds, actuellement confiées à des locomotives à cinq essieux couplés. Au surplus, ces mêmes locomotives se prêteront particulièrement bien à la réalisation des opérations de débranchement sur les buttes de triage, qui consistent à refouler à faible vitesse le train à débrancher sur la butte, en vue de repartir les wagons sur les diverses voies du faisceau de formation. Cette opération nécessite une grande adhérence, donc un poids élevé parce que les efforts à développer sont importants, mais la puissance nécessaire reste relativement modérée parce que les vitesses ne dépassent pas quelques kilomètres à l'heure. L'engin de débranchement sera donc constitué par une locomotive de 500 ch à trois essieux, attelée à un truck tracteur formé par un châssis à trois essieux moteurs identique à celui de la locomotive, mais ne portant pas de groupe électrogène, et dont les moteurs électriques de traction seront insérés dans le circuit de la locomotive. On réalise ainsi un ensemble capable de gros efforts à faible vitesse.

Les locomotives diesel de manœuvre disposent d'une grande réserve de

combustible, qui leur assure une large autonomie. C'est ainsi, par exemple, que, dans les gares du port de Marseille, où les manœuvres sont maintenant assurées par quelques-unes des cent locomotives diesel-électriques commandées à l'industrie américaine après la Libération, les machines restent en service absolument continu pendant dix jours ; après cette période, elles rentrent quelques heures seulement au dépôt pour être visitées et ravitaillées.

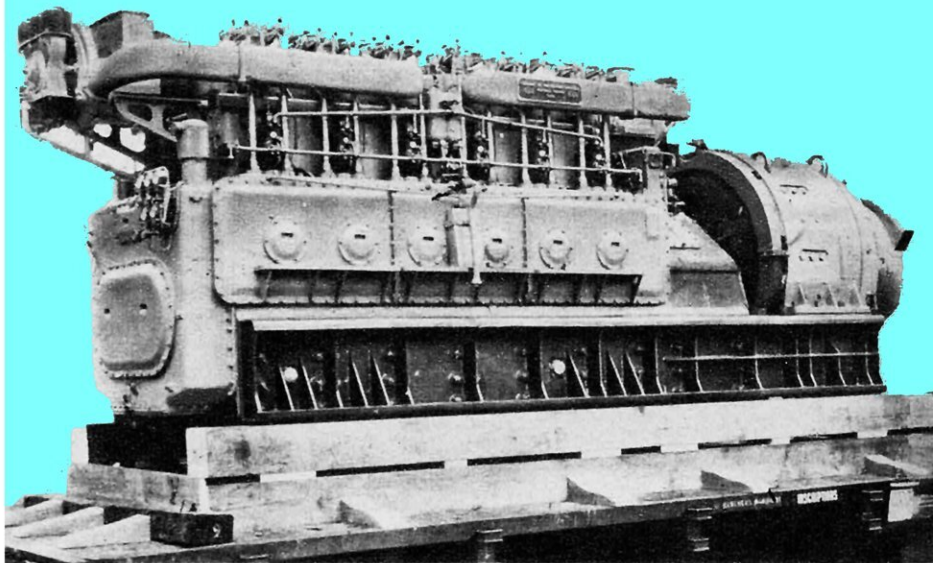
LOCOMOTIVES DIESELS DE LIGNE

Nous avons déjà vu que c'est incontestablement aux Etats-Unis que la grande traction, celle des lourds convois à marchandises ou des trains ultrarapides, a le plus largement fait appel à la locomotive diesel, sous sa forme la plus pratique actuellement pour les grandes puissances, la transmission électrique. Sur certains réseaux américains, la traction diesel-électrique s'est substituée entièrement à la traction à vapeur.

En général, une locomotive diesel-électrique américaine est constituée par un, deux, trois ou quatre engins, identiques quant à la partie mécanique ou électrique, d'une puissance unitaire variant entre 1 500 et 2 000 ch, portés par des bogies à trois essieux, équipés de moteurs électriques. Cependant Baldwin, en Amérique, a construit récemment, pour le Seaboard entre autres, des locomotives accouplables par deux, et dont la puissance atteint 4 000 ch.

Les réseaux des Etats-Unis utilisent ainsi couramment des locomotives développant 6 000 ch, qui remorquent, notamment sur les

Fig. 79. MOTEUR DIESEL SULZER DE 2 000 CH d'une des deux locomotives diesel-électriques à grande vitesse de la région Sud-Est de la S. N. C. F.



LOCOMOTIVE DIESEL-ÉLECTRIQUE AMÉRICAINE DE 6 000 CH

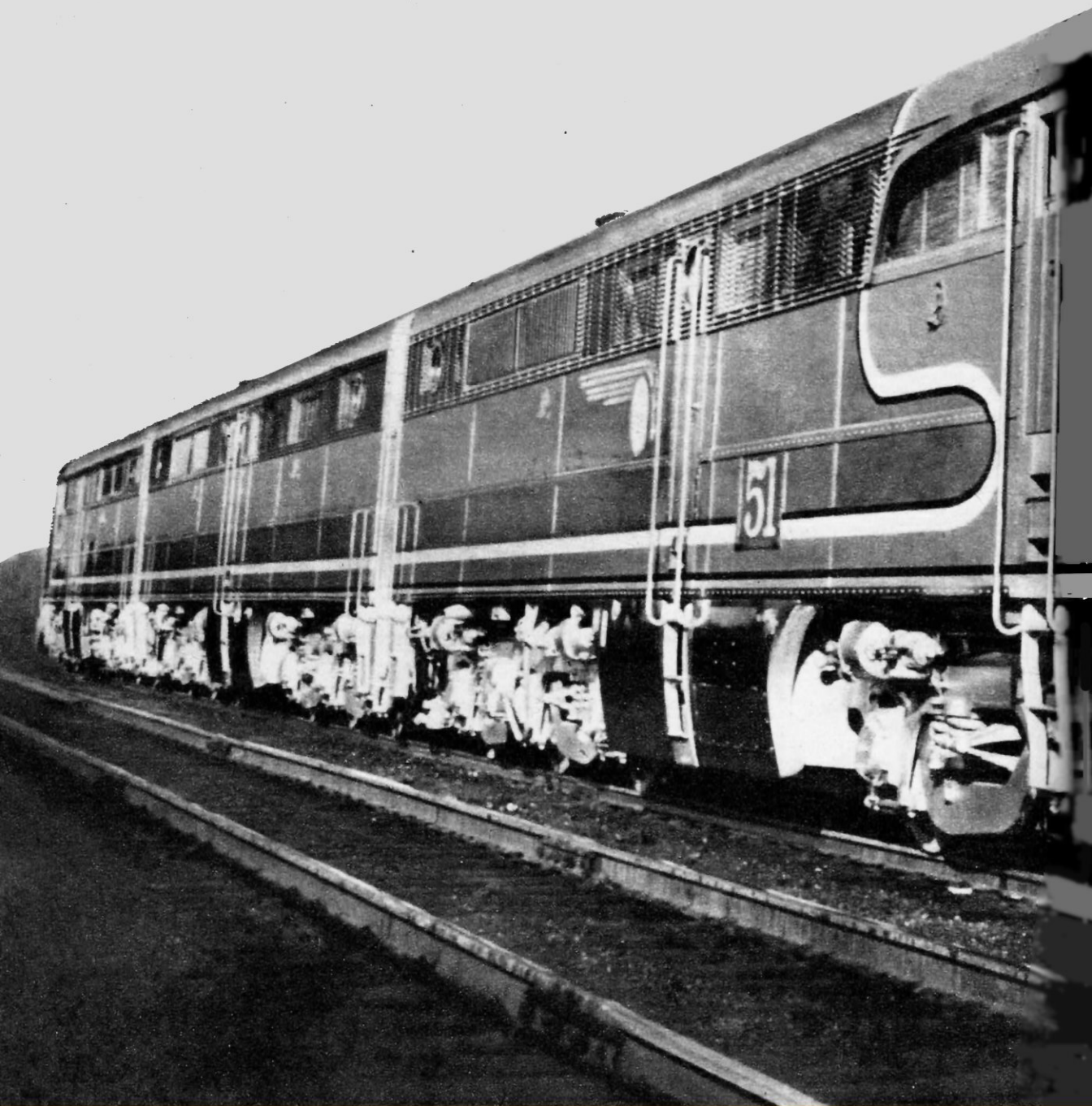


Fig. 80. Cette locomotive diesel-électrique, construite par l'American Locomotive Company et la General Electric Company pour l'Atchison, Topeka and Santa Fe Railway, est destinée au service des trains rapides qui traversent le continent américain entre Chicago et la Côte du Pacifique. Elle peut atteindre 192 km/h. Sa puissance totale est de 6 000 ch, fournie par trois moteurs diesel de chacun 2 000 ch, quatre temps, seize cylindres en V, avec turbo-compresseurs mus par les gaz d'échappement. La locomotive est fractionnable en trois



unités, portant chacune un des moteurs de 2 000 ch, la première et la troisième comportant chacune une cabine de conduite, de sorte que l'ensemble des trois unités est réversible. Le poids total de la locomotive est de 450 t. Elle effectue le parcours Chicago-Pacifique sans ravitaillement intermédiaire. Les réparations légères peuvent être effectuées par les moyens du bord. La locomotive, au dire du constructeur, doit pouvoir fonctionner pendant trois ans, ce qui représente 1 600 000 km parcourus, sans révision générale.

lignes très accidentées de l'Ouest, des trains de voyageurs dépassant largement 1 000 tonnes, et de lourds convois de marchandises de 4 000 à 5 000 tonnes.

L'économie du bilan d'exploitation des locomotives diesel exige d'ailleurs qu'elles soient en service quasi continu, car ce sont des engins chers. Leur parcours mensuel moyen atteint et dépasse 40 000 km, soit le tour de la Terre à l'équateur. Leurs approvisionnements autorisent des parcours sans arrêts hors de proportion avec ceux que nous connaissons chez nous, 1 000 km entre ravitaillements étant chose fréquente.

Une utilisation aussi intensive implique des méthodes d'entretien particuliers : ce dernier est partiellement assuré en cours de route, comme sur un paquebot.

Notons que les difficultés d'approvisionnement en charbon, qui se font sentir même aux Etats-Unis, ne sont pas étrangères à la faveur dont jouit la locomotive diesel-électrique dans ce pays.

En France, la situation est évidemment moins favorable, parce que la nature des services à assurer se prête moins bien à la réalisation des parcours journaliers très élevés qui sont nécessaires pour tirer un bon parti des possibilités de la locomotive diesel et rendre son utilisation économique, malgré son prix élevé de construction. Néanmoins, certaines grandes artères françaises, dont l'électrification n'est pas envisagée, se prêtent à l'utilisation intensive des locomotives diesels, de sorte que, après les bons résultats obtenus sur la ligne de Paris à Lyon avec deux locomotives diesel-électriques de 4 000 ch, mises en service en 1937, la S. N. C. F. envisage de faire construire 20 locomotives à grande vitesse, plus spécialement destinées à la traction des rapides et express de voyageurs et des trains de messageries, dont les deux moteurs diesels pourront développer ensemble 3 200 ch d'une façon continue, et 3 600 ch au cours des démarrages.

Une des difficultés rencontrées dans l'emploi des locomotives diesels pour la traction des trains de voyageurs réside dans leur inaptitude à fournir la vapeur nécessaire au chauffage des voitures. Des fourgons-chaudières seront donc adjoints aux locomotives pendant l'hiver (1).

La S. N. C. F. se propose également d'établir, sur les grandes artères rayonnant autour de Paris, des relations de jour à très grande vitesse (160 km/h), et certaines d'entre elles (Paris-Lille, Paris-Le Havre) seront assurées par des locomotives actionnées par un diesel de 2 000 ch.

Enfin, il est apparu avantageux de substituer la traction diesel à la traction à vapeur sur la section nord de la Grande Ceinture de Paris

(1) Par contre, sur les matériels automoteurs dont il est question plus loin, le chauffage des compartiments voyageurs peut être très facilement réalisé en utilisant l'eau de refroidissement du moteur, qui procure gratuitement les calories nécessaires.

(Versailles à Villeneuve-Saint-Georges par Argenteuil et Le Bourget), dont l'électrification n'est pas prévue. La traction des nombreux trains qui empruntent cette section s'apparente en effet aux services de manœuvres, en raison, notamment, de la fréquence des stationnements. Le service sera assuré avec des locomotives diesels de 2 000 ch, comportant deux bogies à trois essieux moteurs, et pesant 125 tonnes.

LES AUTORAILS

Il y a fort longtemps que les chemins de fer ont cherché à utiliser des véhicules automoteurs aptes à assurer économiquement les services qui ne requièrent pas une capacité de l'importance de celle des trains ordinaires. Les problèmes techniques posés par la réalisation des automotrices ont été facilement résolus en traction électrique, mais ont soulevé de grosses difficultés en traction autonome, tant qu'on n'a disposé que du matériel à vapeur, relativement encombrant lorsqu'il s'agit de faibles puissances, et surtout dont les sujétions de conduite et de ravitaillement s'avéraient, en l'espèce, excessives.

La mise au point des moteurs à combustion de plusieurs centaines de chevaux et, plus spécialement, du moteur diesel rapide (1 500 t/mn) a rendu possible le développement des automotrices autonomes, qui ont pris, depuis une quinzaine d'années, une place appréciable dans l'exploitation des chemins de fer.

Conçus à l'origine pour desservir exclusivement les petites lignes, les autorails — puisque c'est ainsi qu'on désigne en France les automotrices à moteurs à combustion — ont vu leur champ d'action s'étendre progressivement, et ils satisfont maintenant à des besoins très divers :

— remplacement des trains à vapeur sur des lignes à trafic moyen ou faible ;

— service de ramassage ou de distribution sur certaines grandes artères venant compléter le réseau des trains express, avec lesquels ils sont en correspondance ;

— relations directes sur lignes transversales ou entre villes importantes.

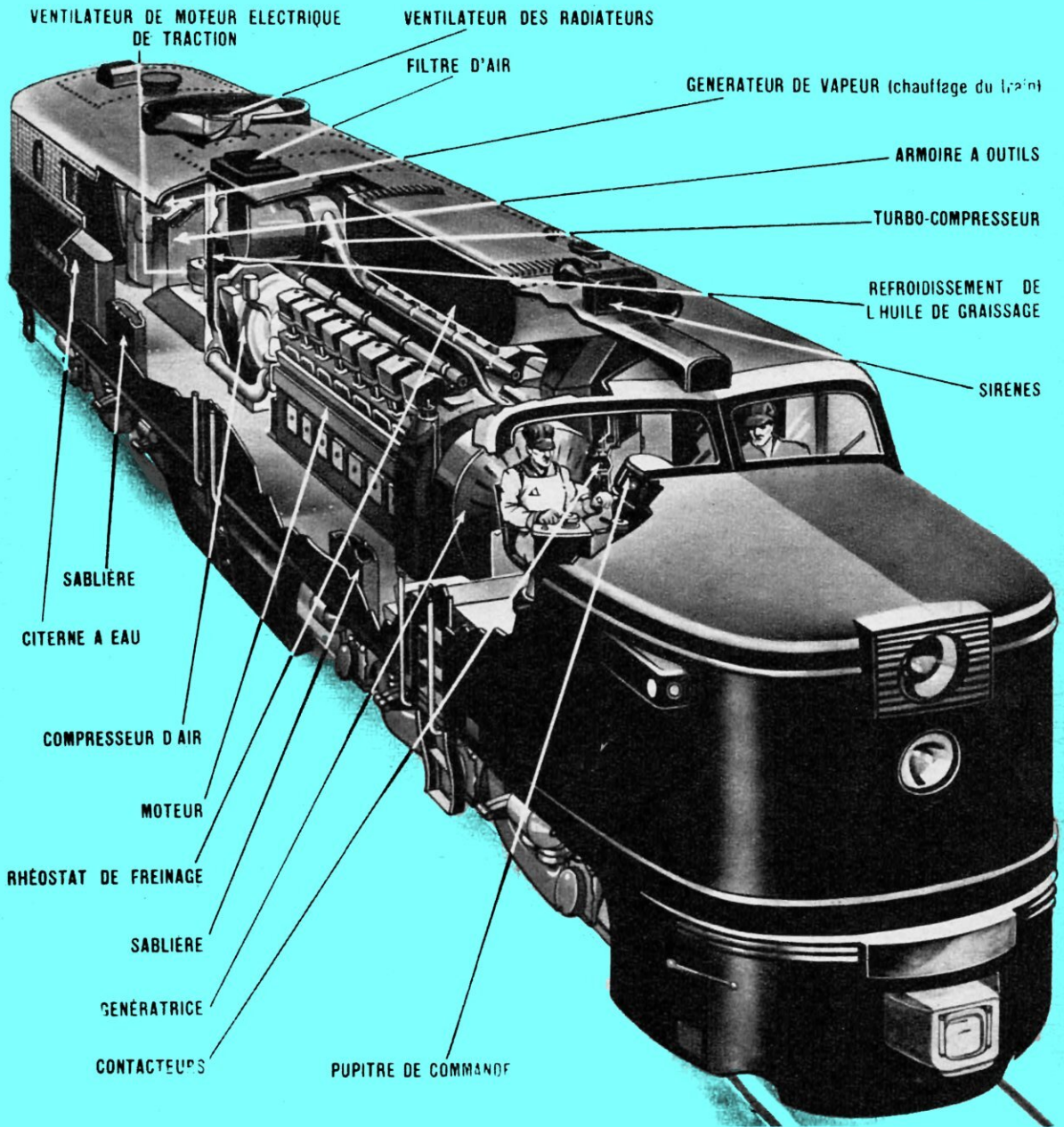
Le parc d'autorails français comprenait, avant la guerre, des engins de types très divers, de quatre catégories différentes :

— des petits autorails, offrant une cinquantaine de places assises, dont la puissance du moteur ne dépassait pas 150 ch environ, et plus spécialement destinés à la desserte des petites lignes. Leur vitesse maximum était de 90 km/h ;

— des autorails à bogies, dotés d'un moteur de 300 ch en général, offrant 80 places environ, dont 60 assises. Ces autorails étaient aptes à assurer des services très divers, leur vitesse maximum atteignant 100 à 120 km/h.

— des autorails à grande vitesse, spécialement conçus pour assurer des relations très rapides sur les grandes lignes ; autorails

Fig. 81. LOCOMOTIVE DIESEL-ÉLECTRIQUE ALCO-GE DE 2 000 CH.



Bugatti de 800 à 400 ch, rames dites « Tar »

Ce parc d'autorails, qui comprenait 800 unités environ, s'est trouvé réduit de 25 %, environ du fait de la guerre. Le programme de reconstruction et de renouvellement comprend :

1° Des petits autorails à deux essieux, dotés d'un moteur de 80/100 ch, et offrant une capacité comparable à celle d'un car, pour la desserte des petites lignes dont le trafic ne justifierait même pas l'emploi d'un autorail de 150 ch. On envisage d'exploiter de telles lignes, soit avec de tels autorails à deux essieux, soit en adaptant des autobus à la circulation sur la voie.

2° La desserte des lignes secondaires sera également assurée par des autorails de 150 ch, puissance choisie en considération de ce qu'elle est pratiquement celle des moteurs les plus puissants utilisés sur des véhicules routiers, dont par conséquent le prix bénéficie de la construction de série. Le poids en charge de l'autorail et de sa remorque légère sera par suite limité à une trentaine de tonnes.

L'autorail offrira 80 places, dont 60 assises, avec un compartiment à bagages, et il pourra prendre une remorque légère à deux essieux, offrant 60 places ; sa vitesse maximum sera d'environ 100 km/h en

marche isolée et 80 km/h avec remorque.

3° De nombreux services sur lignes faciles ou moyennement accidentées requièrent l'emploi d'un engin dont la capacité, les performances et le confort aux grandes vitesses dépassent les possibilités des autorails précédents. Ils doivent être assurés par des autorails équipés d'un moteur de 300 ch.

4° Enfin, des autorails à deux moteurs de 300 ch sont actuellement en construction pour la desserte des lignes à profil très difficile et pour réaliser des horaires particulièrement tendus. Leur forte puissance massive leur donnera la possibilité de remorquer dans de bonnes conditions du matériel ordinaire (une voiture à bogies ou un wagon de messageries, par exemple).

Les centres seront équipés normalement, pour parer aux fluctuations du trafic, avec des autorails des trois derniers types, celui de 600 ch étant predominant dans les régions accidentées (Massif Central et Alpes).

Signalons en outre qu'en raison des progrès réalisés dans le domaine des transmissions mécaniques, il apparaît possible de réaliser une nouvelle transmission de 450 ch dans l'encombrement de la transmission de 300 ch. Comme une telle puissance sera prochainement obtenue par suralimentation des moteurs actuels de 300 ch, la puissance des autorails de 300 et 600 ch pourra facilement être augmentée de près de 50 %, si le besoin s'en fait sentir.

Il n'est plus envisagé de construire des autorails pour les relations très rapides sur les grandes artères rayonnant autour de Paris, car, en raison de la faveur dont jouissent ces relations, la capacité des autorails s'avère insuffisante. Ces services seront donc assurés par des rames aérodynamiques à grande vitesse comportant des voitures spécialement

étudiées et qui seront remorquées par des locomotives diesels ou électriques suivant la nature des lignes desservies.

Les autorails de 150 à 300 ch comporteront un seul poste de conduite, installé dans un kiosque voisin du moteur déporté sur le côté, d'où une simplification des commandes et la possibilité pour le conducteur de surveiller constamment le moteur. Les freins sont manœuvres à l'air comprimé.

Sur les autorails de 150 et 300 ch, le conducteur peut, en réglant l'ouverture d'entrée d'air dans le radiateur, modérer plus ou moins la réfrigération de l'eau de circulation du moteur. Sur les autorails de 600 ch, un thermostat commande un by-pass automatique sur le circuit d'eau, maintenant la température entre 60 et 70°. Sur tous ces autorails, appelés à être garés en plein air, la totalité de l'eau de refroidissement peut être rassemblée dans une bache calorifugée placée sous le plancher, ou elle reste chaude pendant la nuit ; en cas de très grand froid, un petit réchaud à pétrole maintient sa température.

Le chauffage des compartiments est assuré par des radiateurs légers placés sous les banquettes, et parcourus par l'eau de refroidissement du moteur ; de petits ventilateurs, commandés automatiquement par thermostat, activent la circulation de l'air sur ces radiateurs.

LA LOCOMOTIVE A TURBINE A GAZ

Avant même que les applications ferroviaires du moteur diesel aient atteint leur plein développement, un nouveau type de moteur thermique, la turbine à gaz, vient d'entrer en lice, et paraît susceptible, dans un proche avenir, de concurrencer vivement les autres systèmes de traction autonome. La situation

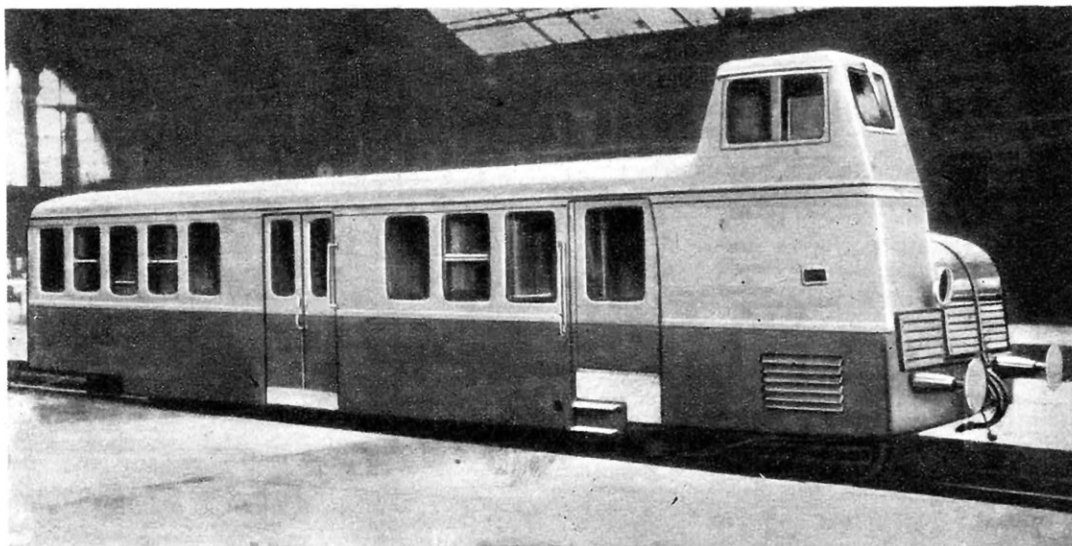
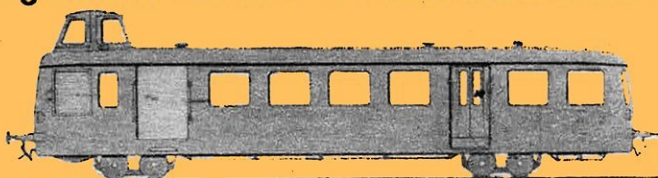
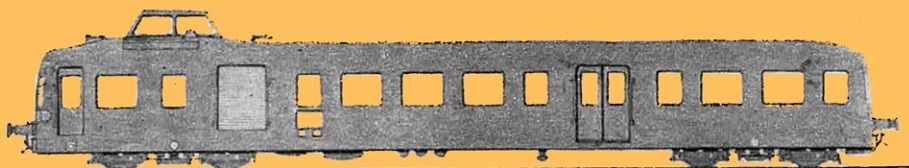


Fig. 82. AUTORAIL LÉGER F. N. C. DE 80 CH POUR LIGNES SECONDAIRES : 60 KM/H, 62 PLACES

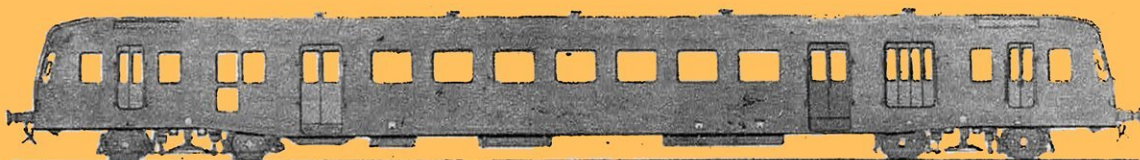
Fig. 83. TROIS TYPES D'AUTORAILS NOUVEAUX DE LA S. N. C. F.



50 ch. VOYAGEURS : 80. BAGAGES : 1 500 kg.



300 ch. VOYAGEURS : 100. BAGAGES : 2 000 kg. COURRIER : 1 000 kg.



600 ch. VOYAGEURS : 110. BAGAGES : 2 500 kg.

paraît devoir être, à cet egard, analogue à celle qui se présente dans l'aviation, où la propulsion par réaction supplante progressivement les moteurs classiques. La turbine à gaz n'est pas, à proprement parler, une nouvelle venue sur le matériel de traction, puisqu'elle est déjà utilisée pour suralimenter les moteurs diesels, mais la nouveauté réside dans le fait qu'elle peut jouer maintenant le rôle de moteur principal.

En raison de la place relativement réduite dont on dispose sur une locomotive, les turbines à gaz y fonctionnent « à circuit ouvert », suivant le processus ci-après :

Tandis que, dans un moteur à combustion, les diverses phases du cycle d'évolution des gaz s'effectuent à l'intérieur du même organe, le cylindre, ces fonctions sont ici réparties entre trois organes distincts :

— un compresseur, qui comprime l'air pris à l'extérieur ;

— une chambre de combustion, où une partie de cet air comprimé est utilisée pour brûler du combustible injecté dans la chambre, de façon à élever la température du mélange constitué par l'excès d'air et les produits de la combustion ;

— une turbine, dans laquelle les gaz ainsi portés à haute température sont détendus, pour produire de l'énergie mécanique, qui est utilisée, d'une part, à entraîner le compresseur d'air, et d'autre part, à actionner la locomotive.

Afin d'augmenter le rendement du système, un échangeur réchauffe l'air sortant du compresseur, avant son entrée dans la chambre

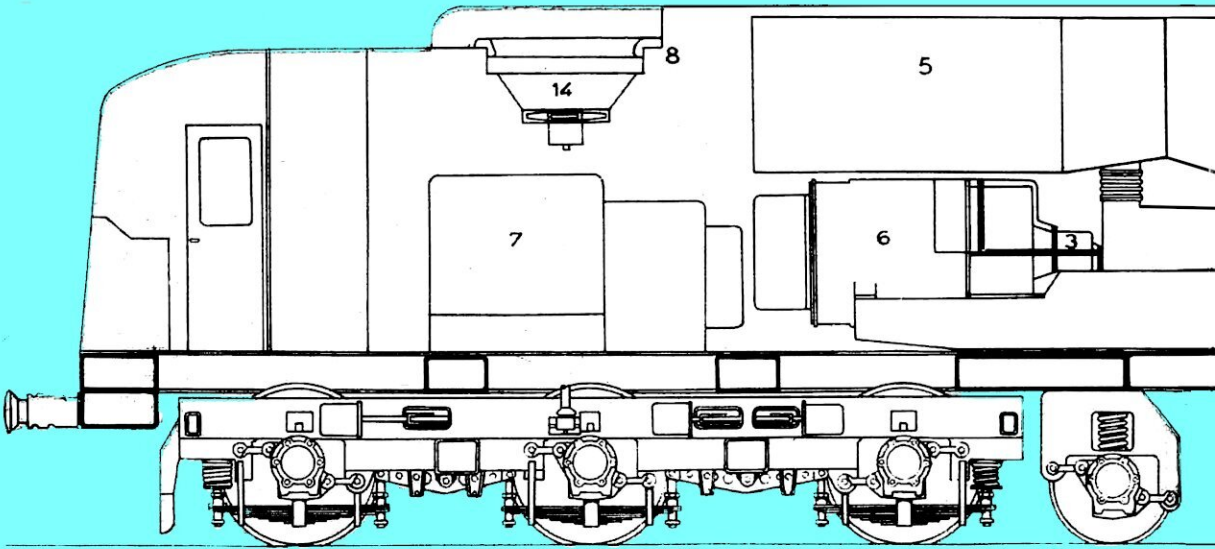
de combustion, en prélevant les calories nécessaires sur la chaleur qui reste disponible dans les gaz d'échappement de la turbine.

Le rendement global de la machine augmente avec la température des gaz à l'entrée de la turbine. On est malheureusement limité dans cette voie par la résistance du métal des aubages de la turbine ; de grands progrès ont été, et continuent à être faits dans ce domaine, mais, actuellement, il est nécessaire de s'en tenir à une température d'environ 700° C pour assurer à la turbine une longévité compatible avec le service d'une locomotive. Pour ne pas dépasser cette température, il est donc nécessaire de prévoir un large excès d'air à l'entrée de la turbine ce qui a pour effet d'accroître la puissance absorbée par le compresseur d'air. En pratique, cette puissance est ainsi très importante, comparée à celle qui reste finalement disponible sur l'arbre de la turbine pour actionner la locomotive.

On conçoit que, dans ces conditions, le rendement global de l'équipement soit directement influencé par celui du compresseur d'air et, en fait, on peut dire que ce sont surtout les progrès réalisés dans la technique de ces appareils qui ont rendu viable la locomotive à turbine à gaz.

Il est intéressant de noter que la turbine à gaz est très sensible aux variations de la température extérieure, du fait que la compression de l'air exige une puissance proportionnelle à la température absolue (température centésimale augmentée de 273°). C'est ainsi qu'un groupe de 4 000 ch calculé pour

Fig. 84. LOCOMOTIVE RATEAU-ALSTHOM DE 3 000 CH, A TURBINE



1, turbine à gaz ; 2, compresseur ; 3, réducteur ; 4, récupérateur ; 5, chambre de combustion ; 6, génératrices principales et excitatrice ; 7, groupe diesel-génératrice auxiliaire ; 8, réfrigérant du

20° C, par exemple, donnerait, suivant M. Sédille, 5 000 ch à -10° C et seulement 3 600 ch à + 30° C, pour une même vitesse maximum et une même température d'admission maximum. On est donc amené à limiter les performances du groupe en hiver ou à utiliser, comme en Suisse, la surpuissance disponible l'hiver pour le chauffage électrique du train.

Dans l'état actuel de la technique, le rendement d'une turbine à gaz pour locomotive est d'environ 25 % ; si on tient compte du rendement de la transmission qu'il faut interposer entre l'arbre de la turbine et les essieux, transmission qui, pour l'instant, est électrique, et est à peu près identique à celle des locomotives diesels, le rendement à la jante de la locomotive s'établit aux environs de 19,5 %. Il est donc encore inférieur à celui d'une locomotive diesel (30 %), mais reste très supérieur à celui d'une locomotive à vapeur (12 %). On peut admettre, d'autre part, avec la traction électrique, un rendement à la jante de 22,5 %, compte tenu du rendement de production de l'énergie thermique dans les centrales et des différentes pertes ; ce rendement est supérieur à celui de la turbine à gaz. Mais celle-ci a l'avantage d'éviter l'installation des lignes de transport de force ; en contre-partie, elle est obligée de transporter son combustible.

Quoi qu'il en soit, et malgré cette infériorité de la locomotive à turbine à gaz sur la locomotive diesel, elle présente dès maintenant un intérêt tout particulier, pour les raisons suivantes :

— alors que le moteur diesel ne peut brûler que du gasoil, la turbine à gaz s'accommode parfaitement de combustibles liquides plus lourds, donc plus faciles à élaborer, et

moins coûteux. Des essais sont même actuellement en cours (Allis-Chalmers, aux Etats-Unis), pour alimenter les chambres de combustion au charbon pulvérisé ;

— la locomotive à turbine à gaz ne comporte que des machines tournantes, sans organes à mouvements alternatifs, de sorte qu'elle ne nécessite qu'un entretien extrêmement réduit ;

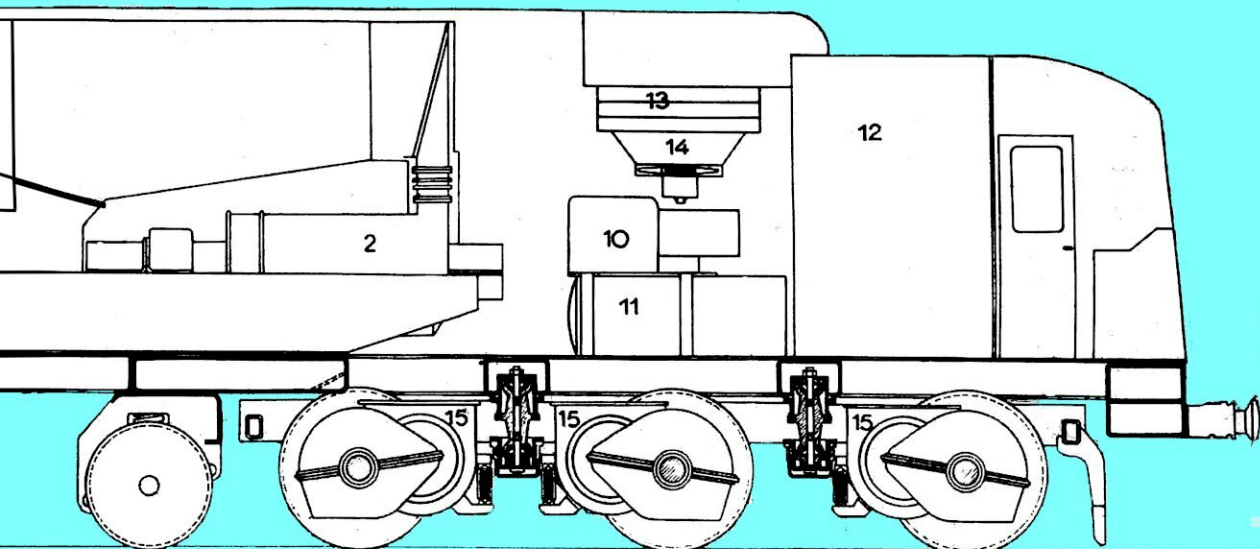
— la consommation d'huile de graissage est négligeable ;

— il n'y a pas d'eau à bord, si ce n'est quelques litres pour refroidir le petit moteur diesel d'un groupe électrogène auxiliaire utilisé pour lancer la turbine à gaz, en faisant fonctionner la génératrice comme moteur ;

— la turbine à gaz peut démarrer en quelques minutes ; quoique moins favorable que les diesels à cet égard, sa consommation moyenne pendant les stationnements est plus faible que celle de la locomotive à vapeur.

La première locomotive à turbine à gaz a été construite en 1940 par la Société Brown Boveri pour les chemins de fer fédéraux suisses. Cette réalisation, qui fait le plus grand honneur à son constructeur, puisque la machine a pu être mise en service régulier presque sans mise au point préalable, malgré la nouveauté de l'équipement, est expérimentée en France en service commercial depuis près d'un an. Elle a notamment assuré, sans la moindre défaillance, pendant une grande partie de l'année 1946, la traction des trains express entre Chaumont et Bâle.

Ce nouveau mode de traction suscite un très vif intérêt, et les Sociétés Rateau et Alsthom ont entrepris la construction d'une locomotive à turbine à gaz dont la puissance dépassera 3 000 ch et dont les performances seront tout à fait comparables à celles des locomotives diesel-électriques de 3 200 ch



groupe diesel ; 9, armoires ; 10, compresseur de freins ; 11, réservoirs d'air ; 12, soute à combustible liquide ; 13, radiateurs principaux ; 14, ventilateurs des radiateurs ; 15, moteurs de traction.

dont il a été question précédemment. Il sera donc possible d'effectuer une comparaison fructueuse des deux modes de traction.

Dans le domaine de l'aviation, la turbine à gaz constitue l'un des organes essentiels du moteur à réaction, et certains ont déjà songé à utiliser ce même moteur pour la propulsion des autorails rapides. C'est là une anticipation encore osée, car le moteur à réaction implique la réalisation de vitesses très élevées incompatibles, en général, avec le tracé actuel de nos voies.

On a également songé à utiliser la turbine à gaz, dont la puissance massique peut être considérable si on ne l'utilise que quelques instants, pour freiner les engins à très grande

vitesses, en prenant l'appui sur l'air, par l'intermédiaire d'une hélice par exemple.

Enfin, verrons-nous bientôt la locomotive à énergie atomique, qui fera vraisemblablement appel à la turbine à gaz pour produire l'énergie mécanique nécessaire à la propulsion en partant de l'énergie thermique libérée par la fission des atomes ? La nouvelle source d'énergie ne sera toutefois utilisable sur des machines à traction autonome que le jour où la protection du personnel contre les radiations dangereuses serait réalisable autrement qu'en utilisant des matériaux lourds sous grande épaisseur, dont la mise en œuvre conduirait actuellement à un encombrement prohibitif.

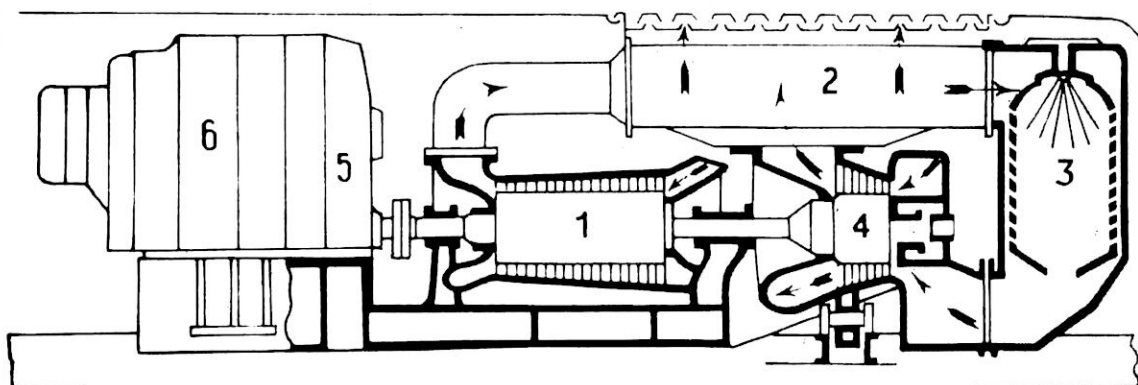


Fig. 85. SCHÉMA DE LA TURBINE A GAZ DE LA LOCOMOTIVE BROWN-BOVERI DE 2000 CH
1, compresseur d'air axial ; 2, réchauffeur d'air ; 3, chambre de combustion ; 4, turbine à gaz ; 5, boîte de réduction ; 6, groupe de génératrices.

LA CIRCULATION DES TRAINS

Depuis l'origine du chemin de fer, la sécurité a fait l'objet d'études nombreuses. Le développement du trafic amène à mettre en circulation des trains nombreux se suivant à intervalles réduits. C'est pourquoi de nombreux perfectionnements ont dû être apportés à la signalisation. D'autre part, les organismes chargés de la mise en marche, de la surveillance et de la coordination de ces nombreuses circulations, ont pris une importance de plus en plus grande. Ils doivent avoir à leur disposition des moyens d'information sûrs et rapides, les mettant immédiatement et facilement en relations avec tous les établissements concourant à la mise en marche et à la circulation des trains : dépôts de locomotive, bureaux de commande des agents de trains, gares et stations, postes d'aiguillages, etc. Le rôle principal, dans cette organisation complexe, est tenu par le « régulateur » qui coordonne les mesures prises par les agents des gares et des postes d'aiguillage pour garantir la régularité du trafic et prendre les mesures nécessaires en cas d'incidents. Grâce aux plus récents progrès de la technique, il peut commander lui-même à distance (100 km et plus) les signaux et les aiguilles, en attendant peut-être que les ondes ultra-courtes lui permettent de suivre par radio chaque train de la ligne dont il a la charge et confèrent ainsi à l'exploitation ferroviaire de demain une souplesse et une sécurité encore accrues

Sil la voie ferrée présente l'avantage de permettre la remorque facile de trains très lourds (grâce à la faible résistance au roulement des bandages en acier sur des rails en acier) et leur circulation en toute sécurité à de très grandes vitesses (grâce au guidage des roues par les boudins) elle

se prête relativement mal, par contre, aux dépassements et aux croisements.

Il résulte de cette situation la nécessité d'étudier à l'avance, avec grand soin, la marche des différents trains circulant sur une ligne, avec leurs points de garage, de dépassement et, en voie unique, de croisement.

