

SCIENCE
VIE
et
ÉDITION TRIMESTRIELLE N° 73 4 F

CHEMINS DE FER 66

NUMERO HORS SERIE





Dans le train les idées que l'on échange entre gens qui ne se connaissent pas, sont parfois originales et instructives. Lorsque vous voyagez, n'hésitez pas à adresser la parole à vos compagnons de compartiment : souvent vous en tirez profit.

Comment obtenir de votre cerveau un rendement optimum ?

JE montai dans le premier compartiment qui me parut vide, sans me douter qu'un compagnon invisible s'y trouvait déjà, dont la conversation passionnante devait me tenir éveillé jusqu'au matin.

Le train s'ébranla lentement. Je regardai les lumières de Stockholm s'éteindre peu à peu, puis je me roulai dans mes couvertures en attendant le sommeil ; j'aperçus alors en face de moi, sur la banquette, un livre laissé par un voyageur.

Je le pris machinalement et j'en parcourus les premières lignes ; cinq minutes plus tard, je le lisais avec avidité comme le récit d'un ami qui me révélerait un trésor.

J'y apprenais, en effet, que tout le monde possède de la mémoire, une mémoire suffisante pour réaliser des prouesses fantastiques, mais que rares sont les personnes qui savent se servir de cette merveilleuse faculté. Il y était même expliqué, à titre d'exemple, comment l'homme le moins doué peut retenir facilement, après une seule lecture attentive et pour toujours, des notions aussi compliquées que la liste des cent principales villes du monde avec le chiffre de leur population.

Il me parut invraisemblable d'arriver à caser dans ma pauvre tête de quarante ans ces énumérations interminables de chiffres, de dates, de villes et de souverains, qui avaient fait mon désespoir lorsque j'allais à l'école et que ma mémoire était toute fraîche, et je résolus de vérifier si ce que ce livre disait était bien exact.

Je tirai un indicateur de ma valise et je me mis à lire posément, de la manière prescrite, le nom des cent stations de chemin de fer qui séparent Stockholm de Trehörningsjö.

Je constatai qu'il me suffisait d'une seule lecture pour pouvoir réciter cette liste dans l'ordre dans lequel je l'avais lue, puis en sens inverse, c'est-à-dire en commençant par la fin. Je pouvais même indiquer instantanément la position respective de n'importe quelle ville, par exemple énoncer quelle était la 27^{me}, la 84^{me}, la 36^{me}, tant leurs noms s'étaient gravés profondément dans mon cerveau.

Je demeurai stupéfait d'avoir acquis un pouvoir aussi extraordinaire et je passai le reste de la nuit à tenter de nouvelles expériences, toutes plus compliquées les unes que les autres, sans arriver à trouver la limite de mes forces.

Bien entendu, je ne me bornai pas à ces exercices amusants et, dès le lendemain, j'utilisai d'une façon plus pratique ma connaissance des lois de l'esprit. Je pus ainsi retenir avec une incroyable facilité, mes lectures, les airs de musique que j'entendais, le nom et la physionomie des personnes qui venaient me voir, leur adresse, mes rendez-vous d'affaires, et même apprendre en quatre mois la langue anglaise.

Si j'ai obtenu dans la vie de la fortune et du bonheur en quantité suffisante, c'est à ce livre que je le dois, car il m'a révélé comment fonctionne mon cerveau.

Sans doute désirez-vous acquérir, vous aussi, cette puissance mentale qui est notre meilleur atout pour réussir dans l'existence ; priez alors **FL BORG**, l'auteur de la méthode, de vous envoyer son petit ouvrage documentaire «Les Lois éternelles du Succès» dont une nouvelle édition vient de paraître en français. Il le distribue gratuitement à quiconque veut améliorer sa mémoire. Voici son adresse : **FL Borg**, chez Aubanel, 5, place Saint-Pierre à Avignon. Ecrivez-lui tout de suite, avant que la nouvelle édition soit épuisée.

E. DORLIER

après le Salon de l'Auto 1965 :

**OUI
À L'AUTOMATISME
DE LA TRANSMISSION
AVEC
CONVERTISSEUR
DE COUPLE**

EDIP 1244

En construisant des convertisseurs hydrauliques débrayables pour véhicules équipés de boîtes de vitesses classiques, la Société Française du FERODO adapte aux voitures européennes l'automatisme des automobiles américaines.

SOCIÉTÉ ANONYME FRANÇAISE DU

FERODO

SI LES TRAINS 66! LES MODÈLES RÉDUITS!
vous intéressent
VENEZ AU PÉLICAN
le magasin spécialisé
où vous trouverez TOUS LES TRAINS 1966
du monde entier



Le prototype de cette belle locomotive Fleischmann est une loco diesel électrique A1A A1A; vitesse maximum 130 km/h; puissance environ 3000 HP; poids en ordre de marche 106 t. **Prix 82,50**

Modèle de la locomotive diesel (A1A) (A1A) série 68 de la S.N.C.F., 6 essieux. Longueur hors tampons: 208 mm.

Châssis et carrosserie en métal injecté. Entraînement par engrenages sur les 6 roues du bogie-moteur. Pour renforcer sa puissance de traction, 2 roues sont pourvues de bandages en plastique - Commande à distance pour la marche avant ou arrière - 3 phares de chaque côté s'inversant automatiquement suivant le sens de la marche.

Avec Fleischmann vous êtes sur la bonne voie!



Album illustré en coul. Fleischmann 2 F.

Stock permanent des marques:

Fleischmann - Hornby - Jouef - Lima
Märklin - Rokal - Rapido - Egger - Bahn
etc.

CONSTRUISEZ FACILEMENT UN BATEAU NAVIGABLE

Nous vous offrons toute la gamme des boîtes de construction NAVIG. (Blocs AV et AR pré-fabriqués, pièces numérotées, grande facilité de montage.) Catalogue sur demande. Remorqueur de haute mer. Série Abeille. Longueur: 1 m. Prix: 95 F. Boîtes de construction de 33 F à 95 F. Dépliant sur demande.



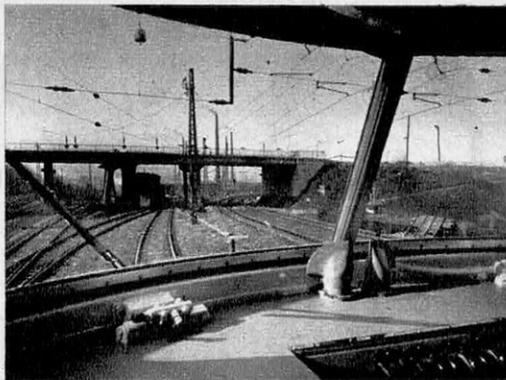
Prix 96 F

Dans nos autres rayons. Tous les Jeux. Tous les jouets scientifiques.

AU PÉLICAN

43 - 45, passage du Havre
Tél. 874-20-93 PARIS
Métro St-Lazare

Livraisons - Expéditions - Réparations



**visibilité maximum
par tous les temps.
protection absolue
contre les projectiles.
pare-brise chauffants.**

1260 51

triplex therglas

8, Allée d'Effiat - LONGJUMEAU
Tél. : 928.92.83



CORNIÈRES PERFORÉES

CHEVRON

Pour réaliser soi-même TOUS AGENCEMENTS :

Etablis,	Tabourets,
Tables,	Supports,
Casiers,	Cloisons,
Rayonnages,	Echelles, etc...

Montage par simple boulonnage.
Entièrement démontables et récupérables.

expédition directe en paquets de 12 kgs
environ. Contenant :

10 cornières 30 x 30 x 1,5 en 2 mètres
de long, émaillées gris bleu.
75 boulons, écrous, rondelles cadmiés.
Une notice d'utilisation.

PRIX : 89,00 F le paquet Franco

Adressez le bon ci-dessous à :

LA CORNIÈRE CHEVRON
30, Rue Galilée - PARIS C.C.P. 6300-07 PARIS

Veillez m'adresser :
..... paquets de Cornières CHEVRON à 89 F.

Nom
N° Rue
Ville Gare

Je paierai contre remboursement à réception.
Je joins mon règlement inclus.
— Biffer la mention inutile.

S. V.

VOUS AUREZ VOTRE

situation assurée

QUELLE QUE SOIT
VOTRE INSTRUCTION
préparez un

DIPLOME D'ETAT

C.A.P. B.E.I. - B.P. - B.T.
INGENIEUR

avec l'aide du
**PLUS IMPORTANT
CENTRE EUROPEEN
DE FORMATION
TECHNIQUE**

PAR CORRESPONDANCE

Méthode
révolutionnaire (brevetée)
Facilités : Alloc. familiales,
Stages pratiques gratuits
dans des Laboratoires
ultra-modernes, etc...

NOMBREUSES REFERENCES
d'anciens élèves et des
plus importantes entrepri-
ses nationales et privées

DEMANDEZ LA BROCHURE GRATUITE A I I à :

en devenant
TECHNICIEN

dans l'une de ces

*branches
d'avenir*

lucratives et
sans chômage

ELECTRONIQUE - ELECTRICITE -
RADIO - TELEVISION - CHIMIE -
MECANIQUE - AUTOMATION - AU-
TOMOBILE - AVIATION - ENERGIE
NUCLEAIRE - FROID - BETON AR-
ME - TRAVAUX PUBLICS - CONS-
TRUCTIONS METALLIQUES, ETC.



**ECOLE TECHNIQUE
MOYENNE ET SUPERIEURE**

36, rue Etienne-Marcel - Paris 2°

Pour nos élèves belges :

BRUXELLES : 22, Av. Huart-Hamoir - CHARLEROI : 64, Bd. Joseph II

Enseignement spécialisé
en
ELECTRONIQUE
&

RE

ENERGIE ATOMIQUE

INGENIEUR ELECTRONICIEN	IEN-0
INGENIEUR TECHNICIEN EN ELECTRONIQUE ET AUTOMATISME INDUSTRIELS	ITE-0
AGENT TECHNIQUE ELECTRONICIEN <i>(Cours orienté exclusivement sur les circuits à tubes)</i>	ELN-0
AGT TECHN. SPECIALISE EN SEMI-CONDUCTEURS ET TRANSISTORS <i>(et circuits Industriels)</i>	SCT-0
AGT TECHN. SEMI-CONDUCTEURS, TRANSISTORS, TUBES A VIDE, MESURES ELECTRONIQUES	SCV-0
<hr/>	
INGENIEUR EN ENERGIE ATOMIQUE	IEA-0
AGENT TECHNIQUE EN ENERGIE ATOMIQUE <i>Hygiène des Radiations</i>	TAH-0

Programme détaillé de ces cours par correspondance adressé sans engagement.
Préciser le n° et joindre 2 timbres pour frais d'envoi.

INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL
Section A, 69 rue de Chabrol - PARIS X^e - PRO. 81-14

Ces cours d'Energie Atomique et d'Electronique sont diffusés
au BENELUX en exclusivité par

BELGICATOM - 31, rue Belliard - BRUXELLES 4 - Tél (02) 11.18.80

POUR VOUS CETTE DÉCOUVERTE PEUT ÊTRE UNE RÉVÉLATION INESPÉRÉE

Une synthèse de 12 métaux rayonnants peut agir sur les êtres vivants avec une intensité spectaculaire

POUR QUOI A-T-ON INVENTÉ VITAFOR ?

Plusieurs savants ont établi que plusieurs métaux scientifiquement dosés, et fortement aimantés, émettent des ondes rayonnantes et pouvaient agir avec plus ou moins de puissance, selon le caractère de l'individu, en tant que régulateur de circuits électriques qui sillonnent le corps humain. De ces constatations est né le procédé Vitafor (puissance 13/20000 gauss), dont l'utilisation peut apporter à ses utilisateurs de multiples bienfaits : sensation de bien-être, de détente, d'apaisement, suppression de l'insécurité, de la timidité, regain de vitalité, de dynamisme et de confiance en soi, action stimulante, stabilisation des variations d'humeur, assurance d'un meilleur équilibre physique et mental, grâce au rétablissement du rythme magnétique individuel.



Ces hommes et ces femmes décrivent

leur étonnante transformation



CE SYMPATHIQUE OFFICIER NOUS ÉCRIT :
"J'atteste que votre croix est d'une grande utilité et j'autorise l'Institut ACTI-VITA à citer mes marques de satisfaction."



MIEUX DORMIR - Depuis 15 jours que je la porte, je dois vous dire que j'ai retrouvé le calme. Je constate aussi que je dors nettement mieux. (Mme S... à Amiens, 1-3-64)



LA CROIX À LAQUELLE ON RESTE FIDÈLE - Je joins ma photo sur laquelle vous pouvez voir ma croix au pouvoir bienfaisant. Je vous suis profondément reconnaissant. (Mme M... à Dour, Belgique, 5-7-64)



SOULAGEMENT - Je viens vous remercier de votre croix. Je me sens mieux, je puis marcher et sortir seule. Je suis alerte et plus joyeuse. (Mme L... à Feyzin, 27-7-64)



REMÈDE AU DÉSEPOIR - J'avais décidé d'en finir avec la vie. Depuis que j'ai ce joyeux précieux, je suis transformée, à tel point que dans mon entourage les gens en sont surpris. (Mme C... à Villebois, 27-7-64)



BOUTE-EN-TRAIN D'AUTREFOIS - Depuis que j'ai ma croix, on peut dire que tout a changé pour moi ! Je suis redevenue le boute-en-train que j'étais autrefois. Personne n'en revient. (Mme P... à Equeurdreville, 1-3-64)

"Je suis ravie de cette merveille... Depuis que je la porte je me sens tellement mieux, plus légère, c'est un regain de jeunesse inattendu. Les petites misères disparaissent comme par enchantement. Aussi ne manquerais-je pas d'en parler à mon entourage affligé de fatigue, d'insomnie, etc..." (Lettre n° 30-5 de Madame A. F... à BIENNE (Suisse) du 11-3-64)
"Elle me produit un changement miraculeux... Je viens vous remercier pour les résultats que je viens d'obtenir grâce à la Croix

Magnétique... J'étais dans un état de nervosité et de fatigue extrême et je crois en son magnétisme car je ressens en moi une force que je n'avais pas avant." (Lettre n° 31-2 de Madame G... à LA ROCHE-SUR-YON du 13-3-64)

"Je suis nettement moins timide... Voici quelques semaines que je la possède et je suis nettement moins timide et je dors mieux. J'étais particulièrement nerveuse ce qui me provoquait des crises... depuis que je la possède votre croix je n'ai plus rien ressenti." (Lettre n° 30-9 de Monsieur R. T... à BUNANGE du 12-3-64)

"Je me sens vraiment transformée... J'ai retrouvé mon allant et surtout une gaieté qui avait disparu. Je suis pleine de courage et beaucoup moins fatiguée, j'ai un emploi qui demande beaucoup de démarches; or être au volant d'une voiture toute la journée dans Paris ça n'est pas un plaisir. Je viens donc vous remercier profondément." (Lettre n° 30-10 de Madame G... à PARIS 12^e du 13-3-64)

"Je vous remercie pour les bons résultats... Je vous fais part de mon enthousiasme concernant la Croix Magnétique... Autrefois je vivais dans des difficultés sans pouvoir m'en sortir; depuis que je la porte tout s'est amélioré et tout va déjà mieux." (Lettre n° 24-1 de Monsieur D. N... Centre médical du TCHAD du 18-1-63)

"Un de mes docteurs espère que cette croix peut m'aider... J'ai une grande confiance dans cette croix... même un de mes docteurs espère que cette croix peut m'aider... Aussitôt reçu l'avis de Douane de NEW-YORK j'ai sauté dans un taxi, pour aller chercher ma croix; je l'ai portée immédiatement... maintenant je n'ai plus le cafard, je me sens transformée petit à petit." (Lettre n° 31-5 de Madame J. F... à NEW-YORK du 17-3-64)

"Cela me donne de la force... Je vais prendre 85 ans et je suis très contente de la croix, cela me donne de la force et personne ne veut croire que j'ai cet âge car il faut faire vite pour me suivre." (Lettre n° 32-10 de Madame G... à TROUVILLE du 30-3-64)

"Je me sens beaucoup plus confiant en moi... Plus confiant en moi-même car j'étais assez timide avant de lire votre livre et porter la croix. Je vous en remercie donc de tout cœur." (Lettre n° 27-10 de Monsieur F. L... à VERSAILLES du 16-2-64)

"Domage que je ne l'aie pas su plus tôt... Moi qui n'y croyais pas bien, maintenant j'en suis toute satisfaite. J'étais une grande nerveuse et ma croix m'a bien calmée et bien changée. Mes nuits ne sont plus agitées, je repose bien et je suis de bonne humeur toute la journée et plus gaie; je suis très contente et heureuse." (Lettre n° 27-8 de Madame G... à GRENOBLE du 13-2-64)

"Je vous félicite de tout cœur... J'en suis très satisfaite... je suis très au courant de cette science des métaux ayant lu les ouvrages du Docteur LEPRINCE et LAKHOSKY... Je vous félicite donc de tout mon cœur." (Lettre n° 27-5 de Monsieur L. L... à CHATOU du 24-11-63)

"Je chante, la vie m'est rendue joyeuse... Je ressens en moi un bien-être que je n'avais plus depuis longtemps. J'étais au bord de la dépression, or tout est disparu, je chante, la vie m'est rendue joyeuse... le miracle s'est accompli, c'est incroyable... je ne saurais trop recommander ce bijou merveilleux." (Lettre n° 33-3 de Madame P... à LA LOUVIERE (Belgique) du 25-3-64)

"Je suis si heureuse que j'ai envie de danser... Je ne croyais pas en son pouvoir, mais je vois que j'ai eu tort. Je l'ai offerte à ma mère qui est souvent délicate, et cela a été extraordinaire car quelques heures après l'avoir mise ma mère était toute changée; elle s'est écriée: "Je me sens très bien, je suis si heureuse que j'ai envie de danser, c'est incroyable!" (Lettre n° 20-1 de Mlle H... à LE POIRIER du 23-12-63)

"Ma vie a changé... Du jour où ce bijou a été en ma possession ma vie a changé: équilibre, bonheur, argent, j'avais tout cela..." (Lettre n° 22-1 de Madame L... à BRON du 8-11-63)

"L'insomnie n'est plus pour moi qu'un mauvais souvenir... Je suis heureuse de rendre hommage à la croix magnétique qui m'a procuré tant de bienfaits... il y a 100% d'amélioration, l'insomnie n'est plus pour moi qu'un mauvais souvenir, je dors normalement. Je le ferai connaître car c'est rendre un grand service à ceux qui l'ignorent!" (Lettre n° 30-8 de Madame M. G... à ST-QUENTIN du 3-3-64)



"Avant je passais des nuits blanches... Nous sommes très heureux des deux croix que vous nous avez envoyées, surtout pour mon mari car pour lui il en résulte un grand bienfait... quant à moi aussi, pour la nuit, je repose davantage alors qu'avant je passais des nuits blanches." (Lettre n° 24-10 de Madame T. T... à TOULOUSE du 23-2-64)

Mme L. BARATTI à PARIS, nous écrit sa joie "Elle m'a été d'un précieux secours. Je me sens beaucoup mieux, merci..."

Sauvée par VITAFOR, je lui dois mon bonheur, je renais à la vie.



"Ils ont réussi à leurs examens... Mes fils les ont sans cesse sur eux et ont réussi à leurs examens. C'est pour cela que je vous en demande deux autres." (Lettre n° 31-6 de Madame H... à ALLEZ du 29-2-64)

"Ma reconnaissance vous est acquise... Quelle satisfaction j'éprouve à posséder votre Croix! Mon état s'est nettement amélioré, des soucis arrangés comme par miracle. Ma reconnaissance vous est acquise ainsi que celle de tous ceux à qui j'ai offert ce beau bijou." (Lettre n° 37-5 de Monsieur J. D... à ST-MARCEL du 5-3-64)

CETTE CURIEUSE CROIX... C'EST (RÉELLEMENT) LA CROIX DU BONHEUR.
En régularisant les courants électriques qui sillonnent votre corps, "la croix biomagnétique" rétablit l'équilibre, atténue la douleur, facilite le sommeil, triomphe de la nervosité, accroît la résistance physique, provoque la gaieté, la joie de vivre, l'optimisme, une sensation d'euphorie et de bien-être.

SOYEZ PARMIS LES 2.000 PRIVILÉGIÉS À BÉNÉFICIER DE CE PETIT LIVRE GRATUIT :
Récupérez ce petit livre que vous lirez avec passion. Il ne vous en coûtera rien. Il ne vous engagera à aucune obligation future d'aucune sorte. Bénéficiez donc, vous aussi, de cet avantage gracieux avant que le livre ne soit épuisé.

DÉCOUPEZ CE BON TOTALEMENT GRATUIT

● Voulez-vous, Monsieur le Directeur, m'adresser, sans aucun engagement, votre cadeau-surprise et votre livre passionnant sur l'action vitale, et la croix magnétique.

● Nom

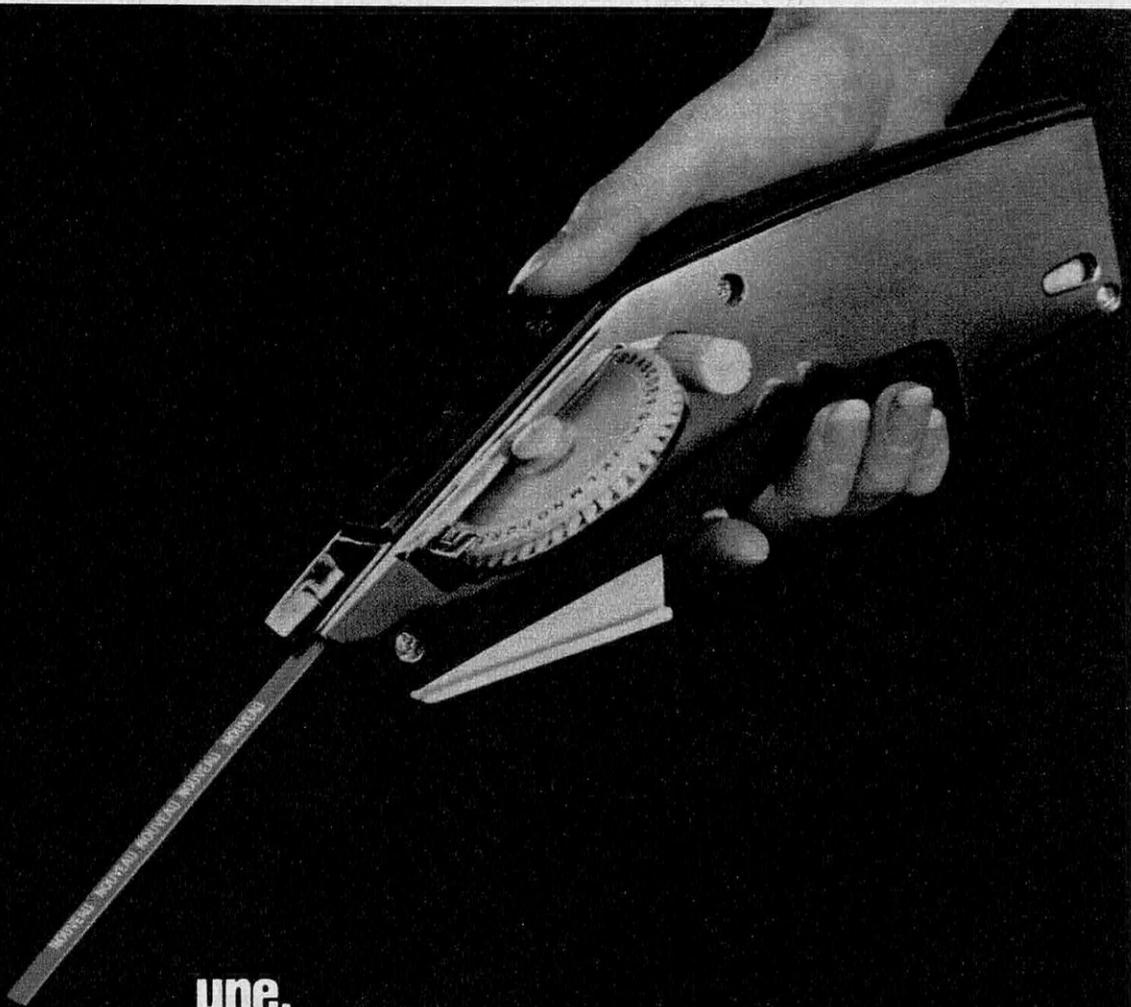
● Adresse

● A envoyer sans tarder au

● Centre de Diffusion du Biomagnétisme ACTI-VITA (ser. sv c)

● 2, Bd Victor-Hugo, NICE (Alpes-Maritimes) Joindre 3 timbres.

● Etranger 3 coupons-réponses



**une,
deux,
trois,
quatre,
cinq...**

Six étiquettes différentes avec un même appareil : le nouveau « Dymo M 10 »

Avec l'appareil M 10, Dymo vous propose un système complet d'étiquetage. Avec le M 10 vous disposerez de : deux largeurs de rubans, 6 et 9 mm - deux types de caractères, standard et major - deux intervalles sélectionnables - quatre disques d'impression qui se changent rapidement - treize couleurs de rubans. Pour une étiquette parfaite, en relief et adhésive, choisissez un



appareil d'étiquetage perfectionné Dymo. Dymo est en vente chez votre fournisseur Papetier habituel et chez les spécialistes en Fournitures Industrielles : emballages, électricité, adhésifs. Demandez-leur une démonstration gratuite Dymo.

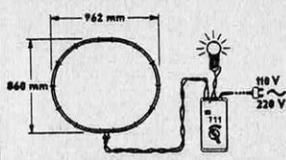
**Distribué : En France par Rubafix Division Dymo 6 rue Paul Baudry - Paris 8e
En Belgique et Luxembourg : Sté Beeckmans et Veys 46-50 Van Luppenstraat - Anvers**

Fleischmann

HO

INTERNATIONAL

POUR LE DÉBUTANT!



Fleischmann
HO

300
START



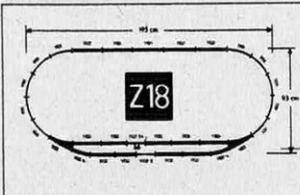
300 P



300 G/300 P
complète avec transfo 711,
ovale de rails, 1 locomotive
et 3 wagons de marchan-
dises ou de voyageurs.



300 G



Fleischmann
HO
INTERNATIONAL

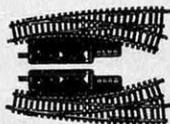


Z 18 - Assortiment complémentaire de rails pour l'agrandissement du circuit contenu dans les boîtes 300, suivant le schéma ci-contre.



ENORME GAIN DE PLACE AVEC LES NOUVEAUX AIGUILLAGES

M3 - Album de plans de réseaux
132 pages, impression en 7 couleurs
avec schémas de câblage, projets
de décoration, notices explicatives,
abondamment illustré



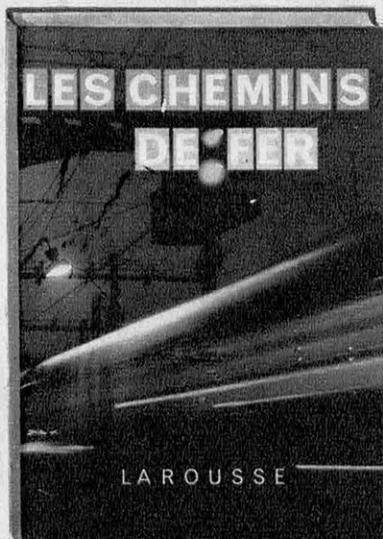
1723 (A)
AIGUILLAGES
COURBES



1726 A
AIGUILLAGE
TRIPLE

AGENTS EXCLUSIFS:

S. LIEPMANN ET R. DE MASSINI
5, RUE RÉAUMUR, PARIS-3^e



les chemins de fer

préface de Louis Armand, de l'Académie française.

Directeur de l'ouvrage : Pierre Weil.
histoire - installations fixes - matériel roulant - exploitation technique - recherches et progrès

1 volume relié pleine toile (16,5x23 cm),
sous jaquette, 448 pages, 650 illustrations en noir, 16 planches en couleurs.

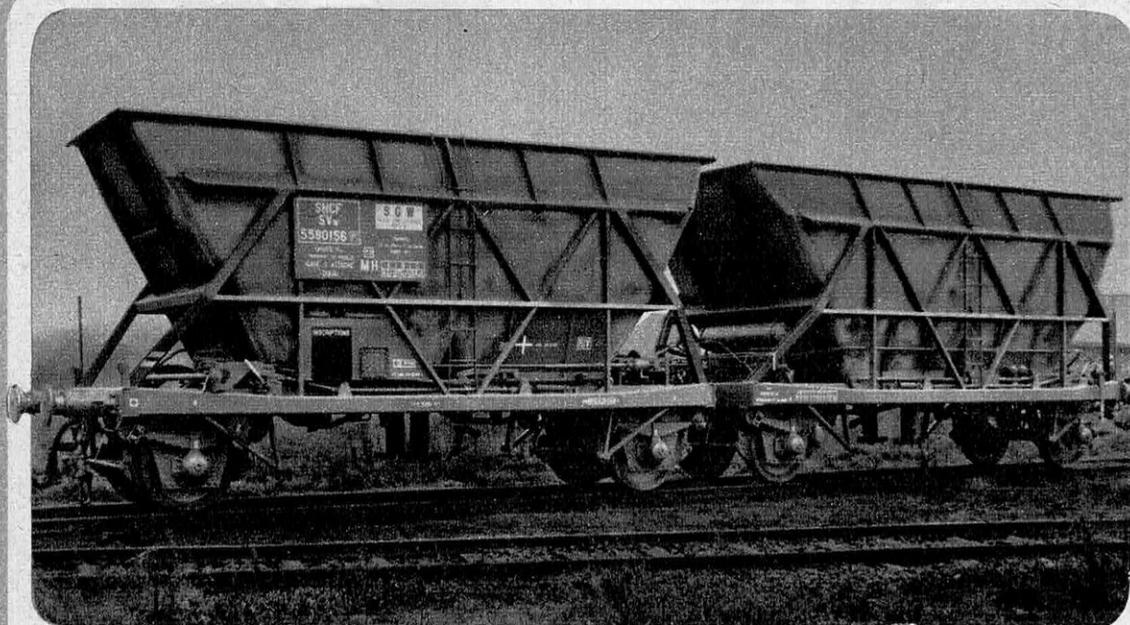
déjà parus dans la même collection :

FUSÉES ET ASTRONAUTIQUE
LE YACHTING voile-moteur
LES EXPLORATIONS
AU XX^e SIÈCLE
GRANDES DÉCOUVERTES
DU XX^e SIÈCLE
LA PHOTOGRAPHIE
et le cinéma d'amateur
LA PÊCHE
LA CHASSE
LE CHIEN

collection "vie active"
LAROUSSE CHEZ TOUS LES LIBRAIRES

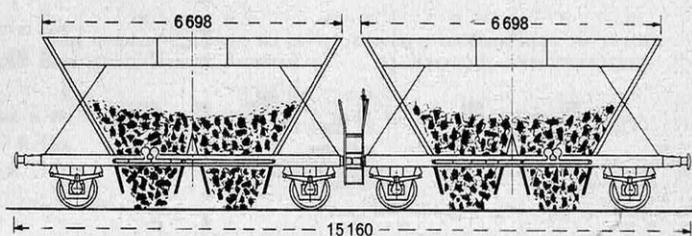
WAGON TYPE E.D.F.

WAGON COUPLÉ HOUILLER. 2 ÉLÉMENTS à 2 ESSIEUX



Capacité 76 m³ • Tare 21,5 t • Charge 58,5 t • Indice tarifaire T 9

- Chaque élément comporte 2 trémies à déchargement par le fond.
- Les trappes à 2 vantaux sont commandées mécaniquement pour l'ouverture et rappelées à la fermeture par un système oléopneumatique breveté qui utilise l'énergie produite par la poussée du charbon sur les 4 portes au moment du déchargement.



ARBEL

TÉLÉPHONE : DOUAI (20) 88.74.50

DOUAI

TELEX : ETABEL-DOUAI N 81936



CHEMINS DE FER 66

numéro hors-série

sommaire

Introduction	10
Chantiers de voie à grand rendement	14
La traction électrique	24
La traction diesel	44
L'avenir de la traction	58
Le développement des télécommunications	66
L'électronique et la sécurité	77
La reconnaissance automatique des trains	82
La conduite automatique	85
Le matériel marchandises	91
La reconnaissance automatique des wagons	98
Automatisation des triages	100
L'attelage automatique	109
Les voitures modernes et leur aménagements	115
Les grandes vitesses	126
La desserte des banlieues	139
Le Réseau Express Régional	143
Le métro se modernise	153
Vers des solutions nouvelles	158
Modélisme ferroviaire	170

AVEC LA COLLABORATION DE
HENRI GIROD-EYMERY ET JEAN
FALAIZE POUR LES PARTIES HIS-
TORIQUES.

Doc. : Conservatoire des Arts et Métiers.
- Science Museum, Londres. - Museon di
Rodo, Uzès. - L'illustration. - La Nature.
- Adam. - Delius. - Engelmann. - Jean
Falaize. - Henri Girod-Eymery - Henry
Moore. - S.N.C.F. - Topical.

Directeur général : Jacques Dupuy
Directeur : Jean de Montulé
Rédacteur en chef : Jean Bodet

Direction, Administration,
Rédaction : 5, rue de la Baume,
Paris-8^e. Tél. : Élysée 16-65.
Chèque postal : 91-07 PARIS.
Adresse télégr. : SIENVIE PARIS.

Publicité : 2, rue de la Baume,
Paris-8^e. Tél. : Élysée 87-46.

New York : Arsène Okun, 64-33,
99th Street Forest Hills, 74 N. Y.
Tél. : Twining 7.3381.

Londres : Louis Bloncourt,
17, Clifford Street,
London W. 1. Tél. : Regent 52-52.

TARIF DES ABONNEMENTS

POUR UN AN :

	France et États d'expr. française	Étranger
12 parutions	25, — F.	30, — F.
12 parutions (envoi recom.)	37, — F.	41, — F.
12 parutions plus 4 numéros hors série	38, — F.	45, — F.
12 parutions plus 4 numéros hors série (envoi recom.)	55, — F.	60, — F.

Règlement des abonnements : SCIENCE ET VIE, 5, rue de la Baume, Paris C.C.P. PARIS 91-07 ou chèque bancaire. Pour l'Étranger par mandat international ou chèque payable à Paris. Changement d'adresse : poster la dernière bande et 0,50 F en timbres-poste.

Belgique et Grand-Duché (1 an)	Service ordinaire	FB 250
	Service combiné	FB 400
Hollande (1 an)	Service ordinaire	FB 250
	Service combiné	FB 400

Règlement à Édimonde, 10, boulevard Sauvenière, C.C.P. 283.76, P.I.M. service Liège.
Maroc, règlement à Sochepress, 1, place de Bandoeng, Casablanca, C.C.P. Rabat 199.75.

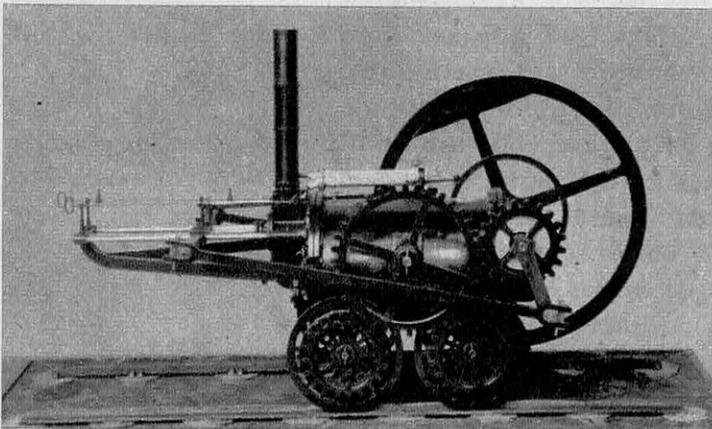
INTRODUCTION

Lorsqu'en 1960, j'ai eu le plaisir d'écrire l'Introduction d'un précédent numéro hors-série de Science et Vie consacré aux Chemins de fer, j'ai fait un rapide inventaire des différents progrès enregistrés dans nos techniques et des tendances selon lesquelles s'orientait l'évolution de nos problèmes.

Il y a, maintenant, une vingtaine d'années que les Chemins de Fer français, sortis de la guerre très cruellement atteints, se sont attachés à ce que la reconstruction du Réseau National prenne l'aspect non pas tant d'une résurrection que d'une métamorphose : métamorphose rendue nécessaire par l'expansion des besoins de l'économie nationale; métamorphose rendue possible grâce à l'intervention des nouveaux moyens mis par la science et la technique à la disposition du rail. Le recul dans le temps est à présent suffisant pour que j'essaie de dégager les caractéristiques essentielles de cette métamorphose.

Du point de vue de la puissance de traction et de son corollaire la capacité de transport, le chemin de fer s'est affirmé, mieux que jamais, le transporteur des masses, rôle de plus en plus indispensable dans un contexte démographique et économique où le trafic ne cesse de se concentrer davantage sur un certain nombre de relations.

Dans le domaine des trains de voyageurs, j'en vois un exemple frappant dans le fait que la S.N.C.F. a transporté, en une seule nuit de la semaine de Noël,

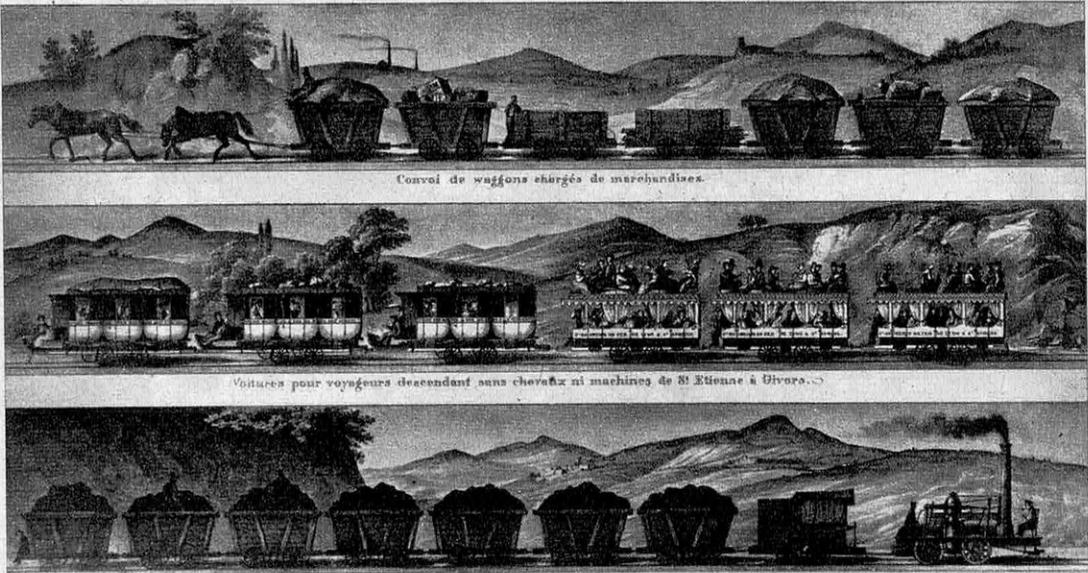


*La première locomotive
du monde
construite par
R. Trevithick,
en 1804.*

30 000 personnes environ de Paris jusqu'aux champs de neige du Jura et des Alpes, soit l'équivalent de la population d'Auxerre, Chartres ou Dieppe, et qu'elle en fera autant, sinon plus encore, l'an prochain.

En ce qui concerne les trains de marchandises, nous sommes capables d'entraîner des convois dont la charge s'élève jusqu'à 3 600 tonnes, soit près du double des trains les plus lourds d'avant-guerre.

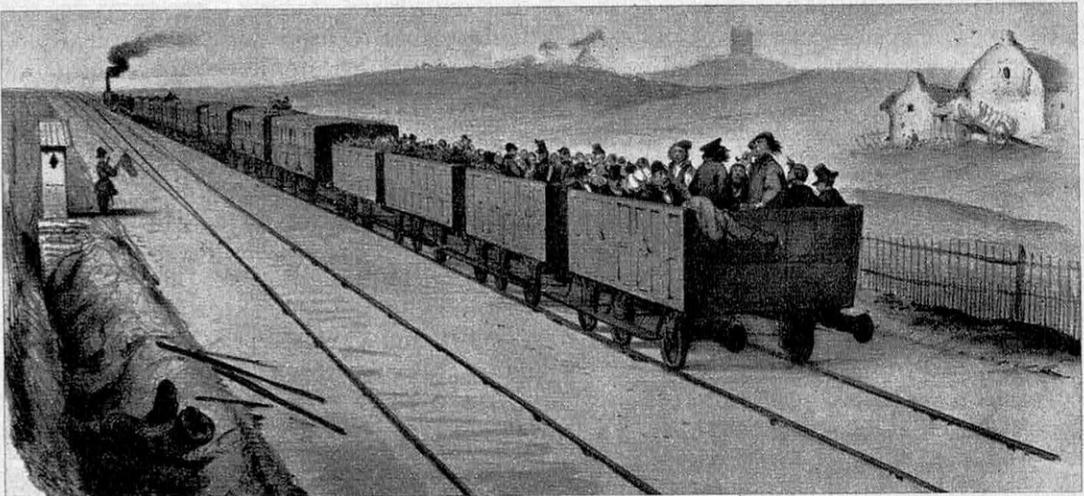
Ce développement de la puissance de traction s'est étroitement conjugué avec une augmentation de la capacité de transport, qui a présenté cette particularité fort remarquable — et remarquable — de n'avoir pas exigé que nous disposions d'un parc de wagons plus important : tout au contraire, ce parc a diminué de près de 30 % par rapport à l'avant-guerre, et ce paradoxe apparent s'explique à la fois par un alourdissement substantiel du chargement moyen des wagons, par les progrès réalisés dans l'entretien du matériel et par l'amélioration de la rotation du matériel, due, notamment, à la modernisation très poussée de l'équipement de nos grands triages et à la suppression d'un certain nombre d'escales dans des triages secondaires. Il s'explique encore par l'accroissement des vitesses et j'en arrive ainsi à la seconde caractéristique du chemin de fer d'aujourd'hui, issue elle aussi de l'élévation de la puissance de traction.



Les trains circulant sur le chemin de fer de Lyon à Saint-Etienne, en 1832.

Je n'insisterai pas sur les accélérations de nos rapides, dont, certainement, la plupart des lecteurs de Science et Vie — pour ne pas dire tous — ont fait l'expérience. Je me bornerai à prétendre que, sur certains parcours s'étageant entre 400 et 700 kilomètres, nous faisons, tout compte fait, c'est-à-dire y compris les parcours terminaux et les temps morts des nuits, aussi bien que l'avion. L'opinion publique est, en général, moins éclairée sur les nouveaux horaires des trains de marchandises et, cependant, nombre d'entre eux ont rattrapé la vitesse des trains de voyageurs de 1938.

Nos locomotives électriques sont les héroïnes de ces performances : pour elles, les rampes n'existent plus ; elles ont effacé le relief partout où elles passent. Quelles perspectives nous ouvre l'avenir dans ce domaine de l'accélération ? Nous sommes encore loin d'avoir « le pied au plancher », mais notre préoccupation dominante de ne rien entreprendre dont la rentabilité ne soit garantie, exige que la vitesse paye et c'est là tout le problème. Nous ne nous croyons pas astreints à tenter de le résoudre par les seules formules ferroviaires clas-



Un des premiers tronçons du réseau français : la ligne Paris-Orléans en 1843.



Scène de gare vers 1865: le chemin de fer appartient déjà à la vie courante.

siques et c'est pourquoi nous suivons avec un vif intérêt les essais auxquels doit donner lieu l'aérotrain qui, avec son infrastructure de type ferroviaire — du fait qu'elle assure le guidage des véhicules — et son mode de propulsion emprunté à l'aviation — en ce sens que les motrices sont équipées d'une hélice — pourrait être promis à un bel avenir pour le transport des voyageurs à très grande vitesse entre certaines vastes agglomérations.

L'automatisation, autre caractéristique du chemin de fer moderne, comporte chez nous, comme dans beaucoup d'autres entreprises, plusieurs degrés, depuis le remplacement de gestes simples, élémentaires, jusqu'à des commandes fort complexes.

Dans la première catégorie figure l'attelage automatique des wagons, qui fonctionne sur certains réseaux étrangers, notamment aux U.S.A. et en U.R.S.S., et fait actuellement l'objet d'études très poussées de la part de l'Union Internationale des Chemins de fer — études auxquelles la S.N.C.F. participe activement — en vue de l'adoption d'un type d'attelage européen. L'importance toujours croissante du trafic international et la part déjà prise par le chemin de fer dans l'intégration européenne nous imposent, en effet, d'adopter un dispositif dont l'action ne s'arrête pas à nos frontières.

Au niveau supérieur, les applications de la cybernétique sont multiples, facilitées à la fois par le guidage du rail et par la structure même de notre industrie, qui favorise les concentrations du commandement et de la gestion. Déjà, sur nos grandes artères, la signalisation automatique a relayé à peu près complètement les gestes séculaires de la main-d'œuvre humaine, et, si je n'ose affirmer qu'à l'avenir un unique cerveau électronique dirigera et contrôlera la signalisation pour l'ensemble du réseau, je puis, en revanche, pronostiquer que les zones de la télécommande des signaux iront sans cesse en s'élargissant, et laisseront, tôt ou tard, loin derrière elles le fonctionnement, sur 100 kilomètres, de la commande, depuis Dijon, de la section Dole-Vallorbe, qui a fait très justement, en son temps, la fierté de nos techniciens.

En matière de triages, la S.N.C.F. a acquis suffisamment de maîtrise pour se proposer de faire, prochainement, dans l'un d'entre eux, la somme de toutes les ressources de l'électronique, ce qui nous amènera très près de l'automatisation intégrale.

Nous avons, enfin, abordé, depuis un certain temps, l'étude de la conduite automatique des trains qui verra certainement le jour dans le futur; dès main-

tenant, ce ne sont plus, à proprement parler, des problèmes de sécurité qui sont en cause; leur solution est très avancée, mais il reste à concilier cette réalisation technique, quel que soit son prestige aux yeux de l'opinion, avec notre souci de ne pas grever des prix de revient que nous nous efforçons, par tous autres moyens, d'abaisser.

Il ne fallait pas moins que toutes ces qualités nouvelles pour que le chemin de fer moderne devînt un autre athlète que celui d'avant la dernière guerre et pût supporter le poids d'un trafic qui, de 1938 à 1964, s'est accru de près de 150 % pour les marchandises et de 70 % pour les voyageurs. A l'entraînement progressif et rationnel qui lui a permis, toutes ces dernières années, de battre les records de l'année précédente, ont concouru, non seulement notre action interne sous l'aspect de réformes de nos conditions d'exploitation, de recherches de souplesses nouvelles dans nos structures et dans nos articulations, mais aussi et surtout les investissements par lesquels se sont trouvés accrus les moyens d'action du principal véhicule de l'expansion économique française.

Les plans successifs avaient prévu, avec une précision qui fait honneur à leurs auteurs, le rythme de cette expansion et la part qui en reviendrait au chemin de fer. Rien ne permet de douter que le V^e Plan ne demeure aussi près de la vérité dans ses évaluations selon lesquelles notre trafic global, estimé en unités-traffic, devrait augmenter, entre 1966 et 1970, de plus de 3 % en moyenne, chaque année. Ce pourcentage devrait même se maintenir pendant au moins 20 ans, si se trouvent confirmés par les faits les pronostics du Groupe de Travail constitué, il y a quelques années, à l'initiative du Premier Ministre, pour examiner les perspectives françaises de 1985.

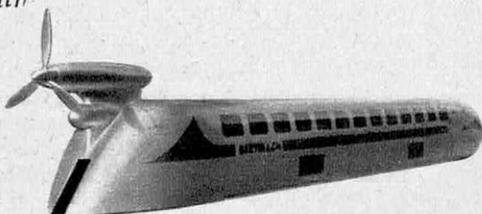
Le chemin de fer ne se borne pas, d'ailleurs, à absorber passivement le trafic que l'ensemble des efforts industriels et agricoles du pays lui apporte : il en crée lui-même, par exemple, en incitant toujours davantage les Français à voyager, du fait du raccourcissement des distances et du confort de leurs déplacements, confort que nous nous ingénions à perfectionner et pour lequel nous poussons nos investigations jusqu'à déterminer les causes physiologiques de la fatigue du voyage, ou encore en faisant en sorte, pour les marchandises, que le chemin de fer ne soit plus un temps mort entre les opérations de transformation industrielle (transports de fonte en fusion) ou en reculant les limites jusqu'où les marchandises périssables peuvent être conduites sans rien perdre de leur fraîcheur.

Nous nous attacherons, bien sûr, à poursuivre dans cette voie et les soins apportés à notre prospection commerciale, notre dévouement multiforme pour notre clientèle, les attentions vigilantes grâce auxquelles nous favoriserons le retour marqué vers le transport par rail dans bien des secteurs où l'on s'en était éloigné, s'associeront efficacement et harmonieusement, dans la construction de notre avenir, avec les réalisations des techniques nouvelles, qui ont déjà profilé sur nos horizons ferroviaires les textures de nos caténaires, les feux de notre block automatique, les silhouettes de nos locomotives électriques et diesel, et qui demeurent, pour le rail et pour nos fidèles usagers, pleines de promesses.

Philippe DARGEOU

DIRECTEUR GÉNÉRAL DE LA S.N.C.F.

L'aéroltrain
Bertin
1966



CHANTIERS DE VOIE A GRAND RENDEMENT

Le trafic lourd et rapide tend à se concentrer sur les grandes artères électrifiées et bien équipées du point de vue régulation et sécurité. C'est donc là que se concentre aussi l'activité de la « maintenance » des voies.

Soumis à des exigences de plus en plus sévères en ce qui concerne les charges, les vitesses et la sécurité, l'armement de ces artères est de plus en plus lourd et complexe (rails de 60 kg au mètre, soudés sur de grandes longueurs, attachés élastiquement aux traverses, à des températures contrôlées par chauffage, etc.). La « voie moderne » française, telle que Science et Vie l'a décrite en 1960, a reçu depuis des perfectionnements de détails fort utiles, certes, mais qui ont ajouté encore aux difficultés de la mise en place, surtout lorsqu'il s'agit de remplacer isolément certains éléments de la superstructure.

Heureusement, les promesses de longévité que cela comporte font espérer que les remplacements isolés s'espaceront dans l'avenir, en même temps d'ailleurs que les opérations dites de renouvellement, dont l'objet est de remettre à neuf, par substitution (ou, pour le ballast, par criblage), à la fois tous les éléments de la superstructure.

Les renouvellements, confiés à des entreprises dont le personnel est essentiellement mobile, constituent un champ d'action magnifique pour les ingénieurs fervents de mécanisation, car la réalisation manuelle de ces tâches s'avère impossible à mesure que les matériaux s'alourdissent et que les hommes deviennent réfractaires aux manutentions. Mais, pour introduire de gros engins mécaniques sur des voies aussi fréquentées, et leur laisser le temps de travailler utilement, il faut exiger de l'Exploitation de gros sacrifices : suppression, détournement ou pilotage de certains trains, ralentissement de certains autres. Ces contraintes sont les mêmes que

que soit la cadence du chantier, d'où la nécessité d'aller vite pour qu'elles durent peu. Aussi peut-on dire que, dans le développement de la voie moderne, le « grand rendement » est un souci constant des ingénieurs de tous les services et de toutes les entreprises.

La substitution de voie

Un chantier de renouvellement comporte une série d'opérations se suivant dans un certain ordre. Les unes obligent les trains à marcher à faible vitesse (dégarnissage, dépose et pose de la voie, ballastage); d'autres sont compatibles avec un relèvement progressif de la vitesse (nivellement, dressage, réglage des barres longues, parachèvements). Toutes sont mécanisables, mais toute solution n'est pas payante. L'accélération d'une phase ne donne d'ailleurs sa mesure que si les autres s'alignent sur la même cadence.

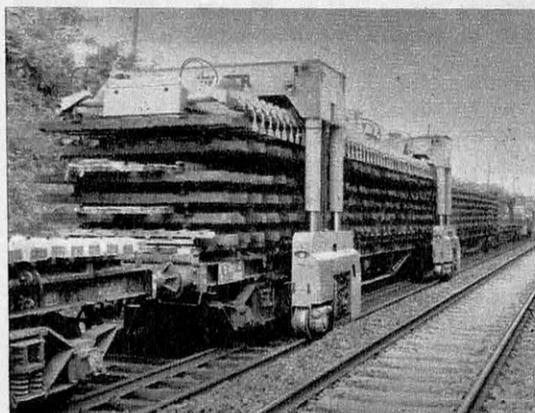
L'opération-clé est la substitution de la voie proprement dite. C'est la plus délicate et la plus difficile à organiser, celle aussi qui conditionne la qualité des assemblages. Elle exigeait autrefois beaucoup de soin, de vigueur et de célérité de la part des équipes de pose, composées de trente ou quarante colosses itinérants.

Il serait trop long de faire l'historique complet d'une évolution qui a connu une phase décisive avec la mise en œuvre, entre 1930 et 1950, de portiques circulant sur un chemin de roulement auxiliaire pour soulever la voie dans son entier sur la longueur d'un rail, transporter ce « panneau » sur de courtes distances et le charger sur des châssis posés sur lorries. Ceux-ci les acheminaient à faible vitesse jusqu'à une gare voisine où ils étaient démontés par les ateliers « forains ». Une opération inverse permettait la pose de panneaux de voie neuve, préassemblés tranquillement dans ces chantiers forains et non dans la



La méthode classique de renouvellement de la voie a été perfectionnée et accélérée par l'emploi de portiques automoteurs pouvant atteindre 15 km/h, qui font la navette entre le lieu de pose et la rame qui amène le matériel neuf et évacue le matériel usagé. Les panneaux sont saisis à raison de deux longueurs de voie de 18 m superposées.

Le développement vertical des portiques permet le chargement de six lits de panneaux usagés sur les wagons. Au retour, les griffes de la poutre traveleuse agripperont deux panneaux de traverses neuves pour aller les « pondre » sur le ballast. Les longs rails soudés servant de chemin de roulement seront mis en place sur ces traverses.





Dans un atelier type « Est », une rame spécialisée pour les substitutions de voies. Au second plan, le wagon porteur où les « colis » de panneaux de voie de 18 m sont entassés sur cinq épaisseurs. Ces éléments, posés sur des lorries, sont déplacés sur un chemin de roulement continu le long de la rame à l'aide d'un dispositif de touage par chaîne dont on peut voir le mécanisme sur le wagon « toueur » au premier plan.

bousculade d'un « intervalle ». On pouvait atteindre des cadences de 500 à 600 mètres par jour avec un effectif réduit.

Malheureusement, les longues barres soudées en atelier ne se prêtent pas directement à l'emploi de ce procédé, tout au moins à la pose. (Quant à la dépose, les longues barres déchargées à l'avance constituent par contre un chemin de roulement tout trouvé pour les portiques.)

Tout d'abord, on est revenu à la pose entièrement manuelle, les traverses et le petit

matériel étant, comme les longs rails soudés, préalablement déchargés sur l'accotement de la voie. Les rendements tombaient assez bas (300 m par jour). Ensuite, on a utilisé de nouveau des portiques et des châssis sur lorries, mais cette fois pour les traverses seules, enlevées des wagons puis « pondues » à leur place par des poutres « traveleuses » commandées par d'ingénieux dispositifs, les longs rails étant posés ensuite.

Rames spécialisées et double substitution

En 1952, devant la précarité des chantiers de montage forains et la lenteur des châssis sur lorries dont la mise en place « mangeait » en grande partie les « intervalles », les services d'entretien de la Région de l'Est, en liaison avec la subdivision du Matériel fixe, conçurent une organisation et un matériel destiné à relier par rames spécialisées à grande vitesse l'atelier de Saint-Dizier, bien centré et bien équipé, à tous les chantiers de renouvellement de la région. Il n'y a plus de chantiers forains; une fois à pied d'œuvre, les « colis » de panneaux de voie de 18 m de long, entassés sur cinq épaisseurs (pour mieux utiliser les possibilités des wagons) sont déplacés par un dispositif de « touage » par chaîne sur un chemin de roulement continu le long de la rame. A l'extrémité de la rame, ils sont enlevés et mis directement en place, à la cadence de 300 m à l'heure environ, par un wagon-poutre tubulaire prolongé par deux becs en encorbellement. La dépose se fait sur une autre rame suivant le même principe. Toutefois, pour la voie neuve, on est obligé d'opérer par « double substitution ». Les panneaux sont montés avec des rails provisoires, car les longs rails définitifs bénéficiant des avantages de la soudure en atelier sont amenés à pied d'œuvre séparément. La substitution des rails a lieu automatiquement après la mise en place des panneaux en utilisant un engin dit « substitueuse », composé de plusieurs lorries équipés de galets qui soulèvent les rails et les déplacent progressivement. Les rails provisoires sont chargés par refoulement sur une rame spécialement aménagée et réexpédiés pour resservir aux mêmes fins.

Sans doute faut-il disposer de très longs intervalles (7 à 8 heures consécutives), ce qui, sur les grandes artères, exige beaucoup de compréhension de la part de l'Exploitation; mais ce procédé constitue un pas sérieux dans la voie des rendements, puisque la cadence de pose peut atteindre en « pointe » 1 500 m par jour.

Toutefois, à ce jour, les dégarnisseuses chargées de l'épuration du ballast ne peuvent

suivre la cadence du chantier qu'à condition de s'y mettre à deux. Il faut aussi quatre rames spécialisées soit soixante-seize couplages, trois wagons-ateliers, deux poutres tubulaires de pose, une substitueuse, des rames de déchargement des longs rails et de rechargement des rails provisoires, sans compter les rames de ballast (l'approvisionnement en ballast pose d'ailleurs de sérieux problèmes), les bourreuses-niveleuses et divers engins auxiliaires. Tout cela représente un très gros capital et n'est pas facile à orchestrer. Il faut, pour la surveillance et l'accompagnement, plus de cent agents de la S.N.C.F. D'autre part, les régions autres que l'Est ne se prêtent pas aussi facilement ni aussi volontiers à la mise en œuvre d'un tel dispositif en raison de leur maillage moins serré, des impératifs de leur trafic propre ou des caractéristiques de leurs ateliers.

Aussi, tout en reconnaissant le mérite des artisans de cette performance, s'est-on demandé si on ne pourrait parvenir à des résultats peut-être moins spectaculaires, mais au moins aussi avantageux, par des moyens plus simples et moins coûteux, notamment en ce qui concerne les dépenses d'équipement incombant à la S.N.C.F.

Perspectives actuelles des chantiers classiques

L'initiative du réseau de l'Est a eu, il faut le souligner, le mérite d'en susciter d'autres et d'inciter les entreprises à perfectionner les méthodes classiques de substitution, dont la cadence ne paraît pas loin maintenant d'être compétitive. Ces efforts ont surtout porté sur la conception des portiques qui font la navette entre le lieu de pose et la rame qui achemine le matériel à pied d'œuvre. Astreints par leur contour extérieur à respecter le gabarit, notamment celui des trains croiseurs, ces portiques ont néanmoins progressivement amélioré leur débouché intérieur, leurs possibilités de levage et leur mobilité, ce qui répond aux intentions suivantes :

- Prendre et poser le matériel non plus sur des châssis de lorries mais directement sur des wagons. L'amenée à pied d'œuvre des rames se fait donc à pleine vitesse, ce qui allonge d'autant la durée efficace des intervalles. Le rayon d'action dépasse largement les gares voisines et on peut organiser le chargement et le démontage des panneaux en des lieux favorables, voire dans les grands ateliers si la situation du chantier s'y prête.

- Constituer des piles de panneaux de plus en plus hautes pour mieux utiliser la capacité des wagons. On gagne ainsi sur deux tableaux, en économisant des wagons et

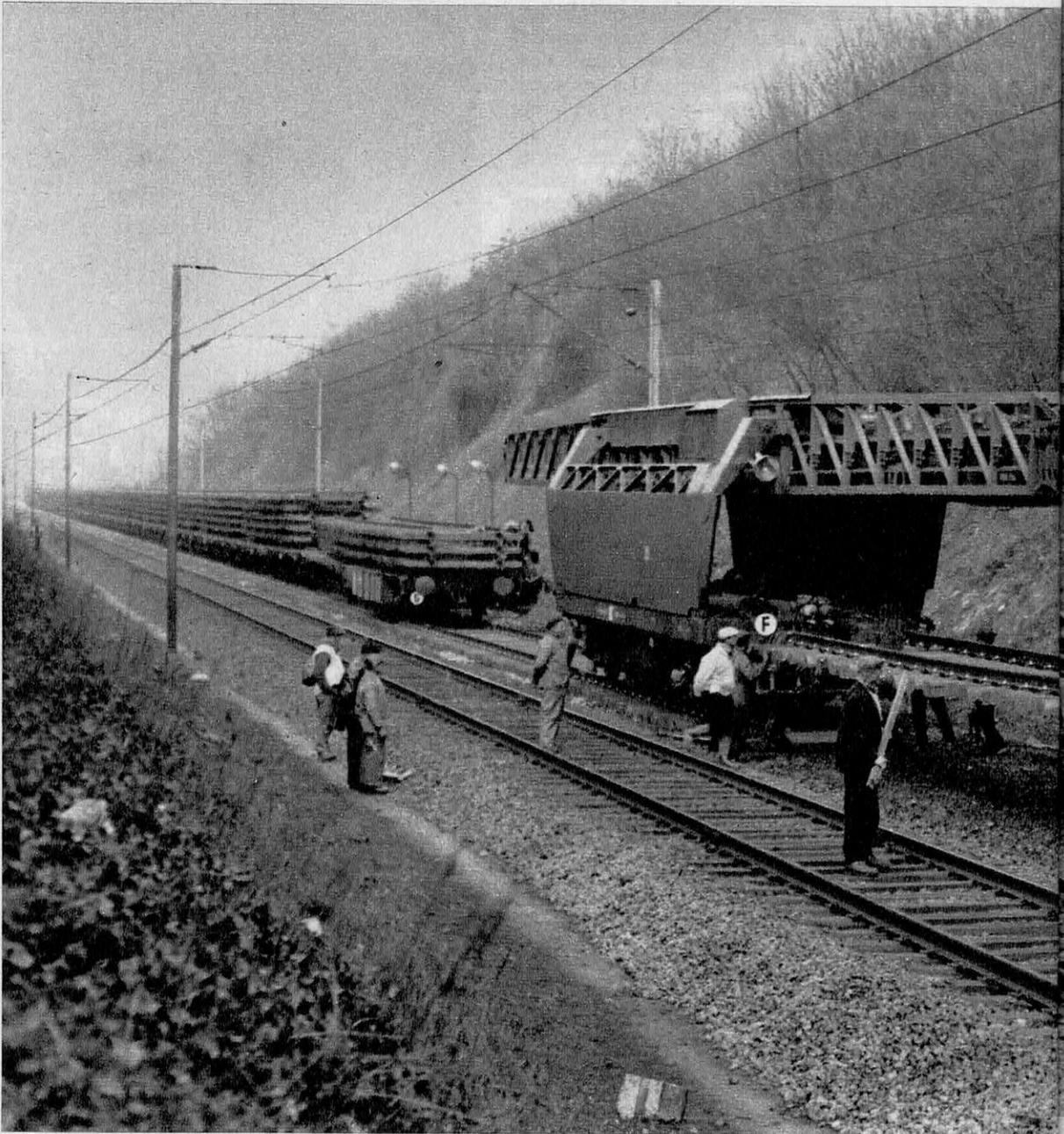


La « substitueuse » d'un chantier de renouvellement « Est » assure automatiquement le remplacement des rails provisoires des panneaux neufs mis en place par les longs rails soudés définitifs qui ont été amenés à pied d'œuvre séparément. Elle comporte, en haut, plusieurs lorries équipés de galets qui soulèvent les rails et les déplacent progressivement. En bas, les rails provisoires sont chargés par refoulement sur la rame spécialement aménagée qui les évacuera vers l'atelier central où ils seront réutilisés.

en réduisant la longueur des rames, donc le temps perdu par les portiques qui les parcouraient.

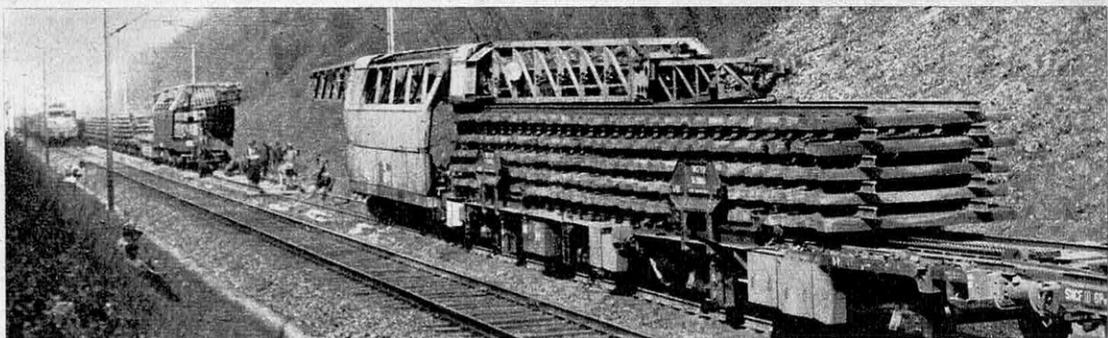
- Améliorer la propulsion des portiques, autrefois poussés à la main, maintenant dotés de moteurs assez puissants pour atteindre une vitesse de 12 à 15 km/h. En même temps, on perfectionne, en les mécanisant, la confection et le réglage du chemin de roulement pour que ces vitesses soient praticables sans danger. Enfin, on accélère la mise en batterie à partir de wagons à tourelle qui véhiculent les portiques.