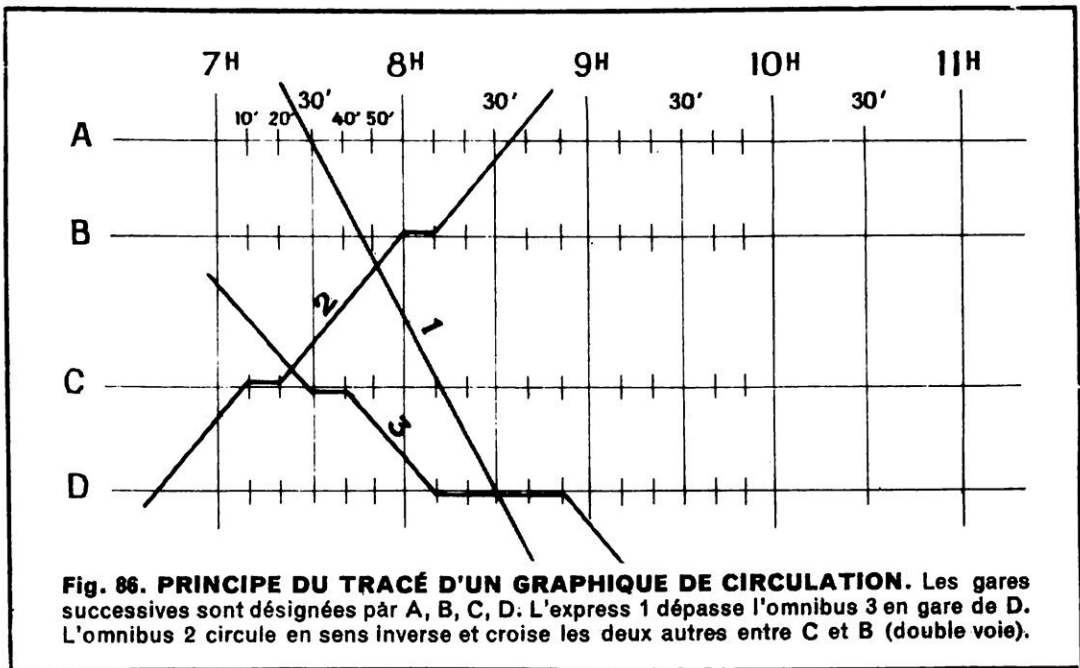


Fig. 86. PRINCIPE DU TRACÉ D'UN GRAPHIQUE DE CIRCULATION. Les gares successives sont désignées par A, B, C, D: L'express 1 dépasse l'omnibus 3 en gare de D. L'omnibus 2 circule en sens inverse et croise les deux autres entre C et B (double voie).

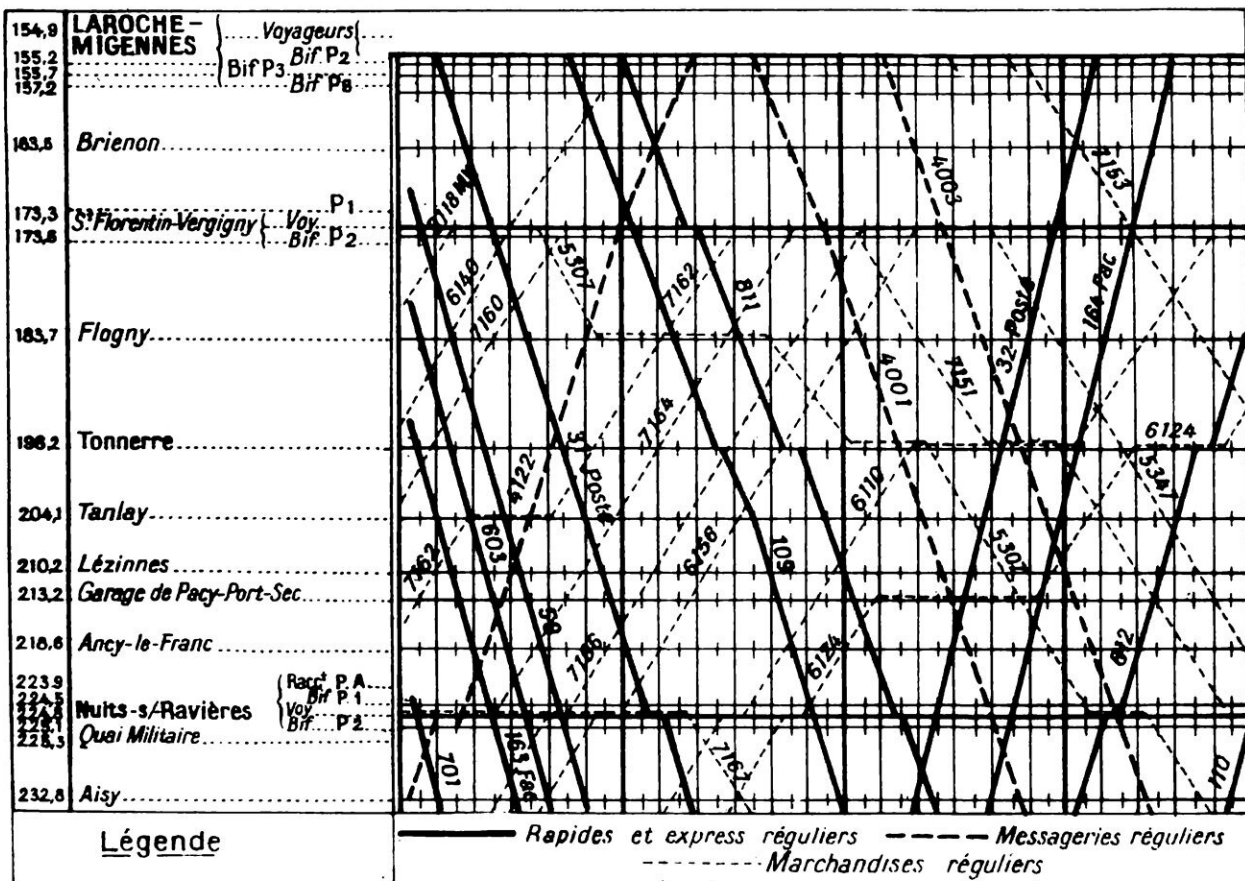


Fig. 87. FRAGMENT D'UN GRAPHIQUE RÉEL DE LA LIGNE PARIS A LYON (DE LAROCHE-MIGENNES A AISY)

LES « GRAPHIQUES »

Cette étude est faite par les spécialistes à l'aide de *graphiques* établis habituellement dans les conditions suivantes : les noms des diverses gares de la ligne (A, B, C, ...) sont disposés les uns au-dessus des autres, en ordonnées, à des intervalles proportionnels à leur distance sur le terrain ; les heures sont portées les unes à côté des autres, en abscisses. Chaque train est représenté par une ligne d'autant plus voisine de la verticale que le train est plus rapide.

On voit, sur la figure 86, un graphique pour ligne à *double voie*, une pour chacun des sens de circulation. Sur les graphiques des lignes à *voie unique*, où les croisements ne peuvent se faire que dans les gares, la ligne inclinée d'un train ne doit rencontrer une ligne inclinée dans l'autre sens, représentant un train marchant en sens contraire, que sur une ligne horizontale correspondant à une gare comportant deux voies permettant un croisement.

Le graphique est, pour les bureaux d'études, un instrument de travail extrêmement pratique, beaucoup plus commode que les « indicateurs », mis à la disposition du public, ou que les « tableaux horaires » plus détaillés, utilisés par les agents des trains.

Son emploi est général en France et dans la plupart des réseaux européens. Il est curieux

de noter que les réseaux britanniques, comme les réseaux américains, l'utilisent au contraire assez peu.

DIVERSES NATURES DE TRAINS

D'après les conditions dans lesquelles ils sont mis en marche, les trains se divisent en trois catégories.

Les trains *réguliers* sont ceux dont la marche détaillée (c'est-à-dire l'heure de passage aux diverses gares du parcours, les dépassements et garages, ainsi que les croisements s'il s'agit d'une voie unique) est donnée par les graphiques et les divers documents horaires, en même temps que leurs jours de circulation.

La marche des trains *facultatifs* est, comme celle des trains réguliers, donnée à l'avance, mais ils ne circulent effectivement que lorsque le besoin s'en fait sentir. Il faut donc, avant de les mettre en marche, aviser les intéressés que « le train facultatif n° ... aura lieu le ... entre les gares ... et ... ».

Enfin, les trains *spéciaux* ne figurent, en principe, ni aux graphiques ni aux divers documents horaires.

RÈGLEMENT DE SÉCURITÉ

Nous voyons maintenant clairement apparaître la nécessité d'un *règlement* de sécu-

rite, ne serait-ce que pour préciser dans quelles conditions sera portée à la connaissance des intéressés la mise en marche des trains facultatifs et spéciaux. C'est aussi le règlement qui prescrira les mesures à prendre en cas d'incidents dans la marche des trains, en particulier en cas de détresse et de retard.

Certaines mesures réglementaires sont évidemment applicables indistinctement en double voie et en voie unique ; c'est le cas, par exemple, des règles d'espacement des trains de même sens en cas de retard.

D'autres, au contraire, diffèrent totalement quand on passe de la double voie à la voie unique, du fait qu'en double voie, sous la seule condition d'expédier toujours les trains sur la voie affectée à leur sens de circulation aucune rencontre de trains de sens contraire ne peut se produire en pleine voie. En fait, le règlement propre à la double voie est extrêmement simple : il se réduit essentiellement aux mesures à prendre en cas d'incident grave.

CHEFS DE GARE ET « DISPATCHERS »

En France, et plus généralement dans presque tous les pays, à l'exception des Etats-Unis d'Amérique, la sécurité est confiée aux *chefs de gare*. Ce sont eux qui, avec des modalités variables suivant les pays, doivent être avisés de la date de mise en circulation d'un facultatif ou de la marche et de la date de circulation d'un train spécial avant que ce train ne puisse partir ; ce sont eux qui s'entendent directement pour apporter les modifications nécessaires au service prévu.

Aux Etats-Unis d'Amérique, on trouve, au contraire, un régime très différent. Les chefs de gare n'y sont pas chargés d'assurer la sécurité, qui est confiée aux chefs de trains et à un « dispatcher », agent chargé de la sécurité de toute une section de ligne. C'est aux chefs de trains intéressés que le dispatcher doit faire connaître la mise en marche des trains facultatifs ou spéciaux avant d'autoriser le départ de ces trains ; c'est aussi avec l'autorisation du « dispatcher » qu'un chef de train peut exceptionnellement partir d'un point de croisement prévu *avant* l'arrivée du train croiseur, étant bien entendu que le dispatcher a dû préalablement donner téléphoniquement au chef de ce train croiseur l'ordre de ne pas dépasser le nouveau point de croisement prévu. Ce système assure la sécurité au même titre que le système européen, mais il présente l'inconvénient grave d'obliger les trains à s'arrêter fréquemment pour que le chef de train puisse se mettre en relation téléphonique avec le « dispatcher » et recevoir ses ordres.

Ce sont les conditions différentes dans lesquelles se trouvaient à leur origine les réseaux d'Europe et d'Amérique qui expliquent ces deux manières de faire. En Europe,

les chemins de fer desservent des régions très peuplées comportant des agglomérations peu éloignées les unes des autres ; les besoins commerciaux amènent donc les réseaux à installer à courte distance les unes des autres des gares, dont les agents sont tout naturellement utilisés pour la sécurité. En Amérique, au contraire, les chemins de fer traversent souvent de vastes régions qui, à l'époque de la construction des lignes, n'alimentaient aucun trafic local. Les gares exigées pour les besoins commerciaux étaient donc très éloignées les unes des autres et il devenait nécessaire d'installer entre ces gares des points de croisement possibles.

Il est intéressant de noter au passage que les conditions d'exploitation américaine pourront peut-être se retrouver à l'avenir sur d'autres continents, dans des régions désertiques. C'est ainsi que, si le Méditerranée-Niger est un jour achevé, il sera certainement nécessaire d'installer dans le Sahara des points de croisement n'assurant *aucun* trafic local, et il est vraisemblable qu'on sera amené à exploiter cette section avec les méthodes américaines. Les progrès de la téléphonie sans fil permettraient d'ailleurs de faire disparaître l'inconvénient du système, en mettant les chefs de train en communication avec le « dispatcher » *pendant la marche* de leur convoi.

Il est intéressant de signaler, enfin, une autre différence notable entre la réglementation européenne de la voie unique et la réglementation américaine correspondante. En Europe, tous les trains ont la même importance du point de vue de la sécurité de la circulation. C'est ainsi que, si un train express de voyageurs et un train de marchandises doivent se croiser dans une gare, le chef de gare doit (sauf, bien entendu, en cas de changement de croisement), attendre exactement de la même façon l'arrivée de l'express avant d'expédier le train de marchandises, et l'arrivée du train de marchandises avant d'expédier l'express. Aux Etats-Unis d'Amérique, au contraire, les trains sont répartis, d'après leur nature, en un certain nombre de classes, deux trains de même classe étant eux-mêmes hiérarchisés, d'après leur direction ; si bien qu'en définitive, si l'on considère deux trains quelconques d'une ligne déterminée, l'un est toujours supérieur et l'autre inférieur. Et les trains supérieurs ont une priorité absolue sur les trains inférieurs qui doivent d'office dégager la voie.

Une telle réglementation diminue évidemment les sujétions que le système américain impose à la marche des trains puisqu'il revient, en définitive, à permettre certains changements de croisement sans l'intervention du dispatcher et sur la seule initiative des chefs de train. Il est par contre à noter que, contrairement au système européen, il exige que les chefs de train disposent d'une montre à *l'heure*, car tout retard de leur montre peut suffire pour causer un accident. Il convient d'ailleurs d'ajouter que, du moins sur les

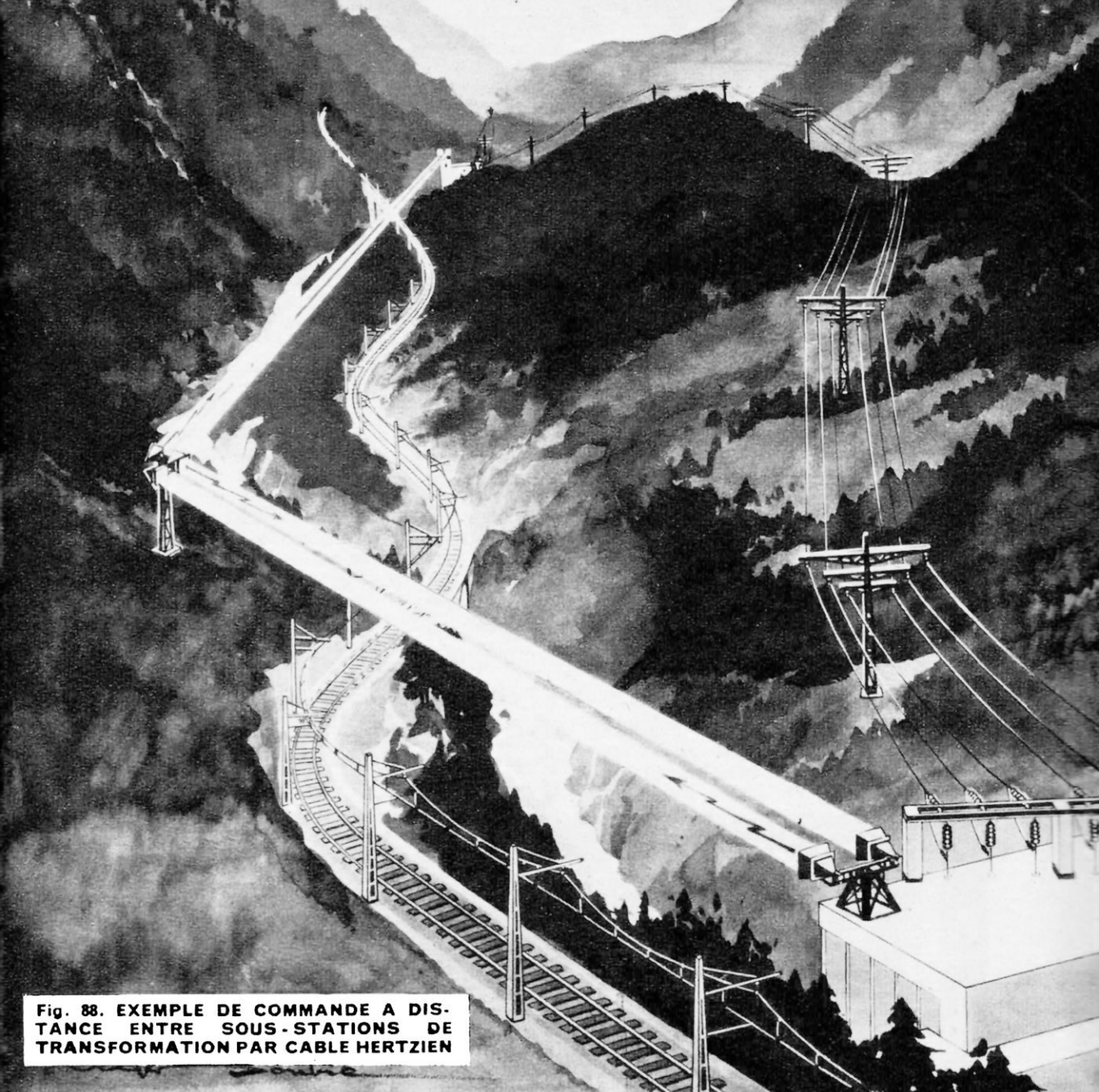


Fig. 88. EXEMPLE DE COMMANDE A DISTANCE ENTRE SOUS-STATIONS DE TRANSFORMATION PAR CABLE HERTZIEN

lignes importantes, les Américains ont en général installé des appareils de « block-voie unique » qui assurent à eux seuls la sécurité.

LE « RÉGULATEUR »

Revenons en Europe, où, en double voie comme en voie unique, la sécurité est assurée par les chefs de gare. Il est évidemment désirable que des agents dirigeants puissent suivre le service des chefs de gare, les surveiller, et surtout les conseiller dans les circonstances délicates que peuvent créer les retards et les incidents. Le rôle de conseiller est exercé en France, sur toutes les lignes de quelque importance, par le « régulateur ». On désigne ainsi un agent qui est relié télé-

phoniquement à toutes les gares de sa section, exactement comme un dispatcher américain. Un circuit téléphonique unique le relie à *toutes* les gares.

Le régulateur appelle l'une quelconque de ses gares au moyen d'un courant « codé », lance dans la ligne par la manœuvre de la « clé d'appel » correspondant à la gare cherchée. Une gare ou une sous-station quelconque, pour communiquer avec le régulateur, qui est en permanence à l'écoute près d'un haut-parleur, n'a qu'à décrocher et à parler dès qu'elle a constaté, en portant le récepteur à l'oreille, qu'aucune autre conversation n'est en cours à ce moment.

Toutes les gares signalent à leur régulateur, dès qu'un train les traverse, l'heure du passage de ce train. Le régulateur établit, à

l'aide de ces renseignements, un graphique de la marche réelle des trains de sa section, graphique qui lui permet à tout instant de connaître la situation exacte de l'ensemble de la circulation des trains sur sa section.

La Régulation, que les réseaux français ont commencé à appliquer après la guerre de 1914-1918 après avoir constaté la façon dont les Américains utilisaient le « dispatcher » sur les lignes mises à leur disposition en France, donne les meilleurs résultats. Aussi la Régulation a-t-elle pris en France un développement considérable ; c'est ainsi qu'en 1946, presque 14 000 km de lignes à double voie sont dotés de circuits de régulation auxquels sont reliées environ 4 000 gares, correspondant à 35 centres de régulation comprenant entre un et quatre opérateurs.

COMMANDES CENTRALISÉES

Les progrès de la technique ont permis d'envisager la mise entre les mains du régulateur d'un appareillage lui permettant d'exécuter lui-même les opérations à effectuer dans les gares pour assurer la marche des circulations en commandant, à distance, ces opérations et en disposant, à tout moment, du contrôle de leur exécution.

Il s'agit de la commande centralisée du trafic dans laquelle un seul opérateur commande à distance des signaux et des aiguilles

éloignées. Nous en parlerons plus longuement dans le chapitre suivant (1).

RÉGULATION PAR RADIO

On pourrait concevoir une étape ultérieure, dans laquelle le régulateur suivrait par radio chaque train de la ligne dont il est chargé. À chaque instant, il pourrait donner au mécanicien les ordres voulus ; et inversement, à tout moment, le mécanicien (ou le conducteur électricien) pourraient entrer en relation radiotéléphonique avec le régulateur, ou la sous-station, ou tout autre poste fixé à l'avance. Il sera vraisemblablement fait usage, à ce effet, de *câbles hertziens*, dont le fonctionnement, fondé sur la propagation d'ondes dirigées de très faible longueur (ondes décimétriques) permet l'établissement, entre deux points situés en vision directe l'un de l'autre, de faisceaux de relations sans fil. Rien ne permet d'affirmer que l'exploitation ferroviaire de demain ne sera pas commandée par radio

(1) Dans le même ordre d'idées et sur les lignes électrifiées, dont l'alimentation en courant de traction est assurée par l'intermédiaire de sous-stations échelonnées le long de la ligne, il était indiqué d'appliquer à ces sous-stations un système de commande à distance. C'est ce qui a été réalisé sur la ligne électrifiée de Paris au Mans dont les sous-stations sont commandées à distance à partir de la gare de Paris-Montparnasse.

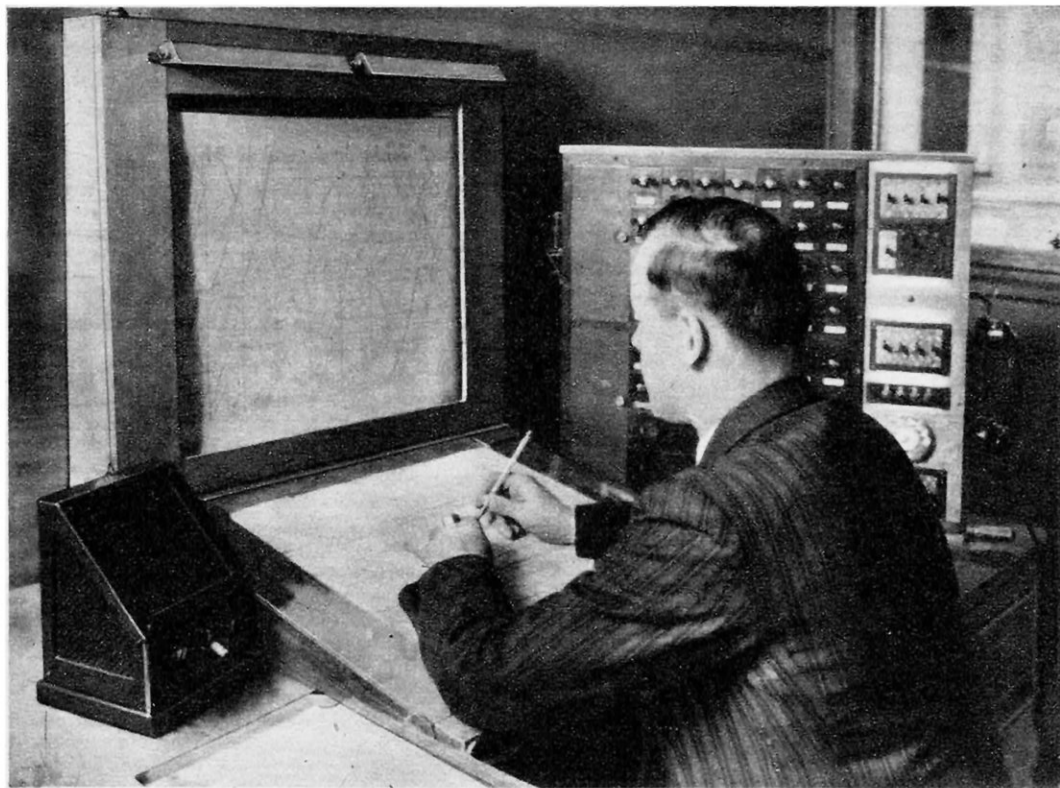


Fig. 89. LE RÉGULATEUR TRAÇANT LE GRAPHIQUE RÉEL DE LA MARCHÉ DES TRAINS

LA SÉCURITÉ: SIGNALISATION, AIGUILLAGES

Le problème de la sécurité des trains est dominé par deux conditions particulières à l'exploitation ferroviaire : impossibilité de s'écarter de la voie, d'une part ; isolement des agents exécutants, d'autre part. Cela a conduit à l'usage de dispositifs de sécurité très perfectionnés. C'est ainsi, par exemple, que dans un poste d'aiguillage moderne, il est matériellement impossible d'effectuer une manœuvre susceptible de provoquer autre chose que des arrêts intempestifs de la circulation. L'électricité a apporté à la sécurité une aide précieuse, aussi bien pour la réalisation des signaux que pour leur manœuvre, celle des aiguilles et leur commande centralisée, pour la répétition des signaux sur la locomotive et même pour la réalisation du freinage automatique. Pendant les cinq dernières années qui ont précédé la guerre, de 1934 à 1938 inclus, le nombre de voyageurs tués en France par accident de train, de quelque nature que ce soit (rattrapage, rencontre, prise en écharpe, déraillement, etc.), a été de 0,99 voyageur par milliard de voyageurs-kilomètres. Et nous croyons utile de donner, par une comparaison, une idée de ce qu'est un milliard de kilomètres. Supposons qu'un voyageur prenne le train 300 jours par an et que chacun de ces 300 jours, il fasse 330 kilomètres, — c'est la distance de Paris à Poitiers — il lui faudra dix mille ans pour arriver à parcourir le milliard de kilomètres. Les cheminots français de tout grade ont le droit d'être très fiers de ce résultat, qui est dû à l'effort de tous.

NOUS avons vu, dans les pages qui précèdent, qu'il était parfois nécessaire d'arrêter un train pour des raisons de sécurité : c'est le cas, par exemple, d'une gare de croisement en voie unique, qui ne doit laisser passer un train qu'après l'arrivée du train croiseur. Quand il s'agit d'un train passant normalement sans arrêt, c'est par l'intermédiaire d'un *signal* que la gare donne au train l'ordre nécessaire. C'est par l'intermédiaire d'un autre *signal* qu'une gare impose le cas échéant à un train le ralentissement.

SIGNAUX D'ARRÊT

En France, la S. N. C. F. utilise sur les voies principales deux signaux d'arrêt absolu : le signal carré et le sémaphore. Le signal carré, souvent appelé plus simplement le carré, présente aux trains, quand il est fermé, une plaque carrée ou rectangulaire peinte en damier rouge et blanc, donnant la nuit deux feux rouges, disposés horizontalement ou verticalement. Quand il est ouvert, le carré présente aux trains la tranche de sa cocarde, qui devient pratiquement invisible, et la nuit un feu vert.

Le sémaphore fermé présente aux trains une aile rouge (dont la forme varie quelque peu suivant les anciens réseaux), développée

a gauche du mât qui la supporte ; il donne alors la nuit un seul feu rouge. Ouvert, le sémaphore présente son aile rabattue sur le mât, la nuit un feu vert.

Ces deux signaux sont aussi parfois réalisés à l'aide de « signaux lumineux » dont nous verrons plus loin les avantages. Les signaux lumineux sont de simples panneaux de tôle noire sur lesquels peuvent s'allumer des feux de couleur, en l'espèce celui ou ceux que donne la nuit le signal mécanique correspondant. C'est ainsi que le carré lumineux fermé est constitué par deux feux rouges, le sémaphore lumineux fermé par un feu rouge, le carré comme le sémaphore lumineux ouvert par un feu vert.

Le carré fermé et le sémaphore fermé ont des sens très voisins puisque tous les deux imposent aux trains l'arrêt absolu ; le carré est toutefois nettement plus sévère que le sémaphore, en raison des conditions différentes dans lesquelles ces deux signaux sont utilisés. Le carré est employé surtout pour protéger les points où deux trains peuvent se prendre en écharpe (fig. 91).

Le sémaphore, au contraire, est utilisé exclusivement pour assurer l'espacement de deux trains suivant le même itinéraire. Il n'y a jamais de raison de franchir un carré fermé ; en le faisant, un train s'exposerait à être pris en écharpe par un autre.

Dans certains cas, les trains peuvent, au contraire, après arrêt devant un sémaphore fermé, repartir avec certaines précautions, comportant essentiellement la « marche à vue », c'est-à-dire l'obligation de ne pas dépasser une vitesse telle que, compte tenu de la visibilité, ils puissent s'arrêter avant de rattraper le train précédent, même si celui-ci est arrêté.

Enfin, la S. N. C. F. utilise également sur les voies principales un autre type de signal d'arrêt, le disque rouge, qui donne la nuit un feu rouge et un feu jaune. Ouvert, le disque rouge présente aux trains la tranche de sa cocarde et la nuit, un feu vert. Le disque rouge fermé est un signal d'arrêt différé, imposant aux trains la marche prudente, puis un arrêt aux abords de la gare manœuvrant le disque. Nous ne parlerons pas davantage du disque rouge qui a été le premier type de signal employé en France, mais qui tend à disparaître progressivement sur les lignes équipées d'une façon moderne.

Si nous examinons maintenant la signalisation des réseaux autres que la S. N. C. F., nous y trouvons des différences notables avec le régime que nous venons d'exposer.

En France, le métro, sur la ligne de Sceaux, utilise, comme la S. N. C. F., des carrés et des sémaphores. Tous sont constitués par des signaux lumineux, mais si, comme pour la S. N. C. F., ces signaux ouverts donnent l'un et l'autre un feu vert, leurs indications, quand ils sont fermés, sont inversées par rapport à celles de la S. N. C. F. ; le carré fermé est, en effet, constitué par un feu rouge et le sémaphore par deux feux rouges. Cela est d'ailleurs logique et simplifie la réglementation des extinctions accidentelles des signaux, puisque l'extinction de l'un des feux du sémaphore transforme ce signal en carré, c'est-à-dire en un signal plus sévère, ce qui n'a pas d'inconvénient. Sur la S. N. C. F., au contraire, l'extinction accidentelle — d'ailleurs très rare — de l'un des deux feux du carré fermé transforme ce signal en sémaphore fermé, c'est-à-dire en un signal moins sévère, franchissable dans certains cas, et cela pourrait causer des accidents si d'autres précautions réglementaires, que nous ne pouvons exposer ici, n'avaient été prises.

Sur son réseau urbain, le Métro de Paris fait, au contraire, donner un seul feu rouge à ses sémaphores comme à ses carrés fermés qui, de ce fait, ont le même sens, et commandent les uns et les autres l'arrêt avec la même rigueur. Cela ne gêne pas, en raison du très grand rapprochement des sémaphores successifs. Signalons enfin que, sur le réseau urbain, le métro n'a pas encore adopté le feu vert pour donner la voie libre, et que ses signaux ouverts donnent un feu blanc. Malgré la présence de nombreux feux blancs d'éclairage dans le souterrain, cette situation ne présente pas en pratique d'inconvénient, en raison de la faible vitesse des trains.

A l'étranger, on trouve une signalisation qui diffère notablement d'un pays à l'autre et

qui souvent s'éloigne beaucoup des principes français. Nous ne pouvons pas songer à exposer ici les diverses solutions adoptées et nous nous contentons d'indiquer que :

— l'usage du rouge pour commander l'arrêt est absolument général ;

— l'usage du vert pour signaler la voie libre la nuit ou en signaux lumineux est presque général ;

— l'usage de signaux à cocarde, comme notre signal carré, est très peu répandu ; beaucoup de réseaux n'emploient que des signaux à ailes, plus ou moins analogues à notre sémaphore.

SIGNAUX D'AVERTISSEMENT

Il est facile de voir qu'un unique signal d'arrêt absolu fermé n'est, en général, pas suffisant pour arrêter avec certitude un train avant ce signal. Il ne faut pas oublier, en effet, que les trains possèdent des roues en acier, roulant sur des rails également en acier, et que, de ce fait, l'effort de freinage que l'on peut exercer est relativement faible (1). À 120 km/h, un train a besoin, pour obtenir l'arrêt complet, d'une distance qui varie notablement suivant l'état du rail, mais qui peut atteindre, quand le rail est « gras », 1200 mètres environ. Il est évidemment impossible de donner à tous les signaux d'arrêt une visibilité de cet ordre, et il ne faut d'ailleurs pas oublier que le brouillard peut ramener à quelques mètres seulement la visibilité des signaux les mieux implantés. Il est donc indispensable — et nous touchons la l'une des particularités très caractéristiques du chemin de fer — de prévenir à distance le mécanicien qu'il approche d'un signal d'arrêt absolu fermé. Ce sera le rôle du signal d'avertissement.

En fait, les carrés et les sémaphores sont précédés, à une distance qui varie quelque peu suivant les lignes, mais qui est de l'ordre de 1000 à 1200 mètres, d'un signal d'avertissement toujours fermé quand le signal d'arrêt absolu est lui-même fermé, et qui impose au mécanicien de ralentir de façon à pouvoir arrêter son train avant le signal d'arrêt absolu, s'il est encore fermé au moment où il en approche.

Cette nécessité de faire précéder le signal d'arrêt absolu d'un signal d'avertissement est incontestablement une cause notable de complication pour la signalisation des chemins de fer, mais il ne faut pas perdre de vue, par contre, qu'elle est aussi un des éléments les plus certains de la sécurité remarquable qu'ils offrent à leurs usagers. Cet emploi de signaux d'avertissement permet de n'exiger des mécaniciens aucune tension d'esprit, aucun réflexe rapide. Il suffit, en effet, à ces agents, lorsqu'ils franchissent un avertissement, de freiner normalement ; l'avertissement est toujours assez loin du signal d'arrêt

(1) Voir page 125.

PRINCIPAUX SIGNAUX DU RÉSEAU FRANÇAIS

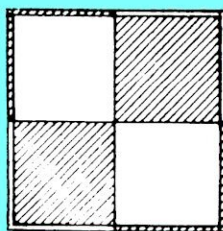
pour qu'un freinage normal leur permette d'obtenir l'arrêt en temps utile ; et l'on peut penser, si jamais une révolution dans les moyens de freinage des trains leur permettait de s'arrêter, comme les automobiles, sur une très courte distance, qu'il serait prudent de conserver, néanmoins, la signalisation actuelle, pour ne pas imposer aux mécaniciens une tension d'esprit fatigante, génératrice de fausses manœuvres et d'accidents.

L'avertissement présente habituellement aux trains, quand il est fermé, une plaque carrée jaune, en forme de losange, donnant la nuit (ou en signaux lumineux) un feu jaune. Quand il est ouvert, la plaque est effacée, et il donne la nuit un feu vert.

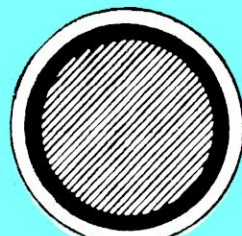
A l'étranger, le signal d'avertissement, avec exactement le même sens qu'en France, est d'un usage absolument général, du moins sur les réseaux où les trains circulent à vitesse élevée. Il est presque toujours jaune, donne presque partout un feu vert à l'ouverture, mais sa forme, en signaux mécaniques, varie notablement d'un pays à l'autre. Aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne, en Belgique, en Italie..., il est constitué par une palette sémaphorique ; en Allemagne, en Suisse... il est constitué par une cocarde circulaire.

Par contre, certains réseaux, où les trains circulent à faible vitesse, n'emploient pas le signal d'avertissement. C'est le cas, par exemple, du réseau urbain du Métro de Paris sur lequel les signaux d'arrêt absolu fermés ne sont habituellement pas annoncés à distance au mécanicien. Il est vrai que sur ce réseau, ce n'est pas seulement un sémaphore, mais bien deux sémaphores successifs qui sont fermés derrière chaque train. Sur la ligne de Sceaux, au contraire, chaque sémaphore à l'arrêt est annoncé, non pas par un, mais par deux signaux d'avertissement ; le plus près du sémaphore présente deux feux jaunes et le signal précédent trois feux jaunes sur une même ligne verticale.

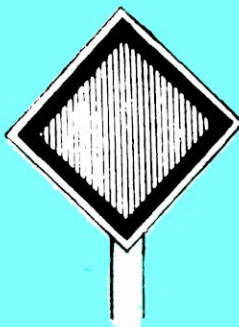
*Signal carré
(rouge)*



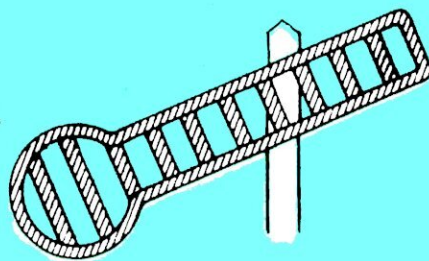
*Disque
(rouge)*



*Avertissement
(jaune)*

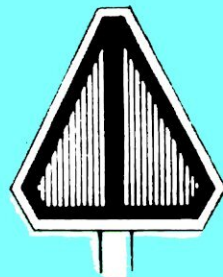
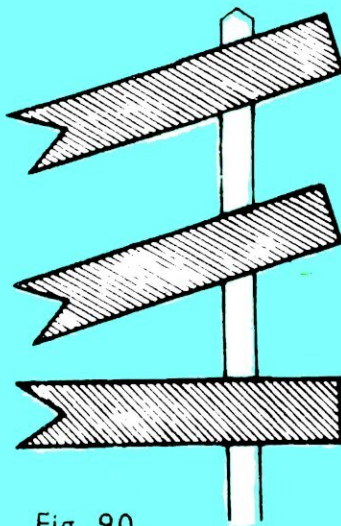


*Sémaphore
(rouge)*



*Ralentissement
(jaune)*

*Indicateur de direction
(blanc bleuté)*



*Rappel de ralentissement
(jaune)*

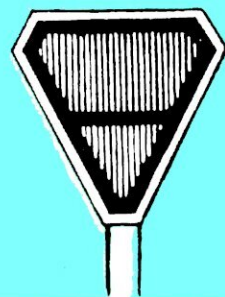


Fig. 90.

SIGNAUX DE RALENTISSEMENT ET DE DIRECTION

Il ne suffit pas de pouvoir arrêter un train, il faut encore lui prescrire le ralentissement indispensable en certains points de la voie, en particulier sur les aiguilles prises en déviation. On sait qu'un train ne peut circuler en vitesse dans une courbe que si l'effet de la force centrifuge, qui tend à renverser le train vers l'extérieur de la courbe, est compensé par un « dévers » de la voie, inclinant le train à l'intérieur de la courbe. Or, dans l'appareil de changement de voie, il est impossible de donner le dévers convenable à la voie déviée, dont les rails sont nécessairement au niveau de ceux de la voie directe, et la sécurité du passage en déviation ne peut être assurée que par un ralentissement du train. Dans les anciens appareils de voie où

est utilisé seul pour imposer le ralentissement.

Le rappel de ralentissement est toujours monté sur le mât du carré situé en pointe de l'aiguille. Il est constitué, comme le ralentissement lui-même, par une plaque de tôle triangulaire peinte en jaune, et il donne également la nuit deux feux jaunes, mais le triangle est disposé la pointe en bas et les deux feux jaunes sont sur une ligne verticale (1).

Quand ils sont ouverts, ces deux signaux de ralentissement et de rappel présentent leur cocarde effacée et donnent la nuit chacun un feu vert. Il convient de noter que les feux du rappel sont toujours « combinés », avec ceux du carré supporté par le même mât, de façon à ne présenter au mécanicien, la nuit, que le ou les seuls feux dont il doit à ce moment observer les indications.

Il est bien évident que le rappel de ralentissement, toujours effacé quand l'aiguille

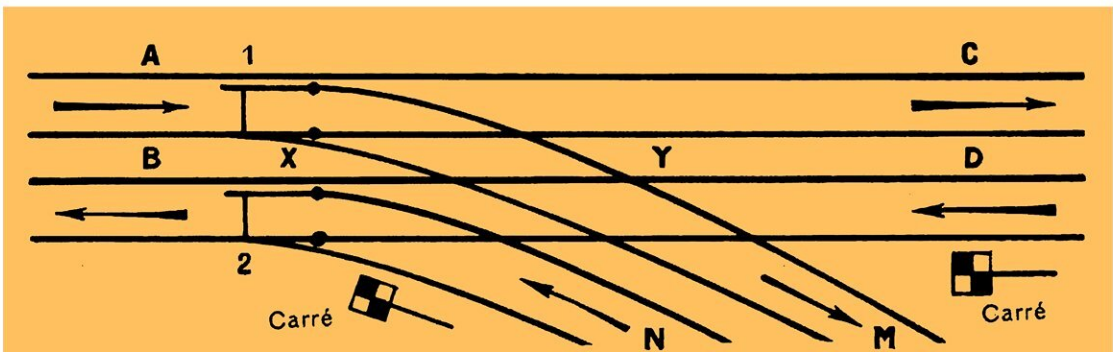


Fig. 91. PROTECTION D'UNE BIFURCATION PAR « CARRÉS »

Sur cette figure, comme sur celles qui suivent, les signaux sont représentés parallèlement à la voie qu'ils intéressent et à sa gauche ; le sens normal de circulation des trains est indiqué par des flèches (c'est la voie de gauche en France) ; les aiguilles sont toutes « faites » pour le passage des trains sur les voies rectilignes. Ici, un carré arrête les trains venant de N pendant le passage d'un train suivant l'itinéraire DB, rendant impossible la prise en écharpe en X ; de même le second carré arrête les trains venant de D pendant le passage d'un train suivant les itinéraires NB et AM, rendant impossible la prise en écharpe en X ou Y.

le rayon de courbure de la voie déviée est faible, la vitesse de passage en déviation est habituellement 30 km/h. Elle est beaucoup plus élevée sur certains appareils modernes à petits angles de déviation, comportant par conséquent un très grand rayon de courbure. On a même réalisé des appareils permettant le passage à 120 km/h dans les deux sens.

La signalisation du ralentissement sur les aiguilles en pointe comporte deux signaux : un signal de ralentissement et un rappel de ralentissement (fig. 92).

Le signal de ralentissement est un triangle de tôle peint en jaune, la pointe en haut, donnant la nuit deux feux jaunes sur une ligne horizontale. Ce signal est, en général, placé à relativement courte distance du signal d'avertissement (losange jaune) annonçant le carré de « pointe » de l'aiguille. Dans certains cas, d'ailleurs, ce signal d'avertissement

donne la voie directe et toujours présente quand elle donne la voie déviée, donne au mécanicien non seulement le renseignement sur la vitesse à observer sur l'aiguille, mais de plus, et du fait que le mécanicien connaît la ligne, le renseignement sur la direction vers laquelle est dirigé son train. Il convient toutefois d'ajouter que ce dernier renseignement sur la direction n'est pas fourni au mécanicien dans les quelques cas où la bifurcation

(1) Il aurait été plus logique, par analogie avec la signalisation d'arrêt, d'appeler « ralentissement » le second signal, RR1, placé au voisinage du point où il faut ralentir, et « annonce de ralentissement », par exemple, le premier signal R1, placé à distance. La S. N. C. F. ne l'a pas fait pour ne pas troubler les habitudes de ses agents. Le rappel RR1 est en effet relativement récent (il n'a été introduit qu'en 1936) et le ralentissement a longtemps été imposé au mécanicien par le seul signal à distance R1, qui était donc bien un signal de ralentissement.

de rappel de ralentissement en signal de passage en vitesse.)

D'autres pays, au contraire, donnent toujours directement au mécanicien, en même temps qu'une indication sur la vitesse à observer, un renseignement sur la voie vers laquelle son train est dirigé. La Grande-Bretagne, par exemple, place avant les aiguilles en pointe un signal comportant des bras sémaphoriques horizontaux placés les uns à côté des autres en nombre égal à celui des directions possibles, le bras qui correspond à la voie directe étant placé un peu plus haut que les autres. Le mécanicien est dirigé vers la première, la seconde... voie à partir de la gauche, suivant que c'est le premier, le second bras qui est incliné, et il peut passer en vitesse si le bras incliné est plus élevé que les autres. Le système est complet, mais il conduit à une signalisation très compliquée ; il n'est pas rare de rencontrer aux abords des grandes gares britanniques des passerelles de signaux enjambant plusieurs voies de circulation de même sens et portant une vingtaine de bras sémaphoriques différents.

LA MANŒUVRE DES SIGNAUX

Il est bien évident que les signaux n'assurent correctement la sécurité de la circulation que si les aiguilleurs les manœuvrent bien et que si, par ailleurs, les mécaniciens respectent bien leurs indications. Ces deux points méritent quelques commentaires.

Il faut d'abord que les aiguilleurs manœuvrent correctement les leviers des signaux et aiguilles dont ils disposent. Si nous reprenons

le cas de la figure 92, il faut par exemple que l'aiguilleur :

- avant d'ouvrir le carré de la voie D, ferme l'avertissement et le carré de la voie N et mette l'aiguille 1 à gauche, dans la direction de C ;

- avant d'ouvrir le carré de la voie N, ferme l'avertissement et le carré de la voie D et mette l'aiguille 2 à droite ;

- avant de mettre l'aiguille 1 à droite, vers la direction M, ferme l'avertissement et le carré de la voie D, le ralentissement et le rappel de ralentissement de la voie A, etc.

Tout cela n'est pas très difficile dans un poste simple. Mais, par contre, une erreur de conception de l'aiguilleur devient relativement facile à commettre dans un grand poste correspondant à des aménagements de voies compliqués et comprenant une centaine de leviers et davantage. De plus, même dans un poste simple, une erreur matérielle reste possible, et aucun aiguilleur ne pourrait affirmer que jamais il ne lui arrivera d'ouvrir par erreur un signal, en prenant son levier au lieu du levier voisin qu'il a l'intention de manœuvrer. Et les conséquences de cette erreur peuvent être telles que, depuis fort longtemps, tous les postes d'aiguilleurs français sont munis d'« enclenchements » entre leurs leviers. On désigne ainsi des relations matérielles établies entre les leviers d'un poste, dans des conditions telles que si, par erreur, un aiguilleur veut manœuvrer un levier qu'il y a inconvenient pour la sécurité à manœuvrer à ce moment, le levier résiste à l'effort de l'aiguilleur, dont l'erreur n'a pas de conséquences, puisque le signal ou l'aiguille correspondante reste immobile. Ces

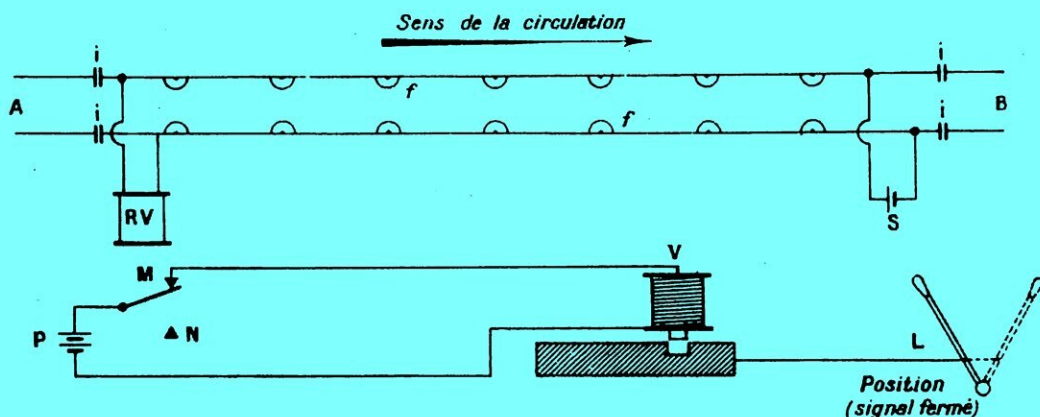


Fig. 94. SCHÉMA DE PRINCIPE DU CIRCUIT DE VOIE

Entre A et B, les rails sont reliés par des fils conducteurs f, qui assurent leur continuité électrique. Les joints i qui limitent le circuit de voie sont isolants. Le circuit de voie est alimenté par une pile qui envoie du courant dans le relais de voie RV. Celui-ci attire son armature et, par le contact M, ferme le circuit d'une pile P sur le verrou électrique qui attire son armature vers le haut. L'aiguilleur peut manœuvrer librement le levier L. Si les rails sont court-circuités par un essieu entre A et B, le relais RV ne reçoit plus assez de courant et le contact M est coupé, l'armature du relais retombant sur N. Le verrou V n'étant plus excité, son armature tombe dans l'encoche de la glissière solide du levier L et la manœuvre de celui-ci est impossible.

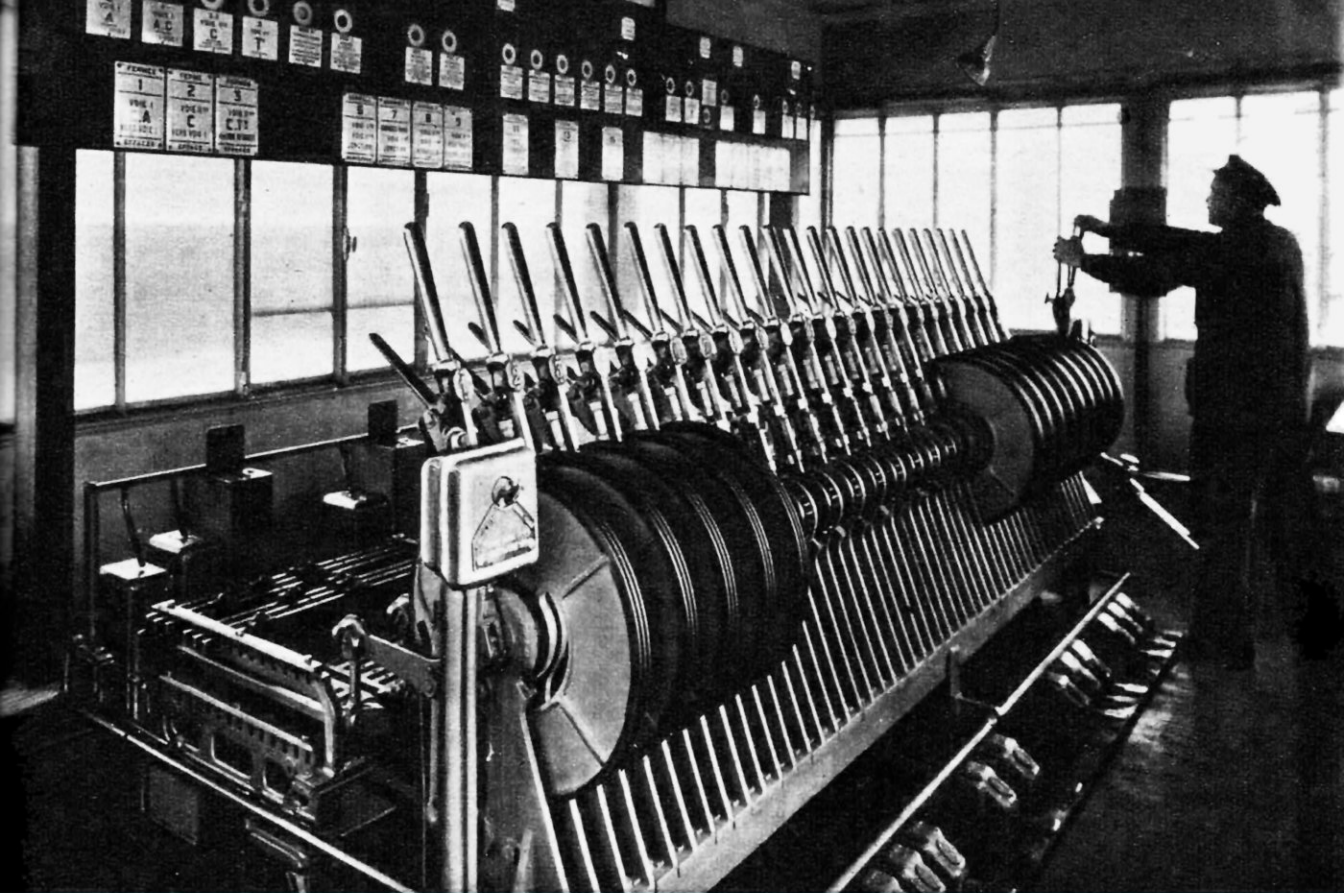


Fig. 95. POSTE D'AIGUILLAGE MÉCANIQUE AVEC APPAREILS DE CONTRÔLE INDIVIDUELS

enclenchements, qu'on désigne souvent sous le nom d'enclenchements « mécaniques », sont réalisés très simplement par l'intermédiaire de barres et de taquets attelés sur les leviers.

Les enclenchements mécaniques, qui remontent à 1855, ont été longtemps les seuls connus, mais les progrès de l'appareillage électrique ont permis, vers le début de ce siècle, l'utilisation des enclenchements « électriques » qui ont fourni la solution d'un grand nombre de problèmes nouveaux. Dans ce système, le levier à enclencher est immobilisé par un « verrou électrique d'enclenchement » disposé de telle façon que le levier est « enclenche », c'est-à-dire immobilisé, tant que le verrou électrique ne reçoit pas de courant : le levier est au contraire libre quand le verrou électrique reçoit du courant. Et il est extrêmement facile d'envoyer ou non du courant dans le verrou suivant qu'une condition déterminée est, ou non, satisfaite. On peut, par exemple, en montant un commutateur sur le levier d'un autre signal, même situé dans un autre poste, enclencher ensemble deux leviers de signaux ; nous trouverons des applications de ce cas d'enclenchement électrique quand nous parlerons du block-system destiné à assurer l'espacement des trains de même sens. Il est facile d'assujettir de cette façon l'ouverture d'un signal à la position correcte d'une aiguille ; nous rencontrerons dans un instant un tel dispositif à propos du contrôle impératif. Enfin, un très

grand nombre d'enclenchements électriques assujettissent la manœuvre d'un signal à la libération d'une partie de voie. Ce résultat est obtenu très facilement en utilisant un « circuit de voie ».

LE CIRCUIT DE VOIE

Supposons que nous voulions interdire l'ouverture d'un signal quand la partie de voie AB (fig. 94) est occupée, cette ouverture étant au contraire possible quand la voie AB est libre de toute circulation. Le levier du signal entraîne une glissière d'enclenchement qui peut être immobilisée par un « verrou électrique d'enclenchement ». Ce dernier reçoit du courant lorsque aucun véhicule ne vient, avec ses essieux métalliques, établir un pont conducteur entre les rails et mettre en court-circuit la pile qui alimente le circuit de voie. Le verrou est alors attiré vers le haut et permet le déplacement du levier et, par conséquent, l'ouverture du signal. Au contraire, quand un essieu métallique court-circuite les rails de la section AB, le verrou tombe sous l'action de la pesanteur dans une encoche de la glissière et rend impossible l'ouverture du signal (1).

(1) Les essieux des véhicules montés sur pneumatiques, comme les Michelin, ne sont pas conducteurs ; on les munit de dispositifs spéciaux de court-circuitage, comportant des balais frottant sur les rails.

Les applications du circuit de voie sont extrêmement nombreuses et jouent dans la sécurité un rôle particulièrement important. C'est exactement avec le dispositif que nous venons de décrire que, dans les grandes gares, on rend impossible l'ouverture du carré d'entrée pour une voie occupée ; c'est également de cette façon que le levier de toutes les aiguilles franchies par la pointe en vitesse est immobilisé tant qu'un train occupe l'aiguille ; on rend ainsi impossible tout déraillement par manœuvre intempestive d'une aiguille sous un train. C'est enfin de cette manière qu'on réalise les dispositifs les plus modernes de « block », en particulier le « block automatique » qui assure maintenant, sur beaucoup de grandes lignes, l'espacement des trains de même sens et sur lequel nous reviendrons en raison de son intérêt. C'est avec un dispositif de la même famille qu'on réalise, dans les grands postes, l'enclenchement de « transit », c'est-à-dire un enclenchement qui, avant le passage d'un train, immobilise toutes les aiguilles de l'itinéraire que va parcourir le train et les libère une par une, au fur et à mesure de leur franchissement par le train. C'est aussi avec un dispositif analogue qu'on réalise, dans les postes modernes, l'enclenchement « d'approche », c'est-à-dire un enclenchement qui fait commencer l'enclenchement de transit au signal d'avertissement de carré d'entrée de l'itinéraire. Ce dernier enclenchement rend impossible l'accident suivant qui s'est quelquefois produit : un aiguilleur ferme un avertissement qui vient, sans qu'il le sache, d'être franchi par un train, il ferme ensuite le carré pendant que le train roule en vitesse entre l'avertissement et le carré, puis il engage la voie principale, pour une manœuvre par exemple. Le train n'ayant pas été averti à distance de la fermeture du carré, ne peut en général s'arrêter avant ce signal qu'il franchit à l'arrêt, et il peut entrer en collision avec la manœuvre. L'enclenchement d'approche est le dernier enclenchement entré dans la pratique cou-

rante et son extension a contribué largement à améliorer la sécurité.

LE CONTROLE DES SIGNAUX

Grâce aux divers dispositifs d'enclenchement que nous venons de passer très rapidement en revue, nous pouvons avoir la certitude que les leviers des signaux et des aiguilles seront manœuvrés correctement par les aiguilleurs. Cela n'est évidemment pas suffisant : il faut de plus que les appareils sur le terrain correspondent bien, toujours, à la position de leur levier dans le poste. Il faut en particulier qu'un signal soit toujours effectivement fermé sur le terrain quand l'aiguilleur a placé son levier dans la position de fermeture.

Cela est évidemment d'abord une question de bonne construction et d'entretien soigné. Il n'est toutefois évidemment pas possible d'éviter rigoureusement toute avarie à un signal, par exemple, et deux ordres de précautions sont pris pour éviter à ces avaries toute conséquence fâcheuse.

D'abord la construction des appareils est telle que les avaries les plus probables se produisent dans le sens de la sécurité. C'est ainsi, par exemple, que la rupture du fil de transmission d'un signal commandé mécaniquement peut mettre indûment ce signal à l'arrêt, peut empêcher de l'ouvrir quand il est fermé, mais ne peut en aucun cas empêcher de le fermer quand il est ouvert. Dans le même ordre d'idées, tous les signaux mécaniques manœuvrés électriquement n'utilisent le courant que pour leur ouverture, leur fermeture se faisant au contraire toujours sous l'action de la seule pesanteur, si bien qu'un manque de courant, que peut entraîner une rupture de fil, un desserrage de borne, ne peut lui aussi que rendre impossible l'ouverture du signal, mais non sa fermeture.

Ces précautions prises par les constructeurs des signaux mécaniques rendent en pratique exceptionnels leurs dérangements

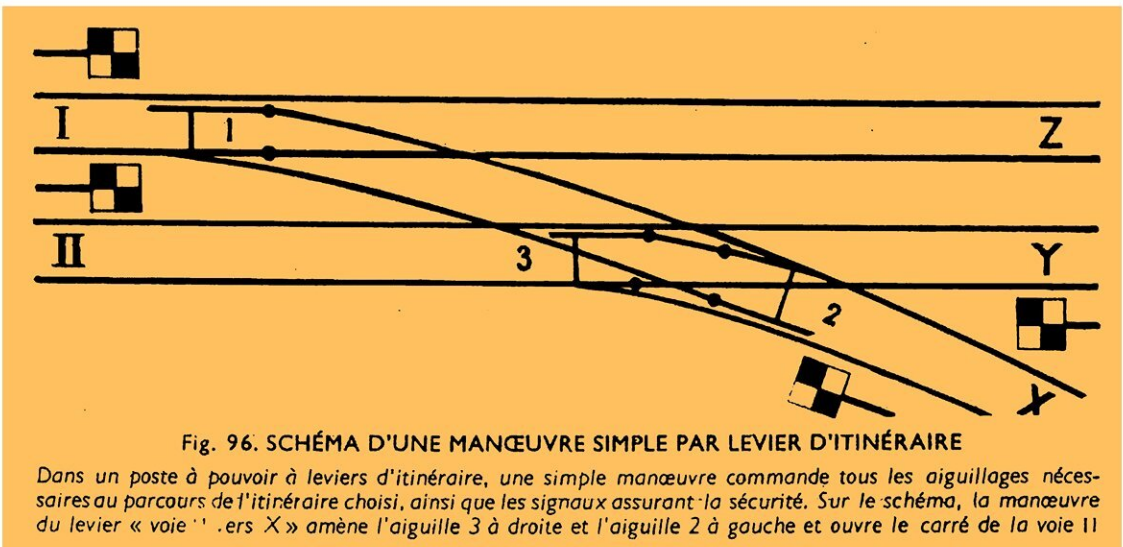


Fig. 96. SCHÉMA D'UNE MANŒUVRE SIMPLE PAR LEVIER D'ITINÉRAIRE

Dans un poste à pouvoir à leviers d'itinéraire, une simple manœuvre commande tous les aiguillages nécessaires au parcours de l'itinéraire choisi, ainsi que les signaux assurant la sécurité. Sur le schéma, la manœuvre du levier « voie vers X » amène l'aiguille 3 à droite et l'aiguille 2 à gauche et ouvre le carré de la voie II

contraires à la sécurité. On en a vu pourtant quelques-uns, et c'est une des raisons pour lesquelles les réseaux ont développé depuis une vingtaine d'années les « signaux lumineux » constitués, comme nous l'avons dit, par des panneaux noirs sur lesquels s'allument aussi bien de jour que de nuit le ou les feux constituant le signal.

Les réseaux ne se sont pas néanmoins contentés de ces précautions prises dans la construction des appareils. Ils ont de plus donné à leurs aiguilleurs, sous la forme d'un « appareil de contrôle », un moyen certain de savoir, par exemple, qu'un signal commandé par eux à la fermeture s'est bien effectivement fermé sur le terrain, ou que les lames d'une aiguille commandée à droite, par exemple, se sont bien placées sur le terrain dans la position convenable pour diriger les trains à droite. Ce résultat est obtenu très simplement à l'aide de dispositifs assez divers, qui sont toujours actionnés électriquement par l'intermédiaire d'un commutateur monté sur l'appareil dont on veut contrôler la position (mât d'un signal mécanique, lames de l'aiguille...) Le contrôle de fermeture effective d'un signal est, par exemple, donné à l'aiguilleur par le tintement d'une sonnerie, l'allumage d'une lampe, le passage au rouge d'un voyant, les choses étant évidemment disposées de telle sorte que l'absence anormale du courant de contrôle (fil cassé, par exemple) puisse empêcher l'aiguilleur d'avoir le contrôle de la fermeture du signal, bien que ce dernier soit effectivement fermé sur le terrain, mais ne puisse *jamais* lui donner ce contrôle de fermeture si le signal est resté ouvert.

Ce système de contrôle des signaux et des aiguilles donne en pratique toute sécurité. On est pourtant allé encore plus loin, et dans beaucoup de postes, on a remplacé le contrôle simple par le « contrôle impératif ». C'est ainsi qu'en France tous les signaux carrés précédant une aiguille en pointe franchis-

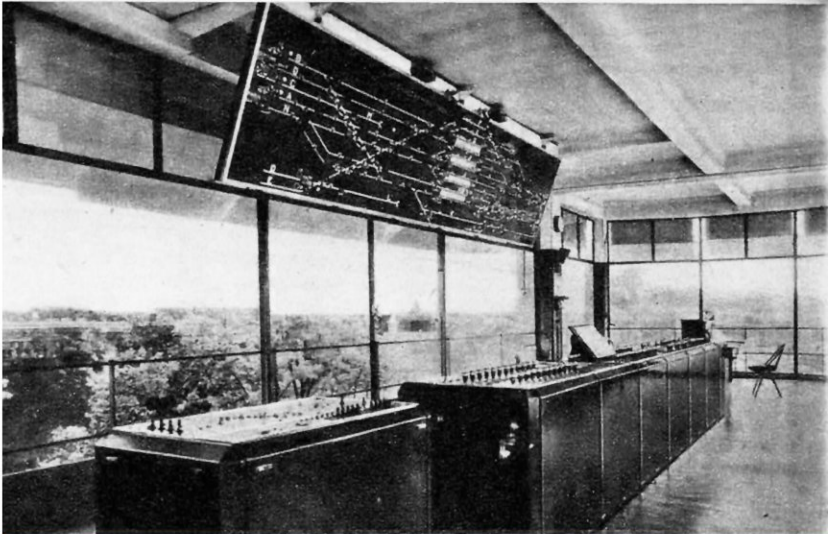


Fig. 97. POSTE D'AIGUILLAGE A LEVIERS D'ITINÉRAIRES : un levier unique suffit pour commander tous les signaux de sécurité et toutes les aiguilles d'un parcours déterminé.

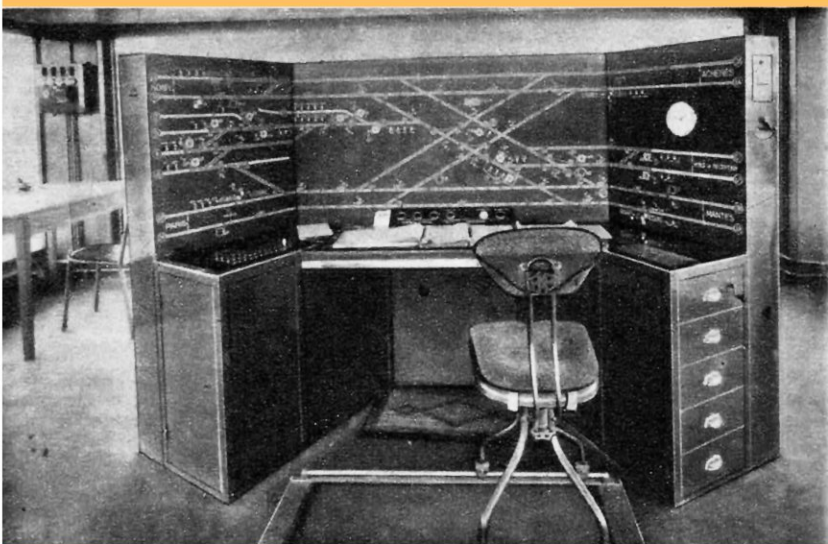


Fig. 98. POSTE A LEVIERS LIBRES D'ARGENTEUIL : les manettes des itinéraires sont disposées sur un plan schématique des voies desservies, au voisinage des carrés d'entrée.

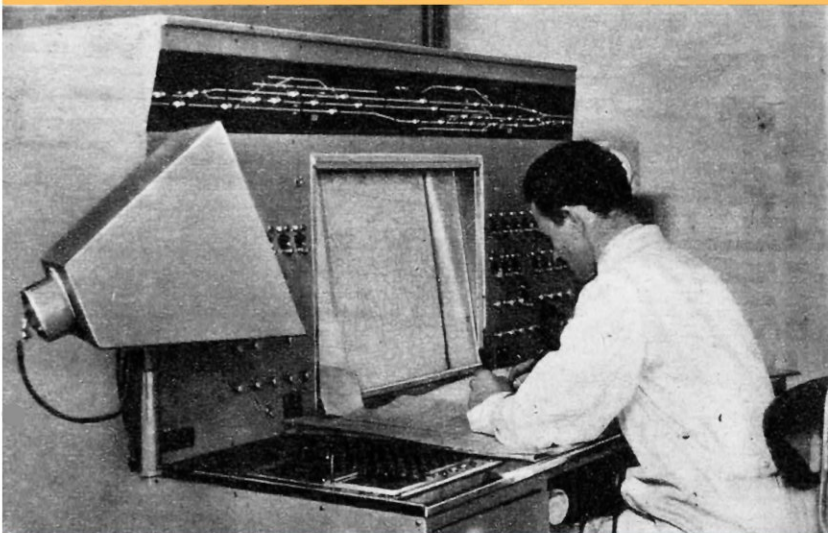


Fig. 99. POSTE DE LA GARE SAINT-LAZARE, où sont centralisées les commandes à distance de vingt-deux aiguilles et quatorze carrés des gares de Houilles et de Sartrouville.

sable en vitesse comportent le contrôle impératif de cette aiguille dans les conditions suivantes. Quand l'aiguilleur veut déplacer l'aiguille, un enclenchement mécanique entre le levier de l'aiguille et celui du carré l'oblige d'abord à fermer le carré. Il peut ensuite déplacer l'aiguille ; mais si l'aiguille n'avait pas obéi complètement, si, par exemple, un gravier tombé dans les lames de cette aiguille empêchait le collage parfait de la lame, l'appareil de contrôle de l'aiguille signalerait le fait à l'aiguilleur, qui devrait donc considérer l'aiguille comme mal disposée et ne devrait pas tenter d'ouvrir le carré ; mais si, par extraordinaire, cet agent commettait la faute de ne pas consulter l'appareil de contrôle de l'aiguille et tentait de manœuvrer le levier du carré, risquant ainsi de faire dérailler un train en l'envoyant sur une aiguille mal collée, il constaterait que le levier du carré, immobilisé par le contrôle impératif, résiste à son effort, rendant ainsi impossible l'ouverture de ce signal. Ce résultat est obtenu très simplement, en montant sur le levier du carré un verrou électrique d'enclenchement dont le courant d'excitation passe par des commutateurs montés sur les lames mêmes de l'aiguille à contrôler.

On peut même aller plus loin, et nous verrons dans un instant, en décrivant les postes électriques, qu'ils comportent habituellement le « contrôle impératif permanent ». On désigne ainsi un dispositif d'enclenchement dans lequel le carré ne peut, bien entendu, s'ouvrir que si l'aiguille en pointe colle bien, mais, de plus, ne peut rester ouvert que si l'aiguille continue à bien coller ; si, pour une raison quelconque, l'aiguille venait à cesser de coller, le carré se refermerait automatiquement.

Dans un poste comportant tous les dispositifs de sécurité que nous venons de passer en revue rapidement, le rôle de l'aiguilleur se trouve facilité à un point tel qu'il est possible d'autoriser une personne étrangère au chemin de fer, voire même un aveugle, à manœuvrer à sa guise les leviers du poste ; cette personne arrêtera vraisemblablement des trains

qui auraient pu passer sans inconvénient, mais elle ne causera aucun accident.

LES POSTES D'AIGUILLEURS MÉCANIQUES

Dans les postes mécaniques, qui ont été longtemps les seuls connus, l'aiguilleur commande chacun des appareils de son poste par un levier de grandes dimensions (figure 95) entraînant l'appareil par une transmission mécanique.

Les postes mécaniques assurent parfaitement la sécurité, mais, quand ils desservent une zone très étendue, comportant par conséquent des aiguilles situées loin du poste, ils présentent deux inconvénients. D'abord, ils deviennent fort encombrants et il est, de ce fait, parfois difficile de trouver pour eux et pour leurs transmissions des emplacements convenables au milieu des voies qu'ils desservent ; par ailleurs, leur service devient matériellement pénible pour les aiguilleurs.

Aussi, depuis longtemps, a-t-on songé à utiliser une autre énergie que la puissance musculaire de l'aiguilleur pour commander les aiguilles et les signaux, et on appelle *postes à pouvoir* les postes de ce système. On a réalisé des postes hydrauliques, des postes hydro-pneumatiques, des postes électro-pneumatiques, des postes purement électriques ; seuls ces derniers se sont développés considérablement, et on n'en construit plus d'autres depuis longtemps. Aussi, ce sont les seuls dont nous parlerons.

Les postes électriques se divisent eux-mêmes en deux catégories : les postes à leviers individuels et les postes à leviers d'itinéraire.

POSTES A POUVOIR A LEVIERS INDIVIDUELS

Dans les postes électriques à *leviers individuels*, dont nous ne dirons qu'un mot, on retrouve exactement les dispositions des postes mécaniques. Chaque appareil, aiguille ou signal, est commandé par un levier ;

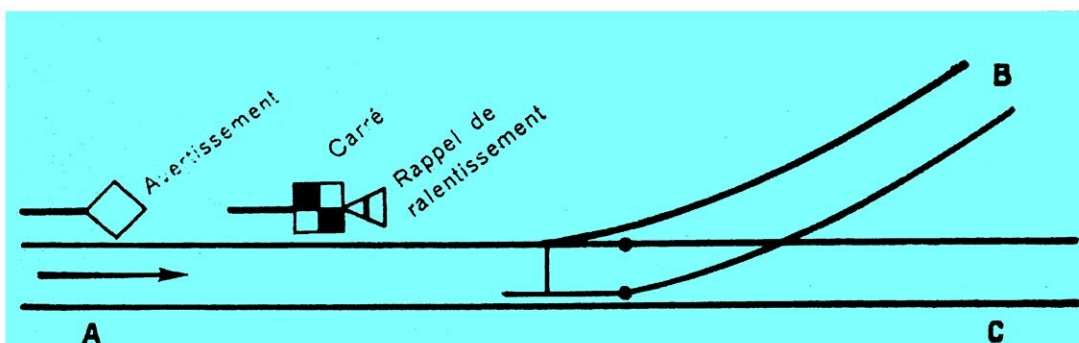


Fig. 100. L'ENREGISTREMENT DE LA COMMANDE D'UNE BIFURCATION (Voir page 96 .)

les différents leviers sont enclenchés entre eux exactement comme dans un poste mécanique ; des appareils de contrôle sont disposés devant les yeux de l'aiguilleur pour lui permettre de savoir si les appareils ont bien obéi à la manœuvre de leur levier. La seule différence entre ces postes et les postes mécaniques, est que les leviers sont de petites dimensions, puisqu'ils n'entraînent que les glissières d'enclenchement et les commutateurs envoyant le courant dans les lignes les reliant aux moteurs électriques disposés au voisinage des aiguilles et des signaux

POSTES A POUVOIR A LEVIERS D'ITINÉRAIRE

Par contre, les postes électriques à *leviers d'itinéraire* se présentent à l'aiguilleur sous une forme très différente. Dans ces postes, l'aiguilleur ne dispose plus d'un levier par appareil commandé, mais d'un levier par *parcours géographique possible*. D'abord le nombre de leviers est réduit, car il y a normalement dans un poste moins de parcours possibles que d'appareils commandés. Par ailleurs, le service du poste est notablement plus facile pour l'aiguilleur et la rapidité de la préparation d'un mouvement quelconque est portée au maximum, puisque l'aiguilleur n'a plus qu'un seul geste à accomplir pour préparer ce mouvement (fig. 96).

Les postes à pouvoir à leviers d'itinéraire sont de modèles très divers et nous ne pouvons songer à les décrire en détail ici. Nous allons seulement attirer l'attention sur leurs caractéristiques essentielles. Ils se divisent eux-mêmes en deux familles : les postes à leviers enclenchés qu'on appelle souvent postes classiques, parce qu'ils existent actuellement en grand nombre et que tous les réseaux sont d'accord sur leurs dispositions, qui sont véritablement devenues classiques, et les postes à leviers libres beaucoup plus récents et dont la doctrine est nettement moins bien établie.

Dans les *postes classiques*, on trouve pour chaque aiguille un véritable levier de commande, dont les fonctions sont tout à fait analogues à celles des leviers des postes à leviers individuels. Cet organe de commande peut donc occuper deux positions : l'une dite à droite, dans laquelle il ferme un circuit électrique commandant le moteur qui placera, si elle n'y est pas, l'aiguille à droite ; l'autre dite à gauche, dans laquelle il coupe le circuit dont nous venons de parler et en ferme un autre commandant l'aiguille à gauche. Mais ces organes de commande d'aiguille ne sont pas directement à la disposition de l'aiguilleur ; ils sont enfermés à l'intérieur d'un meuble appelé *combinateur*, de l'extérieur duquel sortent les divers leviers d'itinéraires ne portant aucune indication des appareils qu'ils manœuvrent, mais seulement celle du parcours auquel ils correspondent. Dans le cas où un parcours géographique

est utilisé dans les deux sens, le levier unique correspondant à ce parcours peut être renversé de deux façons différentes : par exemple, en le rapprochant ou en l'éloignant de l'aiguilleur. Dans les deux cas, les mêmes aiguilles sont commandées, mais ce sont les signaux d'un sens ou ceux de l'autre qui seront ouverts.

Chaque levier d'itinéraire est relié mécaniquement aux organes des différentes aiguilles intéressées, de telle sorte que le renversement de ce levier mette, s'ils n'y sont déjà, ces organes d'aiguilles dans la position nécessaire, et *cale ces organes, dans cette position*. Cela entraîne une conséquence assez curieuse, c'est que les leviers des itinéraires incompatibles sont enclenchés entre eux, sans qu'il soit nécessaire de procéder à une étude d'enclenchement ni d'installer un dispositif d'enclenchement.

Enfin, le renversement d'un levier d'itinéraire ferme des contacts électriques qui établissent le circuit de commande à l'ouverture des signaux d'entrée de l'itinéraire, en passant en série par l'appareil de contrôle convenable de toutes les aiguilles de l'itinéraire. On voit apparaître ici une autre conséquence curieuse et fort intéressante de ce type de poste ; c'est qu'ils comportent, par construction, le contrôle impératif permanent de toutes leurs aiguilles. Si, par exemple, une aiguille vient à cesser, pour une raison quelconque, de coller correctement, son appareil de contrôle ne recevant plus de courant coupe le circuit de commande d'ouverture du carré, qui se referme automatiquement.

Bien entendu, les postes à leviers d'itinéraires comportent habituellement les divers enclenchements dont nous avons reconnu l'intérêt, en particulier, l'approche et le transit. On y ajoute souvent, lorsqu'il s'agit de signaux mécaniques, le *contrôle impératif de fermeture des signaux*, c'est-à-dire un enclenchement interdisant le renversement d'un levier d'itinéraire si les signaux interdisant l'exécution des itinéraires incompatibles ne sont pas effectivement fermés sur le terrain. Ces divers enclenchements électriques sont réalisés à l'aide de verrous électriques immobilisant les leviers d'itinéraires et les organes de commande d'aiguilles.

Signalons, en terminant, que les postes à pouvoir comportent habituellement un « tableau schématique » placé sous les yeux de l'aiguilleur et groupant, sur un schéma des voies et des signaux dépendant du poste, les appareils de contrôle des signaux et des aiguilles, ainsi que des lampes rouges ou blanches renseignant l'aiguilleur sur l'occupation des diverses zones isolées du poste. On arrive ainsi à n'avoir plus besoin de la visibilité directe de l'aiguilleur sur les voies et rien n'empêche de placer le poste en un point quelconque, au besoin en sous-sol.

Les postes à pouvoir à leviers d'itinéraires sont essentiellement français. C'est, en effet, en France qu'ils ont pris naissance vers le

début de ce siècle et la France est le seul pays où ils ont pris un grand développement. Ils sont actuellement très nombreux dans les grandes gares françaises, où on ne trouve, au contraire, qu'un petit nombre de postes à pouvoir à leviers individuels. A l'étranger, la situation est exactement inverse ; si, dans certains pays, en particulier aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne et en Allemagne, on trouve, comme en France, un grand nombre de postes à pouvoir, ces postes sont presque tous à leviers individuels, et c'est tout récemment seulement que ces pays ont commencé à utiliser les leviers d'itinéraires, qui donnent pourtant toute satisfaction en France.

POSTES A LEVIERS LIBRES

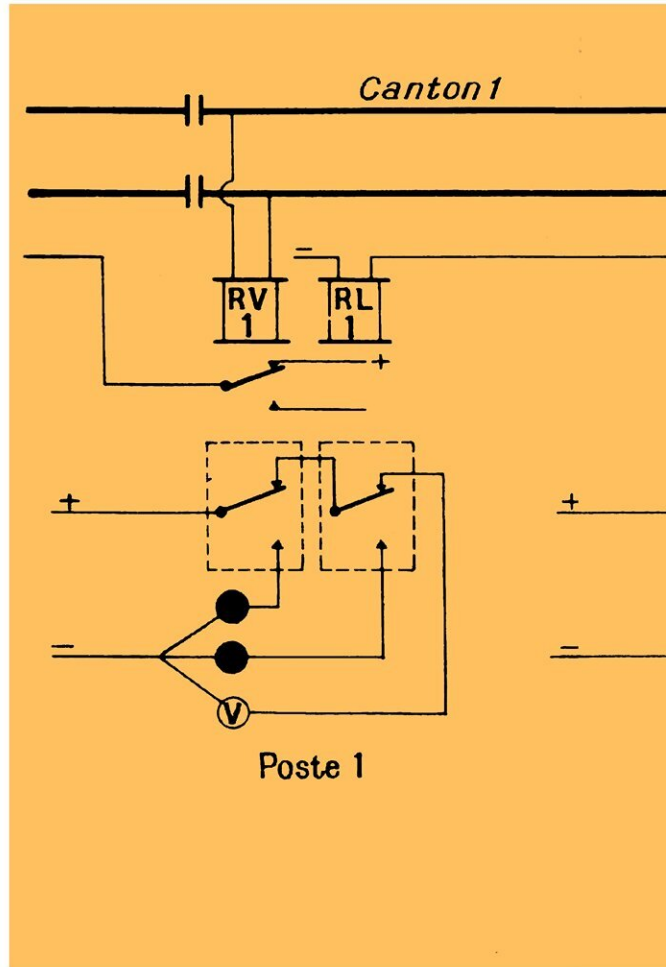
En terminant cette rapide étude des postes à pouvoir, il convient de signaler la tendance actuelle des réseaux à construire des *postes à leviers libres* dans lesquels aucun enclenchement n'existe sur les leviers qui peuvent tous être manœuvrés à tout instant. Mais quand le renversement d'un levier commande le mouvement d'appareils qu'il y a inconvénient pour la sécurité à déplacer à ce moment, *les appareils n'obéissent pas* sur le terrain. Il est facile de réaliser ces postes ; dans les postes enclenchés, on obtient l'immobilisation d'une aiguille par exemple, en coupant l'alimentation d'un verrou électrique d'enclenchement monté sur le levier de cette aiguille ; dans les postes à leviers libres, on obtient le même résultat en coupant directement l'alimentation du moteur de cette aiguille.

Les avantages des postes à leviers libres sont les suivants : les dimensions du combineur et, par suite, celles de la cabine du poste, peuvent être encore notablement réduites par rapport aux postes enclenchés, du fait que les leviers de manœuvre n'entraînent plus aucune glissière d'enclenchement, ni mécanique, ni électrique. Ces leviers, qui n'ont plus comme seul rôle que de donner quelques contacts électriques, peuvent donc être réduits à de simples boutons ou à des manettes des toutes petites dimensions (fig. 98).

Par ailleurs, la suppression des verrous électriques d'enclenchement est un progrès. Les postes à leviers libres n'utilisent, en effet, que des relais dans lesquels sont coupés, quand cela est nécessaire, les circuits de commande des appareils à immobiliser ; or, les relais sont des appareils moins coûteux, moins encombrants et plus faciles à entretenir que les verrous électriques d'enclenchement.

Enfin, les postes à leviers libres, contrairement aux postes enclenchés, permettent l'*enregistrement des commandes*, qui, dans les postes chargés, améliore le service en réduisant au minimum le temps qui sépare deux mouvements successifs incompatibles. Un exemple très simple va montrer l'intérêt de l'enregistrement.