- Doter les portiques d'un équipement à double effet, capable de transporter dans un sens le matériel neuf et dans l'autre le matériel usagé. Cela permet d'utiliser, pour l'évacuation de celui-ci, la rame même qui a amené le plancher neuf, d'où économie d'un des deux trains. Le plancher neuf étant à chaque



C'est un wagon-poutre tubulaire prolongé par deux becs en encorbellement qui, sur un chantier « Est », ci-dessus, met directement en place un panneau de voie pourvu de rails provisoires. Ce panneau a été pris sur la rame spécialisée visible à gauche, à l'extrémité de laquelle le système de touage a amené un « colis » de cinq panneaux. La cadence de pose peut atteindre 300 m à l'heure.

On voit ci-contre, à droite, les deux wagons-poutres du chantier. Celui du second plan assure la pose du matériel neuf. Celui du premier plan évacue le matériel usagé. Ici, cinq panneaux ont été enlevés et « avalés » par le wagon-poutre qui les a déposés à l'extrémité d'une seconde rame spécialisée. Ce « colis » va se déplacer sur les lorries vers le second wagon de la rame grâce au système de touage.



voyage celui de deux longueurs de 18 m « pondues » l'une après l'autre par la poutre traveleuse, il y a intérêt à doter celle-ci de pinces spéciales assez longues pour prendre et porter à la fois deux panneaux de la voie déposée.

La plupart de ces objectifs ont déjà été atteints séparément par les entreprises en aménageant à peu de frais des portiques existants. Les efforts actuels des constructeurs d'engins nouveaux tendent à les combiner pour augmenter encore le rendement possible dans un intervalle donné.

En 1966, la S.N.C.F. mettra à l'épreuve, sur une série continue de chantiers, un portique très perfectionné qui paraît capable de tenir une cadence assez voisine de celle du chantier Est. Ce sera l'occasion de comparer les deux formules et de les mettre en parallèle avec d'autres engins moins complets, mais aussi moins coûteux.

Dégarnissage et évacuation des détrit

Le dégarnissage, presque toujours accompagné de criblage, est l'opération la plus pénible. Si elle n'était mécanisée, elle exigerait une masse de rudes ouvriers presque impensable en France de nos jours. Avec un dégarnisseuse, il suffit d'un ou deux mécaniciens et de quelques manœuvres.

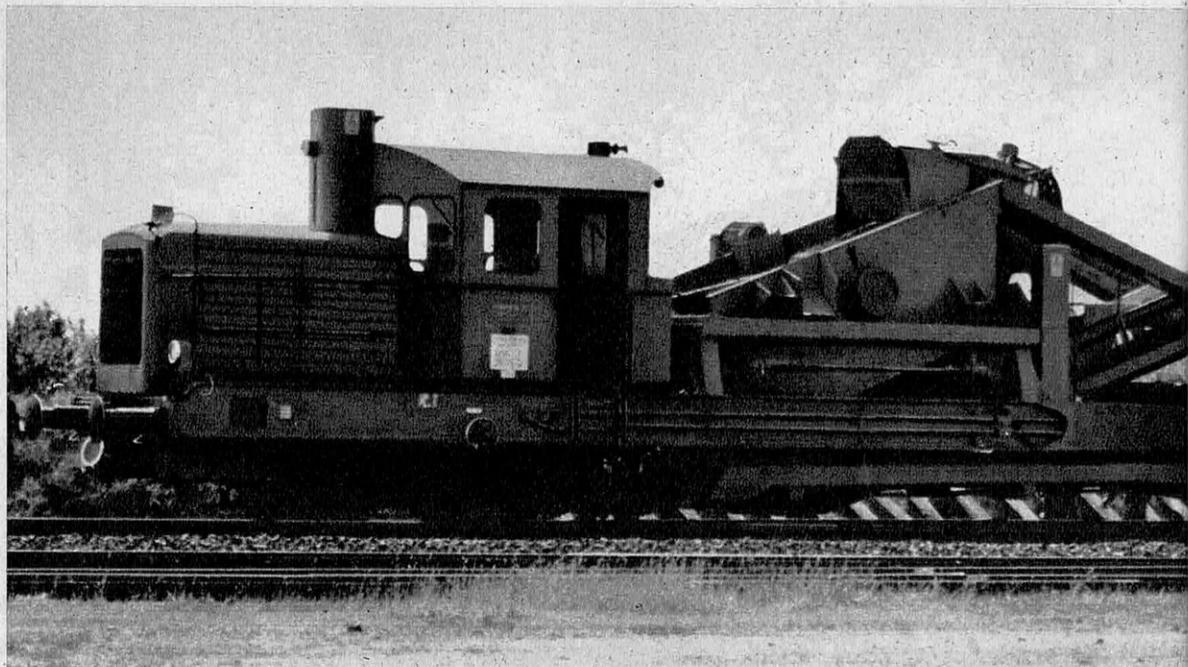
Le rendement dépend de deux facteurs, les possibilités des dégarnisseuses et l'évacuation des déblais.

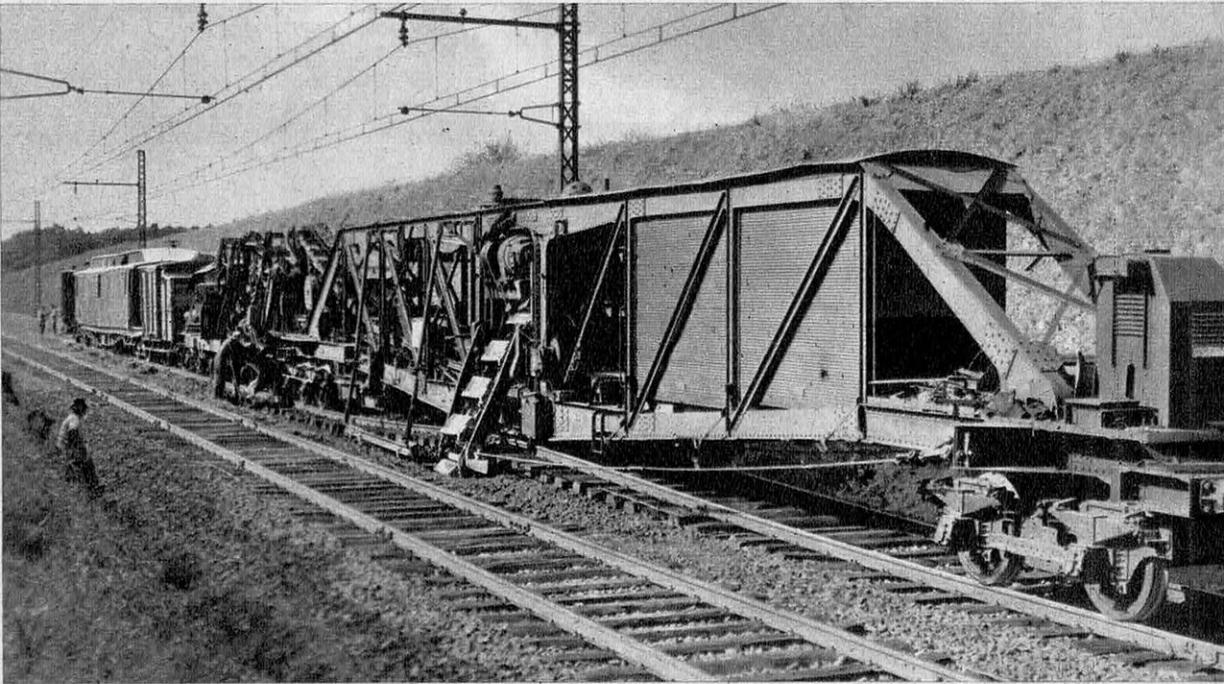
Les premières dégarnisseuses apparues vers 1928 se sont peu à peu renforcées jusqu'en 1962. Les plus puissantes, dotées d'un long châssis tubulaire, soulevaient la voie pour déblayer par-dessous avec une chaîne d'excavation, d'où la possibilité de dégarnir superficiellement quand la pollution du ballast n'est pas profonde. Leur rendement dépassait difficilement 100 m à l'heure pour une profondeur moyenne de 15 à 20 cm. Les autres se contentaient de glisser sous les traverses une chaîne à godets, ce qui obligeait à déblayer plus ou moins profondément selon son épaisseur.

A cette différence près, les organes étaient analogues, l'essentiel étant un crible plus ou moins puissant avec plusieurs tapis vibrants permettant d'éliminer à la fois la poussière et les gros éléments (voire même de séparer le gravillon). Des bandes transporteuses complétaient le dispositif, les déchets étant évacués par une flèche orientable.

En 1962, l'apparition de nouveaux engins détermina la transformation d'une partie du parc. Les organes restaient les mêmes, mais les moteurs étaient plus puissants, les cribles plus vastes et mieux conçus, les rotations étaient accélérées et les transmissions hydrauliques substituées aux mécaniques.

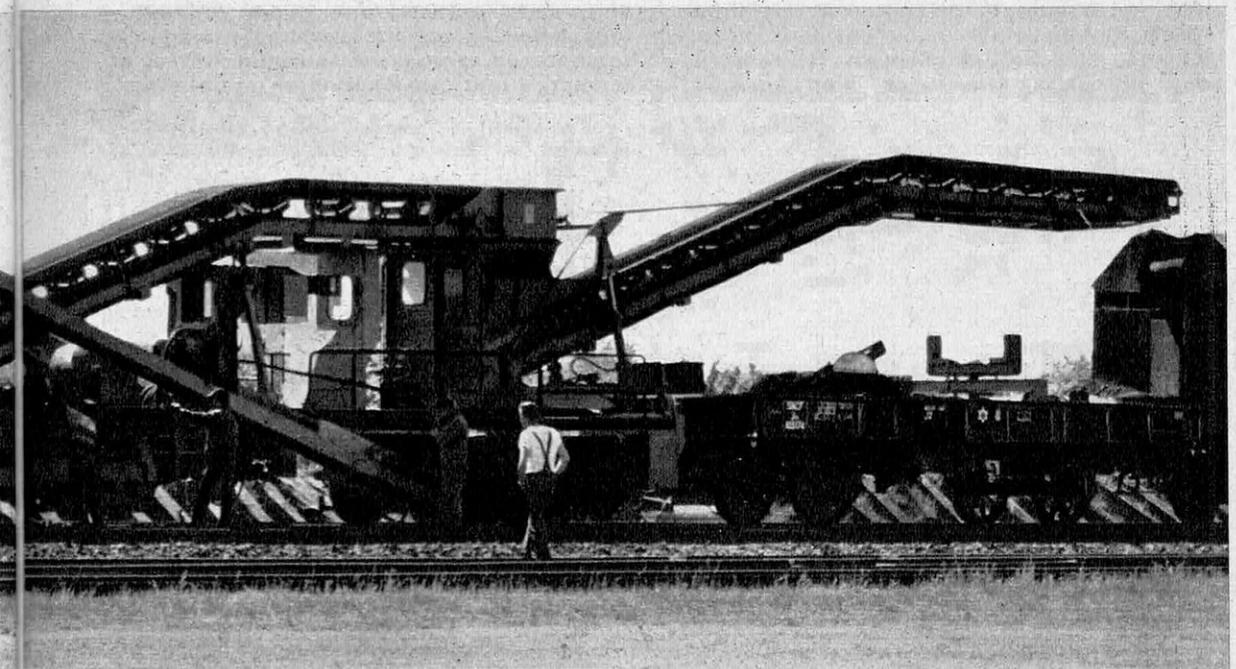
Actuellement, dix-sept engins (rattachés à cinq familles qui se différencient par certains détails : rapidité de mise en batterie, épaisseur de chaîne, encombrement latéral, etc.) sont capables d'atteindre une cadence de 200 m à l'heure à profondeur moyenne. Ce nombre

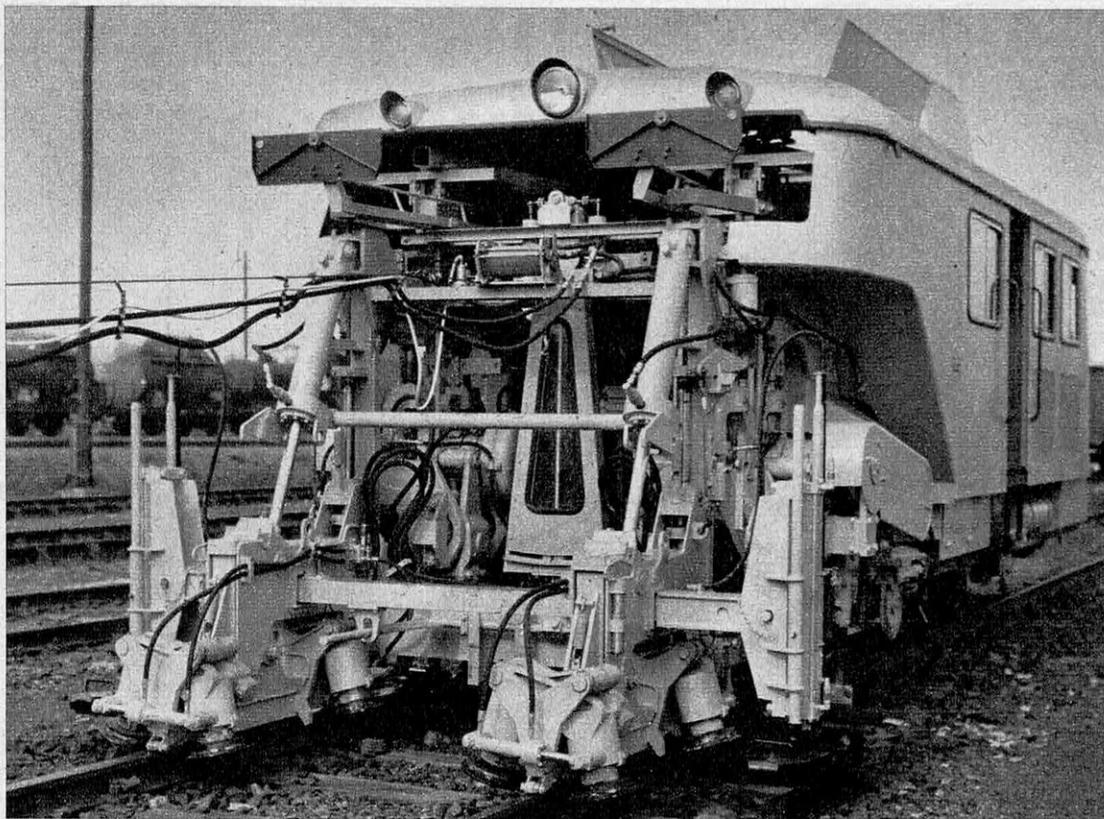




Ci-dessus, une dégarnisseuse-cribleuse pour le traitement du ballast. Constituée par un long châssis, qui a dû être renforcé pour s'adapter aux exigences actuelles, elle soulève la voie et déblaie par-dessous avec une chaîne d'excavation. Elle comporte un crible et plusieurs tapis vibrants pour l'élimination des poussières et des gros éléments, des bandes transporteuses et un dispositif d'évacuation pour les déchets.

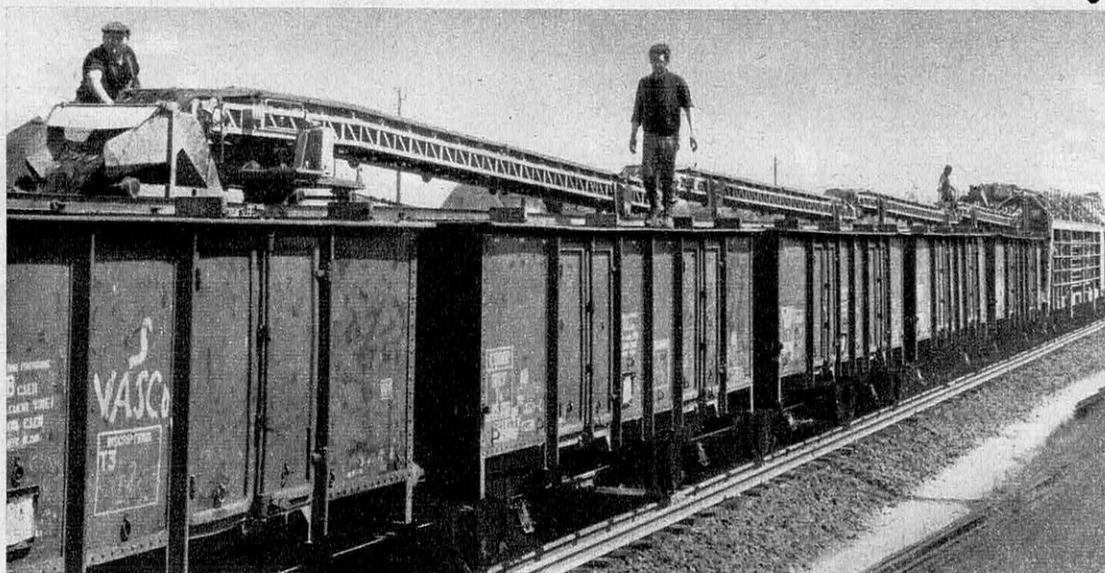
Ci-dessous, une dégarnisseuse-cribleuse moderne, dont les organes de base demeurent les mêmes que ci-dessus, mais avec des moteurs plus puissants, des cribles plus efficaces et tournant plus vite, des transmissions hydrauliques au lieu de transmissions mécaniques. La flèche, à droite de la photographie, évacue les déchets de criblage; elle est orientable et peut débiter soit sur le côté de la voie, soit sur un wagon.





Une bourreuse-niveleuse moderne, capable de mesurer et corriger automatiquement les défauts de nivellement de la voie. On distingue sur la photographie ci-dessus l'œil électronique au-dessus de chaque file de rail, qui assure la référence à une ligne idéale. Conduite par seulement deux mécaniciens, elle suit facilement la cadence des chantiers classiques bien équipés.

L'évacuation des déchets de criblage pose un problème de manutention qui, suivant les conditions du chantier, peut freiner le rendement du matériel moderne de substitution et de dégarnissage. Voici, parmi les dispositifs utilisés, une bande transporteuse télescopique chevauchant les wagons-tombereaux et pouvant se replier au fur et à mesure que ces wagons se remplissent.



est très suffisant pour exécuter les programmes annuels, mais il faut disposer de deux engins pour les chantiers rapides, ce qui représente de sérieux inconvénients (charges de surveillance, évacuation des déblais, etc.). Les recherches se poursuivent en vue d'atteindre le seuil à partir duquel une seule dégarnisseuse serait apte à suivre la cadence de pose des chantiers modernes. C'est une course dans laquelle, pour le moment, le dégarnissage paraît distancé, d'autant plus que, trop souvent, l'évacuation des déblais est un frein.

Lorsque la voie est en remblai, il est souvent possible de faire cette évacuation directement sur les talus au moyen de la flèche orientable de la dégarnisseuse, mais, en tranchée, il faut charger sur wagons. C'est un problème d'autant plus ingrat que les données sont extrêmement variables selon le profil de la ligne, la pollution du ballast et les conditions de décharge.

Une solution a consisté à utiliser une trémie d'accumulation et un dumper faisant des trajets aller et retour sur le plancher de wagons plats reliés entre eux par des volets rabattables. Mais les wagons sont à rude épreuve et la cadence est irrégulière, les trajets du dumper variant à mesure que le train se remplit. Une autre médiocre solution consiste à mettre provisoirement les déblais en dépôt et à les reprendre ensuite avec des grues roulant sur les wagons.

Plus séduisant est l'emploi de tapis roulants chevauchant les wagons-tombereaux et les approvisionnant à partir d'un wagon-trémie. Divers dispositifs ont été conçus à cet effet. Tantôt le tapis est télescopique et se replie au fur et à mesure que les wagons se remplissent, tantôt les éléments sont indépendants les uns des autres et sont disposés sur les wagons avant l'arrivée du train de service sur le chantier. Le chargement se fait à l'aide de volets escamotables permettant à tout moment de déverser les débris en un point quelconque de la rame de wagons.

Tout cela est fort ingénieux, mais aucun dispositif n'est encore tout à fait capable de suivre en terrain accidenté la cadence d'une dégarnisseuse moderne.

Une progression constante

Ainsi, chaque fois que, dans cette course à la mécanisation, un équipement réalise de nouvelles performances, la phase correspondante est investie d'un rôle de pointe et force l'ensemble des équipements à une progression équivalente. Tantôt le dégarnissage entraîne la pose, tantôt c'est l'inverse qui se produit. Il y a au surplus, sur un chantier, des opérations moins spectaculaires, mais

dont la mécanisation est tout aussi essentielle et suit une évolution parallèle. Pour l'emploi du ballast, par exemple, le tonnage utile des wagons à déchargement automatique n'a cessé de croître (d'où raccourcissement des rames), tandis que la commande des vannes se perfectionnait.

Les entreprises sont également équipées de « bourreuses » modernes qui mesurent et corrigent automatiquement les défauts du nivellement en se référant à une ligne idéale, parfois définie par un œil électronique. La rapidité de ces engins, confiés à deux mécaniciens, leur permet de suivre facilement la cadence actuelle d'un chantier classique, ce qui exigeait autrefois une vingtaine d'ouvriers. Des prototypes beaucoup plus puissants existent à l'étranger et seront bientôt expérimentés en France.

Le dressage transversal de la voie, complément essentiel du nivellement, fait l'objet d'actives recherches qui ont déjà porté leurs fruits. Il existe aussi des compacteuses, susceptibles d'activer par damage la stabilisation de la voie après sa mise en place, ce qui est utile surtout sur les voies équipées de longues barres sur traverses en bois. Récemment, certaines « régaleuses » de ballast ont été conçues pour éviter les « coups de fourche » nécessaires à divers moments du chantier. Enfin, l'outillage mécanique propre aux dernières tâches individuelles, manutentions par exemple, continue à se perfectionner en maniabilité, en efficacité et en qualité. Ces tâches sont d'ailleurs de plus en plus concentrées dans les centres de montage et démontage.

En résumé, les chantiers de renouvellement tendent de plus en plus à dépouiller leur aspect ancien de multitude haletante pour ressembler à la chaîne d'une usine moderne où les interventions des hommes sont rares et pondérées. Cela suppose une parfaite orchestration à tous les niveaux. L'approvisionnement à partir des ateliers de soudure ou de reprofilage ne tolère pas d'à-coups sur les chantiers. Les plus importants de ceux-ci sont actuellement répartis à l'échelon national en une douzaine de « suites » dont l'exécution s'échelonne sur les douze mois de l'année. Chacune de ces « suites » exige de la S.N.C.F. un coûteux effort d'organisation, de surveillance, de contrôle des trains de service, des sujétions imposées à la circulation. L'accélération du rythme des opérations devrait permettre, en répartissant les chantiers en un nombre de suites plus réduit, de réaliser sur toutes ces dépenses des économies très substantielles.

M. SANDOZ

Ingénieur en Chef à la S.N.C.F.

TRACTION ELECTRIQUE

Rappelons d'abord brièvement la situation de notre réseau. Il s'étend sur 38 600 km de lignes principales, avec 60 000 km de voies principales et 22 000 km de voies secondaires. La physionomie du trafic est mise en évidence par la carte de la page ci-contre. Disons tout de suite que l'on prévoit un accroissement de 100% des densités de trafic d'ici vingt ans.

La carte du bas de la page indique l'état actuel des lignes électrifiées de la S.N.C.F. Ces lignes représentent, en fin décembre 1965, un total de 8 389 km, soit 21,6% de la longueur totale du réseau. Elles assurent toutefois, à elles seules, plus des deux tiers du tonnage kilométrique brut remorqué, car on y compte les artères à plus fort trafic.

La modernisation de la traction se traduit par l'électrification, la dieselisation et l'abandon progressif de la locomotive à vapeur. Le tableau ci-dessous donne l'état, au 1^{er} octobre 1965, du parc d'engins moteurs :

TRAC- TION ÉLEC- TRIQUE	Locomotives	continu 1,5 kV 1 307 monophasé 25 kV- 50 Hz 685 polycourant. 103	} 2 653
	Automotrices	continu 750 V, 1,5 kV 508 monophasé 25 kV- 50 Hz 12 diverses ... 38	
TRAC- TION DIESEL	Locomotives et lo- comoteurs	1 344	} 3 692
	Locotracteurs (puis- sance inférieure à 220 kW)	1 203	
	Autorails	1 145	
TRAC- TION VAPEUR	Locomotives : effec- tif exploitable	2 700	} 2 700
Total des engins moteurs		9 045	

L'électrification a été réalisée avec deux grands systèmes principaux de courant : 4 732 km sont électrifiés en courant continu 1,5 kV, 3 380 km le sont en courant monophasé 25 kV- 50 Hz. L'effort d'électrification a été soutenu d'une façon remarquable depuis plusieurs années avec, en moyenne, de 1955 à 1964, l'équipement annuel de 355 km de lignes, soit 755 km de voies principales et 285 km de voies de service. D'après les prévisions actuellement faites, 9 200 km de lignes seront électrifiées fin 1970. La traction vapeur devrait disparaître totalement en 1972.

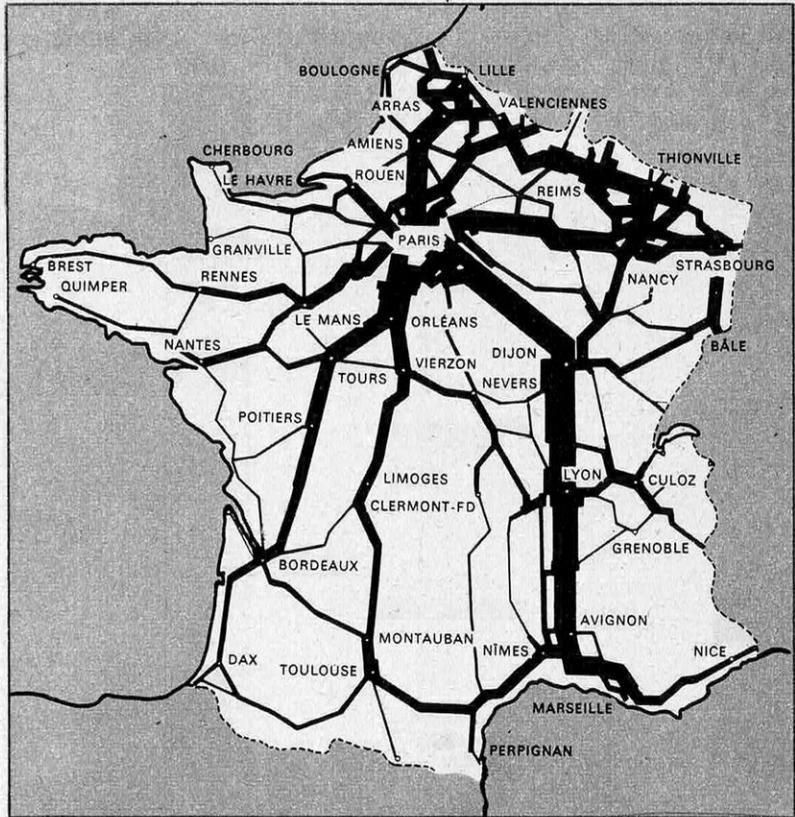
La stabilité de ce programme a permis une évolution continue dans les études et les réalisations, et des progrès spectaculaires en ce qui concerne tant les sous-stations que les engins de traction.

Les installations fixes

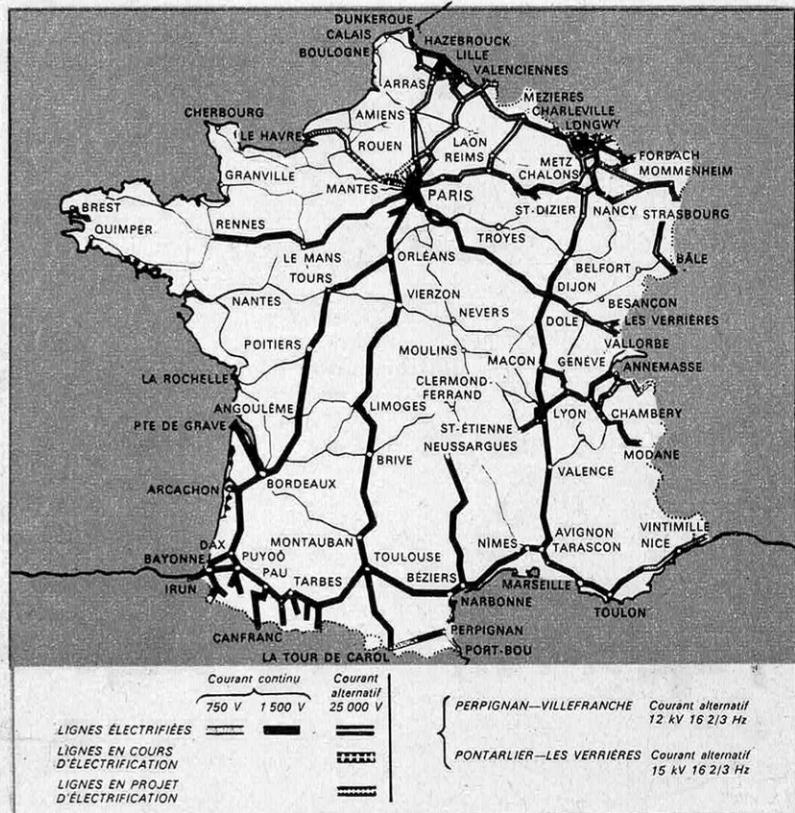
En courant continu, le perfectionnement du matériel et des installations de distribution haute tension, ainsi que l'augmentation de la puissance unitaire des groupes a permis de simplifier l'équipement des sous-stations. Un nouveau pas en avant a été fait grâce à l'emploi de redresseurs au silicium remplaçant ceux à vapeur de mercure; des thyristors sont utilisés actuellement à titre expérimental. Les postes installés le long des voies pour le sectionnement et la mise en parallèle des caténaires se sont aussi beaucoup simplifiés.

En monophasé, les sous-stations sont pratiquement réduites à de simples transformateurs (deux en général) raccordés sur le réseau général d'Électricité de France. Certains comportent des régleurs en charge de la tension 25 kV, asservis à une tension de référence par un système électronique; ces régleurs permettent d'augmenter l'espacement entre sous-stations et de compenser les chutes de tension dans les lignes d'alimentation haute tension. L'équipement a été l'objet de nombreuses améliorations, par exemple en matière d'interrupteurs autrefois installés au sol dans une enceinte grillagée; les modèles les plus récents sont de véritables petits disjoncteurs qui se montent sur des poteaux.

La carte ci-contre montre l'importance du trafic ferroviaire en France, d'après le tonnage brut transporté annuellement sur les différentes lignes, dont les plus chargées sont maintenant électrifiées.

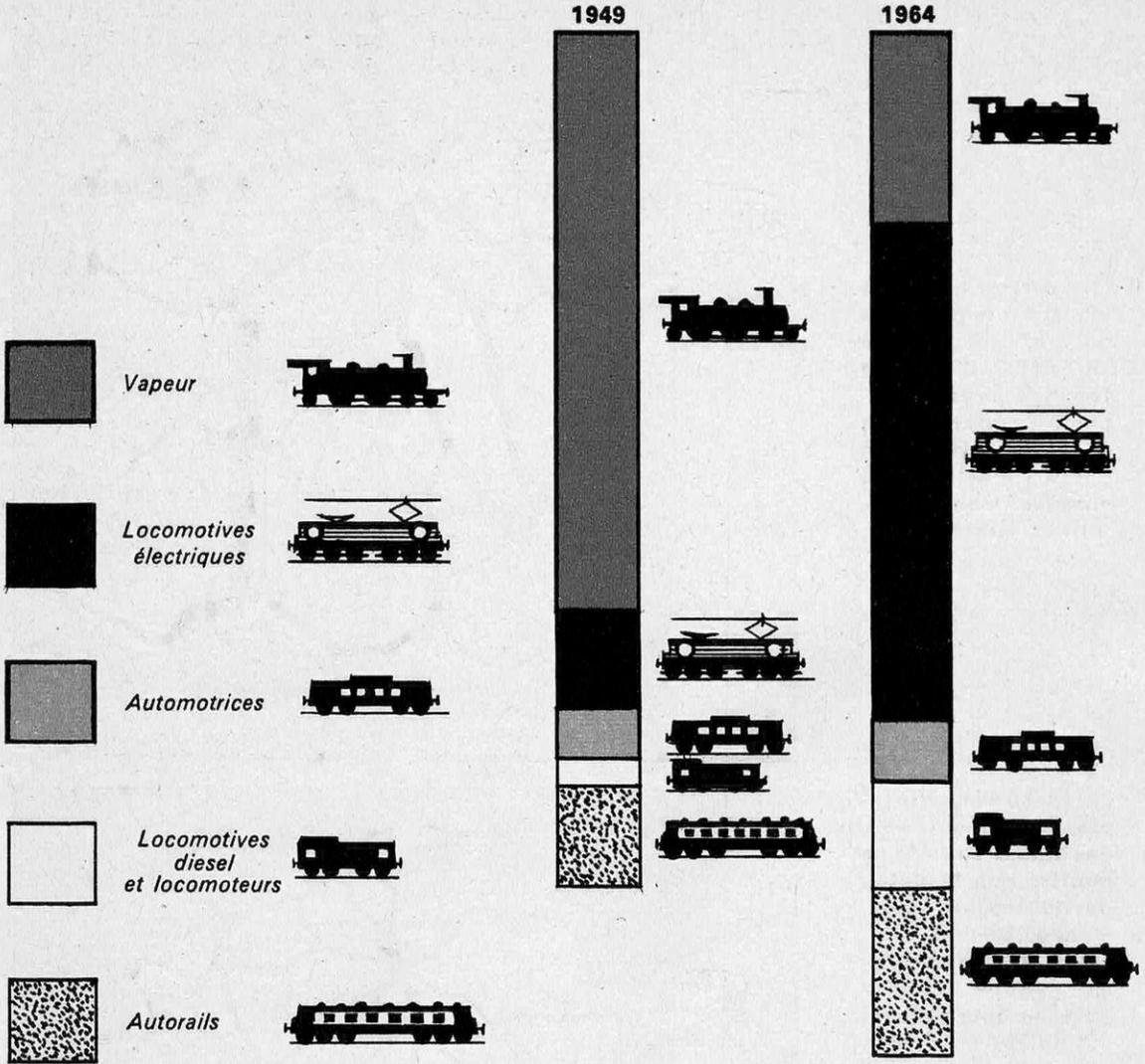


Le réseau électrifié représente plus de 20% des lignes. La carte ne montre pas le détail de la région parisienne, où de nouvelles électrifications en continu 1500 V sont en cours d'exécution ou en projet.

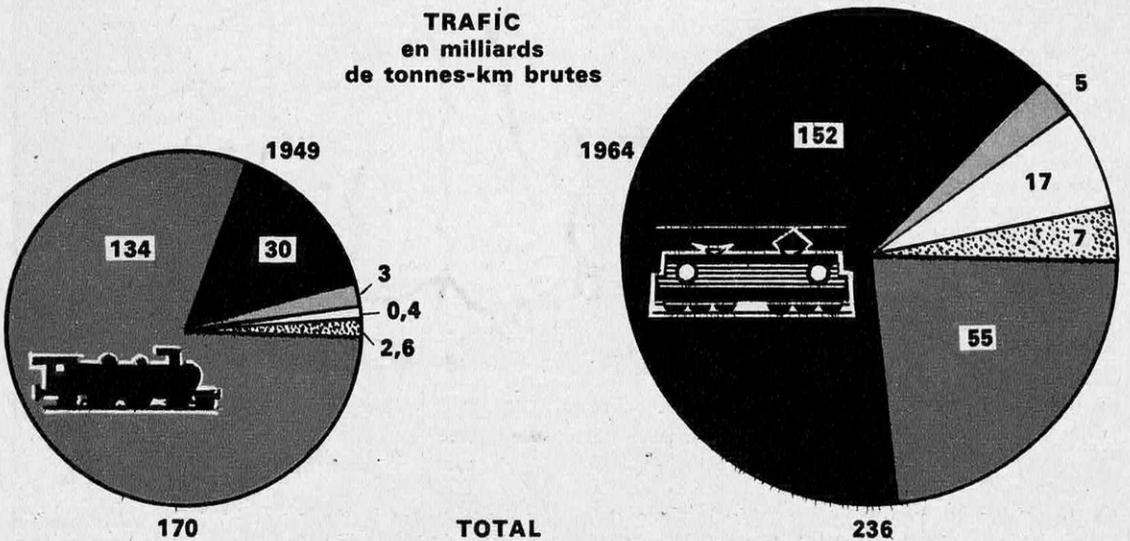


TRACTION ELECTRIQUE

PARCOURS
en millions de km

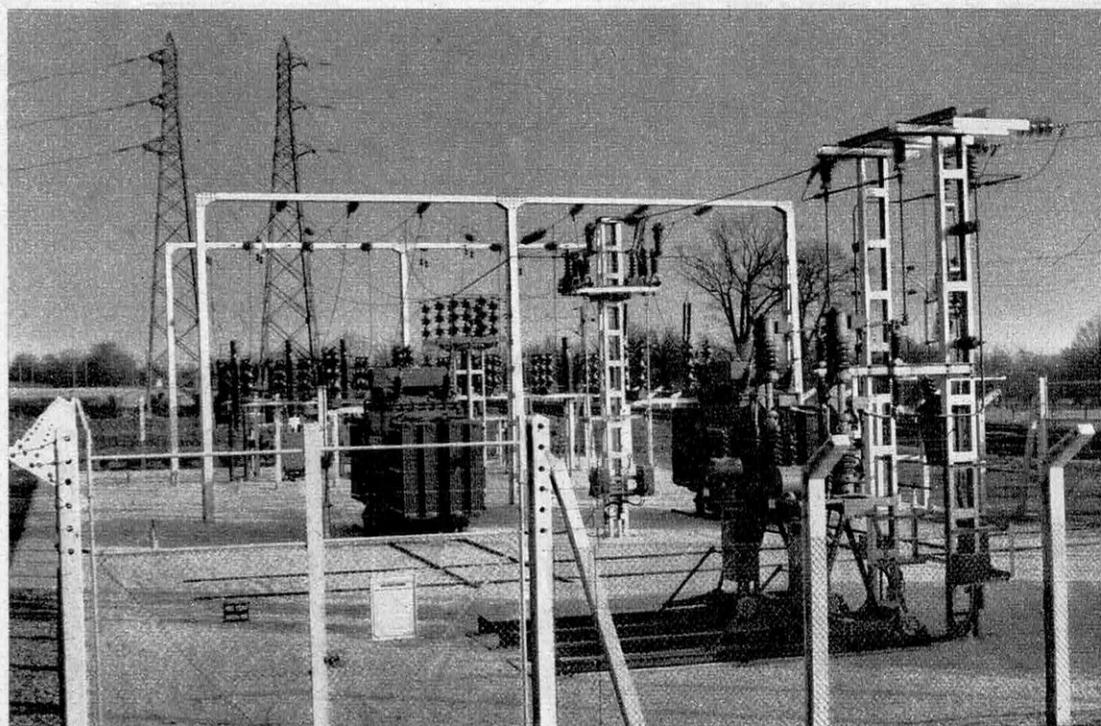
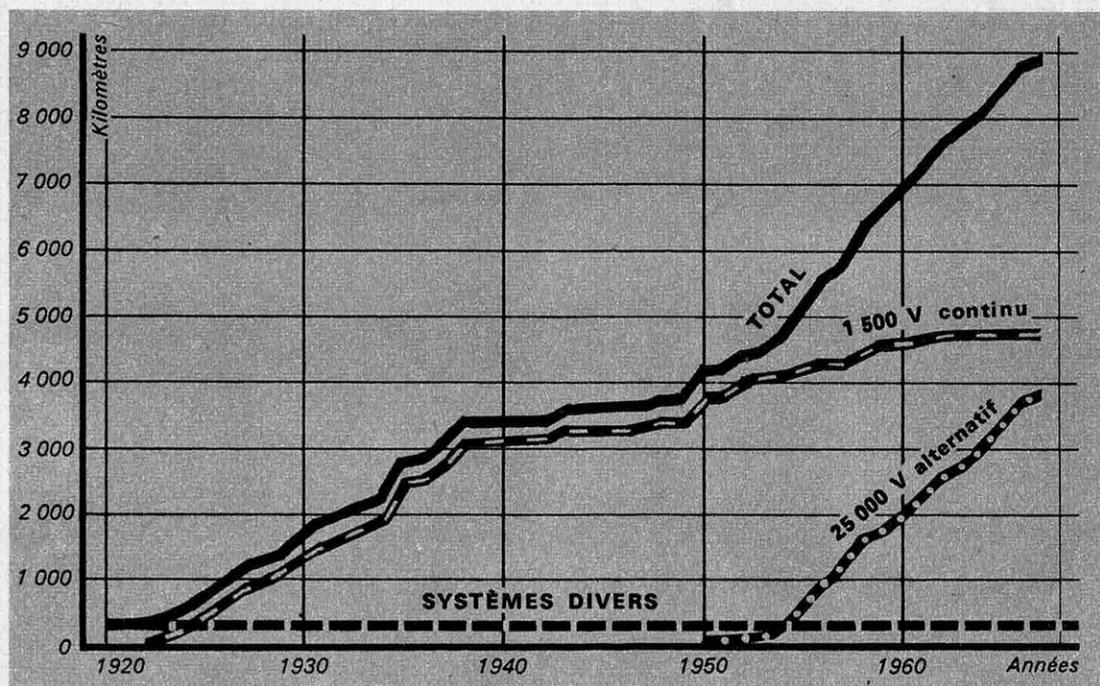


TRAFIC
en milliards
de tonnes-km brutes



**DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTRIFICATION
EN FRANCE
ÉVOLUTION KILOMÉTRIQUE
ET ÉTAPES PRINCIPALES**

**L'accroissement extrêmement rapide du
réseau électrifié français depuis 1950 cor-
respond presque exclusivement à l'applica-
tion à la traction du courant industriel 25 kV.**



**En courant monophasé, les sous-stations,
telle celle d'Evrom (ci-dessus), sur la ligne**

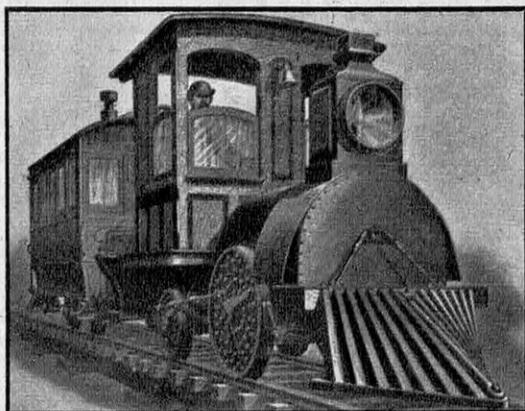
**Le Mans-Rennes, sont réduites à des trans-
formateurs raccordés au réseau général.**

TRACTION ÉLECTRIQUE AVANT 1900

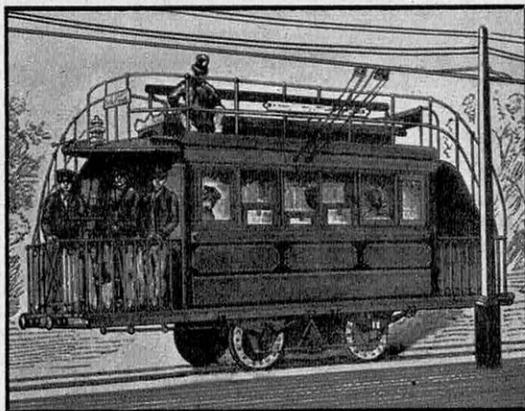
Plus récente que la locomotive à vapeur, la traction électrique n'en a pas moins une honorable généalogie. Elle remonte, en effet, à 1842 avec la machine de Davidson. Ce n'est toutefois qu'aux environs de 1900 que la traction électrique entra dans la pratique.



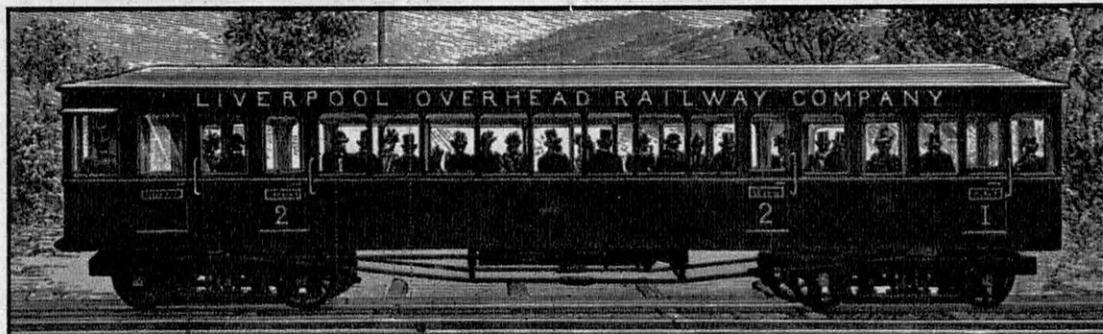
Le train électrique de Siemens et Halske à l'Exposition industrielle de Berlin en 1879.



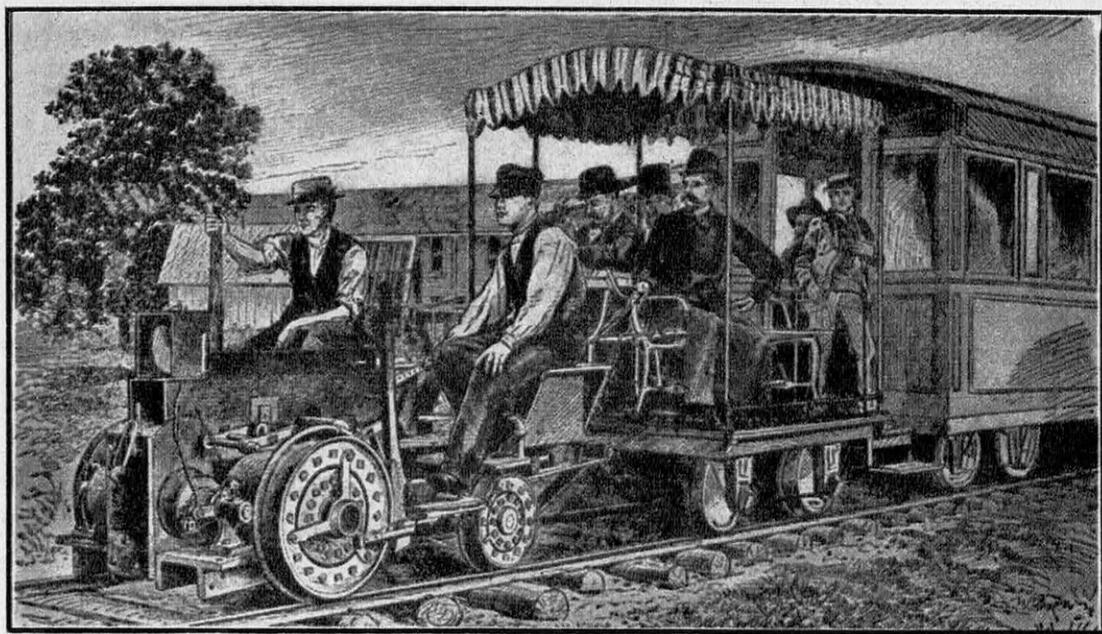
La machine électrique construite par Tomas Edison en 1882 ressemblait à une locomotive à vapeur privée de cheminée.



Arrivée et retour du courant par double trolley sur un tramway de Charlottenburg au cours des essais poursuivis en 1881.



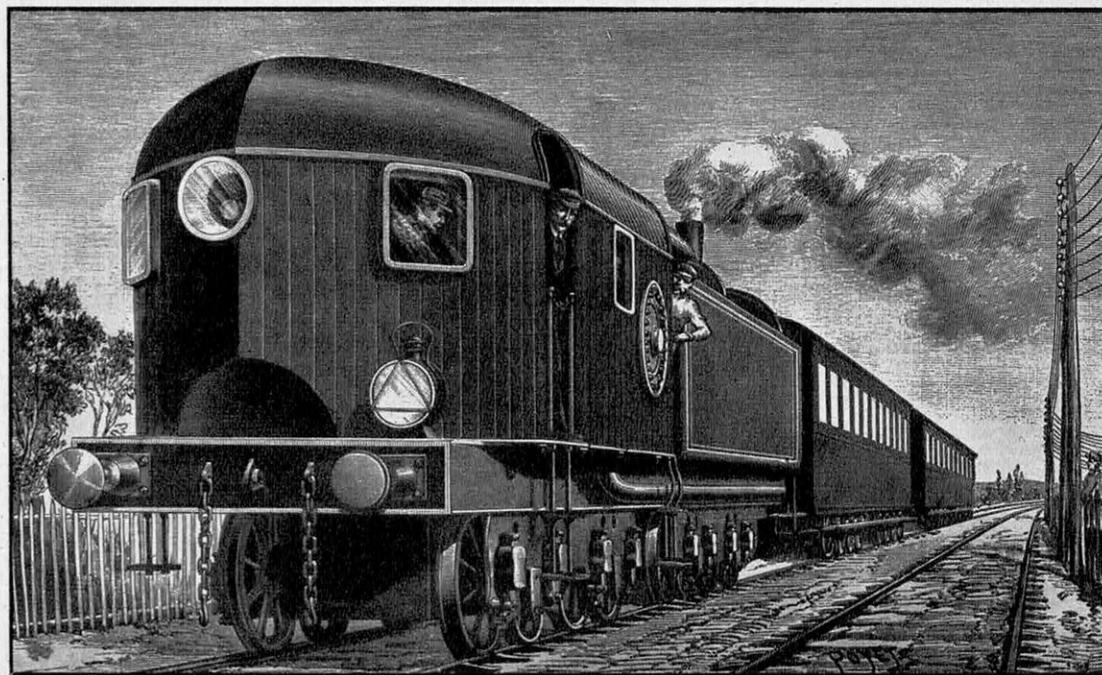
Voiture électromotrice de 56 voyageurs sur le Chemin de fer aérien de Liverpool en 1893.



Le chemin de fer électrique expérimental d'Edison à Menlo Park. Inauguré en 1880 avec 500 m de rails, il devait atteindre un développement de 5 km deux ans après.

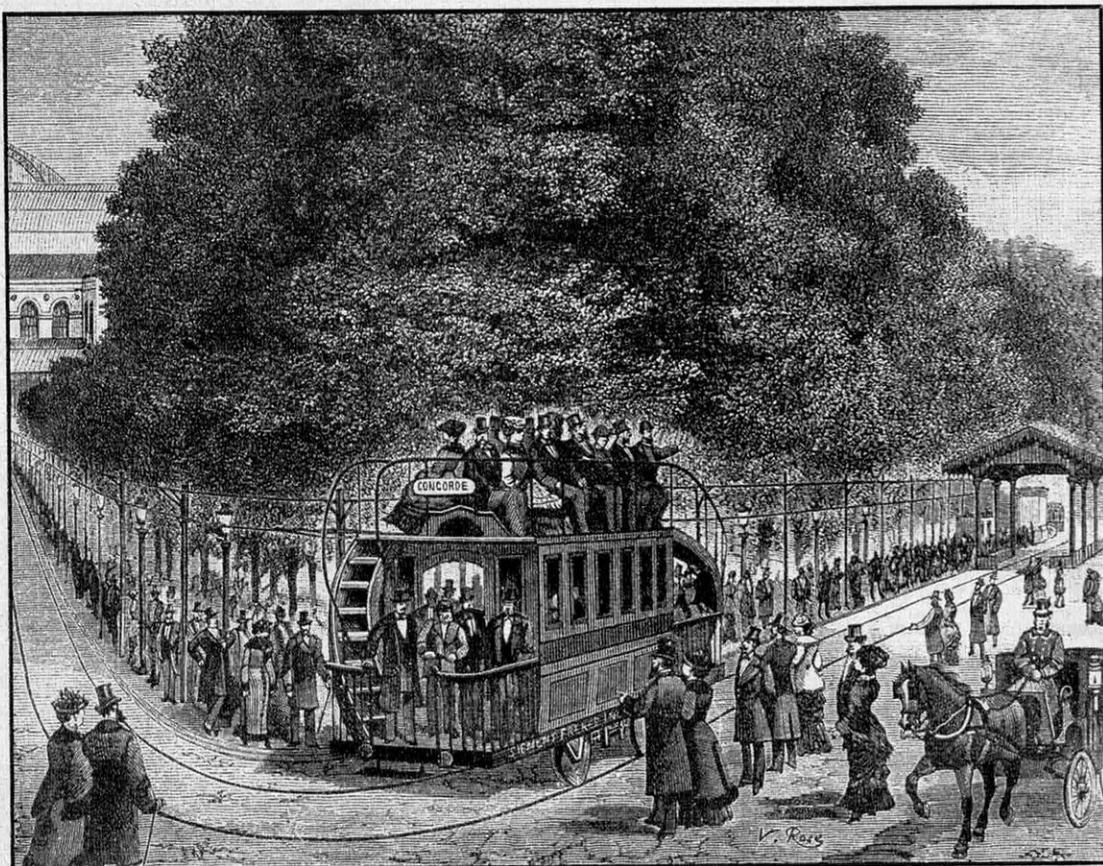


La voiture hippomobile que Raffard transforma en tramway électrique avec des accumulateurs Faure branchés sur une dynamo Gramme et qui circula à Paris, en mai 1881.

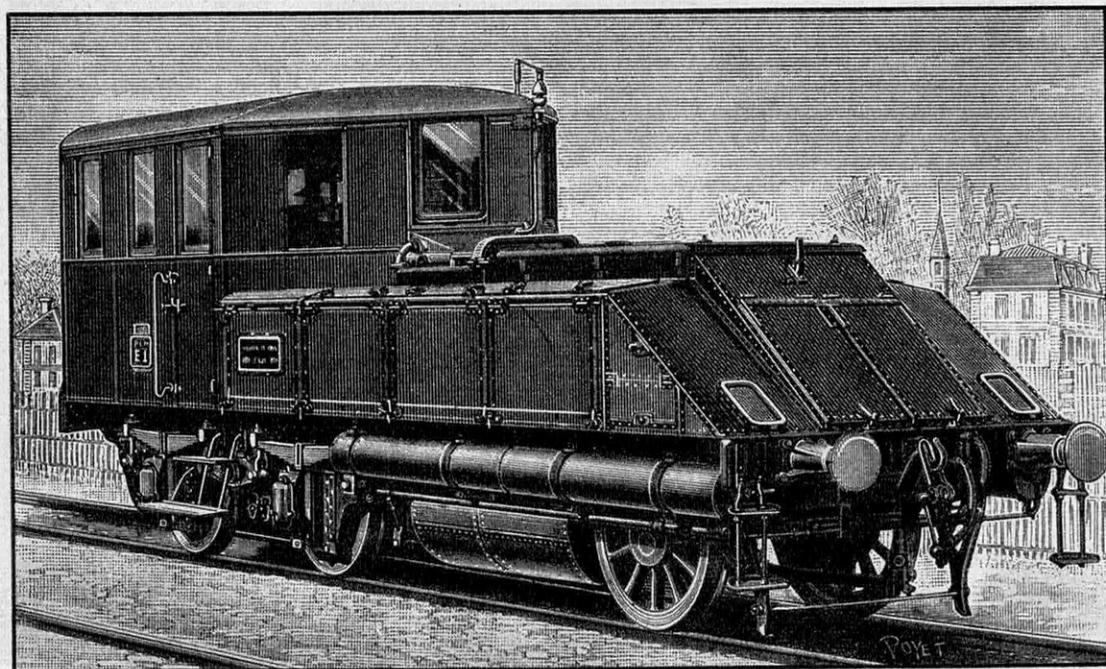


La locomotive électrique Heilmann de 1893 emportait sa centrale thermique à vapeur.

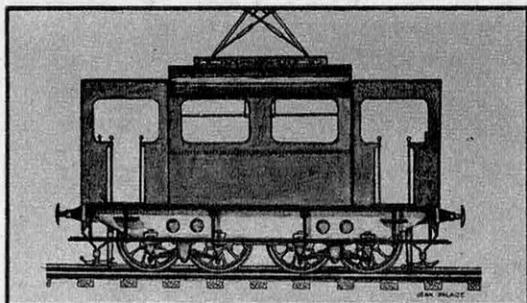
TRACTION ÉLECTRIQUE AVANT 1900 (SUITE)



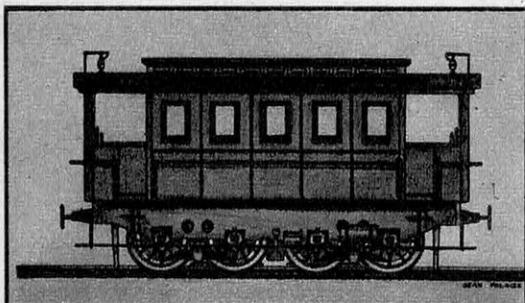
Le tramway Siemens qui reliait le Palais de l'Industrie à la place de la Concorde durant l'Exposition d'électricité, en 1881. Ce fut la première application de conducteurs aériens.



La locomotive à accumulateurs que l'ingénieur L. Auvert essaya sur le P.L.M. en 1897.



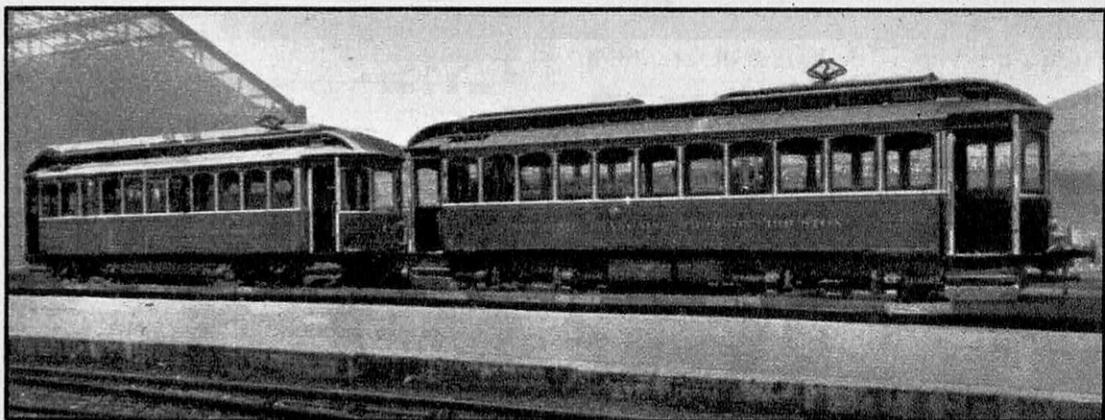
La machine électrique d'essai dont le châssis était constitué par un bogie Heilmann à quatre essieux moteurs (1895).



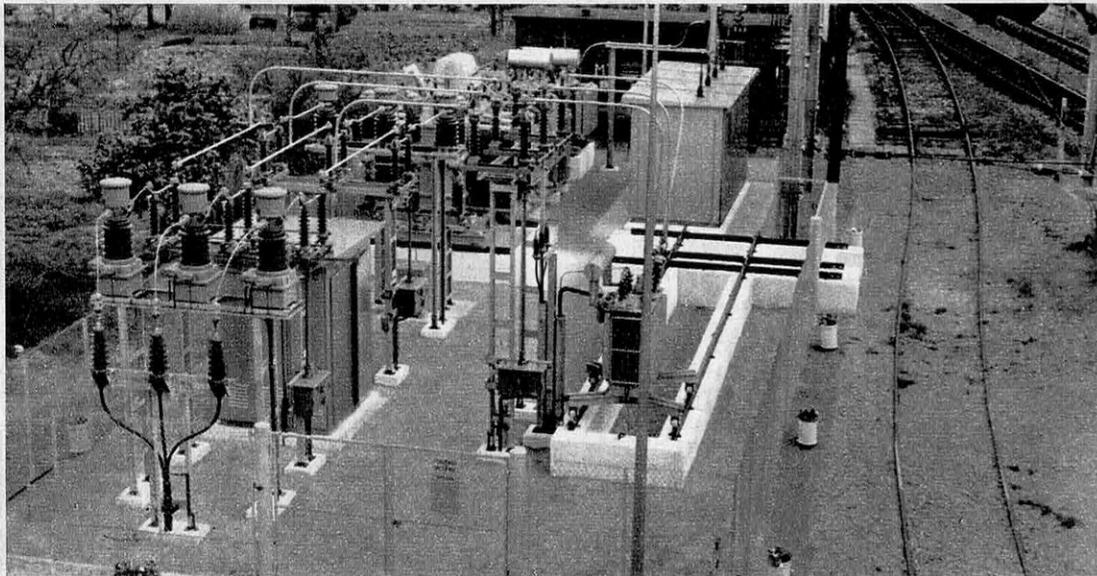
Autre automotrice réalisée en 1895 sur le second bogie de la machine Heilmann de 1893 pour essayer ce mode de traction.



Le second type de locomotive électrique autonome de Jean-Jacques Heilmann avec son fourgon tender. Cette photographie fut prise lors des essais sur les voies de l'Ouest en 1896.



Rame Thomson-Houston sur la ligne électrifiée de Paris-Austerlitz à Paris-Orsay en 1900.



Ci-dessus, la sous-station d'Aix-les-Bains, équipée de redresseurs secs au silicium.

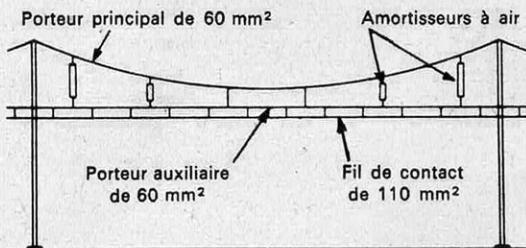
Caténaire et pantographe doivent s'adapter parfaitement l'un à l'autre pour que la qualité de captage reste bonne jusqu'à la vitesse maximale, avec le minimum d'usure. Cette condition est généralement réalisée avec un pantographe de faible masse dynamique sous une caténaire de flexibilité aussi constante que possible, des tensions mécaniques indépendantes de la température et des portées de l'ordre de 60 m. En courant continu, la caténaire compound avec porteur auxiliaire s'est généralisée. En alternatif 25 kV, les intensités étant relativement faibles, l'équipement ne comporte qu'un câble porteur et un fil de contact. Pour les vitesses supérieures à 100 km/h, la flexibilité est régularisée au droit de chaque support par un câble auxiliaire long de 10 m, dit câble en Y. Avec les nouveaux pantographes à cadre simplifié de faible masse dynamique, de nombreux essais ont montré que le captage correct restait assuré jusqu'à des vitesses de l'ordre de 250 km/h.

La bogie « monomoteur »

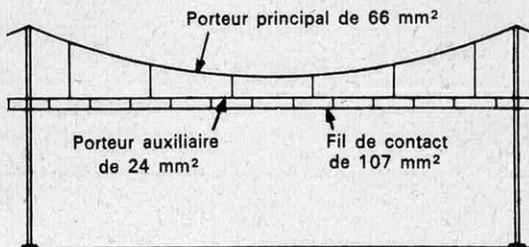
Les machines modernes sont à adhérence totale quelle que soit leur vitesse de circulation, c'est-à-dire que tous les essieux sont moteurs et que le poids total de la locomotive participe à l'adhérence.