Supposons qu'à une bifurcation (fig. 100) un



train de marchandises se dirigeant vers B soit suivi de très près par un train rapide se dirigeant vers C. Dans un poste enclenché, l'aiguilleur ne pourra déplacer le levier de l'aiguille pour la remettre à droite, dans la direction de C, que lorsque la queue du train de marchandises aura dégagé l'aiguille, ou, plus exactement, le joint isolant limitant le circuit de voie dont l'occupation immobilise le levier de cette aiguille par le jeu du « transit » (voir p. 92). L'aiguilleur est donc amené à cesser toute autre occupation (manœuvre de ses leviers pour préparer un passage de l'autre sens, téléphone, tenue des divers documents qui lui sont prescrits) et à guetter avec soin le moment exact où le train de marchandises dégage le circuit de voie pour, immédiatement, manœuvrer l'aiguille et ouvrir au train rapide le carré et l'avertissement qui le précède. Avec l'enregistrement, au contraire, l'aiguilleur commande le redressement de l'aiguille et l'ouverture des signaux des que le train de marchandises est arrivé sur le circuit de voie de l'aiguille. Cette aiguille n'obéit pas, puisqu'elle est immobilisée par le transit ; les signaux ne s'ouvrent pas davantage, puisqu'ils sont immobilisés par le contrôle impératif de l'aiguille, qui n'est pas disposée et bien collée pour la direction de C. Mais la commande de l'aiguille est enregistrée

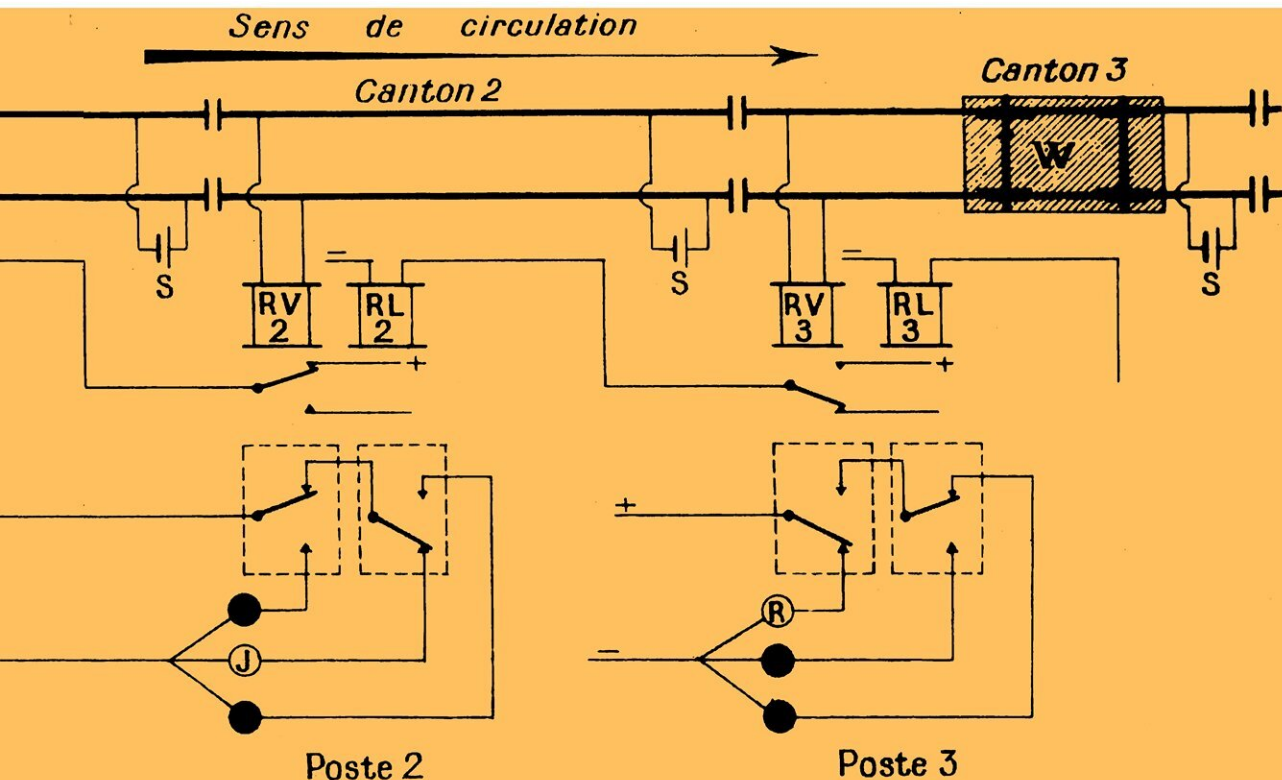


Fig. 101. BLOCK AUTOMATIQUE AVEC SÉMAPHORES ET SIGNAUX DE RALENTISSEMENT

On retrouve sur ce schéma les organes de la figure 94 complétés par des relais de ligne RL dont la position est la même que celle du relais de voie RV du canton suivant. Sur la figure, la présence du wagon W dans le canton 3 désexcite RV₃ et le feu rouge du poste 3 s'allume. En même temps, le relais RL₃ est désexcité et le feu jaune de ralentissement du poste 2 s'allume. Les relais RV₁, RL₁ étant excités, c'est le feu vert du poste 1 qui s'allume.

et, dès que le train de marchandises aura dégagé le circuit de voie, et sans nouvelle intervention de l'aiguilleur, qui peut donc vaquer à d'autres occupations, l'aiguille se déplacera, effaçant automatiquement le rappel de ralentissement, puis, à condition que l'aiguille colle bien dans sa nouvelle direction, le carré 3 s'ouvrira et, enfin, l'avertissement se mettra lui-même à « voie libre ».

Les postes à leviers libres sont actuellement bien moins répandus que les postes enclenchés. Mais il est vraisemblable qu'ils vont se développer assez rapidement.

LA COMMANDE CENTRALISÉE

Il nous reste à dire quelques mots des appareils de commande centralisée, répondant à une nécessité particulière. Les postes étudiés jusqu'ici, qu'ils soient à leviers enclenchés ou à leviers libres, permettent évidemment de commander des aiguilles et des signaux à une distance quelconque, mais les lignes électriques de commande et de contrôle coûtent fort cher, et la dépense d'établissement du poste devient inacceptable lorsqu'il s'agit de commander des appareils éloignés en moyenne de plus de quelques centaines de mètres. Il convient alors de recourir à des dispositifs permettant

de réduire considérablement la dépense d'installation, en utilisant une ligne électrique **unique** à deux ou trois fils, pour la commande et le contrôle d'un nombre important d'aiguilles et de signaux ; ce sont ces dispositifs qu'on désigne sous le nom de « commande centralisée ». Nous ne les décrirons pas en détail et nous nous contenterons d'en indiquer le principe.

Au voisinage immédiat de chacun des groupes d'aiguilles et de signaux, on trouve sur le terrain un véritable poste à pouvoir complet comportant les relais de commande des différents appareils ou des différents itinéraires du groupe, ainsi que les dispositifs d'enclenchement nécessaires pour que ces appareils ne puissent pas prendre de position contraire à la sécurité des trains. Mais l'excitation de ces divers relais de commande est obtenue du poste éloigné où se tient l'aiguilleur, non pas, comme dans les postes à pouvoir ordinaires, par l'intermédiaire d'une ligne électrique spéciale pour chacun de ces relais de commande, mais par l'intermédiaire d'une ligne **unique** pour toute l'installation. Les moyens utilisés pour obtenir l'excitation d'un relais de commande déterminé à l'exclusion de tous les autres, reliés pourtant à la même ligne de commande, sont tout à fait analogues à



Fig. 102. PANNEAU DE BLOCK AUTOMATIQUE. De haut en bas : feu rouge, feu jaune, feu vert, feu rouge ; en bas, à gauche, feu blanc bleuté.

ceux qu'on utilise en téléphonie automatique.

Ces appareils ont été pour la première fois utilisés aux Etats-Unis d'Amérique sous le nom de « Centralised traffic control » (Commande centralisée du trafic ou par abréviation C. T. C.) dans les conditions suivantes. Nous avons vu à propos du règlement de la voie unique (voir p. 82) qu'aux Etats-Unis, un « dispatcher » était amené à donner fréquemment des ordres aux agents des trains circulant sur la voie unique ; la transmission de ces ordres exige toujours l'arrêt du train et est, par conséquent, très gênante. Les Américains ont donc cherché à éviter ces arrêts et cela les a amenés à confier directement au « dispatcher » la manœuvre des signaux et des aiguilles de sa section, bien que beaucoup de ces appareils soient à plusieurs dizaines de kilomètres. La C. T. C., qui est apparue aux U. S. A. en 1927, s'y est développée très rapidement et, en 1939, la longueur des voies uniques qu'elle y équipait dépassait 3 000 kilomètres.

En Europe, la commande centralisée ne présente pas le même intérêt, du fait que la réglementation de la voie unique y est beaucoup plus favorable pour la bonne marche des trains. Aussi on n'y rencontre qu'un petit nombre d'installations, dont aucune n'est en voie unique. Les deux premières installations de commande centralisée en Europe remontent à 1933, en Grande-Bretagne et en France. En Grande-Bretagne, le « Metropolitan Railway » a équipé de cette manière la gare de Stanmore. Stanmore est une gare en cul-de-sac, où se termine une ligne à double voie venant de Wembley. Stanmore n'a pas d'aiguilleur, ses aiguilles et ses signaux non automatiques sont manœuvrés en commande centralisée, par l'aiguilleur du poste de Wembley, situé à 7 kilomètres de là.

L'installation française est notablement plus importante. Elle a été réalisée par le réseau de l'Etat, sur sa grande ligne de Paris au Havre, où la section Houilles-Sartrouville a été équipée à trois voies. Les voies extérieures n'ont qu'un seul sens de circulation, mais la voie intérieure est utilisée soit dans un sens, soit dans l'autre, suivant les besoins. C'est le régulateur de Paris-Saint-Lazare, situé à 16 kilomètres de Sartrouville, qui commande de son bureau les 22 aiguilles et les 14 signaux carrés des deux gares de Houilles et de Sartrouville. L'installation donne entière satisfaction, et elle a permis d'éviter la grosse dépense de construction d'une quatrième voie, qui aurait été nécessaire sans la commande centralisée.

LE " BLOCK " AUTOMATIQUE

Autrefois, l'espacement des trains de même sens était assuré par chacune des gares du parcours, qui, après le départ d'un train, avait l'obligation de n'en expédier un autre de même sens qu'après un certain *intervalle de temps*, habituellement dix minutes. Après cet intervalle, la gare était autorisée à expe-

dier un autre train, sans savoir où était à ce moment le premier. Si ce premier train venait à s'arrêter en pleine voie pour une cause quelconque, par exemple s'il tombait en détresse, son conducteur d'arrière devait, dès l'arrêt, assurer la *protection* du train, en se portant au pas de course au-devant du train suivant. Il plaçait sur la voie, à une distance convenable (habituellement 1 000 m) de l'arrière de son propre train, un drapeau rouge et des petards (1) commandant l'arrêt au second train en temps utile pour qu'il puisse à coup sûr ne pas rattraper le premier.

Depuis longtemps ce système est abandonné sur les lignes de quelque importance. (En France, la S. N. C. F. l'a abandonné sur la totalité de ses lignes, même les moins fréquentées.) Il a été remplacé par le système de l'*intervalle de distance*, qu'on appelle aussi *cantonement*, *block system*, ou plus simplement *block*.

LE PRINCIPE DU « BLOCK »

Dans ce système, la ligne est divisée en *cantons*, à l'origine de chacun desquels se trouve un poste, possédant les signaux nécessaires pour arrêter les trains.

Il existe, par ailleurs, entre les postes voisins des relations leur permettant de s'annoncer le passage des trains.

Au passage d'un train, le garde du poste ferme successivement l'avertissement, puis le sémaphore, de façon à arrêter tout autre train de même sens qui pourrait survenir. Et il maintient ces deux signaux fermés jusqu'à ce que le garde du poste aval l'ait avisé que le premier train a dépassé ce poste aval.

Il est clair que ce système assure parfaitement l'espacement des trains successifs, puisque, quelle que soit la marche réelle d'un train et même si ce train vient à s'arrêter en pleine voie, il reste protégé par les signaux d'entrée du canton qui arrêteront le train suivant. Par ailleurs et à la condition de diminuer suffisamment la longueur des cantons, le block permet de faire circuler en toute sécurité les trains successifs à des intervalles de temps très faibles. Sur les grandes lignes, avec des cantons qui ne dépassent pas 3 kilomètres, les trains express peuvent très facilement se suivre, en France, à des intervalles de cinq minutes et, sur les lignes de banlieue chargées, on arrive, avec des cantons de 500 mètres, à des intervalles de deux minutes. Les chemins de fer métropolitains vont encore plus loin, et le Métro de Paris, en particulier, arrive sur son réseau urbain à des intervalles inférieurs à une minute et demie entre les trains successifs de même sens.

(1) On désigne ainsi des capsules métalliques munies de griffes permettant de les fixer facilement sur le rail et contenant une petite quantité d'une substance détonante qui éclate au passage du train.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE BLOCK

Les différents appareils de block diffèrent surtout par la façon dont sont assurées les liaisons entre les postes voisins.

Dans les premiers appareils de block, apparus vers 1870, la liaison entre les postes était réalisée à l'aide d'un appareil de communication ne pouvant transmettre électriquement qu'un très petit nombre d'indications, les deux essentielles étant l'*annonce* du train par le poste d'entrée au poste de sortie et la *reddition de voie* par le poste de sortie au poste d'entrée. Le garde d'un poste fermait ses signaux immédiatement après le passage du train, puis annonçait le train au poste aval; il ouvrait ensuite ses signaux quand il recevait lui-même voie libre du poste aval. Ce système serait évidemment parfait si les agents faisaient bien leur service, mais, du fait qu'il ne comportait aucun enclenchement, une erreur d'agent, rouvrant par exemple ses signaux derrière un train avant d'avoir reçu voie libre, pouvait amener un accident. Aussi ce type de block a depuis fort longtemps disparu sur les lignes de quelque importance où il a été remplacé par le block enclenché.

Dans le *block enclenché*, le garde d'un poste ferme ses signaux au passage d'un train et annonce le train au poste aval, par exemple en appuyant sur un bouton d'annonce. Ses signaux sont alors enclenchés à l'arrêt, par un verrou électrique d'enclenchement. Et ils ne pourront matériellement être remis à voie libre qu'après la réception d'un courant de déblocage venu du poste aval, ce courant de déblocage ne pouvant d'ailleurs être lancé par le garde du poste aval (par exemple, en appuyant sur un bouton de reddition) que s'il a préalablement fermé ses propres signaux derrière le train. Le block enclenché, dont il existe des réalisations très diverses, constitue un énorme progrès sur le block non enclenché, et l'expérience prouve qu'il assure très bien l'espacement des trains de même sens, même sur des lignes chargées. Il n'est néanmoins pas parfait, et certaines erreurs d'agents pourraient encore avoir des conséquences graves. C'est ainsi, en particulier, que rien n'empêche matériellement le garde d'un poste auquel un train est annoncé, de fermer ses signaux *avant* le passage de ce train, puis de rendre la voie au poste d'entrée du canton qui remet ses signaux à voie libre. Cette erreur n'est certes pas très probable, elle s'est parfois produite, en particulier dans un poste dont le garde a, par erreur, fermé les signaux d'une voie alors qu'il avait l'intention de fermer ceux de l'autre voie.

On est donc allé plus loin, et on a réalisé le *block à pédales*. Ce système comporte l'adjonction, à chacun des postes d'un block enclenché, d'une pédale disposée sur la voie au voisinage du sémaphore, pédale par l'intermédiaire de laquelle chaque train qui passe ferme un contact électrique. Et les choses sont disposées de telle façon que,

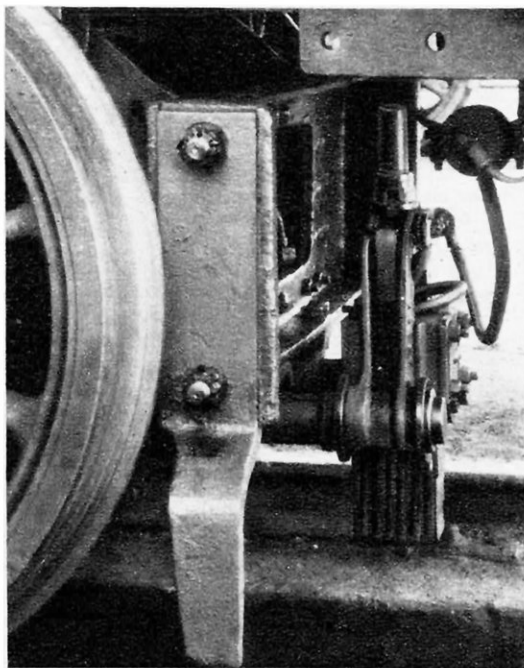


Fig. 103. BROSSE DESTINÉE A ASSURER LE CONTACT AU PASSAGE SUR LE CROCODILE

même après avoir fermé ses signaux, un garde ne peut rendre la voie en amont si la pédale n'a pas été touchée par un train depuis la dernière reddition de voie. On arrive ainsi à un block excellent, mais on n'est tout de même pas encore arrivé à la perfection. C'est ainsi, par exemple, que, si un train vient à subir une rupture d'attelage dans un canton, le passage de la tête de train sur la pédale permet matériellement au garde, si ce dernier ne s'était pas aperçu de la rupture, de rendre la voie après fermeture de ses signaux derrière la tête du train, dont il découvre ainsi la deuxième partie.

On a donc cherché à faire encore mieux, et il semble qu'on soit arrivé bien près de la perfection avec le block à circuit de voie, et en particulier avec le block automatique.

Le *block automatique* a d'abord été réalisé avec des signaux mécaniques. Il utilise maintenant presque toujours des signaux lumineux (dont nous avons déjà signalé les avantages), pouvant donner l'une des trois indications : feu rouge (sémaphore) quand le canton est occupé, feu jaune (avertissement) quand le canton est libre et le sémaphore suivant fermé, feu vert (voie libre) quand le canton est libre et que le sémaphore suivant est ouvert (fig. 101).

Les défaillances matérielles de l'installation (fil cassé, par exemple, ou même rail cassé) ne peuvent avoir d'autres conséquences que de maintenir indûment à l'arrêt un sémaphore, mais elles ne peuvent pas entraîner l'ouverture intempestive de ce signal. Aucun autre block ne présente de tels avantages.

Le block automatique a pris naissance aux

Etats-Unis d'Amérique où il s'est développé très rapidement ; il a aussi pris une extension considérable en France, où il équipait déjà pendant la guerre presque 6 000 kilomètres de voie, bien que les premières installations ne remontent qu'à 1924. Il s'est, au contraire, répandu très lentement dans les autres pays européens.

L'OBSERVATION DES SIGNAUX

La première condition pour que les mécaniciens observent les signaux, est évidemment qu'ils les voient.

Un moyen très efficace d'aider les mécaniciens dans cette partie de leur service est de développer l'emploi des signaux combinés et des signaux lumineux, qui, par le groupement de plusieurs signaux et la seule présentation de l'indication la plus impérative donnée par ces signaux à un moment déterminé, diminuent en définitive non pas le nombre réel de signaux en service, mais — et c'est cela qui est intéressant — le nombre d'indications à observer par le mécanicien.

Nous avons déjà fait allusion (voir p. 88) aux signaux *combinés* à propos du rappel de ralentissement, toujours combiné, avons-nous dit, avec le carré de pointe de l'aiguille correspondante. La combinaison des feux de ces deux signaux voisins est réalisée, la nuit, dans les conditions suivantes : lorsque le carré est fermé, ses deux feux rouges sont allumés et le rappel de ralentissement ne donne aucun feu ; le feu vert du rappel ouvert, ou les deux feux jaunes du rappel présenté seraient, en effet, non seulement *inutiles*, puisque le mécanicien doit s'arrêter, mais encore *nuisibles* puisque, matériellement, ils gêneraient la visibilité des feux rouges du carré et parce qu'intellectuellement, ils compliqueraient la tâche du mécanicien, qui percevrait deux signaux et devrait ensuite déterminer lequel est le plus impératif et doit, par conséquent, être observé. De même, et pour des raisons analogues, les deux feux jaunes du rappel présenté sont seuls allumés quand le carré est ouvert, ce dernier signal ne donnant pas son feu vert d'ouverture. Et c'est seulement quand les deux signaux sont ouverts qu'un seul feu vert est alors allumé, autorisant le passage en vitesse.

Les *signaux lumineux*, auxquels nous avons fait allusion au début de notre étude sur les signaux, constituent encore un progrès sur les signaux combinés, d'une part parce que leur fonctionnement, réduit à l'allumage d'une lampe, est, comme nous l'avons déjà signalé (p. 93), d'une régularité à laquelle ne peut pas prétendre le meilleur signal mécanique et, d'autre part, pour revenir à la question qui nous intéresse en ce moment, parce qu'ils fournissent un moyen de réaliser des signaux combinés aussi bien de jour que de nuit.

Même diminué par le développement des

signaux combinés et des signaux lumineux, le nombre de signaux à observer par le mécanicien reste très élevé; sur les grandes lignes, c'est toutes les quarante-cinq secondes environ qu'un mécanicien de train rapide rencontre un panneau lumineux à observer. Il convient d'ajouter que certains de ces signaux lumineux ne peuvent être installés ailleurs que dans une courbe et que, de ce fait, leur visibilité par temps clair est inférieure à dix secondes. Et il ne faut pas oublier, enfin, que le brouillard peut réduire considérablement la visibilité de tous les signaux et que, dans certaines régions — les chemins de fer britanniques sont particulièrement malheureux à cet égard — les brouillards sont fréquents.

Il est donc tout naturel que les ingénieurs se soient depuis longtemps préoccupés d'aider les mécaniciens dans l'observation des signaux. Mais ils ont rencontré là un problème très difficile, vraisemblablement le plus difficile de tous ceux qui se posent à propos de la signalisation, et les solutions satisfaisantes de la question sont relativement récentes. Beaucoup de réseaux ont adopté des appareils de répétition des signaux sur les machines et en ont fait de plus ou moins larges applications, mais la France est le premier pays où ces appareils aient été généralisés sur toutes les machines et tous les signaux.

Ce sont évidemment les signaux d'avertissement et non les signaux d'arrêt absolu qu'il faut répéter sur les machines. Ces derniers signaux peuvent, en effet, se trouver à très faible distance de l'obstacle, et un

mécanicien qui ne serait averti qu'à leur franchissement ne pourrait habituellement pas obtenir l'arrêt de son train en temps utile.

LES APPAREILS DE RÉPÉTITION

Les inventeurs ont d'abord songé à des dispositifs dans lesquels une pédale (ou toute autre pièce mobile) reliée au signal est abaissée quand le signal est ouvert, et soulevée quand le signal est fermé. Dans sa position basse, elle n'a aucune action sur les machines qui franchissent le signal ouvert; au contraire, dans sa position haute, elle vient au contact d'un *pendentif* disposé sous la machine, pendentif dont le déplacement entraîne une transmission mécanique dont l'autre extrémité actionne un signal optique ou acoustique près du mécanicien. Aucun des nombreux systèmes de répétition de cette famille n'a donné de bons résultats pratiques sur les lignes parcourues à grande vitesse et tous ont été abandonnés.

On s'est alors tourné vers les appareils à transmission électrique par contact entre une pièce fixe de la voie et une brosse métallique souple disposée sous la machine. Sur la voie, au voisinage de l'avertissement à répéter est disposée, entre les rails, une pièce métallique appelée habituellement « crocodile » parce que, avec beaucoup de bonne volonté, on peut admettre qu'elle ressemble à un crocodile se chauffant au soleil entre les rails. La plaque métallique du crocodile est reliée, par l'intermédiaire d'un commutateur commandé par le signal lui-même, à



Fig. 104. LE CROCODILE, DISPOSÉ ENTRE LES RAILS, ASSURE LA RÉPÉTITION DES SIGNAUX SUR LA LOCOMOTIVE

une pile électrique, de telle manière qu'elle soit en charge positive quand le signal est fermé. Lorsque une machine franchit alors le signal, la brosse recueille sur le crocodile le courant de la pile, le circuit étant fermé par les roues et les rails de la voie. Ce courant est utilisé pour déclencher sur la machine un sifflet spécial avisant le mécanicien qu'il franchit un avertissement fermé.

En pratique, ce système fonctionne très convenablement. Il a pourtant été critiqué, car il risque incontestablement de diminuer quelque peu la vigilance des mécaniciens qui comptent sur lui et en arriveront peut-être, de ce fait, à observer les signaux avec moins d'attention qu'auparavant.

En outre, l'appareil n'est pas parfait : un fil coupe ou une couche de givre sur le crocodile suffisent pour qu'un mécanicien ne soit pas averti du passage près d'un signal fermé. On a longtemps été arrêté par ces objections et la répétition de tous les signaux n'a été réalisée dans toute la France qu'après la guerre de 1914-1918 par des appareils de ce système, mais complétés par un dispositif de *vigilance*. Le franchissement d'un avertissement fermé déclenche le sifflet spécial sur la machine, comme nous l'avons indiqué tout à l'heure ; c'est là l'essentiel qui doit, si l'appareil fonctionne bien, éviter toute conséquence d'une défaillance du mécanicien qui est ainsi avisé en temps utile pour respecter 1 000 mètres plus loin le signal d'arrêt absolu fermé. Mais, par ailleurs, le franchissement de l'avertissement fermé est inscrit automatiquement par un signe spécial sur la bande de papier du chronotachymètre dont sont munies toutes les machines. On peut donc, après la rentrée de la machine au dépôt, savoir, en examinant cette bande, quels sont les avertissements qui ont été franchis fermés. Enfin, le mécanicien doit, quand il approche d'un avertissement qu'il va franchir fermé, agir sur un levier spécial, dit levier de vigilance, dont le déplacement inscrit sur la bande de la machine, un signe spécial, différent, bien entendu, du signe de franchissement du signal fermé. Il est donc facile, dans ces conditions, non seulement de connaître après coup les avertissements franchis fermés par le train, mais aussi de savoir ceux que le mécanicien n'avait pas vus et pour lesquels c'est le dispositif de répétition qui a évité l'accident. Bien entendu, le mécanicien est puni s'il s'est laissé surprendre. En fait, et grâce à cette adjonction, la répétition des signaux par crocodile donne les meilleurs résultats.

Il est certainement possible de faire encore mieux, en particulier en utilisant des appareils fonctionnant par induction, sans aucun contact matériel entre le dispositif voie et le dispositif machine. Ces appareils sont de types très divers : on en rencontre, en France, sur la ligne de Sceaux du Métro de Paris, en Grande-Bretagne, aux Etats-Unis, en Italie, en Suisse, en Allemagne.

Les divers dispositifs fonctionnant par

induction fournissent incontestablement une bonne solution du problème de la répétition, mais ils sont très coûteux. Par ailleurs, quelle que soit leur perfection, ils ne sont que des dispositifs de répétition des signaux de la voie et ils ne peuvent donner au mécanicien aucun renseignement de plus que ceux qui sont donnés par ces signaux eux-mêmes. On peut aller plus loin et réaliser sur la machine une véritable signalisation complète, donnant au mécanicien en chacun des points de la voie, à l'aide de véritables signaux installés sous l'abri de sa machine, un renseignement sur l'occupation de cette voie en avant du train.

LES SIGNAUX D'ABRI

Les signaux d'abri ne peuvent être installés que sur une ligne équipée en block automatique. Reportons-nous à la figure donnant le schéma de principe de ce block. Il est facile de voir que lorsqu'un train circule dans un canton qui est libre devant lui, le courant de la pile de voie située à la sortie du canton, circule dans le premier essieu de ce train et dans les rails en avant de ce premier essieu. Si, au contraire, un autre train 1 se trouve en avant du train 3 que nous considérons, dans le même canton que lui, aucun courant ne circule dans les rails en avant de la machine du train 3. Il est donc suffisant, en définitive, pour faire savoir à un mécanicien si le canton est libre en avant de son train, de lui faire savoir si du courant circule ou non dans les rails de la voie en avant de sa machine. On y arrive en *codant* le courant de voie, c'est-à-dire en l'interrompant périodiquement un certain nombre de fois par minute et en installant en avant de la machine un enroulement situé quelques centimètres au-dessus de chacun des deux rails. Si aucun courant ne circule dans les rails, aucun courant ne prend évidemment naissance dans les enroulements-machine ; si, au contraire, la voie est parcourue par du courant, un courant induit de même fréquence prend naissance dans les enroulements-machine. Et si on veut en même temps renseigner le mécanicien sur l'état, ouvert ou fermé, du sémaphore vers lequel il se dirige, il suffit de coder le courant de voie à des fréquences différentes suivant que ce sémaphore est ouvert ou fermé. On utilise, par exemple, deux modulateurs différents fournissant 75 ou 180 battements par minute. Sous les yeux du mécanicien s'allumera une lampe verte quand on recueille du courant à 180, c'est-à-dire quand le canton est libre devant le train et que le sémaphore suivant est ouvert (le train a dû alors normalement trouver au vert le signal d'entrée du canton), une lampe jaune quand on recueille du courant à 75, c'est-à-dire quand la route est libre devant le train et que le sémaphore suivant est fermé (le train a dû alors normalement trouver au jaune le signal d'entrée du canton) et, enfin, une lampe rouge quand on

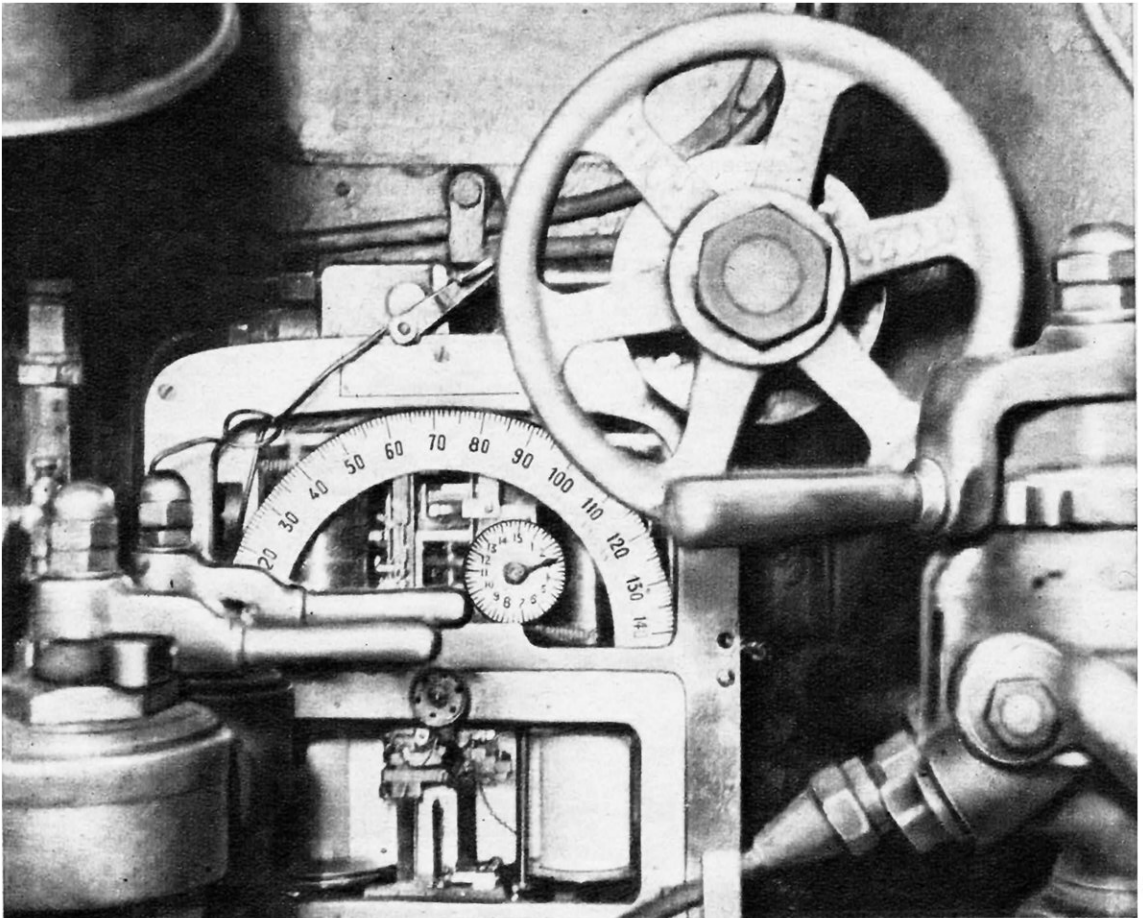


Fig. 105. INDICATEUR-ENREGISTREUR DE VITESSE SYSTÈME FLAMAN

Monté sur une machine, sous les yeux du mécanicien, derrière les divers robinets de manœuvre du frein à air, cet appareil comporte à la partie supérieure un petit « levier de vigilance » que le mécanicien doit actionner avant chaque franchissement de signal. On voit au-dessous le cadran du tachymètre indiquant la vitesse du train et, tout au bas de l'appareil, la bande de papier sur laquelle s'inscrivent automatiquement la vitesse du train à tout instant, le franchissement des signaux fermés et l'actionnement du levier de vigilance par le mécanicien. (Photo Le Boyer.)

ne recueille aucun courant, c'est-à-dire quand le canton est occupé devant le train (qui a dû alors normalement trouver au rouge le signal d'entrée).

Il est clair que les signaux d'abri constituent une signalisation complète sur la machine, pouvant changer d'aspect en n'importe quel point de la voie. C'est ainsi, par exemple, que si la voie venait exceptionnellement, à la suite par exemple, de la dérive de wagons entraînée par un vent de tempête, à être occupée dans un canton où se trouve un train ayant franchi ouvert le signal d'entrée du canton, le mécanicien de ce train sera immédiatement avisé par le passage du vert au rouge de son signal d'abri, passage qui est accompagné d'un signal acoustique. Inversement, si un mécanicien a franchi un signal au jaune, apprenant ainsi qu'il faut ralentir pour être capable de s'arrêter certainement avant le signal de sortie

du canton, qu'il va peut-être trouver au rouge, le signal d'abri est venu bien entendu au jaune, mais si ce signal de sortie du canton passe du rouge au jaune pendant que le train en est encore loin et que le mécanicien ne peut encore l'apercevoir, cet agent est immédiatement avisé qu'il peut reprendre sa vitesse par le passage au vert de la lampe de son signal d'abri.

On voit les avantages du système, tant du point de vue de la sécurité que de la bonne marche des trains. Son seul inconvénient est son prix extrêmement élevé, et le fait qu'il est inutilisable sur les lignes qui ne sont pas munies du block automatique. Ainsi ne s'est-il développé, sous le nom de « cab-signal », qu'aux Etats-Unis, où, comme nous l'avons signalé, le block automatique lui-même a pris la plus grande extension. Il faut d'ailleurs ajouter qu'à l'apparition des signaux d'abri, les chemins de fer français

avaient déjà mis en service la répétition par crocodile de tous leurs signaux sur toutes leurs machines, alors que les chemins de fer américains n'avaient en général, à ce moment, aucun dispositif de répétition des signaux.

LE FREINAGE AUTOMATIQUE

Nous connaissons maintenant les moyens d'attirer certainement l'attention du mécanicien sur l'indication fournie par les signaux. Faut-il en rester là, ou convient-il d'aller encore plus loin en étudiant un freinage automatique du train, se substituant au mécanicien si ce dernier, pour une raison quelconque, négligence ou défaillance physique, ne faisait pas le nécessaire ? Il semble facile d'utiliser l'un des dispositifs (crocodile, induction, ...) dont nous avons parlé à propos de la répétition, non pas à prévenir le mécanicien, mais à freiner le train ; il suffit pour cela, depuis la généralisation du frein à air sur tous les trains, d'ouvrir un robinet laissant échapper l'air comprimé de la conduite générale du frein. Mais l'application de cette idée simple n'est pas sans entraîner des difficultés sérieuses.

Il serait facile de réaliser le freinage automatique d'un train franchissant exceptionnellement un signal *d'arrêt absolu* fermé ; mais cela n'est pas intéressant, car ce signal est très fréquemment au voisinage de l'obstacle, et si le mécanicien n'avait pas encore freiné, l'arrêt du train ne pourrait habituellement pas être obtenu en temps utile ; c'est donc au franchissement de l'*avertissement fermé* qu'il faut envisager le freinage automatique, comme c'est d'ailleurs aux abords de ce même signal que commence à freiner un mécanicien faisant correctement son service.

Nous aurions une solution simple du problème si nous admettions qu'à tout franchissement d'un avertissement fermé, le freinage du train sera déclenché automatiquement et ne pourra être supprimé par le mécanicien qu'après l'arrêt total du train. Ce système, facile à réaliser, assurerait parfaitement la sécurité, mais ne peut être évidemment utilisé sur une ligne chargée où il causerait aux trains des pertes de temps inadmissibles. Il est, en effet, très fréquent qu'un train franchisse un avertissement fermé, puis rencontre ensuite le signal d'arrêt absolu ouvert, et il est indispensable dans ce cas qu'il puisse, sans s'arrêter, reprendre sa vitesse normale dès qu'il a reconnu l'ouverture de ce signal d'arrêt absolu. Il faut donc, de toute nécessité, atténuer la rigueur du système.

LE « TRAIN-CONTROL »

Deux solutions ont été utilisées. Certains réseaux, en particulier aux Etats-Unis, ont utilisé, sous le nom de « train-control », un dispositif dans lequel est mis à disposition du mécanicien, sur sa machine, un bouton de vigilance, sur lequel il doit appuyer au moment du franchissement de tout avertissement fermé.

Si le mécanicien appuie comme il le doit sur ce bouton, aucun freinage automatique ne se produit ; si, au contraire, il ne le fait pas, un freinage automatique se déclenche et le mécanicien ne pourra le supprimer qu'après l'arrêt du train.

Ce système assure évidemment la sécurité dans le cas où le mécanicien et le chauffeur seraient tous les deux morts, ou du moins hors d'état de freiner. C'est là un cas si improbable qu'il ne peut justifier l'existence d'un dispositif de freinage automatique nécessairement très coûteux et pouvant être l'origine d'incidents en cas de mauvais fonctionnement. Par contre, si le mécanicien appuie sur le bouton, tout freinage automatique est purement et simplement supprimé, et on n'a, en fait, aucune sécurité de plus qu'avec un simple dispositif de répétition des signaux sur la machine.

On peut réaliser un autre système de freinage automatique beaucoup plus satisfaisant du point de vue principe et répondant au programme suivant. Quand un train franchit un avertissement fermé, la vitesse du train est contrôlée par le dispositif automatique ; si le mécanicien freine lui-même correctement, l'appareil n'intervient pas, et tout se passe comme si la machine ne comportait pas de freinage automatique. Mais si, au contraire, le mécanicien, pour une raison quelconque, ne freine pas convenablement, le dispositif déclenche automatiquement un freinage qui ne pourra être supprimé qu'après l'arrêt du train. Quelques réseaux américains ont utilisé des appareils de « train-control » de ce système, mais c'est surtout la Reichsbahn qui, en Allemagne, s'était engagée résolument dans cette voie quelques années avant la guerre de 1939. Avec le système allemand, rien ne se produit sur la machine au moment même du franchissement du « Vorsignal » (signal d'avertissement) fermé. Mais le mécanicien doit actionner un bouton de vigilance dans les cinq secondes qui suivent le franchissement du signal. S'il ne le faisait pas, le train serait arrêté automatiquement. Si, au contraire, il l'a fait correctement, la vitesse du train est contrôlée en trois points ; au premier de ces points, le train ne doit pas dépasser la vitesse de 90 km/h s'il s'agit d'un rapide (la vitesse en question varie suivant le type de machine) ; si, à ce point, le mécanicien passe à moins de 90 km/h, rien ne se produit, mais s'il passait à plus de 90 km/h, le train serait arrêté automatiquement. Au second de ces points, nouveau contrôle qui arrête le train automatiquement si la vitesse du passage en ce point dépasse 65 km/h. Enfin, si le train venait à franchir le « Haupt-Signal » fermé (signal d'arrêt absolu), le train serait arrêté automatiquement.

Ce programme est incontestablement très complet, mais sans qu'il soit besoin de le décrire en détail, on conçoit qu'il conduise nécessairement à un appareillage très compliqué et très coûteux.

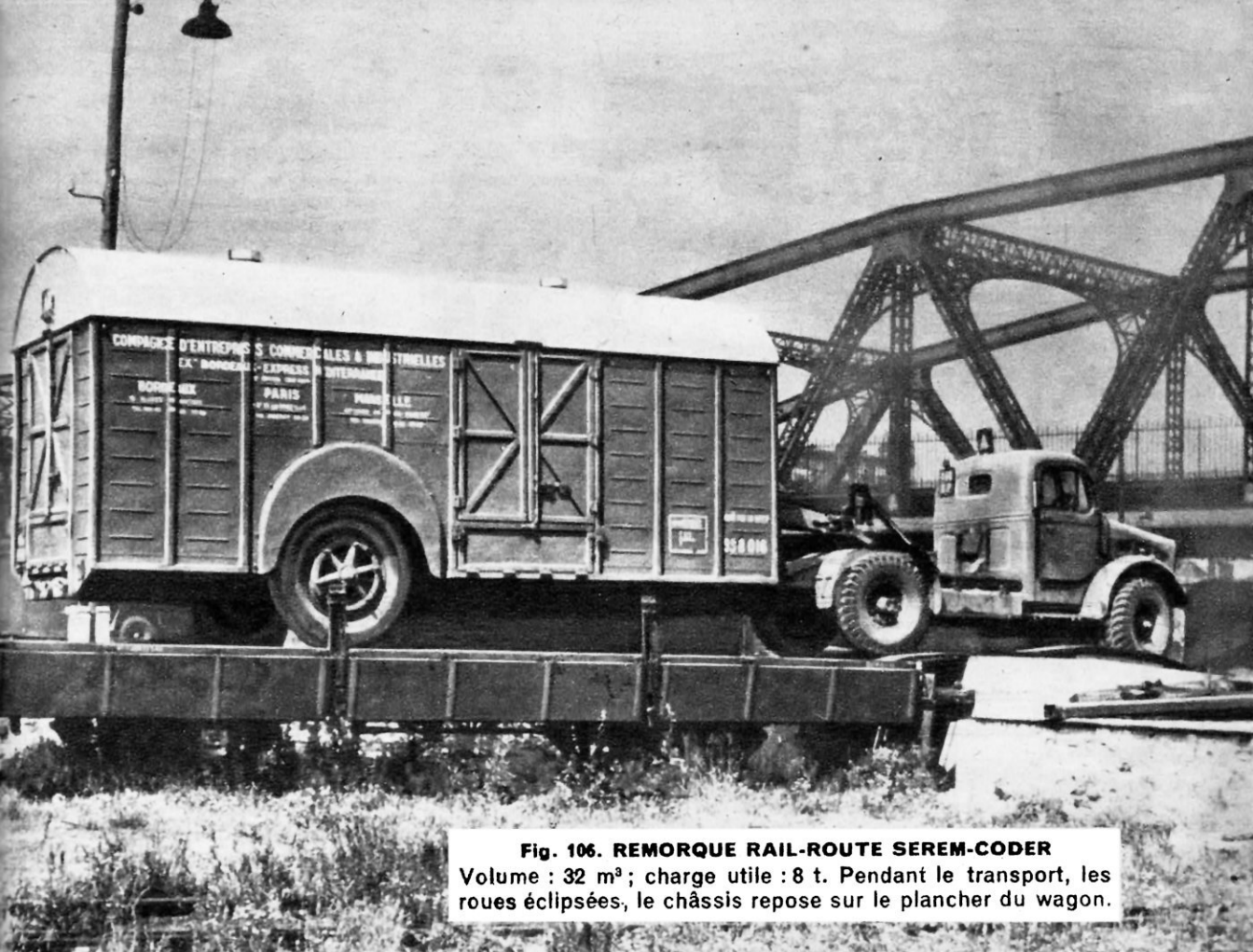


Fig. 106. REMORQUE RAIL-ROUTE SEREM-CODER
 Volume : 32 m³ ; charge utile : 8 t. Pendant le transport, les roues éclipsees, le châssis repose sur le plancher du wagon.