Les moteurs sont maintenant entièrement suspendus. La S.N.C.F. ne s'équipe plus en moteurs appuyés d'un côté sur l'essieu (moteurs demi-suspendus ou suspendus par le nez). Il y a certes toujours en service de nombreux engins équipés de moteurs suspendus

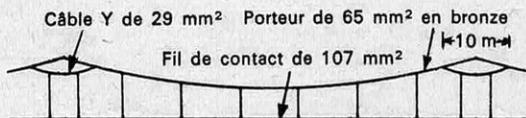
CATENAIRE COMPOSEE COMPOSEE



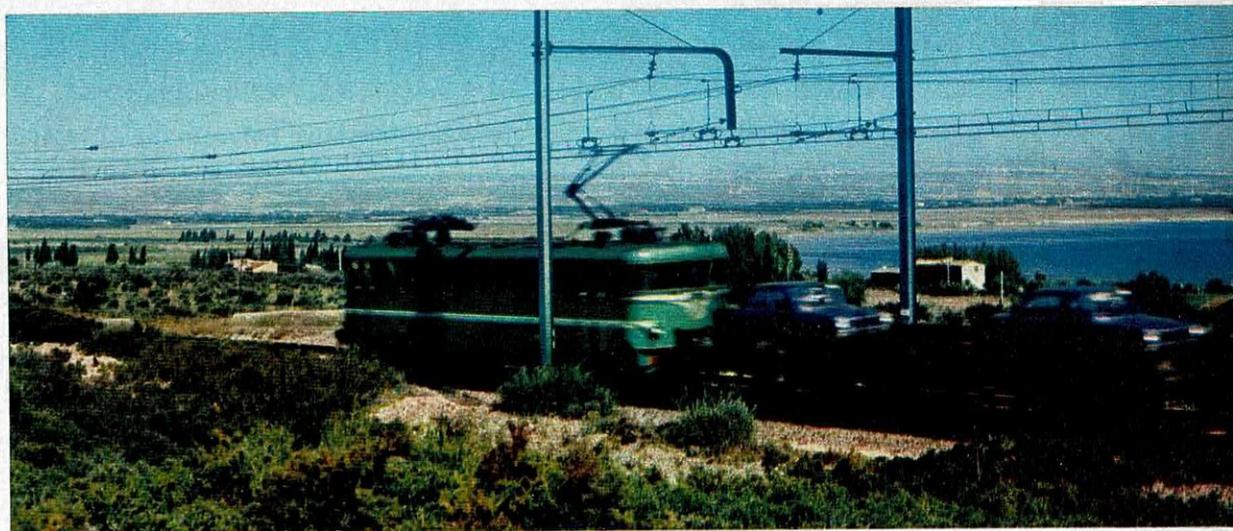
CATENAIRE COMPOUND



CATENAIRE AVEC Y



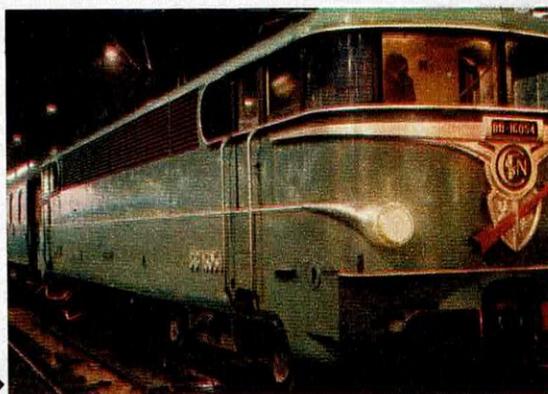
La caténaire compound, qui peut être du type composé avec amortisseurs, est généralisée pour le 3 000 V continu. En alternatif, il n'y a qu'un seul porteur, que complètent des sections auxiliaires dites câbles en Y.

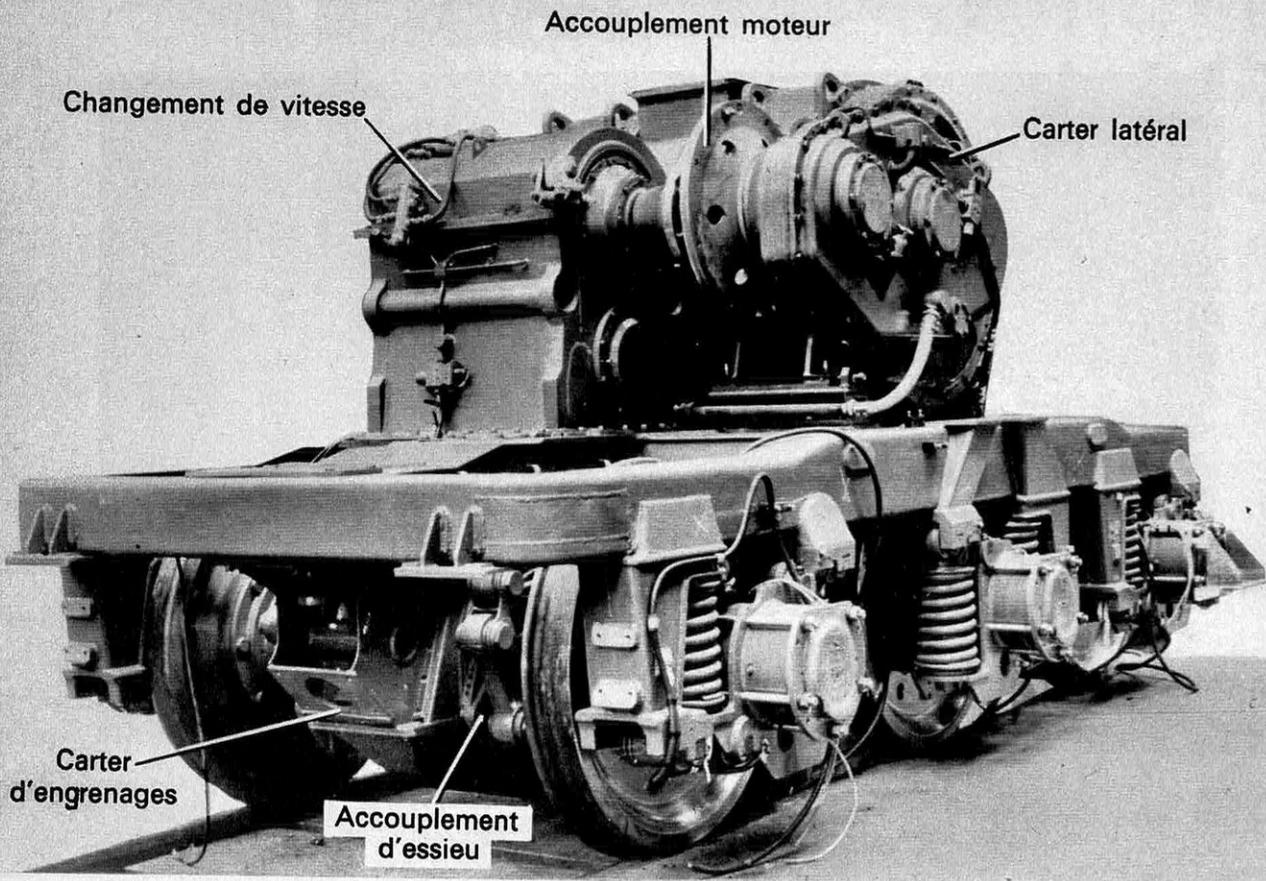


Deux des locomotives de vitesse à redresseurs de la série BB 16 000 de 61 unités.

Au centre, une locomotive BB 9 400 à courant continu 1 500 V, en tête d'un train de messageries à proximité de l'étang de Berre. Ces engins à bogies monomoteurs pèsent 60 tonnes et, avec une puissance de 2135 kW, ont une vitesse maximale de 120 km/h.

Les BB 16 000 pour courant monophasé 25 kV-50 Hz, d'un poids de 85 tonnes, développent 4 130 kW (5 600 ch) au régime continu. Leur vitesse maximale atteint 160 km/h.





Bogie et moteur de traction de la locomotive polycourant CC-40100.

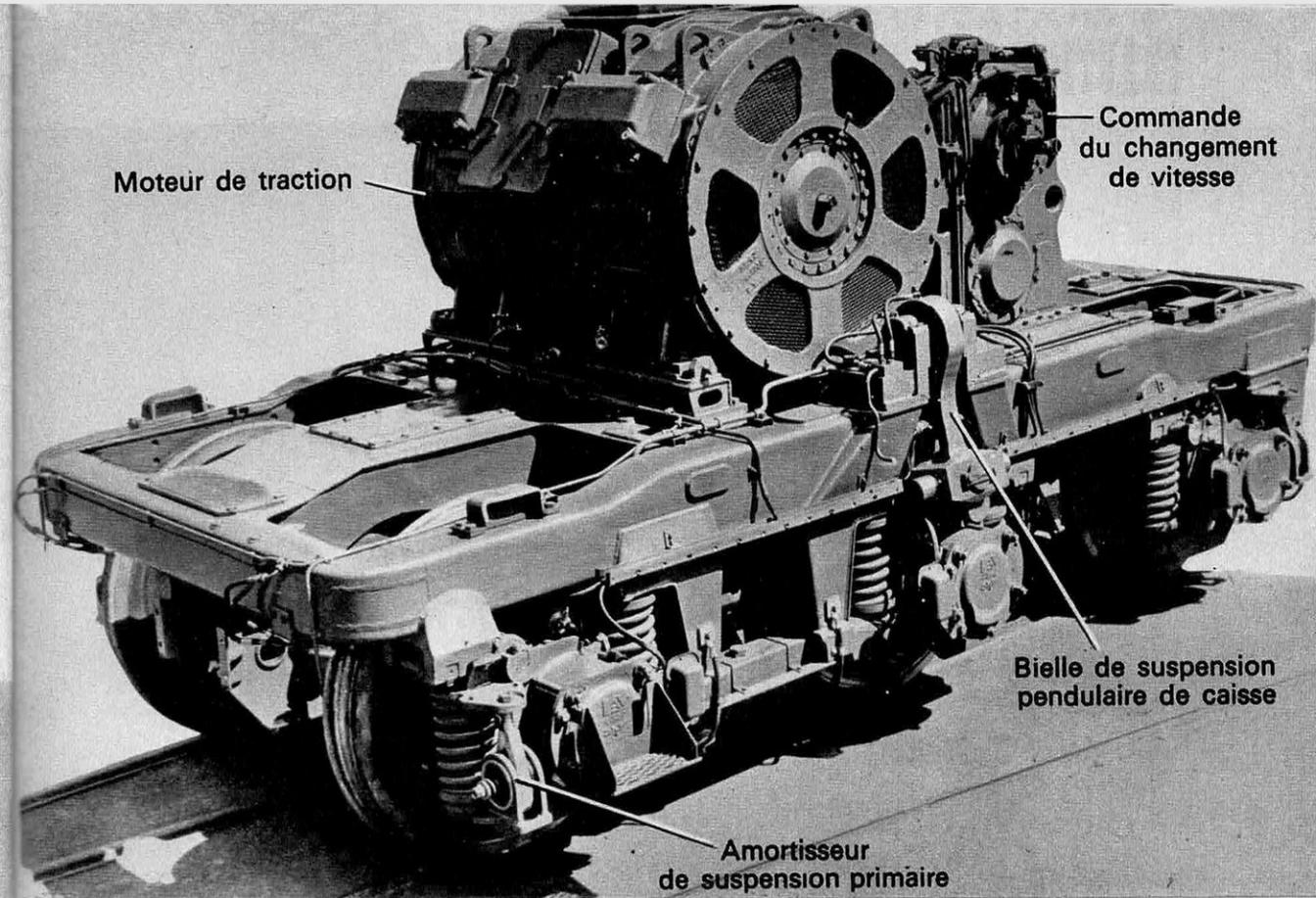
par le nez, et parmi eux depuis trente ans les automotrices Z 3800 sur lesquelles les moteurs donnent satisfaction malgré un service omnibus très dur sur la ligne Chartres-Le Mans où la vitesse moyenne entre deux gares consécutives atteint 102 km/h. Cependant, il a été constaté au cours d'essais en ligne de longue durée, en particulier avec une série d'éléments automoteurs de banlieue dont certains avaient leurs moteurs entièrement suspendus et d'autres des moteurs suspendus par le nez, que les premiers se comportaient mieux en service que les seconds et que le nombre d'incidents était deux fois et demie plus grand dans le cas de ces derniers. C'est donc en pleine connaissance de cause que l'on a renoncé à ce type de suspension.

L'adoption du moteur entièrement suspendu conduit toutefois à un prix élevé des transmissions, mais ce défaut est atténué par l'emploi de la technique du bogie monomoteur. Celui-ci permet tout d'abord une économie de poids et de prix. La réduction de poids est importante quand on concentre la puissance et, de plus, on réduit ainsi la câblerie, l'appareillage et les ventilateurs. Pour les puissances de l'ordre de 2 000 kW, le gain total est d'environ 3 t.

L'adhérence est améliorée par le couplage des essieux. La concentration des masses dans le milieu du bogie améliore la tenue sur la voie, et l'expérience a prouvé que les efforts exercés à grande vitesse sur elle sont toujours inférieurs à ceux des autres engins.

Le bogie monomoteur permet de réaliser un double rapport d'engrenages modifiable à l'arrêt en quelques minutes pour transformer une locomotive marchandises en locomotive à voyageurs. On obtient ainsi une machine réellement universelle. Le double rapport d'engrenages offre un autre avantage. Pour une puissance donnée du moteur, on peut le définir à vitesse plus élevée, celle du plein champ avec le rapport grande vitesse; le couple à l'arbre du moteur est alors plus faible, et on peut réduire les dimensions du moteur.

En France, depuis 1958, le bogie monomoteur a été appliqué à de nombreux matériels et on dispose ainsi de l'expérience des grandes vitesses, des charges remorquées les plus lourdes, du service banlieue, des lignes de plaine et de montagne. Les très bons résultats obtenus avec les bogies monomoteurs à deux essieux ont conduit à étendre le même principe aux bogies à trois essieux.



Un autre aspect de l'imposant ensemble moteur de la CC-40100.

La première réalisation est une locomotive de 2 590 kW, 150 km/h, qui circule depuis janvier 1961. La même technique a été également appliquée aux locomotives quadricourant CC 40101 à 40104 avec double rapport d'engrenages donnant des vitesses maximales de 160 et 240 km/h.

Les moteurs

L'évolution tend toujours vers l'augmentation de la puissance unitaire, avec pour conséquence l'accroissement de la puissance de la locomotive à nombre de moteurs égal et, à puissance égale de la locomotive, une réduction du nombre des moteurs.

En pratique, le poids et l'encombrement admissibles pour un moteur de locomotive sont limités. Si l'on veut obtenir le maximum de puissance, on peut jouer sur plusieurs paramètres dont les principaux sont : l'augmentation de la ventilation, l'adoption d'une classe d'isolation élevée et l'augmentation de la section des conducteurs, d'où réduction des pertes.

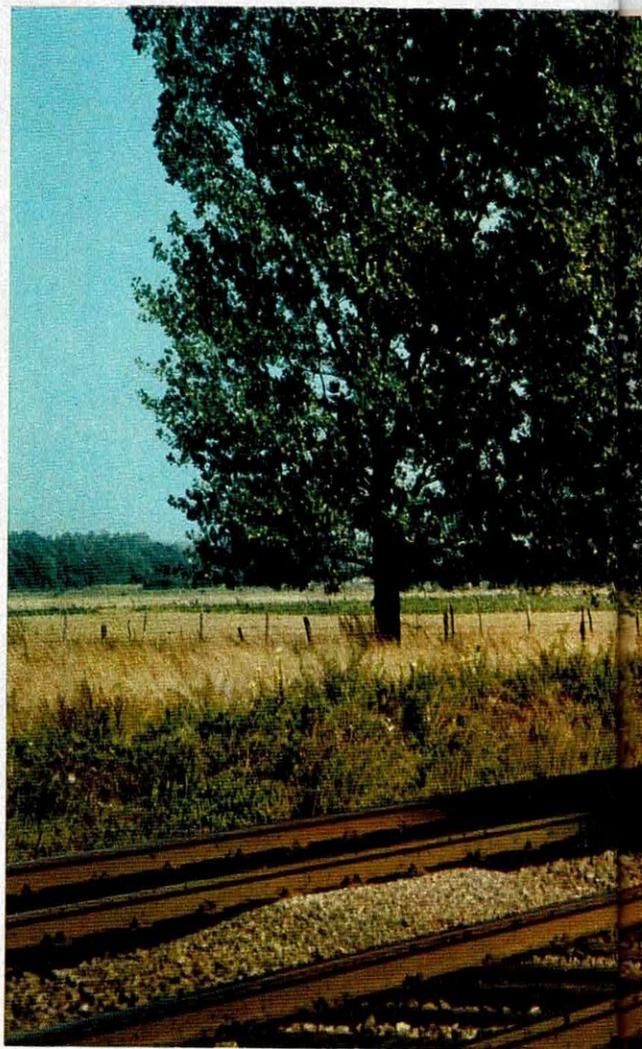
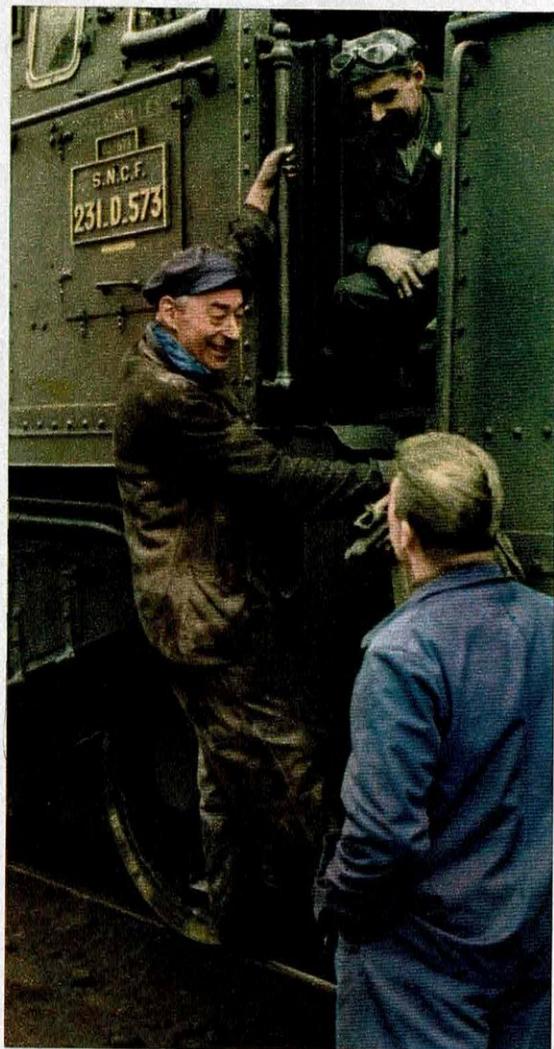
On peut améliorer l'efficacité de la ventilation par une répartition plus judicieuse du circuit d'air de refroidissement à l'intérieur

du moteur, mais on atteint très vite la limite.

Dans le domaine de l'isolation, une évolution constante s'est manifestée durant ces dix dernières années, se traduisant par un accroissement de l'échauffement admissible des conducteurs de l'induit de 120° à 140°, puis à 160°. Un nouveau vernis est apparu, à base de polyimide aromatique, appelé émail ML, d'excellente souplesse et de bonne résistance mécanique et qui possède des qualités remarquables de conductivité (environ le double des silicones) et de stabilité thermiques. Il y a en cours de construction treize moteurs Jeumont : huit moteurs TO 136⁸ pour la première tranche des locomotives 25200 et cinq moteurs prototypes TO 146² pour BB 16000 à grande puissance, et quatre moteurs Alsthom : deux moteurs TDQ 662 pour CC 40100 à puissance accrue et deux moteurs pour BB 25500 à puissance accrue.

Pour l'augmentation de la section des conducteurs, un bond en avant vient d'être fait avec le fil ML pour lequel, à même valeur d'isolation, l'épaisseur de la couche d'isolant est environ la moitié de l'épaisseur d'une isolation classique. Ceci permet, d'une part, de loger dans l'encoche des cuivres

TRACTION ELECTRIQUE



Les locomotives quadricourant CC 40100 (ci-dessus) sont capables de fonctionner sous courant continu 1,5 kV et 3 kV, ainsi que sous courant monophasé 25 kV-50 Hz et 15 kV-16 2/3 Hz. Elles peuvent développer 3 670 kW (5 000 ch) et atteindre 240 km/h.

Les premières BB 17 000 monophasées (à gauche), d'une série qui comprendra 52 unités, sont actuellement en service. Leurs bogies monomoteurs à double rapport d'engrenages permettent les vitesses de 90 et 150 km/h avec une puissance de 2 940 kW.

Deux du rail : ci-dessus et à droite, le mécanicien fier de sa locomotive à vapeur et le conducteur d'un moderne engin électrique.



PHOTO M. TOSCAS

TRACTION ELECTRIQUE

de section plus forte et, d'autre part, d'améliorer sensiblement le coefficient d'échange thermique entre cuivre et fer. Pour les moteurs des locomotives CC 40100, le gain de puissance est de 20%.

La S.N.C.F. a d'autre part étudié avec soin le problème difficile de fonctionnement à champ très réduit, dont l'intérêt du point de vue exploitation est considérable. En effet, si on ne pratiquait pas cette réduction de champ sur une BB 9200, on remorquerait 200 t en palier à 150 km/h, c'est-à-dire qu'il faudrait quatre locomotives pour remorquer le Mistral.

Les redresseurs

Le groupe tournant moteur synchrone-génératrice a été très rapidement abandonné au profit des redresseurs statiques, dont les premiers ont été les ignitrons. Ce sont eux qui ont montré la supériorité des locomotives à redresseurs. Actuellement 342 locomotives à redresseurs ignitrons sont en service.

Grâce à la commande de grille, le redresseur à vapeur de mercure peut fonctionner en « onduleur », ce qui permet de doter la locomotive du freinage par récupération. Une série de 95 locomotives BB 16500 à redresseurs excitrons est ainsi équipée.

Mais le redresseur à vapeur de mercure est maintenant remplacé par le semi-conducteur à silicium. Il y a actuellement en service 78 locomotives et automotrices monophasées et 80 locomotives polycourant à redresseurs au silicium. Le silicium est relativement fragile aux surtensions et aux surintensités, mais des protections extrêmement simples ont été mises au point, grâce auxquelles ces redresseurs s'imposent sans conteste.

Les types récents

En courant continu, l'adhérence totale a été appliquée aux locomotives de vitesse à bogies à deux essieux. Ainsi a été construite une série de 92 locomotives BB 9200 de 3 850 kW au régime continu pour une masse de 82 t avec lest et une vitesse maximale de 160 km/h.

En courant monophasé, la première grande série de locomotives à redresseurs, qui date maintenant de plus de 10 ans, est celle des BB 12000 de 2 470 kW et 120 km/h. La série comporte 148 unités, dont 133 à redresseurs ignitrons et les 15 dernières à redresseurs au silicium. Ces machines conçues essentiellement pour assurer un service mixte ont donné naissance aux locomotives de vitesse

BB 16000 de 4 130 kW en régime continu, pesant 85 t et atteignant 160 km/h, dont la série comporte 61 unités.

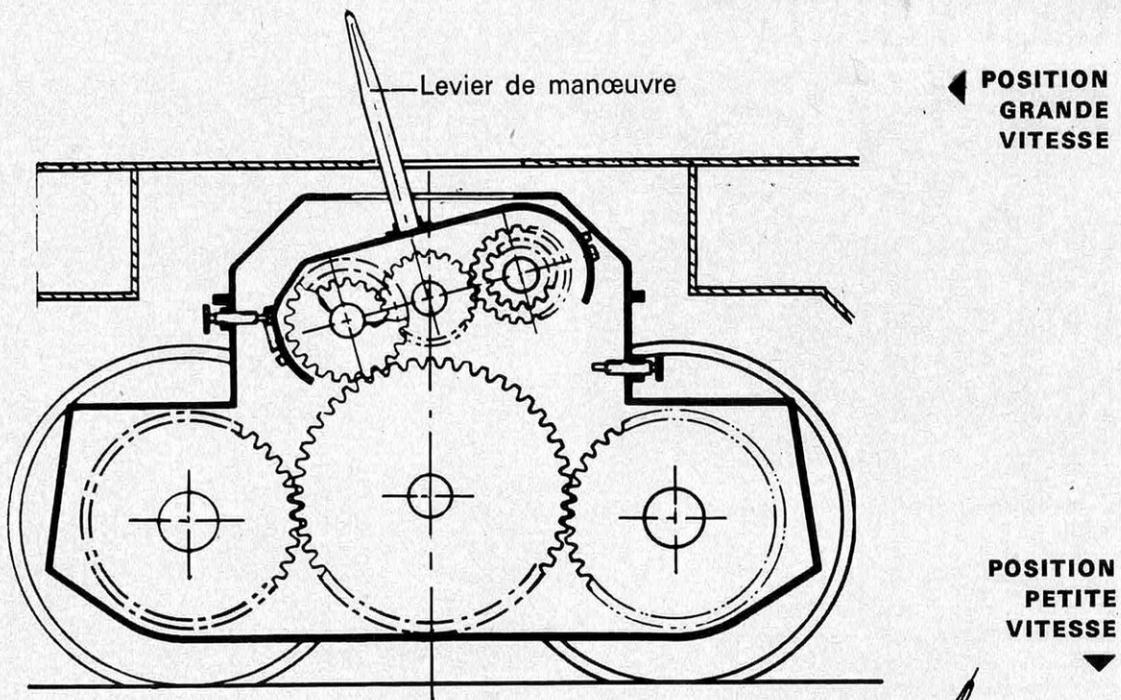
La plus importante série est celle des locomotives BB 16500 : 294 unités, dont 155 à redresseurs ignitrons, 95 à excitrons pouvant fonctionner en récupération, et 44 à redresseurs au silicium. Ces machines de 2 580 kW (72 à 74 t) sont à bogies monomoteurs et à double réduction permettant les vitesses maximales de 90 et 150 km/h.

Le bogie monomoteur a été appliqué aussi, mais suivant une technique différente, à une série de locomotives à courant continu, les BB 9400 de 2 135 kW (60 t) atteignant 120 km/h. Les cinq dernières de la série comportent un double rapport d'engrenages permettant les vitesses de 120 et 200 km/h.

Mais la locomotive de base est maintenant la locomotive bicourant, 25 kV-50 Hz et 1,5 kV courant continu. On obtient une locomotive monophasée par retrait de la partie continue (rhéostat, disjoncteur) et une locomotive 1,5 kV par retrait de la partie monophasée (transformateur, redresseur, disjoncteur). Ainsi sont les locomotives BB 25500, bicourant, BB 17000 monophasées, BB 8500 continues. Ces locomotives sont à bogies monomoteurs (suivant la technique des BB 16500) avec double rapport d'engrenages, permettant les vitesses de 90 et 150 km/h. La puissance des premières unités 25500 et 8500 est de 2 580 kW; les dernières BB 25500 et les BB 17000 possèdent des moteurs plus puissants donnant à la machine une puissance totale de 2 940 kW. Les BB 25500 et les BB 8500 possèdent le freinage rhéostatique. Les livraisons ont commencé dans le courant de 1964.

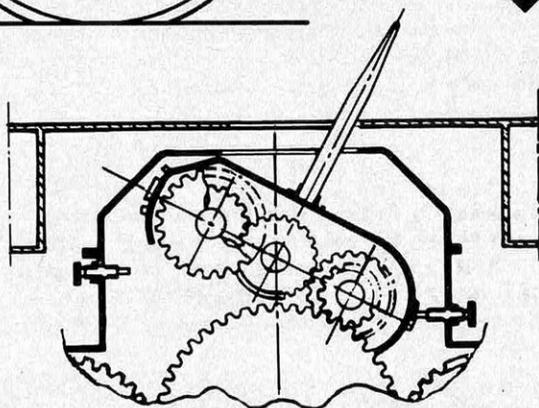
Un prototype de locomotive bicourant dérivé des BB 16000 d'une puissance sous courant continu 1,5 kV de 3 400 kW, avec freinage rhéostatique en monophasé et en continu, a donné naissance à une série de 25 locomotives, les BB 25101 à 25125, toutes en service. Leur rapport d'engrenages permettant la vitesse maximale de 130 km/h leur confère un effort à la jante au régime continu qui les rend aptes à la remorque des trains de marchandises de 1 600 t de la ligne Dijon-Neufchâteau qui comporte de nombreuses rampes de 10⁰/₀₀.

Pour la ligne Paris-Rennes (Paris-Le Mans déjà électrifiée en courant continu 1,5 kV et Le Mans-Rennes électrifiée en 25 kV-50 Hz) et la ligne Marseille-Vintimille (gare de Marseille électrifiée en courant continu 1,5 kV) électrifiée en 25 kV-50 Hz, il fallait des machines bi-courant de vitesse; aussi, en gardant le rapport d'engrenages des BB 16000, on réalise les BB 25200 dont la



Le principe du double rapport d'engrenages appliqué à l'origine sur les BB 16 500, permet, par le simple jeu d'un levier de manœuvre, de transformer un engin de traction marchandises en locomotive rapide pour trains de voyageurs, et de diminuer la puissance de dimensionnement des locomotives, donc les dimensions et le poids des moteurs.

Automotrice Z 6 100 pour lignes de banlieue à courant monophasé, équipée d'un bogie monomoteur. Vitesse maximale 120 km/h.



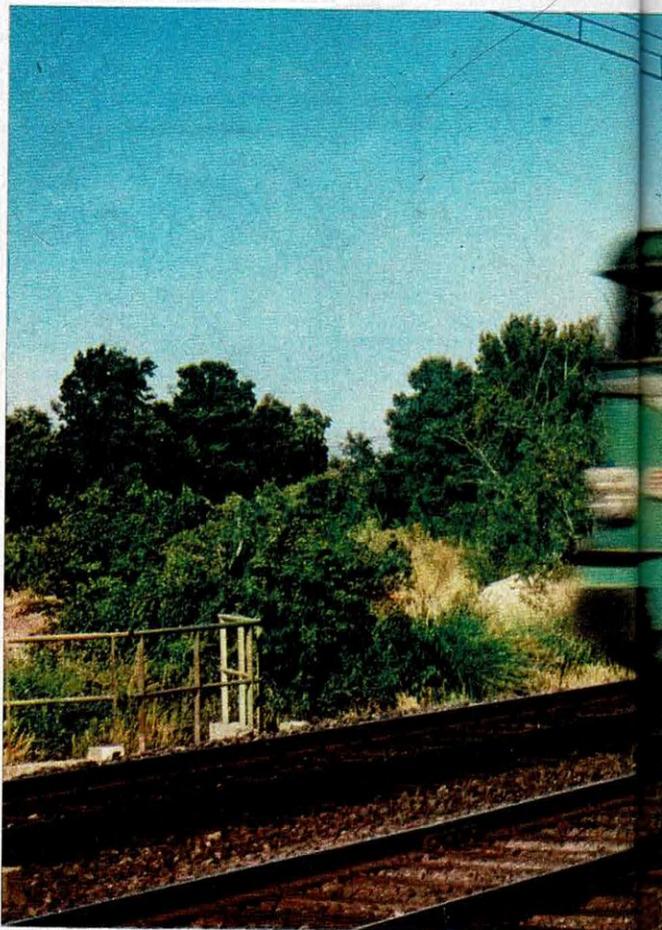
TRACTION ELECTRIQUE

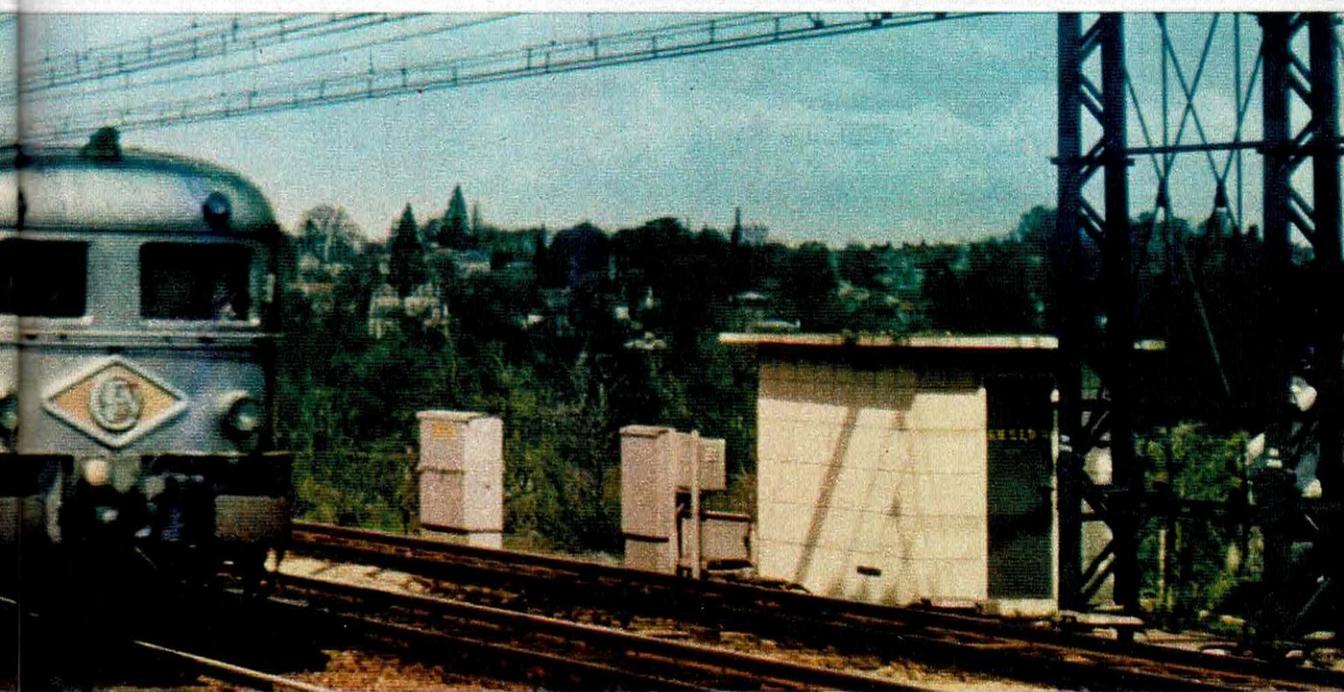


De paisibles témoins de l'épopée du rail...

Le « Mistral » remorqué par une locomotive électrique BB 9 200. Une série de 92 de ces engins a été construite. Leur masse est de 82 tonnes et ils développent une puissance de 3 850 kW (5 230 ch) au régime continu. Ils sont capables de remorquer les trains rapides à une vitesse maximale de 160 km/h.

Ci-dessous, des éléments automoteurs électriques de banlieue à courant continu 1 500 V avec caisses en acier inoxydable. Ces automotrices Z 5 100 de 1 220 ch au régime continu peuvent circuler à 120 km/h.





TRACTION ELECTRIQUE

vitesse maximale est 160 km/h. Une série de 46 locomotives a été commandée. Les premières viennent d'entrer en service.

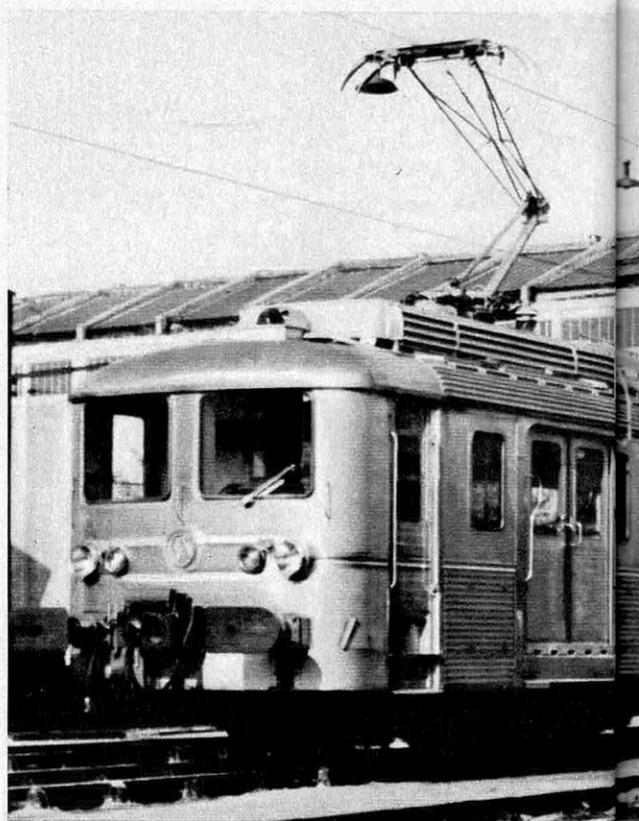
Le problème des locomotives bicourant nécessaires à l'exploitation du réseau électrifié français a donc été résolu. Mais, parallèlement, l'électrification s'étendait en Europe. Le problème se posait aux frontières avec d'autant plus d'acuité que l'arrêt pour les opérations de douane n'était plus une obligation pour les trains de voyageurs les plus rapides. Plutôt que de réaliser quatre types de locomotives, il était logique de construire une locomotive quadricourant. Précisément, la solution adoptée à l'intérieur de la France permit de résoudre le problème pour tous les cas.

En effet, pour ajouter le 3 kV à une machine 1,5 kV-25 kV-50 Hz, il suffit d'isoler les moteurs pour 3 kV, puisque dans les deux systèmes il s'agit de moteurs de 1,5 kV; il en résulte évidemment une augmentation de poids. Pour ajouter le 15 kV-16 2/3 Hz, c'est aussi une question de poids qui porte sur le transformateur; l'augmentation est cependant beaucoup plus importante que dans le cas précédent. Mais ce n'est plus une question de principe depuis l'utilisation des redresseurs statiques, organes indifférents à la fréquence.

La S.N.C.F. possède deux types d'engins polycourant : les BB 30001 et 30002, machines tricourant, capables de fonctionner sous courant continu 1,5 kV et 3 kV et sous courant monophasé 25 kV-50 Hz, dotées d'un double rapport d'engrenages permettant 100 et 150 km/h, qui sont en service sur la ligne de Belgique, et les CC 40101 à 40104, machines quadricourant capables, elles aussi, de circuler dans les trois systèmes ci-dessus, mais, en outre, sur les lignes électrifiées en courant monophasé 15 kV-16 2/3 Hz. Elles possèdent deux rapports d'engrenages permettant des vitesses de 160 et 240 km/h. Ces engins ont une puissance de 3 670 kW au régime continu.

Pour la desserte des lignes de banlieue, la S.N.C.F. possède des éléments automoteurs dont les caisses sont maintenant toutes en acier inoxydable. Les automotrices Z 5100 roulent sur les banlieues électrifiées en courant continu 1,5 kV, leur puissance est de 890 kW au régime continu répartie sur quatre moteurs, leur vitesse maximale 120 km/h. Une nouvelle série d'automotrices, les Z 5300 en cours de livraison, remplacera les anciennes automotrices de la Région Sud-Ouest; elles possèdent quatre moteurs donnant une puissance totale de 1 220 kW et peuvent rouler à 120 km/h.

En courant monophasé 25 kV-50 Hz, les prototypes de la banlieue Nord ont donné

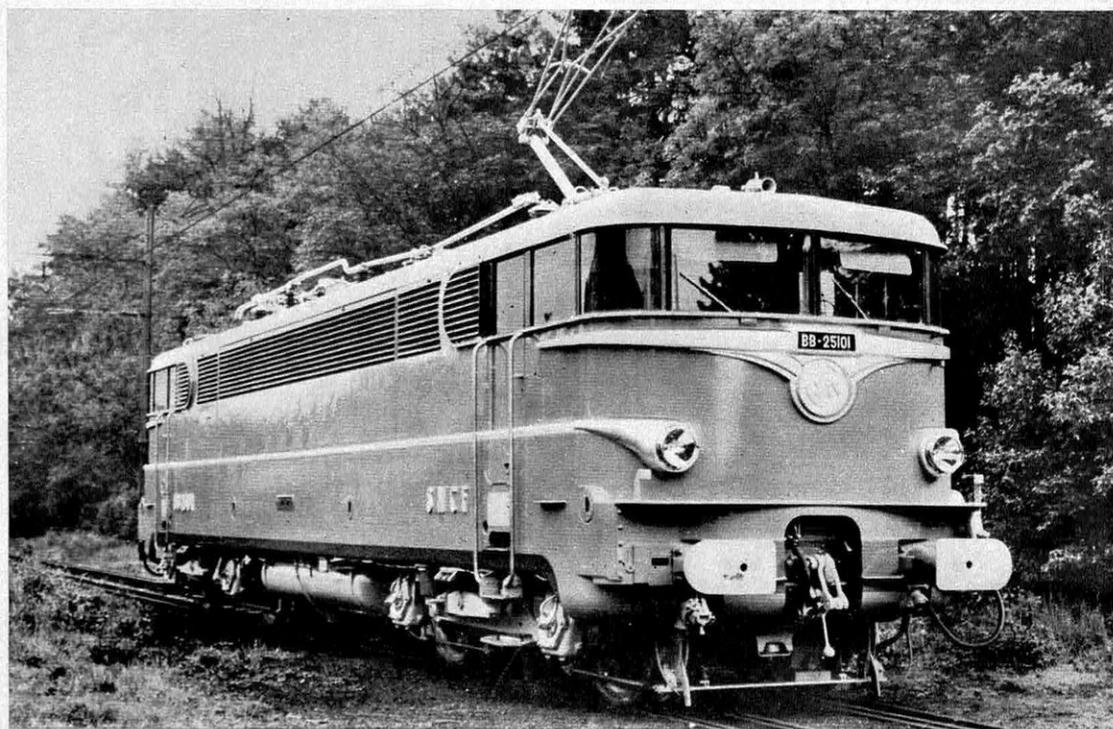
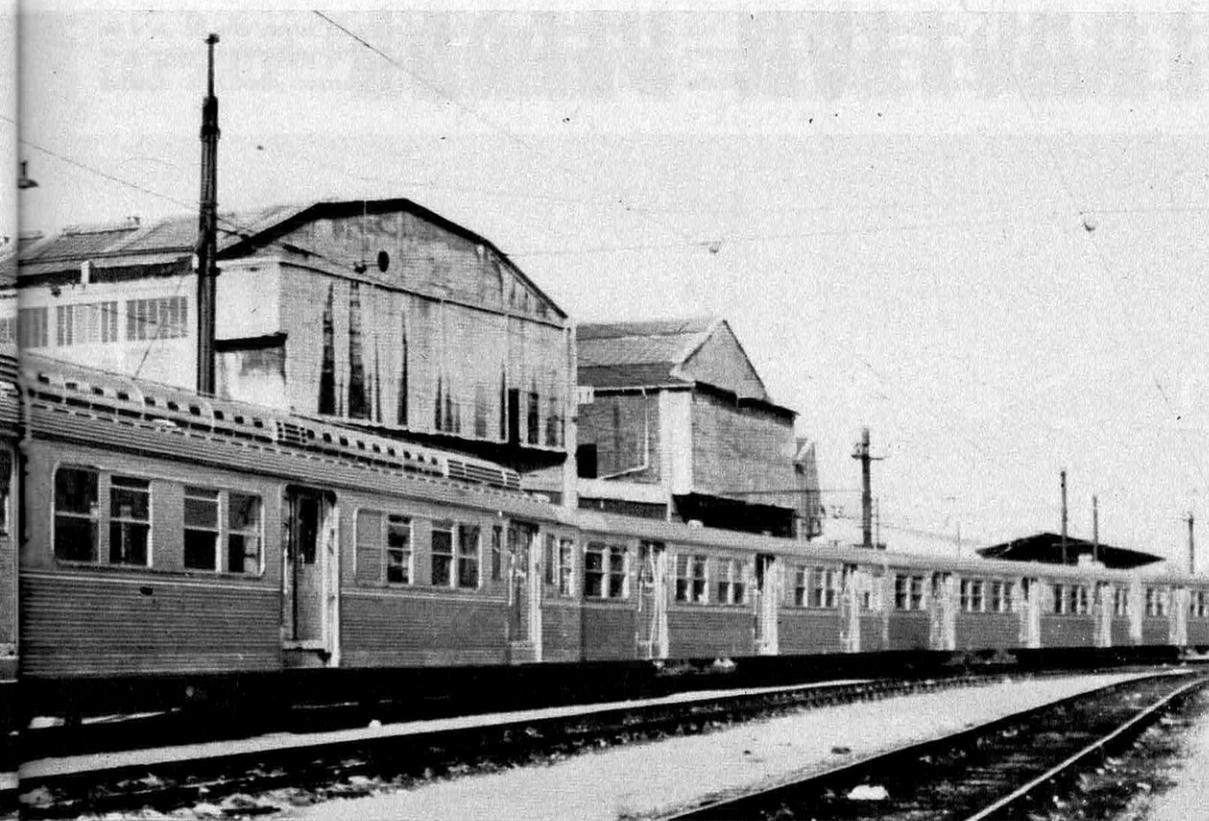


La Z 5300 courant continu, pour la desserte des banlieues, actuellement en livraison.

naissance à une série d'automotrices, les Z 6100, destinées aux banlieues Nord et Ouest (Paris-Mantes). Elles sont à bogies monomoteurs et ne comportent qu'un seul bogie moteur d'une puissance de 615 kW au régime continu, avec une vitesse maximale de 120 km/h.

La mise en service, tant sur les longs parcours que sur les réseaux de banlieue, de ces nouveaux engins de traction, plus puissants, plus robustes, plus sûrs, se traduit par un accroissement de la vitesse, par des capacités de traction beaucoup plus élevées, ce qui est particulièrement important dans le cas des trains de marchandises lourds, par une réduction des travaux d'entretien du parc. Enfin, l'extension prise par les engins polycourant est, en elle-même, un moyen de facilitation des échanges internationaux dont il n'est pas besoin de souligner l'importance.

M. NOUVION
Chef de la Division
des Études de traction électrique
de la S.N.C.F.



Un des représentants de l'actuelle génération d'engins polycourants, la BB 25 100,

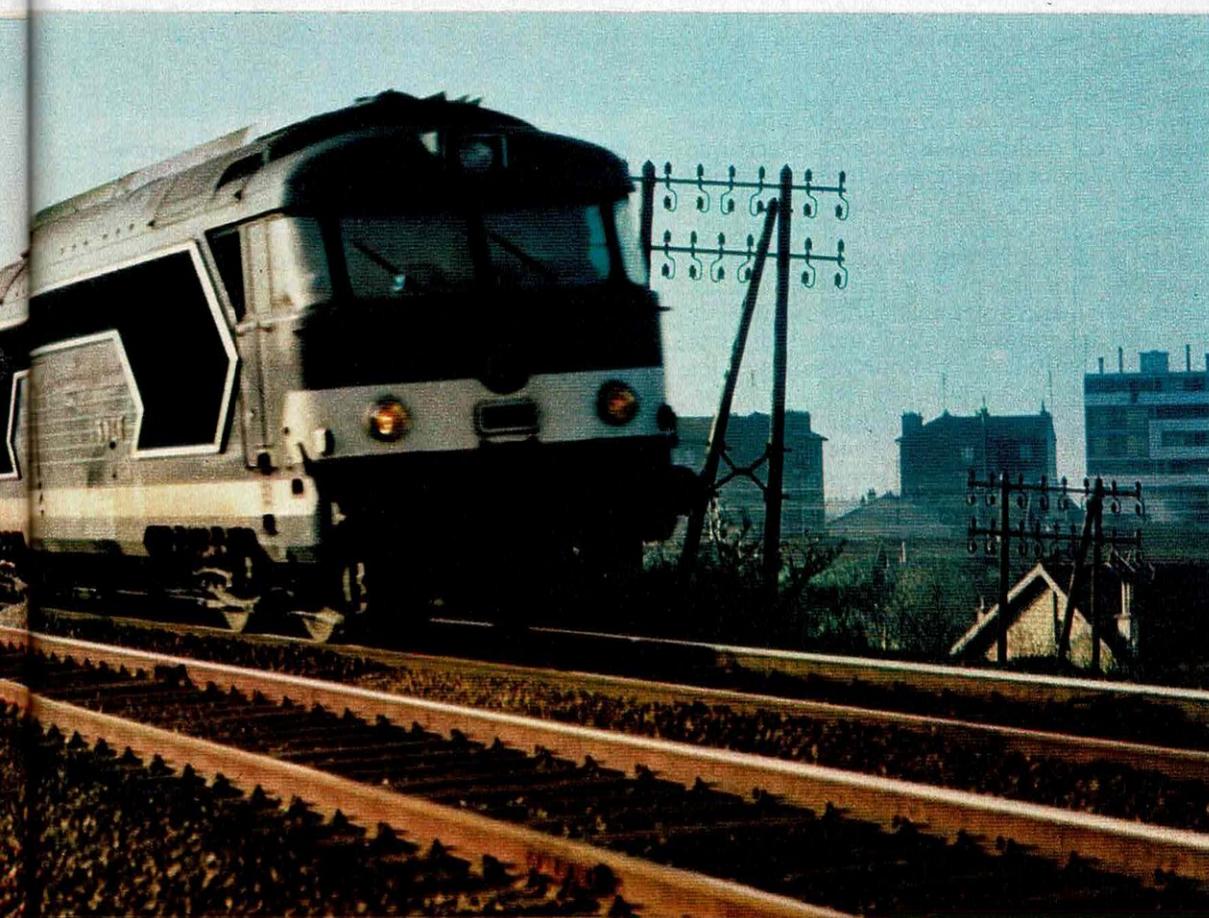
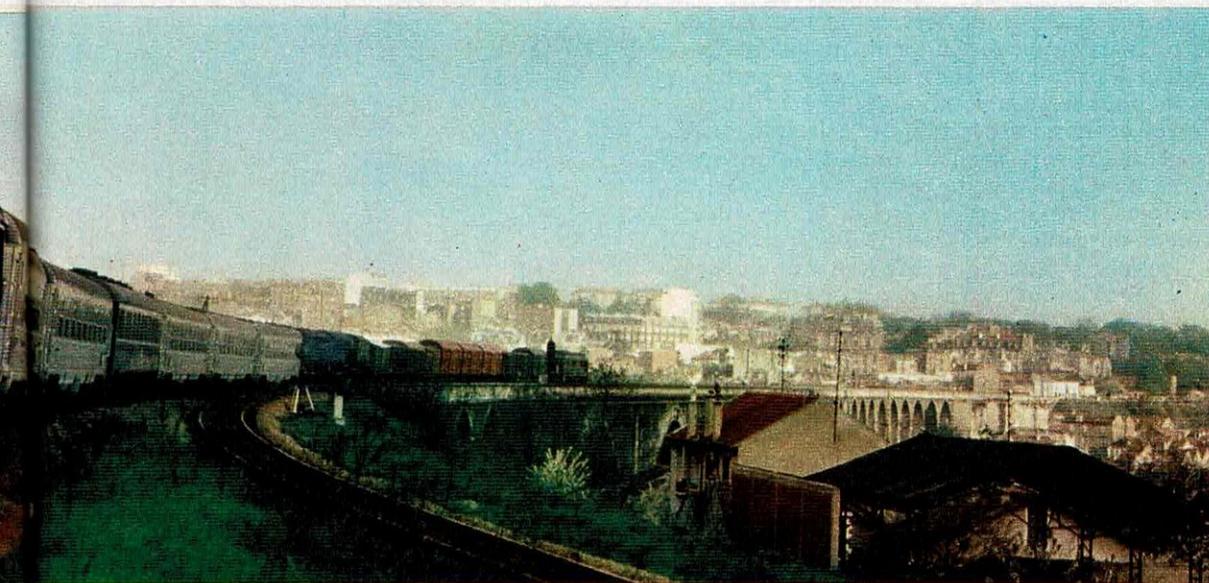
84 tonnes, 130 km/h, capable de remorquer des trains lourds sur très fortes rampes.

TRACTION DIESEL



Une locomotive diesel électrique A 1 A - A 1 A 68 000 pour la remorque des trains de marchandises lourds et de voyageurs, puissance 2 720 ch, vitesse maximale 130 km/h.

En bas, une locomotive diesel hydraulique prototype BB 69 000 de 4 080 ch, équipée de deux transmissions Voith, pesant en ordre de marche 84 tonnes et atteignant 140 km/h.



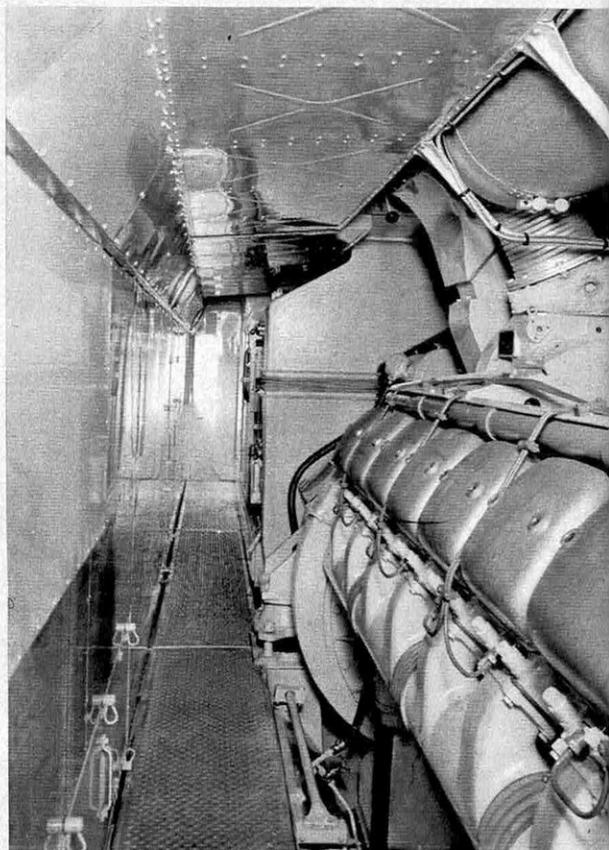
TRACTION DIESEL

La traction diesel a fait son apparition en France, comme en de nombreux pays, entre les deux guerres mondiales. C'est en 1933 que l'on vit apparaître les premières locomotives diesel à transmission électrique (500 à 700 ch) pour service de manœuvres et de marchandises. Au même moment apparaurent les premiers autorails, engins permettant, pour les trains omnibus légers, de très fortes économies par rapport à la traction à vapeur. En 1938 les deux premières locomotives diesel de grande puissance (4 000 ch), les plus puissantes du monde à l'époque, furent mises en service entre Paris et Lyon.

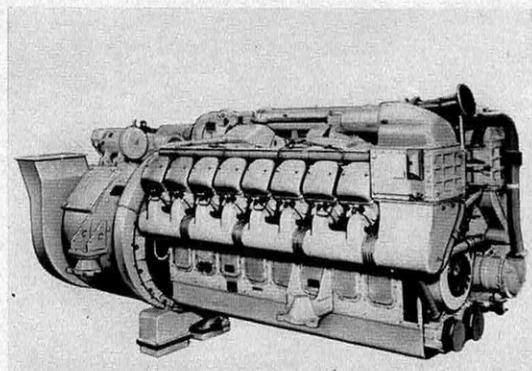
Depuis la dernière guerre la traction diesel a connu un important développement. En 1955-1956 une première étape était marquée par la réalisation de locomotives de lignes du type CC, d'une puissance encore modeste il est vrai (1 300 à 1 500 kW), et réservées à des domaines d'emploi un peu particuliers. A partir de 1960, la réalisation de moteurs diesel plus puissants — de 1 500 à 2 000 kW — permit la construction en série de locomotives de lignes capables d'égaliser les performances des locomotives à vapeur les plus récentes, voire même de les dépasser.

On peut se demander pourquoi des locomotives diesel puissantes sont nécessaires, puisque la traction électrique apporte des améliorations beaucoup plus radicales par rapport à la traction à vapeur. Si, pour des raisons économiques, la traction électrique est réservée aux lignes à gros trafic, le niveau de trafic des lignes non justiciables de l'électrification est cependant loin d'être négligeable et nécessite des moyens de traction puissants. Sur les plus importantes de ces lignes circulent, notamment, des express de 800 t et des trains de marchandises dont le tonnage atteint 1 500 t. Pour remorquer les premiers à 100 km/h et les seconds à 60-70 km/h en rampe de 5 ‰, il faut une puissance voisine de 3 000 kW. Avec cette même puissance, les vitesses en rampe de 10 ‰ s'établissent respectivement à 70 km/h et 40-45 km/h; il ne s'agit donc pas de performances exceptionnelles.

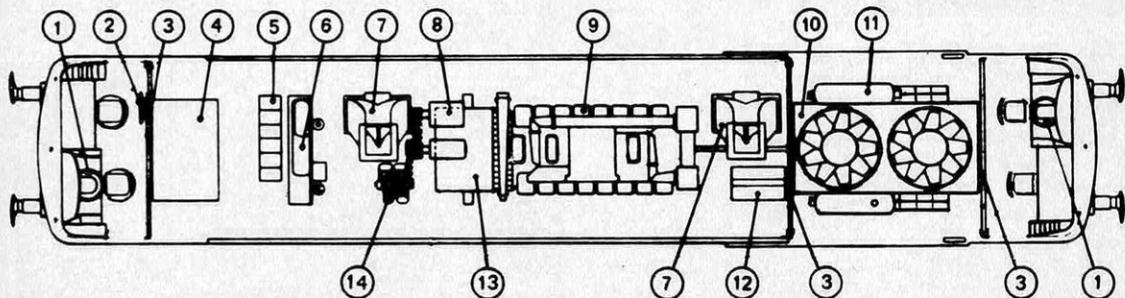
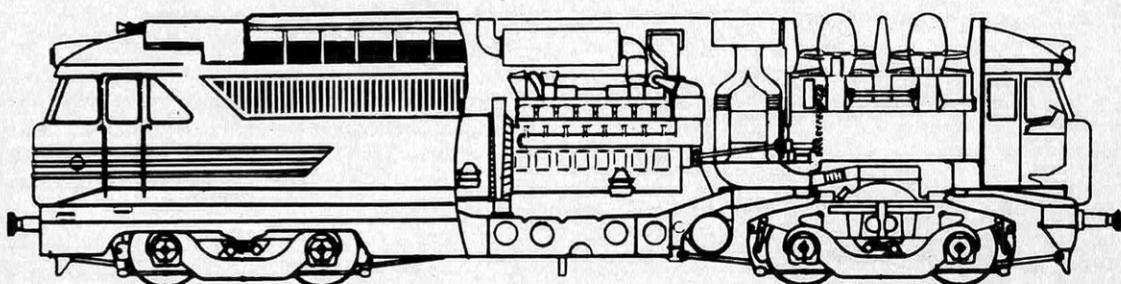
Précisons à ce propos que la définition de la puissance n'est pas du tout la même pour les locomotives diesel et les locomotives électriques. La puissance annoncée pour une locomotive diesel est la puissance nominale du ou des moteurs diesel qui l'équipent. Il s'agit donc d'une puissance non surchargeable, alors que la puissance de définition d'une locomotive électrique autorise une grosse marge de surcharge, environ 30 à 40%. Ajoutons que pour qu'un diesel se comporte correctement dans le temps, il convient de limiter le taux d'utilisation de sa puissance à 50 ou 60%



Pour les locomotives BB 67000, l'agencement de tout l'équipement à l'intérieur de la caisse a fait l'objet d'études très poussées dans le souci de faciliter l'entretien au maximum, d'où un aspect dégagé assez inhabituel en général pour des machines diesel. Le moteur diesel rapide SEMT 16 PA 4 Pielstick, ci-dessous, a subi des essais d'endurance au banc sous contrôle international.



Sur la page de droite, la BB 67000 à bogies monomoteurs, dont la masse en ordre de marche est de 80 tonnes, avec la disposition schématique de ses principaux organes. ▶



- 1 — Manipulateur
- 2 — Frein à main
- 3 — Cloison pare-feu
- 4 — Armoire électrique
- 5 — Armoire à accus

- 6 — Bloc frein
- 7 — Ventilateur des moteurs de traction
- 8 — Excitatrice
- 9 — Moteur Diesel

- 10 — Bloc de refroidissement
- 11 — Vase d'expansion
- 12 — Armoire Diesel
- 13 — Génératrice principale
- 14 — Compresseur

TRACTION DIESEL



Ci-dessus, une locomotive diesel électrique BB 67 000 de 2 400 ch avec bogies à double rapport d'engrenages pour 90 km/h (service marchandises) et 135 km/h (voyageurs).



A gauche, élément automoteur de 450 ch, formé d'un autorail et remorque, avec moteur horizontal installé sous le châssis et poste de conduite à chaque extrémité.

Ci-dessous, locomotive de manœuvre et de ligne BB 71 000 à transmission mécanique avec passage automatique des vitesses.



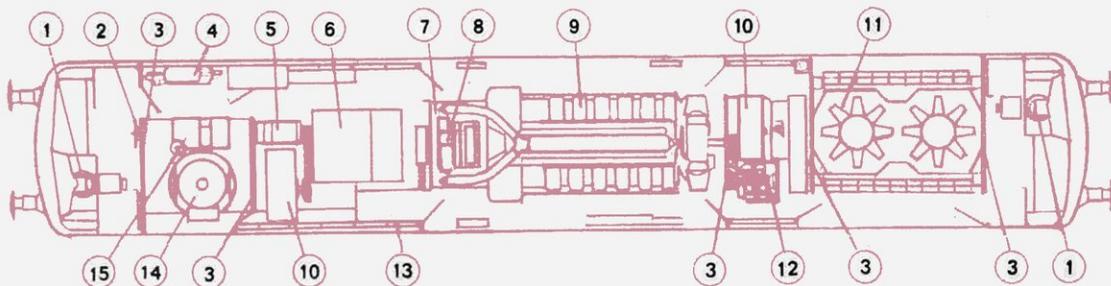
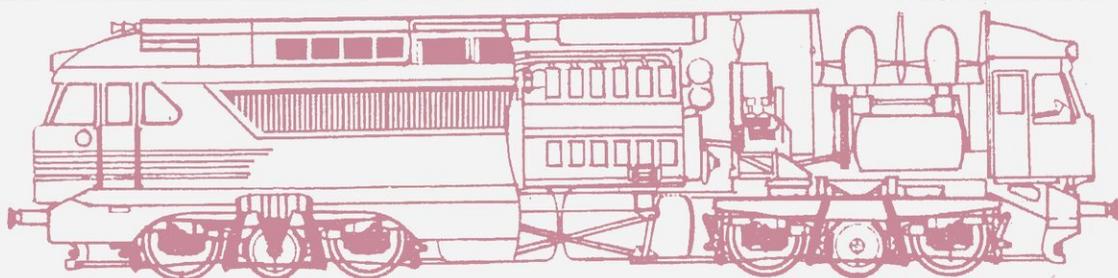


au maximum, faute de quoi on risque de voir les frais d'entretien et la fréquence des incidents graves augmenter rapidement. Enfin, il faut tenir compte du rendement de la transmission et de la puissance absorbée par les auxiliaires, ce qui conduit à un abattement d'environ 25 % pour trouver la puissance disponible à la jante de la locomotive. C'est ainsi, par exemple, qu'une locomotive diesel de 2 000 kW nominaux ne peut guère dépasser le service d'une locomotive électrique de 1 200 kW.

En fait, la recherche de puissances plus élevées en traction diesel n'est pas motivée par le désir d'avoir des performances très brillantes, mais des performances encore modestes avec un coefficient de sécurité suffisant.

Les locomotives diesel électriques type 68000 sont aptes à remplacer les locomotives à vapeur les plus puissantes. Leurs bogies sont de la formule A1A, soit deux essieux moteurs encadrant un essieu porteur. Leur masse en ordre de marche est de 106 tonnes, la charge par essieu pouvant être réglée à volonté à 18 ou 20 tonnes.

Ci-dessous, disposition schématique des principaux organes de la A1A-A1A 68000 ; on voit en particulier la chaudière automatique pour le chauffage des voitures à voyageurs.



- 1 — Manipulateur
- 2 — Volant de frein à main
- 3 — Cloison pare-feu
- 4 — Bloc d'appareillage pneumatique
- 5 — Génératrice auxiliaire

- 6 — Armoire électrique
- 7 — Génératrice principale
- 8 — Turbo-soufflante
- 9 — Moteur Diesel
- 10 — Ventilateur des moteurs de traction

- 11 — Bloc de refroidissement
- 12 — Compresseur
- 13 — Filtres
- 14 — Chaudière
- 15 — Appareillage de la chaudière

TRACTION DIESEL

On pourrait naturellement obtenir de meilleures performances en recourant à la marche en unité multiple, mais celle-ci apparaît généralement plus onéreuse que la traction simple, dès lors qu'il est possible de concevoir des locomotives de puissance unitaire élevée, d'un nombre d'essieux limité (six au maximum) et dont le poids par essieu reste inférieur à 18 ou 20 t.

Les nouvelles locomotives diesel de ligne

Depuis 1960 la S.N.C.F. commande chaque année un certain nombre de locomotives de ligne correspondant à deux types : la BB 67000 de 1 760 kW (2 400 ch) et la A1A-A1A 68000 de 2 000 kW (2 700 ch). Elle expérimente d'autre part des prototypes de locomotives encore plus puissantes : les BB 69000 et CC 70000.

Les BB 67000 sont destinées à un service mixte de voyageurs, de messageries et de marchandises. Elles peuvent être utilisées en unités simples ou en couplage, entre elles ou avec une locomotive de la série 68000. Soixante-dix de ces locomotives sont déjà en service et la construction de ce type d'engin, qui doit avoir une place prépondérante dans notre parc futur, se poursuit à la cadence de trois unités par mois. Elles bénéficient de certains progrès importants dont ont fait l'objet nos locomotives électriques, notamment le bogie monomoteur.

Les 67000 sont actuellement équipées d'une transmission électrique du type courant continu. Cependant, une première application vient d'être réalisée avec une transmission triphasé-continu BB 67036. Ceci tout à la fois pour améliorer le comportement en service et permettre le chauffage électrique des trains, car l'obligation de ne pas dépasser un poids total de 80 t a fait exclure l'installation sur la locomotive d'un équipement de chauffage vapeur.

Les locomotives diesel électriques A1A-A1A 68000 sont destinées à remorquer les trains lourds de marchandises et de voyageurs. Leur puissance et leur vitesse maximale les rendent aptes à remplacer les locomotives à vapeur les plus puissantes. Elles peuvent être utilisées en unités simples ou en couplage, entre elles ou avec les locomotives de la série 67000. De plus, elles permettent d'assurer le chauffage des voitures à voyageurs par une chaudière automatique à vapeur. Quarante-cinq de ces locomotives sont actuellement en service, et la construction se poursuit à la cadence de deux à trois par mois.