LES ENGINs RAIL - ROUTE

On désigne sous le nom de transport « porte à porte » le système qui consiste à prendre, sans autre emballage que celui qui est normalement utilisé pour la vente courante, une marchandise au domicile de l'expéditeur pour la conduire sans aucune manutention intermédiaire au domicile du destinataire. Ce système présente des avantages énormes d'économie de main-d'œuvre et de matières premières, mais il est d'une réalisation très difficile dans le cas particulier du chemin de fer. Un certain nombre de solutions, qui sont certainement loin d'être définitives, ont été mises en œuvre suivant une formule qui unit judicieusement les deux techniques ferroviaire et routière : les plus connues sont l'emploi de cadres et celui de remorques rail-route.

NORMALEMENT donné par le camion, le « porte à porte » est plus difficilement réalisable avec les wagons.

Cependant, depuis très longtemps, la construction d'embranchements particuliers avait donné aux industriels et commerçants la possibilité de recevoir directement les wagons à l'intérieur de leurs établissements et à proximité immédiate des postes de chargement des marchandises. Cette formule a pris un tel développement que pres de 75 % du tonnage des marchandises transportées par wagon complet est maintenant traité sur embranchement particulier, soit au départ,

soit à l'arrivée, soit même aux deux extrémités du parcours.

Mais il n'est pas toujours possible de réaliser le raccordement par rail d'une usine ou d'un magasin ; plus fréquemment, la technique ferroviaire, qui impose un rayon minimum pour les courbes, ne permet pas de pousser le rail à l'intérieur de l'établissement, jusqu'au point le plus commode pour le chargement et le déchargement des marchandises. Dans ce cas, on peut utilement faire appel à des appareils spéciaux, pipe-lines pour les liquides, appareils pneumatiques pour les matières pulvérulentes ou les grains, téléferiques ou



Fig. 107. PLACEMENT DES MARCHANDISES DANS UN PETIT CADRE GRACE AUX TROIS PANNEAUX LATÉRAUX DÉMONTABLES



Fig. 108. CES CADRES REPOSENT SUR DES PATINS D'ACIER LORSQUE LES DISPOSITIFS DE ROULEMENT SONT ÉCLIPSÉS



Fig. 109. GRAND CADRE OUVERT REPLIABLE POUR LE TRANSPORT DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION : TUILES BRIQUES, ETC.

transporteurs à courroies ou à godets pour les autres marchandises. Ces appareils sont maintenant d'application courante ; ils ne peuvent malheureusement pas convenir aux nombreux industriels et commerçants qui sont installés loin de la gare ou en pleine ville.

Pour ceux-ci, il fallait trouver une autre formule et, puisque le rail ne pouvait être conduit jusqu'à leur établissement, utiliser des engins nouveaux « rail-route », faisant appel aux deux techniques ferroviaire et routière, la première pour assurer le transport par chemin de fer entre les deux gares de rattachement des établissements expéditeur et destinataire, la deuxième pour permettre le camionnage par route entre ces établissements et leur gare de rattachement.

LES WAGONS SUR LA ROUTE

La première idée qui vient à l'esprit consiste à rechercher le moyen de conduire le wagon lui-même de bout en bout en lui faisant quitter les rails pour emprunter la route.

On a d'abord essayé des véhicules mixtes, susceptibles d'être montés, suivant le moment, soit sur des essieux ferroviaires, soit sur des roues à pneumatiques. Mais un châssis de wagon, conçu pour s'inscrire dans les courbes à grand rayon de la voie ferrée et pour subir de gros efforts de traction à l'intérieur des convois, est à la fois trop rigide et trop lourd pour circuler sur route. Aussi le véhicule mixte a-t-il dû être rapidement abandonné.

Puis, la technique routière a fait de nouveaux progrès et on est arrivé à construire des remorques spéciales, aux nombreux essieux, capables de transporter des charges de l'ordre de 30 tonnes et même davantage, analogues à celles qu'utilisent les armées alliées pour transporter leurs gros chars d'assaut.

Des remorques de ce genre pouvaient être facilement adaptées pour transporter un wagon chargé ; il restait

à trouver le dispositif permettant de faire passer rapidement le wagon de la voie ferrée sur la remorque et vice versa, et le transport de porte à porte en matériel ferroviaire était résolu. La formule, due à un inventeur français, fut mise au point et fortement développée en Allemagne et en Italie dans les années qui précéderent la guerre. Les armées d'invasion l'utilisèrent en grand pour le ravitaillement de leurs aérodromes de campagne.

En France, cependant, le procédé parut peu commode en raison des gênes qu'il devait fatalement amener dans la circulation routière et on n'en connaît qu'un seul cas d'utilisation dans la région de Périgueux.

Il semble pourtant que, malgré ses inconvénients certains, la formule n'est pas sans intérêt. La S. N. C. F. a pu fort utilement employer quelques remorques porte-wagons abandonnées par les armées allemandes sur le territoire français pour dégager des wagons, et même quelques voitures à voyageurs à bogies, immobilisés sur des tronçons de lignes entre deux ponts détruits. Elle envisage maintenant d'utiliser prochainement ces remorques pour desservir quelques usines impossibles à raccorder à la voie ferrée.

Les remorques porte-wagons allemandes comportent un châssis surbaissé supportant des rails, muni de seize roues à bandages montées sur des demi-essieux. Une timonerie spéciale, reliée à la flèche d'attelage du tracteur, commande l'orientation des demi-essieux de telle façon que la remorque décrit exactement les mêmes courbes que le tracteur auquel elle est attelée ; chaque roue, montée sur un ressort indépendant, peut épouser les dénivellations de la route sans que l'équilibre du châssis et du wagon transporté en soit compromis. L'engin peut supporter un poids total en charge de 40 tonnes et réaliser des vitesses de l'ordre de 20 à 30 km à l'heure.

CADRES OU CONTAINERS

Il existe, pour le chemin de fer, un autre moyen de réaliser le porte à porte : il consiste à mettre à la disposition du public des emballages spéciaux conçus et équipés pour pouvoir être transportés facilement sur camion et sur wagon. Ces emballages spéciaux sont dénommés *cadres* ou *containers*.

L'expéditeur peut, à son domicile, disposer lui-même à son gré les marchandises dans le cadre ; une fois chargé et fermé, ce cadre est placé sur un camion et conduit à la gare expéditrice où il est transbordé sur wagon ; après le transport par chemin de fer, le cadre est replacé sur camion pour être conduit et laissé au domicile du destinataire des marchandises.

L'idée du cadre n'est pas nouvelle : il y a longtemps que les déménageurs en utilisent et que les transports d'objets de céramique ou de porcelaine se font dans des harasses.

Il restait cependant à généraliser le sys-

teme et surtout à rendre le cadre plus maniable.

On peut, en effet, admettre de laisser le cadre sur le camion ou sur la remorque qui l'a amené, pendant tout le temps qu'on charge ou qu'on décharge les marchandises à domicile. La formule ne présente pas de gros inconvénients, puisqu'elle conduit à des conditions de travail identiques à celles qui sont généralement acceptées pour le camion. Il faut au contraire, de toute nécessité, procéder à une manutention du cadre en gare pour le faire passer de camion à wagon ou vice versa : la solution dépend évidemment du poids et des dimensions du cadre.

LES PETITS CADRES

Après plusieurs années d'études poursuivies sur le plan international, les chemins de fer ont mis au point des petits cadres munis d'un dispositif de roulement à quatre roues comprenant un essieu pivotable avec timon, ce dispositif de roulement étant lui-même complété par un système de calage rapide et efficace.

Ces petits cadres sont extrêmement maniables : il suffit d'un pont ordinaire de chargement pour les passer d'un quai sur un camion ou sur un wagon, de camion à wagon, ou vice versa ; ils peuvent même circuler sans aucune difficulté à l'intérieur des usines ou des magasins, réalisant ainsi, mieux que le porte à porté, le véritable transport de domicile à domicile. Ils s'adaptent tout spécialement au trafic de détail pour lequel ils procurent le maximum d'économie de manutention et d'emballage.

Fournis à un taux de location modeste, représenté par une majoration forfaitaire de 10 % de la taxe de transport, et transportés dans des conditions extrêmement avantageuses puisque la taxe de transport ne joue que sur le poids net de la marchandise contenue, les petits cadres ont très vite été vivement appréciés. Tout montre qu'ils répondaient à des besoins réels du commerce.

LES GRANDS CADRES

Des que le cadre chargé représente une masse indivisible de plusieurs tonnes, sa manutention pose un problème plus difficile. Il existe bien, dans de nombreuses gares, des engins de levage d'une puissance suffisante, grues ou portiques, mais ces engins, destinés également à la manutention des bois en grume et des produits métallurgiques, ne sont pas toujours d'un accès facile et leurs abords sont bien souvent encombrés.

De nombreuses solutions ont été étudiées.

Certaines gares ont été dotées de grues mobiles montées sur des roues à bandages caoutchoutés. Ces grues donnent satisfaction, mais leur prix est trop élevé pour que la formule puisse être appliquée en dehors des gares importantes.

On a essayé également d'installer sur les

camions eux-mêmes qui servent au camionnage des cadres une sorte de portique de levage susceptible d'être déplié pour surplomber le wagon ou le quai et d'être, après la manutention, replié pour ne pas gêner la circulation sur route.

Une autre solution, plus ingénieuse, consiste à se servir pour le transport du cadre à domicile, non plus d'un camion, mais de roues amovibles montées sur vérins hydrauliques. Le dispositif de montage de ces roues permet de les fixer sur les côtés du cadre lorsque celui-ci repose sur le sol ou sur le plancher d'un wagon ; à l'aide des vérins, on lève ensuite le cadre à la hauteur voulue pour qu'il puisse rouler sur les roues ; enfin, le transport par route terminé, on ramène le cadre au contact du sol et on peut alors dégager les roues.

La guerre est intervenue avant que ces diverses solutions aient pu être entièrement mises au point et passer au stade de l'exploitation courante. Les transports des grands cadres sont encore, sur les chemins de fer français, tributaires des engins banalisés de levage installés dans les cours de débord des gares.

Cette question de manutention dans les gares n'a d'ailleurs pas arrêté le développement du système des grands cadres. La S. N. C. F. en a construit elle-même plus de 2 000, et on trouve un nombre encore plus grand de cadres particuliers qui sont la propriété d'industriels, de commerçants ou de transporteurs. Il s'agit souvent d'engins spéciaux, conçus tout particulièrement

pour le trafic de certaines marchandises :
— cadres réservoirs, pour le transport des liquides ;
— cadres isothermes, pour les denrées et les marchandises périssables ;
— cadres capitonnés, pour le transport de mobiliers.

Les conditions avantageuses accordées aux transports en petits cadres s'appliquent également pour les transports effectués en grands cadres ; la taxe ne porte que sur le poids net de la marchandise. Pour les grands cadres qu'elle fournit elle-même, la S. N. C. F. réclame un taux de location forfaitaire représenté par une majoration de 5 % de la taxe ; les cadres particuliers sont, bien entendu, exemptés de cette taxe de location, mais leurs propriétaires doivent, pour leurs transports à vide, payer au chemin de fer une taxe, d'ailleurs très réduite.

LES REMORQUES RAIL-ROUTE

Les difficultés rencontrées dans la manutention des grands cadres ont aiguillé les chercheurs sur une autre voie, celle du système des remorques rail-route.

La remorque rail-route est un véhicule routier, du type semi-remorque, capable de circuler normalement sur route attelé à un tracteur automobile, mais conçu spécialement pour pouvoir, en quelques minutes, être chargé sur wagon dans des conditions qui permettent d'assurer en pleine sécurité son transport par chemin de fer.

La remorque rail-route est un engin plus



Fig. 110. TROIS MODÈLES DE GRANDS CADRES S. N. C. F. POUR LE TRANSPORT PORTE A PORTE

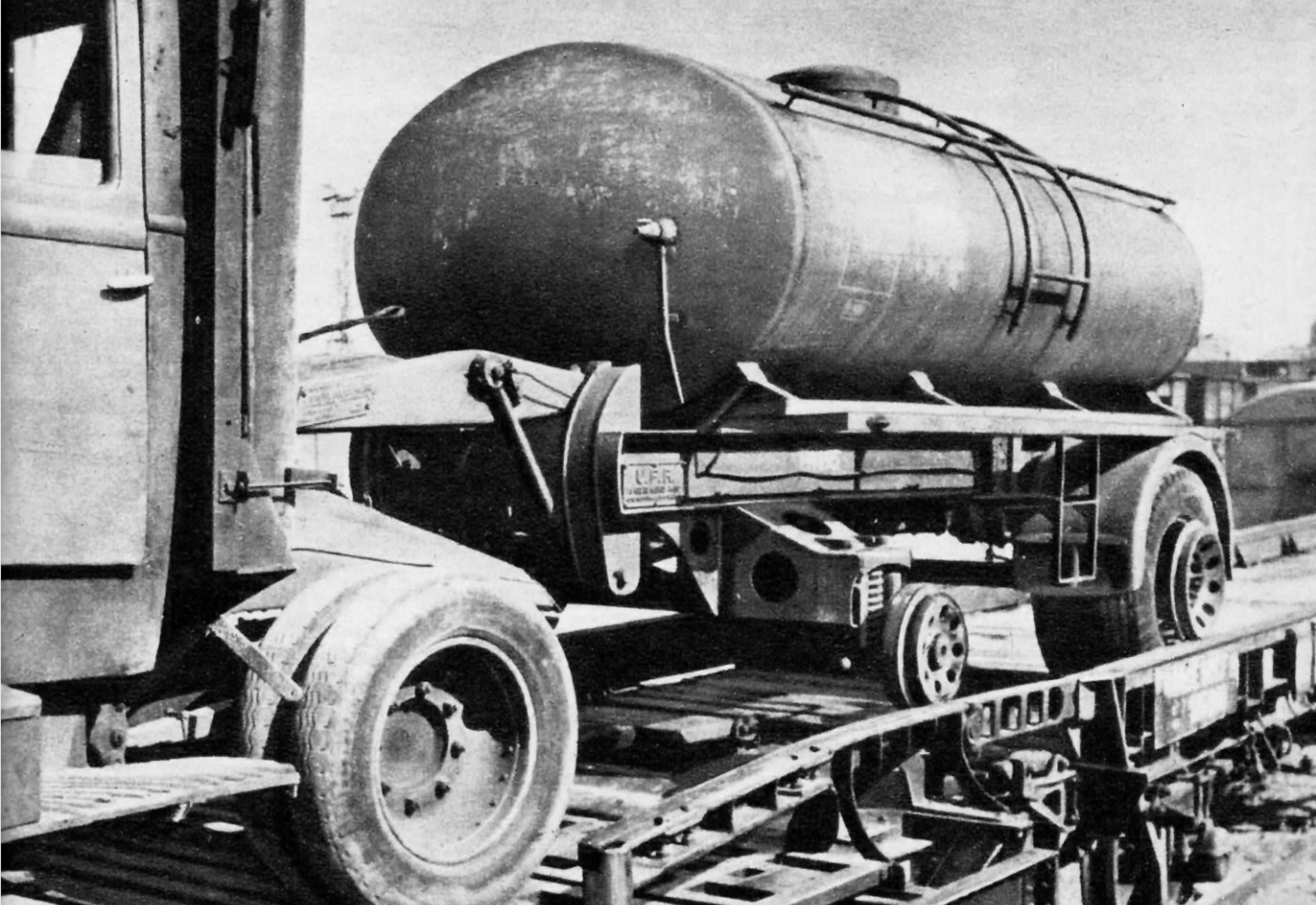


Fig. 111. REMORQUE-CITERNE RAIL-ROUTE U. F. R. Pour le chargement et le déchargement, elle roule sur les rails du wagon porteur au moyen des jantes prévues sur les roues porteuses et des petites roues auxiliaires. Au premier plan, des plateaux montés sur galets permettent le déplacement latéral des roues du véhicule s'engageant entre les rails portés par le wagon sans dommage pour les pneus.

complet et plus fini que le cadre, mais également plus coûteux qui, pour être rentable, doit être exploité dans des conditions analogues à celles des camions gros porteurs. Il faut que la remorque « tourne » rapidement suivant un programme établi à l'avance, dans lequel les transports successifs doivent être combinés de manière à éliminer, dans la mesure du possible, les parcours à vide ou à faible charge.

Mais l'exploitation de la remorque rail-route diffère de celle du camion sur un point important : sur les parcours à grande distance, la remorque est transportée par chemin de fer seul, sans aucun engin moteur. Il faut donc, avec les remorques rail-route, disposer, dans chaque localité expéditrice ou destinataire, de tracteurs pour l'exécution des camionnages terminaux, et l'exploitation de ces tracteurs doit être organisée de telle façon qu'ils soient disponibles au moment où l'on a besoin d'eux pour les remorques, tout en étant correctement utilisés à d'autres travaux le reste du temps.

Une telle organisation sort du service normal du chemin de fer. Elle nécessite, soit l'intervention d'un transporteur de métier capable de s'attacher la clientèle voulue pour assurer l'exploitation rationnelle des remorques sur quelques relations spécialement équ-

pees en tracteurs, soit celle d'un industriel ou d'un commerçant désireux d'organiser des transports réguliers entre ses établissements.

Contrairement à ce qui se passe pour les cadres, il n'existe pas de remorques rail-route appartenant en propre à la S. N. C. F., et toutes les remorques en circulation sont la propriété de particuliers. Cependant, la S. N. C. F. établit les programmes de construction de remorques et passe les marchés pour leur réalisation. Ce n'est d'ailleurs qu'une position provisoire, prise dans l'unique but de mener parallèlement la construction des remorques et celle des wagons adaptés à leur transport, car la S. N. C. F. laisse aux utilisateurs éventuels l'entière liberté de choisir le type de leurs remorques et elle leur revend le matériel dès livraison par le constructeur, et au prix coûtant.

Pour l'exploitation des remorques, le chemin de fer se contente de fournir les wagons et les installations de chargement dans les gares. Mais il joue un rôle important par la qualité des acheminements qu'il donne aux transports en remorque : ces transports sont tous assurés en régime accéléré.

Comme pour les cadres, les conditions de transport sont avantageuses en ce sens que la taxe ne porte que sur le poids net de la marchandise.

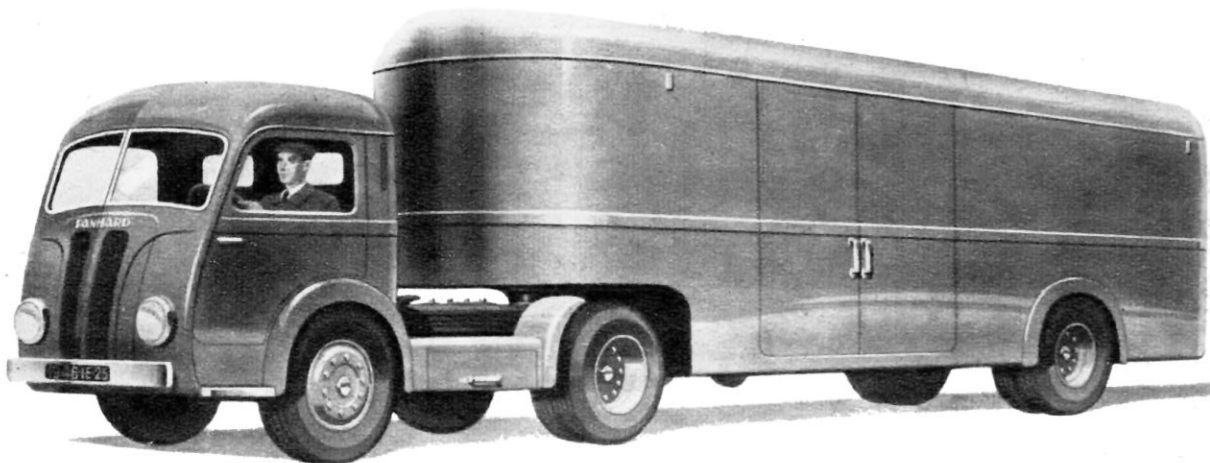


FIG. 112. TRACTEUR PANHARD MOTEUR A HUILE LOURDE. PUISSANCE 85 CH AU FREIN, BOITE A CINQ VITESSES, POUR LE SERVICE DE LIVRAISON DES MARCHANDISES

Les premiers essais d'exploitation commerciale de remorques rail-route datent de quelques années, mais les résultats acquis des maintenant sont des plus encourageants, notamment pour le transport de liquides, de verrerie, de tissus, de chaussures et de papier.

Aussi envisage-t-on d'augmenter l'effectif des remorques en exploitation dans la mesure que permettront les possibilités de la construction métallurgique française.

LE SYSTÈME U. F. R.

Le système U. F. R. comporte, d'une part, un aménagement des remorques et des wagons affectés à leur transport et, d'autre part, un appareillage spécial destiné à permettre une exécution rapide et sûre des opérations de chargement et de déchargement dans les gares.

La remorque est une semi-remorque à châssis surbaissé ; elle est munie de roues jumelées à pneumatiques, dotées de jantes auxiliaires à boudins, et comporte à l'avant deux roues auxiliaires également à boudins. La remorque peut être carrossée, soit en fourgon ordinaire, soit en fourgon à toit coulissant, soit enfin en citerne. On envisage même des fourgons citernes combinés, où la citerne est constituée par deux réservoirs latéraux.

Le wagon porteur est muni de deux rails longitudinaux, placés à un écartement égal à celui des roues à boudins de la remorque. La hauteur de ces rails est telle que les pneumatiques des roues porteuses ne touchent plus terre lorsque la remorque roule sur ses roues à boudins. La stabilité de la remorque en cours de transport est obtenue par le calage des roues à boudins sur les rails au moyen de cales métalliques dont le profil a été calculé pour amortir les chocs.

L'appareil de chargement comporte :

- d'une part, deux guides d'entrée et deux rampes, destinées à centrer les remorques dans l'axe du wagon et à assurer l'accès

des roues et jantes à boudins sur les rails du wagon porteur ;

- d'autre part, deux plateaux mobiles montés sur galets, qui facilitent le centrage de la remorque en évitant un ripage brutal sur le sol qui entraînerait une usure exagérée des pneus. Cet appareil peut être, soit disposé sur des wagons spéciaux, soit encastré dans les quais des gares.

Les manœuvres de chargement et de déchargement peuvent être exécutées très aisément, en quelques minutes, par le seul conducteur du tracteur, la remorque roulant sur des rails du wagon et le tracteur entre ces rails, sur le plancher du wagon.

LE SYSTÈME SEREM-CODER

Ce système consiste en une semi-remorque dont les roues peuvent être éclipsées de telle façon que la caisse de la remorque vienne reposer directement sur le plancher du wagon.

Le problème du calage se trouve ainsi résolu ; la hauteur de la caisse du véhicule peut être augmentée ; enfin, le transport par chemin de fer peut être fait sur des wagons qui, malgré certains aménagements, restent entièrement utilisables pour d'autres transports. Les roues porteuses de la remorque, munies de pneumatiques, sont montées sur des verins hydrauliques, ainsi que les deux petites roues auxiliaires placées à l'avant du véhicule. Toutes ces roues peuvent être éclipsées très rapidement sous le simple effet du poids de la remorque ; la manœuvre inverse est plus longue, elle est commandée par leviers.

Pour faciliter le chargement, les roues porteuses, normalement verrouillées dans la position parallèle à l'axe du véhicule, sont, après déverrouillage, susceptibles d'un braquage maximum de 25° sous l'action d'une manivelle placée à l'avant de la remorque. La manœuvre de chargement se fait en marche arrière par-dessus les tampons du wagon, en utilisant des ponts mobiles.

LES GARES DE TRIAGE

L'exploitation des grandes gares de triage offre un exemple remarquable des difficultés énormes qu'engendre l'ampleur même de trafic pour l'exécution d'une opération à première vue très simple, et des ressources qu'apporte l'automatisme électromécanique pour leur solution. Une très grande gare de triage reçoit quotidiennement près de 3000 wagons appelés à des destinations diverses, qu'il faut débrancher un à un, puis regrouper pour constituer de nouveaux trains. Les wagons, lancés du haut de la « butte » à 25 km/h, sont répartis, par des successions d'aiguillages commandés électriquement à distance, entre les longues voies parallèles du triage, freinés par les freins de voie, et enfin méthodiquement arrêtés et attelés pour former les nouveaux convois. Infaillible, rapide et infatigable, un « robot » électromécanique assure les verrouillages et les temporisations indispensables à la sécurité des manœuvres. L'automatisme, qui accroît considérablement le rendement de l'initiative humaine, prend une place de plus en plus grande dans de multiples domaines de la technique ferroviaire où il augmente à la fois la rapidité d'exécution, la sécurité et l'économie d'exploitation.

LES wagons de marchandises, du moins quand ils effectuent un long parcours, ne sont jamais conduits par un seul train de leur gare de départ à leur gare d'arrivée. Ils prennent habituellement au départ un train omnibus de marchandises qui les conduit à une grande gare voisine, appelée — nous verrons à l'instant pourquoi — « gare de triage ». Ils sont ensuite acheminés de cette gare par un train direct de marchandises sur une autre gare de triage, aussi voisine que possible de leur gare de destination.

Et c'est enfin par un train omnibus de marchandises qu'ils achevent leur voyage.

On voit maintenant très bien le rôle de la gare de triage. Suivons, par exemple, le premier train omnibus de marchandises dont nous venons de parler, à son arrivée dans sa gare terminus. Il est reçu sur une des voies d'un « faisceau de réception » ; puis — c'est en cela que consiste le « triage » de ce train — ses wagons vont être répartis sur les diverses voies du « faisceau de triage » qui constitue l'organe essentiel de la gare de triage. Cha-

Fig. 113. TÊTE D'UN FAISCEAU DE TRIAGE DE TRENTE-DEUX VOIES AVEC DEUX VOIES DE BASE

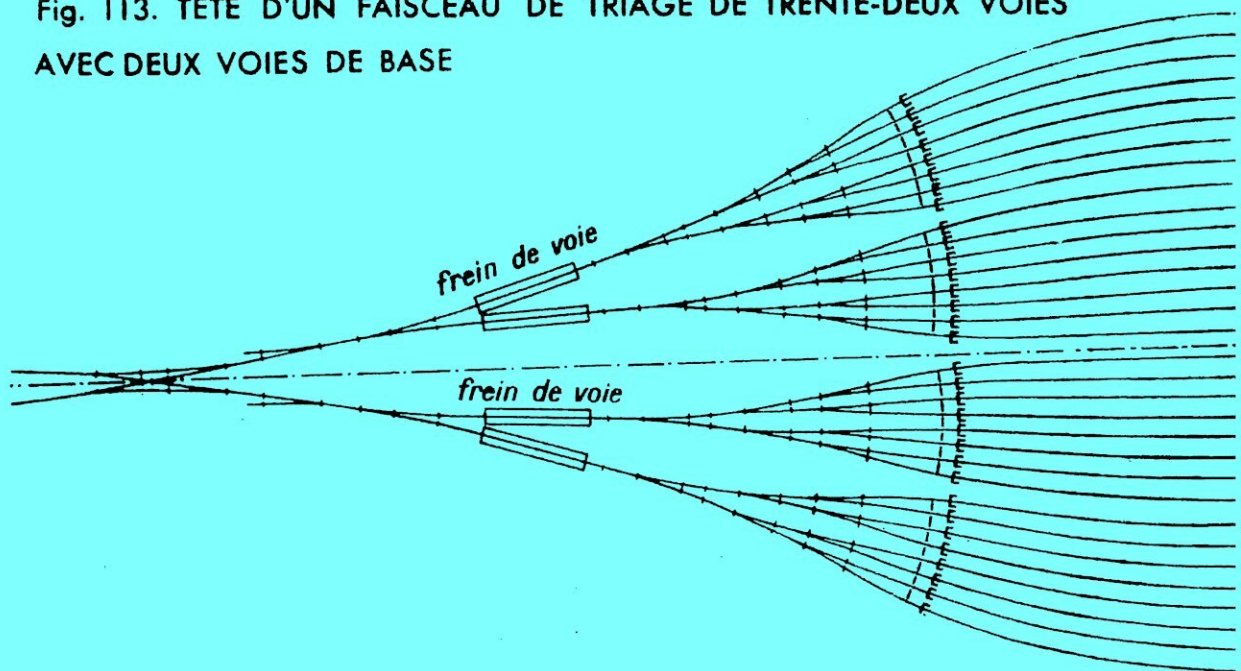
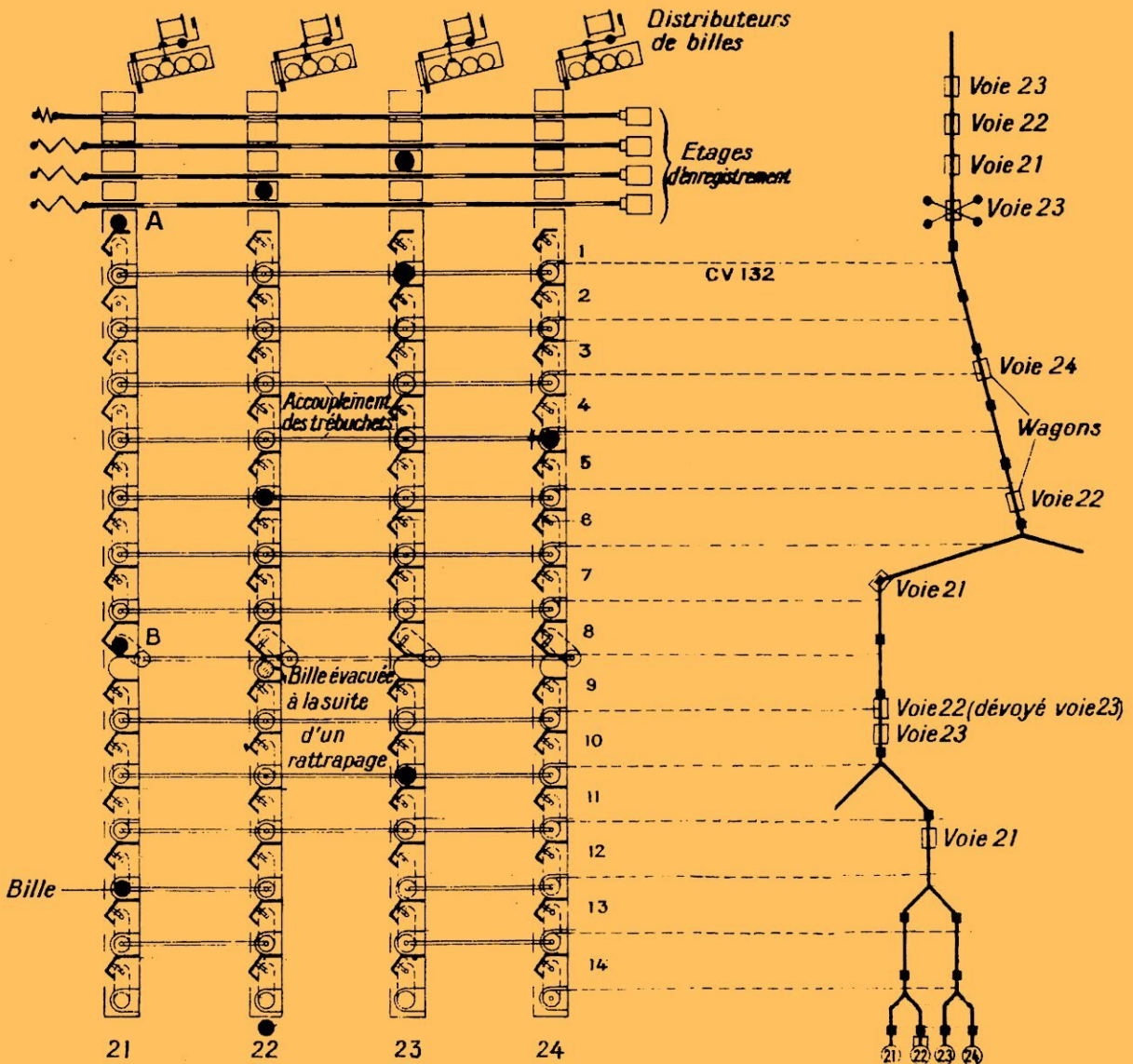


Fig. 114. SCHÉMA DU COMBINEUR A BILLES POUR QUATRE VOIES



Chaque bille représente un wagon. Elle est lâchée dans le tube correspondant à sa destination. Après être demeurée dans les étages d'enregistrement jusqu'à ce que la « butte » soit libérée par le wagon précédent, elle progresse dans le tube en suivant le mouvement du wagon et en commandant au fur et à mesure la manœuvre des aiguilles successives. Chaque rectangle blanc du diagramme de droite représente un wagon.

cune des voies de ce faisceau de triage (il y en a en général une trentaine) est affectée aux wagons à destination d'un triage déterminé, si bien que, après triage d'un certain nombre de trains, il devient extrêmement simple de former un train direct de marchandises pour une destination déterminée.

Cette opération de triage se fait elle-même très simplement par gravité, de la façon suivante. Le train à trier, dont les attelages ont été préalablement dételés, est refoulé lentement par une machine de manœuvre, en pas-

sant sur une « butte ». Dès qu'un wagon arrive au sommet de cette butte et qu'il s'engage dans la partie de voie qui descend, il prend, sous l'action de la pesanteur, une vitesse plus grande que celle de la machine de manœuvre qui le poussait jusque là ; les différents wagons s'espacent donc les uns des autres, et il devient possible, après le passage de l'un d'entre eux, de manœuvrer les aiguilles convenables pour diriger le wagon suivant sur la voie affectée à sa destination.

L'essentiel est de refouler plus vite les

trains pour que le triage d'un train déterminé dure moins longtemps. Il est donc nécessaire que les wagons descendent la butte plus rapidement de façon à s'espacer suffisamment pour qu'il soit possible de manœuvrer les aiguilles entre leurs passages successifs. Cela a conduit, dans les triages modernes, à utiliser des buttes plus élevées, et à entraîner les aiguilles par des moteurs électriques à *manœuvre très rapide* n'atteignant pas une seconde. Des dispositions ont été prises pour éviter sous les wagons toute manœuvre intempestive des aiguilles qui entraînerait un déraillement. On utilise dans ce but des « circuits de voie » analogues à ceux qu'on trouve sur les voies principales (voir page 90).

LE COMBINEUR A BILLES

On est allé plus loin, et au lieu de confier la manœuvre des aiguilles (quand le circuit de voie le permet) à un aiguilleur, on l'effectue par l'intermédiaire d'un appareil automatique des plus curieux, dans les conditions suivantes. Un agent, appelé « chef de butte », est installé dans une cabine vitrée au sommet de la butte, d'où il surveille et commande la manœuvre. Au passage de chaque wagon devant lui, il appuie sur un bouton-poussoir portant le numéro de la voie sur laquelle doit être dirigé le wagon (ou la rame de quelques wagons consécutifs ayant la même destination) ; et c'est ce geste unique qui entraînera *en temps utile* la manœuvre des différentes aiguilles nécessaires pour diriger les wagons sur la voie convenable. Le meuble de com-

mande, appelé « combineur à billes » comporte autant de tubes verticaux qu'il y a de voies dans le faisceau de triage. L'actionnement par le chef de butte du bouton poussoir portant par exemple le n° 21 va produire dans la partie supérieure du combineur un déclenchement qui introduit dans le tube n° 21 une bille métallique. Cette bille ne tombe pas librement dans le tube, elle est arrêtée par un trébuchet à chacun des niveaux correspondant aux diverses sections de voie isolée existant sur le trajet conduisant à la voie 21. Chaque trébuchet, commandé électriquement, s'efface automatiquement et laisse tomber la bille au niveau suivant à mesure que le wagon chemine sur l'itinéraire. C'est donc le wagon lui-même qui fait descendre la bille dans le tube ; mais c'est la bille qui, en descendant, actionne au passage des contacts qui commandent aussi, exactement au moment voulu, le moteur des différentes aiguilles de l'itinéraire.

Une difficulté apparaît ici. Si, pour une raison quelconque, deux wagons arrivaient à se suivre sur le terrain à si faible distance que l'intervention des circuits de voie rende impossible de manœuvrer en temps utile une des aiguilles (1), le second de ces wagons serait évidemment « dévoyé », c'est-à-dire dirigé vers une voie où il n'aurait pas dû aller.

Un tel incident risque évidemment de se

(1) En ce qui concerne l'aiguille de tête, où l'espacement entre deux coupes peut être très faible au départ, on emploie un rayon lumineux agissant sur une cellule photoélectrique pour matérialiser l'arrivée du wagon en un point précis situé en deçà de la première aiguille à commander.

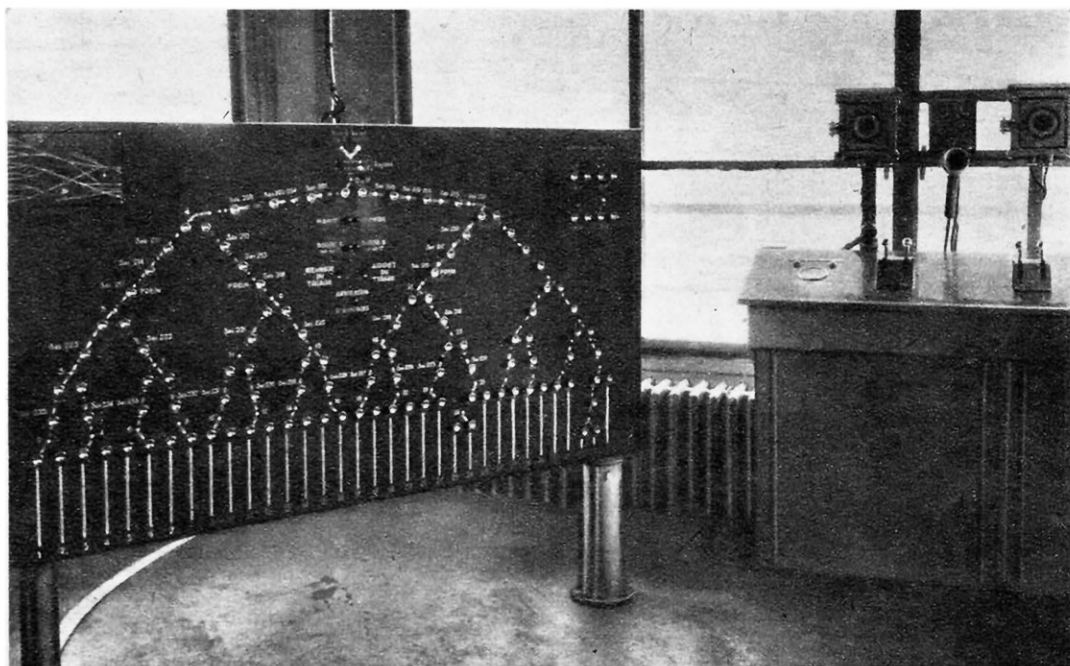


Fig. 115. INTÉRIEUR D'UN POSTE DE DÉBRANCHEMENT. A gauche, la table à boutons poussoirs pour la commande d'urgence des aiguilles ; à droite, le pupitre de commande des freins.

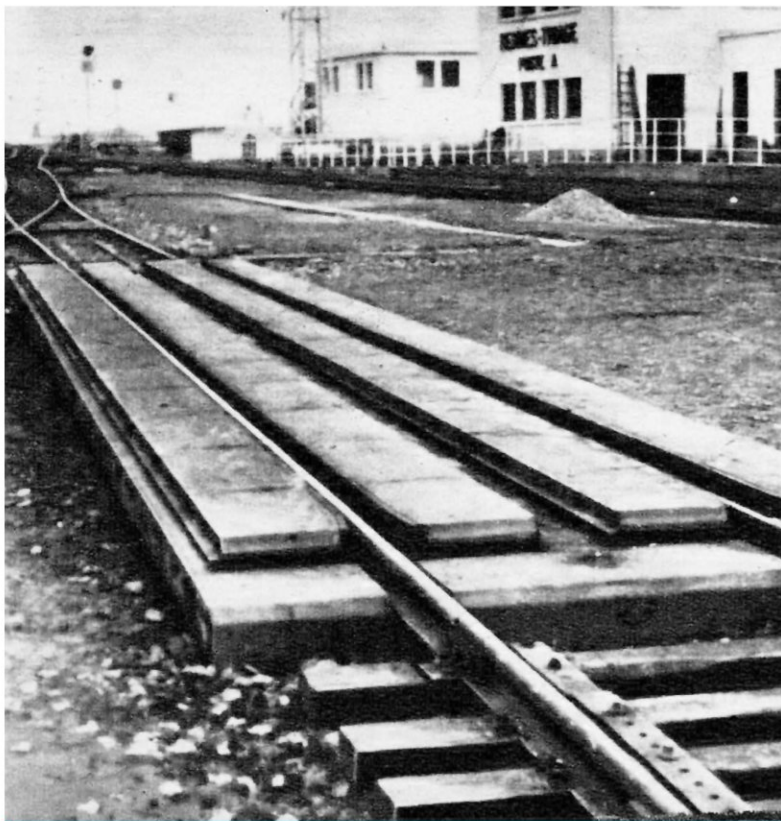


Fig. 116. FREIN DE VOIE SAXBY

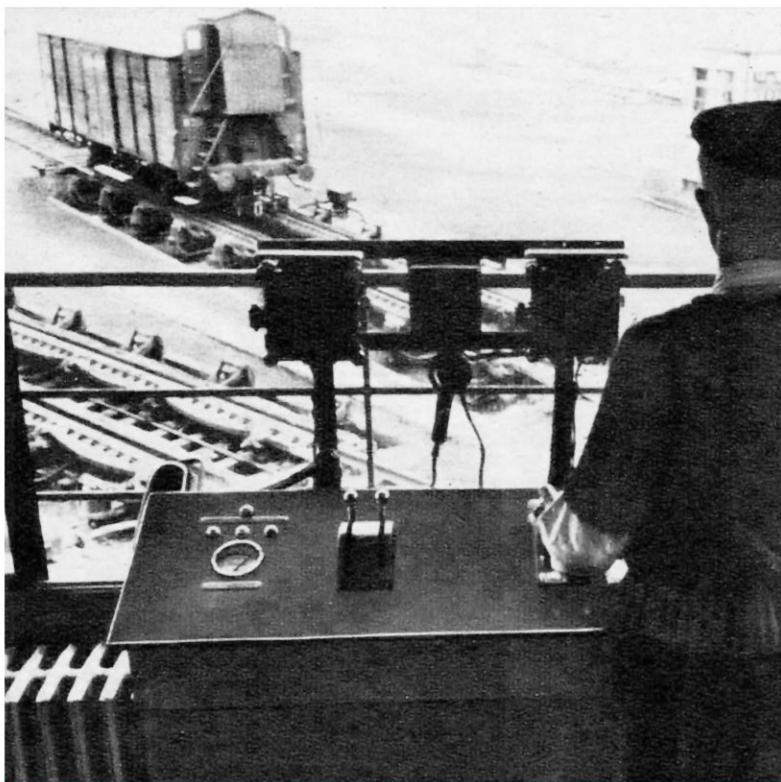


Fig. 117. FREIN DE VOIE WESTINGHOUSE

produire quand un wagon qui descend de la butte est suivi par un autre qui descend notablement plus vite. L'expérience montre que les différents wagons, compte tenu de leur plus ou moins bon état d'entretien et de graissage, compte tenu aussi de leur hauteur plus ou moins grande (entraînant une action de vent différente de l'un à l'autre), prennent à la descente de la butte des vitesses nettement différentes. On évite les inconvénients de cette situation en donnant à la butte une hauteur telle que les wagons mauvais rouleurs prennent une vitesse convenable, et en mettant à la disposition d'un agent spécialement chargé de ce service, les « freins » lui permettant de ralentir, quand cela est nécessaire, les wagons bons rouleurs.