Les deux types précédents comportent de nombreux organes identiques (cabine de con-

duite, groupe de refroidissement, compresseur) et le système de commande, unifié, permet la marche en unités doubles de deux locomotives quelconques.

Les locomotives diesel hydrauliques prototypes BB 69000 de 3 000 kW pèsent en ordre de marche 84 t et comportent essentiellement des bogies à deux essieux analogues à ceux des locomotives électriques rapides, deux moteurs diesel et deux transmissions hydrauliques Voith à deux convertisseurs et un coupleur.

Cette locomotive constitue une réalisation exceptionnelle; c'est la première fois qu'on réalise en traction diesel une semblable puissance pour un poids aussi réduit (les réalisations de même nature ont toujours conduit à des machines à six essieux).

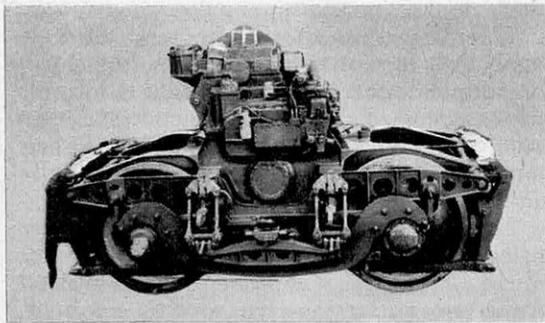
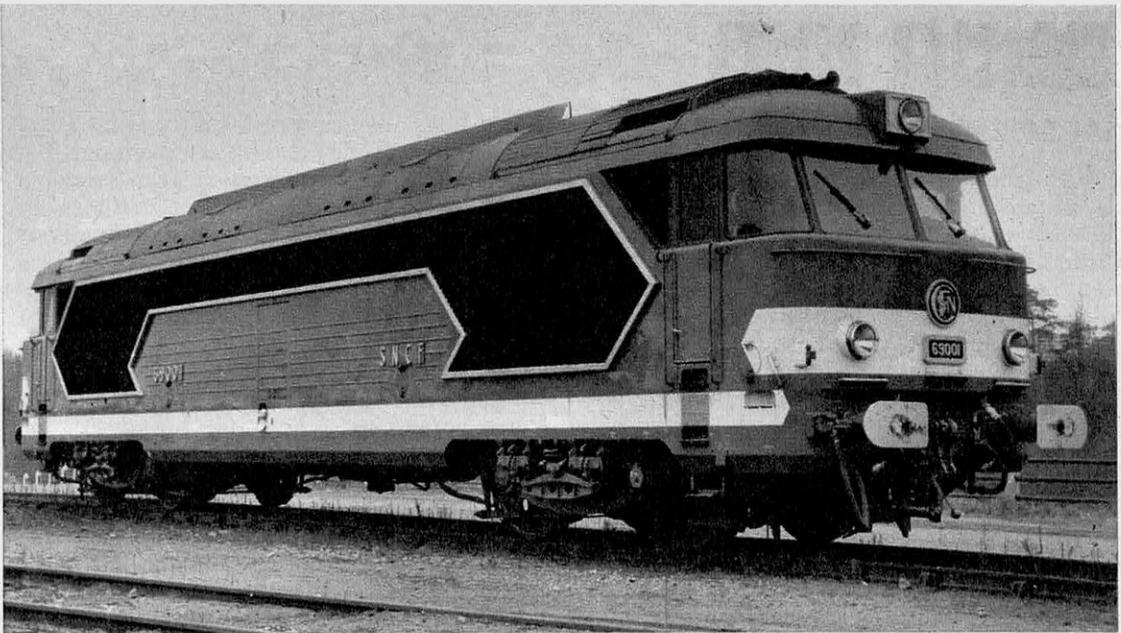
L'originalité essentielle qui a permis d'arriver à ce résultat a été de placer la transmission Voith dans le bogie, comme celle d'un bogie monomoteur de traction électrique, au lieu d'employer une transmission à cardan et pont moteur.

Les deux prototypes, livrés début 1964, assurent un service intensif afin qu'on puisse juger rapidement de leur comportement.

Les locomotives diesel électriques prototypes CC 70000 de 3 500 kW pèsent en ordre de marche 117 t. Construites en deux exemplaires, elles comportent deux moteurs diesel identiques à ceux des BB 67000 et 69000 et des bogies monomoteurs à biréduction. Ce sont les machines à transmission électrique présentant, dans leur catégorie, la plus grande puissance massique réalisée à ce jour (30 kW/t).

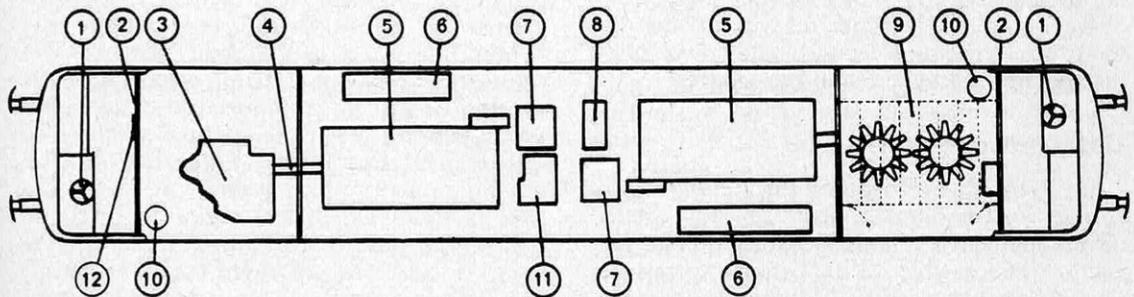
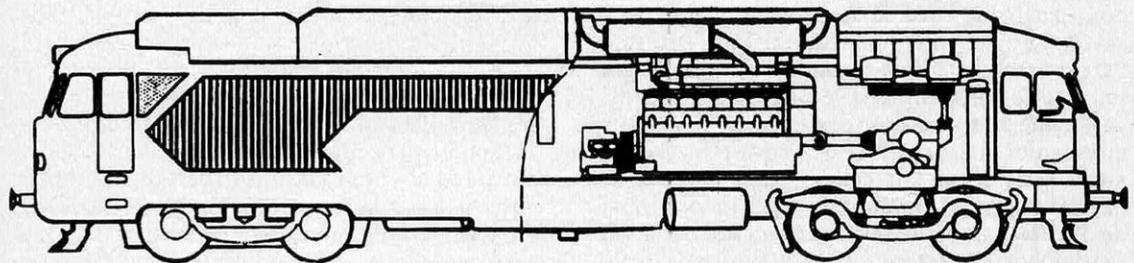
Ce résultat a été obtenu, d'une part, grâce à l'adoption des bogies monomoteurs à biréduction, identiques à ceux des locomotives quadri-courant CC 40100, et, d'autre part, grâce à l'emploi d'une transmission électrique originale : les deux moteurs diesel entraînent un alternateur à double rotation, l'un d'eux attaquant l'inducteur et l'autre l'induit; en raison de la vitesse relative élevée de ces deux organes (3 000 tr/mn), le poids du générateur électrique se trouve réduit d'environ 50%. L'alternateur, fonctionnant à fréquence variable, alimente, par l'intermédiaire de redresseurs au silicium, deux moteurs de traction à courant continu, respectivement montés sur chacun des deux bogies à trois essieux couplés par engrenages.

La solution alternateur bi-rotor présente un grand intérêt chaque fois que la puissance demandée à la locomotive exige l'installation de deux moteurs diesel puissants. On peut, dès à présent, réaliser suivant ce principe des locomotives diesel de plus de 5 000 kW, domaine qui ne semblait jusqu'à présent accessible qu'à la turbine à gaz.



Les locomotives diesel hydrauliques BB 69000 sont des prototypes qui ont été construits à deux unités. On voit ci-contre un de leurs bogies, analogue aux bogies monomoteurs des récentes locomotives électriques rapides, dans lequel est placée la transmission à deux convertisseurs et un coupleur.

Sur les schémas ci-dessous, on voit la disposition des deux diesel capables de développer chacun 1760 kW, de leurs transmissions hydrauliques et de leurs annexes.



- 1 — Manipulateur
- 2 — Cloison pare-feu
- 3 — Transmission Voith-Creusot
- 4 — Arbre de liaison moteur-boîte

- 5 — Moteur Diesel
- 6 — Batteries d'accumulateurs
- 7 — Compresseur
- 8 — Armoire Diesel

- 9 — Groupe refroidissement
- 10 — Échangeur eau-huile transmission
- 11 — Bloc frein - Armoire électrique
- 12 — Frein à main

TRACTION DIESEL

Les progrès des moteurs diesel

Le fait le plus saillant dans l'accroissement de la puissance des moteurs réside dans le développement de la suralimentation par turbo-soufflantes à gaz d'échappement. La suralimentation permet d'augmenter la quantité de combustible brûlé par litre de cylindrée, donc le couple et, par conséquent, la puissance pour une vitesse de rotation donnée.

Mais pour permettre à un tel moteur de fonctionner dans des conditions satisfaisantes, d'importants progrès technologiques ont été nécessaires, dont nous évoquerons seulement les principaux : refroidissement interne des pistons; contrôle serré du délai d'allumage conditionnant les pressions maximales de combustion, donc les contraintes mécaniques sur l'attelage piston-bielle-vilebrequin; meilleure tenue des têtes de pistons sous les contraintes mécaniques d'origine thermique; adaptation des turbo-soufflantes pour que le moteur développe un couple important dès la moitié de la vitesse nominale; obtention de formes géométriques convenables pour les surfaces de l'assemblage piston-segment-chemise afin de minimiser l'influence des déformations dues aux variations brutales de température (la S.N.C.F. a ainsi pratiquement imposé l'adoption du segment de tête chromé rugueux).

Par ailleurs, la S.N.C.F. a été amenée à promouvoir une technique entièrement nouvelle concernant le circuit de refroidissement, à savoir la mise sous pression statique (grâce à l'air du frein) de l'ensemble du circuit, ce qui permet de fonctionner avec de l'eau à 110 °C, supprime la formation des poches de vapeur autour des chemises lors des retours brusques au ralenti, affranchit celles-ci des corrosions par cavitation et améliore le rendement global de l'installation du fait de l'amélioration du rendement thermique et de la diminution de la puissance absorbée par les ventilateurs.

De nouveaux moteurs dérivés des précédents sont en cours d'essai et devraient permettre une nouvelle étape de progrès.

Les transmissions

En France, c'est incontestablement la *transmission électrique* qui connaît le plus grand développement et nous pensons qu'elle est encore susceptible d'importants progrès; toutes nos locomotives de lignes construites en série en sont équipées, ce qui n'empêche pas la S.N.C.F. de porter son attention sur les autres modes de transmission, mécaniques et hydrauliques.

La comparaison des différents types de transmissions est assez délicate, car chacune a

ses qualités propres et peut paraître plus avantageuse suivant les conditions d'emploi. Par ailleurs, de telles comparaisons ne sauraient être définitives car elles peuvent être affectées par les rapides progrès possibles dans divers domaines.

Les transmissions électriques construites durant les trente dernières années comportent toujours une génératrice à courant continu dont la construction n'a pas soulevé, jusqu'à un passé tout récent, de difficultés particulières, compte tenu de la puissance des diesel. Mais l'apparition des diesel rapides puissants change complètement la situation. Il faut maintenant s'orienter vers des techniques telles que la transmission triphasé-continu, constituée d'un alternateur entraîné par le moteur diesel et alimentant, par l'intermédiaire de ponts de redresseurs au silicium identiques à ceux des locomotives électriques, les moteurs de traction classique à courant continu.

L'emploi d'un alternateur rend libre le choix de la tension délivrée et de la fréquence; on adopte donc tout naturellement la formule triphasée qui offre un intérêt incontestable en ce qui concerne le dimensionnement de l'alternateur et les caractéristiques des cellules au silicium.

La première locomotive réalisée suivant ce principe est la BB 67036 de 1 760 kW, première locomotive du monde à transmission triphasé-continu, mise en service cet hiver entre Le Mans et Rennes.

D'autres locomotives sont en projet, telle la CC 72000 de 2 650 kW capable d'un programme de traction étendu.

Pour la *transmission hydraulique*, des essais très complets ont été faits sur la locomotive BB 69000 citée plus haut. Un élément important pour la comparaison de ce type de transmission avec la transmission électrique est, outre la plus ou moins grande facilité de correction de la tendance à l'emballement en cas de perte d'adhérence, leur capacité thermique, c'est-à-dire leur aptitude à la surcharge, qui conditionne la possibilité de démarrer les trains lourds. La transmission électrique a une capacité de surcharge importante, due à l'inertie thermique des machines tournantes. La transmission hydraulique a une inertie thermique beaucoup plus faible, car il ne faut pas dépasser 110 °C en régime soutenu et 130 °C en pointe à la sortie d'huile de la boîte de vitesses. Il en résulte que la transmission hydraulique sera définie par l'effort continu élevé qu'elle devra fournir pour franchir les surcharges au démarrage, alors que la transmission électrique le sera par l'effort à soutenir en vitesse puisqu'elle n'implique pratiquement pas de limitation au démarrage.

En ce qui concerne le poids, la transmission

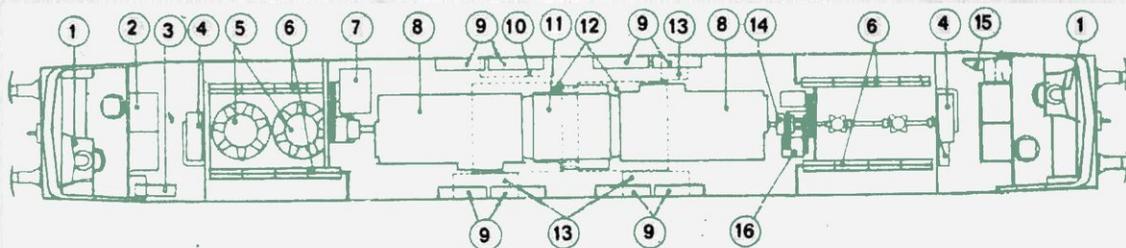
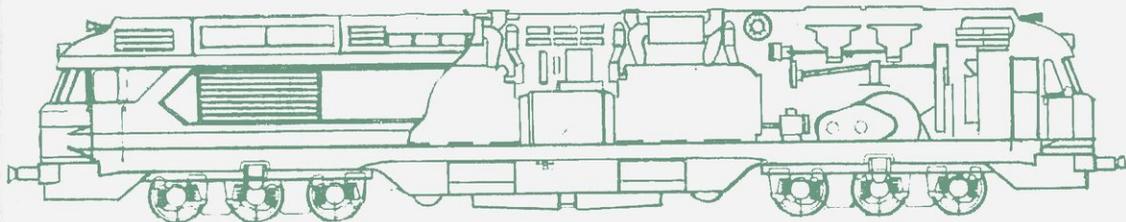
hydraulique apparaît incontestablement plus légère que la transmission électrique. Toutefois, pour des puissances de l'ordre de 3 000 kW, on sait maintenant réaliser des moteurs diesel uniques entraînant une seule transmission électrique à alternateurs, alors que deux transmissions hydrauliques seraient nécessaires et poseraient pour leur entraînement des problèmes encore insuffisamment connus. On devrait donc, dans ce cas, prévoir deux machines diesel de 1 500 kW entraînant chacune une transmission, alors que la solution à un seul diesel est la plus économique à l'achat et à l'entretien.

Les transmissions mécaniques possèdent un rendement supérieur à celui des transmissions électriques et hydrauliques; elles améliorent donc très sensiblement la puissance massique à la jante et allègent considérablement les installations de refroidissement et de ventilation. Par ailleurs, leur poids et leur encombrement sont très avantageux.

La difficulté de transmettre des puissances élevées dans des boîtes de vitesses mécaniques provient de la difficulté d'accoupler, lors des changements de combinaison, des pignons qui, présentant des vitesses relatives impor-



Construites aussi à deux unités, les locomotives prototypes CC 70000, pesant 117 t. et atteignant 140 km/h, sont équipées de deux diesel de 1 760 kW attaquant l'un l'inducteur, l'autre l'induit d'un alternateur à double rotation qui alimente, par l'intermédiaire de redresseurs au silicium, les moteurs de traction à courant continu.

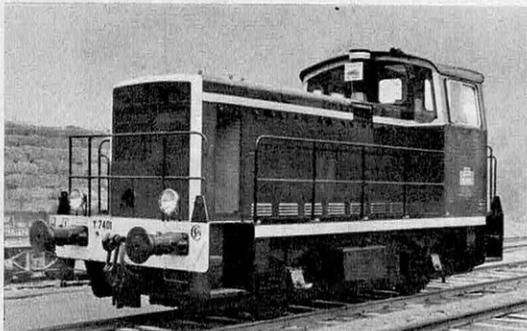


- 1 — Pupitre de conduite
- 2 — Bloc électrique
- 3 — Robinet de mécanicien
- 4 — Ventilateur moteur traction
- 5 — Ventilateur radiateurs

- 6 — Radiateurs
- 7 — Compresseur
- 8 — Moteur Diesel
- 9 — Gainses d'aspiration
- 10 — Coffres à filtres

- 11 — Alternateur Bitoror
- 12 — Réservoirs à combustible
- 13 — Coffres à accumulateurs
- 14 — Compteur électro-magnétique
- 15 — Bloc pneumatique
- 16 — Excitatrice

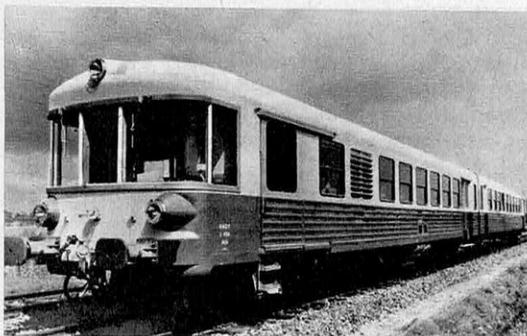
TRACTION DIESEL



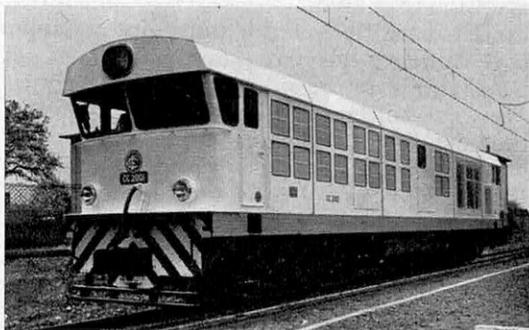
Locotracteur 150 kW, transmission mécanique à 8 vitesses, dont 170 sont en service.



Les BB 71000, 470 kW, transmission mécanique, ont été commandées à 30 exemplaires.



Autorail et remorque, élément pouvant former par couplage des rames réversibles.



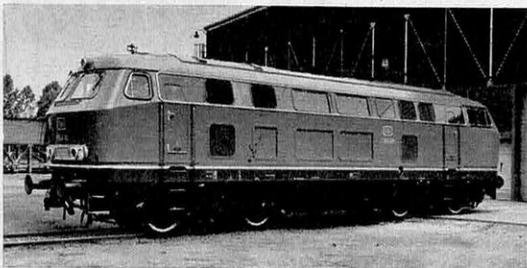
Diesel électrique 2 400 ch construite pour le chemin de fer franco-éthiopien.



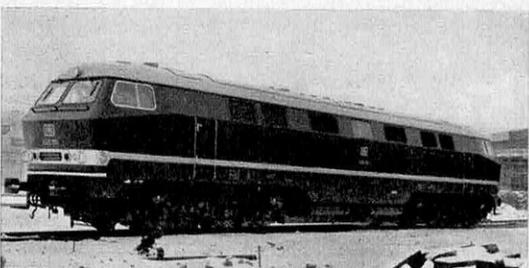
La nouvelle diesel électrique General Motors de 6 000 ch, deux diesel 16 cylindres.



La diesel électrique Hawker-Siddeley type 4 de 2 750 ch, pour les British Railways.



La locomotive expérimentale à diesel et turbine à gaz des chemins de fer allemands.



Prototype diesel hydraulique V 320 de 4 000 ch, 126 t, des chemins de fer allemands.

tantes, possèdent des inerties considérables. Dans les boîtes de faible puissance on utilise des synchroniseurs qui absorbent la différence des énergies cinétiques des masses à accoupler. Lorsque les dimensions des pignons croissent, le volume de ces synchroniseurs devient prohibitif.

Depuis quatre ans, la S.N.C.F. utilise des locotracteurs de 150 kW munis d'une transmission à huit vitesses dont le changement de combinaison s'opère sur engrenages arrêtés. Il faut pour cela que la boîte de vitesses puisse être isolée, ce que l'on obtient au moyen d'une roue libre à la sortie et d'un embrayage frein à l'entrée.

La qualité du service obtenu a incité la S.N.C.F. à passer commande de trente locomotives BB 71000 de 470 kW, équipées d'une transmission identique dans son principe, mais à passage automatique des vitesses. Quinze de ces locomotives assurent actuellement des services de manœuvre et de ligne où elles remplacent des locomotives BB de 600 kW à transmission électrique. Les performances de traction sont équivalentes; les qualités d'adhérence ainsi que la faible charge par essieu sont très appréciées. La différence de puissance installée conduit à une substantielle économie de combustible qui vient s'ajouter à l'économie sur le prix d'achat.

Les autorails

Pour le renouvellement de son parc autorail, la S.N.C.F. commande depuis cinq ans des éléments automoteurs de 330 kW (450 ch) composés d'un autorail et d'une remorque toujours accouplés.

L'expérience a montré, en effet, que le pourcentage des parcours effectués par des autorails circulant isolément était devenu très faible et qu'il y avait intérêt à avoir des rames réversibles; d'où la composition de l'élément à deux caisses avec cabine de conduite à chaque extrémité, permettant d'obtenir des coupages de quatre ou six caisses.

Parmi les différentes solutions possibles pour l'installation motrice, il est apparu que la plus avantageuse était celle d'un seul moteur par élément, du type horizontal, placé sous châssis. Les transmissions sont mécaniques, avec coupleur hydraulique entre moteur diesel et boîte automatique à huit vitesses.

Ces éléments, dont la vitesse maximale en palier est de 120 km/h, sont capables d'assurer tous les services ordinaires d'autorails — à l'exception des services de luxe avec cuisine — sur tous les profils jusqu'à 30⁰/₀₀. A la fin de 1965, plus de cent vingt de ces éléments sont en service, et leur construction se poursuit à raison de quatre par mois.

Les réalisations étrangères

Dans le reste du monde, l'objectif est le même qu'en France, à savoir l'augmentation de la puissance massique des locomotives, allée à une diminution du prix d'achat et des dépenses d'entretien. Il faut citer, parmi les réalisations les plus marquantes, les locomotives « Oferom » construites par Alsthom pour l'Office des Chemins de fer d'Outre-mer : CC 1 760 kW (2 400 ch) ou 2 000 kW (2 700 ch), selon le moteur choisi, d'un poids de 78 à 82 t. La puissance est fournie par un diesel unique, transmettant la puissance à chaque moteur de traction des bogies monomoteurs à double réduction par un groupe alternateur-redresseurs.

Les locomotives américaines sont essentiellement orientées vers le service des trains de marchandises de 5 000 t au moins par utilisation de plusieurs locomotives couplées, lourdes, puissantes et robustes. Les plus puissantes sont des locomotives de 4 000 kW (5 500 ch), en formule BBBB ou DD, d'un poids de 250 t, constituées par la juxtaposition, sur un même châssis, de deux groupes électrogènes de 2 000 kW (2 750 ch), chacun alimentant huit moteurs de traction. Les prochains modèles comporteront la conversion de puissance par alternateur-redresseurs.

Les British Railways ont mis longtemps à s'intéresser à la traction diesel, mais brusquement, il y a quelques années, la décision a été prise de rattraper ce retard et des commandes massives ont été lancées, de l'ordre de mille unités par an, pour des locomotives de puissance, de type et de conception différents. Tout récemment, les British Railways ont pris la décision de ne plus s'intéresser qu'à la transmission électrique.

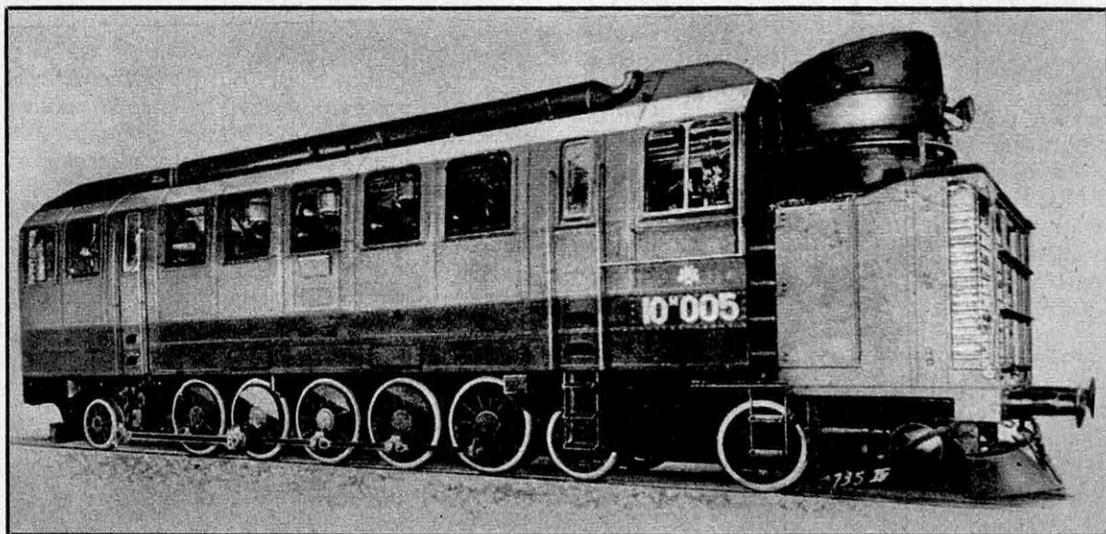
Les chemins de fer allemands (D.B.), quant à eux, continuent à n'utiliser que la transmission hydraulique. Les modèles les plus récents sont représentés par les locomotives : V 320, CC de 3 000 kW (4 000 ch) à deux moteurs, 126 t; V 200, BB de 2 000 kW (2 700 ch) à deux moteurs, 80 t; V 160, BB de 1 400 kW (1 900 ch) à un seul moteur, 77 t. Signalons aussi la locomotive expérimentale V 169, BB de 1 500 kW (2 000 ch), qui présente la particularité de comporter une turbine à gaz dont l'énergie peut s'ajouter à celle du moteur diesel, donnant ainsi la possibilité à ce dernier d'assurer le chauffage électrique des trains.

Les chemins de fer chinois débutent dans la diesélisation de leur réseau avec des locomotives type « ND », CC de 1 500 kW (2 000 ch), 126 t, à transmission électrique.

MARCEL TESSIER
Ingénieur en Chef à la S.N.C.F.

LES DÉBUTS DU DIESEL

L'entre-deux-guerres fut, pour la traction Diesel, l'époque expérimentale des transmissions nécessitées par un moteur puissant mais n'ayant pas la souplesse de la vapeur ou de l'électricité.

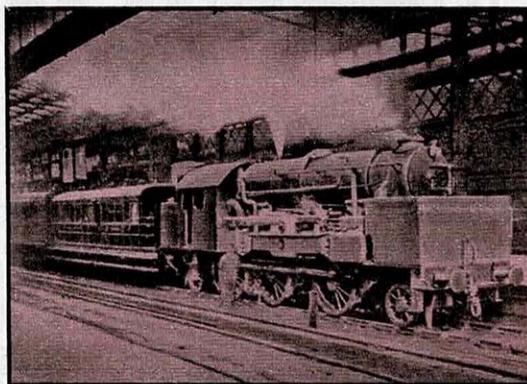
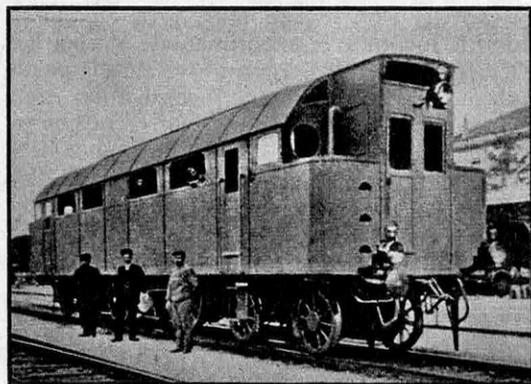
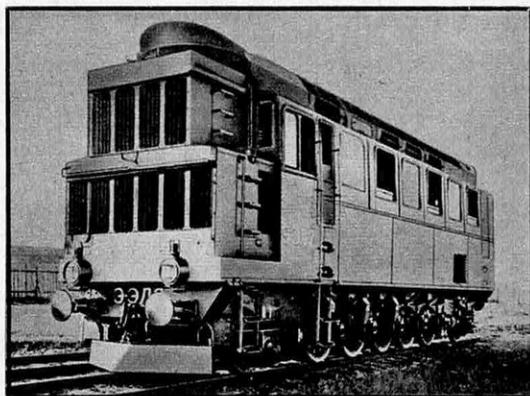


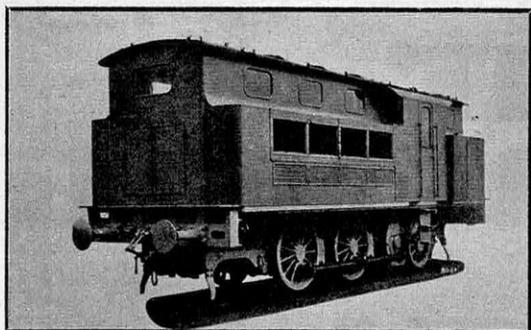
Locomotive diesel soviétique de 1 100 ch à transmission mécanique, construite en 1927.

La diesel ci-contre, due comme la précédente au professeur Lomonosoff, en diffère par une transmission électrique (1924).

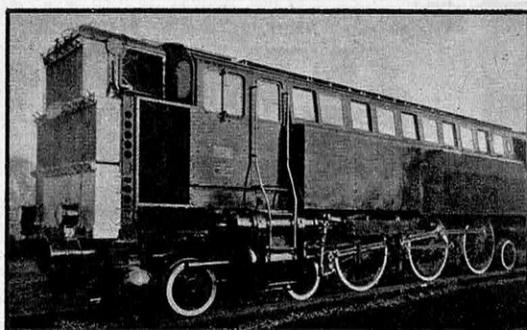
Ci-dessous, la première locomotive diesel du monde construite par Sulzer en 1912 pour les Chemins de fer prussiens-hessois.

Ci-dessous et à droite, la machine anglaise Kitson-Still de 1927, laquelle démarrait à la vapeur et travaillait en diesel ensuite.

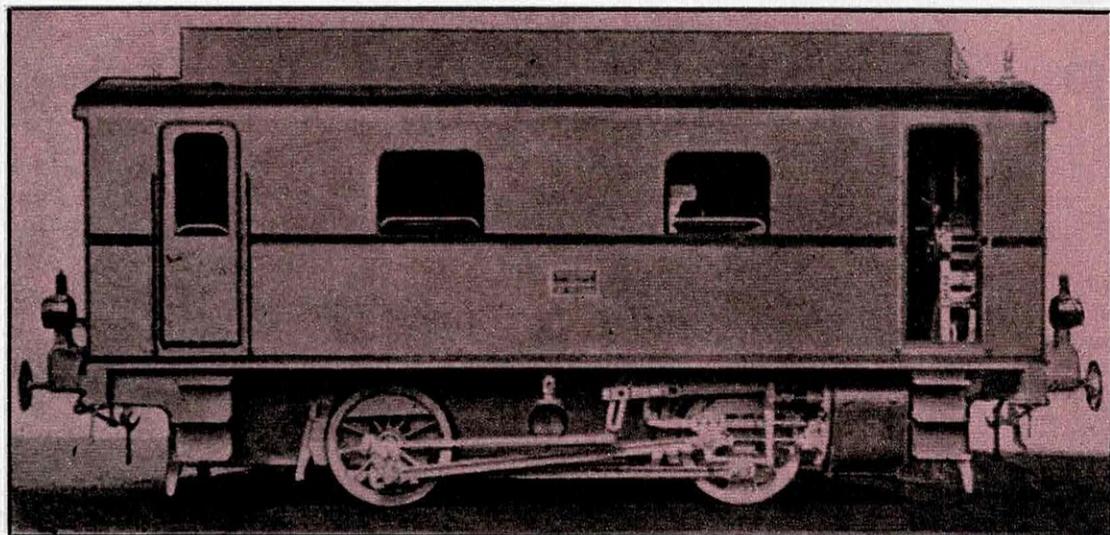




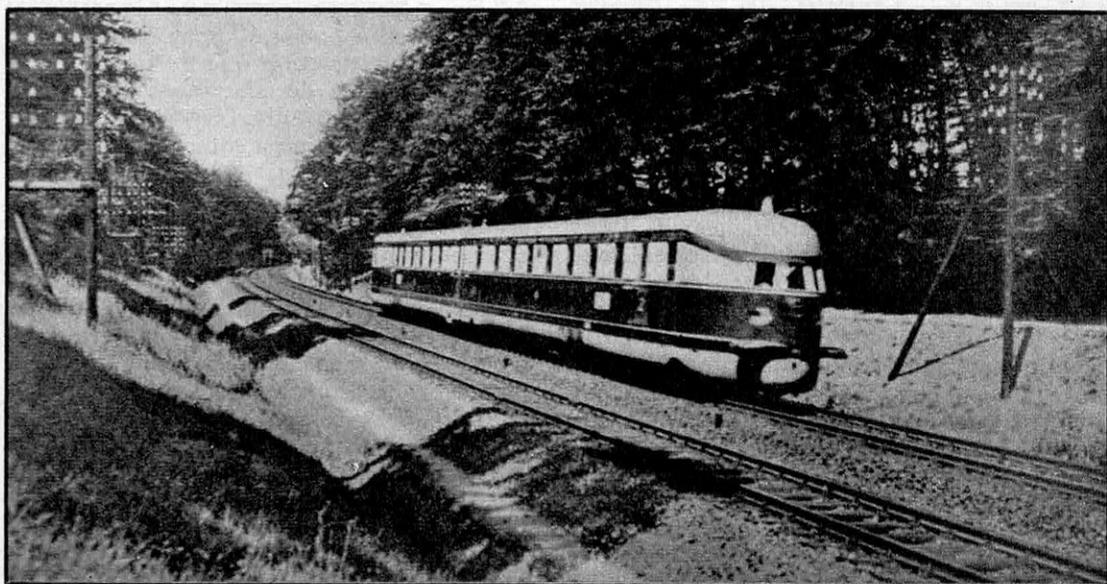
Locomotive diesel de manœuvres (1928) de Schwartzkopff à transmission hydraulique.



Locomotive diesel avec transmission à air comprimé, utilisée en Allemagne en 1929.



Diesel à transmission pneumatique par gaz d'échappement comprimés (Schwartzkopff, 1928).



Le « Fliegende Hamburger » premier train automoteur rapide diesel-électrique (mars 1933).

l'avenir de la traction

Pour l'ingénieur, l'avenir apparaît sous deux aspects souvent difficiles à concilier : progrès et économie. Il ne peut se permettre d'examiner une disposition nouvelle sans penser immédiatement au prix qu'elle coûtera. Il doit aussi à la fois améliorer le matériel existant et mettre en œuvre des techniques nouvelles, c'est-à-dire qu'il doit simultanément moderniser certains appareils et développer des dispositifs qui pourront se substituer à ces appareils. L'ingénieur doit doser son travail et ses dépenses, en préjugant de la rapidité de l'utilisation industrielle des techniques nouvelles.

Le moteur linéaire

C'est ce qui se passe, par exemple, aux chemins de fer, pour les moteurs des engins de traction électriques. Ces moteurs constituant l'élément actif de l'équipement électrique, beaucoup d'efforts leur sont consacrés. Mais les moteurs tournants subsisteront-ils toujours ?

Il existe en effet une solution qui permet de s'en affranchir, c'est le moteur linéaire. Le principe de ce moteur est assez simple. Considérons le moteur asynchrone de la page 59, il se compose essentiellement d'un rotor, soit bobiné, soit à cage, soit même massif, et d'un stator comportant les bobinages d'excitation, répartis dans des encoches. Le rotor tourne sous l'effet du champ tournant produit par les bobines du stator alimenté en triphasé. Le moteur asynchrone, comme toute machine électrique, est réversible : on peut bloquer le rotor et faire tourner le stator. Il est alors préférable d'appeler le rotor « induit » et le stator « inducteur ».

Supposons maintenant que nous fassions croître le diamètre de l'induit jusqu'à l'infini ; induit et inducteur se présenteront alors comme deux plans et, si l'induit est fixe,

l'inducteur glissera devant l'induit, le champ tournant étant devenu un champ glissant. On a ainsi constitué un premier moteur linéaire qui pourrait, dans la pratique, être réalisé au moyen d'une plaque conductrice posée à plat, dans l'axe de la voie, un bobinage étant fixé sous le véhicule à entraîner et alimenté en courant triphasé. Ce bobinage crée un champ « glissant » qui tend à le faire déplacer parallèlement à la plaque conductrice.

Considérons à nouveau le moteur classique : on peut imaginer de couper ce moteur selon l'axe AA', de dérouler chaque demi-circonférence et de les appliquer l'une contre l'autre. On obtient alors un deuxième type de moteur linéaire : l'induit, composé d'une bande métallique, est inséré entre deux enroulements inducteurs. La bande métallique est fixée dans l'axe de la voie, les inducteurs sont fixés sur le véhicule à entraîner.

L'avantage de ce système est de se libérer de l'adhérence roue-rail pour produire un effort, tant de traction que de freinage. On n'est plus obligé de faire lourd pour avoir de l'adhérence. En outre, l'un des constituants du moteur linéaire n'est sollicité que pendant un temps très court, car il se renouvelle continuellement. On peut donc presque effacer la notion de contrainte thermique pour ce constituant. L'inconvénient est bien évidemment la difficulté de l'installation de la bande métallique, notamment aux aiguillages et croisements. Une bande plate (moteur type 1) serait d'ailleurs plus facile à installer qu'une bande verticale (moteur type 2). Cette difficulté, outre le prix de l'installation, rend peu probable l'utilisation du moteur linéaire sur des lignes complètes. Mais il peut rendre de très grands services pour faciliter l'exploitation dans les cas difficiles : par exemple, démarrage de trains de banlieue dans des gares à profil difficile (dans le cas de rampes fortes mais courtes, on peut placer l'induc-

teur au sol, entre la voie, et ne mettre sous les véhicules du train que la bande métallique), démarrage de trains de marchandises au départ des triages de manière à aborder la voie principale à une vitesse relativement élevée, poussée dans les rampes pour se libérer de l'obligation de les limiter à des valeurs inférieures à 30 ‰ et donc de raccourcir considérablement certains tracés.

Le moteur asynchrone

Indépendamment de l'aide que pourra apporter le moteur linéaire, on continuera à moderniser le moteur tournant, c'est-à-dire à le rendre plus puissant, moins lourd et moins cher.

Pour gagner sur la puissance massique, le moyen principal sera toujours d'accroître les vitesses de rotation, ce qui donne de la puissance sans exiger de matière. Dans le moteur traditionnel à collecteur, une limite à l'accroissement des vitesses provient des questions de commutation et le collecteur est un point fragile, notamment lors de phénomènes transitoires.

La puissance — ou à égale puissance, le poids — pourra être améliorée par l'utilisation des isolants nouveaux. On réduira de plus en plus les épaisseurs d'isolants, ce qui permettra de réduire le cuivre, puisqu'on évacuera mieux la chaleur. En somme, de manière imagée, on peut dire qu'on assiste progressivement à la disparition du cuivre et des isolants. Parmi ces derniers, le mica qui

constituait le fanion de la « bonne isolation » jusqu'à ces dernières années aura presque à coup sûr disparu d'ici peu des moteurs de traction, sauf en ce qui concerne les collecteurs.

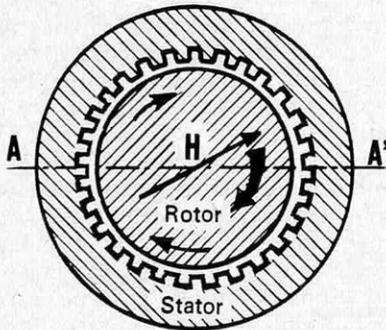
Mais y aura-t-il des collecteurs sur le matériel roulant électrique ?

Les convertisseurs statiques, maintenant possibles grâce aux thyristors, capables de fournir du courant polyphasé à fréquence variable, permettent de repenser à l'utilisation du moteur asynchrone comme moteur de traction. L'alimentation à fréquence variable apporte en effet un remède aux défauts qui l'avaient fait proscrire en traction : manque de souplesse pour le réglage de la vitesse et faible couple pour un fort appel de courant.

On sait que ce type de moteur a l'avantage de la simplicité et de la robustesse : il est moins coûteux que le moteur à collecteur et ne demande que peu d'entretien ; il est apte aussi à tourner plus vite et permet, si la locomotive peut l'accepter, une réduction de poids par kW. Il se prête bien, enfin, à une utilisation à tension élevée. La technologie des moteurs asynchrones de puissance élevée n'a pas évolué comme celle des moteurs à courant continu. Mais c'est là un retard certainement rattrapable.

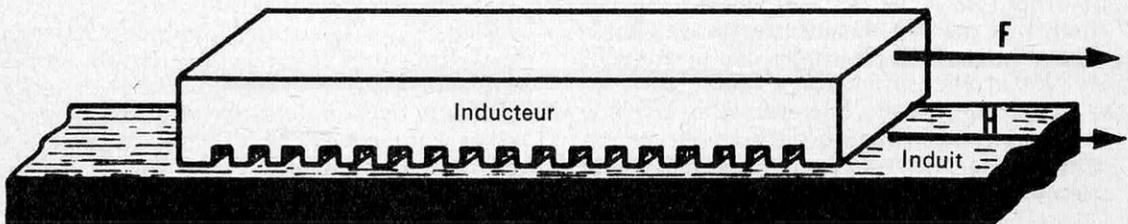
Les alternateurs

En traction diesel électrique, la génératrice à courant continu a presque terminé sa carrière. L'alternateur est moins cher, car il



Un moteur électrique classique comporte un stator (inducteur) et un rotor (induit), qui tourne sous l'effet du champ magnétique créé à l'intérieur du stator par un courant d'excitation.

Si inducteur et induit sont rendus plans, on obtient un moteur linéaire, dans lequel l'inducteur glisse à la surface de l'induit.



ne possède pas de collecteur, la limitation due à la commutation a disparu, on peut le faire tourner plus vite. Associé à un redresseur au silicium, on a toute liberté pour l'exploiter avec des moteurs classiques; on peut aussi l'associer à un convertisseur de fréquence, et utiliser dans ce cas des moteurs de traction du type asynchrone. Cependant l'alternateur est lui aussi soumis au grand principe, le poids diminue lorsque la vitesse augmente. C'est pourquoi la solution à double rotor, qui permet de doubler la « vitesse électrique » est favorable; l'induit, entraîné par un moteur diesel 1 500 tr/mn, tourne dans un sens; l'inducteur entraîné par un second moteur diesel identique, tourne en sens inverse: la vitesse de rotation inducteur-induit est ainsi de 3 000 tr/mn. Il existe aussi un autre avantage, celui de pouvoir constituer un ensemble puissant avec deux unités diesel de puissance modeste.

Enfin, rien ne prouve que le moteur diesel demeurera la source motrice des locomotives à traction autonome. On a déjà utilisé la turbine à gaz, mais son rendement à bas régime semble un premier obstacle; le prix paraît en être un encore plus sérieux. Quoiqu'il en soit, la seule machine électrique que l'on puisse pratiquement coupler avec une turbine est un alternateur.

On peut, dans la solution double rotor, envisager d'associer un diesel et une turbine. On utilise le diesel pour assurer les démarrages en bloquant l'un des rotors et, quand on veut de la puissance, on a le choix entre la turbine seule, ou turbine et diesel.

Les piles à combustibles

Mais l'avenir peut appartenir à une solution beaucoup plus révolutionnaire: la pile à combustible. Lors de la combinaison de certains éléments chimiques (hydrogène et oxygène dans la formation de l'eau, par exemple), des électrons se déplacent de l'un des éléments à l'autre. On peut, au moyen d'une électrode, capter les électrons émis par l'un des corps (l'hydrogène, par exemple), les faire passer dans un circuit d'utilisation, et les restituer au second corps (l'oxygène) par l'intermédiaire d'une seconde électrode. Il faut bien évidemment qu'au niveau des électrodes les deux corps soient en contact, sinon il n'y aurait aucune réaction du tout. C'est d'ailleurs aux électrodes que se trouvent les plus grosses difficultés.

Schématiquement, une pile à hydrogène et oxygène se compose de deux électrodes poreuses, le plus souvent en carbone, l'une parcourue par une circulation d'hydrogène, l'autre par une circulation d'oxygène, et un

électrolyte assurant le contact hydrogène-oxygène à travers les électrodes. Le circuit d'utilisation est relié aux deux électrodes.

En d'autres termes, une pile à combustible est un bac à électrolyse fonctionnant à l'envers.

Le rendement théorique des piles à combustible est élevé 0,70 à 0,90%. Le rendement pratique l'est moins, de l'ordre de 0,50%, encore que ce chiffre soit très variable selon les types de piles. Il est néanmoins largement supérieur au rendement des centrales classiques tributaires de la thermodynamique. C'est là une grande partie de l'intérêt des piles à combustible. En outre, et mises à part les pompes à circulation de fluides, ce sont des systèmes statiques, donc beaucoup moins fragiles et nécessitant beaucoup moins d'entretien qu'un moteur diesel.

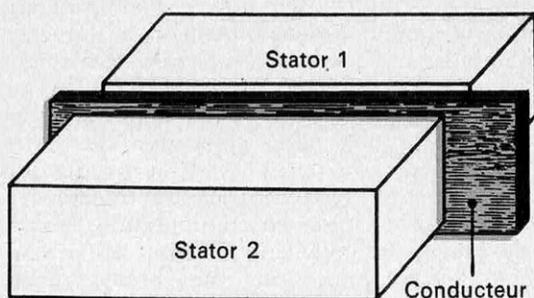
Cependant, à l'heure actuelle, la technologie des piles, le choix des fluides, sont encore au stade de la recherche fondamentale. Des catalyseurs très coûteux tels que le platine, utilisé à bord du satellite Gemini V, par exemple, sont nécessaires pour aider les réactions, et des solutions plus économiques devront être trouvées pour les applications industrielles.

Augmentation des puissances

L'augmentation de puissance des engins de traction, qu'ils soient électriques ou autonomes, semble inéluctable, car on prévoit à la fois l'accroissement des charges et des vitesses.

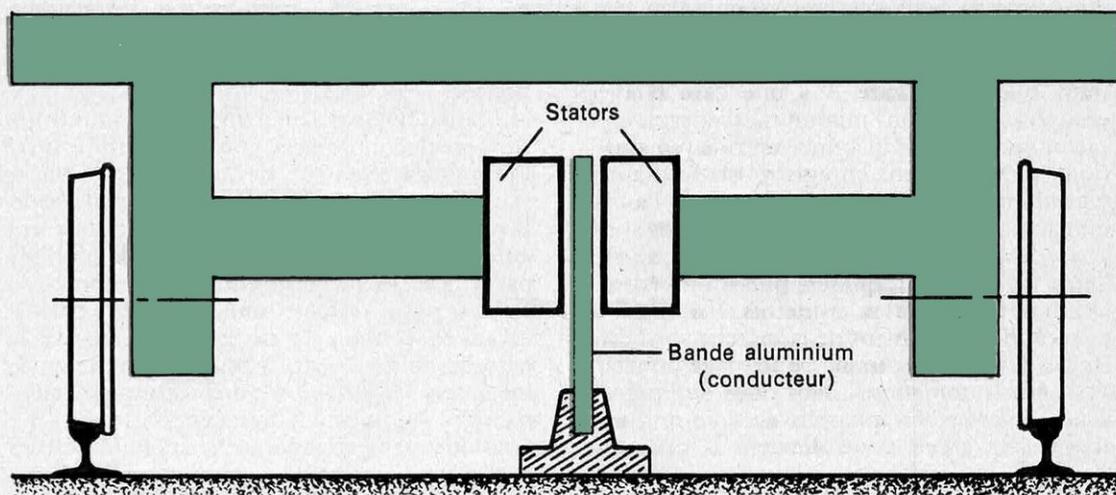
L'augmentation des charges étant la plus payante, on a lancé le mot de « train cargo » pour désigner la juxtaposition de plusieurs unités-trains ayant chacune leur engin moteur, tous les engins étant commandés depuis la cabine de conduite de la locomotive de tête par radio ou courant porteur. On s'affranchit ainsi de la nécessité d'augmenter la longueur des voies dans les triages et de renforcer les attelages, cette dernière opération étant extrêmement coûteuse, compte tenu du nombre de wagons. Elle n'est d'ailleurs pas pour autant une solution définitive, puisque même les énormes coupleurs utilisés aux États-Unis apparaissent maintenant trop faibles à la Pennsylvania Railroad pour la remorque des trains qu'elle prévoit d'utiliser.

Mais là se pose un nouveau problème, celui d'amener à la locomotive les puissances nécessaires. En traction monophasée, grâce à la haute tension du fil de contact, les possibilités sont considérables, mais en traction continue, des valeurs de 1 500 V ou même 3 000 V sont insuffisantes. En U.R.S.S., la caténaire étant, pour des raisons mécaniques,



Dans un second type de moteur linéaire, l'induit est une plaque conductrice de part et d'autre de laquelle glissent deux inducteurs comportant des enroulements.

Ce principe pourrait être appliqué en traction ferroviaire, l'induit étant fixé entre les rails et les inducteurs portés par la locomotive.



isolée bien au delà de 3 000 V, on va essayer de l'alimenter à 6 000 V par couplage en série des redresseurs des sous-stations. Chacune des locomotives comporterait un convertisseur statique, transformant ce 6 kV continu en courant alternatif, qu'un ensemble transformateur-redresseur restituerait sous forme de 3 kV courant continu, tout l'équipement actuel de la locomotive pouvant dès lors être réutilisé.

Électronique et automatisme

Les mots électronique et automatisme ont acquis une signification en traction électrique depuis assez peu de temps.

Les premières applications industrielles de l'électronique et de l'automatisme ont donné à ces deux mots un sens assez restreint : les circuits à faible niveau pour l'électronique, les dispositifs assurant seuls une succession d'opérations pour l'automatisme.

En fait, des circuits à courant élevé, comme les circuits de puissance des locomotives, peuvent être électroniques : le fonctionne-

ment des redresseurs à vapeur de mercure relève du domaine de l'électronique. Quant à l'automatisme, un fusible constitue déjà un appareil automatique. Ainsi, depuis déjà bien longtemps, l'automatisme, puis l'électronique, ont été utilisés sur nos locomotives. Mais ce domaine restreint s'élargit actuellement très vite, et on attend de l'électronique et de l'automatisme des prouesses nouvelles.

Plusieurs applications sont déjà presque classiques : amélioration de l'effort au démarrage pour que celui-ci ait une valeur constante; suppression du gradateur; ajustement de la ventilation aux besoins réels des moteurs et transformateurs; détection et mise en œuvre rapide de moyens destinés à combattre le patinage; dispositif de vitesse imposée, permettant au conducteur « d'afficher » une vitesse, à laquelle le train se maintient automatiquement.

Ce dernier dispositif, qui équipe toutes les automotrices monophasées, doit évoluer dans deux directions. Il faut d'une part le rendre utilisable avec tous les types de trains. Le frein ne serait commandé que par la vitesse

affichée. Pour ajuster les constantes de freinage, il faudrait seulement afficher la nature du train et le nombre de wagons freinés dans le cas d'un train de marchandises. La marche sur l'erre serait obtenue par mise hors service de la partie traction du régulateur de vitesse, le freinage étant toujours imposé si la vitesse dépasse celle correspondant à la position du manipulateur, qu'il suffirait ainsi de ramener à zéro pour provoquer l'arrêt.

D'autre part on peut avoir pour objectif la conduite à consommation d'énergie minimum. On peut calculer en fonction des caractéristiques de l'engin moteur et des vitesses permises par la voie quelle doit être la vitesse d'un train de banlieue, par exemple, sur chaque tronçon de voie et à quel point doit être commandée la marche sur l'erre pour que le train aille d'une gare A à une gare B avec une consommation minimum d'énergie. Ce calcul fait, on peut imaginer un ruban magnétique préalablement enregistré ou tout autre type de mémoire, qui, mis à bord de l'automotrice, imposerait les vitesses successives à observer et le moment de la marche sur l'erre. Ce dispositif, qui sera plus un répéteur qu'un cerveau, devra toutefois être capable de modifier le moment de la marche sur l'erre en cas de retard du train. Le freinage pourrait aussi être automatique, mais pour être précis, il nécessiterait des appareils de voie qui, aux abords des gares, contrôleraient la décélération et la régleraient au besoin.

Cependant, ces applications, pour intéressantes qu'elles soient, apparaissent déjà trop limitatives. Les exemples d'applications de l'automatisme aux chemins de fer, qu'il s'agisse de réalisations déjà en service ou encore au stade des essais, montrent que l'électronique ne connaît pas de limitations techniques.

Dans ces vues prospectives, nous nous bornerons ici à évoquer quelques possibilités nouvelles dans la conception des circuits de puissance. Les recherches et essais en cours portent surtout sur l'utilisation de convertisseurs statiques en courant continu.

On sait qu'en appliquant la tension non pas continûment mais par intermittence, aux bornes d'un moteur à courant continu classique il est possible de régler sa vitesse en faisant varier la durée des impulsions de tension. Mais une disposition aussi rudimentaire, si elle est valable pour des moteurs de très faible puissance comme ceux des systèmes de régulation ou d'asservissement, ne saurait être envisagée pour des moteurs de traction de construction classique.

En effet, pendant l'interruption de tension, le courant dans le moteur s'annule. Pour

maintenir un couple moyen donné, il faut que le moteur absorbe, pendant la durée de l'impulsion de tension, un courant d'autant plus important que l'impulsion est brève. Ceci implique des variations importantes et rapides du flux, d'où apparition de pertes supplémentaires dans le fer et production d'une force électromotrice de transformation dans les spires en commutation, source de graves inconvénients, surtout au démarrage où les impulsions sont brèves car la tension moyenne est faible et le courant moyen maximal pour obtenir un couple important. Il faut empêcher l'interruption du courant dans le moteur, ce qui peut s'obtenir avec un ensemble de thyristors, de diodes et de selfs grâce auquel le courant « continu » traversant le moteur présente en fait seulement une ondulation plus ou moins prononcée.

L'application d'un tel dispositif à impulsion sur une locomotive à courant continu offre l'important avantage de supprimer le rhéostat et d'améliorer grandement le rendement. Il paraît particulièrement intéressant pour une automotrice à accumulateurs, car il n'oblige pas à faire varier le nombre des éléments en circuit pour obtenir une tension variable. Avec ce système, tous les éléments de la batterie se trouvent à tout instant dans le même état de charge. Ce dispositif peut également fonctionner en freinage.

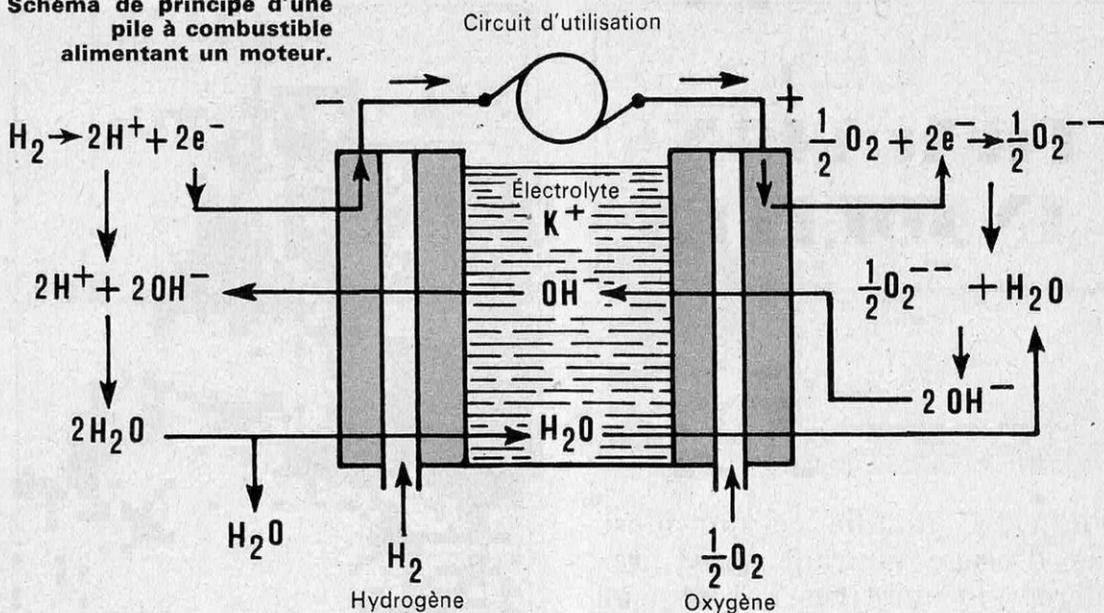
D'une manière générale, les possibilités des convertisseurs statiques permettent pratiquement d'envisager toute conversion de courant d'une forme dans une autre. Ils peuvent en particulier fournir, à partir du courant continu ou du courant alternatif monophasé, du courant alternatif polyphasé à fréquence variable, ce qui permet de repenser à l'utilisation du moteur asynchrone comme moteur de traction, comme nous l'avons vu.

Les principes qu'utilisent les convertisseurs statiques, tout au moins pour la plupart d'entre eux, ne sont pas nouveaux. Mais il a fallu l'apparition et les progrès des semi-conducteurs pour autoriser leur mise en œuvre sur les locomotives. Il est difficile d'évaluer exactement dès maintenant le degré d'intérêt des convertisseurs : c'est tout un domaine de possibilités nouvelles qui est ouvert et il est sans doute des emplois auxquels nous ne pensons pas encore qui leur seront dévolus.

Rôle de la locomotive dans la signalisation

En ce qui concerne la signalisation, la locomotive a pour le moment un rôle passif pour ce qui se passe devant elle. Avec l'augmenta-

Schéma de principe d'une pile à combustible alimentant un moteur.



tion des vitesses on peut prévoir qu'elle devra jouer un rôle actif, notamment dans l'importante question des passages à niveau.

Un train à grande vitesse pourrait, par exemple, demander la fermeture préalable d'un passage à niveau par l'émission d'un signal dans la caténaire, signal qui serait reçu par le passage à niveau; celui-ci, une fois fermé, émettrait un second signal, reçu par la locomotive. Ne recevant pas ce second signal, le train, après une temporisation fonction de sa vitesse et déclenchée par l'émission du premier signal, reprendrait une marche normale et la sécurité serait celle de nos trains actuels. L'émission du premier signal par la locomotive serait elle-même déclenchée par une balise ou par un enregistreur de chemin parcouru placé à bord, lequel, grâce à des prééglages, provoquerait à des points kilométriques déterminés l'émission du signal et la mise en route de la temporisation.

L'espacement des trains pourrait de même être réglé par émission dans la caténaire d'impulsions en fonction du chemin parcouru et de la vitesse du convoi, la fréquence choisie caractérisant la locomotive.

Là aussi la sécurité serait de revenir à une marche normale en cas de non-fonctionnement du dispositif.

La conduite des trains

Tout ce que nous venons d'évoquer montre que la cabine de conduite traditionnelle de la locomotive évoluera considérablement dans l'avenir. On peut dire que l'influence humaine ira toujours en s'amenuisant, car la constante

de temps de l'homme est beaucoup trop élevée pour qu'il lui soit possible d'intervenir assez vite dans de nombreux cas.

La « vitesse affichée » libérera le conducteur du souci de respecter la vitesse. Par ailleurs, son train marchera de façon à consommer le moins d'énergie possible. Le refroidissement des organes dépendra de la température réelle des enroulements, inaccessible à l'homme; si l'engin moteur patine, l'équipement automatique supprimera le défaut et utilisera l'adhérence au mieux. De plus, des ordres extérieurs parviendront à l'équipement et le conducteur n'aura même pas à se demander s'il doit y obéir. Il ne gardera qu'un rôle indispensable de surveillance des organes.

On peut même penser qu'en traction électrique la machine pourra solliciter des sous-stations la tension la plus favorable. Une calculatrice électronique placée au Central sous-station déterminera la tension aux bornes des sous-stations en fonction des diverses demandes, parfois contradictoires, qu'elle recevra.

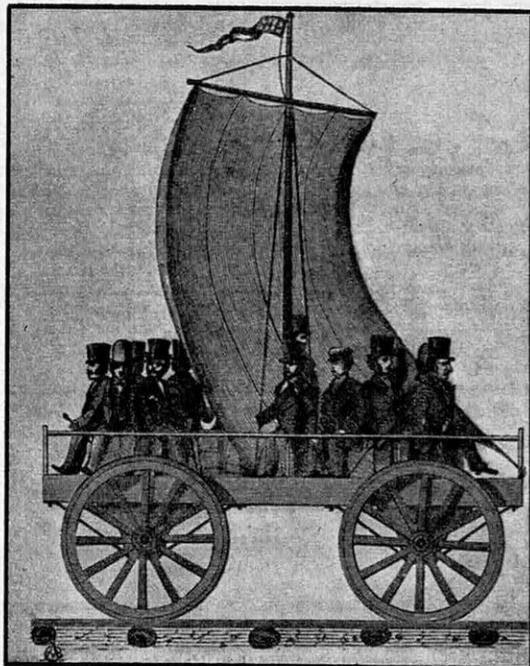
Le chemin de fer est un domaine propice à l'emploi des techniques nouvelles et de la cybernétique. Mais c'est aussi un domaine où les nouveautés techniques deviennent de moins en moins perceptibles au grand public. C'est surtout aux techniciens, aux ingénieurs, qu'apparaîtront toutes les richesses contenues dans l'avenir du chemin de fer.

M. NOUVION

Ingénieur Général.
Chef de la division des Études
de Traction Électrique de la S.N.C.F.

LES TRACTIONS INSOLITES

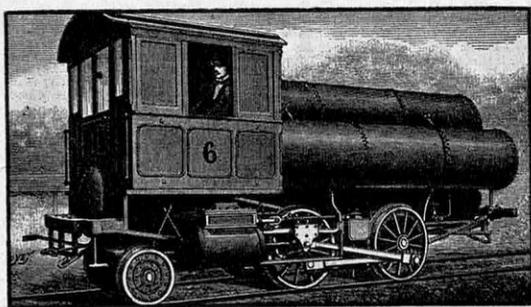
L'adjectif qualifie ce qui n'est pas d'usage courant. Les premières locomotives à vapeur furent insolites, mais perdirent ce caractère en se multipliant. Voici des exemples de tractions exceptionnelles, donc insolites.



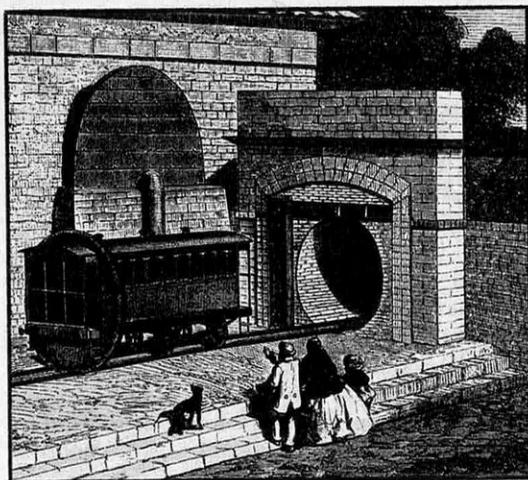
En 1829-1830, la voile assurait sur le South Carolina un service économique, mais irrégulier entre Charleston et Hamburg.



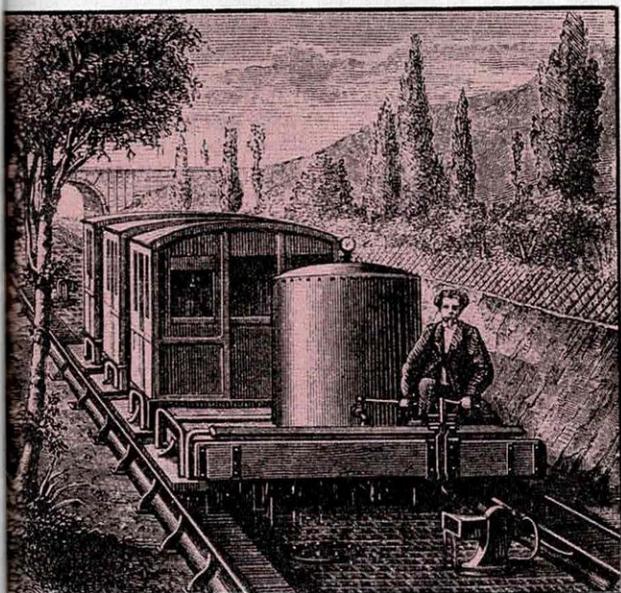
Le « cyclopède » du South Carolina de 1829, mû par un cheval sur un tapis roulant.



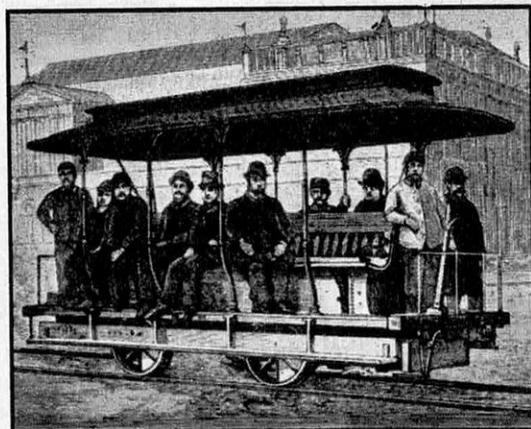
La locomotive qui ne fume pas parce que l'air comprimé y remplace la vapeur était séduisante mais d'autonomie limitée; voici celle du métro aérien de New York en 1882.



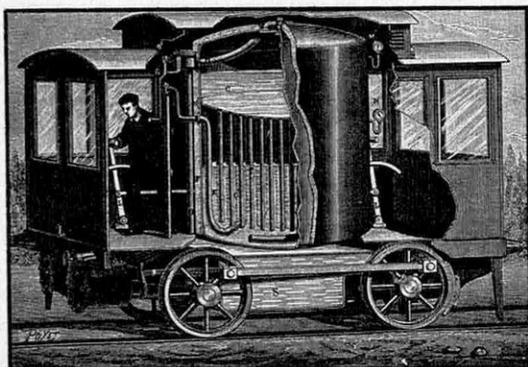
Le chemin de fer pneumatique de Londres à Sydenham (1865). La pression de l'air dans le tunnel poussait la voiture équipée d'un bouclier-piston; le vide la ramenait.



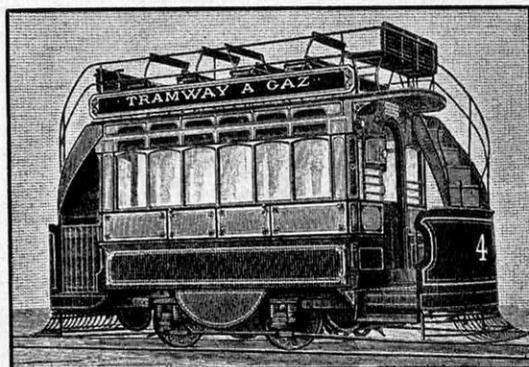
Le chemin de fer hydraulique et glissant sur filets d'eau de Girard, expérimenté en 1862 et présenté à l'Exposition de 1889.



Le tramway à ammoniac de Chicago (1892). Le moteur était actionné par la vapeur dégagée d'une solution ammoniacale.



En 1885, Honingmann proposa une locomotive de tramway dont la chaudière, productrice de vapeur, était chauffée par réaction chimique d'une lessive de soude.



Le tramway à gaz de La Villette à la Nation en 1895. La combustion du gaz était utilisée dans le cylindre même d'un moteur à explosion Otto à grand volant.

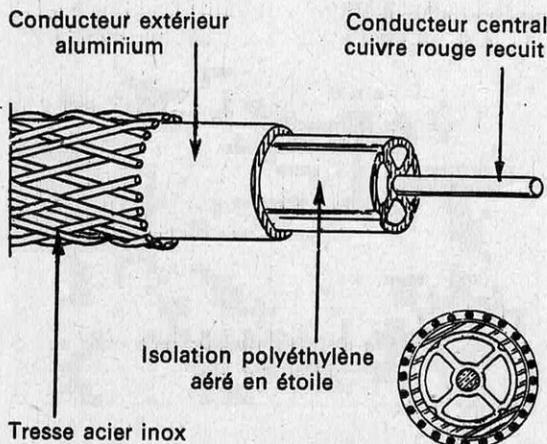
LE DÉVELOPPEMENT DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Les moyens modernes de télécommunication ont récemment permis aux Chemins de fer d'acquérir un réseau de transmissions approprié à leurs besoins, et qui diffère grandement tant des liaisons rudimentaires dont il disposait naguère, que des installations des Postes et Télécommunications faites pour un service bien différent.

Ce réseau doit assurer avec efficacité le *commandement*, exercé par les services de direction et de coordination sur les organes d'exécution (gares, services d'entretien du matériel roulant et des installations fixes), la *transmission des informations* nécessaires à l'utilisation optimale du matériel roulant et à la bonne exploitation des divers établissements (triaux en particulier), la *régulation des circulations*, c'est-à-dire la transmission des ordres donnés aux gares et aux mécaniciens par un agent chargé d'orchestrer les mouvements sur une ligne et appelé « régulateur », enfin certains impératifs de *sécurité*.

LE TÉLÉPHONE

Le téléphone convient parfaitement bien à la communication d'ordres qui doivent être exécutés promptement, ou de renseignements à exploiter sur l'heure. Dans la plupart



Croquis du câble coaxial Vierzon-Toulouse, transportant 120 conversations simultanées.

des réseaux de chemins de fer, il existe ainsi un réseau téléphonique de commandement partiellement automatisé. A la S.N.C.F., la mise à l'automatique de ce réseau se poursuit et on compte environ 50 000 usagers répartis dans la quasi totalité des établissements et pouvant établir leurs communications de manière entièrement automatique en composant un seul numéro, de 6 chiffres au maximum, même si le demandeur se trouve, par exemple, à Dunkerque et le demandé à Tarbes.

On trouve, de plus, des circuits spécialisés à l'exploitation de chaque ligne et qui se sont multipliés sur les lignes électrifiées. C'est d'abord le circuit de régulation-exploitation reliant le régulateur, mentionné ci-dessus, aux différentes gares, et qui lui permet d'organiser la marche des trains sur la section de ligne dont il a la responsabilité : garage de tel train de marchandises pour dépassement par un rapide, autorisation de manœuvre dans telle gare avant l'arrivée d'un train de voyageurs sans que celui-ci en soit retardé, etc. De même, le circuit de régulation-traction est à la disposition d'un « régulateur sous-stations » qui peut ainsi communiquer avec les gares et avec les différents postes d'alimentation de la caténaire. Enfin le circuit d'alarme-traction, sur lequel sont mis en parallèle, tous les kilomètres environ, des postes téléphoniques situés le long de la voie, permet, en cas d'incident, de réclamer la coupure du courant de traction au régulateur sous-stations. On trouve encore des circuits de télécommande des sous-stations, de maintenance-traction, de travaux-voie, etc.

Les circuits à constituer sont donc nombreux, surtout pour le réseau de commandement automatisé. Il faut donc former des faisceaux de circuits intercentres. Le nombre de conversations simultanées atteignant ainsi plusieurs centaines sur certaines artères, il n'est pas question de construire les lignes qui les acheminent à raison de deux fils par communication à écouler, car les installations seraient extrêmement encombrantes et coûteuses. On préfère employer une transmission en haute fréquence *par courants porteurs* qui permet de « transporter » un grand nombre



PHOTO C.I.T.

de communications sur deux ou quatre fils seulement. Pour cette utilisation, ce sont les câbles coaxiaux qui présentent les meilleures caractéristiques.

Les câbles coaxiaux

Un câble coaxial est composé d'une paire de conducteurs concentriques, ce qui lui confère la grande qualité de pouvoir transmettre l'énergie en haute fréquence (quelques mégahertz) sans perte trop importante par rayonnement. En d'autres termes, le câble coaxial est l'opposé d'une antenne radioélectrique à laquelle on demande justement de rayonner dans l'espace le maximum d'énergie. La bande de fréquence que peut transmettre un tel câble est extrêmement large, et elle est utilisée pour acheminer simultanément un grand nombre de communications. Pour cela, celles-ci subissent, au départ, une suite de traitements électroniques destinés à les transposer et à les superposer dans l'échelle des fréquences.

A l'arrivée, ces voies subissent des démodulations et des filtrages qui ont pour effet de les ramener dans la bande des fréquences vocales directement utilisées par les usagers du téléphone. On peut arriver ainsi à transmettre simultanément près de 10 000 conversations.

Actuellement, la S.N.C.F. emploie trois sortes de câbles coaxiaux : les types Paris-Vierzon, Vierzon-Toulouse et Béziers-Toulouse.

Dans la première de ces réalisations, on utilise deux paires coaxiales « 1,2—4,4 » (diamètre du conducteur intérieur : 1,2 mm ; diamètre intérieur du conducteur extérieur : 4,4 mm) qui acheminent chacune dans un sens 300 voies. Elles font partie d'un câble souterrain qui comprend également les circuits classiques, exploités en basse fréquence et desservant les liaisons à courte distance.

Bien que l'affaiblissement apporté par un câble coaxial soit beaucoup moins important que celui des autres types de lignes, une amplification est nécessaire à intervalles réguliers, et elle est assurée par des répéteurs qui, entre Paris et Vierzon, sont situés tous les 6 km. Ces répéteurs sont naturellement à transistors, dont il est maintenant fait le plus large emploi. L'utilisation en est ici particulièrement avantageuse car la faible consommation des transistors évite l'installation d'une source locale d'énergie, les répéteurs étant téléalimentés par les centres d'amplification terminaux, quelquefois distants de

Le long du câble Vierzon-Toulouse, des répéteurs compensent les pertes de charge.

TÉLÉCOMMUNICATIONS

plusieurs centaines de kilomètres. De plus, le risque de défaillance d'un transistor est si faible que le répéteur ne donne pratiquement jamais lieu à dérangement, ce qui permet de négliger son accessibilité au profit de la simplicité de son installation. Pour les câbles souterrains, on peut ainsi, comme c'est le cas sur Paris-Vierzon, installer le répéteur dans une chambre souterraine qui n'est qu'un trou cubique maçonné, et l'on pourrait même le poser en pleine terre comme partie intégrante du câble.

Les deux autres types de câbles coaxiaux employés par la S.N.C.F. sont aériens et posés, soit sur les supports caténaires, soit sur les lignes aériennes existantes. On les qualifie d'*autoporteurs* ou d'*autoportés* selon que l'élément support (tresse ou câble d'acier) est indissociable du câble coaxial proprement dit ou peut, au contraire, s'en séparer aisément.

Le câble Vierzon-Toulouse est autoporteur et permet, avec un espacement de 12 km entre répéteurs, de transmettre simultanément 120 voies sur les deux conducteurs d'une seule paire coaxiale « 2,1—8,0 », la séparation des sens de conversation s'effectuant « en fréquence » (bande 812-1300 kHz pour l'un des sens et 188-676 kHz pour l'autre). Des précautions spéciales sont prises pour maintenir constant le niveau des conversations malgré les variations de température qui modifient l'affaiblissement et sont ici particulièrement importantes puisque le câble est à l'air libre.

Le câble Béziers-Narbonne est composé de deux petites paires coaxiales « 0,75—2,8 » torsadées avec un câble d'acier qui sert de porteur : il est donc « autoporté ». Le raccordement avec les répéteurs se fait par connecteurs, ce qui le rend extrêmement rapide et, par suite, peu coûteux. Comme la pose ne nécessite que des ferrures simples, le prix de revient est bien inférieur à celui d'un câble souterrain, aussi bien en fournitures, puisque la constitution en est très simple, qu'en installation, puisque l'on évite des fouilles importantes et chères. Les répéteurs étant situés tous les 5 km, ce câble permet d'acheminer simultanément 60 voies.

Les câbles coaxiaux permettent donc d'écouler un trafic très important, mais leur installation est parfois coûteuse (câbles souterrains), parfois difficile ou même impossible pour certains types. Ainsi il n'est pas possible d'installer un câble aérien le long d'une ligne électrifiée en 25 kV-50 Hz, le courant des caténaires induisant, sur un conducteur non protégé, des tensions dangereuses. Certains réseaux ont voulu s'affranchir de ces sujétions par la mise en œuvre de

liaisons radioélectriques en hyperfréquences, encore appelées *faisceaux hertziens*.

Les faisceaux hertziens

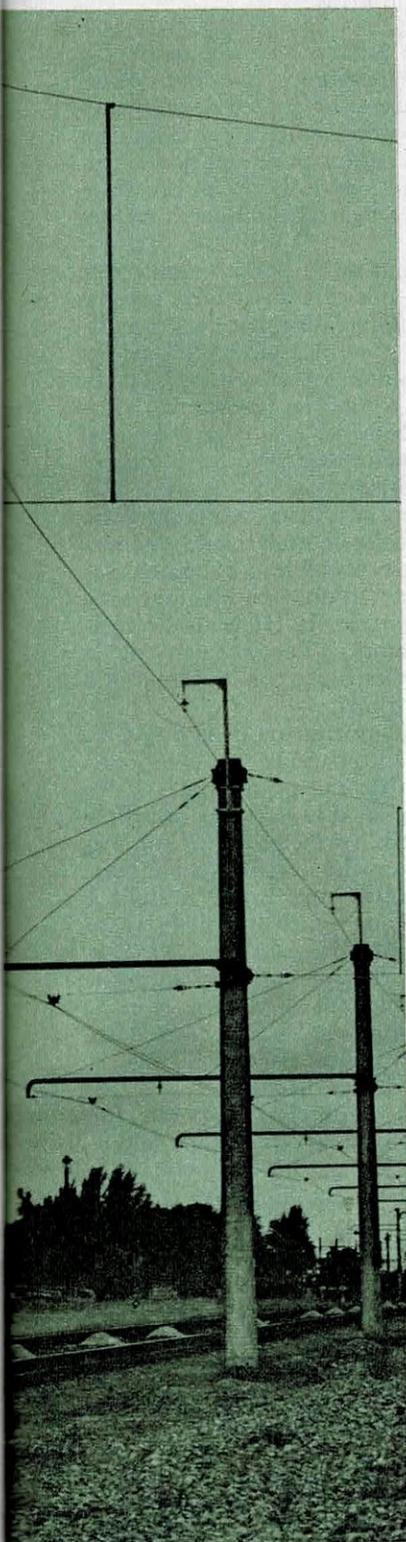
Les fréquences radioélectriques employées par ce type de transmission vont de 400 à 15 000 MHz, ce qui correspond à des longueurs d'onde comprises entre 75 et 2 cm. Dans cette gamme, il est possible d'obtenir des rayonnements très directifs, ce qui permet de réduire les interférences avec d'autres liaisons et de diminuer les puissances à mettre en jeu. D'autre part, la valeur élevée de la fréquence autorise la transmission d'un grand nombre de communications avec une seule onde porteuse, avantage par lequel le faisceau hertzien rejoint le câble coaxial. Le faisceau hertzien comporte cependant certaines infériorités qui en limitent l'emploi sur les lignes de chemin de fer.

La S.N.C.F. a installé, en 1963, entre Sète et Béziers, un faisceau hertzien fonctionnant dans la bande des 11 000 MHz (2,8 cm de longueur d'onde). L'équipement comprend des antennes paraboliques de 3,25 m de diamètre qui donnent un faisceau de 0,5 degré d'ouverture dont le rayonnement suivant l'axe est 50 000 fois plus intense que celui d'un aérien omnidirectionnel. Cette caractéristique permet d'effectuer des liaisons de 40 km environ avec une puissance de 0,25 W seulement, tout en assurant une très bonne protection contre les bruits et les évanouissements de propagation. Le même aérien est utilisé à l'émission et à la réception, mais les ondes émises et reçues ont des polarisations perpendiculaires et sont ainsi aisément séparables grâce à un *duplexeur*.

TÉLÉGRAPHIE ET TRANSMISSION DE DONNÉES

L'exploitation rationnelle du chemin de fer exige que les divers établissements (gares, triages, dépôts, magasins...) puissent rapidement s'informer mutuellement de leur activité et en rendre compte à des organismes de coordination. Seul un réseau d'information spécialisé semble apte à remplir ces fonctions.

A la S.N.C.F., la constitution d'un tel réseau a été envisagée lorsque s'est posé de façon aiguë le problème du renouvellement et de l'extension du parc de wagons à marchandises. On a en effet pensé — et l'expérience a confirmé ces prévisions — que l'accélération des informations concernant les wagons permettrait d'améliorer leur rotation et, par suite, de limiter le plus possible les extensions du parc.

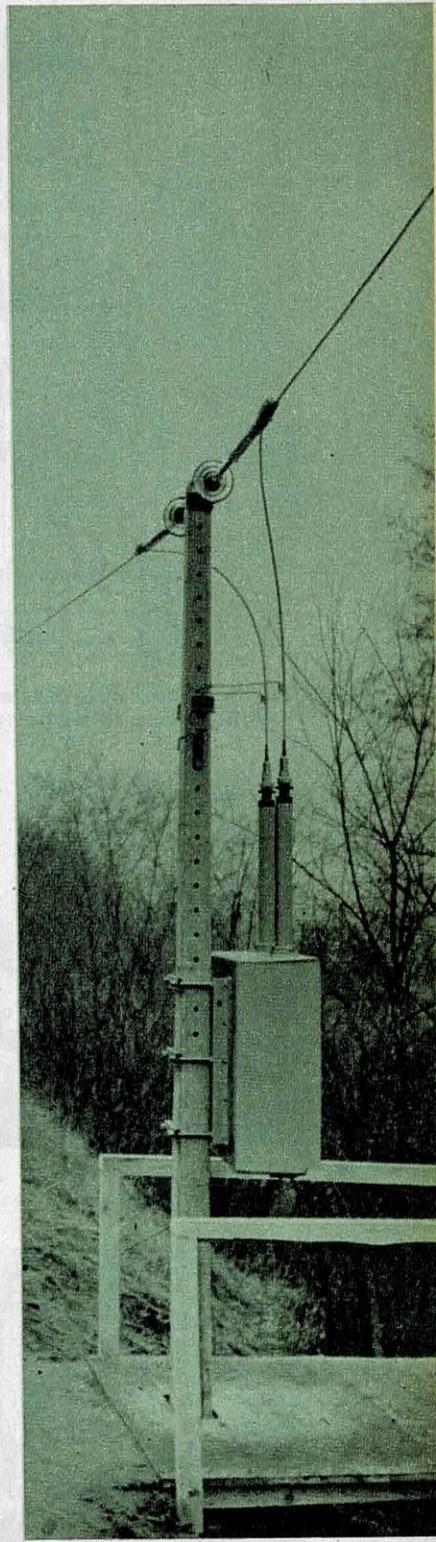


PHOTOS CABLES DE LYON

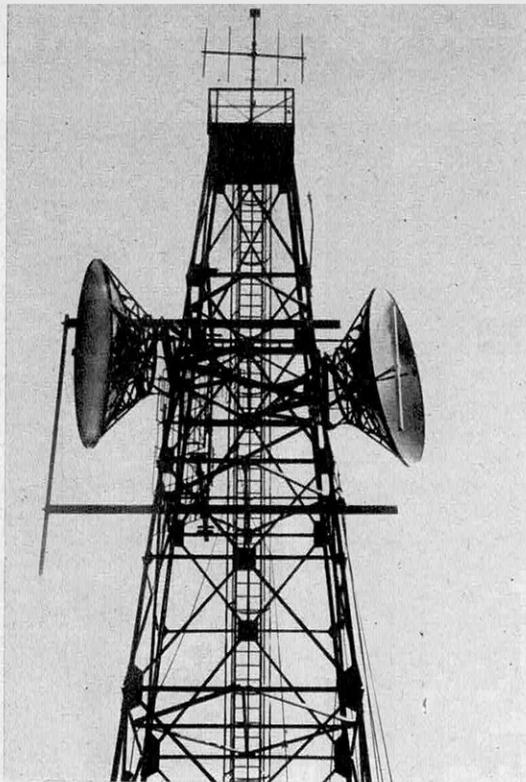
Le câble coaxial autoporteur Vierzon-Toulouse est ici tenu entre les pylônes porte-caténaires en position centrale.



Ci-dessus, des spécialistes réalisent, avec l'installation d'un répéteur, la jonction entre deux éléments d'un câble coaxial aérien.



Entre les supports de caténaires, la portée du câble coaxial est de 63 m et les répéteurs sont espacés de 12 km.

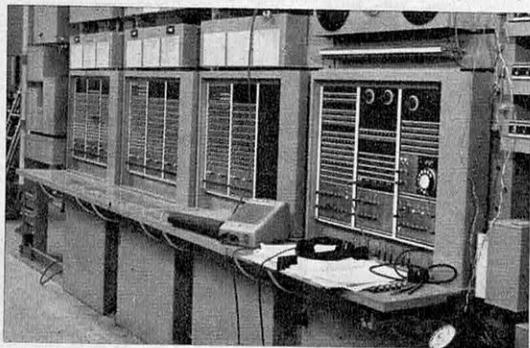


Sur la liaison Sète-Béziers, les antennes paraboliques du relais hertzien du Mt St-Clair.



PHOTO M.C.L.

Le réseau automatisé de téléimprimeurs dessert en particulier les centres de triage.



Le centre de Paris-Austerlitz, pour la liaison automatique entre postes de téléimprimeurs.

Les téléimprimeurs

C'est ainsi que fut mis en place un réseau d'information par téléimprimeurs qui dessert en priorité les triages, les postes de commandement des arrondissements (organismes directeur de l'exécution pour une zone correspondant à 1/40^e environ du réseau français) et un bureau central de répartition des wagons.

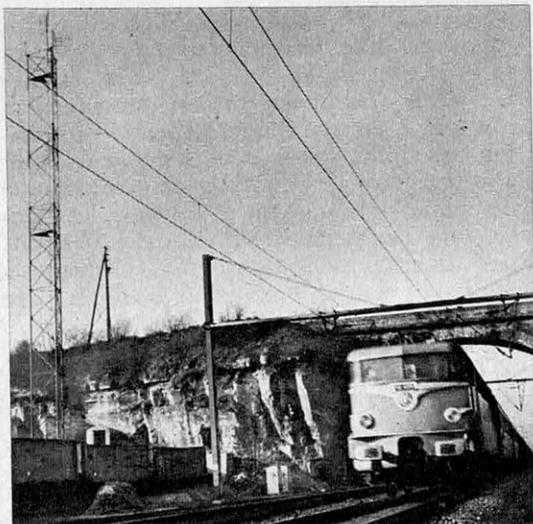
Le téléimprimeur se présente comme une machine à écrire qui sert aussi bien comme émettrice que comme réceptrice. A l'émission, lors de la frappe dactylographique, les courants télégraphiques sont envoyés automatiquement en ligne; les caractères s'impriment simultanément, en contrôle local sur le téléimprimeur émetteur et, à l'autre extrémité de la liaison, sur la page du téléimprimeur récepteur, sans aucune autre intervention que celle de l'opérateur à l'émission. Il est même possible d'expédier des messages à partir d'une bande perforée préalablement préparée, la tâche de l'opérateur se limitant alors à l'engagement de la bande dans un transmetteur automatique associé au téléimprimeur.

Le réseau de téléimprimeurs de la S.N.C.F. est entièrement automatique et comprend dès à présent plus de 270 postes reliés à des autocommutateurs à dix usagers, satellites d'autocommutateurs principaux à 50 ou 100 directions, appelés *centres de transit*, également reliés entre eux. Ainsi, il suffit à un usager quelconque, pour obtenir le poste de son correspondant, de composer sur son clavier un numéro de trois chiffres; les autocommutateurs établissent la liaison et provoquent l'inscription, sur les pages des deux téléimprimeurs, des indicatifs des deux postes, du jour et de l'heure de l'appel.

Les signaux télégraphiques peuvent, sur les lignes où de multiples voies sont nécessaires, emprunter les circuits du type téléphonique qui constituent le réseau général (24 voies télégraphiques par circuit). Là où une seule voie télégraphique est nécessaire, on peut prélever sur un circuit téléphonique, au moyen de filtres, une fraction de la bande des fréquences réservées au téléphone et s'en servir pour réaliser la voie télégraphique.

La transmission des données

Malgré ses multiples avantages, un tel réseau télégraphique présente toutefois des inconvénients. En particulier, la transmission n'est pas totalement exempte d'erreurs, celles-ci pouvant être provoquées par des coupures ou des bruits parasites qui se produisent en ligne ou dans les autocommuta-



Le « Paris-Lille » passant près d'un des pylônes de la liaison radiotéléphonique.

teurs. Cela conduit, lorsqu'on désire une grande précision et quand le contexte ne permet pas de rétablir les caractères exacts (cas de tableaux de chiffres comme des numéros de wagons ou des symboles de matériels), à répéter le même message une ou plusieurs fois et à comparer les textes reçus.

Par ailleurs, la rapidité d'écoulement des voies, qui s'évalue en « bauds » (le « baud », d'après Baudot, inventeur du système de télégraphie rapide, est l'unité de vitesse de transmission et correspond à un signal élémentaire par seconde), est ici de 50 bauds et n'est pas supérieure à la vitesse de frappe humaine.

Or, il y a quelques années, sont apparus des calculateurs électroniques, comme l'ensemble électronique de gestion de la S.N.C.F., qui ont permis d'emblée de résoudre, par une centralisation suivie d'un traitement rapide des données, certains problèmes complexes comme le calcul de la solde du personnel, la gestion des stocks et des approvisionnements, le contrôle de la répartition de la main-d'œuvre et de la répartition des wagons. Il serait très avantageux de faire traiter par un tel calculateur central, dans les meilleurs délais après leur obtention, les données issues de points très dispersés du réseau ferré et concernant, par exemple, la réservation des places, la reconnaissance automatique des numéros de wagons en marche, etc.

Encore faut-il, pour réaliser ce programme, que les données puissent être transférées au calculateur sans erreur et rapidement. Ces deux conditions essentielles étant mal remplies par les réseaux télégraphiques à 50 bauds, une nouvelle technique visant à résoudre le

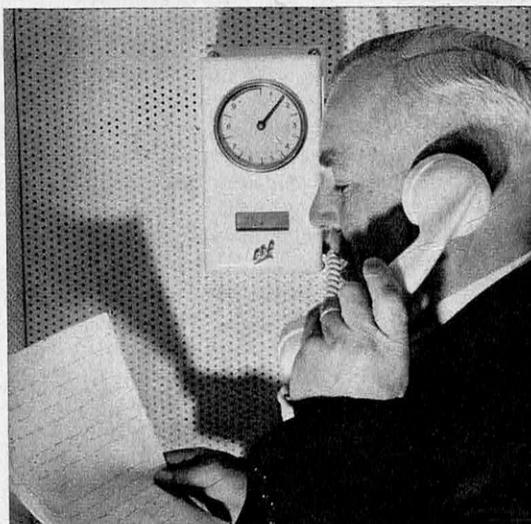


PHOTO CSF R. BOUILLOT

Un voyageur peut, depuis la cabine du Paris-Lille, converser avec tout abonné du réseau.

problème à pris naissance et se développe actuellement de manière spectaculaire. Elle a reçu le nom de *transmission de données*, mais il s'agit, en fait, d'une technique de télégraphie à grande vitesse avec correction automatique des erreurs.

La S.N.C.F. a, jusqu'à maintenant, procédé à des essais de matériel fonctionnant à des vitesses de 600 et 1200 bauds pour lesquels une voie téléphonique est suffisante, ce qui permet d'utiliser les circuits du réseau téléphonique général pour le nouveau mode de transmission. D'ailleurs, pour la plupart de ces matériels, l'établissement de la communication se fait téléphoniquement, par le réseau automatique s'il en existe un, et c'est après un échange verbal de renseignements concernant la préparation de l'équipement que les lignes sont commutées par les utilisateurs en position de transmission de données. Cette transmission peut, en outre et sans qu'il en résulte de perturbation, être interrompue à tout instant par l'un quelconque des deux usagers en cas de message oral urgent à passer. A 1200 bauds, et compte tenu des codes employés, on peut transmettre la vitesse maximale de 150 caractères par seconde, soit environ vingt fois plus vite qu'en télégraphie à 50 bauds.

La détection des erreurs a donné lieu à des réalisations assez diverses mais qui peuvent se ranger en deux familles principales :

Dans la première de ces familles, les caractères sont représentés par un code télégraphique classique et transmis tels-quels sur une voie « aller », puis renvoyés par l'extrémité réceptrice vers l'émetteur qui les com-

TÉLÉCOMMUNICATIONS

pare aux caractères d'origine préalablement mis en mémoire. S'il y a identité, l'ordre d'impression est envoyé au récepteur; sinon, les caractères mémorisés sont répétés jusqu'à ce que tout soit correct. La S.N.C.F. a mis récemment en exploitation courante deux de ces appareils dits *reflex* qui fonctionnent sur le réseau télégraphique à 50 bauds seulement, l'absence d'erreurs étant, dans l'application qui en est faite (état des wagons transitant à la frontière franco-belge), plus recherchée que la rapidité.

Le deuxième type d'appareils utilise un transcodage qui ajoute à chaque caractère télégraphique un certain nombre d'éléments dits de *redondance*, c'est-à-dire qui ne sont pas nécessaires pour la traduction du caractère, mais permettent de détecter, et éventuellement de corriger, les erreurs de transmission.

La protection contre les erreurs est excellente puisque le taux d'erreurs non détectées est de l'ordre de 10^{-9} , soit d'un caractère erroné sur un milliard transmis.

La S.N.C.F. va commencer très prochainement des essais préliminaires de télégestion du trafic marchandises entre la région de Bordeaux et le calculateur électronique central; par ailleurs, elle est sur le point d'installer des équipements de réservation automatique des places sur la ligne Paris-Lille.

LA RADIOTÉLÉPHONIE

La radiotéléphonie présente évidemment le grand avantage de ne nécessiter, en principe, qu'un minimum d'équipement fixe; elle permet, en outre, de disposer de postes mobiles, soit portatifs, soit montés sur véhicules. Elle se heurte toutefois, en pratique, à quelques obstacles gênants. Les liaisons à longue distance demandent une infrastructure relativement importante (postes relais par exemple), destinée à pallier les défauts de propagation; les postes à tubes électroniques encore en service créent une importante charge d'entretien, qu'il s'agisse du remplacement fréquent des tubes eux-mêmes ou de celui de leur dispositif d'alimentation; enfin, la bande de fréquence allouée aux chemins de fer, du moins en France, est trop étroite pour que l'on puisse envisager un développement en surface de ces installations. Cependant, d'importants progrès ont été réalisés ces dernières années, en particulier grâce à l'apparition des semi-conducteurs qui, par leur faible consommation et par leur excellente fiabilité, ont simplifié les problèmes d'alimentation et d'entretien.

Du point de vue des relations à grande distance, on sait que certains grands réseaux

ont réalisé des liaisons entre les trains de voyageurs et le réseau du téléphone public; c'est, en France, le cas des trains rapides Paris-Lille. De même, il est extrêmement intéressant, en vue d'une meilleure exploitation des lignes, d'offrir au régulateur, dont nous parlions au début de cet article, une possibilité de communication avec les conducteurs de locomotive. De telles liaisons sont toutefois délicates à établir suivant la technique classique des ondes libres, car elles nécessitent alors l'emploi de plusieurs fréquences à choisir parmi celles allouées, en général parcimonieusement, et qui risquent donc de faire défaut pour d'autres applications plus importantes; de plus, leur propagation, du fait qu'elles sont situées dans la bande des ondes métrique, est assez irrégulière en terrain accidenté, et même totalement interrompue dans les tunnels.

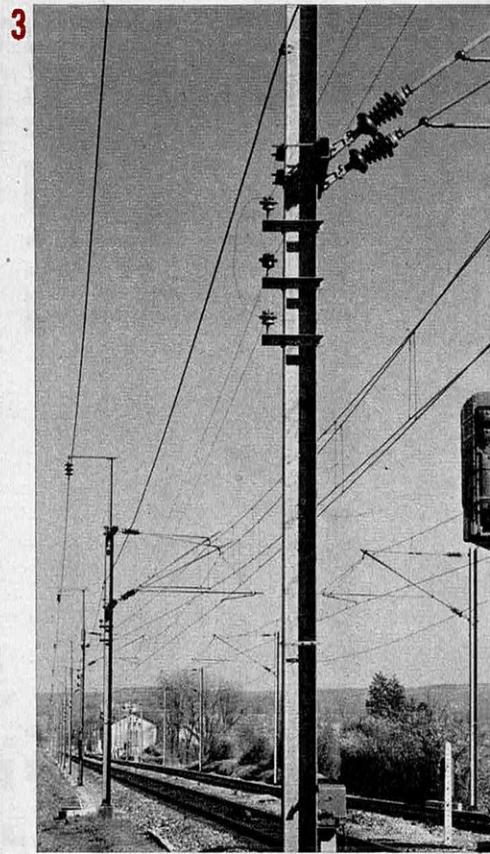
Pour éviter ces inconvénients, on peut se servir d'ondes radioélectriques « guidées », c'est-à-dire transmises sur une ligne rayonnante dont le champ électromagnétique est capté par les récepteurs situés sur le train; ce fonctionnement est d'ailleurs réversible et la ligne permet ainsi une liaison bilatérale.

Cette méthode, bien que nécessitant une installation fixe continue (ligne aérienne ou câble) est fort intéressante, car elle permet l'utilisation de fréquences relativement basses, dont la portée peut être aisément limitée aux abords immédiats de la ligne-support et dont l'attribution aux chemins de fer ne pose, par conséquent, aucun problème pour les autres utilisateurs. Elle est particulièrement indiquée lorsqu'un câble est installé dans la voie pour le contrôle de la vitesse des trains, ce câble pouvant alors véhiculer, en plus des signaux concernant la sécurité, une voie radiotéléphonique.

Pour essayer cette solution, la S.N.C.F. a installé entre Dole et Vallorbe une ligne aérienne bifilaire posée sur les poteaux caténaires et sur laquelle s'échangent des conversations entre régulateur et mécaniciens.

Les réalisations de ce type sont encore peu répandues en France où se sont beaucoup plus développées les relations intérieures aux gares de triage. Il est en effet nécessaire d'établir, dans ces gares, un contact permanent entre les postes d'aiguillage, qui dirigent la manœuvre de débranchement des trains en vue du triage des wagons, et les machines qui poussent le train vers la butte d'où descendront les wagons débranchés.

Le chemin de fer utilise par ailleurs des postes portatifs dont l'usage se répand de plus en plus dans l'ensemble des services. Toutefois, c'est surtout dans les triages, là encore, que ces postes assurent des liaisons



1 L'utilisation de liaisons radiotéléphonique est particulièrement intéressante dans les triages où l'engin qui refoule les wagons doit être relié en permanence aux postes d'aiguillage.

2 Le mécanicien de la ligne Dole-Vallorbe assure la conduite de son train tout en conversant avec le régulateur qui se trouve à Dijon. On voit, au-dessus du tableau de bord, le boîtier d'appel avec, en haut, le pavillon du haut-parleur.

3 La ligne « bifilaire », installée à titre expérimental entre Dole et Vallorbe, est posée sur les supports de caténaires; tous les 250 m, comme ici, la position des fils est inversée pour équilibrer la ligne par rapport à la terre.

TÉLÉCOMMUNICATIONS

La télévision en circuit fermé, de plus en plus largement adoptée dans de nombreuses industries où elle permet de contrôler à distance les processus de fabrication et de manutention, trouve une application également dans les chemins de fer, en apportant aux agents des gares des éléments d'information directe sur l'occupation des voies et la position des rames. A Dijon, par exemple, une batterie de caméras surveille en permanence les quais et le trafic des trains, avec des récepteurs de contrôle installés aux différents postes d'aiguillage.

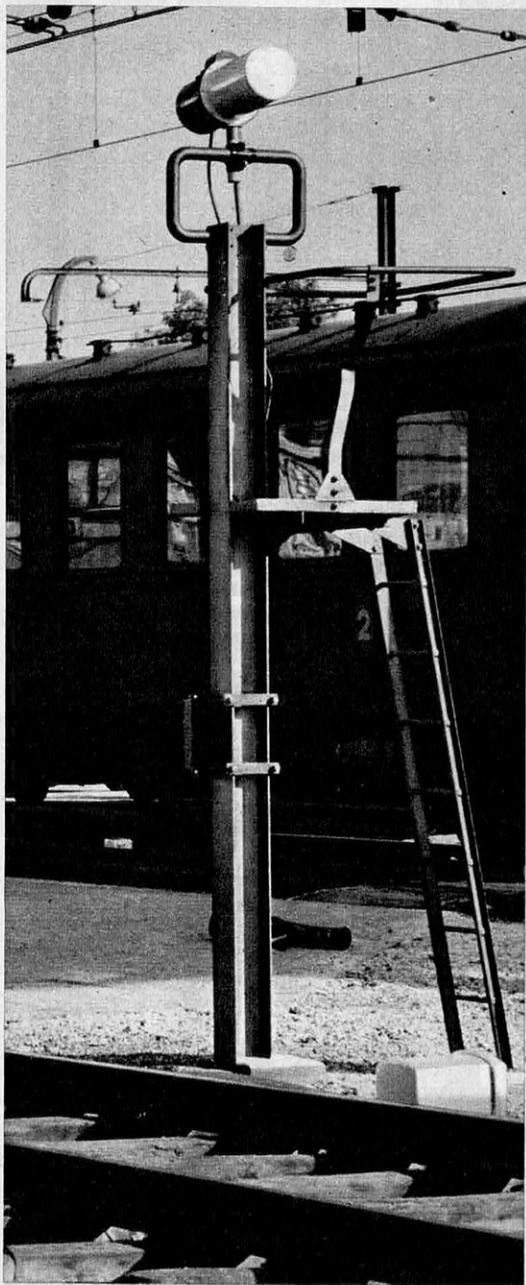
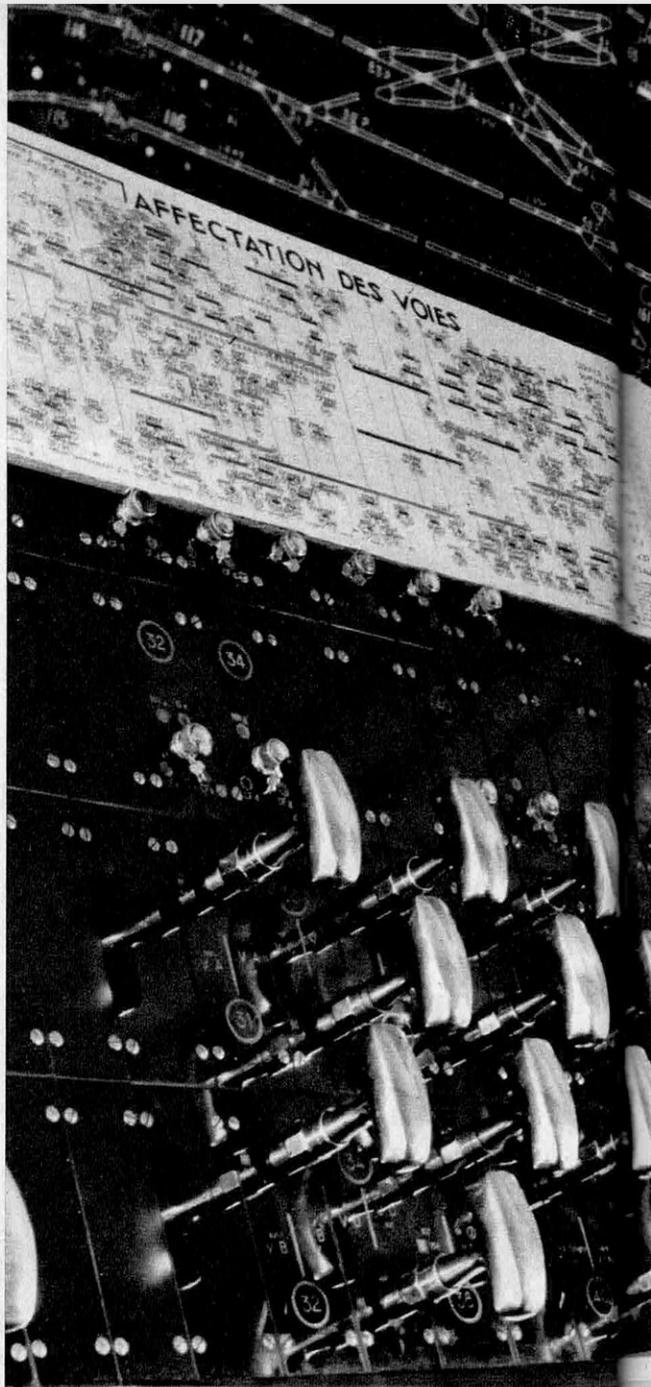
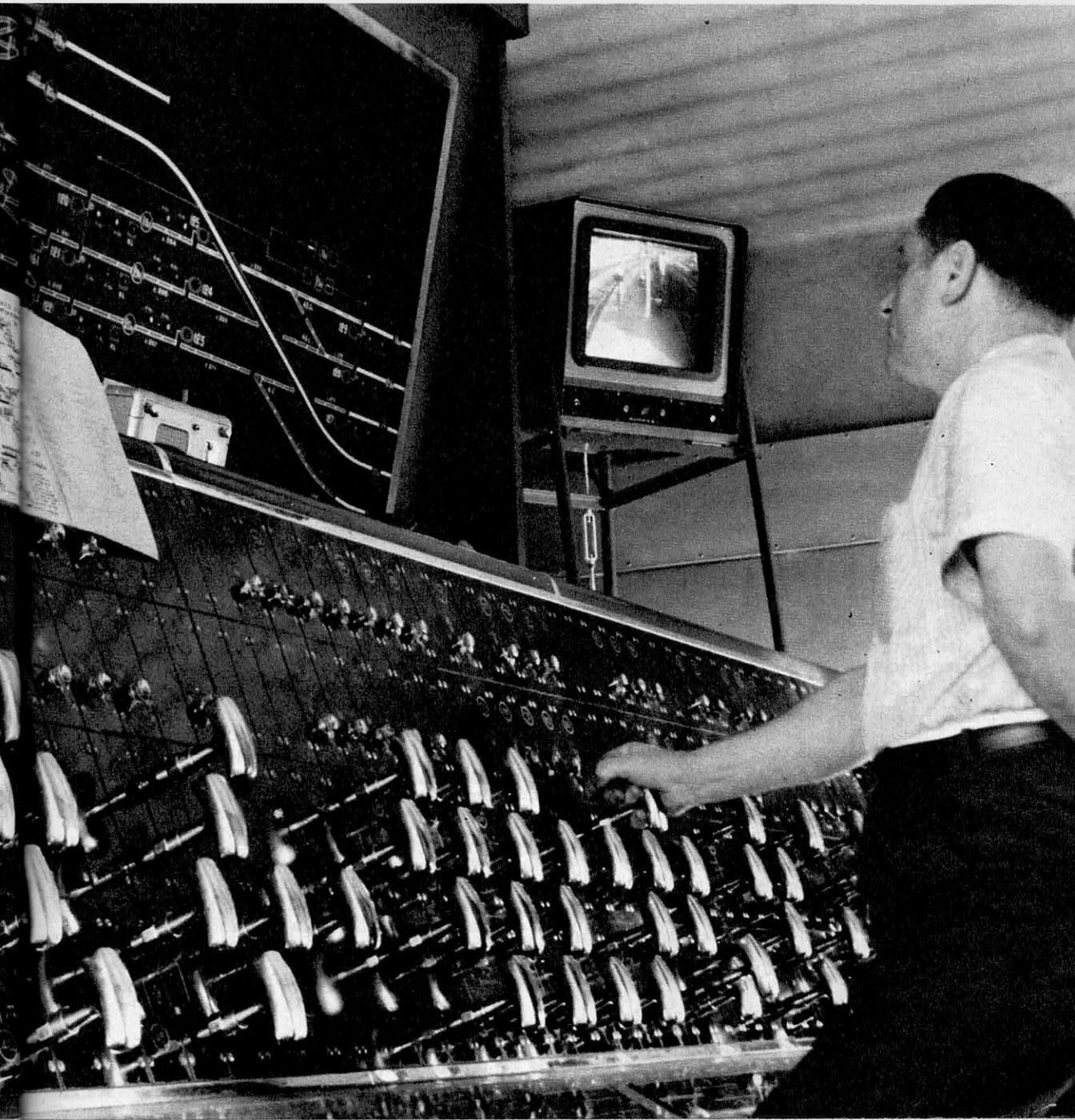


PHOTO CSF R. BOUILLOT



permanentes, en particulier celles des « pointeurs-releveurs ». Ces agents ont pour charge de relever les destinations portées sur les étiquettes des wagons au départ du triage et quelquefois à l'arrivée; ils devaient le faire autrefois par écrit, même dans les pires conditions atmosphériques. Ces agents sont maintenant dotés d'un poste émetteur-récepteur portatif transistorisé.

En dehors de ces appareils, sont apparus également de petits émetteurs-récepteurs de poche moins coûteux et qui, sans posséder la



robustesse et les perfectionnements de ceux que nous venons de citer, n'en suffisent pas moins à assurer des liaisons occasionnelles (chantiers, essais d'installations réparties comme la signalisation, manœuvres en atelier, etc.), pourvu que la distance à couvrir n'exède pas 500 à 800 m. Certains sont à modulation d'amplitude mais, la bande des 27 MHz étant extrêmement perturbée par les parasites industriels, les liaisons correspondantes sont quelquefois difficilement exploitables. Aussi généralise-t-on maintenant des postes à

modulation de fréquence, un peu plus coûteux mais beaucoup mieux protégés contre les parasites.

LES TÉLÉCOMMUNICATIONS INTERNES AUX TRIAGES

Qu'il s'agisse de téléphonie, de télégraphie ou de radio, les triages comme nous l'avons vu, font un usage important des principaux moyens de communication. Ils utilisent en outre largement les moyens de sonorisation

qui permettent en particulier au poste principal d'avertir les agents de l'arrivée, sur telle ou telle voie, d'un wagon débranché et qui roule par gravité. Ces annonces doivent donc couvrir toute la surface, en général étendue, du faisceau de débranchement et l'installation de haut-parleurs serait une gêne pour les riverains. Pour éviter cet inconvénient, la S.N.C.F. a expérimenté, il y a quelques années, et développe maintenant le plus possible, les installations de boucles inductives.

Les boucles inductives

Le principe d'une telle installation est très simple, puisqu'il consiste à émettre, dans une boucle de fil isolée et posée en terre à faible profondeur dans la zone à couvrir, une puissance que l'on peut recueillir par induction au voisinage du fil, grâce à de petits récepteurs portatifs. La liaison est donc unilatérale et il s'agit, en somme, de l'application du même principe que pour les liaisons-radio du régulateur vers les mécaniciens; mais l'originalité réside ici dans le fait que ce sont les fréquences vocales qui sont directement émises dans la boucle. Cela permet de simplifier à l'extrême le récepteur qui se limite à un

amplificateur suivi d'un haut-parleur et qui, en général alimenté par pile, se présente sous la forme d'un petit boîtier aisément transportable dans une poche. En revanche, les fréquences vocales se propageant assez mal dans l'air, on est obligé d'utiliser des amplificateurs à l'émission dont la puissance dépasse souvent 150 W, valeur relativement importante.

Les tubes pneumatiques

On connaît les avantages de ce mode de transport dans lequel un réseau de tubes reliant divers points permet de transmettre des documents originaux dans des « cartouches » que l'on propulse grâce des dépressions ou des surpressions d'air. Une telle transmission est particulièrement intéressante dans un triage où les fonctions de réception, débranchement et formation sont assurées par des postes répartis sur plusieurs kilomètres et doivent être coordonnées par un poste central (P.C.T.).

En France, la plus récente installation de ce type se situe au triage de Woippy, entre Metz et Thionville, où 7 000 m de tubes ont été posés et relient cinq points principaux de la gare au P.C.T.

Les tubes, de diamètre intérieur 55 mm, sont en polychlorure de vinyle, ce matériau ayant remplacé avantageusement l'acier, toujours sujet à la rouille. Quatre des postes sont desservis « en parallèle » par une seule liaison grâce à un système d'aiguillages télécommandés depuis le P.C.T. Dans certaines autres réalisations, c'est la cartouche qui, par un jeu de bagues réglables, commande elle-même son orientation. La vitesse des cartouches est normalement de 10 m/s, ce qui autorise un trafic important.

* * *

Les plus récentes techniques de télécommunications ont permis aux chemins de fer d'acquérir des moyens de transmission répondant vraiment à leurs besoins. Il est d'ailleurs hors de doute que cette évolution n'est pas terminée, et des compléments importants viendront enrichir les réseaux ferroviaires au cours des prochaines années, notamment pour ce qui concerne les transmissions de données. Dans tous les pays, les chemins de fer consentent des investissements assez considérables en ce domaine, car l'expérience en démontre la rentabilité, tant en ce qui concerne la sécurité que la qualité du service et le rendement des installations.



C.S.F. PH. GEORGEL

Un pointeur-releveur transmet, à l'aide d'un poste portatif, la destination d'un wagon.

M. BISOT

Ingénieur Principal à la S.N.C.F.

L'ÉLECTRONIQUE ET LA SÉCURITÉ

Si, pour de nombreuses applications industrielles, les moyens nouveaux offerts par le développement de l'électronique au cours des dernières années ont pu être exploités très rapidement, il n'en a pas été de même en ce qui concerne les installations de sécurité des chemins de fer. La raison en est simple : du fait de la structure et des dimensions des composants dans le domaine ferroviaire, les montages tels qu'ils sont couramment utilisés dans l'industrie ne pouvaient procurer le niveau de sécurité indispensable.

La prise en considération des différents défauts susceptibles d'altérer le fonctionnement normal d'une installation, et la préoccupation de canaliser les conséquences de ces défauts de telle manière qu'il ne puisse en résulter de situation contraire à la sécurité, ont conduit à des conceptions particulières de circuits dont la description détaillée sortirait du cadre du présent exposé. Nous nous bornerons ici à des indications assez sommaires sur les dispositions générales utilisées dans les applications les plus caractéristiques.

L'annonce des trains

Pour assurer automatiquement l'annonce des trains aux passages à niveau gardés, ou la commande des signaux routiers et des barrières dans le cas de passages à niveau non gardés, les dispositions classiques font un large emploi de commutateurs électromécaniques appelés « pédales », actionnés par les roues des convois.

Une telle installation d'annonce simple à un passage à niveau gardé comprend essentiellement une pédale, dite d'annonce, placée à une distance appropriée en amont et qui, attaquée par les roues du train, coupe le circuit d'autoexcitation d'un relais électromagnétique installé au passage à niveau, lequel commande un voyant et une sonnerie ; une autre pédale, dite de réarmement, installée immédiatement en aval, provoque l'effa-

cement automatique de l'annonce lorsqu'elle est attaquée à son tour par les roues du train à son passage.

On conçoit que le maintien de la régularité de fonctionnement est directement lié à celui des pédales qui posent un problème difficile et entraînent des frais d'entretien élevés, particulièrement sur les lignes à grande vitesse et à trafic lourd où les fatigues imposées aux pièces mobiles que comportent ces appareils sont très importantes.

Aussi, et compte tenu des derniers progrès de l'électronique, des recherches ont-elles été entreprises en vue de réaliser des dispositifs statiques permettant de détecter le passage des trains sans action mécanique des roues sur une pièce mobile.

En particulier, un dispositif basé sur les pertes par courants de Foucault dans le bandage des roues passant à proximité de bobinages parcourus par un courant alternatif, paraît répondre à toutes les exigences. Son principe est le suivant : dans le circuit d'un oscillateur à transistor est inséré un circuit accordé placé à proximité du rail, de façon que le champ de la bobine qu'il comporte soit dirigé vers le boudin des roues des véhicules. Au passage d'un bandage de roue, les pertes par courants de Foucault provoquent le blocage de l'oscillateur et la disparition fugitive, dans la ligne reliant le détecteur au passage à niveau, de la fréquence normalement émise.

Ce type de détecteur est dit à information négative, parce que le passage d'une roue se traduit par la suppression de l'information normalement présente en ligne. En fait, pour la réalisation des installations d'annonce aux passages à niveau, il a été nécessaire d'étudier également des détecteurs dits à information positive, dont le fonctionnement est tel que le passage d'une roue provoque l'émission fugitive d'une information. La disparition de l'information provoquée par le détecteur à information négative détermine le changement d'état d'une bascule électro-

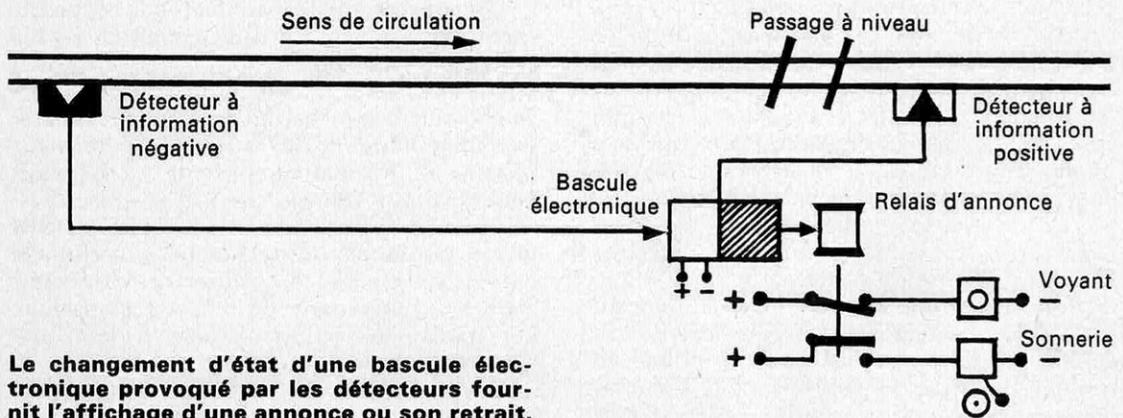
nique installée au passage à niveau, laquelle provoque à son tour le déclenchement des indications d'annonce. Cette bascule électronique est ramenée dans son état initial par l'action du détecteur à information positive installé à proximité du passage à niveau.

Les postes à modules

La commande des aiguilles et des signaux est réalisée dans les postes de signalisation modernes, non plus par la manœuvre de leviers assujettis à des enclenchements mécaniques, mais à partir de boutons libres placés sur un pupitre et en relation avec des relais électromagnétiques assurant les différentes fonctions du poste suivant les conditions de sécurité exigées. Les avantages procurés par

ces postes, dits « tout relais », sont multiples et il faut citer en particulier leur rapidité et facilité de desserte, l'automatisme plus poussé que naguère auxquels ils se prêtent, et les concentrations de commandes qu'ils permettent du fait de leur aptitude à être commandés à distance au moyen de systèmes de télétransmissions n'exigeant qu'un nombre restreint de conducteurs de ligne.

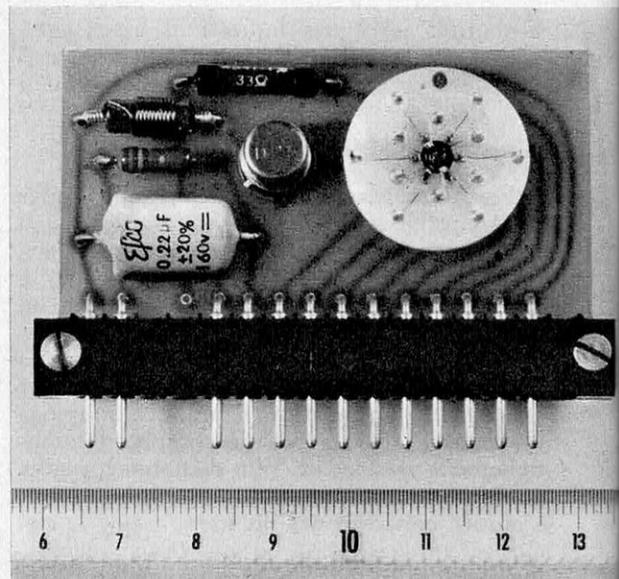
Dès l'apparition de la commutation électronique, il était clair que cette technique pourrait apporter de nouveaux avantages, notamment en supprimant toutes les sujétions liées aux contacts et aux pièces mobiles des relais électromagnétiques et en permettant encore de réduire les dimensions nécessaires aux salles d'appareillage. Les recherches ont abouti à la mise en service, en 1964, d'une



Le changement d'état d'une bascule électronique provoqué par les détecteurs fournit l'affichage d'une annonce ou son retrait.



Un détecteur électronique; il utilise les courants induits dans le bandage d'une roue passant au voisinage d'un circuit oscillant.



Un « module » tore-transistor, montrant en particulier le tore de ferrite avec ses enroulements annexes au centre de son support.

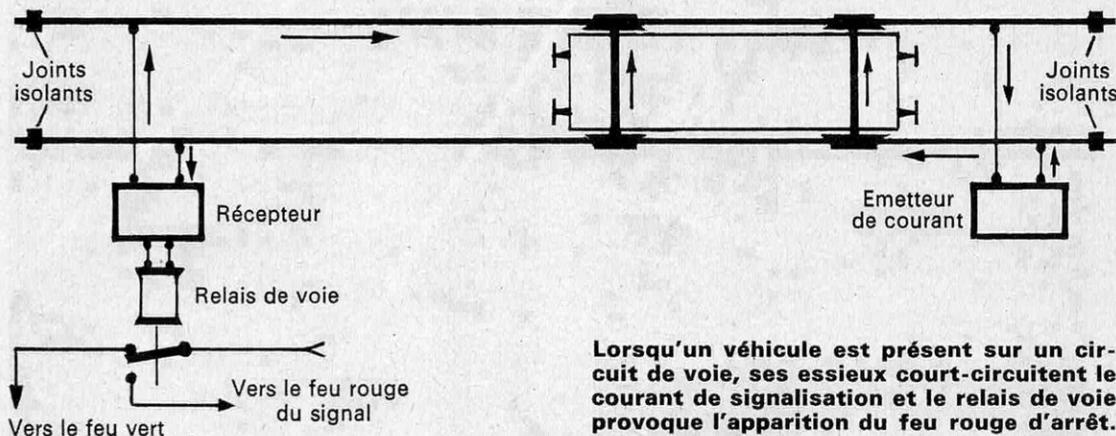
installation expérimentale (poste de Gagny, sur la Grande Ceinture) dans laquelle la commande des aiguilles et des signaux, ainsi que les enclenchements auxquels ces appareils sont soumis, sont assurés à partir de circuits électroniques.

Ces circuits électroniques sont obtenus par la combinaison judicieuse de circuits élémentaires réalisant les fonctions classiques de commutation ET, OU, COMPLÈMENT, MÉMOIRE, et d'un circuit spécial équivalant à un relais basculeur électromagnétique, c'est-à-dire d'un circuit capable de conserver la mémoire de son état, même après une coupure du courant d'alimentation. Le choix du composant de base s'est orienté vers des tores de ferrite à cycle d'hystérésis rectangulaire, matériau qui jouit, en effet, de la propriété de garder la mémoire de l'état magnétique dans lequel il se trouve grâce à la valeur importante de son induction rémanente.

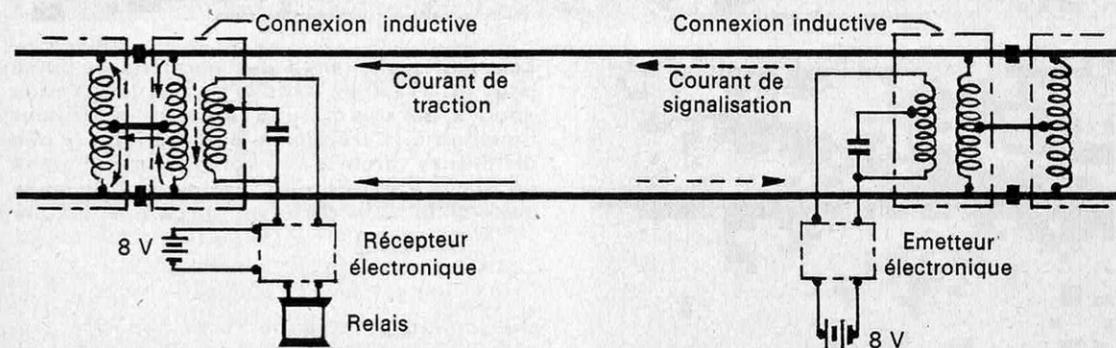
Sur le tore sont disposés trois enroulements principaux : un enroulement d'entrée, ou d'inscription, parcouru par des impulsions de courant mettant le tore dans un état magnétique déterminé (état 1 par convention); un enroulement de lecture parcouru

par des impulsions de courant mettant le tore dans l'état magnétique inverse (état 0); un enroulement de sortie dans lequel une force électromotrice induite apparaît à chaque changement d'état du tore et comprenant un élément de conduction unidirectionnel, un transistor, monté de telle manière qu'un courant ne puisse apparaître que lorsque le tore passe de l'état 1 à l'état 0. On conçoit, dans ces conditions, que des impulsions de courant ne puissent apparaître à la sortie que si des impulsions sont appliquées alternativement dans les enroulements d'entrée et de lecture. A titre d'exemple, si ces dernières impulsions sont tributaires de conditions de programme, on obtient ainsi un circuit qui réalise une fonction de commutation équivalant à celle de deux contacts de relais montés en série (circuit ET).

Cet ensemble, appelé « module », est l'unité de montage à l'aide de laquelle sont construits les différents circuits de commutation. Les modules sont placés dans les tiroirs d'une armoire où se trouvent ainsi réunis sous un faible volume tous les circuits du poste de signalisation, les opérations de maintenance sont facilitées par des points de mesure per-

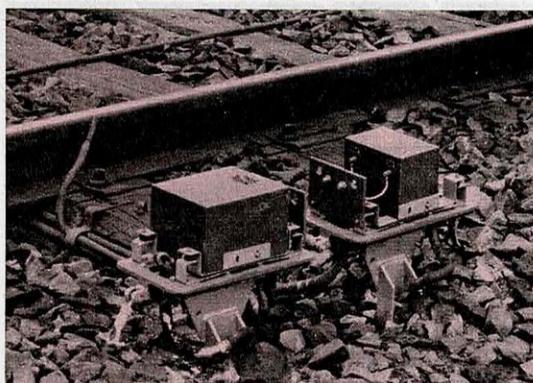


Lorsqu'un véhicule est présent sur un circuit de voie, ses essieux court-circuitent le courant de signalisation et le relais de voie provoque l'apparition du feu rouge d'arrêt.



L'enroulement selfique des connexions inductives permet au courant de traction des lignes électrifiées de franchir les joints

isolants entre circuits de voie, tandis qu'il s'oppose au passage du courant de signalisation, de même sens dans toute la connexion.



Le « cantonnement » des sections de ligne peut être réalisé, dans le cas de longs rails soudés, par des circuits résonnants formant bouchon à la fréquence caractéristique des différents circuits de voie; le câble posé entre les rails (ci-dessus) constitue avec ceux-ci la self d'un tel circuit bouchon.

Des condensateurs de forte capacité (ci-contre), placés en bordure de voie, et dont les bornes sont reliées soit au récepteur, soit à l'émetteur du circuit de voie, assurent le fonctionnement des bouchons des circuits.

mettant de vérifier sur un oscilloscope la forme des signaux dans les divers circuits.

Depuis sa mise en service, le poste fonctionne d'une manière satisfaisante et la S.N.C.F. envisage d'étendre cette première expérimentation.

Les circuits de voie

L'espacement des trains successifs sur une même voie est actuellement assuré, pour toutes les artères à trafic important, par une signalisation entièrement automatique dont le niveau de sécurité est beaucoup plus élevé que dans le cas de signaux mécaniques manœuvrés par des leviers après chaque passage de circulation.

Le principe de cette signalisation, appelée « block automatique », consiste à matérialiser la présence des trains sur la portion de voie séparant deux signaux consécutifs au moyen du court-circuit assuré par les essieux, entre les deux files de rails. A cet effet, les rails sont utilisés comme conducteurs pour transmettre le courant fourni par un émetteur, branché à l'une des extrémités de la section de voie considérée, vers un relais connecté à l'autre extrémité de cette section. Des joints isolants assurent la séparation électrique des sections successives. L'ensemble comprenant la partie de voie comprise entre deux signaux consécutifs et l'appareillage qui lui est connecté constitue un « circuit de voie ».

Dans ces conditions, le relais, normalement excité en l'absence de circulation, fait apparaître le feu vert. Lorsque le circuit de voie est court-circuité par des essieux, le relais se désexcite, ce qui provoque l'allumage du feu rouge d'arrêt.

L'installation doit être normalement complétée sur les lignes électrifiées par des *connexions inductives* placées de part et d'autre des joints isolants et destinées à permettre au courant de retour de traction de les franchir.

L'emploi de composants électroniques a été rapidement généralisé pour l'appareillage des circuits de voie des lignes électrifiées. Sur ces dernières, en effet, on est conduit à abandonner, d'une part, le courant continu (incompatible avec la traction utilisant ce type de courant et se prêtant mal à l'emploi de connexions inductives), d'autre part, le courant alternatif à 50 périodes, qui entraîne des installations lourdes et onéreuses pour assurer l'alimentation en cas de panne (double feeder, groupe électrogène de secours). L'appareillage utilisé comporte des émetteurs et des récepteurs électroniques alimentés par une batterie d'accumulateurs de 8 V qui assure le secours permanent de l'installation.

Le courant produit par les émetteurs peut être soit sinusoïdal et de fréquence relative-

ment basse (75 à 210 Hz), ce qui facilite la transmission dans la voie, soit à régime impulsif (impulsions de 1 ms se succédant à la fréquence de récurrence de 3 Hz), ce qui permet des tensions de crête de l'ordre de 100 V favorables à un bon contact entre les rails et les roues des véhicules tout en limitant à 50 watts environ la puissance moyenne consommée.