L'efficacité du freinage dépend évidemment, dans une très large mesure, de la vigilance et du doigté du freineur. Aussi a-t-on cherché à se libérer de l'intervention de cet agent et à réaliser un freinage automatique variable suivant la vitesse à laquelle se présente le wagon, l'état du temps, l'état d'occupation des voies, etc. De telles installations ont déjà été réalisées sur la région Est, et d'autres études sont actuellement en cours. Si elles aboutissent favorablement, nous verrons, sans intervention d'un freineur, les wagons se rendre sur leur voie de destination et rejoindre sans choc notable le dernier wagon précédemment acheminé sur la même voie.

LIAISONS AVEC LES AGENTS DES VOIES

À l'arrivée des trains à une gare de triage, leur composition est relevée (poids, numéro, destination des wagons) ; leur visite est passée afin de déceler les avaries subies par les véhicules en cours de route, d'effectuer immédiatement certaines réparations urgentes et faciles, ou, enfin, de « différer » des véhicules et de les aiguiller sur un atelier de réparation, dans le cas



Fig. 118. AGENT équipé du radiotéléphone portable.

où leur état ne leur permet pas de poursuivre leur route.

Ces opérations sont effectuées par des agents circulant à pied dans le triage et s'éloignant jusqu'à 3 ou 4 km du poste de commandement.

La transmission rapide à ce poste des renseignements recueillis par ces agents, ainsi que celle des ordres ou instructions qu'il peut avoir à leur donner constitue un facteur important du « rendement » du triage. Elle est assurée généralement, soit par des liaisons

telephoniques entre le poste de commandement et certains points particuliers du triage (abris des agents de manœuvre, postes d'aiguillages, etc.), soit à l'aide d'agents se déplaçant dans le triage. Il en résulte une consommation importante de main-d'œuvre.

La radiophonie, qui permet d'assurer une liaison constante entre un point fixe et un ou plusieurs points mobiles (ou entre points mobiles), apporte à ce problème une solution très intéressante.

L'établissement, au poste de commandement, d'un poste émetteur-récepteur ne soulève pas de difficultés. Celles-ci résident uniquement dans la réalisation d'un poste émetteur-récepteur portable à la fois léger (de l'ordre de 1 kg), compte tenu du poids des outils ou des agrès que les agents considérés doivent transporter, d'un encombrement réduit et d'une forme propre à éviter aux agents toute gêne dans l'exécution de leur service, lequel peut comporter le passage entre les attelages des wagons, l'ascension aux vigies, etc.

Le matériel employé consiste en un ensemble émetteur-récepteur permettant l'établissement de liaisons bilatérales.

Son poids total est légèrement supérieur à 1 kg.

Les deux parties du poste, à savoir, le bloc émetteur-récepteur et le bloc d'alimentation sont fixées sur un baudrier. Le bloc émetteur, placé sur la poitrine de l'agent, comporte, sur une face latérale, le bouton de mise en marche qui sert également au réglage de la puissance sonore du haut-parleur et, sur sa face antérieure, un bouton sur lequel l'agent appuie pour parler.

LIAISONS AVEC LE MÉCANICIEN

A la butte de gravité, se trouve, comme indiqué plus haut, un poste où un agent dirige l'envoi des rames vers la butte et donne au mécanicien de la « machine de pousse », par l'intermédiaire de signaux lumineux à trois positions, des indications sur la vitesse à observer (vite ou lentement), où, le cas échéant, l'ordre de s'arrêter. Le changement d'indication des signaux est, en outre, signalé acoustiquement au mécanicien par des « trompes » ou des « klaxons ».

Les quelques indications fournies par ces signaux sont parfois insuffisantes, notamment en cas d'incident, et il y a le plus grand intérêt à assurer, entre l'agent du poste de butte et le mécanicien, une liaison téléphonique constante.

La radiotéléphonie fournit de nouveau la solution de ce problème. Une liaison de ce genre a été réalisée en gare de Trappes et fonctionne dans de bonnes conditions depuis plusieurs mois.

L'équipement radiophonique proprement dit est de dimensions très réduites ; il n'apporte aucune gêne au mécanicien et au chauffeur dans l'exécution de leur service et est à l'abri des poussières, des projections d'eau ou de vapeur.

L'équipement d'autres triages est envisagé avec un appareillage permettant l'établissement de liaisons bilatérales.



Fig. 119. L'ANTENNE DU RÉCEPTEUR installée sur le toit de la cabine de la locomotive

LES VOITURES A VOYAGEURS

L'évolution de la voiture à voyageurs est orientée par trois ordres de considérations, impliquant des conditions souvent contradictoires. D'une part et avant tout la sécurité, d'autre part l'économie des frais de traction qui impose l'allègement enfin le confort. D'ores et déjà le bois a pratiquement disparu de la construction du matériel moderne, remplacé par l'acier pour les pièces maîtresses, les alliages d'aluminium, le caoutchouc, les matières plastiques partout où ils sont applicables. Suspension sans cesse améliorée, insonorisation plus poussée, éclairage et chauffage plus rationnels, tels que nous les connaissons aujourd'hui ou allons les connaître bientôt dès que sortira le matériel nouveau d'après-guerre, sont le résultat de patientes recherches en vue de fournir au voyageur le maximum de confort économiquement réalisable. Ce sont des raisons économiques qui font que les Américains s'affirment toujours nos maîtres en matière de confort et il n'est pas hors de propos de noter que le conditionnement intégral de l'air, avant de gagner les salles de cinéma, est né sur les voitures à voyageurs américaines. Mais il n'est pas de problèmes définitivement résolus : sur le rail, l'augmentation constante des vitesses vient toujours bouleverser leurs données. Ne parle-t-on pas en France, de 160 km/h pour un avenir proche, étape sans doute bientôt franchie ? Pour limiter la puissance des engins moteurs, il faudra alléger encore le matériel ; mais il faudra aussi le rendre plus résistant puisque l'énergie mise en jeu lors des collisions croît comme le carré de la vitesse. De nouveau surgit l'éternelle contradiction entre légèreté et résistance mécanique. On l'a résolue jusqu'à présent par le perfectionnement incessant des matériaux et des techniques classiques, mais bientôt sans doute viendra le jour où il faudra s'écarter résolument des sentiers battus et faire appel à des matériaux nouveaux que nous laisse entrevoir la recherche scientifique.

C'EST dans une mine anglaise, à la fin du XVIII^e siècle, que le chemin de fer est né, le jour où l'on s'est aperçu qu'en faisant rouler les berlines sur des rails (qui étaient d'ailleurs en bois), le même cheval pouvait, sans plus de fatigue, traîner des charges dix fois plus grandes. Ce procédé fut, tout d'abord, réservé exclusivement aux transports miniers et ce n'est que vers 1830 que l'on vit apparaître, en même temps que les premières locomotives à vapeur, les premiers transports de voyageurs.

Il fallut attendre 1840 pour voir naître la voiture spécifiquement ferroviaire, constituée par une caisse posée sur un châssis suspendu par ressorts et muni d'organes de choc et de traction. Caisse et châssis sont alors en bois.

Vitesses et charges remorquées n'ont cessé de croître, exigeant une solidité toujours améliorée des caisses. Dans les années qui suivent, nous assistons à une retraite progressive, mais prudente, du bois devant l'acier, tout au moins dans les œuvres vives du véhicule, ceci au bénéfice de la sécurité, mais au détriment de la tare.

VOITURES EN ACIER

La première réalisation française de voitures métalliques date de 1910 : il s'agit des

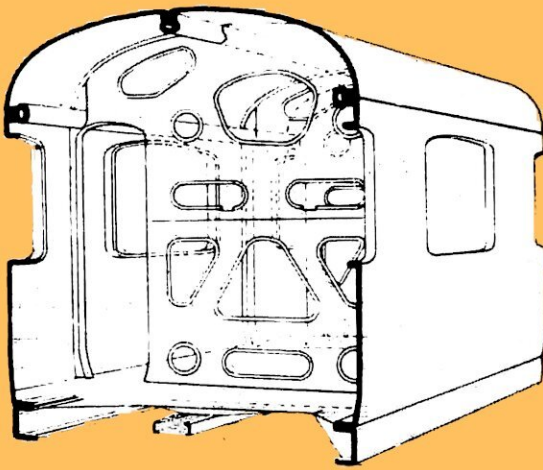
automotrices de la ligne électrifiée des Invalides entre Paris et Versailles, inspirées de la construction américaine. Elles pesaient 75 t. Mais ce n'est qu'à partir de 1920 que l'on se lancera résolument dans la voie de la construction des voitures « tout acier ». Le matériel à voyageurs est à un tournant de son évolution.

Nous sommes à l'époque du profilé laminé et du rivet qui s'imposent en matière de charpente métallique. La Tour Eiffel, le viaduc de Garabit, n'en sont-ils pas des exemples frappants ? La construction des nouvelles voitures métalliques étudiées par l'Office Central d'Etudes de Matériel de Chemins de fer (O. C. E. M.), à faces travaillantes, rappellera celle des ponts métalliques.

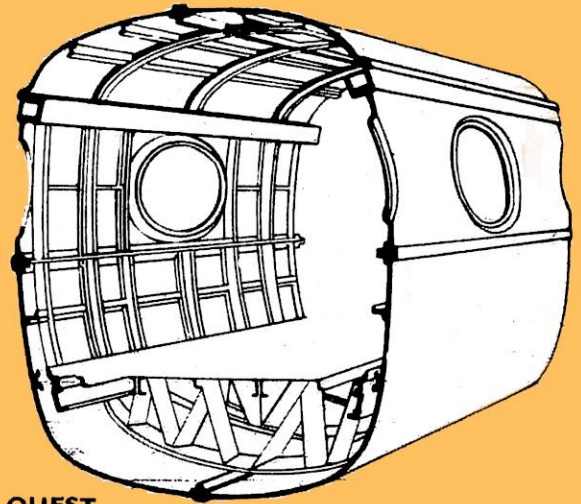
A cette conception devenue classique, le réseau du Nord va en opposer une autre plus révolutionnaire. La caisse, fortement galbée, va être traitée à la manière d'une véritable conduite forcée : les faces et la toiture sont constituées de panneaux de tôle emboutie dont les bords pliés sont pincés par une tôle en forme de rail, rivés intérieurement et soudés à l'extérieur. Les bouts sont armés d'un bloc d'acier moulé anti-choc.

La soudure autogène fait alors son apparition dans l'industrie. Elle détrône petit à petit le rivet dans la construction métallique.

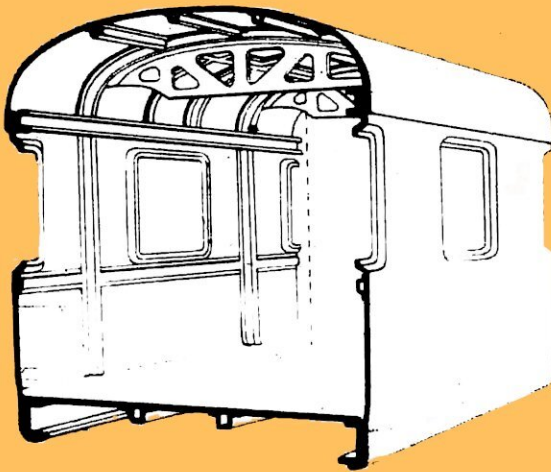
Fig. 120. SCHÉMAS DE PRINCIPE DE DIVERS TYPES DE POUTRES UTILISÉS EN FRANCE DANS LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE DES CAISSES



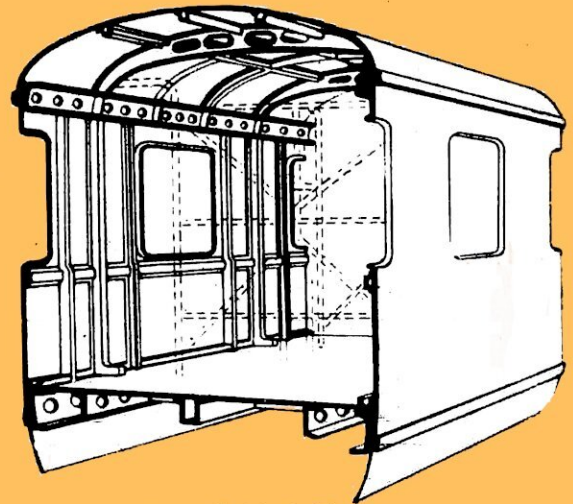
Type NORD



Type OUEST



Type EST



Type S. N. C. F.

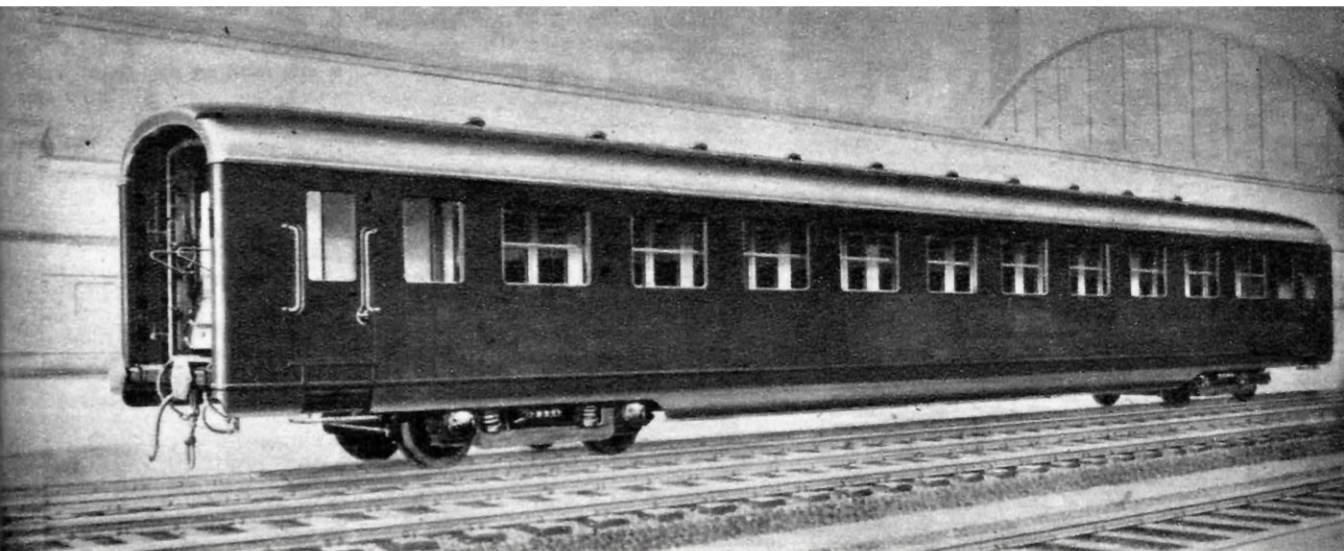


Fig. 121. MAQUETTE D'UNE NOUVELLE VOITURE DE LA S. N. C. F. A ALLÈGEMENT POUSSÉ (32 T)

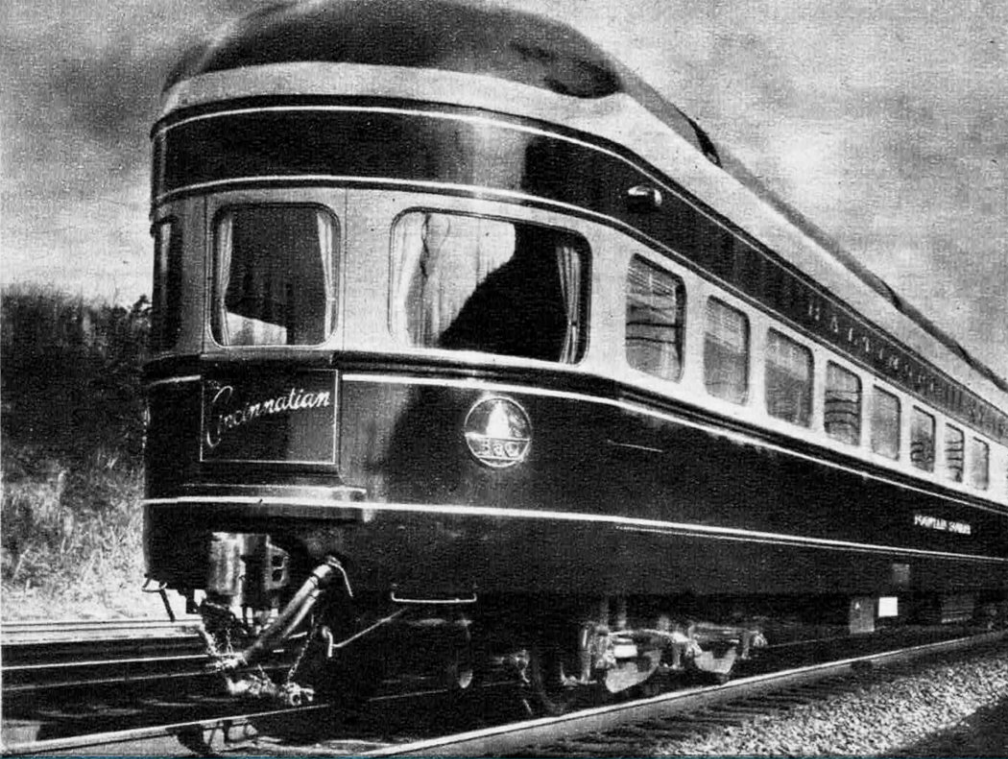


Fig. 122. LA PLATE-FORME D'OBSERVATION à l'arrière du « Cincinnati », grand rapide reliant Baltimore-Washington-Cincinnati.



Fig. 123. LE SALON forme d'observation

Des machines puissantes, plieuses, emboutisseuses, permettent de donner à des tôles planes d'acier, même épaisses, les formes les plus compliquées. Les profilés et les pièces moulées perdent aussi du terrain.

Profitant de ces possibilités nouvelles, le réseau de l'Est va, dès 1927, construire des voitures conçues suivant une nouvelle formule en manière de poutre tubulaire. Les tôles minces des faces, pliées et embouties, renforcées par des raidisseurs de formes appropriées pour éviter les flambements locaux, sont assemblées par soudure à un platelage général travaillant recouvrant le châssis. Le tube ainsi formé est armé intérieurement au moyen d'anneaux emboutis. Les caissons d'extrémités en tôle emboutie rigidement cloisonnés permettent un ancrage sérieux des dossiers, parfaitement adapté aux efforts énormes de compression résultant des collisions.

Ici commence une nouvelle phase dans l'évolution du matériel. Deux objectifs principaux passent au premier plan : économiser le plus possible les frais de traction et offrir aux voyageurs le maximum de sécurité et de confort.

L'ALLÈGEMENT

Pour diminuer les dépenses de traction, on dispose de deux moyens : l'aérodynamisme et l'allègement du matériel.

Dans le cas particulier des voitures, l'aérodynamisme n'exige pas de longues

recherches. Pour diminuer la résistance à l'avancement, on réduit au minimum les saillies sur les faces ; les portes d'accès sont reportées dans le plan de ces dernières. Le dessous du châssis reçoit un carénage qui enrobe les accessoires de freinage, d'éclairage et de chauffage.

L'allègement peut être obtenu par un choix judicieux des matériaux mis en œuvre, et par une utilisation plus rationnelle de ces derniers.

La métallurgie nous offre maintenant une grande variété de nuances d'acier : aciers demi-durs, aciers inoxydables, possédant des caractéristiques mécaniques intéressantes. Elle nous présente également une nouvelle classe de matériaux nouveaux : les alliages légers à base d'aluminium. Leur résistance est voisine de celle de l'acier, mais, vis-à-vis de ce dernier, ils se trouvent handicapés par un module d'élasticité environ trois fois plus petit, c'est-à-dire que les déformations des pièces seront environ trois fois plus grandes. On est donc conduit à donner à ces pièces des formes à grand moment d'inertie, souvent incompatibles avec les exigences du gabarit d'une part et, d'autre part, avec le désir de réserver aux voyageurs le plus grand espace intérieur possible. Par ailleurs, la soudure de ces alliages soulève encore quelques difficultés.

À ces alliages légers on réserve la plus large part de l'aménagement intérieur qui ne joue pas de rôle pour la sécurité ; on conservera l'acier pour les œuvres vives de



ARRIÈRE du « Cincinnati » avec sa plate-
: fenêtres antibuée, éclairage fluorescent.

Fig. 124. SALON ET RESTAURANT : air conditionné,
cuisine en acier inoxydable, musique par haut-parleurs.

la caisse. On n'ira pas encore, du moins en France, sauf exception signalée page 62, jusqu'à l'acier inoxydable dont certaines compagnies américaines font cependant un large emploi, et dont le type le plus caractéristique est l'acier au nickel-chrome, appelé « 18-8 ».

Pour les caisses de voitures classiques, l'acier mi-dur sera donc, en définitive, retenu. Il permettra, à résistance égale, une réduction notable de poids. Naturellement, bien que l'allègement de la charpente métallique résistante occupe une place importante dans l'allègement global du véhicule, des réductions de poids sont également recherchées dans les charpentes de bogies et leurs organes de roulement ; elles sont grandement facilitées d'ailleurs par la diminution du poids de la caisse. Le châssis de bogie, autrefois en acier moulé, sera constitué en tôles pliées assemblées par soudure ; les essieux seront forés. Ainsi modifié, le bogie pèsera 800 kg de moins que le modèle normal.

LES NOUVELLES VOITURES FRANÇAISES

C'est sur ces bases que les bureaux d'étude ont travaillé, de 1939 à 1945, alors que la construction était prati-



Fig. 125. BUFFET-SALLE DE JEU dans la voiture de tête
de « Cincinnati » qui roule vers Washington à 160 km h.

quement arrêtée. A la libération du territoire, les collections de plans de nouvelles voitures à voyageurs sont prêtes, les marchés sont préparés : les commandes dites du « programme de démarrage » vont entrer dans une phase active.

Pour les trains de grandes lignes, la S. N. C. F. fait construire des voitures mixtes de 1^{re} et 2^e classes (type A 2 1/2 B6), des voitures de 3^e classe (type C 10) et des voitures couchettes de 2^e classe (type B 9c9). La tare de ces voitures ne sera que de 32 t. Des voitures destinées à desservir les banlieues de certains grands centres et qui ne pèseront que 28 t., sont également commandées : caisse tubulaire monocoque, obtenue par l'assemblage intime de tôles planes pliées ou embouties, confectionnées elles-mêmes à partir d'aciers au carbone faiblement alliés et donc pas très onéreux, de 60 à 65 kg/mm² de résistance à la rupture. On utilise des tôles de faible épaisseur, 1,5 à 2,5 mm pour la plus grande partie des éléments, et de 4 ou 5 mm pour quelques éléments peu nombreux (longerons, par exemple) où l'on cherche à obtenir une résistance particulière, en ayant soin, bien entendu, de développer ces tôles, de les raidir, de les réticuler, et même de les caissonner en certains points de telle façon que leur ensemble conserve une rigidité parfaite.

Pour lutter contre le bruit et atténuer les échanges thermiques avec l'extérieur, les planchers isolants et anti-vibrants en peuplier sont séparés du platelage par une lame d'air et portés sur tasseaux de bois avec interposition de feutre asphalté ; les parois des compartiments sont doublées à distance en contreplaqué ou autre matériau analogue monté sur tasseaux avec isolant en molleton ou feutre.

Dans le domaine du chauffage, une nouvelle étape vient d'être franchie, puisque ces voitures seront munies d'un chauffage par air pulsé avec régulation automatique de la température des compartiments.

Les nouvelles voitures de 2^e classe à couchettes comporteront des compartiments de chacun 8 voyageurs de jour et 6 voyageurs de nuit, desservis par un couloir latéral. Outre des toilettes avec lavabos, il a été prévu un local avec lavabo seul, ce qui diminuera les attentes aux fins de parcours. Les dispositifs de couchage sont constitués, dans chaque compartiment, par deux blocs de trois couchettes superposées, adossés chacun aux cloisons transversales.

Etant donné, d'une part, la pénurie actuelle de matières premières de toutes sortes (aciers, aluminium, bois, textiles) nécessaires à la construction de ces voitures, d'autre part, les difficultés de remplacement des machines-outils détruites par faits de guerre ou désuètes, leur mise en service sur nos lignes ne doit guère avoir lieu avant le début de l'année 1948.

Un matériel remorqué d'un type spécial, destiné à circuler sur Paris-Strasbourg en traction vapeur, est également commandé

et doit sortir des ateliers, en principe, au printemps 1948. Il mérite que l'on en dise quelques mots. Pour adoucir le roulement, ce matériel sera monté sur pneumatiques. La charge admissible d'un pneumatique étant de 1 t, chaque caisse sera montée sur 2 bogies à 5 essieux, ce qui limitera à 20 t le poids de chaque voiture. Sur les rames de 6 voitures commandées, l'une sera réalisée en acier ordinaire, la seconde en acier inoxydable, la troisième en alliage léger.

LES VOITURES FRANÇAISES DE DEMAIN

Déjà les techniciens du rail se sont penchés sur de nouveaux problèmes : études de détails pour améliorer les constructions actuelles, d'une part, et, d'autre part, recherches, analyses et études de conceptions originales répondant aux tendances nouvelles.

Il apparaît bien maintenant que la cause de l'allègement soit définitivement gagnée, et les efforts continuent à s'orienter dans ce sens. Un bogie superallégé a été étudié, dont deux prototypes seront construits prochainement, et qui comportera entre autres, comme particularités intéressantes :

- deux étages de suspension réalisés tous deux au moyen de ressorts en hélice de grande flexibilité, le second étage étant amorti à l'aide d'amortisseurs hydrauliques, freinant uniquement la remontée suivant une loi permettant, en principe, une parfaite apériodicité ;

- un dispositif d'asservissement des essieux s'opposant à tout déplacement relatif parallèle à la voie des fusées par rapport à la charpente du bogie, et permettant d'escompter la suppression des mouvements de lacet.

Les avantages du pneu sur rails au point de vue douceur de roulement et de suspension ne sont plus à démontrer. Les essais des rames Paris-Strasbourg, dont nous venons de parler, les confirmeront sans doute, mais les faibles charges que le pneu peut supporter et les sujétions d'entretien qui résultent de son emploi en limiteront pour un moment encore les applications à des matériels spéciaux répondant à des buts particuliers.

Pour le matériel courant, la roue de l'avenir sera peut-être la roue « élastique ». Pour diminuer le poids non suspendu et atténuer les chocs aux joints de rails, du caoutchouc peut être interposé entre le bandage et le centre de roues. Des études sont actuellement faites dans ce sens.

Mais la technique des matières plastiques n'a pas dit son dernier mot, et peut-être pourra-t-on envisager un jour de remplacer l'acier du bandage par un matériau tout aussi résistant à l'usure mais qui supprimerait la transmission à la caisse du bruit du roulement.

Dans le domaine de l'éclairage, nous verrons bientôt les voitures à voyageurs comme

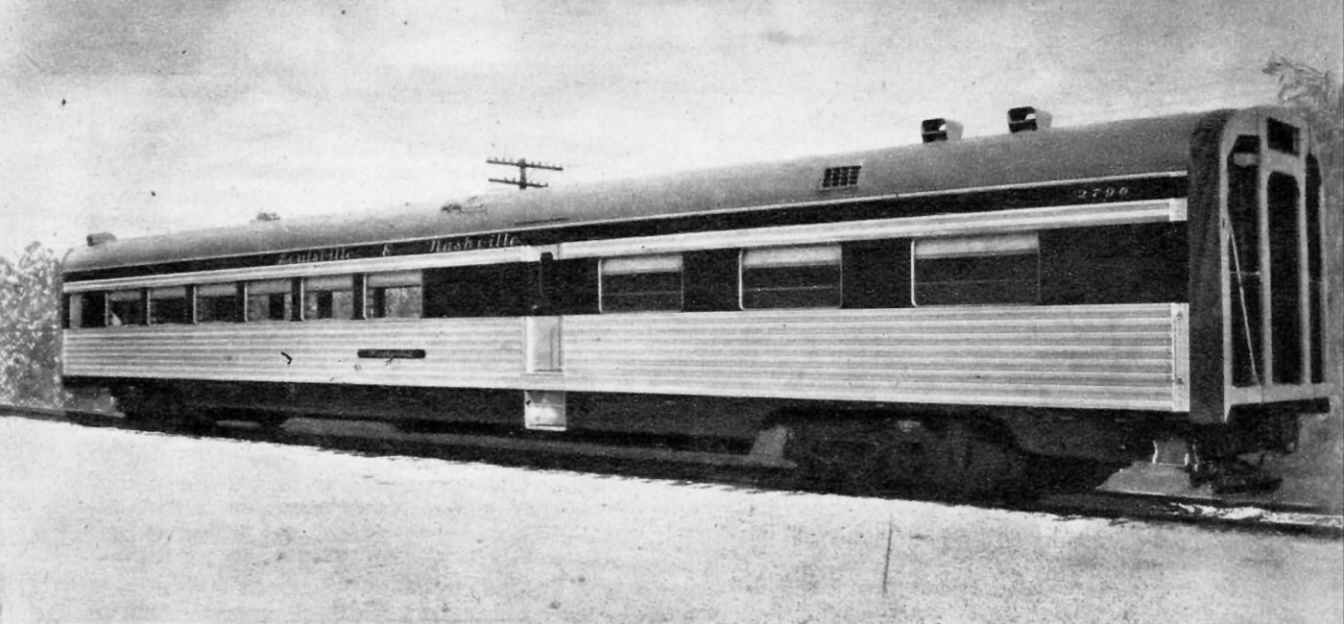


Fig. 126. VOITURE DE LUXE ALLÉGÉE EN ALLIAGES D'ALUMINIUM ET ACIER à haute résistance, construite par l'American Car and Foundry pour le Louisville and Nashville Railroad.

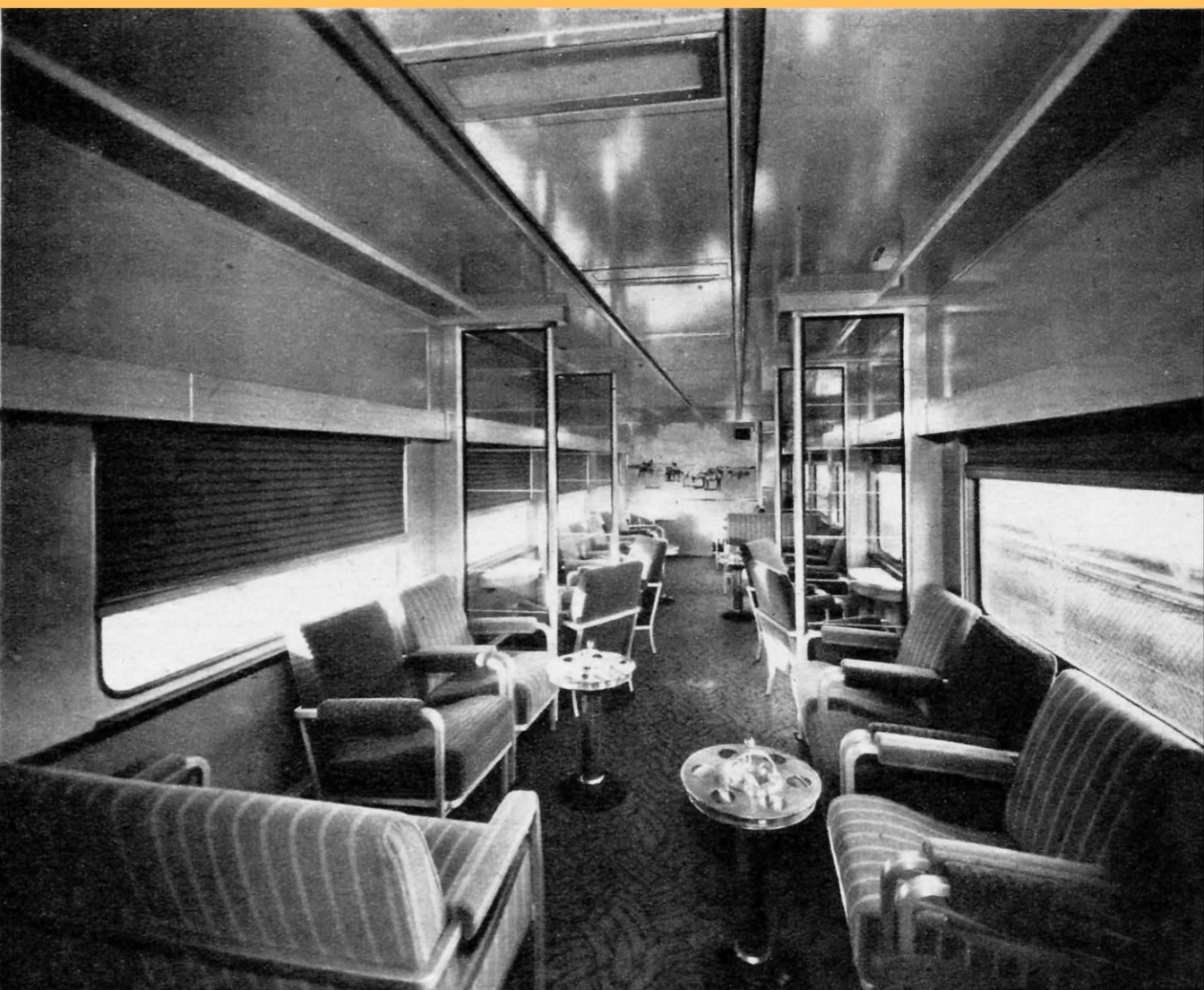


Fig. 127. LE FUMOIR DES « HUMMING BIRDS » OU DES « GEORGIANS », trains de luxe de sept voitures du Louisville and Nashville Railroad : éclairage par tubes fluorescents, air conditionné, haut-parleurs, etc., traction par locomotives diesel-électriques de 2 000 ch.

celles des rames sur pneus Paris-Strasbourg, auxquelles nous avons fait allusion, équipées de tubes fluorescents.

En ce qui concerne le chauffage, une réduction de la puissance de chauffe, et partant un allègement de l'installation pourront sans doute être obtenus en reprenant une partie de l'air chaud vicié qui sera remis dans le circuit de ventilation après avoir été régénéré par passage sur des filtres au charbon actif.

CONFORT AMÉRICAIN

En matière de raffinement, il faut avouer que nous pouvons envier, à bien des égards, celui de nombreux trains d'outre-Atlantique (1). Déjà avant la guerre, rien ne pouvait donner une idée au voyageur européen du train de luxe américain. Pendant quatre ans, durant les hostilités, les fabrications nouvelles furent arrêtées, mais, dès maintenant, des rames entières de matériel ultra perfectionné sont entrées en service.

Nous citerons, à titre d'exemple, comme

(1) Il y a lieu de souligner qu'en France la durée des voyages est, en moyenne, de beaucoup inférieure à celles de certaines relations entre grandes villes des Etats-Unis : c'est certainement une des raisons pour lesquelles les réseaux américains ont été amenés à rechercher des solutions propres à vaincre l'ennui des voyageurs et à leur donner des possibilités de détente physique et intellectuelle.

type de voitures destinées à un service de jour, les rames baptisées « The Cincinnatians » construits et mises en service à la fin de l'année dernière par la Baltimore and Ohio Railroad Company pour relier Baltimore, Washington et Cincinnati. Les 880 km du parcours qui comporte la traversée des monts Alleghany sont couverts en douze heures vingt, soit à 70 km/h de moyenne, vitesse honorable si l'on songe qu'il n'y a pas moins de 11 arrêts intermédiaires. On utilise pour la traction des locomotives à vapeur, de près de 30 m de long, pesant plus de 320 t et capables d'atteindre en palier une vitesse de 160 km/h. Chacune des rames (il y en a deux au total, pour assurer un service quotidien dans chaque sens) comporte cinq voitures de chacune 25 m de long, montées sur roulements à rouleaux. On trouve ainsi, dans l'ordre, après la locomotive, une voiture mixte formant fourgon à bagages, buffet-bar et fumoir ; trois voitures à voyageurs proprement dites et une voiture comportant le restaurant et, à l'extrême arrière, une plate-forme d'observation. Ce dernier dispositif connaît beaucoup de faveur en Amérique où l'absence de fourgon de queue sur la majorité des trains permet aux voyageurs d'observer sans gêne le paysage. Les cent soixante-seize places de cette rame (on ne loue que les sièges des trois voitures centrales,



Fig. 128. COMPARTIMENT EN POSITION DE NUIT DE LA COMPAGNIE DES WAGONS-LITS

ceux des autres voitures demeurant libres et à la disposition de ces cent soixante-seize voyageurs) seraient accessibles au tarif ordinaire. Dans tout le train, le voyageur respire un air purifié et conditionné ; il regarde à travers de larges fenêtres antibuée (constituées par deux vitres de sécurité enfermant un matelas d'air) ; il prend place dans un siège articulé individuel dont le dossier peut prendre dix inclinaisons différentes et l'appui-pieds se relever à quatre positions ; il écoute le haut-parleur diffuser les nouvelles ou de la musique ; des systèmes de tubes fluorescents répandent une lumière partout égale, supprimant les ombres portées, complétée par celle de lampes individuelles ; un réseau de téléphonie automatique relie constamment en marche le chef de train, le mécanicien, le serre-frein, le maître d'hôtel du restaurant et la « stewardess », véritable hôtesse du rail ; toutes les parties métalliques de la cuisine sont en acier inoxydable.

Nous retrouvons les sièges individuels à dossier réglable, l'éclairage général par tubes fluorescents, les haut-parleurs, le conditionnement de l'air fonctionnant à la vapeur sur les rames de sept voitures construites par l'American Car and Foundry Company pour le Louisville and Nashville Railroad, qui portent les noms de *The Humming Birds* (les oiseaux bourdonnants) et *The Georgians*. Les premières font le parcours Cincinnati-New-Orléans, 978 km, à 75 km/h de moyenne, y compris sept arrêts intermédiaires. Les secondes, qui nous intéressent plus ici, parce qu'il s'agit d'un parcours de dix-neuf heures, c'est-à-dire comprenant une nuit entière, vont de Saint-Louis à Atlanta, 1 475 km, à 77 km/h, avec treize arrêts intermédiaires. Toutes deux sont tirées par des locomotives diesel-électriques de 2 000 ch et, pour économiser le poids, on a fait le plus large emploi des alliages d'aluminium et des aciers à haute résistance dans la construction des voitures. Comme sur les rames précédentes, on trouve ici la voiture bar-fumoir, la voiture restaurant, la « ste-

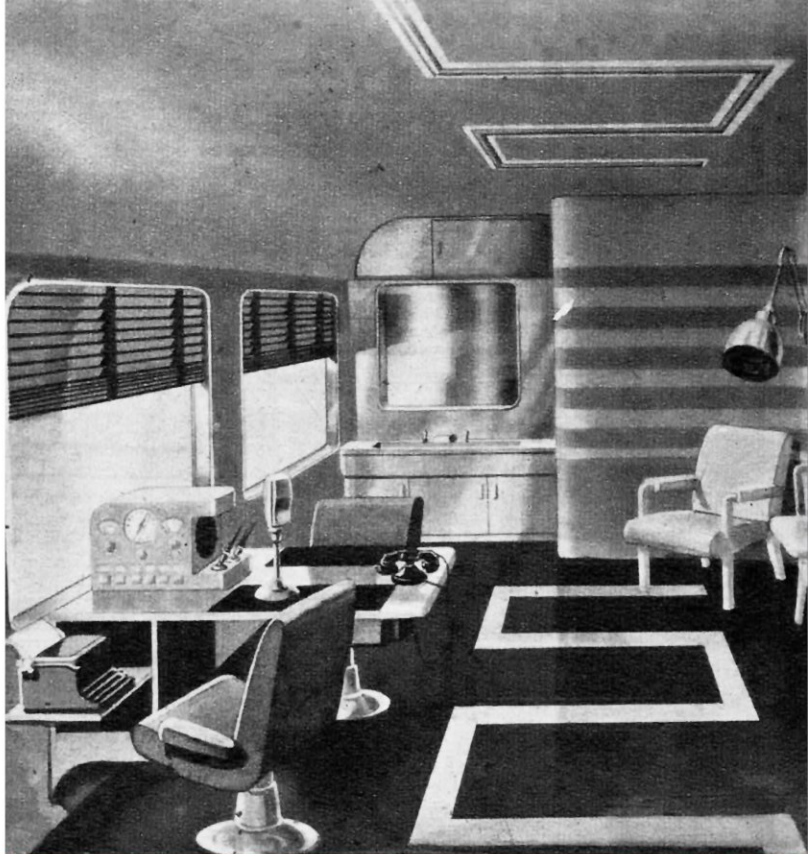


Fig. 129. INÉPUISABLES RESSOURCES DES RAPIDES AMÉRICAINS : le bureau de la « stewardess », coiffeuse pour dames, sténo pour hommes d'affaires, nurse pour enfants.

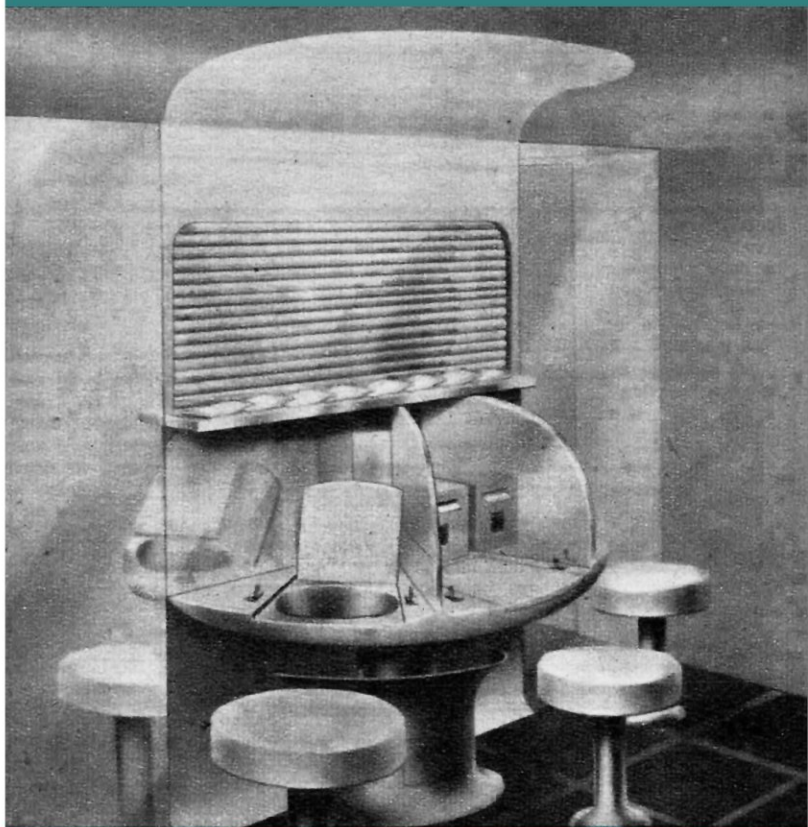


Fig. 130. COMPARTIMENT-BOUDOIR sur un grand rapide américain pour les parcours de nuit (American Car and Foundry).

wardess », le téléphone automatique d'un bout à l'autre du train. A chaque extrémité de voiture, trois lavabos supplémentaires escamotables suppriment les longues attentes après le parcours nocturne. A chacun est adjointe une prise de courant pour le rasoir électrique. On jugera de la complexité de l'installation électrique qui doit comprendre : le circuit principal à 32 volts continus, alimenté directement par une dynamo entraînée par un essieu, avec une batterie tampon de 1 000 Ah, desservant directement les lave-vaisselle du restaurant, les percolateurs du bar, les lampes de sécurité et indirectement les autres circuits ; un circuit à 110 V alternatifs pour l'éclairage fluorescent, un autre circuit à 110 V alternatifs pour les installations radio-électriques... et les rasoirs. Dans la cuisine, on trouve naturellement les éviers en acier inoxydable, les lave-plats électriques, les lave-verres antisepiques, trois sortes d'armoires frigorifiques, l'une électrique, l'autre à glace ordinaire, la troisième à glace sèche, où chaque catégorie de mets peut être conservée à la température qui lui convient le mieux. La cuisine est, bien entendu, à conditionnement d'air, mais celui qui lui parvient est, en outre, soigneusement stérilisé par des lampes à rayons ultraviolets ! Et, puisqu'il s'agit d'une ligne du Sud, on trouve le classique fumoir pour « coloured men », isolé du reste du train par un grillage en duraluminium, mais où le confort n'est en rien inférieur à celui qui règne dans les locaux des blancs.

Enfin, nous ne dirons qu'un mot de ces voitures de luxe conçues pour les plus longs parcours, tels que la traversée du continent américain, en trois ou quatre jours. Ce sera, par exemple, la voiture-sleeping de Budd, la « Budgette » en acier inoxydable, avec ses matelas en caoutchouc mousse, ou les *cabin-cars* du même constructeur, où dans chaque compartiment la température est réglée par thermostat, où la manœuvre des lits à châssis en magnésium et matelas en caoutchouc-mousse, leur mise en place le soir, et leur relevage le matin, s'effectuent électriquement, par la simple manœuvre d'un interrupteur, où le voyageur peut prendre sa douche dans son cabinet de toilette particulier. S'ennuiera-t-il un instant quand il pourra faire alterner la lecture dans le fauteuil club de sa cabine et le jeu de cartes au fumoir avec l'écoute de la radio (quatre programmes au choix), avec l'observation du paysage à travers le dôme en matière plastique du toit, où prennent place vingt-quatre personnes, tandis qu'un haut-parleur signale les sites d'intérêt touristique ou historique, et avec les séances de cinéma dans la voiture restaurant transformée ? A l'échelle de tels voyages, le confort du train rejoint celui du paquebot.

Mais quittons le pays des « possibilités illimitées » et revenons en Europe où le progrès, pour être moins spectaculaire, n'en est pas moins réel.

On se propose, dans les années à venir, d'y augmenter la vitesse de circulation des trains. Ne parle-t-on pas de la vitesse de 160 km/h ?

Déjà, dès le printemps de 1949, des trains pouvant rouler à 140 km/h, et peut-être davantage, circuleront sur les relations Paris-Lille et Paris-Le Havre, Paris-Lyon et Paris-Bordeaux.

L'AVENIR

Que va devenir le compromis heureux auquel on était, semble-t-il, arrivé entre la sécurité et l'allégement, lorsque le matériel devra circuler à 160 km à l'heure ? La vitesse coûte cher en frais de traction ; aussi devra-t-on encore alléger le matériel remorqué pour limiter la puissance des engins moteurs. D'autre part, étant donné que l'énergie mise en jeu au cours des collisions croît comme le carré de la vitesse, il faudra faire beaucoup plus résistant. Plus léger et plus solide, ce sont là deux conditions contradictoires.

Nul ne sait d'ailleurs ce que peuvent nous réserver certaines découvertes possibles en métallurgie. L'emploi des matières plastiques armées imitant les tissus ligneux des végétaux pourrait bien nous révéler un jour d'extraordinaires possibilités et donner à nos constructions de l'avenir un autre caractère que celui auquel l'emploi de l'acier ou des métaux légers en barres ou en tôles nous a accoutumés.

Mais avant de spéculer sur les possibilités incertaines d'un avenir indéterminé, on peut tirer encore un parti substantiel de la technique actuelle.

Nous avons vu l'acier se substituer au bois, puis cet acier utilisé, grâce à ses caractéristiques mécaniques améliorées, sous des épaisseurs de plus en plus faibles. Cependant, l'acier a un ennemi, la corrosion ; dans ce domaine, beaucoup reste encore à faire.

A cet égard, l'acier inoxydable est intéressant, tant pour la carcasse de caisse que pour la décoration. Quelques pièces en alliage de magnésium ont été essayées avec succès ; les laboratoires paraissent avoir mis au point des procédés de protection efficace du magnésium contre la corrosion, mais les prix de revient élevés de cette nouvelle classe de matériaux en limiteront peut-être le développement dans l'avenir.

Devant ce besoin impératif d'allégement, nos conceptions en matière d'ossature légère vont bientôt dépasser le seuil au delà duquel disparaissent les garanties offertes par les méthodes de calcul de la résistance des matériaux. Il sera alors nécessaire de pouvoir contrôler la résistance offerte par des essais statiques, des essais de chocs et d'endurance sur des maquettes en vraie grandeur, voire même sur des caisses de voitures tout entières. Ceci suppose évidemment la construction d'un laboratoire d'essais disposant de moyens très puissants et d'appareils de mesure très sensibles. L'avant-projet d'un tel laboratoire est actuellement en étude.

LES GRANDES VITESSES

La vitesse des trains a fait, au cours des années précédant la guerre, de très grands progrès et nul doute qu'elle n'en fasse bientôt de nouveaux, lorsque les conséquences du conflit commenceront à s'effacer. Le London and North Eastern Railway en Angleterre et la Reichsbahn en Allemagne ont tous deux dépassé les 200 km/h, de très peu il est vrai. S'il ne s'agit là que d'essais, aux Etats-Unis d'innombrables grands rapides marchent tous les jours à des vitesses normales atteignant et dépassant 160 km/h. C'est ainsi que sur la ligne Chicago-Saint-Paul, du Milwaukee Railroad, parcourue par le fameux rapide « Hiawatha », on voit des poteaux de ralentissement comportant le ralentissement à 140 km/h. En France, sur les lignes électrifiées, le Sud-Express couvrait, aux horaires d'août 1939, le parcours Orléans-Tours à la vitesse moyenne de 119 km/h, la vitesse maximum autorisée de 130 km/h interdisant en service normal toute performance supérieure. Très prochainement, la vitesse des trains rapides qui relieront Paris aux grandes villes de province sera portée à 140 km/h. Par la suite, cette vitesse sera élevée à 160 et peut-être même à 180 km/h. La circulation des trains à de telles vitesses pose de multiples problèmes actuellement à l'étude et pour lesquels il faudra sans doute recourir à des solutions entièrement différentes de celles auxquelles nous avons été habitués jusqu'ici,

EN France, à quelques rares exceptions près, la vitesse maximum de circulation des trains était, avant-guerre, de 120 km/h. Des le début des hostilités, elle fut réduite à 100 km/h, afin que la sécurité puisse encore être assurée malgré l'impossibilité d'entretenir normalement le matériel roulant et les voies, et de se procurer des lubrifiants nécessaires à la bonne marche des véhicules.

La guerre terminée et les conditions d'exploitation des chemins de fer redevenant normales, la vitesse de 120 km/h fut rétablie. Mais ce n'est là qu'un premier pas. On envisage tout d'abord de porter très prochainement à 140 km/h la vitesse de circulation de certains trains qui sont destinés à relier très rapidement Paris aux grandes villes de province. Par la suite, cette vitesse sera élevée jusqu'à 160 km/h et peut-être même sera-t-elle enfin poussée jusqu'à 180 km/h.

La circulation des trains à très grande vitesse, qui peut paraître assez simple a priori, pose en réalité de multiples problèmes. Il y a d'abord le problème relatif à la puissance des engins moteurs, qui n'échappe à personne mais il y a en outre toutes les questions relatives à la signalisation, au freinage, à la stabilité des véhicules et à la tenue de la voie qui, pour être moins évidentes, n'en sont pas moins très difficiles à résoudre.

LES PRINCIPES DU FREINAGE

Pour bien se rendre compte des difficultés particulières qui s'attachent au freinage des véhicules de chemins de fer, il convient tout d'abord de noter que, d'une façon tout à fait générale, l'effort retardateur qu'il est permis d'appliquer aux roues d'un véhicule en mouvement ne doit pas dépasser une fraction de son poids P . Cette fraction est égale au coefficient d'adhérence (c'est-à-dire au coefficient de frottement au repos) entre les roues et la surface de roulement. Si l'effort de freinage dépassait cette valeur maximum, les roues se bloqueraient et le véhicule se mettrait à glisser, ce qui est, comme chacun sait, désastreux.

De ce qui précède, il ressort que le freinage d'un véhicule peut être d'autant plus poussé que l'adhérence est elle-même plus élevée, et c'est précisément pour cela que les chemins de fer sont très désavantagés, car, dans leur cas particulier, le coefficient d'adhérence entre les roues et le rail, c'est-à-dire acier sur acier, est en général assez bas. Ce coefficient varie selon l'état du rail et les conditions atmosphériques, entre des valeurs extrêmes que l'on n'a pu jusqu'à présent qu'imparfaitement vérifier, mais qui semblent être respectivement de l'ordre de 0,08 et 0,3, la valeur maximum étant

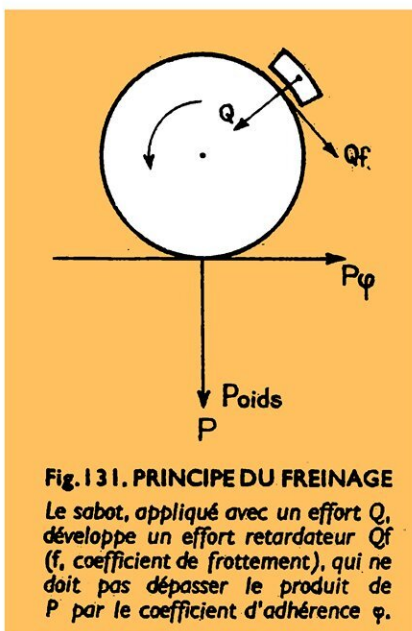


Fig. 131. PRINCIPE DU FREINAGE

Le sabot, appliqué avec un effort Q , développe un effort retardateur Qf (f , coefficient de frottement), qui ne doit pas dépasser le produit de P par le coefficient d'adhérence φ .

atteinte lorsque le rail est bien sec ou complètement lavé par une grande pluie et la valeur minimum lorsque le rail est gras ou rendu humide par la rosée et le brouillard. Ce sont là toutefois des valeurs qui doivent être considérées comme des limites exceptionnelles et, dans les circonstances ordinaires, on peut admettre que le coefficient d'adhérence oscille autour d'une valeur moyenne voisine de 0,15.

Nous venons de voir que la faible valeur de l'adhérence limite fortement les possibilités de freinage des véhicules de chemins de fer, mais le pire est qu'il est de surcroît très difficile de profiter complètement de ces possibilités, pourtant déjà très réduites. Le freinage des véhicules ferroviaires étant en effet réalisé dans la pratique courante par l'action de sabots en fonte qui sont appliqués sur les roues en acier avec un effort constant Q , il s'ensuit que l'effort retardateur ainsi obtenu est à tout instant égal au produit de Q par le coefficient de frottement entre les sabots et les roues. Pour réaliser le freinage optimum permis par l'adhérence, il faudrait que cet effort soit égal à l'effort de freinage minimum admissible que nous avons défini plus haut.

Or il se trouve que le coefficient d'adhérence de la roue sur le rail est pratiquement indépendant de la vitesse et qu'il est par suite sensiblement constant pour un état de rail déterminé ; l'effort de freinage devrait

donc être sensiblement constant. Mais il se trouve aussi que le coefficient de frottement du sabot sur la roue varie avec la vitesse, de sorte que, pour obtenir le freinage maximum, il faut faire varier l'effort de serrage des sabots en raison inverse de ce coefficient de frottement.

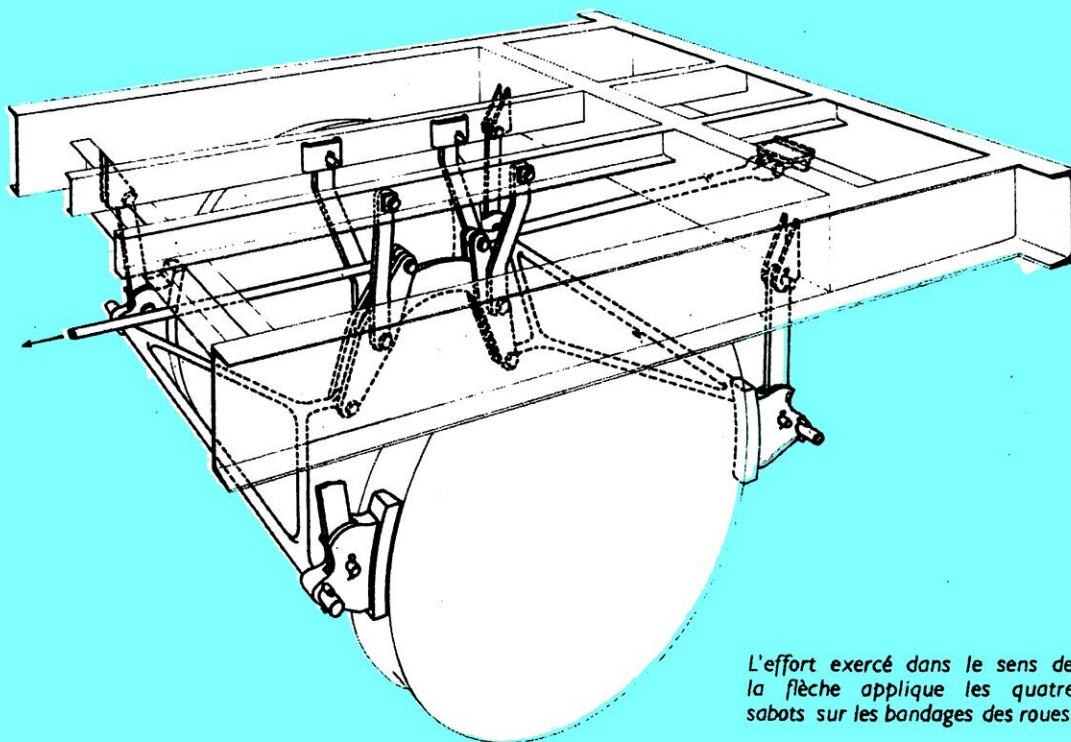
Nous verrons plus loin que cela conduit à des dispositifs compliqués, et c'est pourquoi l'on n'a pas jugé bon d'y recourir tant qu'il n'a pas été envisagé de faire circuler les trains à des vitesses dépassant 120 km/h.

L'IMPLANTATION DES SIGNAUX

Pour fixer les idées, nous indiquerons qu'avec le freinage actuel, l'arrêt d'un train de voyageurs de type courant, lancé à 120 km/h en palier ou sur de faibles déclivités, est obtenu sur une distance de l'ordre de 800 à 1 000 mètres. Il est clair que de telles distances sont beaucoup trop grandes pour que l'on ait pu songer à faire circuler les trains « à vue » comme cela est la règle pour les véhicules routiers. C'est pourquoi il a fallu créer un système de signalisation dans le but d'assurer dans tous les cas la sécurité de la circulation.

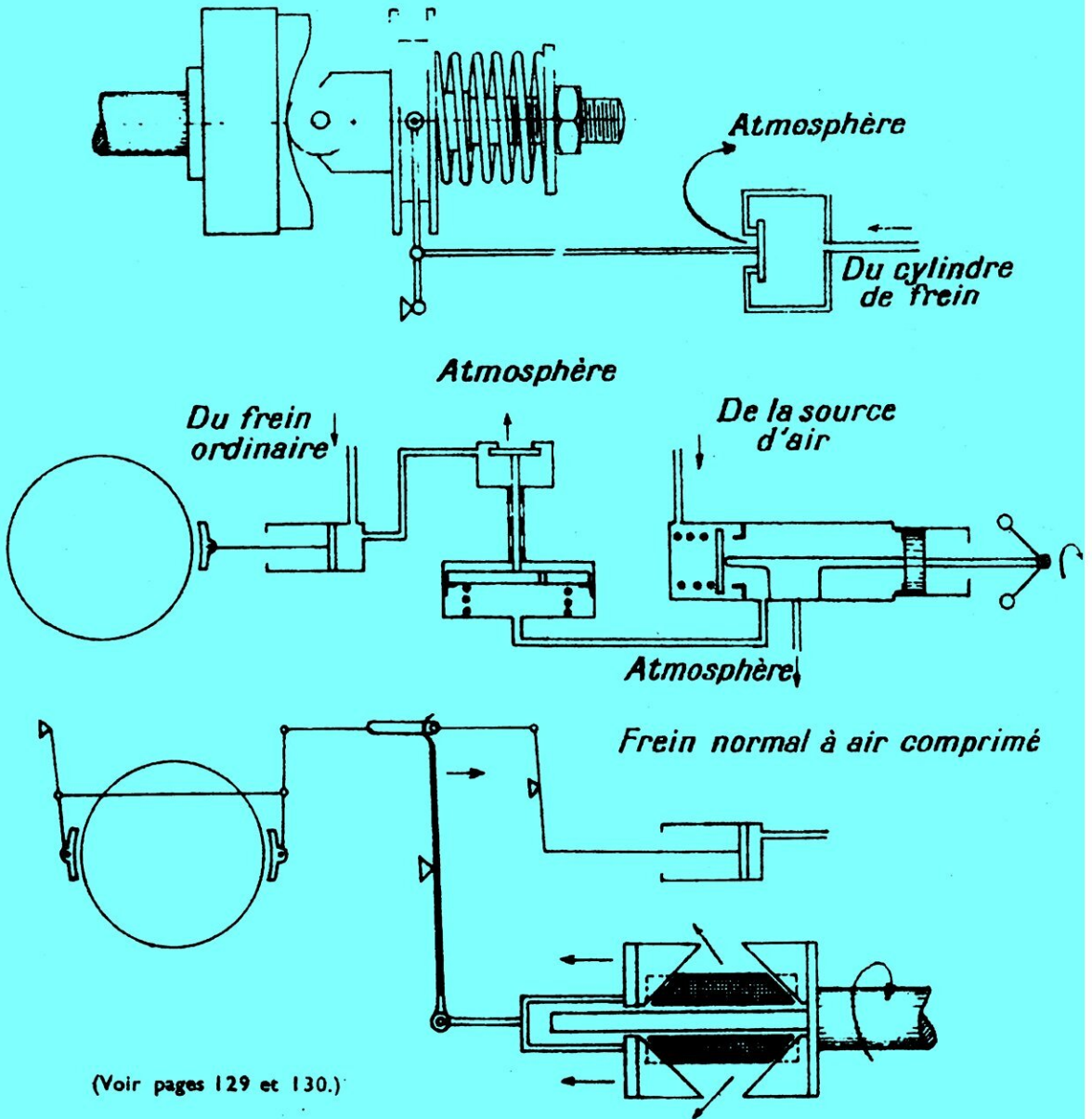
Dans ce système, dit « à distance », tout est prévu pour qu'en aucun cas le mécanicien ne puisse rencontrer un signal lui imposant l'arrêt immédiat à son pied sans qu'il ait été auparavant prévenu par un signal avertis-

Fig. 132. DISPOSITION CLASSIQUE D'UNE TIMONERIE DE FREIN



L'effort exercé dans le sens de la flèche applique les quatre sabots sur les bandages des roues.

Fig. 133, 134, 135. TROIS TYPES DE DISPOSITIFS ANTIENTRAYEURS



seur. S'il trouve donc le signal d'avertissement fermé, il doit prendre immédiatement ses dispositions pour s'arrêter avant le signal d'arrêt suivant, au delà duquel la circulation est à ce moment dangereuse. Il va de soi que toutes les précautions qu'il peut prendre seraient vaines si la distance qui sépare le signal d'avertissement du signal d'arrêt, que l'on appelle distance d'implantation, était inférieure à la distance minimum sur laquelle son frein lui permet de s'arrêter, compte tenu de la déclivité de la ligne et de la vitesse du train au moment où celui-ci aborde le signal d'avertissement. Pour les

lignes à grande circulation, en palier ou sur de faibles déclivités, la distance choisie est de l'ordre de 1 000 à 1 200 mètres.

Pour l'instant donc, les distances d'implantation adoptées donnent complète satisfaction. Mais il est hors de doute qu'il n'en sera plus ainsi lorsque, dans un avenir prochain, l'on relèvera la vitesse de marche des trains. Pour que la sécurité soit toujours garantie, il y aura deux solutions : augmenter la distance d'implantation des signaux ou améliorer le freinage.

L'augmentation de la distance d'implantation des signaux est très onéreuse et ne peut

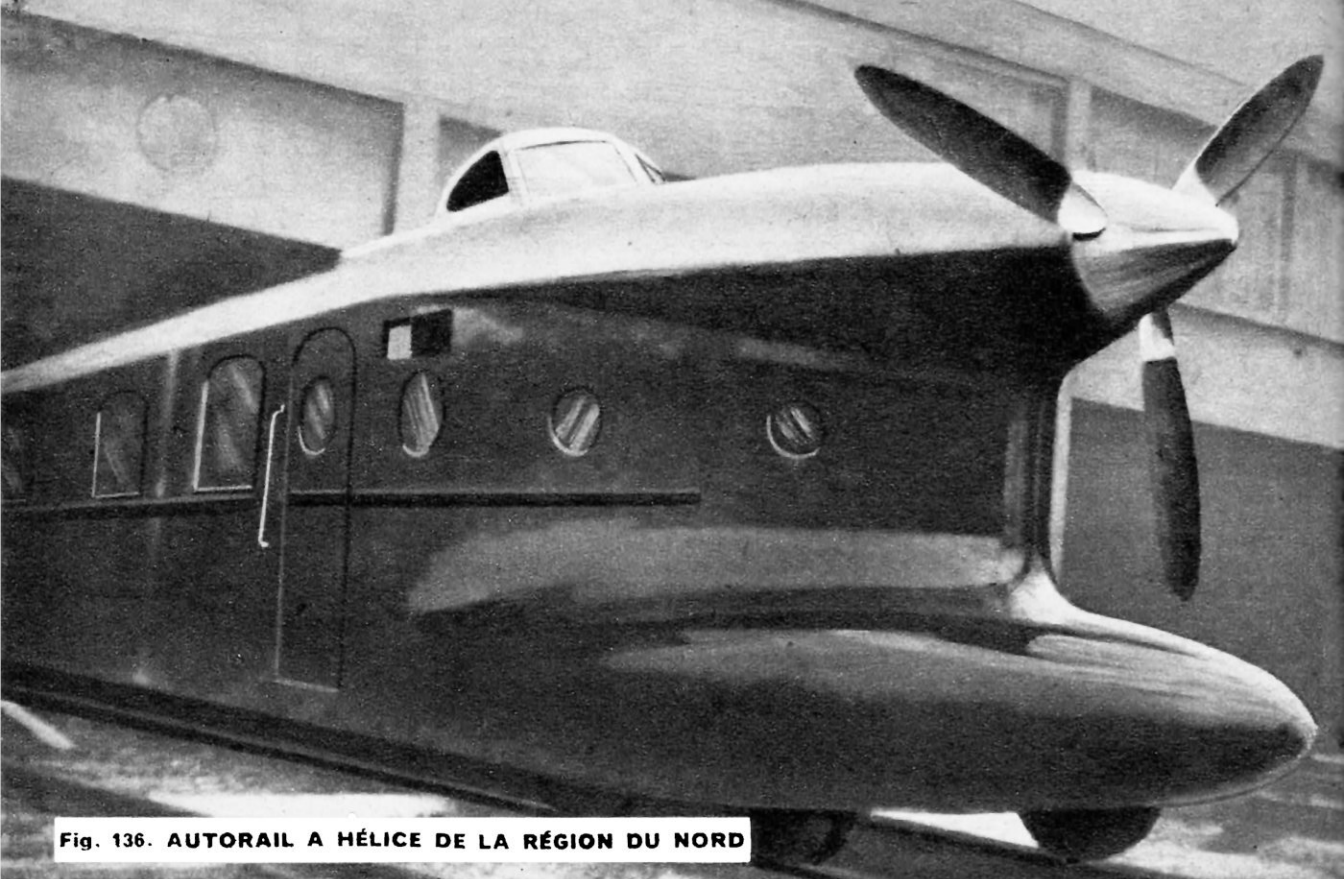


Fig. 136. AUTORAIL A HÉLICE DE LA RÉGION DU NORD

d'ailleurs être poussée trop loin sous peine de limiter par trop le débit des lignes. Elle ne peut donc à elle seule suffire à résoudre le problème au delà de certaines vitesses. Mais comme, de toute façon, elle ne peut qu'aider à sa solution, il a néanmoins été prévu que, dans la future signalisation, les distances d'implantation seraient portées à 1 300 et 1 400 m pour les lignes où les trains circuleront à 130 km/h et à 1 400 et 1 500 m sur celles où ils circuleront à 140 km/h. Tout porte à croire que, pour de telles vitesses, ces distances seront encore suffisantes pour assurer la sécurité sans qu'il soit nécessaire de toucher au frein actuel. Mais elles ne le seront certainement plus pour les vitesses de 160 et 180 km/h qui sont envisagées pour l'avenir. Il faudra donc, obligatoirement, en venir à la solution qui consiste à améliorer le freinage.

LE FREINAGE OPTIMUM

Nous avons dit précédemment que, pour obtenir le freinage optimum, il faudrait réaliser un dispositif tel que l'effort aux sabots Q varie en sens inverse du coefficient de frottement pendant toute la durée du freinage. Il est donc primordial de connaître tout d'abord de quelle façon varie ce coefficient de frottement. Des essais en ligne très poussés, effectués à ce sujet en 1937, par l'ancien Office Central d'Etudes de Matériel de Chemins de fer (O. C. E. M.), avec des sabots en fonte d'une part et avec des sabots en matière amiantée (genre Férodo) d'autre part, l'on peut, pour ce qui nous concerne, retenir les deux règles suivantes :

1^o Cas des sabots en fonte. — Lors d'un freinage d'arrêt exécuté avec un effort constant aux sabots Q , le coefficient de frottement des sabots sur les roues conserve une valeur très sensiblement constante depuis le début du freinage jusqu'au moment où la vitesse du véhicule est tombée à 60-40 km/h environ ; puis il croît ensuite fortement jusqu'à la fin de l'arrêt. De plus, la valeur qu'il prend au début varie en sens inverse de la vitesse initiale au moment du freinage ;

2^o Cas des sabots en matière amiantée. — Lors d'un freinage d'arrêt exécuté avec un effort constant aux sabots Q , le coefficient de frottement des sabots sur les roues conserve une valeur très sensiblement constante pendant toute la durée du freinage. Cette valeur est de plus sensiblement indépendante de la vitesse initiale au moment du freinage.

De ceci, il découle tout d'abord qu'il est extrêmement facile d'obtenir le freinage optimum avec des sabots en matière amiantée. Le coefficient de frottement de ces sabots restant constant pendant toute la durée d'un freinage et étant de plus indépendant de la vitesse initiale, il faut, en effet, que l'effort aux sabots soit lui-même constant. Or, ceci est précisément le cas avec les freins actuellement utilisés de façon courante par toutes les grandes administrations ferroviaires, de telle sorte que n'importe lequel d'entre eux peut être adapté au freinage des trains à grande vitesse par la simple substitution de sabots en matière amiantée aux sabots en fonte avec lesquels ils sont généralement équipés.

Cette solution a été effectivement essayée

et elle a fourni de très bons résultats, puisqu'elle a permis, en palier, d'arrêter des trains sur 550 m à 120 km/h et sur 750 m à 140 km/h.

Mais avec les sabots en fonte, on voit qu'il est absolument nécessaire, pour obtenir le freinage maximum, de trouver le moyen de neutraliser les variations du coefficient de frottement de ces sabots. Deux solutions se présentent alors à l'esprit :

1^o Réaliser un effort aux sabots Q qui soit à l'origine proportionnel à la vitesse au moment du freinage, qui reste ensuite constant jusqu'à ce que la vitesse soit tombée à 60-40 km/h environ et qui décroisse enfin à partir de ce moment et jusqu'à l'arrêt, de manière à éviter la brusque élévation finale de l'effort retardateur due à celle correspondante du coefficient de frottement ;

2^o Exercer pendant tout le freinage un effort constant aux sabots Q suffisamment élevé pour être dans tous les cas supérieur à la valeur maximum permise par l'adhérence, mais qui, en fait, serait automatiquement limité à cette valeur par un appareil spécial appelé « antienrayeur », lequel entrerait en jeu à la manière d'une soupape dès qu'une amorce de blocage des roues se produirait.

On conçoit que la première de ces deux solutions soit d'une réalisation assez compliquée ; elle est, de plus, tributaire de la connaissance des valeurs du coefficient de frottement des sabots sur les roues et du choix d'une valeur déterminée de l'adhérence, que l'on doit prendre égale à celle d'un état moyen du rail, afin de ne pas risquer d'avoir un freinage véritablement trop faible, ce qui compromettrait la sécurité, ou alors beaucoup trop élevé, ce qui provoquerait trop souvent le blocage des roues. La seconde solution, au contraire, n'exige ni la connaissance du coefficient d'adhérence, ni même celle du coefficient de frottement. Elle paraît donc, a priori, la plus séduisante.

FREINS AUTOVARIABLES ET ANTIENTRAYEURS

Quoi qu'il en soit, les deux procédés ont été pratiquement employés et les deux types d'appareils qui ont été réalisés, dénommés freins autovariables dans le premier cas et dispositifs antienrayeurs dans le second, ont donné, aux essais en ligne auxquels ils ont été soumis, des résultats tout à fait encourageants qui permettent de bien augurer de l'avenir.

La description détaillée des freins autovariables, dont plusieurs types ont été présentés, ne présenterait guère ici d'intérêt et entraînerait d'ailleurs assez loin. Il suffit, croyons-nous, d'en connaître le principe, que nous venons d'exposer et de savoir qu'ils sont tous fondés sur l'utilisation d'un régulateur centrifuge commandé par un des essieux du véhicule à freiner. Ils ne dif-

férent donc, dans l'ensemble, que par leur mode de réalisation et par des questions de détail accessoires.

Il n'en est pas de même des antienrayeurs, dont on connaît jusqu'à présent trois types bien distincts qui diffèrent entre eux par le principe même de leur fonctionnement, que nous indiquons succinctement ci-après et qui sont en cours d'expérimentation.

1^{er} type. — Cet appareil utilise essentiellement l'inertie d'un volant monté fou sur l'essieu à contrôler et entraîné par celui-ci dans sa rotation au moyen d'un dispositif de butée approprié. Il est conçu de telle sorte qu'il met le frein au desserrage dès que la force d'inertie du volant pendant le freinage devient supérieure à celle d'un ressort antagoniste réglable. Il suffit donc de régler le ressort à une valeur qui corresponde à la plus forte décélération que l'adhérence permet de réaliser au cours d'un freinage pour que la moindre amorce d'enrayage qui, elle, provoque une décélération de l'essieu beaucoup plus importante, fasse fonctionner l'appareil. L'effort de freinage doit alors diminuer jusqu'à ce que la roue reprenne une décélération normale évitant, en principe, l'enrayage.

On notera que, si le ressort était réglé à une valeur correspondant à une décélération inférieure à celle permise par l'adhérence,

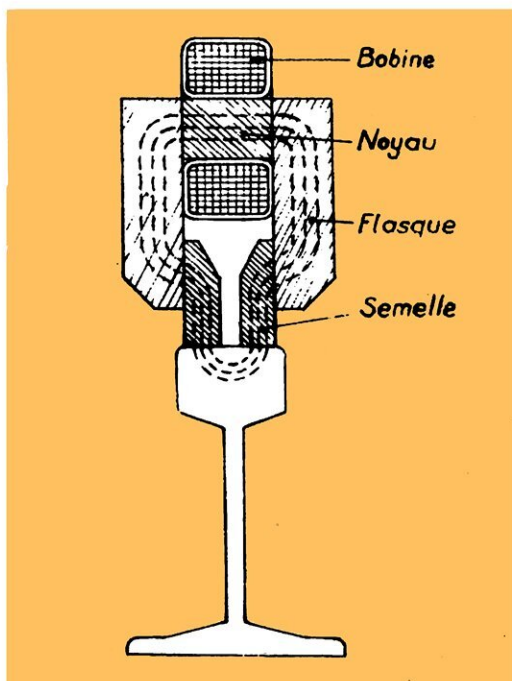


Fig. 137. LE FREIN MAGNÉTIQUE SUR RAIL

Le circuit magnétique se ferme par le rail lorsque les semelles sont appliquées. Au repos, elles sont à 10 mm du rail ; l'effort varie entre 4 000 et 13 000 kg suivant le type de patin.

l'appareil n'en continuerait pas moins à jouer en cas d'amorce d'enrayage. Mais, en outre, il jouerait aussi alors de *façon normale* au cours du freinage pour limiter la décélération à celle pour laquelle le ressort est réglé.

2^e type. — Cet appareil est fondé sur la vitesse d'écoulement de l'air comprimé à travers un orifice calibré. Il se compose essentiellement d'un petit cylindre à l'intérieur duquel peut se mouvoir un piston percé d'un trou calibré, et qui est normalement maintenu dans sa position haute (par exemple) par un léger ressort. Grâce à l'emploi d'un dispositif spécial commandé par un régulateur centrifuge monté sur l'essieu à contrôler, de l'air comprimé à une pression proportionnelle au carré de la vitesse du véhicule est admis au moment du freinage sur la face inférieure de ce piston. Par le trou calibré du piston, cette pression s'établit aussi sur sa face supérieure, de telle sorte que le piston ne bouge pas. Au fur et à mesure que la vitesse du train diminue au cours du freinage, la pression diminue de même sur les deux faces du piston qui reste toujours immobile. Mais s'il se produit une amorce d'enrayage, la vitesse de la roue décroît très rapidement et la chute de pression qui en résulte sur la face inférieure du piston est alors si rapide que l'air ne peut s'écouler assez vite à travers l'orifice calibré pour que la pression baisse aussi brusquement sur la face supérieure de ce piston. Le piston doit alors s'abaisser et

ce mouvement provoquer la mise du frein au desserrage. L'effort de freinage doit en principe décroître jusqu'à ce que la roue reprenne une vitesse normale.

3^e type. — Contrairement aux deux appareils précédents qui ne servent pas à produire l'effort de freinage, mais simplement à le contrôler, l'appareil du troisième type remplit à la fois ces deux fonctions qui ne peuvent être séparées.

Dans cet appareil, l'effort de freinage est produit par la force centrifuge de masses tournantes entraînées par l'essieu à contrôler, force qui est transmise aux sabots de frein par un dispositif approprié. En cas d'amorce d'enrayage, la vitesse de la roue baisse en principe jusqu'à ce que l'effort de freinage qu'elle commande tombe lui-même à la valeur limite que permet l'adhérence.

On remarquera qu'au cours d'un freinage d'arrêt normal effective sans enrayage, l'effort de freinage diminue de façon continue avec la vitesse du véhicule pour tendre vers zéro à la fin de l'arrêt. Si, par conséquent, on ne disposait que du seul freinage produit par les masses tournantes, la fin de l'arrêt ne pourrait être obtenue que grâce à la résistance au roulement et à la résistance de l'air, ce qui conduirait à obtenir des distances d'arrêt exagérées. C'est pour éviter cet inconvénient que le dispositif centrifuge s'accompagne toujours d'un freinage constant de base (obtenu par un frein normal automatique à air comprimé par exemple), mais

suffisamment faible pour que tout enrayage cesse certainement lorsque ce seul freinage de base reste en action. Le principe que nous avons précédemment exposé ne se trouve donc pas changé par cette nouvelle combinaison de freins.

LES FREINS DE L'AVENIR

Les freins autovariables et les antienrayeurs qui ont été essayés jusqu'à ce jour ont été dans l'ensemble assez satisfaisants puisqu'ils ont permis, en palier, d'arrêter des trains sur 600 m environ à 120 km/h et sur 800 m environ à 140 km/h.

Si l'on compare ces distances avec celles respectivement obtenues dans les cas analogues avec des semelles de freins en matière amiantée, on voit que tous les résultats acquis sont en gros sensiblement du même ordre. Ils prouvent, en tout cas, que l'on est

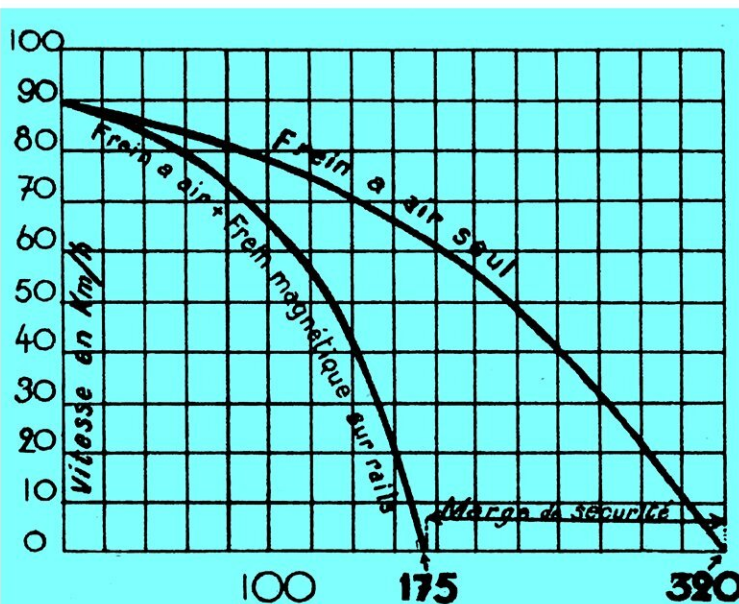
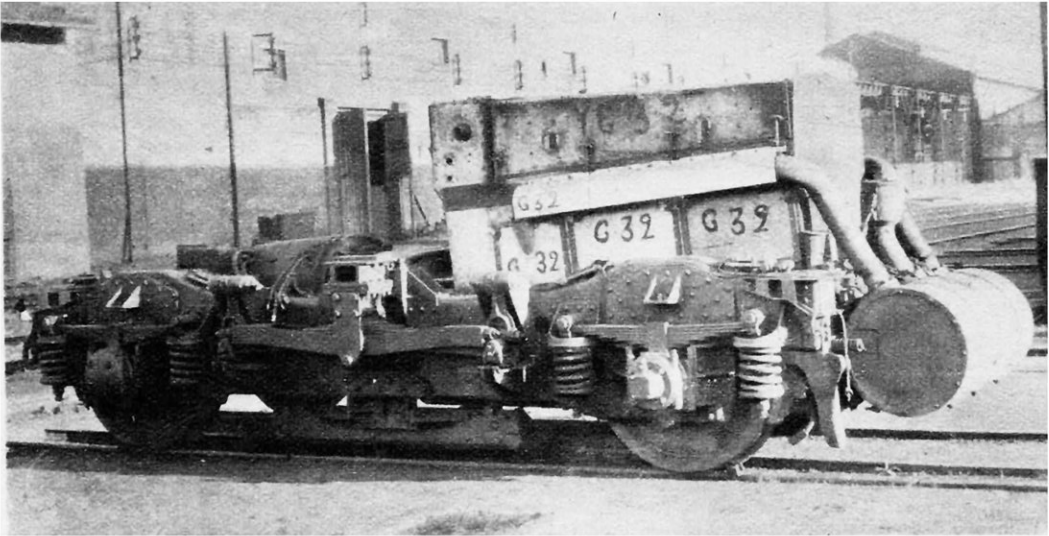


Fig. 138. COURBES DE FREINAGE AVEC FREIN A AIR SEUL ET FREIN A AIR ET FREIN MAGNÉTIQUE SUR RAIL COMBINÉS

Alors que le freinage sur roues est limité par l'adhérence roue-rail, le freinage sur rail, indépendant de l'adhérence, ne connaît aucune limite théorique. C'est grâce à lui qu'en Amérique les tramways peuvent circuler à 70 km/h et s'arrêter avec la même aisance qu'une automobile.