Ce dernier type de circuit de voie, très largement utilisé par la S.N.C.F. au cours des dernières années, est spécialement conçu pour assurer un fonctionnement parfait lorsque les rails sont rouillés ou souillés par des poussières (cas de la plupart des voies de gare et des tunnels) ou que la section est parcourue par des véhicules dont les roues sont encrassées par suite d'un stationnement prolongé sur voies sales.

On ne saurait clore la question des circuits de voie sans signaler une disposition très intéressante destinée à supprimer les joints isolants sur les voies comportant de longues barres soudées (800 mètres environ).

Les sections de voie contiguës sont alors séparées par un circuit résonnant formant « bouchon » à la fréquence considérée. Le « bouchon » est constitué par une certaine longueur de rails (20 à 30 mètres) montée en parallèle avec un condensateur de forte capacité; aux bornes de ce dernier est branché soit l'émetteur, soit le récepteur du circuit de voie. En pratique, les deux bouchons résonnants constituant les extrémités respectives de deux circuits de voie adjacents sont imbriqués l'un dans l'autre, ce qui permet d'assurer un recouvrement de quelques mètres entre les zones de fonctionnement des deux circuits successifs. Là encore, l'émetteur et le récepteur sont entièrement transistorisés et fonctionnent sur une batterie d'accumulateurs de 8 V. Toutefois, contrairement aux circuits de voie précédents, les fréquences utilisées sont comprises entre 1 700 et 2 700 Hz en raison de la difficulté de constituer avec une longueur de rails de 20 à 30 mètres, dont la self est forcément très faible, un circuit résonnant à basse fréquence. Il en résulte que la longueur de chaque section de voie est limitée à 800 m (au lieu de 2 000 m), ce qui conduit parfois à installer plusieurs circuits de voie entre deux signaux consécutifs et à totaliser les indications données par un relais de ligne.

Ces quelques exemples montrent clairement tous les avantages à la fois techniques (appareillage peu encombrant fonctionnant avec une batterie d'accumulateurs) et économiques qui résultent de l'adoption des systèmes électroniques.

M. KEICHER

Ingenieur Principal à la S.N.C.F.

La reconnaissance automatique des trains

De même qu'un carrefour sur le réseau routier, toute bifurcation constitue pour le chemin de fer un point de passage obligé naturellement dangereux.

Les graphiques définissant l'ordre de succession des trains sont établis avec le souci d'éviter, dans toute la mesure du possible, les coïncidences de marches incompatibles aux abords immédiats des bifurcations. Ainsi, dans l'hypothèse d'un réseau idéal à l'abri de toute perturbation de trafic, l'aiguilleur d'une quelconque bifurcation serait théoriquement en mesure d'assurer un excellent service en se contentant tout simplement de consulter sa montre et sans avoir jamais besoin d'aucune liaison avec les aiguilleurs des postes encadrants.

Mais ce réseau idéal est une fiction. En pratique, il est toujours possible qu'un train ne puisse respecter son horaire théorique. Ceci modifie complètement l'aspect du problème, ainsi qu'on peut le montrer sur un exemple simple (voir schéma page 84).

Considérons deux bifurcations successives distantes de quelques kilomètres et supposons qu'en application du graphique théorique, l'ordre de présentation des trains en pointe

de la bifurcation P soit tel que le premier train, en provenance de A, se dirige vers C et que le train suivant, en provenance de B, se dirige vers D. Si, par suite d'un retard du premier train, l'aiguilleur de la bifurcation T est amené à intervertir l'ordre de succession initialement prévu, l'aiguilleur de la bifurcation P — qui attend un train à destination de C, alors que se dirige vers lui un train à destination de D — provoquera à coup sûr une erreur de direction.

Lorsque les circonstances sont favorables (en particulier, lorsque la lecture de la signalisation de pointe le permet), le mécanicien du train concerné s'apercevra en temps utile de l'erreur de direction et il s'arrêtera avant d'engager la bifurcation. Dans le cas contraire, il s'arrêtera dès que possible au delà de cette bifurcation. En définitive, l'erreur de direction se traduira habituellement par un retard; mais on a malheureusement vu parfois des erreurs de direction, initialement banales, causer des accidents graves.

L'erreur de direction se présente comme un risque permanent du métier d'aiguilleur et une première conclusion évidente s'impose: en dehors de la connaissance de l'ordre de succession théorique des trains prévus, il a besoin d'informations extérieures lui permettant de rectifier, le cas échéant, les données de base du graphique théorique.

Les moyens d'annonce actuels

Ces informations extérieures sont généralement données à l'aiguilleur par des communications téléphoniques directes, soit avec les aiguilleurs des bifurcations isolées ou des gares encadrantes, soit avec le « régulateur », lequel a pour mission essentielle d'intervenir opportunément pour adapter le graphique théorique aux événements divers qui tendent à perturber la circulation des trains. Bien entendu, ces échanges de communications ont un caractère de réciprocité; c'est-à-dire que chaque aiguilleur participe, pour ce qui le concerne, à la diffusion des informations utiles au travail de l'équipe dont il est solidaire.

De fait, il existe un réseau téléphonique, plus ou moins spécialisé, par lequel s'échangent les annonces des retards et, s'il y a lieu, les modifications inopinées dans l'ordre initialement prévu de succession des trains (garages accidentels, mises en marche de trains facultatifs, circulations « hors-tour », etc.).

Sur une section de ligne à fort trafic et pour des postes de bifurcation complexes ou à grand rayon d'action, ces échanges d'informations se traduisent par un alourdissement

sensible de la tâche des aiguilleurs et du régulateur ; des défaillances humaines sont dès lors possibles, auxquelles certains moyens techniques récemment mis au point devraient permettre de remédier.

Avant d'en préciser brièvement la nature, il est nécessaire de rappeler que de nombreux postes d'aiguillages sont dès à présent dotés d'un équipement d'annonce automatique, constitué le plus souvent par un voyant lumineux dont l'allumage, appuyé par un coup de gong, est déclenché par l'attaque d'une pédale ou par l'occupation d'un circuit de voie se situant à la périphérie de la zone d'action du poste. Le déclenchement de l'annonce permet alors à l'aiguilleur d'établir — ni trop tôt, ni trop tard — l'itinéraire à emprunter par le train attendu.

Cependant, dans leur forme actuelle, ces dispositifs d'annonce automatique ont le défaut de ne donner qu'une information « anonyme ». Si l'aiguilleur n'a pas eu, par d'autres liaisons, des indications préalables précises sur la nature et la direction à suivre par le « mouvement qui s'annonce », il n'est pas en mesure de lever l'anonymat et de reconnaître à coup sûr le train annoncé.

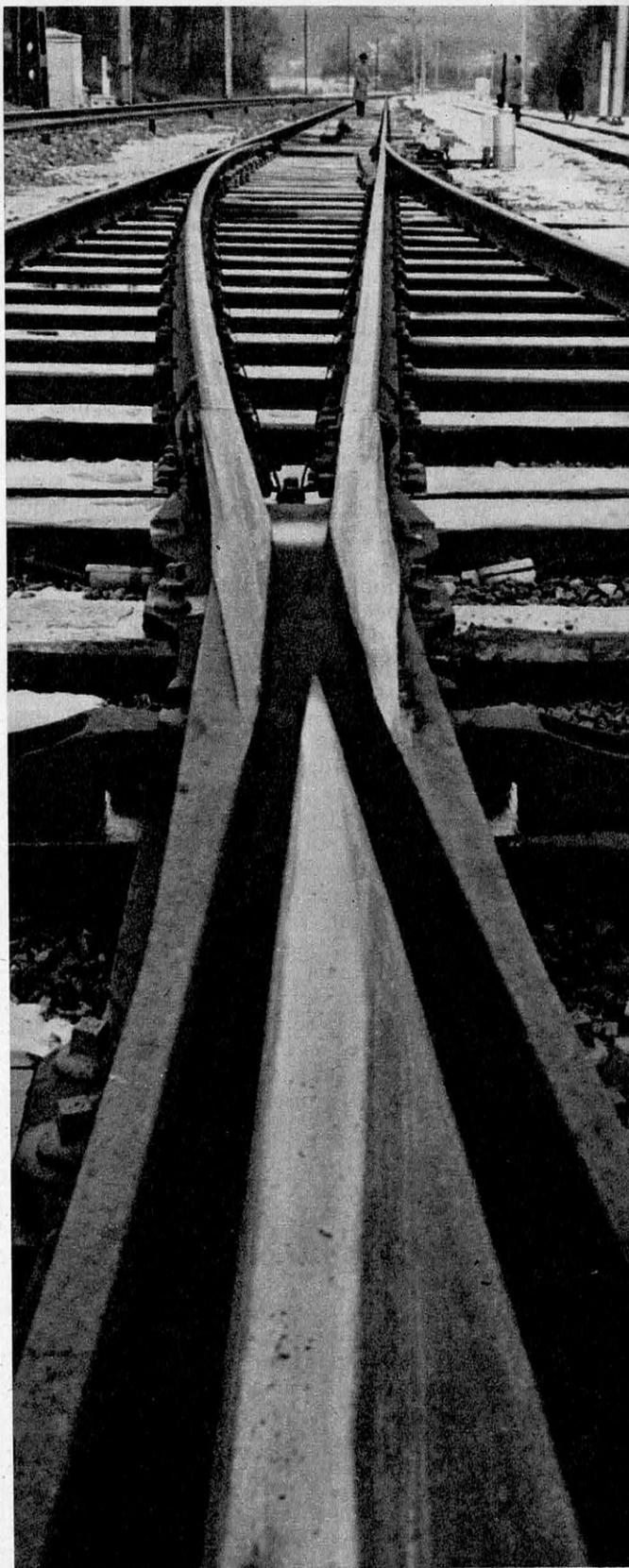
Vers de nouveaux perfectionnements

Certains grands réseaux étrangers ont résolu ce problème en recourant au *train describer*, dont le principe repose sur une mémorisation manuelle, par un appareil à touches, du numéro de chaque train. Affiché devant l'aiguilleur, ce numéro se propage ensuite automatiquement au fur et à mesure de la progression du train intéressé sur l'itinéraire emprunté.

Cette formule n'est pas sans intérêt mais la S.N.C.F. n'a pas, jusqu'à présent, jugé opportun de l'adopter attendu que l'inscription manuelle initiale — qui peut ne pas être exempte d'erreur — constitue en soi une sujétion non négligeable et qu'au surplus la propagation automatique de l'information — relativement aisée dans un régime de cantonnement absolu — se heurte à de sérieuses complications d'ordre technique lorsque, du fait de la « permissivité » du block automatique français, plusieurs trains successifs peuvent se trouver simultanément présents dans un même canton (1).

Pour ces raisons, la S.N.C.F. a orienté ses recherches dans une autre direction, à savoir l'*indexation* du train lui-même qui, porteur

(1) Il est rappelé qu'en block automatique, un mécanicien, arrêté par le sémaphore porté par le panneau lumineux d'entrée d'un canton encore occupé par le train précédent, est autorisé à s'engager en marche à vue dans ce canton, sans intervention préalable d'un aiguilleur.



d'un caractère propre, se fait connaître au passage devant un capteur, installé à demeure là où se situe habituellement la pédale (ou le circuit de voie) dont l'attaque (ou l'occupation) provoque automatiquement le déclenchement de l'annonce classique.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour aboutir finalement à la lecture de l'indexation en question et un choix judicieux ne pourra résulter que de la sanction de l'expérience, le prix de revient de l'équipement constituant, bien entendu, un élément primordial dans la décision à prendre.

En ce qui concerne, par exemple, le caractère spécifique porté par l'engin moteur attelé en tête du train, on peut penser au matricule de cet engin moteur, ou mieux, au numéro du train tel qu'il figure dans les documents de service, ou bien encore à un signe caractéristique de la destination géographique du convoi.

Pour la transmission de l'information entre le mobile et le capteur installé à poste fixe, on peut songer soit à des dispositifs purement optiques, tels que la modulation d'un rayon lumineux réfléchi par une surface à bandes alternées mi-noires mi-blanches définissant, en code binaire, l'inscription figurative portée par la plaque du mobile indexé; soit à des influences électromagnétiques où toutes les possibilités de l'électronique peuvent trouver une large application, le lecteur au sol fonctionnant comme un émetteur-récepteur à l'égard d'un « répondeur » porté par le mobile, l'ensemble de l'appareillage étant, bien entendu, entièrement transistorisé. Des dispositifs fort ingénieux sont actuellement en cours d'expérimentation; leur description technique sortant du cadre de cet exposé, nous nous contenterons, pour conclure, de donner un aperçu de l'intérêt que présenterait, pour alléger la tâche de l'aiguilleur, leur mise en application pratique.

Vers la commande automatique des bifurcations

Supposons qu'il soit possible, au moyen d'un dispositif convenable, de lire le numéro d'un train tel qu'il figure dans les documents horaires. Ce numéro définit clairement, pour l'aiguilleur, l'itinéraire que doit normalement emprunter ce train dans toute l'étendue de la zone d'action de son poste; il peut dès lors établir sans hésitation les parcours partiels correspondants.

Mais, par ailleurs, l'affichage du numéro du train peut être pris en mémoire sur une imprimante, qui inscrit automatiquement sur un garde-temps, non seulement le numéro du train intéressé, mais encore l'heure de son

annonce ou mieux de son passage en un point géographique de référence judicieusement choisi.

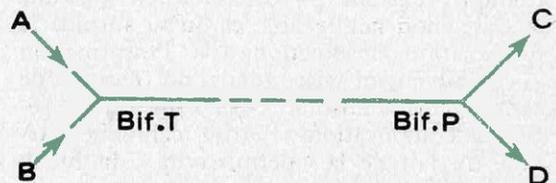
En outre, les mêmes informations peuvent être transmises simultanément au régulateur de telle sorte que les annonces de passage, qu'il reçoit actuellement par téléphone de l'aiguilleur, se trouvent automatiquement mises à sa disposition, en excluant tout retard et tout risque de distorsion inhérents au facteur humain.

Enfin, si le poste à la périphérie duquel le train s'annonce est un poste « tout-relais », l'intervention de l'aiguilleur pour l'établissement de l'itinéraire à suivre par ce train devient inutile: l'itinéraire (ou, s'il y a lieu, chaque fraction de l'itinéraire global) peut-être commandé automatiquement par le seul fait que, le train s'étant fait reconnaître, un « robot-aiguilleur » est techniquement en mesure de le prendre en charge.

Cette perspective n'est nullement une vue de l'esprit: appliquée à l'exploitation d'une ligne de banlieue, où les trains sont dès à présent désignés par une tranche de trois chiffres (les « 500 », les « 600 » et les « 700 », par exemple) dont le premier caractérise sans ambiguïté le terminus géographique de leurs parcours respectifs, cette formule devrait finalement permettre de les amener à ce terminus sans qu'aucun aiguilleur ait à intervenir manuellement pour les diriger sur la bonne voie au franchissement des bifurcations intermédiaires, jusqu'à la déviation finale conduisant à quai sur la voie spécialisée du terminus.

Ce ne serait, en définitive, qu'une exploitation raisonnée de l'information débouchant directement dans le domaine de la cybernétique.

Jean MASCOT
Ingénieur Principal Hors-Classe
à la Direction du Mouvement



Si un train venant de A se dirige vers C, si le train qui le suit, en provenance de B, se dirige vers D, et si l'aiguilleur placé en T a dû intervertir l'ordre de passage des deux convois, l'aiguilleur du poste P risque d'envoyer le premier train qui se présente dans une mauvaise direction. Les techniques d'identification des trains actuellement à l'étude permettront d'éviter de telles erreurs qui peuvent parfois engendrer des accidents graves.

La conduite automatique

La circulation correcte d'un train dans une certaine zone exige d'abord la préparation des itinéraires dans cette zone, compte tenu des mouvements en cours des autres trains, puis la transmission d'informations appropriées au train pour lui permettre de régler sa marche, enfin l'exécution proprement dite de cette marche. Ce sont ces opérations qui constituent en fait la conduite du train.

La transmission des informations doit être faite suffisamment à l'avance lorsqu'il s'agit de réduire la vitesse pour des raisons de sécurité, car l'adhérence utilisable au cours du freinage d'un train est limitée. Compte tenu des vitesses maximales pratiquées sur les voies ferrées, vitesses qui atteignaient déjà 120 km/h il y a plus d'un siècle, il a fallu prévoir les arrêts à des distances de l'ordre du kilomètre.

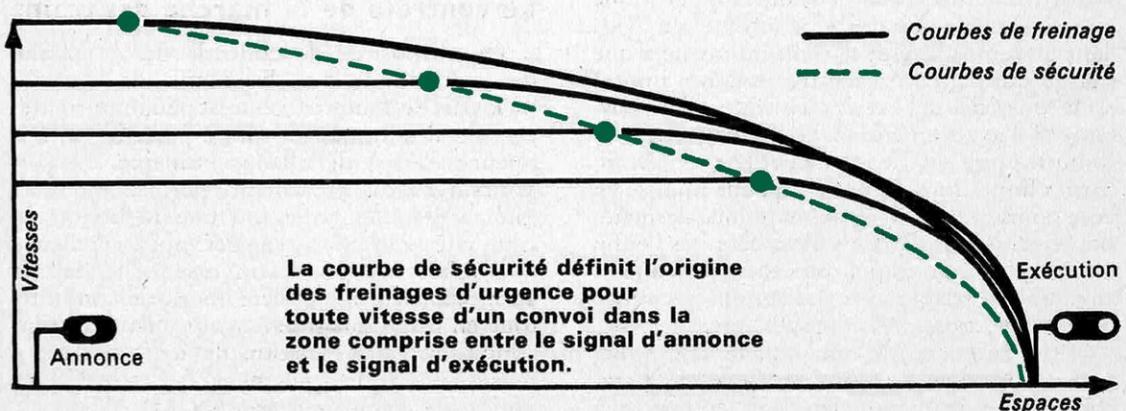
D'une façon générale, les informations nécessaires à la marche des trains sont transmises à la locomotive, suivant un code déterminé, par une signalisation latérale disposée le long de la voie. Le conducteur du train perçoit visuellement les signaux et agit en conséquence. Pour prévenir les erreurs possibles, certains dispositifs ont été créés.

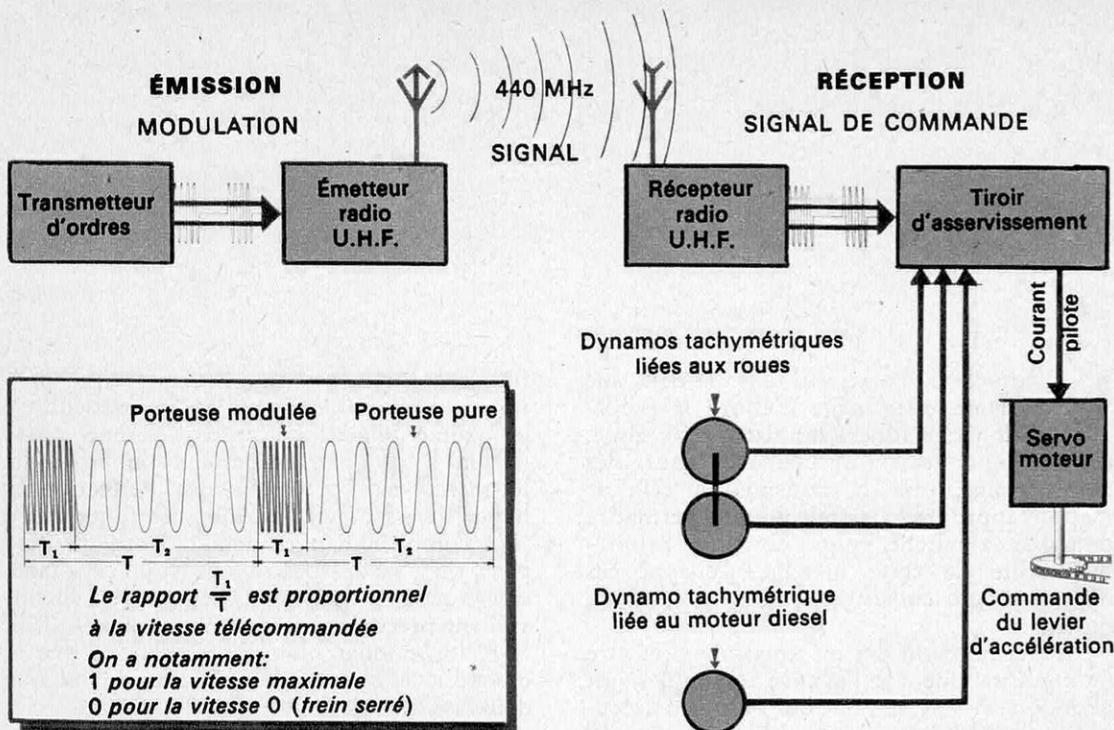
Dès 1872, on vit apparaître les premiers « crocodiles » de voie assurant la répétition de la position des signaux sur la locomotive, et maintenant généralisés sur tout le réseau

français. En cas de circonstances atmosphériques défavorables (verglas en particulier), le contact électrique entre l'organe porté par la locomotive (brosse) et le crocodile lui-même était précaire; des perfectionnements incessants ont permis d'éliminer à peu près complètement ce défaut. Dans d'autres pays, on a vu apparaître, beaucoup plus tard, des crocodiles *inductifs* échappant à l'inconvénient précité et généralement capables, du reste, de donner plus d'informations que le crocodile à contact, lequel n'en donne que deux.

Un pas de plus a été franchi en liant la répétition des signaux avec les organes de commande de la locomotive: le dispositif de répétition provoque la coupure de l'effort moteur et la mise en action du freinage d'urgence s'il n'est pas réarmé par le conducteur après franchissement d'un signal d'avertissement fermé. La notion d'automatisme apparaît ainsi déjà dans la conduite des trains, mais d'une manière insuffisante, car la possibilité de reprise de marche donnée au conducteur après franchissement du signal a parfois été à l'origine d'incidents.

L'étape suivante consiste à poursuivre le contrôle au delà du simple acte de vigilance, suivant un processus qui ne permet plus l'annulation par le conducteur; c'est le contrôle automatique de la marche des trains. En confiant à l'appareillage la prise en charge





des actions de freinage et en le complétant par un dispositif commandant les accélérations, nous en arrivons à la conduite vraiment automatique, objet du présent article.

L'exploitation automatique du chemin de fer est une autre étape, qu'il ne faut pas confondre avec la précédente, car elle met en œuvre beaucoup d'autres facteurs, surtout s'il s'agit d'un réseau maillé. C'est une entreprise complexe, nécessitant en particulier la transmission de nombreuses informations, aussi bien dans le cas voie-machine qu'en sens inverse.

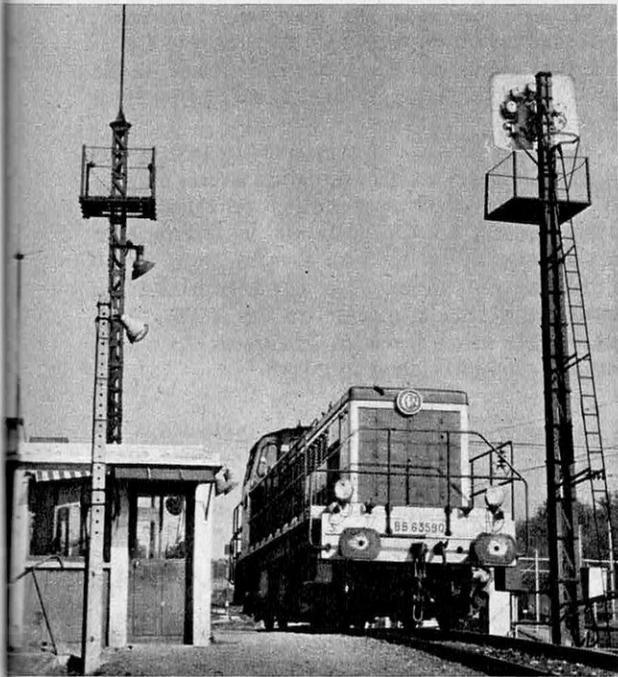
La conduite automatique est une opération nécessairement compliquée. Un train circule suivant un horaire déterminé; la locomotive possède certaines caractéristiques de puissance et d'adhérence qui déterminent l'effort moteur qu'elle peut développer à une vitesse donnée, de façon continue ou pendant un temps limité; le train lui-même a une charge qui peut varier entre certaines limites et il possède des caractéristiques de résistance à l'avancement et de freinage qui lui sont propres; la voie intervient par son profil, par les limitations de vitesse qu'elle impose en voie courante ou en certains points; le matériel roulant a aussi des vitesses limites; enfin d'autres facteurs moins précis interviennent: adhérence variable avec les conditions atmosphériques, obstacles inopinés, etc.

Cette énumération incomplète fait apparaître cependant le nombre élevé de paramètres que le mécanicien doit connaître à

l'avance, ou prévoir en cours de marche. Il est bien évident que l'automatisme peut apporter au personnel de conduite une amélioration de ses conditions de travail. Un autre argument important est l'accroissement de sécurité qui résulte de l'automatisation de certaines fonctions importantes de la conduite en les soustrayant à des défaillances humaines toujours possibles. Enfin, on peut espérer, dans les phases ultimes de l'automatisation de l'exploitation ferroviaire, un accroissement de rentabilité. C'est peut-être ce dernier point qui mérite d'être examiné avec le plus d'attention, car si l'on peut admettre que rien, ou presque rien, n'est impossible aux techniciens, une automatisation de plus en plus « fine » coûtera aussi de plus en plus cher.

Le contrôle de la marche des trains

Les dispositifs de contrôle de la marche des trains sont des dispositifs de sécurité où la part de l'automatisme est peu importante. Ils sont destinés avant tout à parer les conséquences d'une défaillance humaine. Le but poursuivi est la surveillance permanente de la vitesse dans les zones où une réduction de cette vitesse doit intervenir. Cette surveillance doit, c'est une condition essentielle, laisser au mécanicien une entière liberté de conduite, tout en provoquant l'arrêt automatique si les conditions de circulation deviennent dangereuses. Le fonctionnement fait appel à la notion de *courbe de sécurité* (p. 85).



Si l'on considère un train circulant sur une ligne donnée entre un signal d'annonce et un signal d'exécution fermé, les conditions de sécurité seront satisfaites si, tout au long du parcours, la vitesse n'excède pas une valeur telle que la prescription imposée par le signal d'exécution ne puisse être respectée. On peut ainsi définir, pour chaque position du convoi, une vitesse limite et tracer la courbe de cette vitesse en fonction de la distance parcourue. Cette courbe de sécurité est en somme le lieu géométrique des points origines des courbes de freinage d'urgence pour différentes vitesses initiales.

A chaque cas d'arrêt et de ralentissement correspond une telle courbe, qui doit être en outre adaptée au profil de la ligne (augmentation ou diminution des distances nécessaires à l'arrêt pour un même train) et à la catégorie à laquelle appartient le train (les trains ayant une plus grande capacité de freinage sont autorisés à aller plus vite).

Le problème du contrôle des vitesses se ramène donc à traduire convenablement ces courbes à bord des engins moteurs, à comparer ensuite les vitesses réelles aux vitesses théoriques ainsi définies et, le cas échéant, à provoquer le freinage d'urgence.

Le contrôle est déclenché par des balises de voie, constituées par des circuits résonnants dont le couplage avec des capteurs portés par l'engin moteur assure la transmission des informations correspondant, par exemple, aux diverses positions d'un signal.

Le principe de la télécommande des engins de manœuvre comporte la transmission d'une information vitesse par onde radio-électrique porteuse modulée en fréquence.

Après franchissement d'un signal d'annonce fermé, le contrôle doit pouvoir être modifié automatiquement dès que les indications du signal aval deviennent moins restrictives. Pour cela, les informations « ponctuelles » des balises sont complétées par des informations dites « linéaires » transmises par des courants caractéristiques émis dans le circuit de voie et recueillis par la locomotive; elles permettent de caractériser la voie libre et de sélectionner les différents ralentissements effaçables imposés par les bifurcations. L'agent de conduite est averti à l'avance, par l'allumage d'une lampe jaune, que le contrôle va ordonner l'arrêt d'urgence s'il ne réduit pas sa vitesse.

Les locomotives de manœuvres télécommandées

Un deuxième exemple est fourni par les locomotives de manœuvre mises en service dans trois grands triages : Achères, Somain et Châlons-sur-Marne. C'est une réalisation déjà très complète car elle comporte une commande à distance par radio et un asservissement en vitesse de la locomotive. Étudiée entièrement par les services de la S.N.C.F., essayée dès 1956, elle fut certainement à l'époque une des premières dans le monde.

Il s'agit de locomotives à moteur thermique, mais les principes mis en œuvre dans le dispositif d'asservissement peuvent être utilisés sur les locomotives électriques.

La transmission de l'information vitesse s'effectue en modulant en fréquence une onde porteuse; le signal modulant est constitué par une tension sinusoïdale à basse fréquence (2 000 à 3 000 Hz), elle-même modulée en amplitude ou en fréquence par une tension de forme rectangulaire à la fréquence de 10 Hz. C'est ce dernier signal qui contient l'information de vitesse sous la forme d'un rapport entre le temps pendant lequel cette tension en créneaux est positive et le temps total de la période. Ce procédé soustrait l'information vitesse aux fluctuations de la liaison hertzienne.

Sur la locomotive, le signal recueilli est transformé par un décodeur qui délivre finalement une tension caractérisant la vitesse télécommandée. Par ailleurs, une dynamo tachymétrique entraînée par l'un des essieux traduit en tension la vitesse réelle de la locomotive.

Les deux tensions sont mises en opposition dans un comparateur électronique entièrement transistorisé qui délivre un signal d'erreur. Ce signal, amplifié puis exploité dans un servo-mécanisme pneumatique, agit sur le dispositif d'accélération de la locomotive ou sur le frein à air comprimé.

Le but recherché était de mettre à la disposition de l'agent placé au poste de butte et chargé de régler les opérations de débranchement un dispositif simple lui permettant d'ajuster à chaque instant la vitesse de refoulement de la rame à sa valeur optimale. Il ne pouvait le faire, dans le passé, que par l'intermédiaire d'un conducteur observant des signaux optiques et réglant manuellement l'effort de refoulement de sa locomotive. Il a maintenant à portée de la main un transmetteur d'ordres électronique dans lequel s'élabore le signal de modulation destiné à l'émetteur radio, et affiche la vitesse de son choix sur un potentiomètre rotatif. La précision obtenue sur la vitesse réelle par rapport à la vitesse affichée est de l'ordre de $\pm 3\%$.

La suppression des intermédiaires et la qualité de l'asservissement en vitesse ont facilité considérablement le travail et permis d'accroître très sensiblement le rendement général du triage.

Les réalisations actuelles sont cependant loin de représenter une solution définitive. Des équipements complémentaires sont en cours d'essai sur prototype ou en extension sur les engins existants : commande sélective de plusieurs locomotives à partir du même poste émetteur avec différenciation par la fréquence de l'onde sous-porteuse,

inversion du sens de marche à distance, télé-indication en retour, la locomotive transmettant au poste de butte sa vitesse réelle par l'intermédiaire d'une deuxième liaison radio.

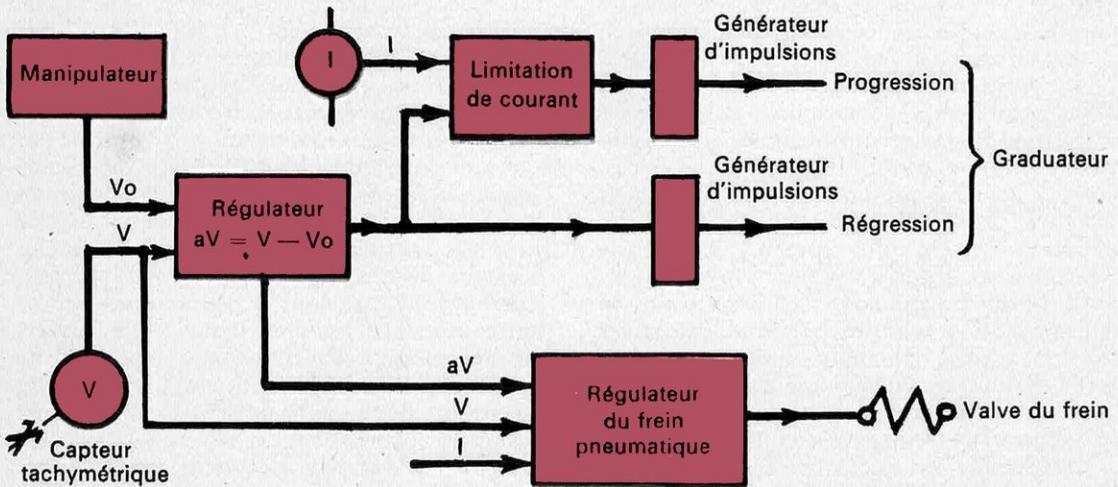
On peut aussi envisager une expansion des possibilités de la télécommande avec l'emploi d'ordres et d'adresses codés et l'usage de système dits « multiplex » où la locomotive retransmet au poste fixe l'ordre reçu et ne l'exécute que si elle reçoit la confirmation de son exactitude. L'intérêt de ces réalisations débordera alors le cadre des gares de triage ou des chantiers de manœuvre.

Les locomotives à vitesse affichée

Un dernier exemple enfin, plus récent, concerne les dispositifs utilisés pour assurer sur certains matériels une régulation automatique de la vitesse.

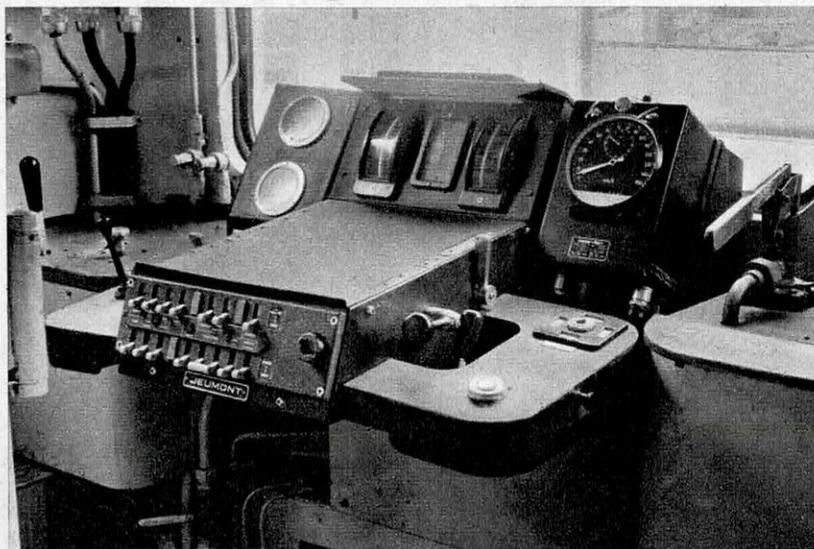
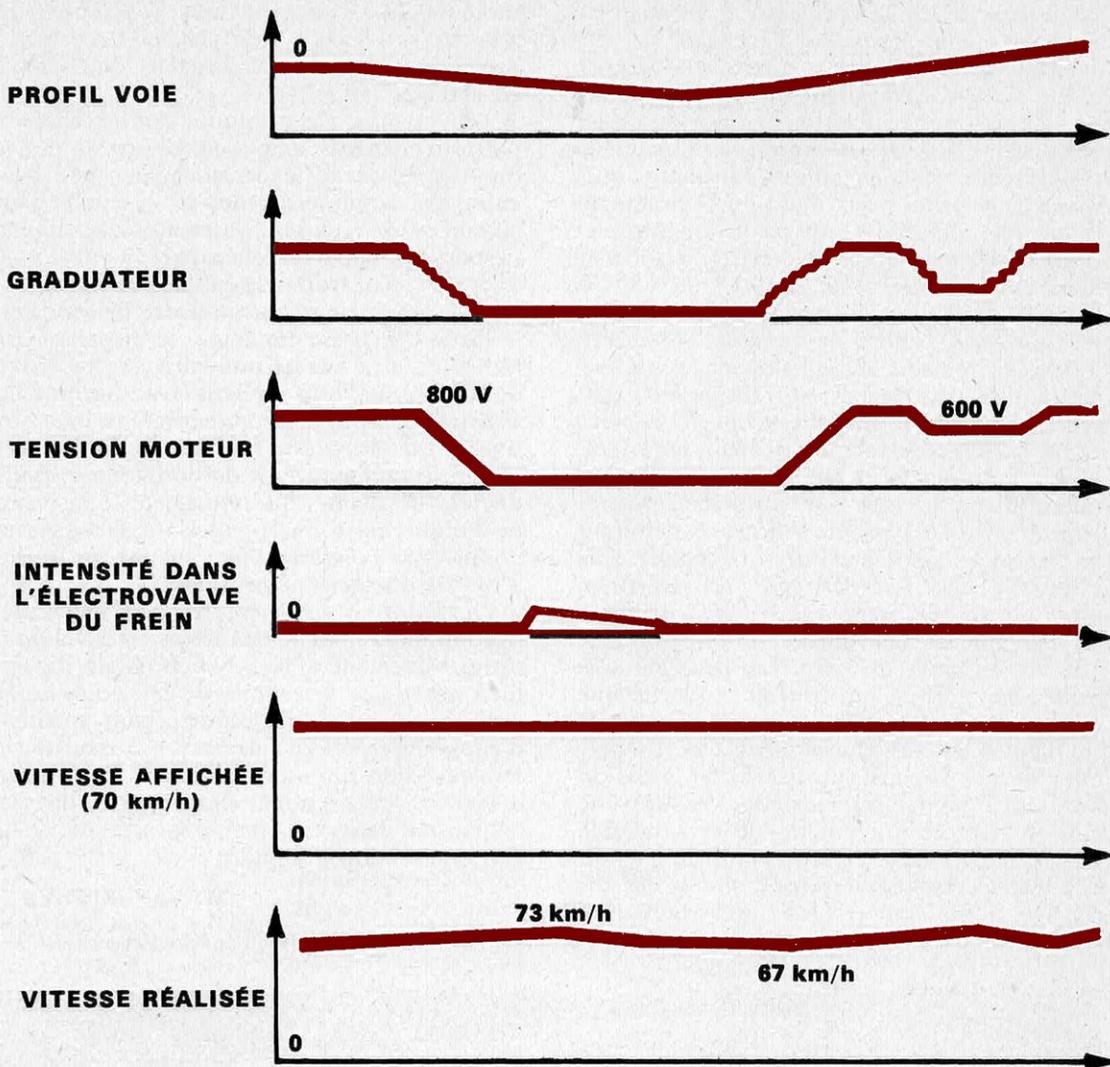
Les équipements traditionnels de conduite des locomotives ou des automotrices font une obligation au conducteur de modifier l'effort de traction de sa machine pour ajuster la vitesse du train en fonction du profil de la ligne, de la charge remorquée et de l'horaire. Cela entraîne des manipulations fréquentes sans que la précision désirée dans le réglage de la vitesse soit toujours obtenue.

Pour les services de banlieue, en particulier, où il convient de maintenir la vitesse aussi près que possible de la valeur prescrite, il est apparu intéressant de mettre en œuvre des dispositifs de régulation automatique de la puissance, permettant également d'utiliser dans les conditions optimales les capacités



Dans un dispositif de vitesse imposée, la tension que délivre le manipulateur est comparée avec la tension captée au niveau des organes mécaniques, proportionnelle à

la vitesse réelle de la locomotive. Une tension électrique représentant leur différence module en conséquence le courant de traction et actionne éventuellement le frein.



Ci-dessus, des enregistrements effectués à bord d'une automotrice de banlieue à vitesse affichée. On constate que, en fonction du profil, la vitesse affichée est suivie à 3 km/h près.

A bord d'une locomotive à vitesse affichée (ci-contre) le mécanicien dispose d'une manette actionnant un curseur qui lui permet, au départ, de sélectionner la vitesse convenable.

d'accélération et de décélération, et aussi de réduire la consommation d'énergie.

Dans ces dispositifs, le conducteur dispose d'une manette actionnant un curseur gradué en vitesse, de 5 en 5 km/h. Il suffit de placer ce curseur sur la vitesse prescrite pour que le train roule à une allure constante quel que soit le profil de la ligne ou la charge du train. Au démarrage, un dispositif automatique limite le courant de traction à la valeur maximale autorisée. Le conducteur a d'ailleurs la possibilité de sélectionner la valeur maximale de l'effort de traction au moyen d'une deuxième manette. La marche sur l'erre, c'est-à-dire sans traction ni freinage, est réalisée en amenant la manette en position zéro.

Le principe de fonctionnement est le suivant : le conducteur, en actionnant la première manette, agit sur un « variomètre » (transformateur à bobine tournante) délivrant une tension électrique proportionnelle à la vitesse affichée. Un capteur tachymétrique placé sur un engrenage de la locomotive fournit par ailleurs une tension proportionnelle à la vitesse réelle du train. Les deux signaux sont comparés, ce qui fournit en sortie une tension, négative, nulle ou positive, envoyée simultanément sur plusieurs circuits. Le premier de ces circuits autorise la progression du graduateur (transformateur délivrant une tension variable aux moteurs de traction) si la vitesse réelle est inférieure de plus de 3 km/h à la vitesse affichée; le second circuit déclenche la régression rapide du graduateur (retour à zéro, c'est-à-dire à tension nulle aux

moteurs) si la vitesse réelle est très supérieure à la vitesse imposée ; le troisième circuit met, dans ce même cas, les organes de freinage en action.

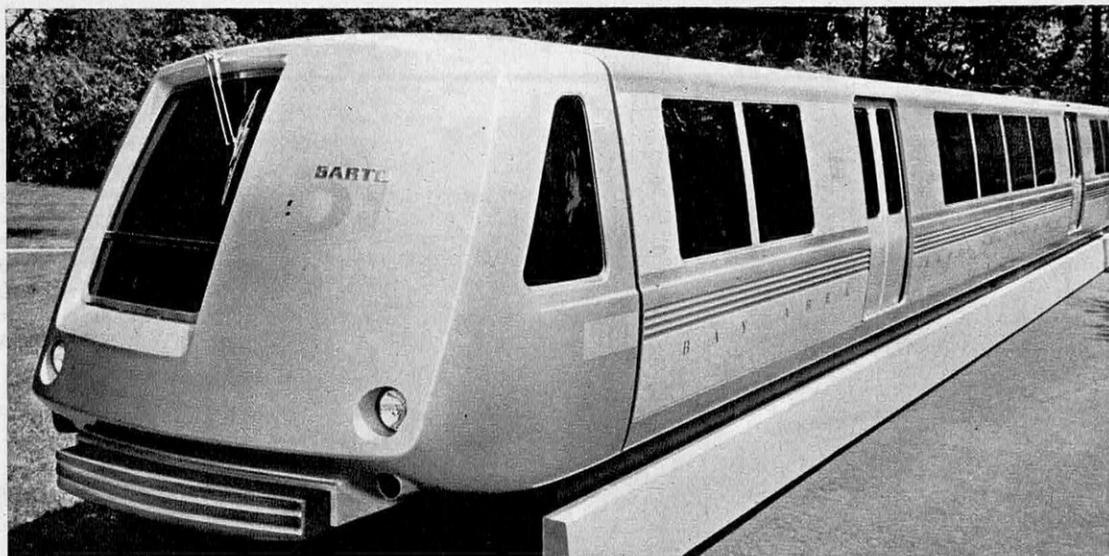
Les circuits électroniques sont réalisés à partir d'éléments amplificateurs analogiques qui commandent le déclenchement de bascules électroniques; celles-ci, à partir d'un certain écart en vitesse ou en accélération par rapport aux valeurs affichées par le conducteur, délivrent un ordre de progression ou de régression au graduateur, ou un ordre de freinage.

Dans une première étape, le dispositif est monté en série sur les nouvelles automotrices de la banlieue Nord de Paris. Dans un proche avenir, il est prévu de l'étendre aux locomotives à grande vitesse de la S.N.C.F. sur lesquelles il est important de décharger le conducteur des tâches qui pourraient le distraire de l'observation de la voie. Un tel système donne une conduite plus précise que celle d'un conducteur même exercé.

On voit, par ces exemples, que l'automatisation de la marche des trains se développe progressivement à la S.N.C.F. Mais il faut bien noter que le chemin de fer exige de la part du matériel d'exceptionnelles qualités d'endurance et de fiabilité. Aussi est-il indispensable de soumettre à de nombreux essais les réalisations élémentaires devant concourir dans un avenir plus éloigné à l'automatisation complète.

M. LAPLAICHE

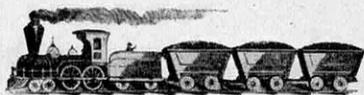
Ingénieur en chef, Chef de la Division des Essais de matériel.



Des rames automotrices semblables à cette maquette en grandeur réelle circuleront à partir de 1968 sur un réseau spécialement aménagé pour le service des centres urbains

de la baie de San Francisco, aux U.S.A. La conduite sera entièrement automatisée et pourra même être commandée d'un poste central par une calculatrice électronique.

LE MATERIEL MARCHANDISES



La construction des wagons à marchandises suit une évolution qui, pour être moins apparente peut-être que celle des voitures à voyageurs, n'en est pas moins considérable.

Évolution d'abord dans les techniques de construction : emploi d'aciers de qualité pour réduire poids et corrosion ; augmentation de la résistance des châssis pour limiter les travaux d'entretien ; remplacement du rivetage par la soudure électrique ; développement des boîtes d'essieux à rouleaux, etc.

Efforts considérables sur le plan international pour définir des types standard de matériels et pour généraliser l'interchangeabilité des éléments constitutifs démontables, ce qui a permis la création d'un pool européen des wagons.

Augmentation progressive des vitesses, tous les trains du « régime ordinaire » devant pouvoir circuler à 80 km/h à partir du 1^{er} janvier 1970. Parallèlement, l'augmentation de la capacité de transport des wagons, et par conséquent de la charge par essieu, a été recherchée à la fois par une amélioration des systèmes de suspension et par un renforcement de la voie. La charge maximale par essieu reste pour le moment fixée sur les bonnes voies à 20 tonnes, à 80 km/h.

Enfin, la S.N.C.F., comme tous les autres réseaux du monde, a dû développer l'emploi de wagons spécialement conçus pour répondre aux nouvelles conditions du trafic et aux nouvelles exigences de la clientèle, tels les wagons-citernes pour produits chimiques liquides. Il était en outre indispensable d'adapter les nouveaux wagons aux méthodes modernes de manutention : grues, transporteurs, basculeurs, chariots élévateurs à fourche, etc. Il fallait accélérer les opérations de chargement et de déchargement, réaliser dans toute la mesure du possible le « porte-à-porte », d'où l'apparition de wagons-tombereaux à toit ouvrant, de wagons couverts à faces coulissantes, de wagons plats spéciaux pour le transport de produits sidérurgiques, d'où la multiplication des transports sur « palettes » ou en containers, etc.

La S.N.C.F. a donc rajeuni son parc de wagons à la cadence, trop lente d'ailleurs, permise par les possibilités budgétaires. Cette évolution doit s'accélérer au cours des prochaines années pour deux raisons principales.

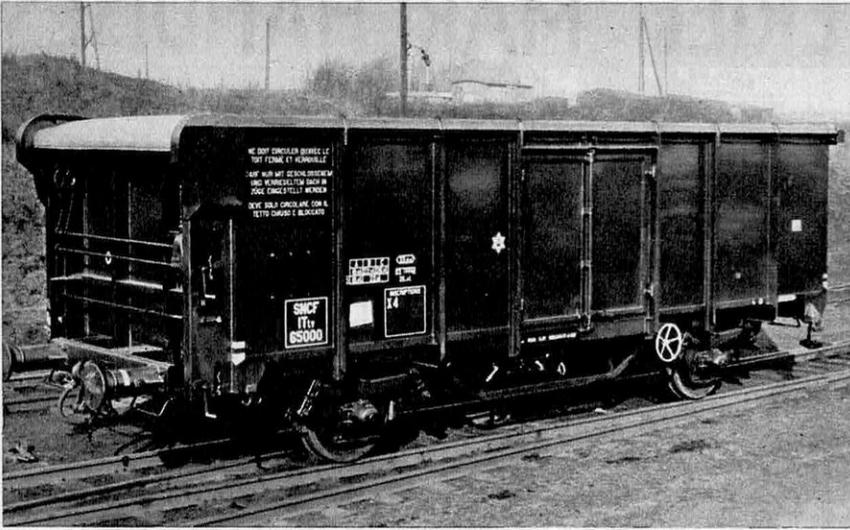
La première est l'augmentation prévue des vitesses de parcours ; des trains de marchandises circulent déjà à 80, 100 et même 120 km/h ; dans un avenir proche, les marches de nombreux trains de messageries seront tracées à cette dernière vitesse. La seconde est l'application de l'attelage automatique sur tous les wagons du parc européen, opération d'un intérêt capital dont il est question par ailleurs dans ce numéro. Ces deux objectifs vont orienter la construction vers le wagon à bogies, plus stable sur la voie aux vitesses élevées que le wagon à deux essieux, et se prêtant bien à l'application de l'attelage automatique, avec lequel les réactions au cours du freinage ne créent pas de risques de déraillement ; il permet une meilleure utilisation de la capacité de charge par essieu et, ainsi, une réduction du nombre des wagons nécessaires. Il est toutefois plus cher et, en service, sa capacité de transport peut ne pas être toujours utilisée à plein. Le développement des wagons à bogies se fera donc de manière progressive, mais on constate déjà que, pour certains types (citernes et wagons-trémies de sociétés privées, par exemple), la mutation s'est déjà opérée.

Pour réaliser cette transformation dans les meilleures conditions, il faut d'ailleurs remplacer les bogies de modèle ancien par un modèle nouveau apte à des vitesses de 130 km/h, plus robuste tout en étant plus léger, monté sur boîtes d'essieux à rouleaux et équipé d'une suspension à ressorts en hélice avec amortisseurs, qui atténue les réactions verticales et transversales sur la voie.

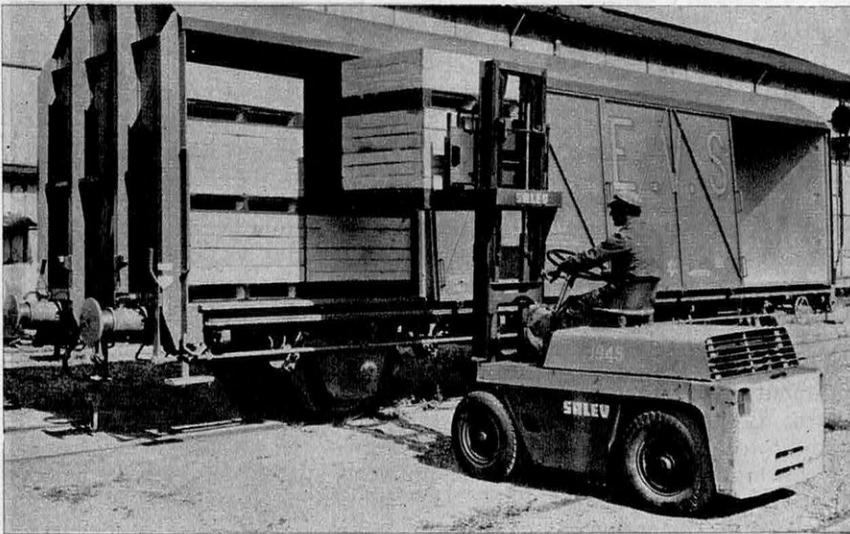
Types divers de wagons

Il ne peut être question de passer ici en revue tous les matériels, aussi signalerons-nous seulement les plus modernes ou les plus caractéristiques parmi ceux qui peuvent être classés dans les wagons spéciaux. On sait que les uns sont construits pour la S.N.C.F. elle-même, et d'autres pour des sociétés privées (location ou exploitation). Il s'agit alors toujours de wagons spécialisés pour transports particuliers : liquides, pulvérulents, automobiles, etc.

Les *wagons à toit ouvrant*, dérivés des wagons-tombereaux, ont été créés pour le trans-



Une nappe métallique enroulable permet d'oblitérer l'ouverture des wagons-tombereaux et de transporter des marchandises sensibles ainsi à l'abri des intempéries.



Les wagons à faces coulissantes ont été spécialement conçus pour faciliter l'emploi des engins de manutention les plus modernes, tels les chariots à fourche.

PHOTO A. MEHEUX



L'emploi des matériaux synthétiques dans la technique des panneaux sandwich a amélioré l'isolation thermique des wagons réfrigérants de construction moderne.

ETS CADOUX



port à l'abri des intempéries de marchandises pouvant être chargées par le haut. Deux modèles de toit ont été retenus, dont l'un est constitué par un panneau articulé, l'autre comportant une nappe enroulable.

Les *wagons à faces coulissantes* sont des wagons-couverts prévus spécialement pour l'emploi des chariots élévateurs à fourche au cours des chargements et déchargements.

Les *wagons réfrigérants*, de plus en plus utilisés aujourd'hui pour le transport des produits alimentaires à température contrôlée, sont caractérisés par une forte isolation thermique. Réalisée autrefois à l'aide de plaques de liège, cette isolation fait appel maintenant de façon courante à des matériaux synthétiques : laine de verre, mousse de polyuréthane expansé « in situ ». Des techniques d'isolation plus avancées encore sont apparues au cours de ces dernières années ; l'une d'elles emploie des « sandwich » avec tôles d'acier collées de part et d'autre d'une âme de base de polychlorure de vinyle, une autre met en œuvre des éléments « sandwich », constitués d'une âme en polychlorure de vinyle ou polyuréthane expansé et d'une enveloppe collée en polyester armé de fibre de verre, le tout formant une caisse monobloc. La température voulue est maintenue au moyen de bacs à glace et d'une circulation d'air par ventilation électrique. Il est possible que soient mis en service des wagons comportant une installation de réfrigération mécanique à compresseur pour le transport de produits surgelés.

Les *wagons pour transport de produits sidérurgiques* sont relativement courts bien qu'étant à bogies. Particulièrement robustes, ils autorisent des charges concentrées beaucoup plus élevées que les wagons plats

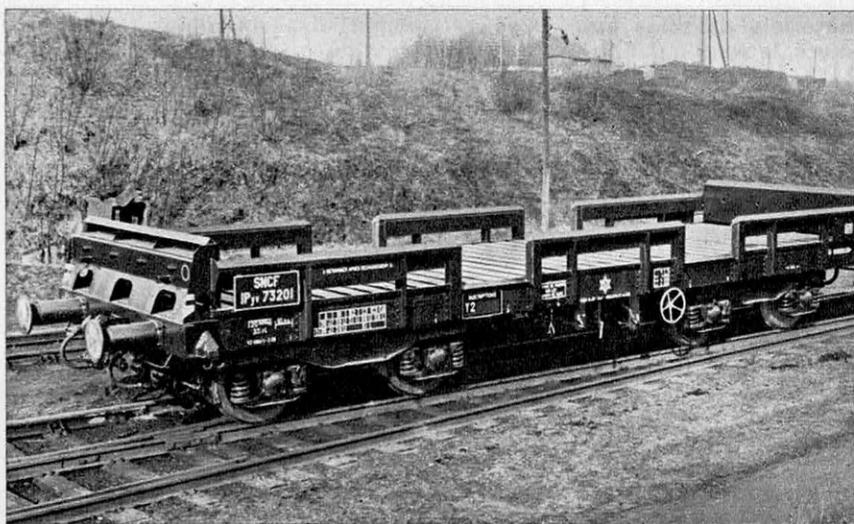
courants. Ils peuvent recevoir, les uns des brames, lingots ou profilés lourds, d'autres des bobines de feuillards mises en place sans calage sur un plancher constitué de traverses en V pour permettre un chargement rapide.

Les *wagons-trémies* sont de plus en plus utilisés, de préférence aux wagons-tombereaux classiques, pour le transport de matières en vrac. Leur caisse permet le déchargement automatique du produit par des ouvertures de vidange à débit réglable. Il en existe deux catégories :

— Les wagons destinés aux transports des matières dites « pondéreuses » (houille, coke, minerai), marchandises qui ne craignent pas les intempéries, sont ouverts à leur partie supérieure. Le déchargement peut se faire soit latéralement, soit entre les rails ; certains sont équipés d'un système d'ouverture et de fermeture automatiques commandé par un appareil fixe placé sur la voie (cas des wagons destinés spécialement au ravitaillement des centrales de l'E.D.F.).

— Les wagons spécialisés pour le transport de produits sensibles à la « mouille », tel que chaux, kaolin, alumine, etc., ou des céréales, sont munis généralement d'un toit ouvrant. Dans le cas des produits pulvérulents, la vidange s'effectue fréquemment par un dispositif à air pulsé. Pour les céréales, le déchargement se fait avec des trappes permettant un réglage continu du débit.

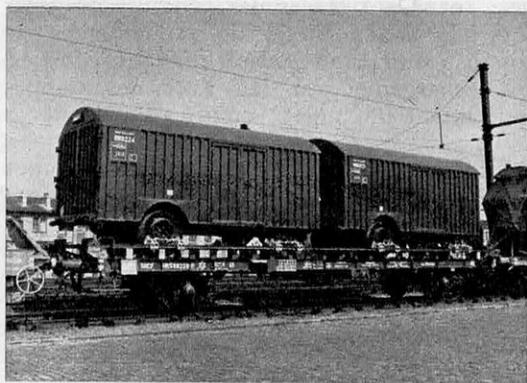
Les *wagons-réservoirs* pour le transport des liquides sont de plus en plus souvent équipés de bogies. Leur conception générale est identique — une citerne montée sur un châssis robuste —, mais ils comportent des aménagements différents selon leur affectation. C'est ainsi que la citerne des wagons pour transport de liquides comestibles (vins)



Avec le développement des échanges de produits sidérurgiques, on a été conduit à réaliser des wagons à bogies, courts et robustes, analogues au modèle ci-contre.



Un wagon-citerne à bogies, d'une capacité de 665 hl, pour produits pétroliers noirs.



Le plus ancien des matériels destinés au transport d'engins routiers, le wagon U.F.R.



Les wagons surbaissés à bogies permettent le chargement de volumineuses remorques.

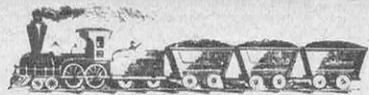


Le pont-levis du wagon « kangourou » réalise un abaissement maximal du chargement.



Un lot de grands « conteneurs », arrimés sur une plate-forme spécialement aménagée.

PH. LA VIE DU RAIL



est intérieurement émaillée. Pour les produits pétroliers « noirs » (à forte densité), les citernes sont équipées de réchauffeurs, en général des serpentins montés à l'intérieur et alimentés en vapeur, pour la vidange par temps froid, les produits devenant alors trop visqueux pour s'écouler naturellement.

Les citernes pour produits chimiques exigent un choix judicieux des matériaux. Pour certains acides ou produits caustiques, il faut soit adopter un métal inattaquable ou peu attaqué (acier inoxydable, aluminium, etc.), soit appliquer à l'intérieur un revêtement approprié (polyéthylène, par exemple) résistant à l'action corrosive. La citerne est fréquemment calorifugée.

Les citernes pour gaz liquéfiés sous pression (propane, butane, etc.) sont généralement en acier à haute résistance et recuites après soudage; pour les produits à basse température, les plus récents matériels sont ceux qui ont été construits pour les transports d'oxygène, d'azote ou d'argon liquides à la pression atmosphérique et à très basse température (entre -180 et -218° C), et dont la citerne

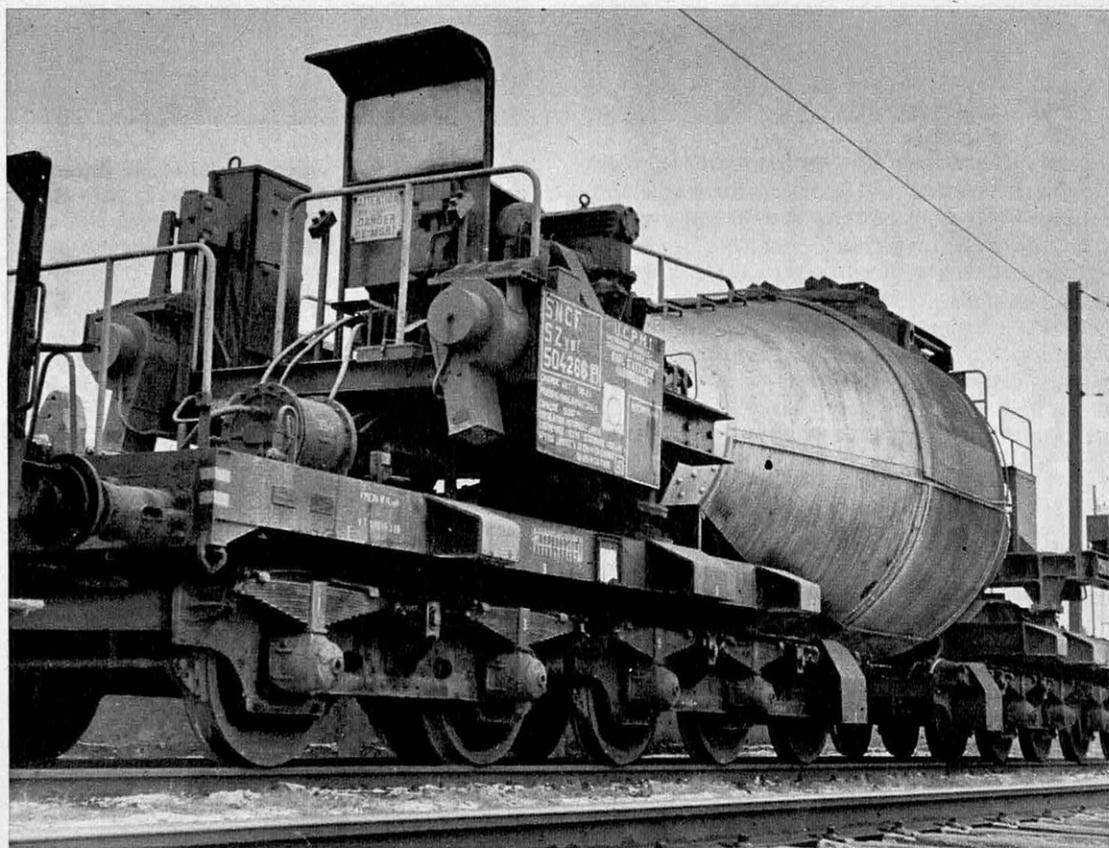
en acier inoxydable est entourée d'une enveloppe en acier avec interposition d'une lame d'air de 30 cm d'épaisseur.

Transports combinés « rail-route »

La concurrence des transports routiers a provoqué la mise au point de solutions tout à fait nouvelles pour l'acheminement en « porte à porte » des marchandises de tous genres.

En vue d'éviter les transbordements, une solution consiste à prévoir des wagons aptes à transporter les camions, remorques et semi-remorques qui prennent les marchandises chez les expéditeurs et les livrent chez les destinataires. La difficulté a consisté ici à mettre au point de tels wagons capables de recevoir les engins routiers modernes les plus volumineux. Les matériels se ramènent à trois types :

— Le premier (dit wagon « UFR »), en service depuis plus de 20 ans, est un wagon plat de hauteur normale comportant des rails longitudinaux, sur lesquels roulent des



Un wagon-poche pour le transport de fonte en fusion entre les hauts fourneaux et les

aciéries. Il comporte au total dix essieux en deux bogies et peut porter 100 tonnes.

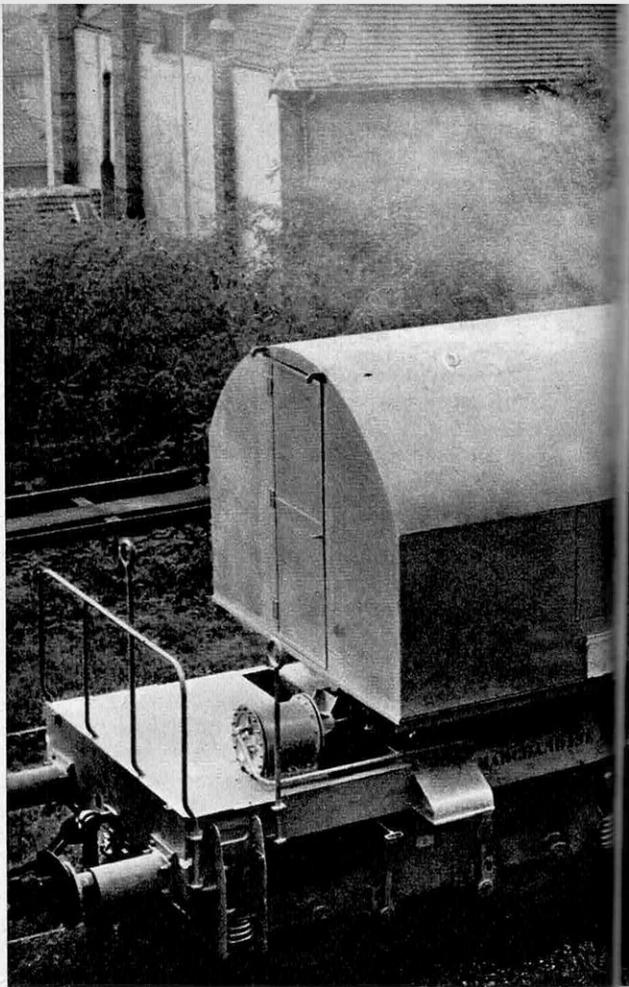


éléments de roues ferroviaires disposés à l'extérieur des roues à pneumatiques des semi-remorques.

— Pour charger des engins plus encombrants, il a été créé un second type de wagon surbaissé et à bogies munis de roues de petit diamètre (660 mm), à même de porter des camions de 26 tonnes; il est équipé d'une rampe mobile permettant le chargement en bout et de passerelles d'intercirculation rabattables.

— Un troisième type de wagons permet de réduire encore la hauteur du chargement. Il utilise une technique de construction originale de conception française (dite technique « kangourou »), consistant à aménager sur un wagon à deux essieux un évidement central et un pont-levis; lorsque le pont est abaissé, il se crée une sorte de poche (d'où le nom de « kangourou ») dans laquelle peut se loger l'essieu ou les essieux routiers d'une semi-remorque. Comme dans le wagon du premier type, il existe des rails de guidage sur lesquels roule une jante située, cette fois, à l'intérieur du pneu jumelé de la semi-remorque; on peut également abaisser entre les wagons des passerelles d'intercirculation. Ce système nécessite l'emploi d'un tracteur spécial muni d'un dispositif de levage pour pouvoir lever ou descendre l'avant de la semi-remorque suivant la position de ses roues au niveau de la plate-forme du wagon ou au fond de la poche.

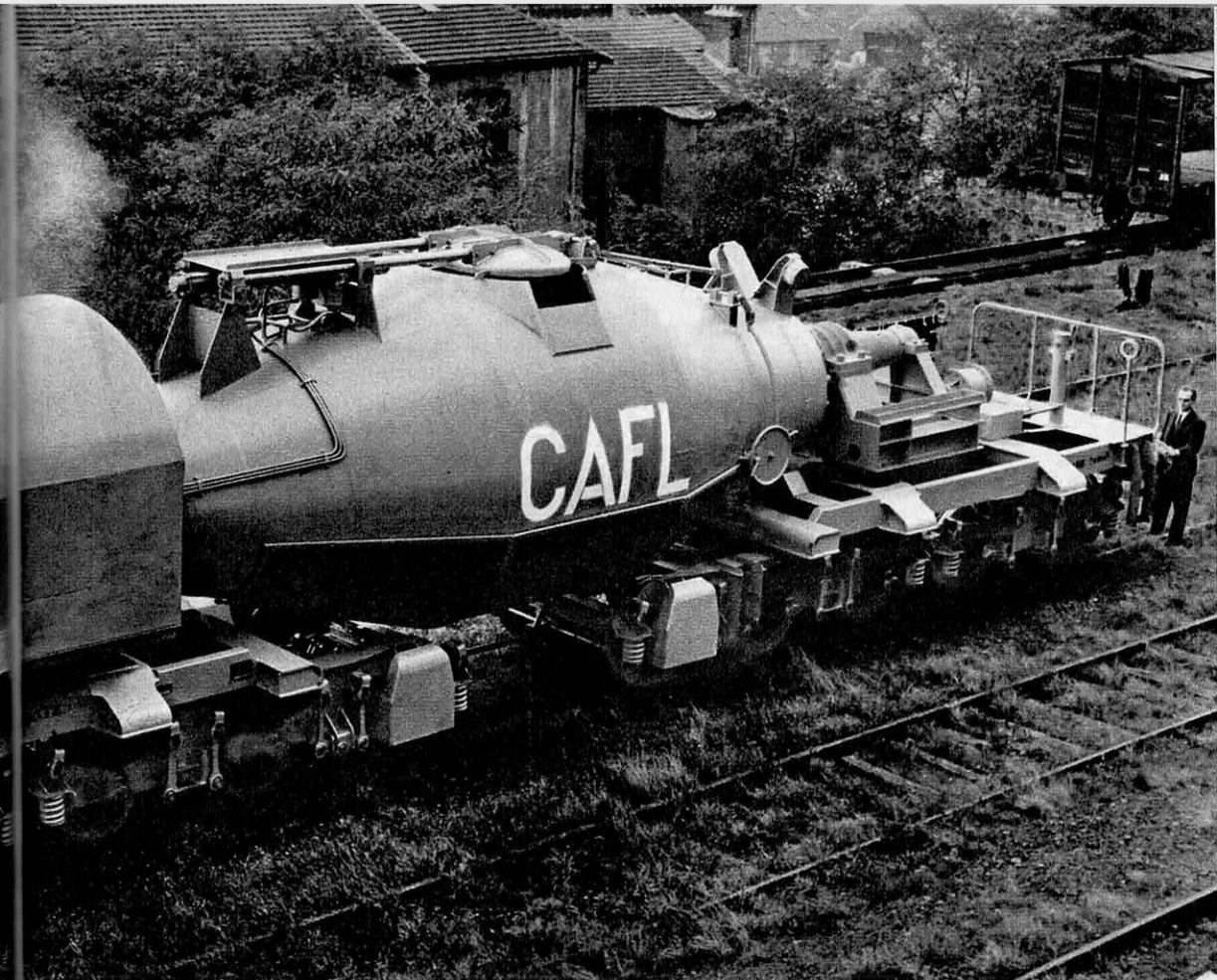
Un autre moyen d'éviter le transbordement des marchandises est le transport par « containers ». Ceux-ci ont des formes appropriées aux produits transportés et des capacités également très variées (série de 1 à 3 m³, de 9 à 14 m³, etc.). Les petits sont généralement munis de roulettes, tandis que les grands sont établis pour être manipulés par les engins de levage classiques.



Le réservoir du wagon-poche est déchargé par rotation autour de son axe. Son épais revêtement réfractaire conserve la fonte liquide sur des parcours d'ailleurs limités.

Le wagon « superspécial » pour charges très lourdes et volumineuses. Il sert ici au transport d'un pesant stator d'alternateur de l'E.D.F., de Champagne-sur-Seine à Vaires.





Tous les containers de taille courante peuvent être chargés sur des wagons plats ordinaires, mais il a été construit aussi des wagons équipés pour l'amarrage de ces engins. L'unification des dimensions de ces derniers et de leurs accessoires est en bonne voie sur le plan international.

Transports spéciaux

Pour les transports d'automobiles, les wagons à étage se multiplient, notamment sous forme de rames complètes au départ des usines. Ils étaient jusqu'à présent à deux essieux; 3 000 unités environ sont en service en France. On sait que leur emploi a été étendu de façon particulièrement heureuse dans les trains autos-couchettes.

Un nouveau modèle de wagons pour ce genre de transport, constitué de deux éléments articulés montés sur trois essieux, vient d'être mis au point et va être construit pour remplacer les types précédents pour le trafic industriel. Pour les trains autos-couchettes, il est de même procédé à l'heure actuelle à une étude de wagons à bogies pouvant circuler à la vitesse des trains rapides.

Le nom de wagons « spéciaux » désigne

des wagons affectés à des transports tout à fait particuliers nécessitant une infrastructure ou une superstructure spéciale. Tel sont les wagons « porte-pupitres », destinés au transport de glaces de grande longueur, ou les wagons construits récemment pour le transport de la fonte en fusion. Ces derniers, susceptibles de recevoir plus de 100 tonnes de fonte liquide pour la transporter des hauts-fourneaux aux aciéries, sont constitués essentiellement d'un énorme réservoir cylindro-conique muni, à l'intérieur, d'un revêtement réfractaire épais et reposant sur deux bogies très robustes à cinq essieux chacun; le déchargement s'effectue par rotation du réservoir autour de son axe.

Il peut s'agir d'autre part du déplacement d'une charge particulièrement importante et volumineuse; c'est ainsi qu'il existe, pour le transport de transformateurs ou de grosses masses indivisibles, un wagon « superspécial » qui ne comporte pas moins de vingt essieux au total (quatre bogies à quatre essieux et deux bogies à deux essieux) et peut recevoir une charge de 260 tonnes.

M. ROBERT

Ingénieur Principal Hors-Classe
Chef de la division des Études de voitures
et wagons à la S.N.C.F.

LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE DES WAGONS

Depuis plus de six ans on étudie, aux U.S.A. comme en Europe, la mise au point d'appareils de lecture automatique des numéros des wagons de marchandises au passage des trains. La résolution de ce problème marquera une étape importante vers l'automatisation du trafic des marchandises. Les informations relatives à la position et au déplacement des wagons, qui sont actuellement recueillies par des milliers d'agents, sur les voies des triages et dans les gares, pourront alors être captées automatiquement et transmises directement à un centre de traitement.

L'Union Internationale des Chemins de fer a mis à son programme de travail l'étude des divers procédés de lecture automatique. En régime international, en effet, les wagons de marchandises circulent sur les voies de n'importe quel pays et il convient de mettre au point des appareils unifiés, capables de lire les numéros de tous les wagons, quelle que soit leur nationalité.

On serait alors tenté de faire l'objection suivante : Parmi tous ces wagons qui circulent en Europe, ne risque-t-on pas d'en trouver plusieurs qui portent le même numéro ? Cette objection n'a plus de valeur aujourd'hui par suite de l'adoption récente d'une numérotation codée uniforme.

Il faut noter que le « numéro » d'un wagon de marchandises doit permettre son identification complète. Il y a un numéro proprement dit du wagon dans sa série, mais il y a aussi l'indication de l'Administration propriétaire, du régime d'échange entre administrations, de la série du wagon et des caractéristiques particulières du wagon dans cette série. La numérotation uniforme codée permet d'affecter à chaque wagon de marchandises une suite caractéristique de douze chiffres.

Il s'agit donc de lire automatiquement, au passage du wagon, cette suite de douze chiffres. C'est la donnée fondamentale du problème. Mais il existe un autre impératif,

car on ne dispose d'aucune source d'énergie sur un wagon de marchandises, et l'emploi d'une ligne installée le long d'un train, pour fournir de l'énergie à partir de la machine, entraînerait une complication et une dépense impossibles à justifier. L'énergie doit être fournie par le matériel placé sur le terrain, à l'endroit où l'on désire faire la lecture. On disposera ainsi sur le wagon une boîte ou panneau d'identification, et au sol un analyseur, dont le rôle sera double. D'une part, il enverra vers le wagon l'énergie nécessaire, et d'autre part il analysera la réponse du wagon.

De nombreux procédés sont en cours d'essai aux U.S.A. et en Europe. L'énergie peut en effet être fournie par l'analyseur sous diverses formes : rayonnements d'éléments radioactifs artificiels, micro-ondes ou ultrasons, champs d'induction électromagnétique, champs magnétiques statiques, lumière visible ou infrarouge. Il faut faire, parmi ces procédés, un choix conforme aux exigences de l'exploitation ferroviaire. Ces exigences sont nombreuses et nous en citerons simplement quelques-unes, à titre d'exemples.

La boîte montée sur le wagon devra résister sans dommage aux vibrations et aux chocs des wagons et fonctionner correctement par tous les temps, brouillard, pluie, neige, glace, et par des températures pouvant, en Europe, aller de -40 à $+70$ °C, elle ne devra pas gêner l'exploitation normale, par exemple la fixation d'une bâche; son entretien devra être pratiquement nul et son remplacement facile.

La puissance de l'analyseur sera en partie déterminée par la distance entre l'analyseur et la boîte. Si la boîte est fixée sur le côté du wagon, l'analyseur se trouvera le long de la voie, la boîte étant à l'intérieur du gabarit des obstacles. Mais cette distance pourra varier avec les usures normales du wagon ou de la voie, le chargement du wagon ou ses mouvements de lacet. L'analyseur devra rester insensible aux perturbations locales telles qu'un éclairage violent, la présence de caténaires, de lignes de télécommunications ou de signalisation, ou la présence d'autres wagons sur des voies voisines. La lecture devra être possible quel que soit le sens de passage du wagon, dans une gamme de vitesses étendue allant de la vitesse d'un homme au pas à 100 ou 120 km/h. Enfin, les taux d'erreur de lecture devront rester extrêmement faibles.

On voit que le problème n'est pas simple, mais il ne fait pas de doute que ces obstacles seront un à un surmontés, permettant ainsi une meilleure gestion de l'ensemble du parc des wagons marchandises.

Pierre MAUMEJEAN
Ingénieur Principal
à la Direction du Mouvement

UND VERRIEGELTEM DACH IN
ZÜGE EINGESTELLT WERDEN
DEVE SOLO CIRCOLARE CON IL
TETTO CHIUSO E BLOCCATO

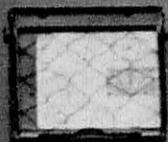


A	B	C
18.st	22.st	26.st
S	18.st	22.st

23.9m

3 210 kg
25.4t

21 RIV
87 SNCF
570 7 882-7
•Ts



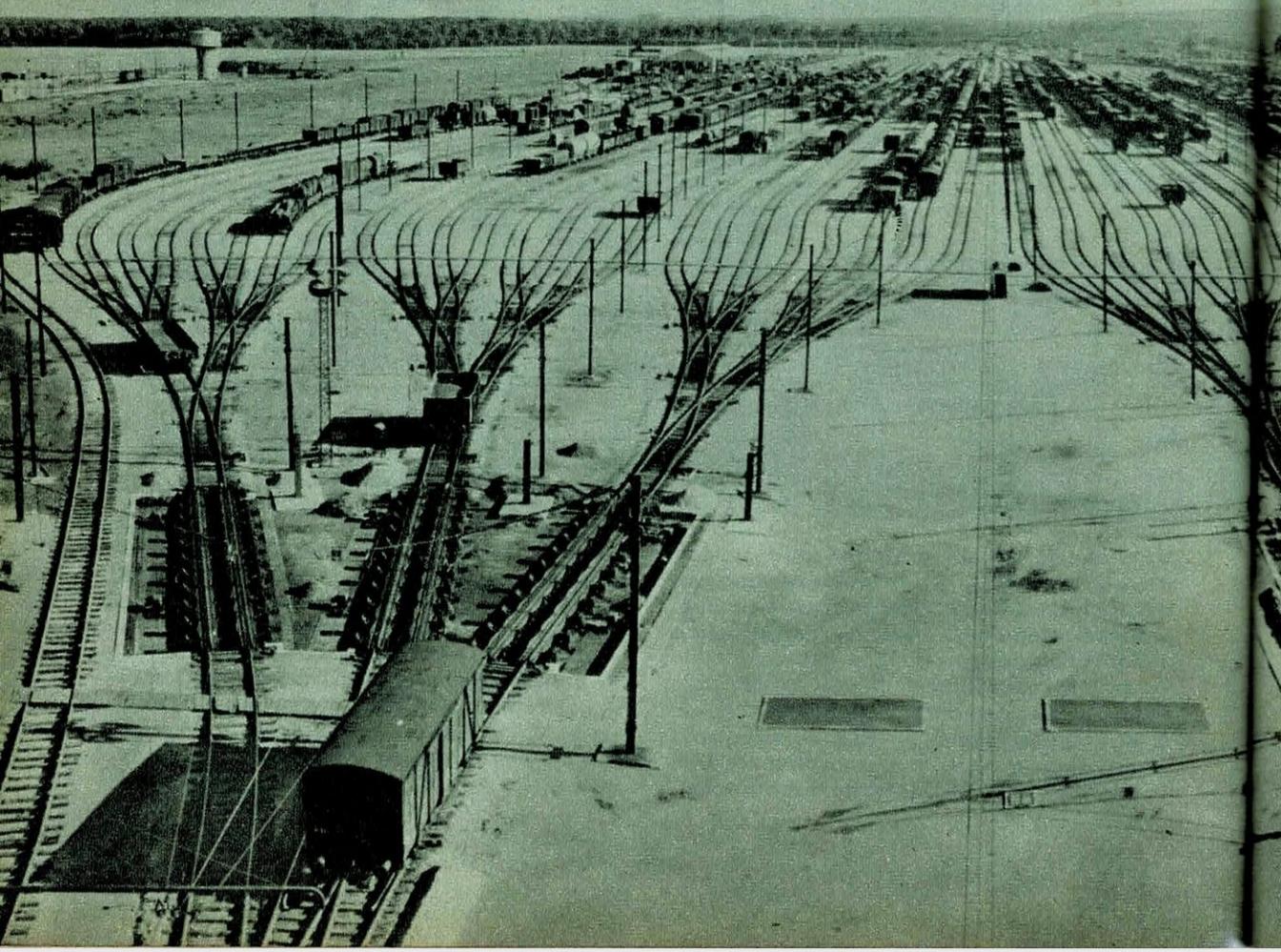
INSCRIPTIONS
X4

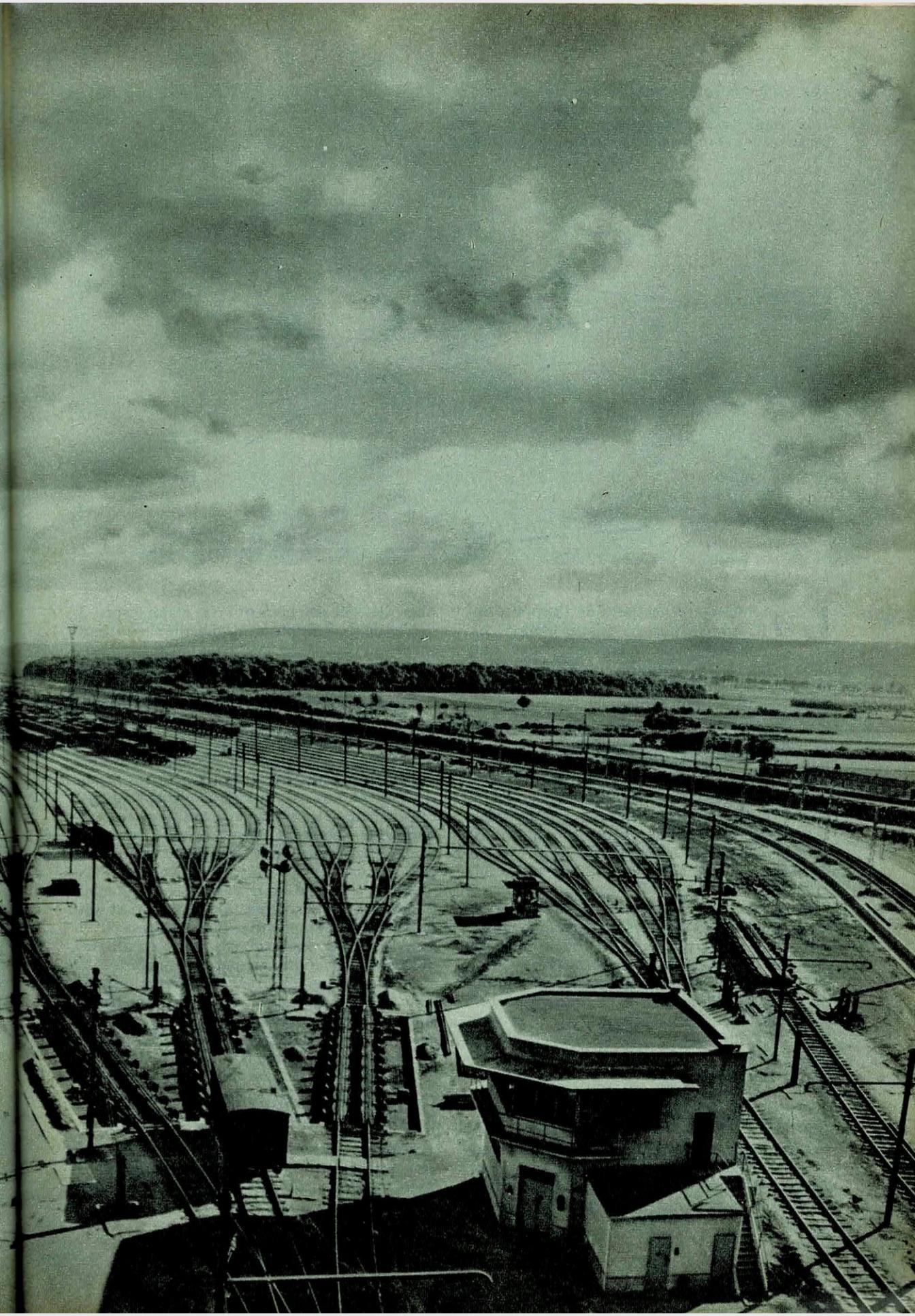
VT D.A.R./30 65

Un exemple de numérotation d'un wagon de marchandises pour la circulation en régime international. Dans le cadre à gauche, la numérotation codée permet l'identification complète du wagon quelles que soient les voies sur lesquelles il circule en Europe, et indique ses caractéristiques particulières. A la première ligne, 21 RIV signifie qu'il s'agit d'un wagon du parc commercial à écartement fixe apte au trafic international.

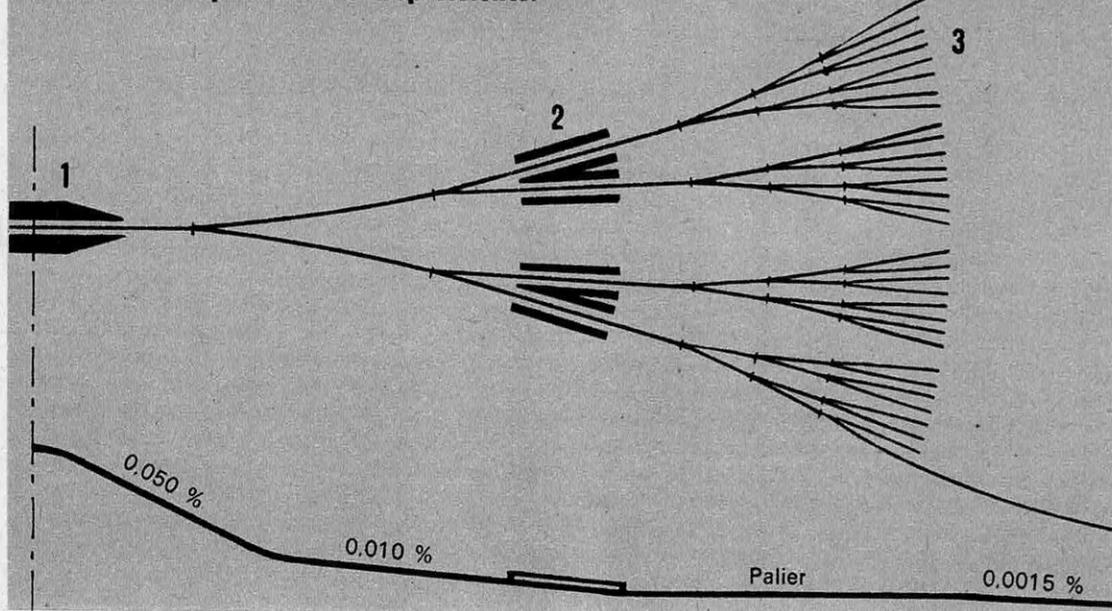
Puis 87 SNCF est le code de l'Administration propriétaire. A la troisième ligne, le chiffre 5 au début de la série indique que le wagon est à toit ouvrant et le 7, à la fin, est un chiffre de contrôle. La lettre T désigne de nouveau que le toit est ouvrant et la lettre s qui suit précise que le wagon est apte à rouler à 100 km/h. Dans le cadre « Incriptions » à droite, propre au régime intérieur de la S.N.C.F., X4 signifie « toit enroulable ».

auto-
matisation
des
TRIAGES





Les freins de voie, placés en aval de la bosse, sur la déclivité menant aux voies de réception, ralentissent les wagons successifs et évitent des tamponnements trop violents.



Les premières recherches sur l'application de l'automatisme aux triages remontent à une trentaine d'années. Elles ont abouti à la commande automatique des aiguilles de l'itinéraire que suit le wagon entre la bosse de débranchement et la voie où il doit être dirigé. Depuis, l'automatisation ne s'est guère étendue, car son application présente de sérieuses difficultés par suite du caractère particulier des opérations effectuées dans un triage. Celles-ci se différencient des opérations industrielles par le facteur distance, l'influence imprévisible des conditions atmosphériques et le caractère aléatoire de la résistance au roulement d'un wagon sur un itinéraire donné.

Pour bien saisir l'étendue du problème, il convient d'abord d'analyser rapidement l'organisation du travail dans un triage. Le rôle essentiel d'un tel centre consiste à recevoir les trains de marchandises, trier leurs wagons sur les voies affectées à chaque direction (débranchement), former enfin, avec les wagons triés, les trains qui en assurent l'enlèvement, mettre ceux-ci en attente de départ et les expédier.

Les opérations dans un triage

Après réception sur un faisceau de voies donnant accès à la bosse de débranchement, le train est visité pour voir si aucune anomalie engageant la sécurité ne se présente, et le

plan de débranchement est établi, soit à l'aide de la composition détaillée du train reçue au préalable par téléimprimeur, soit sur un relevé fait par un pointeur qui se déplace le long du train.

Les attelages des wagons sont coupés pour permettre leur répartition suivant les diverses voies du triage, et une machine de manœuvre refoule le train vers une bosse de débranchement, d'où les wagons sont entraînés par gravité vers la voie d'affectation correspondant au train d'enlèvement. Pour éviter qu'ils ne heurtent trop brutalement les wagons stationnant sur cette voie, ils doivent être freinés.

Avant que le train d'enlèvement ne parte, il faut refaire les attelages, inscrire sur un document la composition du train, essayer le frein et visiter les wagons pour voir s'ils ne présentent aucune particularité pouvant nuire à leur circulation. Ces opérations assez longues sont faites, dans les grands triages modernes, sur un faisceau spécial d'attente au départ, ce qui permet de dégager les voies et de poursuivre le débranchement sans difficulté.

Commande des aiguilles de débranchement

Pour un faisceau de triage de 48 voies, 47 aiguilles sont échelonnées entre le sommet de la bosse et les voies sur lesquelles se répartissent les wagons.



La cadence à laquelle les wagons qui descendent de la bosse se succèdent conditionne le rendement du triage. Les performances des triages modernes ne peuvent être atteintes que si la cadence est de six wagons à la minute au moins. Comme chaque wagon, dans son parcours, aborde 5 aiguilles par la pointe, il faut donc que, par minute, les positions de 30 aiguilles soient vérifiées, et certaines modifiées, pour réaliser les itinéraires que doivent suivre les wagons.

Un tel résultat n'a pu être obtenu que par la commande automatique des aiguilles. Celle-ci est réalisée à l'aide d'un simulateur électromécanique, dans lequel une bille descend dans un tube vertical découpé en étages. A chaque étage correspond un circuit de voie. Une bille figure un wagon lâché de la bosse. Au fur et à mesure que le wagon avance de circuit de voie en circuit de voie, la bille descend d'étage en étage. L'occupation d'un circuit de voie par un essieu de wagon ouvre le trébuchet d'accès à l'étage suivant. En accédant dans certains étages, la bille établit un contact qui commande l'aiguille en avant du wagon, la mettant dans la position correspondant à l'itinéraire à suivre. Ces postes « à billes » sont robustes, le premier a été mis en service il y a près de trente ans, et leurs qualités se sont affirmées dans les différents triages où ils sont utilisés.

Actuellement, la S.N.C.F. prépare la mise en service d'un poste de débranchement

Le freineur, au pupitre de commande des freins principaux, surveille les opérations de débranchement. Au fond à droite, le simulateur pour la commande des aiguilles.

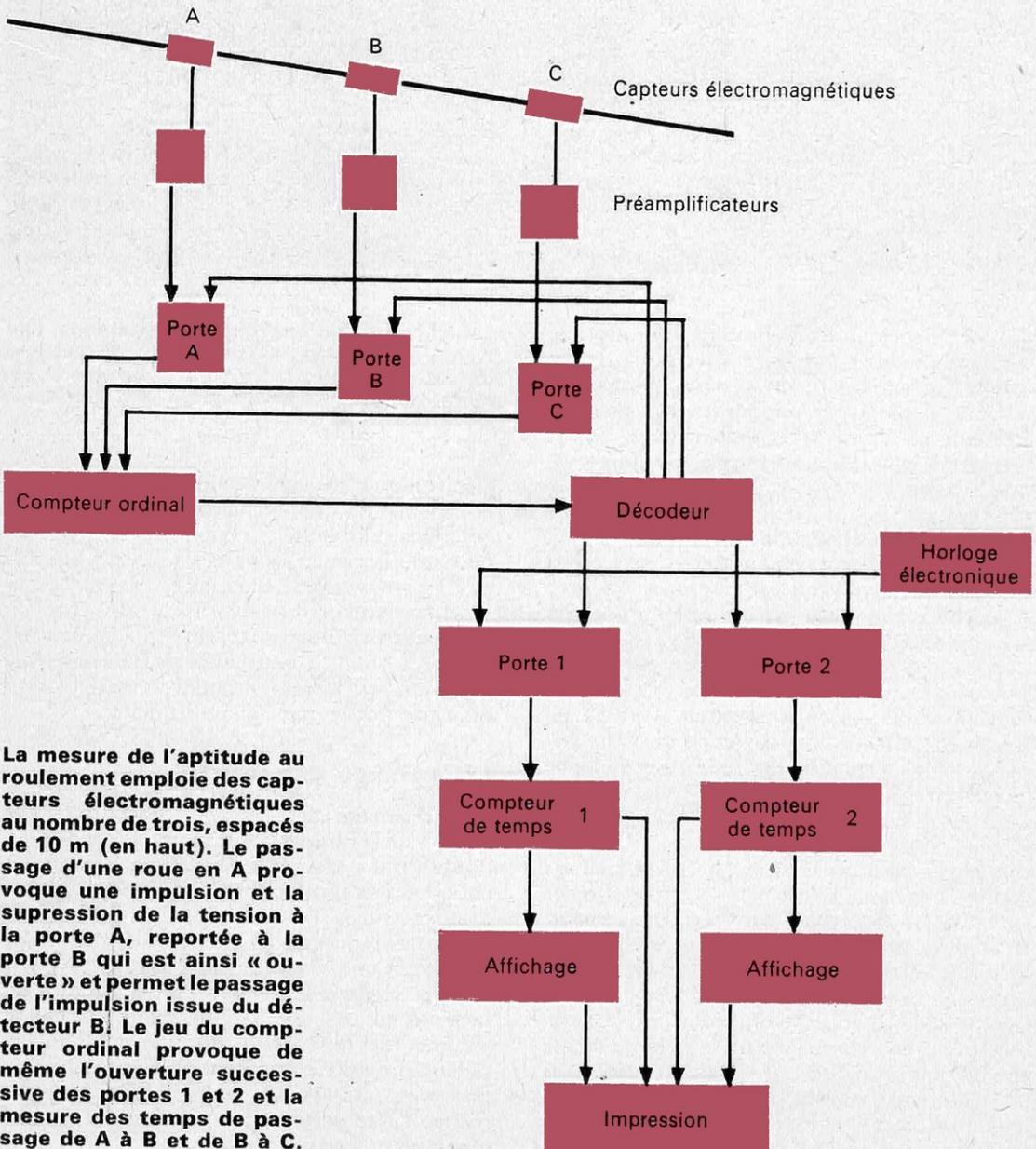
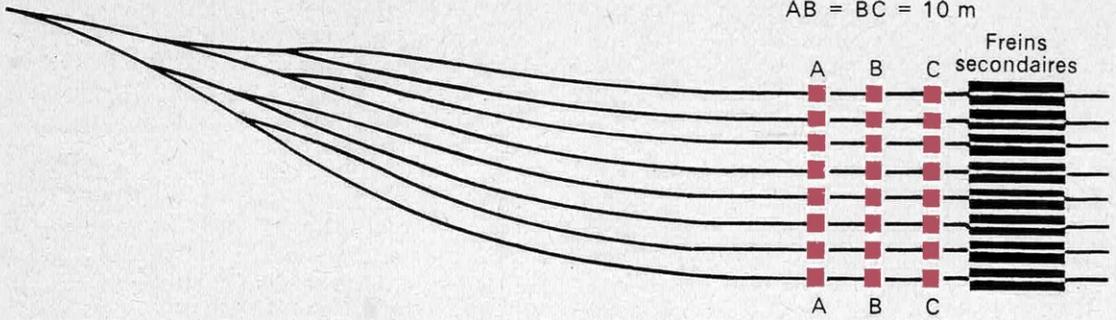
électronique en vue de pouvoir augmenter la cadence de débranchement et de résoudre certaines difficultés d'exploitation restées sans solution avec les postes à billes. Ce poste devrait pouvoir, de plus, dans l'avenir, recevoir les instructions non plus du chef de manœuvre en bosse par l'intermédiaire d'un clavier à boutons-poussoirs, mais sous forme de bande perforée représentant la composition du train reçue par téléimprimeur.

Le freinage des wagons

Le freinage des wagons descendant par gravité de la bosse vers les voies de triage a un double but : assurer l'espacement, éviter les chocs du wagon débranché sur ceux stationnant sur la voie.

Le train débranché est refoulé à la bosse à l'aide d'une machine de manœuvre à une vitesse légèrement inférieure à celle d'un homme au pas. Le wagon ayant franchi le sommet de la bosse subit une accélération puisqu'il descend une pente qui, au début du parcours, est de 40 à 50 millimètres par mètre. Cette accélération produit un certain espacement entre les wagons.

AB = BC = 10 m



La mesure de l'aptitude au roulement emploie des capteurs électromagnétiques au nombre de trois, espacés de 10 m (en haut). Le passage d'une roue en A provoque une impulsion et la suppression de la tension à la porte A, reportée à la porte B qui est ainsi « ouverte » et permet le passage de l'impulsion issue du détecteur B. Le jeu du compteur ordinal provoque de même l'ouverture successive des portes 1 et 2 et la mesure des temps de passage de A à B et de B à C.

Une première zone de freinage permet d'éviter que les wagons mauvais rouleurs soient rattrapés par les wagons bons rouleurs et assure ainsi un espacement suffisant pour le déplacement sans danger des aiguilles entre deux wagons; de plus, elle ralentit suffisamment les wagons pour qu'ils s'arrêtent en avant de ceux qui stationnent sur les voies du faisceau aval.

Autrefois, ce freinage était assuré à la main par des « caleurs » qui plaçaient sur le rail une cale. Celle-ci freinait le wagon, la roue montant sur la semelle de la cale et l'entraînant jusqu'à une pointe d'évitement. Dans les triages modernes cette zone est maintenant mécanisée. Un frein constitué de poutres mobiles qui enserrant les roues des wagons est disposé en tête de chaque faisceau de huit voies et est commandé à distance par un freineur installé dans un poste d'où la vue est assez étendue sur toute la zone de débranchement. Les freins de cette première zone sont appelés freins principaux.

Quelles que soient les qualités d'expérience et de jugement du freineur, il ne lui est pas possible d'éviter des erreurs d'appréciation. Les excès de freinage entraînent des arrêts prématurés et l'obligation de refouler les wagons avec une locomotive, ce qui constitue une dépense, une perte de temps, et par conséquent une réduction de la capacité du triage. Au contraire, les insuffisances de freinage ont pour conséquence une vitesse trop grande en tête des voies de triage et occasionnent des chocs sur les wagons en stationnement.

Pour assurer l'espacement, il faut finalement, soit surfreiner les wagons bons rouleurs, soit sous-freiner les wagons moins bons rouleurs. Cette dernière solution est préférable pour le débit du triage, mais elle nécessite une deuxième zone de freinage qui s'étend jusqu'à 300 ou 400 mètres de la tête du faisceau et dont le service est assuré par des caleurs. Le travail des caleurs, qui peut paraître à l'époque actuelle un peu anachronique, s'effectue dans des conditions souvent difficiles par temps de pluie ou de brouillard.

Pour éviter les erreurs des freineurs qui commandent les freins principaux et pour supprimer le travail des caleurs en tête des voies de triage, les réseaux de chemins de fer ont cherché à automatiser le freinage.

Automatisation du freinage

L'automatisation du freinage consiste essentiellement à mesurer la vitesse du wagon pendant tout le temps de son passage dans le frein et à provoquer automatiquement l'ou-

verture du frein lorsque cette vitesse a été ramenée à une valeur précalculée. Cette vitesse théorique de sortie doit être telle que la force vive du wagon lui permette d'aller au but, c'est-à-dire d'arriver au contact des wagons stationnant sur la voie de destination, à une distance de la tête du faisceau variable suivant l'état de remplissage de la voie, et cela compte tenu des résistances s'opposant à l'avancement du wagon.

Une solution technique bien au point maintenant permet de calculer la vitesse du wagon dans le frein, mais il reste à déterminer la vitesse de sortie et pour cela à calculer les paramètres suivants :

— la distance d'arrêt, problème maintenant résolu techniquement d'une façon satisfaisante;

— la résistance à l'avancement du wagon en alignement droit. Cette résistance comprend la résistance au roulement, variable suivant le type et la température de la boîte d'essieu, et la résistance de l'air, variable suivant la force du vent et sa direction; en principe, cette résistance est mesurée d'après les temps de parcours du wagon roulant librement sur deux bases consécutives de dix mètres de long;

— la résistance au passage dans l'ensemble des courbes rencontrées après le frein : courbes des appareils de voie et courbes de raccord à l'entrée des voies. Cette résistance dépend du rayon des courbes, mais aussi de la façon dont les roues les abordent. Elle est en particulier variable dans les limites que permet le jeu entre le boudin des roues et le rail (jeu déterminé lors du montage des roues sur l'essieu), et variable dans le temps du fait de l'usure du boudin.

Cette énumération permet d'entrevoir la complexité du problème; la S.N.C.F. a fait une première expérience en automatisant seulement les freins principaux. Mais l'obstacle majeur réside dans la mesure du dernier paramètre, dont le caractère aléatoire rend le calcul préalable difficile.

Aussi a-t-on eu l'idée de placer des freins secondaires en tête des voies de triage. La vitesse de sortie peut, dans ce cas, être précalculée avec une plus grande précision, puisque pratiquement il n'y a plus de courbes après ces freins.

Le rôle des freins principaux automatiques devient dès lors, en plus de l'espacement, de freiner le wagon jusqu'à une vitesse de sortie telle que celui-ci, abandonné ensuite à la gravité, aborde les freins secondaires à vitesse réduite. Le travail du frein secondaire en est facilité.

Les essais faits au triage de Vaires suivant ce principe sont tout à fait prometteurs et

nous rapprochent de la réalisation du « tir au but », expression imagée qui reflète bien l'idée poursuivie, le projectile étant le wagon et le but, le point d'arrêt sur les voies de triage.

Les États-Unis ont automatisé le freinage dans plusieurs triages modernes. La solution du problème s'y trouve facilitée parce que l'hétérogénéité du parc des wagons est moins grande qu'en Europe; les qualités de roulement sont donc moins variables d'un wagon à l'autre. Par ailleurs, le matériel est équipé de l'attelage automatique qui autorise une vitesse d'accostage plus grande d'un wagon arrêté par un wagon mobile, et donc une marge d'erreur un peu plus grande elle aussi. Si, en effet, un wagon à attelage automatique s'arrête prématurément, il est remis en marche par le wagon suivant, avec lequel il reprend sa course pour venir finalement au contact de la rame en stationnement. Au contraire, avec les wagons européens à attelage manuel, un wagon qui est arrêté trop tôt sera bien remis en marche par le wagon suivant, mais celui-ci sera brutalement stoppé au moment de l'impact, la lacune dans le remplissage des voies subsistera indéfiniment, et le wagon remis en marche pourra, dans certains cas, heurter violemment les wagons arrêtés et revenir en sens inverse vers le wagon stoppé.

Un principe nettement différent consiste à lâcher les wagons, à la sortie du frein automatisé, à une certaine vitesse fixée une fois pour toutes, compatible avec la puissance de freinage aval et le débit recherché, sans mesurer la résistance au roulement des différents wagons. Des freins légers, répartis dans le corps des voies, sont alors prévus pour modifier la marche des wagons et éviter les chocs anormaux en devant l'excédent d'énergie des bons rouleurs; ces freins de régulation sont pourvus d'un automatisme provoquant leur serrage quand un wagon dépasse la vitesse de circulation autorisée de 1 mètre/seconde environ. Cette régulation automatique de la vitesse est une solution très onéreuse par suite du nombre de freins légers nécessaires sur chaque voie. Les chemins de fer d'Allemagne Fédérale ont cependant entrepris des essais de ce type sur quelques voies des triages de Gremberg et d'Oldenburg.

A l'inverse du principe précédent, on peut imaginer de soumettre les wagons à un surfreinage, de façon qu'à l'entrée de la voie de destination il faille, non pas les ralentir, mais les pousser, les voies étant en semi-palier; dans cet esprit sont essayés des toueurs automatiques. Au lieu de toueurs, les Chemins de fer Fédéraux Suisses ont entrepris

la mise au point, au triage de Bâle, d'un dispositif utilisant un courant de voie de faible voltage mais de plusieurs milliers d'ampères exerçant un effet d'entraînement des roues pour les wagons circulant à faible vitesse.

L'automatisation au triage de Vaires

Parmi les principaux dispositifs techniques mis au point par la S.N.C.F. au triage de Vaires pour réaliser l'automatisation, il faut signaler notamment les suivants :

— *Détection du passage d'un wagon sur une voie.* Elle s'effectue à l'aide de capteurs magnétoélectroniques qui donnent une impulsion à chaque passage de roue; les impulsions, amplifiées sur place par un dispositif à transistors, peuvent ensuite être acheminées par des câbles blindés sans déformation et sans risques de parasites.

— *Mesure de l'aptitude au roulement.* Cette mesure est effectuée par les capteurs précédents dès l'arrivée du wagon dans la zone droite des voies d'affectation du triage. La mesure consiste à comparer, au moyen d'une horloge électronique, les temps de parcours dans la ligne droite de pente constante sur deux bases adjacentes de dix mètres de longueur. La différence entre l'accélération ou le ralentissement mesuré et la valeur théorique permet de chiffrer l'aptitude globale du wagon au roulement.

— *Mesure de la distance entre les freins secondaires et le dernier wagon arrêté.* Le principe de l'opération consiste à mesurer l'impédance de la boucle formée par les deux rails et l'essieu du wagon présent sur la voie. L'ordre de grandeur de l'impédance est tel que la solution la plus adaptée consiste à injecter un courant alternatif de fréquence déterminée et d'intensité constante dans le circuit, et à mesurer la tension d'entrée.

La fréquence a été fixée à 75 Hz pour, d'une part, être à l'abri des courants parasites de traction et, d'autre part, garder une bonne insensibilité à l'impédance transversale parasite due aux traverses mouillées. La mesure de position d'un wagon s'effectue avec une précision de l'ordre de 15 mètres, que le wagon soit immobile ou en mouvement.

Mais le problème général du freinage automatique exige un élément de réponse plus délié que celui donné par cette mesure, car il est nécessaire, au moment où un wagon se trouve en phase de freinage, de savoir, non pas où est le wagon précédent, mais où il sera au moment de la rencontre. La solution adoptée consiste à retenir comme valable la position du dernier wagon arrêté, en considérant que les wagons en roulement à une



Les freins de voie sont constitués par des systèmes de poutres mobiles qui viennent enserrer les roues des wagons. Ci-dessus, les freins secondaires automatisés du centre de triage de Vaires, non loin de Paris.

vitesse supérieure à une certaine valeur s'arrêteront au contact. Si un wagon en roulement se déplace à une vitesse inférieure à cette valeur, c'est sa position qui est prise en considération, car il est alors sur le point de s'arrêter.

L'appareillage doit donc connaître en permanence la position du dernier wagon arrêté (retenue en mémoire), la position du wagon en roulement (mesure), la vitesse approximative de ce dernier.

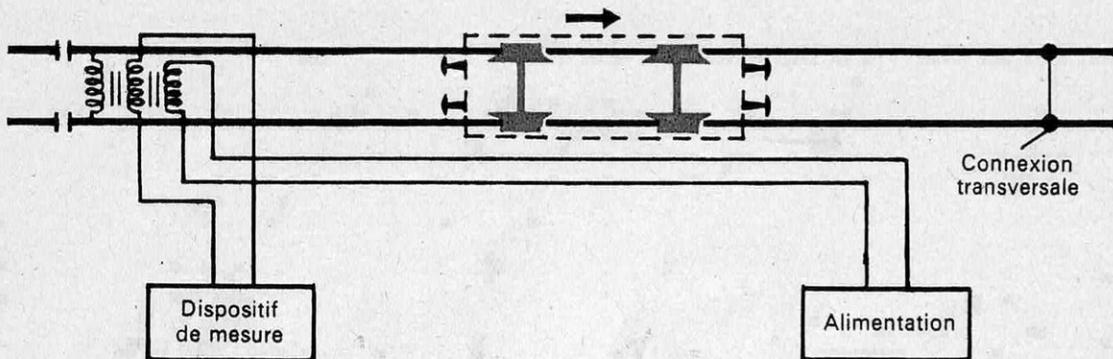
— *Commande des freins de voie.* Pour ce qui concerne les freins principaux, leur fermeture est assurée, suivant les cas, soit par un simple capteur du type décrit précédemment si la

fermeture du frein est inconditionnelle, soit par un ensemble de deux capteurs si la commande du frein est subordonnée à un certain seuil de vitesse du wagon.

La fermeture des freins secondaires pose les mêmes problèmes et s'effectue à l'aide des capteurs qui servent à caractériser l'aptitude au roulement des wagons. Les valeurs d'indice de roulement, d'une part, et de distance à parcourir, d'autre part, sont introduites dans un calculateur qui en déduit la vitesse à donner au wagon à la sortie du frein secondaire. Cette fermeture ne s'effectue que si la vitesse à donner au wagon à la sortie du frein est inférieure à celle qu'il possède à l'entrée.

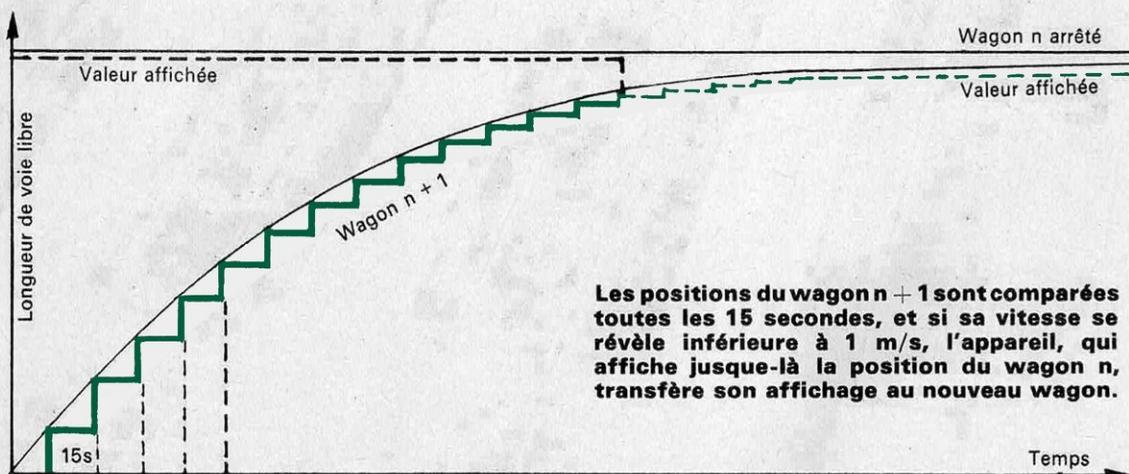
Perspectives d'avenir

Les triages qui seront prochainement construits ou modernisés seront établis de façon à permettre l'automatisation du freinage suivant la méthode que les essais en



La distance entre les freins et le dernier wagon arrêté s'évalue en injectant dans les

rails un courant alternatif et en mesurant l'impédance de la boucle, rails et essieux.



Les positions du wagon $n + 1$ sont comparées toutes les 15 secondes, et si sa vitesse se révèle inférieure à 1 m/s, l'appareil, qui affiche jusque-là la position du wagon n , transfère son affichage au nouveau wagon.

cours auront permis de mettre au point. Les valeurs en campagne pourront alors être supprimées.

D'autres opérations de la gare de triage seront aussi automatisées. Tel sera le cas de la confection des attelages avant l'expédition d'un train lorsque l'attelage automatique aura été généralisé par les réseaux européens. En effet, ou bien, lors du débranchement, les wagons auront été convenablement arrêtés au contact, l'attelage étant ainsi fait automatiquement, ou bien il subsistera quelques lacunes, et il suffira alors de comprimer le train avec une machine de manœuvre pour que les attelages se trouvent réalisés.

Des essais sont aussi effectués en vue de mettre au point le dispositif qui permettra de supprimer le relevé manuel de la composition des trains. Le marquage uniforme du matériel roulant de tous les réseaux européens est en cours de réalisation à l'aide de 12 chiffres. Ces chiffres seront représentés par un dispositif électromagnétique, porté par le wagon, qui sera lu par un autre dispositif

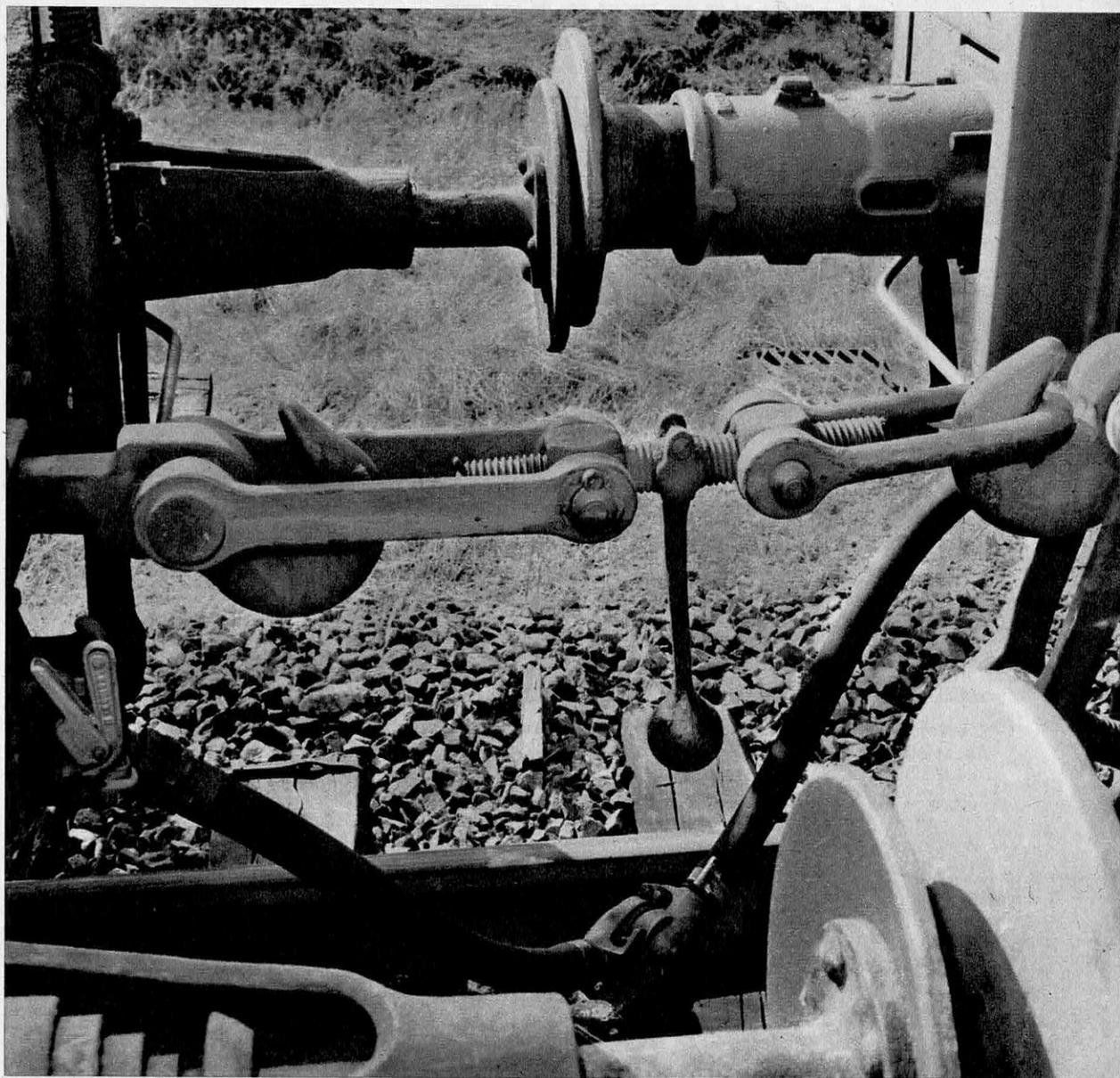
émetteur-récepteur situé en bordure de la voie de départ du triage, et reproduit à distance sur une bande perforée ou sur un téléimprimeur.

Par ailleurs, la télécommande des machines de manœuvre refoulant les wagons à la bosse permettra au chef du débranchement de commander et maintenir la cadence correspondant au meilleur rendement.

Les gares de triages de la S.N.C.F. offrent un champ d'application difficile et vaste pour la mise en application de l'automatisation. Les premiers résultats obtenus laissent espérer des réalisations fort intéressantes dans les années à venir, améliorant le rendement des installations et réduisant la peine des hommes qui doivent y travailler dans des conditions souvent difficiles.

M. VERDON
Ingénieur Principal et

M. SAUCE
Inspecteur divisionnaire
à la Direction du Mouvement de la S.N.C.F.



Le vieil attelage à vis, source d'accidents encore trop fréquents, sera bientôt remplacé.

attelage automatique

Les chemins de fer européens forment actuellement le seul grand ensemble ferroviaire mondial où l'attelage à vis est encore utilisé pour la formation des trains. Cet attelage manuel exige, dans les triages, une main-d'œuvre nombreuse de plus en plus difficile à trouver. L'atteleur doit pénétrer entre les tampons des wagons pour mettre en place et visser l'attelage, manœuvre pénible et dangereuse, puisque les statistiques internationales montrent qu'il se produit en moyenne par an et pour 100 000 agents, quatre accidents mortels.

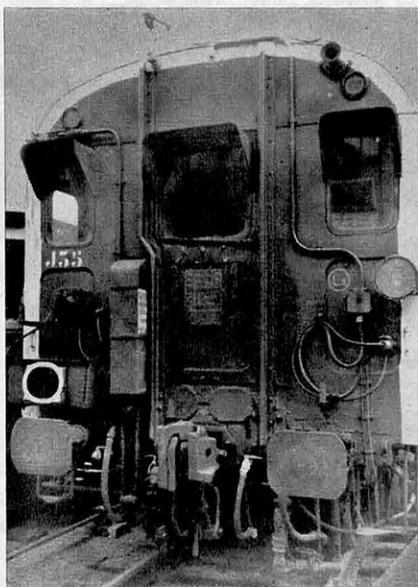


L'attelage automatique à griffe mobile de type Janney équipe la totalité du parc

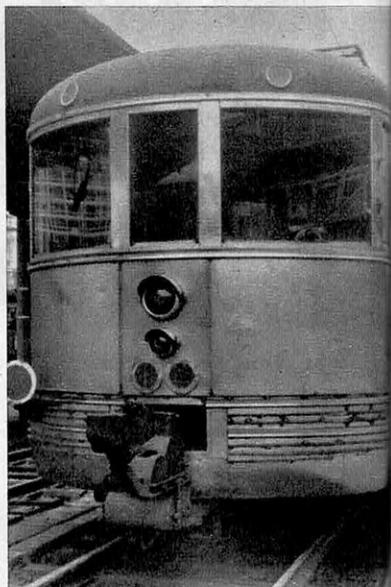
de wagons des États-Unis. On le voit ici sur un véhicule de la compagnie Santa-Fé.



Certaines automotrices modernes des réseaux électrifiés de la banlieue parisienne ont été équipées d'un coupleur automatique de type Scharfenberg (ci-dessus).



Sur quelques trains de voyageurs des lignes de la banlieue Nord, un attelage automatique à encastrement du type Willison, a été utilisé, les rames de longueur variable du trafic de la banlieue se prêtant bien à cette application.



Le coupleur à verrou automatique du type Boirault-Compact est ici visible au premier plan, installé sur une automotrice électrique du service voyageurs dans la banlieue Ouest de Paris.

Les possibilités normales de traction de cet attelage ne peuvent dépasser 30 t (sa résistance à la rupture est de 85 t); nos trains munis de l'attelage à vis ne peuvent de ce fait remorquer des charges supérieures à 2.500 t, alors que l'attelage automatique permettrait la formation de trains beaucoup plus lourds, de 8 000 et 10 000 t. Telles sont en effet les charges atteintes par les grands trains de l'Amérique du Nord, où les U.S.A. ont rendu obligatoire, depuis 1893, l'utilisation de l'attelage automatique pour toutes les entreprises ferroviaires.

L'attelage utilisé aux U.S.A., le système « Janney », est un attelage à griffe mobile permettant un effort de traction en service de 100 t. Il est également généralisé au Canada, au Mexique, ainsi que sur de nombreux grands réseaux de l'Amérique du Sud. Il est utilisé, de plus, par la plupart des réseaux australiens et a été généralisé au Japon qui, en une seule journée (17 juillet 1925), a pu réaliser l'opération spectaculaire d'équiper la totalité de son parc (46 000 wagons).

Sur notre continent, les chemins de fer de l'U.R.S.S. ont terminé l'application de l'attelage automatique en 1957. Le type utilisé, le « SA 3 », est, contrairement à l'attelage « Janney », un attelage à griffes fixes du type « Willison ». Sur la base des conditions de trafic existant en 1957, les chemins de fer de l'U.R.S.S. estiment avoir économisé ainsi journalièrement 7 000 heures de locomotives de manœuvre et 1 000 000 d'heures de wagons.

La S.N.C.F. a déjà utilisé divers types d'attelages automatiques sur des trains assurant le trafic voyageurs dans des zones limitées. Les rames de longueurs variables desservant la banlieue parisienne se prêtaient particulièrement bien à cette application. Quelques-uns de ces attelages assurent l'accouplement automatique des conduites d'air nécessaires au fonctionnement du frein pneumatique et également la continuité des circuits de commande électrique. Quelques rames de wagons de marchandises spécialisés dans le transport des camions et constituées de wagons surbaissés ont été également équipées.

Application de l'attelage automatique en Europe

Les projets d'application en Europe de l'attelage automatique, recommandée dès 1923 par l'Organisation Internationale du Travail compte tenu du danger que présentait l'attelage à vis pour les travailleurs des chemins de fer, furent repris après la deuxième guerre mondiale. L'ampleur des dépenses à

engager ne permit pas alors d'obtenir un accord des Administrations ferroviaires, sollicitées par des tâches plus urgentes de reconstruction.

Ce n'est qu'en décembre 1956 que l'Union Internationale des Chemins de fer examina à nouveau la possibilité de cette conversion. Un premier appel d'offres fut alors lancé, avec un cahier des charges qui prévoyait, en particulier, que l'attelage automatique européen devait être un attelage complet de choc et de traction, permettant la suppression des tampons latéraux, et qu'il devait réaliser l'accouplement automatique des conduites de frein et des canalisations électriques. Cette seconde condition n'est remplie actuellement par aucun des attelages automatiques en service sur une grande échelle dans les principaux réseaux au monde.

De plus, les Administrations de chemins de fer des pays de l'Est de l'Europe faisant partie de l'U.I.C., et qui se trouvent également groupées avec l'U.R.S.S. et les républiques populaires d'Asie dans une association ferroviaire appelée « O.S.J.D. », firent savoir qu'ils ne pouvaient choisir qu'un attelage automatique s'accouplant directement avec le coupleur SA 3 des chemins de fer de l'U.R.S.S. Afin d'éviter toute coupure technique entre les pays de l'Ouest et de l'Est de l'Europe, l'U.I.C. décida en 1961 que l'attelage automatique devrait être accouplable directement, sans pièce intermédiaire, avec l'attelage SA 3.

Cette décision conduit à ne retenir, parmi les propositions faites par les firmes mondiales, que celles utilisant le profil à encastrement type « Willison », imaginé par une firme américaine en 1920. Cet attelage, inventé trop tard pour être adopté par les chemins de fer américains, est en service non seulement sur les chemins de fer de l'U.R.S.S., mais aussi sur de nombreux chemins de fer industriels ou miniers d'Europe et d'Afrique.

Le nouveau cahier des charges commun pour l'U.I.C. et l'O.S.J.D. prévoit notamment :

— l'attelage automatique sera du même type pour tous les véhicules (locomotives, voitures, wagons...);

— il sera directement accouplable avec le coupleur SA 3 des chemins de fer de l'U.R.S.S.;

— au cours de l'accouplement, le verrouillage sera automatique;

— la commande pour désaccoupler les attelages sera placée à l'extérieur des véhicules;

— possibilité de pousser les véhicules sans provoquer l'accouplement des attelages;

— les champs d'action horizontaux et verticaux fixés respectivement à 220 mm et 140

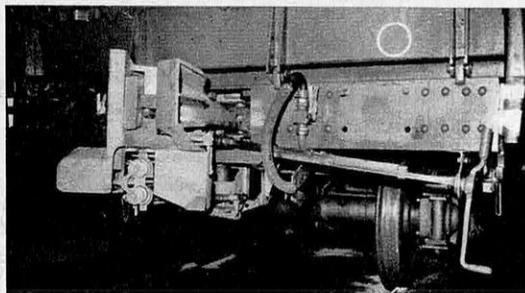
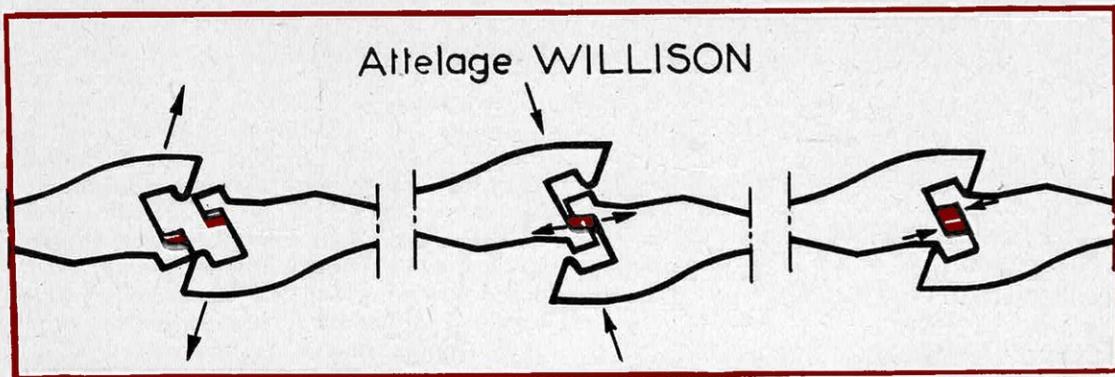
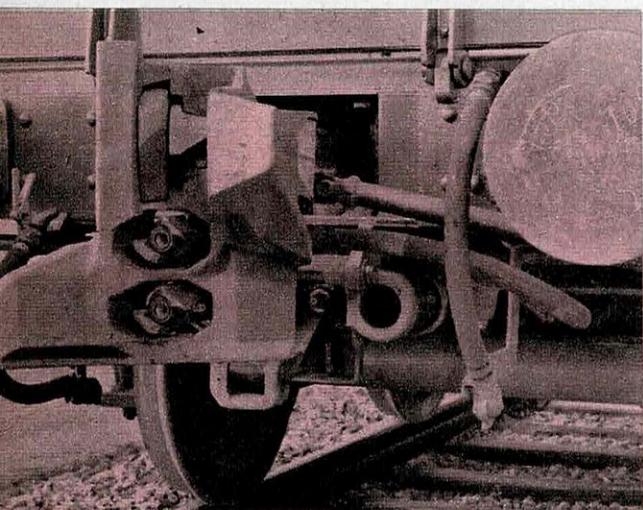


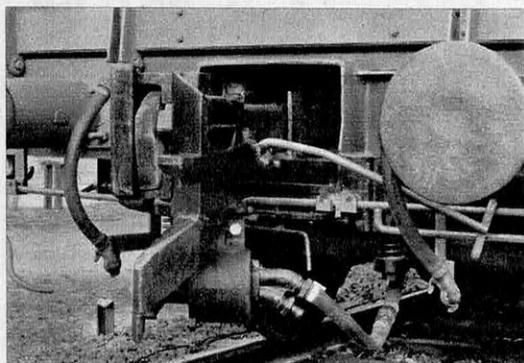
PHOTO FENE

Les schémas ci-dessus montrent le fonctionnement, avec mise en place des verrous, de l'attelage à encastrement Willison, dont le principe est retenu pour la réalisation de l'attelage automatique « européen ».

Le BSM 64, l'un des trois attelages expérimentés au cours des derniers mois par les services techniques de la S.N.C.F., des Chemins de fer allemands et des Chemins de fer italiens, dans le but de définir les caractéristiques d'un attelage de choc et traction répondant parfaitement aux besoins des diverses administrations ferroviaires.



L'Unicoupleur 64 est lui aussi l'aboutissement d'une série progressivement modifiée en fonction des essais des dernières années, qui ont conduit à une définition plus précise d'éléments tels que longueur de bras d'attelage, forme de l'articulation, caractéristiques du tampon central pour la construction des nouveaux attelages automatiques.