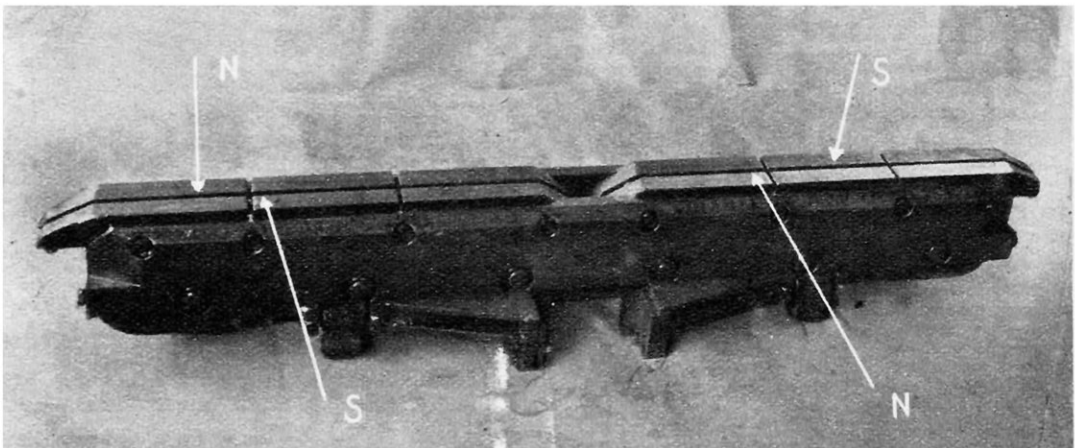


BOGIE GÉNÉRATEUR DES RAMES FRANCO-BELGES équipé de patins magnétiques articulés. Ces rames, pesant 140 t en charge et lancées à 140 km/h, s'arrêtent en 850 m avec le frein à air seul et en 550 m avec le frein à air et le frein magnétique sur rail en action.

d'ores et déjà en mesure de pouvoir arrêter les trains circulant à la vitesse de 140 km/h dans les limites imposées par les nouvelles distances d'implantation des signaux et que nous avons indiquées plus haut. On remarquera que les distances d'arrêt données par les différents modes de freinage à haute puissance dont nous avons parlé correspondent à des accélérations de l'ordre de $0,95 \text{ à } 1 \text{ m/s}^2$, ce qui donnerait, à 160 km/h, des distances d'arrêt de l'ordre de 990 à 1 040 m, encore suffisantes pour s'arrêter dans les limites d'implantation des signaux, si du moins les propriétés du coefficient de frottement et de l'adhérence ne varient pas

à cette vitesse dans des conditions telles que l'on ne puisse plus obtenir des décélérations de cet ordre. Mais des expériences faites à ce sujet en Amérique semblent montrer qu'il n'y a rien à craindre de ce côté-là. On en est, par contre, beaucoup moins certain pour les vitesses de l'ordre de 180 km/h.

On a déjà envisagé de trouver un système de freinage indépendant de l'adhérence, et dont la puissance serait par suite théoriquement illimitée. C'est ainsi que l'on a tout d'abord pensé à freiner sur l'air ou à s'agripper au rail. La première de ces idées a déjà reçu un commencement d'exécution sous la forme d'un autorail à hélices essayé sur la



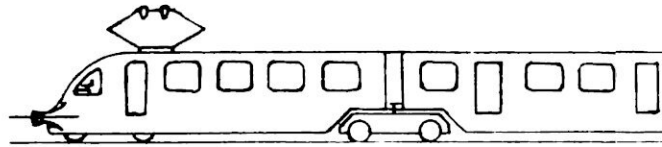
PATIN TÉTRAPOLAIRE ARTICULÉ (vu à l'envers) pour freinage magnétique sur rail. Les forces électromotrices continues engendrées par le mouvement du patin sur le rail sont annulées par l'opposition des pôles deux à deux. L'articulation des patins supprime les rebondissements sur le rail, les variations d'entrefer qui en résultent et, par suite, les forces électromotrices alternatives.

region du Nord. Mais l'expérience n'a pas jusqu'ici été assez poussée pour qu'il soit permis d'en tirer des enseignements précis. Quant à la seconde, elle a donné naissance au frein électromagnétique sur rails, qui est en somme constitué par un électroaimant qui, lorsqu'il est excité, vient s'appliquer sur le rail par l'intermédiaire de semelles de frein.

Il reste enfin un moyen de freinage qui n'a encore jamais été essayé, mais auquel on a toutefois pensé et qui serait tout à fait d'actualité : c'est le freinage par moteurs à réaction. Il n'est pas douteux que la puissance d'un tel frein pourrait être considérable et qu'il permettrait sans doute d'obtenir la plus grande décélération pratiquement possible, c'est-à-dire celle que peut supporter sans trop d'inconvénients le corps humain. Mais aussi spectaculaire que soit cette solution, ce n'est encore qu'une idée, et l'avenir seul nous dira si elle peut être mise un jour en pratique.

LA STABILITÉ ET LE CONFORT

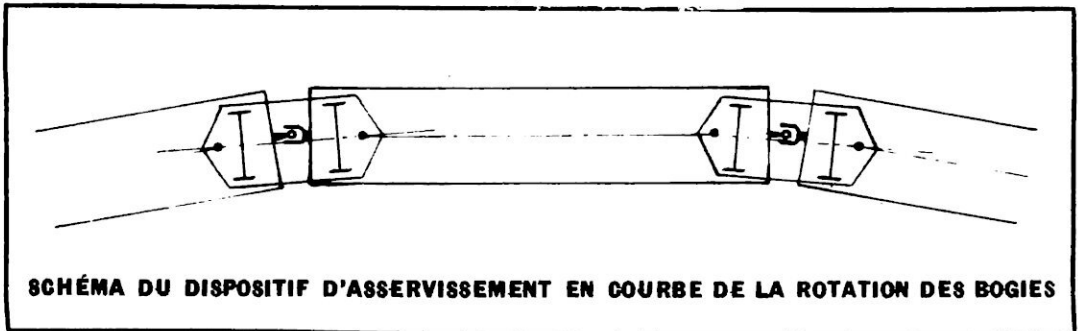
La mise à l'étude de formules nouvelles de traction à très grande vitesse, a démontré la nécessité de développer à l'extrême les qualités de stabilité, ainsi que le confort de



Déjà, au cours des années qui ont précédé la guerre, les recherches et essais effectués ont montré que, sans toucher aux modes de réalisations existants en matière de train de roulement et de suspension, on pouvait obtenir une amélioration appréciable des qualités de stabilité et de confort du matériel en appliquant à celui-ci les dispositions suivantes :

- Remplacement du profil, actuellement légèrement conique, de la table de roulement des bandages de roues, par un profil cylindrique avec, corrélativement, utilisation, pour ces bandages, d'acier à haute résistance permettant la conservation de ce dernier profil, même après des parcours élevés ;

- Application d'amortisseurs hydrauliques sur les organes de suspension et sur les liaisons élastiques de rappel entre châssis et



SCHEMA DU DISPOSITIF D'ASSERVISSEMENT EN COURBE DE LA ROTATION DES BOGIES

roulement et de suspension du matériel roulant.

Nous nous contenterons simplement de souligner que, en règle générale, les qualités de stabilité ainsi que de confort du roulement et de la suspension, décroissent *en raison inverse du carré de la vitesse*. Tant que l'on s'est contenté de faire rouler le matériel en service depuis quelques dizaines d'années (locomotives de rapides à vapeur ou électriques, voitures métalliques à bogies) à des vitesses maximum de 130 km/h, ou exceptionnellement de 140 km/h sur quelques portions de lignes où la voie présentait de bonnes qualités de tracé et d'armement, la stabilité est restée satisfaisante, le confort physiologique un peu moins. Mais le problème est tout autre lorsqu'il s'agit d'adapter une voie existante, même en excellent état d'entretien, à la circulation de trains tracés de bout en bout à des vitesses de pleine voie de 160 km/h, ce qu'on verra sous peu d'années et, ultérieurement à 180 et même 200 km/h.

bogies, freinage au moyen de tels amortisseurs des mouvements de rotation des bogies de matériel à voyageurs ;

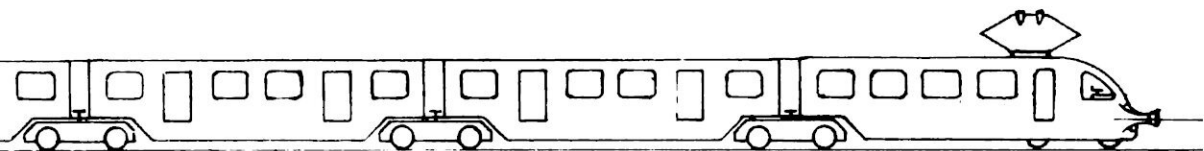
- Interposition de blocs en caoutchouc spécial dits « Silentbloks » en divers points de la chaîne cinématique reliant les essieux à la caisse. Ces dispositions seront considérablement développées sur les futures rames rapides.

LES TRAINS ULTRARAPIDES

Pour les trains tracés à la vitesse de 160 km/h et au delà, deux types de réalisations paraissent *a priori* possibles : soit un train à *engin moteur séparé*, soit un train entièrement *automoteur*.

Les deux solutions sont envisagées ; la deuxième paraît mieux convenir pour les vitesses les plus élevées, 180 km/h et plus ; elle s'adapte d'ailleurs particulièrement bien aux grandes relations sur artères électrifiées.

SCHÉMA D'UNE RAME AUTOMOTRICE MONTÉE SUR BOGIES D'ARTICULATION



LES ENGINES DE TRACTION

L'engin moteur peut faire appel à l'un quelconque des modes de traction actuellement connus : à vapeur, électrique, diesel-électrique, voire même à turbine à gaz. Le cas de la vapeur a déjà été développé page 26.

La théorie et l'expérience ont montré que, pour conserver une bonne stabilité aux grandes allures requises, le type d'engin moteur monté exclusivement sur bogies est préférable au type à châssis rigide encadré d'essieux directeurs (bogies ou bissels). C'est vers le type à bogies moteurs que la S. N. C. F. oriente ses études pour la réalisation de l'avenir.

La recherche d'une bonne stabilité impose de plus aux futures machines de satisfaire à un certain nombre de conditions :

— Prépondérance du poids de la caisse sur le poids total des bogies ;

— Liberté de manifestation des oscillations de roulis de la caisse (autour d'un axe longitudinal) ; valeur élevée, de l'ordre de 1 à 2 secondes, de la période de ces oscillations ;

— Amortissement « dose » des oscillations de diverses natures : roulis, rotation des bogies, etc.

— Limitation à des valeurs prédéterminées des efforts transversaux exercés par les essieux sur la voie.

Ces conditions paraissent d'ores et déjà réalisables, grâce en particulier aux progrès de la construction mécanique et électrique et à la mise au point récente d'amortisseurs hydrauliques spécialement adaptés à la technique ferroviaire.

LES RAMES

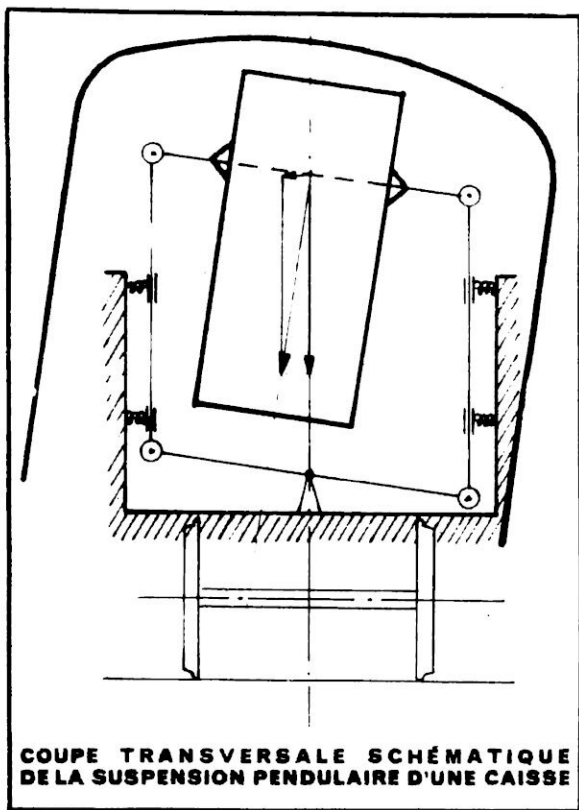
Quant aux rames, remorquées ou automotrices, qui sont mises à l'étude, elles seront, bien entendu, constituées de véhicules exclusivement montés sur bogies. Deux solutions seront concurremment adoptées pour leur constitution, suivant les applications : soit, sous la forme classique, association de voitures montées chacune sur deux bogies, soit succession de caisses articulées les unes aux autres par leurs extrémités contiguës, reposant au droit de chaque point d'articulation sur un seul bogie. Toutes les choses étant égales par ailleurs, notamment le nombre total de places offertes, la deuxième solution offre, par rapport à la première, des avantages d'allègement et de diminution de la résistance à l'avancement qui la rendent

préférable pour les réalisations destinées aux relations aux plus grandes vitesses envisagées : 180 km/h et au delà.

C'est dans l'étude de ces rames qu'on mettra en œuvre, pour la première fois en France, quelques dispositions ingénieuses tout à fait originales destinées à contrebalancer les effets nuisibles et gênants des *oscillations de lacet* et de la *force centrifuge* dans les courbes.

LES OSCILLATIONS DE « LACET »

On sait ce qu'on entend, en langage ferroviaire, par oscillations de lacet : ce sont des mouvements alternatifs, de caractère entretenu, caractérisés par le cheminement transversal des essieux entre les deux files de rails et, corrélativement, par la rotation alternative des bogies autour de leurs pivots. Ces oscillations ne se manifestent qu'à partir d'une certaine vitesse ; sur le matériel à bogies du type classique, elles sont, en général, peu perceptibles à 120 km/h, mais leur



COUPE TRANSVERSALE SCHÉMATIQUE DE LA SUSPENSION PENDULAIRE D'UNE CAISSE

amplitude croît très vite quand la vitesse augmente ; elles arriveraient, dans le domaine des grandes vitesses qui est notre objectif, à compromettre la stabilité du matériel et à incommoder sérieusement les voyageurs, soumis dans leurs compartiments à un « tamisage » intensif, si l'on ne se préoccupait pas de les étouffer. Plusieurs moyens s'offrent à nous pour remplir ce but ; on peut, tout d'abord, faire appel à l'utilisation d'amortisseurs hydrauliques. On peut encore *asser-vir* le bogie à l'aide d'un dispositif approprié. Le but de ce dernier est de réaliser l'orientation automatique du bogie autour de son pivot, de telle sorte que, en alignement comme en courbe, les axes des essieux soient toujours perpendiculaires à la voie.

On peut enfin remplacer le bogie du type classique par des trains de roues jouant le même office, mais de conception différente, sur lesquels les oscillations de lacet n'ont pas tendance à se manifester, même aux grandes allures.

LA FORCE CENTRIFUGE

C'est également aux très grandes vitesses que se manifestent avec le plus d'intensité les effets de la force centrifuge dans les courbes. Si, grâce à certains artifices (dévers

de la voie, abaissement du centre de gravité des caisses), on peut, sans peine, parvenir à leur ôter toute nocivité vis-à-vis de la stabilité, il n'en est pas de même quant aux mesagres physiologiques qui en résultent.

Sur des voitures ordinaires à bogies, dont les caisses sont, elles aussi, soumises à la force centrifuge, le mode de suspension des caisses est tel que ces dernières tendent, à grande vitesse et malgré le dévers, à se redresser, alors que la « verticale apparente », résultant du poids et de la force centrifuge, tend à prendre de plus en plus d'inclinaison sur la verticale réelle. Il venait donc naturellement à l'idée de suspendre les caisses de voitures où sont installés les voyageurs en un point suffisamment élevé pour que, sous l'effet combiné de la pesanteur et de la force centrifuge, elles prennent d'elles-mêmes l'inclinaison de la verticale apparente : ce système, apparenté si l'on veut à celui de certains manèges de foire, est désigné sous le terme de suspension pendulaire des caisses de voitures ou d'automotrices. Expérimenté depuis peu d'années sur quelques voitures aux Etats-Unis, ce principe sera mis en œuvre sur certaines des rames à l'étude

Pour répondre aux nombreuses demandes de nos lecteurs concernant les NUMÉROS HORS-SÉRIE, nous précisons que :

**L'ARTILLERIE ATOMIQUE
est complètement épuisé**



L'AVIATION

**peut être envoyé franco contre 120 francs
(100 francs pour les abonnés) • Compte courant postal : 91-07 PARIS**

SCIENCE ET VIE

Affranchissement simple :

France et Col. . 300 fr. — Étranger. 450 fr.

Recommandé :

France et Col. . 400 fr. — Étranger. 600 fr.

Compte de chèques postaux : PARIS 91-07

Administration, Rédaction : 5, RUE DE LA BAUME, PARIS (VIII^e) Tél. : ÉLY. 26-69

Le Charbon dans l'électrotechnique

Quelques réalisations de la Société LE CARBONE-LORRAINE
adoptées par la S. N. C. F. :

★ **PILES « AD ».** — Piles électriques les plus modernes qui ont pour base le couple classique charbon-zinc, mais dont l'électrode positive est constituée par un aggloméré à dépoliarisation par l'air et l'électrolyte par une solution de soude immobilisée.

En raison de leur capacité élevée (1 000 à 2 500 W/h), leur constance de tension et leurs excellentes qualités de conservation, ces piles sont utilisées par la S. N. C. F. pour l'alimentation des installations de signalisation : circuits de voie, éclairage des signaux mécaniques, blocks automatiques lumineux à éclairage par approche.

★ **BAGUES AUTOLUBRIFIANTES.** — Ces pièces, en bronze poreux imprégné d'huile, en bronze ou en laiton graphités, sont utilisées, entre autres applications, sur des appareils de signalisation. Leur emploi pour des mouvements intermittents (oscillants ou à révolution) dispense de tout entretien.

★ **CONTACTS CARBO-ARGENT.** — Sont utilisés comme pièces de contact dans les relais de signalisation. L'avantage de tels contacts est de posséder des qualités anti-arc, de ne pas se souder facilement à la lamelle opposée, de présenter une résistance au contact assez faible et une résistance à l'usure très grande.

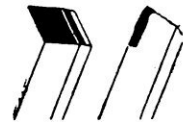
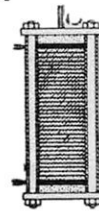
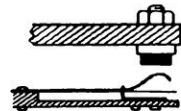
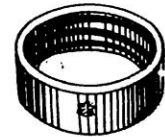
★ **FROTTEURS EN CHARBON POUR ARCHETS DE PANTOGRAPHES.** — L'emploi de telles bandes qui glissent presque sans bruit sur la caténaire, limite au maximum l'usure de celle-ci. En polissant la caténaire, elles y déposent un épilamen graphoïde. Autre avantage, elles suppriment presque entièrement la production des parasites haute fréquence, si gênants pour la T. S. F.

★ **ANNEAUX EN CHARBON POUR RHÉOSTATS.** — Ces anneaux, disposés en empilage, sont utilisés comme rhéostats dans des régulateurs de tension, de génératrices d'éclairage des trains. La variation de la résistance de ces rhéostats est obtenue par la variation de la pression effectuée sur l'empilage des anneaux qui les constituent.

★ **CARBURES MÉTALLIQUES DURS « CARBORAM ».** — La Société LE CARBONE LORRAINE s'est également spécialisée dans la fabrication des carbures métalliques.

Les perfectionnements apportés à ses qualités CARBORAM, l'emploi de techniques nouvelles et, enfin, la possibilité de réaliser des outillages plus perfectionnés ont permis d'étendre considérablement le champ d'utilisation des carbures métalliques.

TOUS RENSEIGNEMENTS CONCERNANT NOS FABRICATIONS
SONT ADRESSÉS GRACIEUSEMENT SUR DEMANDE



37 à 41, rue Jean-Jaurès - GENNEVILLIERS (Seine)

COMPAGNIE INDUSTRIELLE DE MATÉRIEL DE TRANSPORT

Société anonyme au capital de 31.500.000 francs

Siège social :

223, rue Saint-Honoré, PARIS

R. C. Seine 129.259

Construction de Matériel Roulant
— pour Chemins de fer et Tramways —
VOITURES - WAGONS

*Une des trois rames Michelin sera construite
en alliages légers par la C. I. M. T., dans
— ses usines de la Passerelle, à Bordeaux —*

USINES :

ATELIERS DE LA RHONELLE, à Marly-lès-Valen-
ciennes (Nord).

ATELIERS DE MANTES, concessionnaires des Ateliers
des Chemins de fer de l'État, à Mantes (S.-et-O.).

ATELIERS DE LA PASSERELLE } BORDEAUX

ATELIERS DES DOCKS } (Gironde)

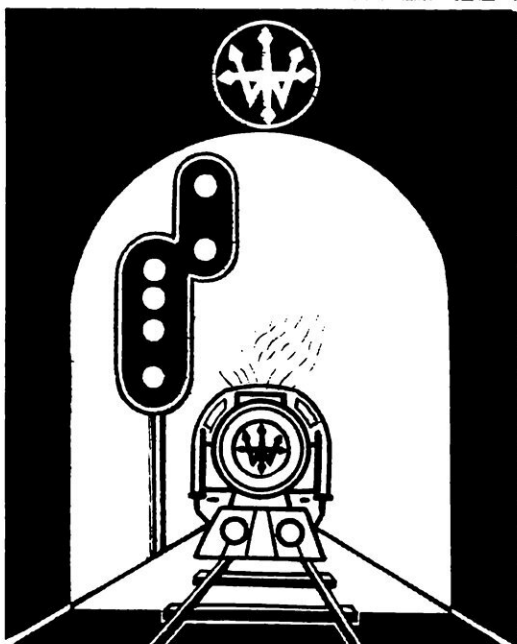
ATELIERS DE SAINT-PIERRE-DES-CORPS, conces-
sionnaires des Ateliers de la Région Sud-Ouest, à
Saint-Pierre-des-Corps (I.-et-L.).

HOUILLÈRES DU BASSIN DES CÉVENNES

DIRECTION
GÉNÉRALE : 35, rue Soubeyranne
Tél. 815 **ALÈS** (Gard)

•
HOUILLES et BRIQUETTES
POUR LOCOMOTIVES
CHARBONS DE FORGE
ANTHRACITES - OVOÏDES

•
FOURNISSEURS de la S. N. C. F.



C^{IE} DES FREINS ET SIGNAUX
WESTINGHOUSE

UN BON PLACEMENT

pour vos
disponibilités

toutes échéances
et toutes coupures

BONS DU TRÉSOR

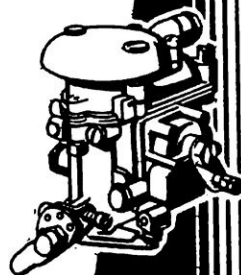
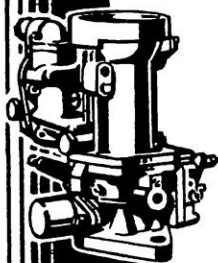
Qui veut voyager loin
monte un carburateur SOLEX
sur sa voiture

Parce qu'il lui assure
Le minimum de consommation
Le maximum de rendement
Le maximum de sécurité

Documentez-vous auprès de

SOLEX

190, Avenue de Neuilly, Neuilly-sur-Seine
Téléphone : Maillot 63-71 (20 lignes)



CHARIOTS



VOITURES



CAMIONNETTES
ELECTRIQUES



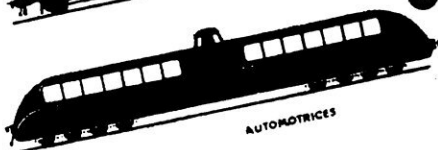
CAMIONS
ELECTRIQUES



LOCOMOTIVES
DE MINES



LOCOS
DE MANŒUVRE



AUTOMOTRICES

Tous!

avec batteries

TUDOR

"CUIRASSÉ"

ou "Ironclad"

Siège Social: 16 rue de la Baume - Paris VIII^e
20 centes d'entretien

*La SNCF choisit toujours
la "QUALITÉ"*



**PISTONS
SEGMENTS
SOUPAPES**

MONOPOLE-POISSY

53, Boulevard Robespierre - POISSY (S.-et-O.)

Téléphone: Saint Germain 428 et Poissy 76

Magasin de Vente: 15, R. Chaptal, LEVALLOIS, PER. 30-60

G. Massenet

• SILEC •

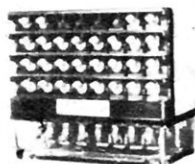
SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE LIAISONS ÉLECTRIQUES

64 bis, RUE DE MONCEAU - PARIS-8^e

Tél. : LABorde 67-53+

**APPAREILS DE SIGNALISATION
POUR CHEMINS DE FER**

**CABLES DE SIGNALISATION
DE TÉLÉPHONIE - D'ÉNERGIE HT et BT**



**RELAIS DE SÉCURITÉ
COURANT CONTINU
ET ALTERNATIF**

**PÉDALES
ÉLECTROMÉCANIQUES
"CAUTOR et FORFEX"**



**PARAFODRES, SELFS
RÉPÉTITION DES SIGNAUX SUR LES LOCOMOTIVES
ÉCLAIRAGE DES LOCOMOTIVES PAR TURBO-ALTERNATEUR**

Compagnie Française THOMSON-HOUSTON

S. A. au Capital de 440.000.000 de francs

R. C. 60.343

**DÉPARTEMENT SIGNAUX
et ENCLENCHEMENTS :**

99, rue Leblanc - PARIS-XV^e

- ★ Toute la signalisation électrique pour chemins de fer
- ★ Redresseurs de courant
- ★ Installations les plus simples, les plus économiques, les plus sûres
- ★ Promoteur des Postes d'Aiguillage à télécommande avec formation électromécanique des itinéraires

Entreprise FROT à MEAUX (S.-et-M.)



**TRAVAUX PUBLICS ET PRIVÉS
TERRASSEMENTS**



**MATÉRIEL SPÉCIAL
pour transport des déblais
à grande distance**

SCHNEIDER & C^{IE}

SIÈGE SOCIAL ET DIRECTION GÉNÉRALE : 42, RUE D'ANJOU - PARIS-VIII^e

LOCOMOTIVES DE TOUTES PUISSANCES

A VAPEUR, ÉLECTRIQUES
DIESEL-ÉLECTRIQUES ET A TRANSMISSION MÉCANIQUE

TENDERS

APPAREILS DE VOIE EN ACIER AU MANGANÈSE

MATERIEL pour L'ÉLECTRIFICATION des CHEMINS de FER

INSTALLATIONS COMPLÈTES D'USINES HYDRO-ÉLECTRIQUES
PYLONES pour LIGNES de TRANSPORT d'ÉNERGIE, CONDUITES FORCÉES...

PONTS ET CHARPENTES DIVERSES

PONTS FIXES ET MOBILES - OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ
RÉSERVOIRS A EAU, ESSENCE OU MAZOUT, TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL...

MÉTALLURGIE - CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES
CONSTRUCTIONS NAVALES - TRAVAUX PUBLICS

ENTREPRISE

DESCHIRON

S. A R. L. AU CAPITAL 20.000.000 DE FRANCS

126, boulevard Auguste-Blanqui, PARIS (13^e)

Téléphone : POR 11.95

TRAVAUX PUBLICS

GROS TERRASSEMENTS MÉCANIQUES -:- BÉTON ARMÉ
TRAVAUX SOUTERRAINS -:- TRAVAUX EN RIVIÈRE
VOIES FERRÉES -:- MÉTROPOLITAIN -:- OUVRAGES D'ART
ROUTES ET AUTOROUTES -:- TERRAINS D'AVIATION
BATIMENTS INDUSTRIELS -:- ÉGOUTS -:- FONDATIONS

MORS

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 20.000.000
11 RUE PETIT-CLICHY (SEINE)

*Signalisation
électrique
pour chemins de fer*

POSTES ÉLECTRIQUES. PRÉLÈVEURS DE COURANT ET D'AIGUILLES
RELAIS. VERROUS. CONTRÔLEURS. PÉDALES, ETC.

SOCIÉTÉ D'ÉTUDES

ET DE

CONSTRUCTION D'OUTILLAGE

Société anonyme au capital de 2.000.000 de francs

■
Siège social :

8, rue Vézelay, PARIS (8^e)

==== Tél. : LAB. 24-64 ====

■
DÉGARNISSAGE ET ÉPURATION
MÉCANIQUES DES VOIES FERRÉES

ÉTABLISSEMENTS

Antoine BESSON

Téléphone :
EUR. 36-36

82, BOUL. HAUSSMANN, PARIS

Téléphone :
EUR. 36-36

—◆◆—
Usines

à *Montereau (S.-et-M.)*

à *Montluçon (Allier)*

———— Fournisseurs à la S. N. C. F. ————

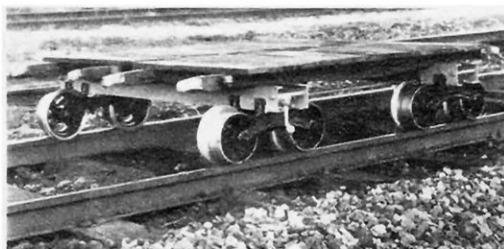
Pour constructions métalliques -:- Supports de caténaires
Pylônes -:- Matériel de signalisation -:- Pièces diverses

LES FILS D'ALBERT COLLET

41, RUE CARDINET
PARIS (XVII^e)

TÉL. : CARNOT 80.30 à 80.33
USINES A ARGENTEUIL (Seine-et-Oise)

●
ÉQUIPEMENT MÉCANIQUE POUR
L'ENTRETIEN DES VOIES FERRÉES
TIREFONNEUSES
BOURREUSES -- ENTAILLEUSES



**DIPLORYS - TRIPLORYS
TRACTEUR RAIL-ROUTE**

LEVASSEUR



fournit ses PEINTURES
et VERNIS
à la S. N. C. F.

**Il peut également
vous satisfaire**



Usine moderne à DRAVEIL (S.-et-O.)

MAGASINS de VENTE :

PARIS - 22, boul. des Filles-du-Calvaire

LYON - 19 A, rue Louis-Loucheur

USINE et MAGASIN à

BRUXELLES-ANDERLESCHT

68 - 70, rue du Transvaal

SAINT-GOBAIN

FONDÉE EN 1665

TOUS PRODUITS CHIMIQUES INDUSTRIELS



- ◆ Acides Sulfurique
et Chlorhydrique
pour décapage
- ◆ Acide Sulfurique Spécial pour
accumulateurs
- ◆ Acides purs pour analyses
- ◆ Carbonate de Soude
- ◆ Phosphate trisodique
- ◆ Carbure de Calcium
- ◆ Sultrilanes pour dégraissage
- ◆ Silicate de Soude
- ◆ Gels de silice, etc.



PRODUITS CHIMIQUES AGRICILES



DIRECTION COMMERCIALE
DES PRODUITS CHIMIQUES :

17, r. de Surène, PARIS-8^e

ANJOU 79-00

Établissements **SAXBY**

17, rue de Lancry, PARIS (X^e)

Téléphone : NORD 97-88

●
Matériel de

SIGNALISATION

mécanique et électrique
pour voies ferrées

●
*Appareils d'enclenchement mécaniques
électro-mécaniques et électriques
Transmissions rigides et funiculaires
Moteurs d'aiguilles - Signaux lumineux
Relais - Freins de voie, etc.*

THERMOMÈTRE INDUSTRIEL



Appareil robuste, insensible aux chocs et aux vibrations.

Étanche aux gaz et aux liquides.

THERMOSTAT



Muni de contacts électriques réglables sur toute l'échelle de graduation.

Fonctionne sous tous courants.

RÉGULATEUR-INDICATEUR

GALTIER ET C^{IE}

20, rue de La Condamine, PARIS (17^e)

Tél. : MAR 55-47

INCOMBUSTIBILITÉ

S. A. R. L.

Maison fondée en 1887

Siège social : 139, rue Lafayette, **PARIS (X^e)**

Téléphone TRUdaine 17-90 et 43-83

*La protection générale contre l'incendie
par nos **EXTINCTEURS***

**Excelsior - Oméga - Stop - Electric
Hermétic - Vigil**

de tous modèles, à main, à bretelles
sur roues et automatiques
de toutes capacités et pour tous usages
homologués et adoptés par le Syndicat des
Compagnies d'Assurances
et par le Service de l'Armée
par l'**IGNIFUGEAGE**
produits ignifuges pour bois, étoffes, décors
et peintures ignifuges.

Références :

*Fournisseurs de l'Armée Française
et de toutes les grandes Administrations*

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS DU CENTRE

Société anonyme au capital de 22.000.000 de frs

●
Siège social et ateliers :

Rue du Pré-la-Reine

CLERMONT-FERRAND (P.-de-D.)

Téléphone 67-64

●
**MATÉRIEL ROULANT
VOITURES**

WAGONS

TENDERS

DAHER et Cie

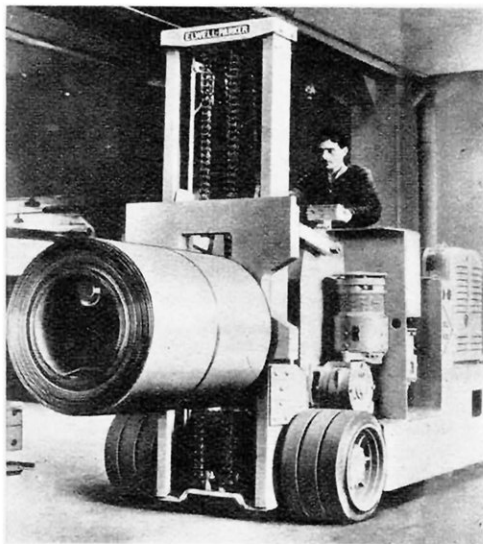
ARMATEURS
MANUTENTIONNAIRES
TRANSITAIRES

•
30, cours P.-PUGET
MARSEILLE

•
Spécialistes de la Manutention
et du
Transport locomotives et wagons

Sté APPELVAGE

78, rue Vitruve, PARIS (20^e) Roq. 95-50
R. C. Seine 107.614



**CHARIOTS & TRACTEURS
ÉLECTRIQUES**

ENTREPRISE DROUARD FRÈRES

Société Anonyme au Capital de 22.440.000 Francs - Maison fondée en 1855

■ ■
TRAVAUX PUBLICS
VOIES FERRÉES
ÉLECTRIFICATION

■ ■
39, RUE DU COLISÉE

Tél. : Balzac 37-40

PARIS-8^e

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ENTREPRISES

Société anonyme au capital de 273 900.000 francs

56, rue du Faubourg-Saint-Honoré
PARIS (8^e)

Registre du commerce Seine n° 37.997

ENTREPRISES GÉNÉRALES EN FRANCE
AUX COLONIES ET A L'ÉTRANGER

Construction et équipement d'usines hydro-électriques
et de centrales thermiques

Réseaux de transport d'énergie à haute tension

Électrification de chemins de fer
et tramways - Électrobus

Réseaux d'électrification rurale

Usines, ateliers et bâtiments industriels

Cités ouvrières - Édifices publics et particuliers

Assainissement des villes - Adductions d'eau

Routes - Chemins de fer - Tramways

Ouvrages d'art

Travaux en rivière et à la mer

Société LUCEAT

Société Anonyme au Capital de 20.000.000 de francs

Siège Social, Bureaux et Usines :

Route de Paris - **SENS** (Yonne)

Téléphone : 580 et 695 SENS

Constructeurs Spécialistes
du Matériel d'Équipement
des Caténaires
S. N. C. F.

Fonderie

pièces coulées en coquille et au sable

MÉTAUX LÉGERS

Aluminium - Alpax
APM - AG 3

BRONZES

Bronzes d'Alu
B₁ - B₂ - B₃

- ◆ Bureaux d'Études
- ◆ Laboratoires d'essais mécaniques
et électriques

CH. LEHONNIER,
95



*Contre la pluie
et l'humidité...*

ASFEUTROÏD
PROTÈGE EFFICACEMENT
et POUR LONGTEMPS
C'est la couverture
ou le revêtement
le plus ÉCONOMIQUE
En vente chez votre marchand de
matériaux et chez votre Quincaillier



L'ASFEUTROÏD
le feutre asphalté solide

USINE A
MONTSOULT

216, RUE LECOURBE. PARIS 15^e

VOITURES

WAGONS

BRISSONNEAU & LOTZ
6. AV. DE MESSINE . PARIS 8 . TEL. LAB. 89-34

TRANSMISSION
ÉLECTRIQUE
BREVETÉE

TRACTEURS
AUTOMOTRICES

USINES A NANTES & CREIL

CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

Établissements

J. RICHARD-DUCROS

Route de Bagnols, ALÈS (Gard)

Téléphone 68 et 99

R. C. 10.686 ALÈS

●

PONTS - GRANDS OUVRAGES D'ART
PYLONES - CHARPENTES
OSSATURES MÉTALLIQUES
CHAUDRONNERIE
CONSTRUCTION ET RÉPARATION
DE MATÉRIEL ROULANT

BAVOX

12, rue Jean-Jaurès, 12

PUTEAUX (Seine)

Tél. : Longchamp 09.98 et 09.99

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

Recharge de bouteilles de mise en
marche de Moteurs Diesel

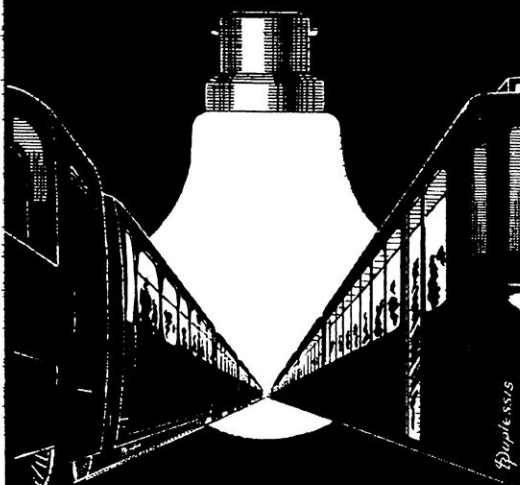
Freins - Peinture pneumatique et
tous autres emplois

Groupes fixes ou mobiles

Moto- ou Électro-compresseur

Pompe à vide 1mm./kg.

**QUE CE SOIT DANS LE MÉTRO
OU EN CHEMIN DE FER**



**LES PETITES
VISSEAUX**

FONT LES GRANDES LUMIÈRES

TRAVAUX PUBLICS

ENTREPRISE **RUVENHORST & HUMBERT**

Siège social :
AVIGNON (Vaucluse)

Bureaux :
PARIS, rue Dupont-des-Loges (7^e)
Téléphone : INV. 36-64
NANCY, 94, avenue de Boufflers
Téléphone 49-26

GROS TERRASSEMENTS
OUVRAGES D'ART — TUNNELS
BÉTON ARMÉ — POSE DE VOIES
CITÉS OUVRIÈRES

SOCIÉTÉ PARISIENNE POUR L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE

Entreprises Générales

ÉLECTRIFICATION des CHEMINS de FER
(Plus de 3.000 km)

TOUS SYSTÈMES (PARISIENNE - INTÉGRAI)
DE SÉCURITÉ FERROVIAIRE
SANS CONTACT MATÉRIEL NI SOURCE DE
COURANT SUR LA VOIE — RÉPÉTITION DES
SIGNAUX SUR LES LOCOMOTIVES - CONTRÔLE
DU CROCODILE — PROTECTION DES
PASSAGES A NIVEAU - COMPTAGE D'ESSIEUX

FOURNITURE & POSE DE VOIES FERRÉES
CONSTRUCTION DE TOUS DÉPÔTS
d'HYDROCARBURES AÉRIENS ou SOUTERRAINS
PUITS - FORAGES - SONDAGES
85, BOUL. HAUSSMANN - PARIS (8^e)
Tél. : ANJou 49-51

TUBAUTO

TOUS les SIÈGES

■
CHEMINS DE FER
AUTORAILS
■

35, rue Gide - LEVALLOIS

C^{ie} DES SURCHAUFFEURS

29, rue de Berri, PARIS

Téléphone : ÉLYsées 40-95
R. C. Seine 173.673

SURCHAUFFEURS CS
POUR TOUS TYPES DE CHAUDIÈRES

COLLECTEURS SÉPARÉS CS
avec RÉGULATEUR MV

ÉLÉMENTS SURCHAUFFEURS
type 5P4

PERTES DE CHARGE TRÈS RÉDUITES
PRESSIONS ÉLEVÉES
TEMPÉRATURE : 400°C ET PLUS

COUDES FORGÉS CS
JOINTS SPHÉRIQUES MOBILES CS

GROUPEMENT
DES
CONSTRUCTEURS FRANÇAIS
DE
LOCOMOTIVES



Société ALSACIENNE de Constructions Mécaniques, 32, rue de
Lisbonne, PARIS.

Compagnie Générale de Construction de Locomotives
BATIGNOLLES-CHATILLON, 45, avenue Kléber, PARIS.

Société Française de Constructions Mécaniques, Anc. Ét^s CAIL,
14, rue Cambacérès.

Compagnie de FIVES-LILLE, 7, rue Montalivet, PARIS.

Société FRANCO-BELGE de Matériel de Chemins de Fer, 5, rue
La Boétie, PARIS.

Compagnie des Forges et Aciéries de la MARINE et HOMÉCOURT,
12, rue La Rochefoucauld, PARIS.

Les Ateliers de Constructions du NORD DE LA FRANCE,
54, avenue Marceau, PARIS.

SCHNEIDER et Cie, 42, rue d'Anjou, PARIS.

CORPET, LOUVET et Cie, 6, rue Gambetta, LA COURNEUVE.



La Soudure
"CONTACT"

*Nouveau procédé
de Soudure à l'Arc
avec les électrodes*

PHILIPS C-18



PHILIPS - INDUSTRIE

PHILIPS S.A. BELGE • 37-39 RUE D'ANDERLECHT BRUXELLES