Le dispositif Willison 64, autre matériel sélectionné en vue de la réalisation de l'attelage européen. On remarque, à la partie inférieure, le coupleur des conduites de freins, dont l'étanchéité, qui doit être évidemment parfaite, a nécessité de longs et délicats travaux de mise au point complétés par de très sévères essais en ligne.

mm devront permettre l'accouplement des wagons en courbe de 135 m de rayon, les wagons présentant les différences maximales admises pour les hauteurs d'attelage;

— possibilité de circulation des véhicules accouplés sur les bosses de gravité, rampes de ferry-boat et courbes de faibles rayons;

— résistance de 150 t à la traction et 200 t en compression;

— accouplement complémentaire de deux conduites d'air comprimé de 32 mm de diamètre et de canalisations électriques;

— l'attelage automatique définitif sera monté en « choc et traction » et permettra ainsi le service des trains sans tampons latéraux.

Des dispositions supplémentaires sont prévues pour la période transitoire.

Un programme d'essais extrêmement poussés a été mis en œuvre par l'O.R.E. (Office de Recherches et d'Essais de l'U.I.C.), tant sur plateaux d'essais qu'en ligne avec des rames de compositions diverses. Ils ont permis de préciser de nombreux éléments et de définir un attelage automatique « de synthèse » reprenant les parties techniquement les meilleures dans chacune des formules proposées. Le choix ainsi fait par les experts de l'U.I.C., avec l'accord de ceux de l'O.S.J.D., va permettre prochainement de proposer aux instances gouvernementales un attelage automatique unique pour l'ensemble du matériel ferroviaire européen.

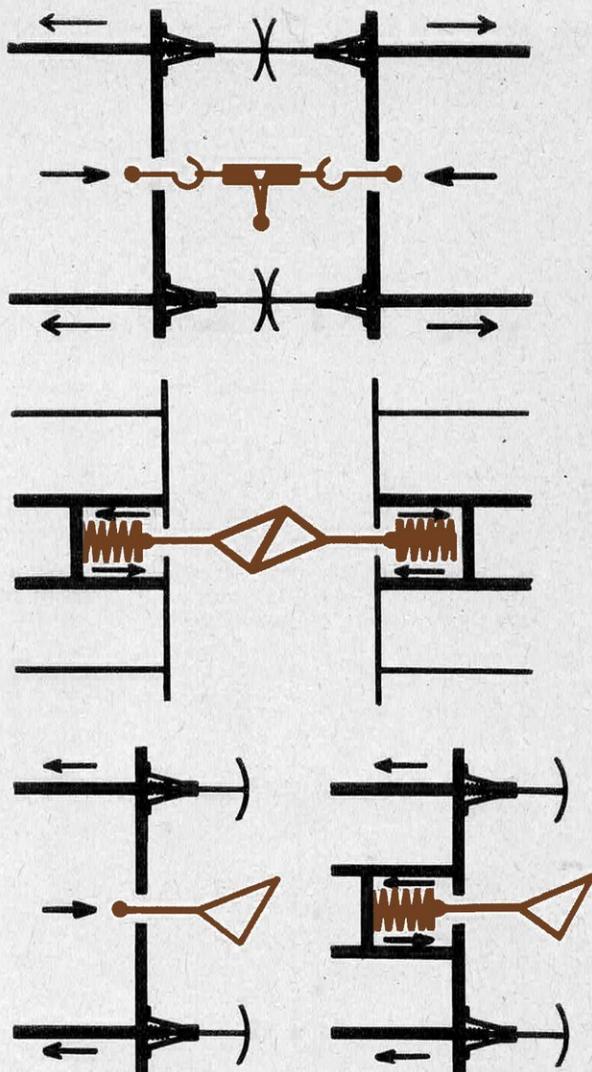
Application de l'attelage automatique

Cette application peut être simultanée, progressive ou mixte.

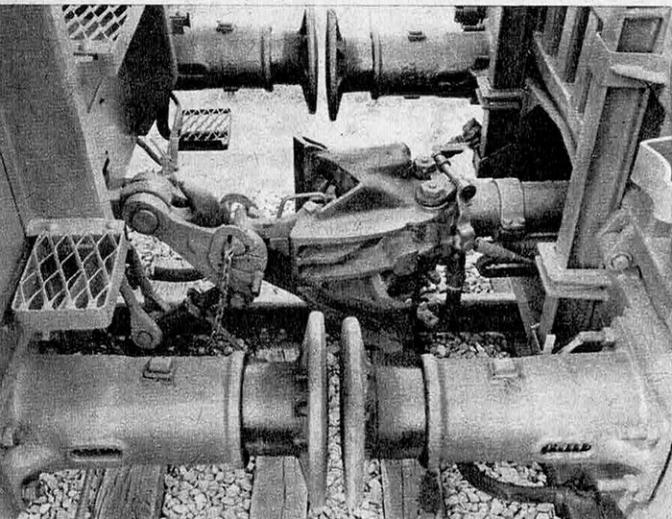
L'application simultanée est la méthode utilisée en 1925 par les Chemins de Fer Japonais qui, le même jour, transformèrent l'ensemble de leur matériel pour passer de l'attelage à vis à l'attelage automatique. Cette méthode apporte le minimum de sujétion aux services de l'Exploitation mais demande une préparation de plusieurs années pendant lesquelles il faut adapter le matériel roulant et stocker le matériel nécessaire. Cette application ne peut guère être envisagée à l'échelle européenne.

L'application progressive permettrait d'équiper le matériel roulant avec le minimum de dépense, mais apporterait le plus de gêne aux services de l'Exploitation, tout au moins dans les premiers mois ou les premières années.

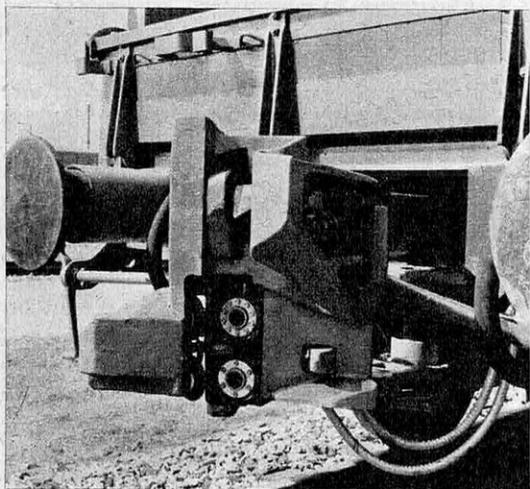
L'application mixte, compte tenu des sujétions particulières à chacune des administrations, permettra l'application de l'attelage automatique dans les conditions optimales.



Selon le type d'attelage, la construction du matériel roulant est différente. Dans le cas d'un wagon classique, l'attelage à vis provoque sur la partie centrale un simple effet de traction, les tampons transmettant les chocs aux faces du wagon dont les longerons doivent être renforcés (en haut). Avec l'attelage automatique de choc et traction, tel qu'on l'étudie actuellement en Europe, la partie centrale du wagon démunie de tampons absorbe la totalité des efforts et doit être aménagée en conséquence, les parois pouvant au contraire être allégées (au-dessous). Pendant la période transitoire, des wagons de type ancien pourront être, au moyen d'un dispositif approprié, accouplés avec des wagons à attelage automatique; ceux-ci conserveront leurs tampons et devront pouvoir subir sans dommage des chocs latéraux (ci-dessus à droite), à moins que les vieux wagons soient pourvus d'un système de simple traction (à gauche).



Réalisation d'un attelage mixte au moyen du dispositif « Unitendeur », accepté par la Commission Internationale de l'U.I.C.



Un des prototypes « de synthèse », qui reprennent divers éléments des modèles étudiés précédemment, figurés page 112.

Il s'agit, dans un premier temps, d'une application simultanée partielle (sur 40, 50 ou 60 % du matériel), préparée quelques années à l'avance pour être réalisée au cours d'une période identique pour toutes les administrations (période de une à quatre semaines choisie pour son faible trafic). Dans un deuxième temps sera réalisée une application progressive de durée plus ou moins longue sur le matériel restant.

Les problèmes posés par la conversion sont en effet nombreux. Actuellement, les wagons équipés d'attelages à vis comportent des tampons latéraux transmettant les efforts de choc importants directement sur les longerons

latéraux. Lorsque notre matériel ferroviaire, équipé du seul attelage central de choc et traction sera démuné de tampons latéraux, les efforts importants de choc seront alors transmis directement sur des longrines centrales. Pendant la période de transition, les tampons latéraux seront conservés et la structure des véhicules devra permettre la transmission des efforts de choc aussi bien sur la partie centrale que sur les parties latérales.

Le montage de l'attelage de choc et traction exigera donc une modification importante du châssis des wagons pour lui apporter des éléments résistants dans la partie centrale. Cette coûteuse modification peut être évitée en montant un attelage dit de « simple traction ».

Mais, à la fin de l'application de l'attelage automatique, on ne pourra envisager la suppression des tampons latéraux qu'après disparition totale des wagons équipés d'attelage de simple traction; en conséquence, le montage de ce type simplifié d'attelage automatique ne devrait donc être réalisé que sur les véhicules dont l'existence est limitée à la date finale prévue pour la suppression des tampons.

De plus, si on prévoit une période plus ou moins longue pendant laquelle attelage automatique et attelage à vis doivent être utilisés simultanément, encore faut-il que l'accouplement entre attelage automatique et attelage à vis soit possible, ce qui implique des modifications de l'un ou de l'autre système. De nombreux appareils ont été essayés et actuellement un seul a été reconnu acceptable par les experts internationaux. C'est « l'Unitendeur », proposé par la S.N.C.F., qui se monte sur les wagons conservant l'attelage à vis.

L'application de l'attelage automatique au matériel ferroviaire est, avec l'électrification, l'un des perfectionnements les plus importants qui puisse être apporté aux chemins de fer européens. En effet, il permettra une augmentation substantielle de la charge des trains, une meilleure rentabilité du matériel par une rotation plus rapide, une automatisation complète des opérations de triage et une économie importante dans les charges du personnel, compte tenu de la suppression des « attelers ».

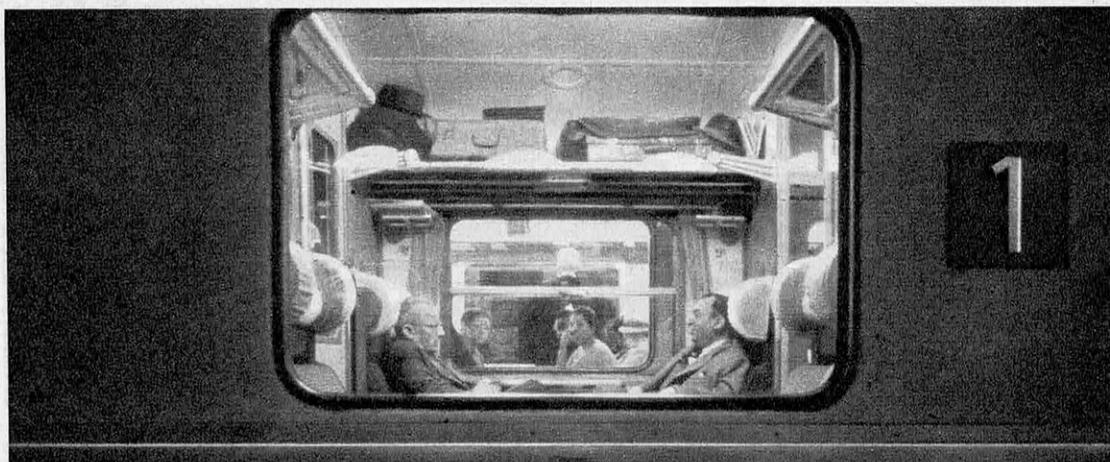
Les experts internationaux en sont bien persuadés et la préparation complète des propositions nécessaires à ce projet sera certainement l'une des plus belles réalisations de l'Union Internationale des Chemins de Fer.

M. BOUTONNET

Ingénieur Général à la

Direction du Matériel et de la Traction de la S.N.C.F.

LES VOITURES MODERNES ET LEURS AMÉNAGEMENTS



Le transport des personnes par chemin de fer est un service public et, à ce titre, il est soumis à un nombre important de règlements édictés par les pouvoirs publics, les uns sur le plan national, les autres sur le plan international, où ils ont fait l'objet d'accords extrêmement étendus. En dehors de ces règles qui leur sont imposées, les diverses administrations de chemins de fer réunies au sein de l'Union Internationale des Chemins de fer (U.I.C.) se sont donné elles-mêmes tout un code grâce auquel les voitures à voyageurs peuvent circuler sans entraves dans les divers pays de l'Union. Dépassant même les nécessités d'un échange aisé d'un réseau à l'autre, les ingénieurs des chemins de fer ont réfléchi en commun à un grand nombre de problèmes touchant la sécurité, la commodité d'entretien, la disposition même des divers organes des voitures, et ils sont arrivés à une définition de la voiture moderne très poussée dans le détail.

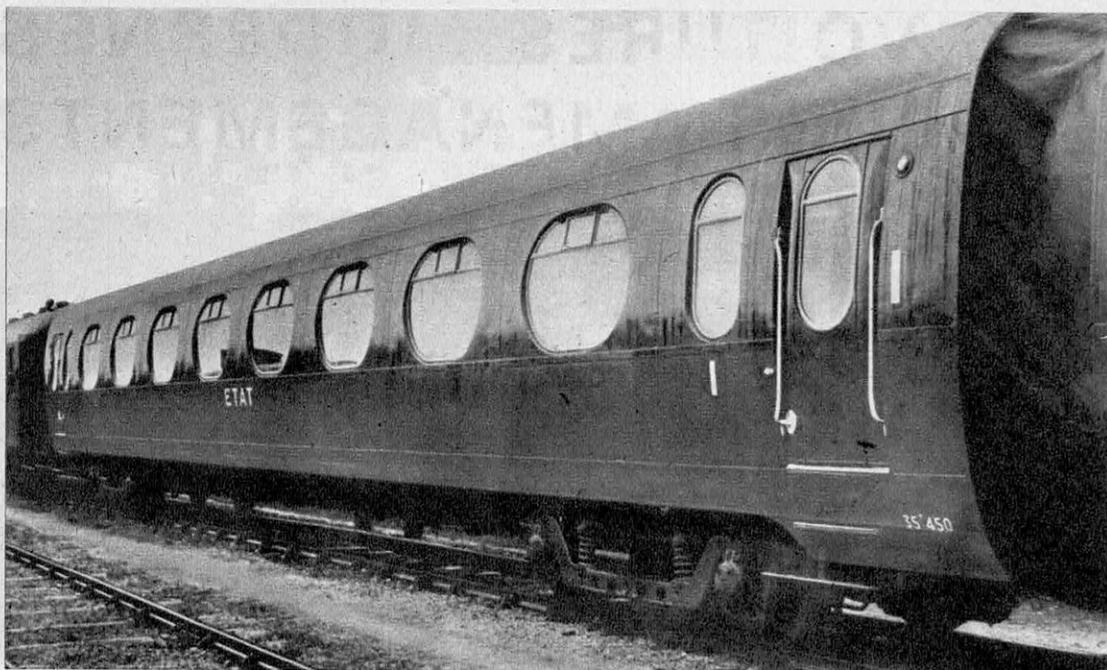
La rapidité de nos trains est bien connue, rappelons néanmoins quelques chiffres. Le plus célèbre est le Mistral qui relie Paris à Lyon en 4 heures exactement, ce qui représente, sur 512 km, la belle moyenne de 128 km/h. Poursuivant sa route jusqu'à Marseille, le Mistral effectue le trajet total de 863 km en 7 h 10 mn. Si ce train très rapide comporte uniquement des voitures de 1^{re} classe, un autre train sur la même ligne, baptisé celui-là « Aquilon », prend à peine 14 minutes de plus sur le parcours de Paris à Lyon et est

accessible aux voyageurs de 2^e classe. Bien connu également est le Sud-Express qui relie Paris à Bordeaux, soit 581 km, en 4 h 47 mn.

Les services Trans-Europ-Express, ou T.E.E., réalisent aussi de belles performances puisque les 310 km de Paris à Bruxelles ne demandent que 2 h 30.

De telles vitesses moyennes ne peuvent être tenues que si la vitesse de pleine voie est normalement de 140 ou parfois de 150 km/h. En réalité, nos voitures sont capables de rouler tout à fait normalement à la vitesse de 160 km/h et il n'y aura aucune difficulté particulière à les utiliser à des vitesses supérieures. Après le record de vitesse de 331 km/h en mars 1955, la recherche de la plus grande vitesse n'a cessé de progresser : on sait que les Japonais roulent couramment à 200 km/h sur leurs lignes spécialement équipées du Tokaido, tandis que des essais de circulation à la même vitesse sur des voies existantes deviennent de plus en plus nombreux, en France et en Allemagne Occidentale en particulier.

Les visiteurs de l'Exposition internationale des transports, à Munich, se sont vu offrir la possibilité d'effectuer, à titre d'attraction, un voyage spécial à 200 km/h entre Munich et Augsburg, le trajet de 62 km étant parcouru en 26 minutes à l'aller comme au retour. Il était remarquable de constater au cours d'un tel voyage combien la vitesse est peu impressionnante dans le train, tant est grande la stabilité des voitures.



Les premières voitures métalliques réalisées en France vers 1925 comportaient une caisse formée de multiples panneaux assemblés par rivetage (ci-contre). Plus tard, des modèles beaucoup plus légers, avec caisse emboutie et soudée (ci-dessus), furent mis en service sur le réseau de l'État.

Vitesse et sécurité

Comment de telles vitesses sont-elles possibles ?

Il faut d'abord, évidemment, que les véhicules, locomotives ou voitures, soient correctement guidés par les rails et que les petits chariots à quatre roues, appelés bogies, qui supportent ces véhicules, n'exercent sur la voie, en aucune circonstance, des efforts tels qu'ils puissent la déformer ou la quitter.

Il faut disposer également de tracteurs assez puissants, car la résistance globale au déplacement croît avec la vitesse, de telle sorte que les puissances mises en jeu atteignent 4 000 kW pour des trains de 600 ou 700 t. La réalisation de tels engins ne pose aucun problème avec des locomotives électriques, et l'on peut espérer que les locomotives diesel atteindront dans l'avenir les mêmes possibilités.

Il faut aussi pouvoir ralentir et arrêter les trains lancés à de telles vitesses, dans les gares ou en pleine voie. Ceci pose deux problèmes : signalisation et freinage. Le premier est tout à fait en dehors de notre propos, le second mériterait à lui seul tout un exposé.

Disons seulement que pour les vitesses de 150 ou 160 km/h, le frein à air comprimé qui équipe les bogies des voitures doit être déjà un frein à haute puissance, conforme aux prescriptions de l'U.I.C. Chaque roue est freinée par quatre semelles en fonte, alors que le frein ordinaire n'en comporte que deux, et ces semelles sont appliquées avec une pression plus grande lorsque la voiture roule rapidement que lorsqu'elle roule à basse vitesse. Lorsque la vitesse du train décroît, le changement de régime doit être effectif à la vitesse de 50 km/h. Ce changement de régime est commandé automati-

quement par un alternateur tachymétrique installé au bout de l'un des essieux du bogie. Avec le dispositif de commande qui lui est lié, c'est le premier automatisme dont nous ayons l'occasion de parler pour une voiture moderne.

L'efficacité du freinage des voitures est déjà utilisée près de sa limite pour les vitesses élevées courantes. Quand il s'agit de voitures que l'on veut faire rouler à des vitesses supérieures, 200 km/h par exemple, il devient nécessaire, pour ne pas accroître démesurément les longueurs d'arrêt des convois, de recourir à d'autres systèmes, indépendants de l'adhérence rail-roue, tel que le patin électromagnétique qui, disposé sur le bogie au-dessus de l'un des rails, est appliqué sur celui-ci par un électroaimant. On doit consentir à utiliser de tels dispositifs lorsque les circulations à grande vitesse, peu nombreuses, doivent s'inscrire sur des voies dont la signalisation n'a pas été prévue pour de telles vitesses. Cependant, les ingénieurs qui construisent le matériel roulant préféreraient un allongement substantiel des distances d'arrêt permises par la signalisation afin de ne pas soumettre le matériel à la brutalité d'un arrêt sur une distance trop courte.

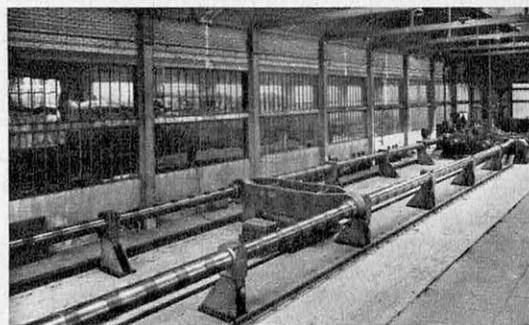
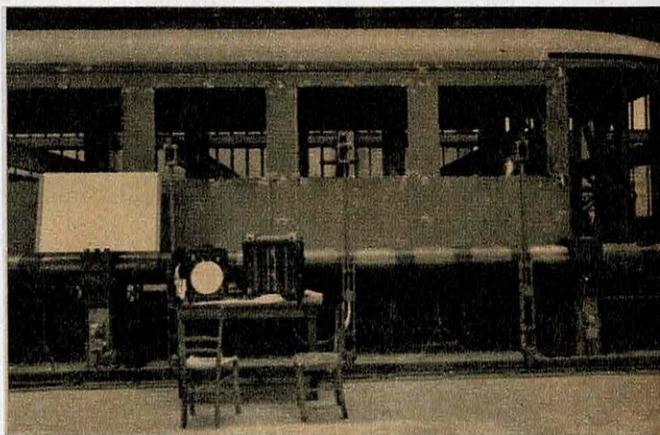
La sécurité doit être encore sauvegardée dans les cas, heureusement très rares, où l'accident ne peut être évité. Ce souci a toujours existé et, pour ne parler que de la situation en France, il a conduit à la réalisation, aux environs de 1925, de voitures entièrement métalliques offrant une sécurité plus grande que les voitures à châssis métallique et à caisse en bois. Les premières voitures conçues par l'Office Central d'Études du Matériel de l'époque s'inspiraient des principes appliqués en construction métallique rivée, la caisse de la voiture étant en somme étudiée par analogie avec un pont métallique. Ces voitures étaient très lourdes, puisque leur tare était voisine de 48 tonnes. L'assemblage par rivets constituait encore un point faible et l'on adopta bientôt des voitures dans lesquelles le châssis et la caisse constituaient un tout homogène, formé de panneaux de tôle épaisse emboutis et soudés. La tare restait encore très élevée, mais la résistance aux chocs était devenue excellente.

Les possibilités des engins moteurs, des locomotives à vapeur, étant alors assez limitées, le problème de l'allègement s'imposait. Une amélioration devint sensible à partir de 1935. Des voitures de grande ligne furent mises en service sur le réseau de l'État avec une tare de 36 tonnes, et sur l'Est avec une tare de 40 tonnes pour des voitures à 11 compartiments de 3^e classe.

Ce n'est qu'après la guerre que le nouvel organisme d'études, la Division des Études de Voitures et Wagons de la S.N.C.F. (constituée en 1938), put s'attacher à l'étude complète de la future voiture de grande ligne dont la réalisation fut mise en œuvre à partir de 1946.

Vers 1950 est apparue la possibilité pour les bureaux d'études de vérifier expérimentalement le bien-fondé de leurs calculs. L'élément déterminant fut l'emploi de la jauge à fil résistant, grande comme la moitié d'un timbre-poste, que l'on pouvait fixer sur une membrure pour suivre, en mesurant les variations de résistance, ses déformations sous des efforts statiques ou dynamiques. Une installation d'essais, à Vitry-sur-Seine, permit ainsi en particulier de soumettre une caisse entière aux charges verticales et aux efforts de compression qu'elle subit effectivement en ligne.

Un autre fait important fut la mise en commun sur le plan international par l'U.I.C. et par son organisme de recherche et d'essais (O.R.E.) d'une vaste étude sur



Au banc d'essais de Vitry, les voitures prototypes sont soumises à des compressions de plusieurs centaines de tonnes, dont les effets sont mesurés par de multiples jauges à fil résistant fixées sur l'ossature.

le calcul des ossatures de voitures en confrontant les expériences des différents pays pour proposer une méthode d'emploi universel. Les calculatrices électroniques ont été mises à contribution et l'on en est maintenant à comparer les résultats des calculs avec ceux obtenus à la Station d'Essais pour affiner le choix des valeurs à donner aux multiples paramètres en cause. Ces travaux ont permis de fixer les efforts auxquels doit résister une ossature de voiture sans déformation permanente ni contrainte excessive. Un même niveau de résistance admis par toutes les administrations de chemin de fer de l'U.I.C. fera que les trains internationaux seront à l'avenir constitués de véhicules d'égale résistance, évitant ainsi qu'en cas d'accident un véhicule trop lourd et trop robuste vienne défoncer son voisin moins résistant.

Les voitures actuelles

Dans le même temps, l'U.I.C. entreprenait, comme elle l'avait fait antérieurement pour les wagons, de définir une voiture standard qui pourrait être construite en série pour satisfaire les besoins des différentes administrations. Cette standardisation n'a pas encore pu être atteinte et, en réalité, deux types distincts ont dû être pris en considération pour tenir compte des habitudes différentes enracinées dans les différents pays.

L'un des types correspond à la voiture allemande, long véhicule de 26,40 m offrant, en 2^e classe, 12 compartiments à 6 places, tandis que l'autre correspond à la voiture française, plus courte puisqu'elle n'a que 24,50 m hors tampons, pour transporter 80 voyageurs en 10 compartiments de 8 places. Sur ces deux types différents, un très grand nombre de dispositions ont été uniformisées pour une exploitation aisée lorsque les voitures effectuent des parcours internationaux.

Le type international est celui construit actuellement en plus grand nombre par la S.N.C.F. Mais d'autres modèles sont également réalisés. Par exemple, la voiture dite de service intérieur, longue de 25,094 m hors tampons, alignée sur les dimensions extérieures des voitures d'express dites de grande longueur qui ont précédé la voiture U.I.C. dans les programmes de 1955 à 1959. Elle est conçue pour transporter 80 voyageurs répartis en 2 salles, avec un couloir central. Une voiture de 1^{re} classe a été installée dans la même caisse pour recevoir 50 voyageurs en 2 grands compartiments et 4 compartiments classiques à 6 places.

Un autre genre de voitures a été également

construit pour constituer les rames Trans-Europ-Express maintenant en service sur Paris-Bruxelles-Amsterdam. Il s'agit cette fois de voitures de longueur plus grande que les précédentes, 25,500 m entre tampons, recevant soit 46, soit 48 voyageurs de 1^{re} classe, avec des variantes pour constituer des voitures équipées d'une cuisine pour la confection des repas comme les voitures restaurant classiques, ou encore des voitures-bar, où en dehors de quelques places assises normales se trouve une grande salle avec un bar et un petit office pour la préparation de quelques mets simples. L'ossature de ces voitures est en acier inoxydable à 18 % de chrome et 8 % de nickel.

L'une et l'autre de ces conceptions différentes répondent au niveau de résistance défini par l'U.I.C. à propos des voitures internationales. Ainsi toutes les voitures modernes de la S.N.C.F. constituent bien un ensemble homogène par sa résistance, de sorte qu'il ne peut y avoir de point faible dans les convois.

Le confort

En deuxième classe, où la largeur disponible pour un voyageur est à peu près de 50 cm, la tendance est maintenant de supprimer les anciennes banquettes, où la répartition des places n'était pas toujours très nette, pour les remplacer par des sièges individuels ainsi que cela a été fait totalement sur la voiture de service intérieur, et partiellement sur la voiture U.I.C. où subsiste encore un élément à deux places au centre de chaque compartiment.

En première classe, le siège est plus large, puisqu'il n'y a que 3 voyageurs dans une travée; il est toujours individuel, et réglable à plusieurs positions. Dans les voitures à compartiments de 6 places, l'assise peut être avancée, entraînant dans son mouvement le dossier, et l'appui-tête est réglable en hauteur pour l'adapter aux différentes statures des voyageurs. Dans les voitures à grande salle, c'est au contraire le dossier qui s'incline dans la position choisie car il n'est pas limité dans sa course par la cloison du compartiment. Dans les voitures de grand confort, Trans-Europ-Express, les mêmes dispositions sont appliquées dans une version simplement plus luxueuse.

La décoration des compartiments a fait l'objet de beaucoup de soins, et elle a pu être conciliée avec les exigences d'un entretien facile grâce à la généralisation des parois recouvertes de lamifié, gris en 2^e classe, beige en 1^{re} classe dans les voitures classiques, alors que sur le T.E.E. les parois sont recouvertes de texoid grège d'un aspect beaucoup



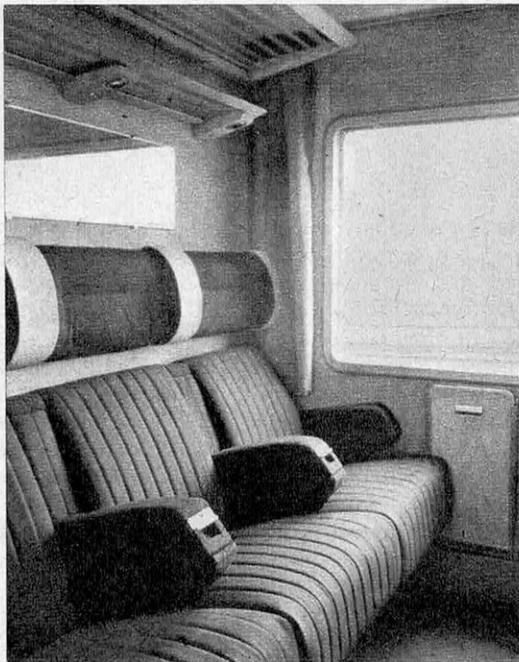
1 En seconde classe, toutes les voitures à couloir central du type dit « service intérieur » sont équipées de sièges individuels.

2 Sièges individuels réglables à plusieurs positions, dans un compartiment de première classe d'une voiture spéciale TEE.

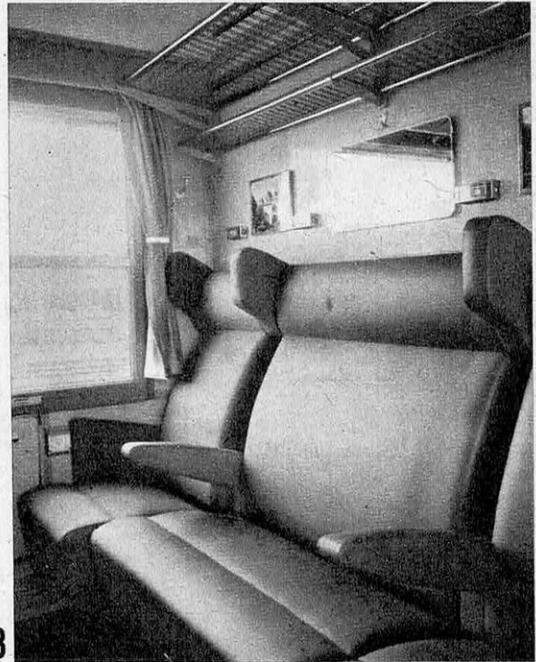
3 La voiture UIC de seconde classe comprend 80 places assises en dix compartiments, avec un élément à deux places au centre.

4 Luxueux aménagement avec larges sièges réglables d'un compartiment à six places dans une voiture de première classe UIC.

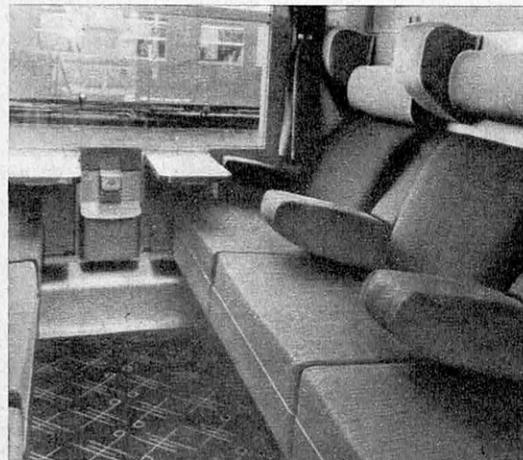
5 Ce vaste fauteuil, près de la baie vitrée, n'invite-t-il pas au voyage? (voiture de première classe, type « service intérieur »).



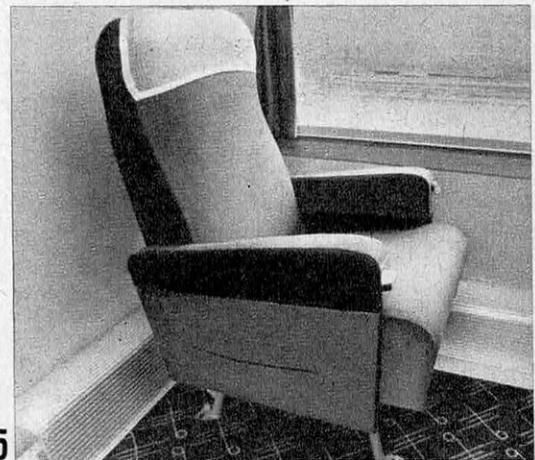
2



3



4



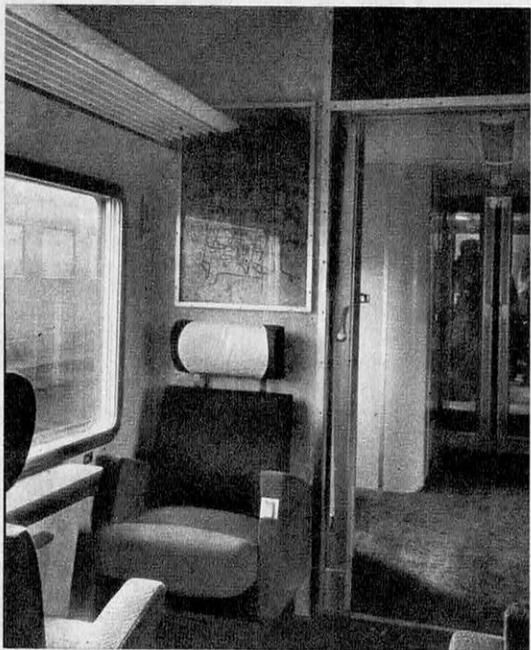
5



Sur le TEE, des stores vénitiens sont placés entre les glaces doubles et fixes des baies.



Les stores vénitiens donnent une protection efficace contre le soleil, sans gêner la vue.



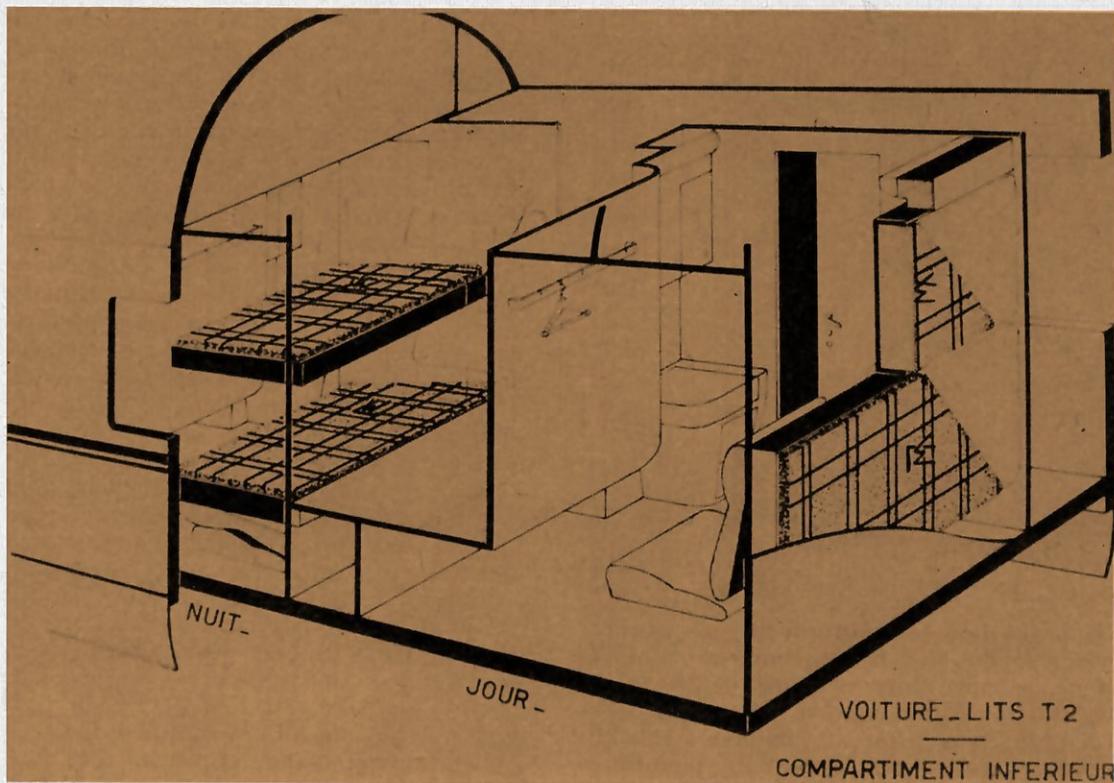
Les grandes salles des TEE peuvent aussi comporter de luxueux fauteuils réglables.

plus chaud que le lamifié. Dans le T.E.E., une solution originale a été adoptée pour se protéger du soleil tout en continuant à voir le paysage : c'est un store vénitien, commandé par un moteur électrique, installé entre les feuillettes de la glace double qui ferme les fenêtres des compartiments.

Les glaces doubles sont un élément important de l'isolation phonique et thermique. Dans le T.E.E. la solution est radicale, les glaces sont doubles et fixes, car l'air de la voiture est entièrement conditionné. Dans les voitures plus simples de 1^{re} ou de 2^e classe, les fenêtres sont à guillotine, la partie supérieure descendante, et l'on adopte maintenant des glaces doubles tant sur la partie fixe que sur la partie mobile.

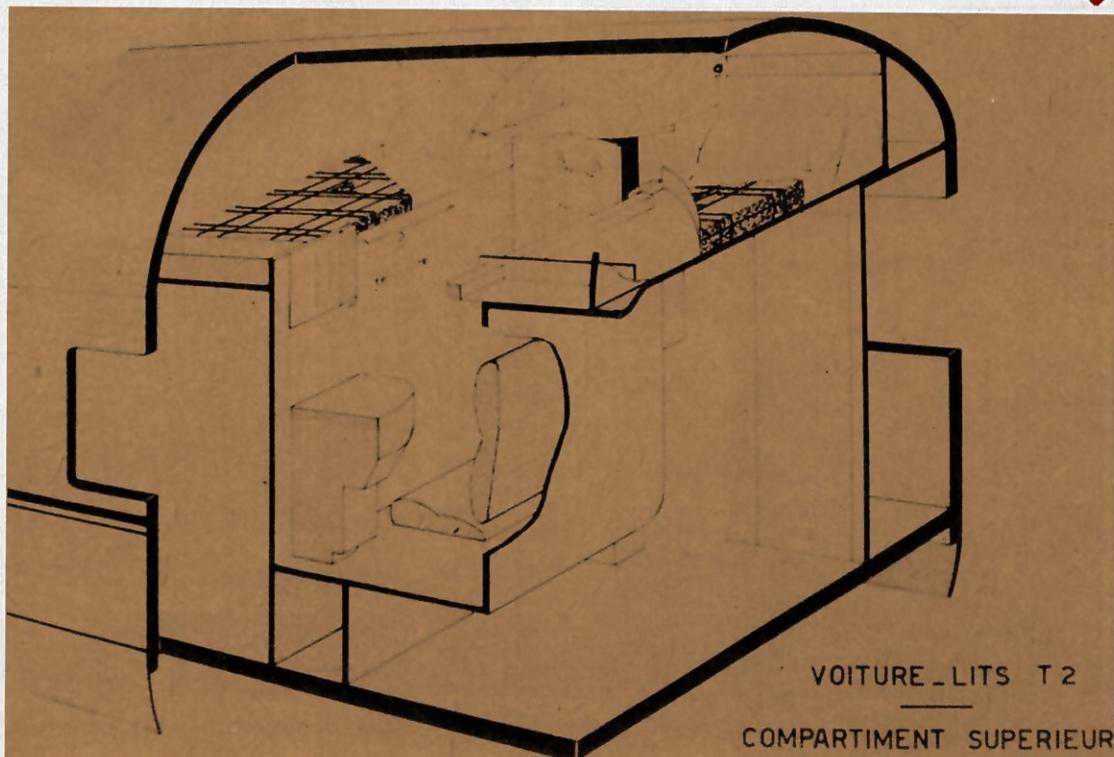
Les parois des voitures sont également traitées pour en augmenter l'isolation au bruit et à la chaleur; les tôles sont revêtues d'un enduit bitumineux, des nappes de laine minérale remplissent l'intervalle entre la paroi intérieure et la paroi extérieure, une tôle supplémentaire et, dans le cas du T.E.E., une feuille de plomb sont même ajoutées dans le plancher, dans la région particulièrement bruyante au-dessus des bogies.

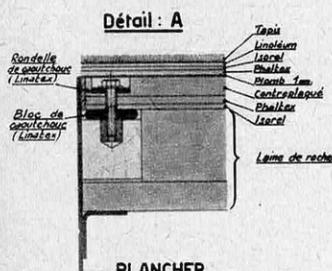
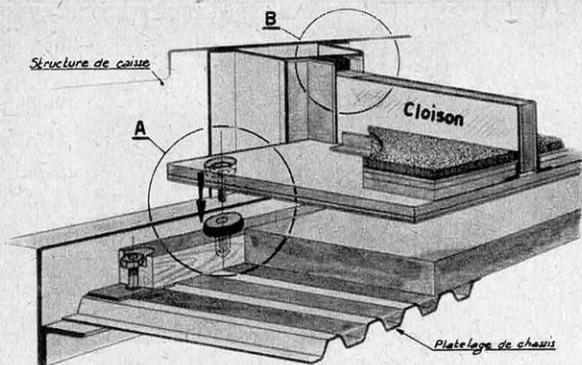
Le chauffage avec des radiateurs à vapeur est maintenant périmé, et toutes les voitures modernes sont équipées d'une distribution d'air chaud qui assure en même temps la ventilation. La température de cet air est modulée en fonction des besoins grâce à des sondes qui relèvent la température dans les compartiments et à l'extérieur. Le renouvellement d'air est important puisque le ventilateur peut débiter 1 000 m³ par heure sur les voitures de service intérieur et 1 600 m³ par heure sur les voitures U.I.C. Sur les voitures du service intérieur, les calories sont fournies par un brûleur à fuel qui assure à la voiture une complète autonomie. Sur la voiture U.I.C., les calories peuvent être apportées par une batterie de chauffe alimentée par la vapeur de la conduite de chauffage du train, ou par des résistances électriques reliées à la ligne du chauffage électrique; suivant les pays dans lesquels circule la voiture, le chauffage électrique doit être réalisable sous cinq formes différentes de courant, continu ou alternatif, à 50 périodes ou à 16 périodes 2/3, et ceci sous des tensions de 1 000, 1 500 ou 3 000 volts. Il faut signaler ici un dispositif extrêmement évolué qui permet au chauffage, dès qu'il est mis en service, d'entrer en action automatiquement quelle que soit la forme sous laquelle lui est envoyée l'énergie de chauffage, vapeur ou électrique sous les diverses formes que nous avons indiquées. Il s'agit d'un véritable cerveau électronique qui traite



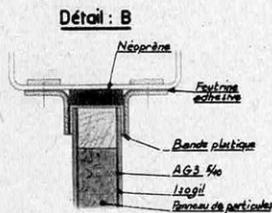
▲ Aménagement des compartiments inférieurs pour deux personnes, en version « nuit » et « jour », dans la nouvelle formule touriste.

Le compartiment supérieur est également prévu pour deux personnes, logées sur le même plan, dans la voussure du plafond. ▼





PLANCHER



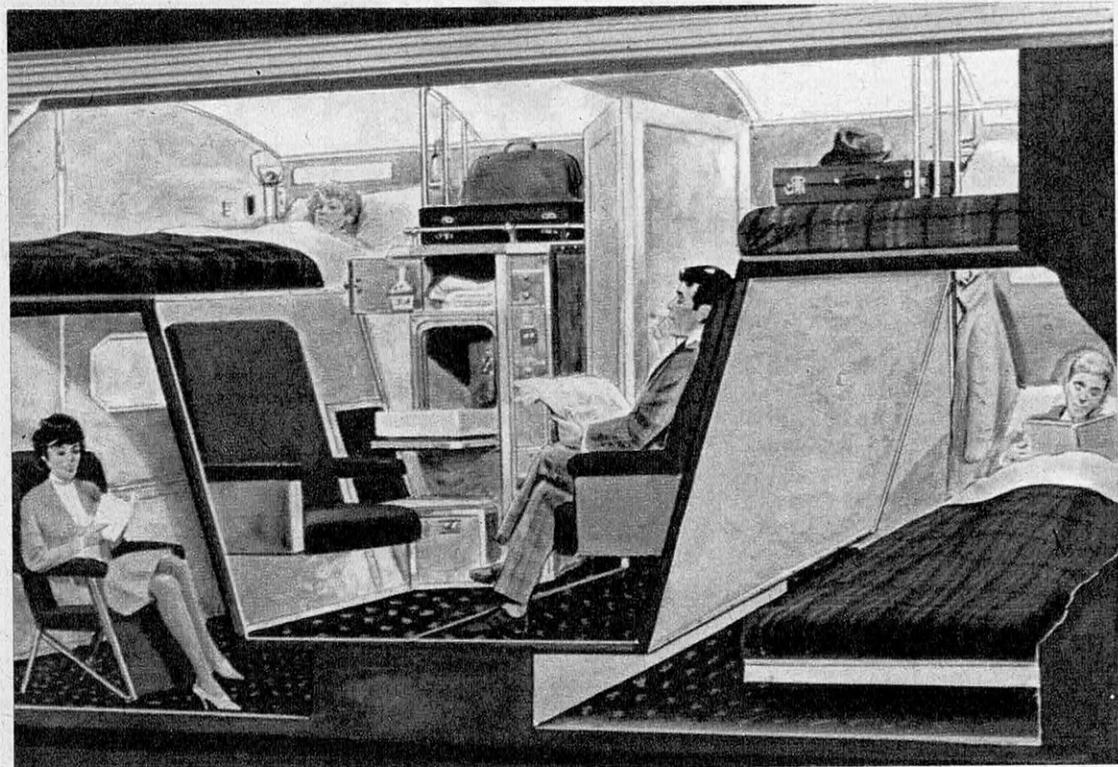
CLOISON

Dans les dernières voitures de la Compagnie des Wagons-lits, le plancher repose sur le châssis par l'intermédiaire de blocs de caoutchouc et comporte des couches de dix matériaux différents. Dans le même but d'insonorisation, les cloisons ont une âme en particules de bois prise en sandwich.

dans des circuits logiques les informations qu'il a reçues et provoque les manœuvres utiles de la vanne de prise de vapeur ou du commutateur de couplage des résistances électriques appropriées à la situation.

Sur les voitures du T.E.E., nous avons déjà dit que l'air était conditionné; le ventilateur de l'unité de conditionnement a un débit très supérieur à celui dont nous avons parlé dans les autres voitures, puisqu'il est de 3 750 m³ par heure. La puissance installée pour le chauffage, de l'ordre de 35 kW, est répartie par moitié entre des radiateurs au plancher de la voiture et la batterie de chauffe sur l'air de conditionnement. En refroidissement, un équipement électromécanique classique à compresseur délivre 21 000 frigories par heure environ; la régulation de cette installation est entièrement automatique. La puissance est fournie par un groupe diesel-alternateur situé dans un fourgon spécial.

Un élément important du confort est également de disposer de locaux sanitaires correctement aménagés; cet aménagement a fait l'objet sur le plan de l'U.I.C. de décisions très détaillées. Les voitures disposent à chaque extrémité non seulement d'un cabinet, mais aussi d'une toilette. Les lavabos



Dans une disposition actuellement à l'étude, des « singles » sont imbriqués sur deux

niveaux; deux compartiments supérieurs se réunissent en escamotant la cloison.



L'heure du « wagon-restaurant » constitue un moment de détente particulièrement apprécié sur les longs parcours. Dans le but d'améliorer le fonctionnement des voitures-restaurants, une formule libre-service est actuellement expérimentée sur Paris - Marseille.

Ci-contre, un autre aspect de la voiture libre-service mise en essais entre Paris et Marseille où elle donne des résultats satisfaisants. Des voitures plus perfectionnées sont à l'étude, qui permettront l'accès des voyageurs par les deux extrémités, et pourront être mises au milieu des trains.



sont alimentés en toute saison avec de l'eau atténuée; un modèle unique de distributeur de savon délivre du savon en poudre en râpant un bloc de savon solide; l'essuie-mains cède la place à des serviettes individuelles en papier; une prise de courant permet l'emploi d'un rasoir électrique devant une glace correctement éclairée. Un dernier détail: la fermeture du loquet de la porte du cabinet provoque l'allumage d'un voyant visible d'un bout à l'autre du couloir et évite donc aux voyageurs un dérangement inutile.

L'éclairage est aussi un élément appréciable de confort. Grâce à l'emploi de convertisseurs statiques à transistors, l'utilisation des tubes fluorescents à partir du courant des batteries d'accumulateurs d'une voiture ne pose maintenant plus aucun problème; le rendement très supérieur de ce mode d'éclairage par rapport à l'éclairage à incandescence autorise, sans consommation exagérée de courant, la réalisation de niveaux d'éclairage très supérieurs et l'on peut tenir aisément la recommandation faite par l'U.I.C. d'un niveau d'éclairage de 150 lux sur le plan de lecture à n'importe quelle place dans un compartiment.

Disons encore un mot des voitures-couchettes qui permettent d'effectuer un trajet de nuit sans fatigue appréciable.

Le confort du voyage de nuit en position couchée devient très accessible aux voyageurs de 2^e classe, grâce au développement de la construction de ces voitures, développement tel que la S.N.C.F. disposera bientôt dans son parc de 35 000 places couchées en 2^e classe. Le fait que ces voitures soient de construction relativement récente leur confère un niveau de confort tout à fait satisfaisant.

Nous ne ferons qu'évoquer la voiture-lits de la Compagnie Internationale des Wagons-lits, soulignant néanmoins le confort qu'offrent les compartiments des nouvelles voitures de cette Compagnie, compartiments à 1, 2 ou 3 lits superposés, équipés avec draps et couvertures, les voyageurs disposant d'un lavabo par compartiment.

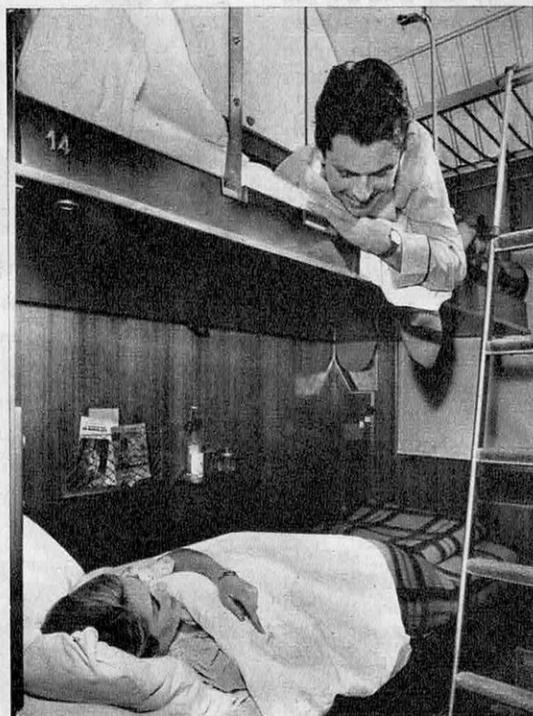
Une autre forme de détente pendant le voyage est celle qui consiste à se rendre au wagon-restaurant. Indiquons seulement, sans entrer dans le détail sur ce genre particulier de voitures, que la S.N.C.F. recevra à partir du milieu de l'année prochaine les premiers éléments d'une série de 42 voitures-restaurant dotées du conditionnement d'air et d'installations de cuisine extrêmement modernes.

M. TARBOURIECH

Ingénieur Principal Hors-Classe à la Direction du Matériel et de la Traction



Les compartiments couchettes du type « universel » sont prévus pour un, deux (ci-dessus) ou trois voyageurs (page ci-contre). Le jour, les trois lits sont escamotés dans la cloison et une banquette à sièges séparés peut alors se déployer (ci-dessus).





LES GRANDES VITESSES

Dans l'esprit du public, la vitesse devrait être le souci majeur du « transporteur ». C'est une réaction normale de la part du voyageur. Le public s'attache, de plus, à la notion de vitesse parce qu'il la considère comme un critère de réussite.

Le point de vue du transporteur n'est pas aussi simple. Le trafic marchandises est en effet prépondérant et constitue de loin la partie la plus élevée des recettes. Or, économiquement parlant, ce qui importe surtout, c'est de remorquer beaucoup de tonnes par tonne de locomotive, donc de bien utiliser l'adhérence; la vitesse est secondaire.

Grande vitesse et adhérence ont été les soucis essentiels des services techniques de la S.N.C.F. au cours de ces dernières années. Disons, pour bien situer les parts respectives, que la vitesse est apparue comme le problème le plus facile à résoudre.

Ce fait ne semblait pas évident à priori. Quand, en 1954, la S.N.C.F. voulut connaître la vitesse limite que son matériel voyageurs pouvait accepter, on en était encore à ce qui était considéré comme une loi à l'époque, à savoir que les efforts exercés sur les voies croissaient à peu près proportionnellement au carré de la vitesse. De ce fait, les essais suivirent une prudente progression. On atteignit jour après jour les paliers de 165, 185, 222, 232 et 243 km/h. Au lieu de la loi du carré de la vitesse, on enregistra des valeurs d'efforts alignées sur une droite. On décida alors de poursuivre des essais à vitesses plus élevées.

Le désir de la S.N.C.F., il faut bien insister sur ce point, n'était pas d'augmenter les vitesses de ses trains à une valeur très supérieure à la plage 140-160 km/h, mais seulement de connaître le coefficient de sécurité réalisé chaque jour et de tirer des enseignements pour améliorer le confort aux vitesses pratiquées en service.

L'obtention de vitesses supérieures à 240 km/h obligeait à changer la démultiplication habituelle du matériel moteur. Ce fut la seule modification apportée, à l'image de ce que fait le coureur cycliste lorsqu'il modifie le développement de sa bicyclette suivant les profils qu'il parcourt.

Deux types de locomotives, on le sait, furent retenus : d'abord une CC de la même série que celle mise en piste l'année précédente, la CC 7107 de la Région Sud-Ouest; puis la BB 9004, un des deux prototypes avant-série de locomotives de vitesse plus légères que les CC et donc plus économiques d'achat et d'entretien, que la S.N.C.F. avait décidé de construire.

Compte tenu des efforts relevés sur la voie, il était permis de penser qu'on atteindrait la plage de vitesse comprise entre 300 et 340 km/h. Les nouveaux rapports d'engrenages furent établis en conséquence.

Mais les vitesses élevées exigent des puissances importantes et ces essais de vitesse permettent également de soumettre la partie électrique à des tests de surcharge en ligne. On a relevé au cours des essais, pour la locomotive BB 9004, une intensité par moteur de 1 275 A (pour une intensité au régime continu de 520 A) et au pantographe, pour une tension de 1,8 kV, une puissance de 10 000 kW. Les 28 et 29 mars 1955, les locomotives CC et BB atteignirent la vitesse de 331 km/h (record mondial).

A cette vitesse, l'effort transversal maximal sur la voie ne fut que de 5,5 t avec la BB, pour un maximum admissible de 8 t, dont on était donc encore bien loin. On décida cependant de s'en tenir là, certaines limites ayant été atteintes par ailleurs.

Il n'était, en effet, pas raisonnable d'aller au-delà pour les contraintes électriques et d'autre part le captage du courant sur la vieille caténaire Midi, malgré la haute qualité des pantographes, s'était avéré extrêmement difficile. Il faut en effet noter que la seule portion de voie française permettant d'atteindre et de maintenir des vitesses de l'ordre de celle réalisée est la voie des Landes, sur laquelle se trouve malheureusement une caténaire non compensée.

Notons que la S.N.C.F. présentait bien des difficultés importantes de captage; c'est pourquoi elle avait réalisé en décembre 1954, sur la ligne des Landes, la remorque à 210 km/h de 15 voitures, soit 626 t, avec attelage de deux CC 7100, afin d'étudier le captage de courants de l'ordre de 4 000 A.



PH. L. VIGUIER

Une des plus récentes locomotives de vitesse de la S.N.C.F., la CC 40100...

Les études récentes

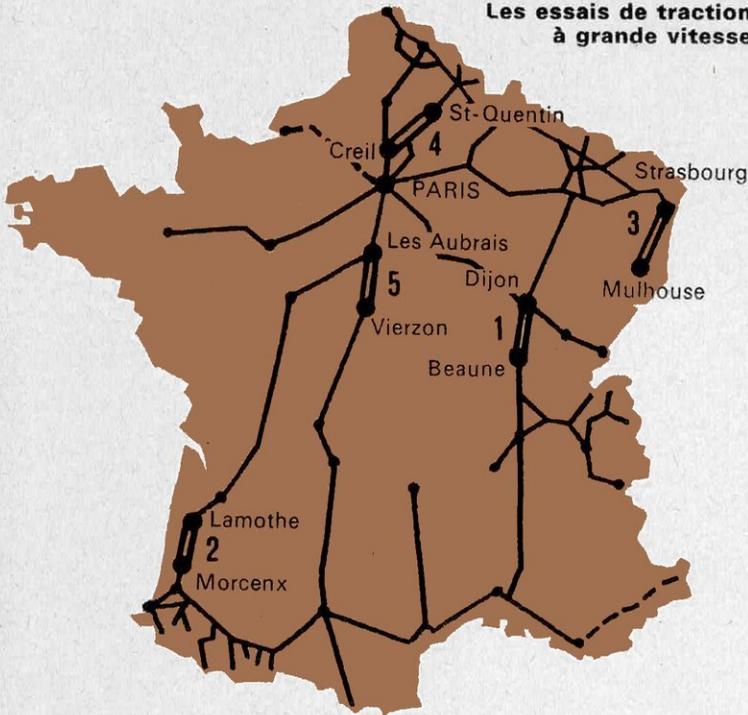
Depuis 1955, la S.N.C.F. a poursuivi ses essais dans le but bien précis d'améliorer la sécurité, le confort et la régularité du service courant. La traction monophasée 25 kV-50 Hz s'étant implantée en France, nous désirions étudier le captage à très grande vitesse sur caténaire très légère. En mai 1961, la locomotive BB 20103, équipée de redresseurs au silicium, remorquait une rame de trois voitures de Mulhouse à Strasbourg et atteignait 190 km/h sur la plus grande partie du parcours, réalisant une vitesse commerciale de 161 km/h. En octobre de la même année, 15 marches ont été exécutées entre 200 et 225 km/h par la BB 16007 remorquant de 3 à 6 voitures sur le parcours Richwiller-Colmar. Les enseignements fournis furent immédia-

tement appliqués à l'amélioration des caténaires et des pantographes pour l'ensemble des électrifications en 25 kV-50 Hz. Puis les essais d'endurance ont continué, à la fois sous courant continu et sous courant monophasé.

Lors de la mise en service des CC 40100 quadricourant, nous avons voulu éprouver ce nouveau type de locomotive. A cet effet, sur le parcours Saint-Quentin - Creil, malgré ses sinuosités, nous avons atteint 222 km/h, le trajet Saint-Quentin - Creil étant effectué à la vitesse moyenne de 165 km/h. Sous courant continu, la CC 40103 a dépassé 240 km/h dans les Landes et 230 km/h sur Vierzon-Orléans, dans le but d'éprouver un nouveau système de signalisation.

Il faut en effet remarquer que la signalisation actuelle ne peut convenir à la très

Les essais de traction à grande vitesse



Année	Zone d'essai	V (km/h)	N° Locomotive
1954	1	243	CC. 7 121
	2	210	CC.7107 + 7113
1955	2	331	CC. 7 107 BB. 9 004
	3	225	BB. 16 007
1964	2	250	BB. 9 291
	4	200	BB. 9 531
	4	222	CC. 40 101
1965	5	200	BB. 9 291
	2	250	BB. 9 291
	2	240	CC. 40 103
	5	230	BB. 9 291
	5	230	CC. 40 103

LOCOMOTIVES APTES A CIRCULER A PLUS DE 200 km/h

Type	Nombre	Alimentation	Puissance continue (kW)	Masse (t)	V max. (km/h)	Particularités
 BB-9200	2	1,5 kV =	4 240 (5 760 ch)	84	250	2 moteurs par bogie
 BB-9400	5	1,5 kV =	2 210 (3 000 ch)	60	200	1 moteur par bogie (2 rapports d'engrenages)
 CC-40100	4	1,5 et 3 kV = 25 kV/50 Hz 15 kV/ 16 ² / ₃ Hz	3 670 (5 000 ch)	108	240	1 moteur par bogie (2 rapports d'engrenages)
 BB-16000 (1)	2	25 kV/50 Hz	4 130 (5 600 ch)	85	225	2 moteurs par bogie
TOTAL	13					

(1) équipées des bogies des BB-20101 et 20102.

grande vitesse; 160 km/h est un maximum pour les distances existantes entre nos panneaux de bloc automatique lumineux car le parcours nécessaire pour arrêter un convoi croît considérablement avec la vitesse de circulation; d'autre part, le mode traditionnel pour stopper un convoi, sabot contre roue, interdit d'exercer des pressions trop importantes pour deux raisons : risque de fusion du sabot et cessation du freinage; détérioration de la table de roulement, alors que les essais ont toujours montré l'absolue nécessité de roues bien rondes et à profil intact.

Ce que nous venons de dire fait apparaître l'intérêt vraiment passionnant des marches à grande vitesse. Elles permettent en effet d'étudier tous les problèmes du chemin de fer : la voie, le matériel aux points de vue sécurité, confort, robustesse, aussi bien dans ses parties électriques que mécaniques, l'ensemble indissociable caténaire-pantographe, l'alimentation en énergie, l'adhérence à grande vitesse, la signalisation, le contrôle des actions du mécanicien. Tout y passe.

Quelles conclusions pouvons nous tirer des essais déjà réalisés ?

Nous avons circulé à grande vitesse sans

aucune difficulté sur cinq portions de notre réseau, nous aurions pu en choisir d'autres. Ce sont seulement les parcours les plus rectilignes que nous recherchons.

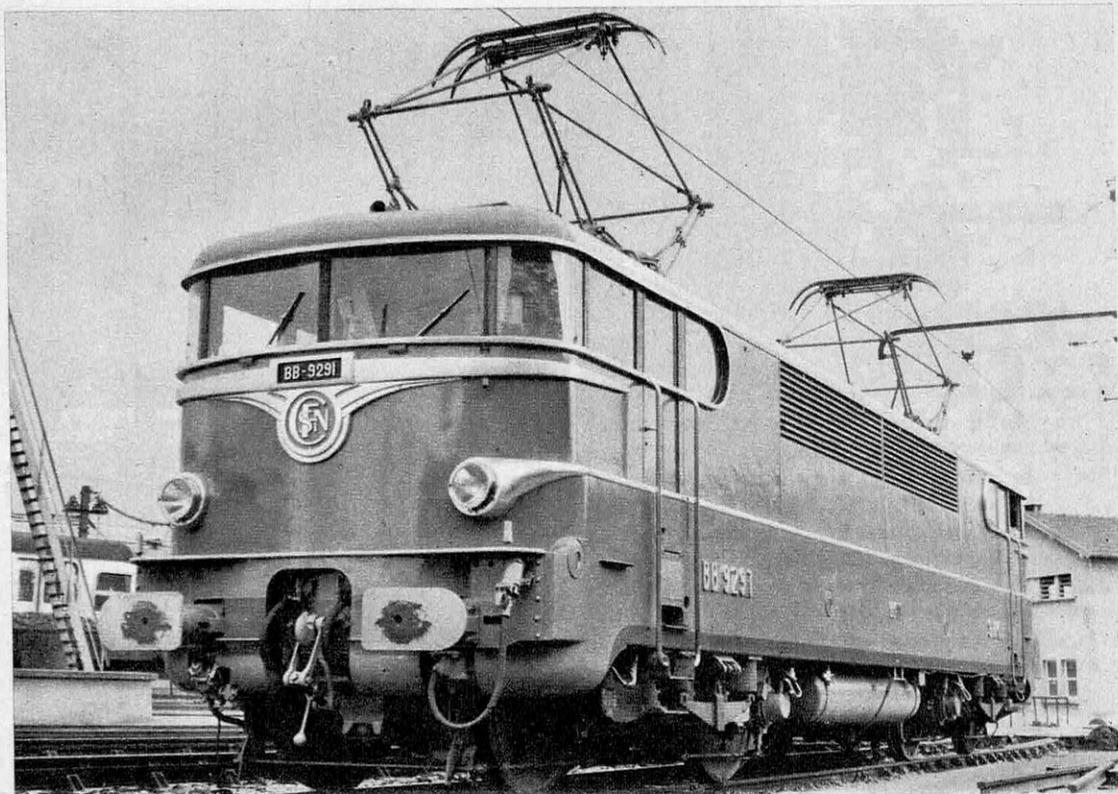
Nous avons circulé sur tous les types de voies : rails de 18 m, voie soudée, traverses en bois, traverses en béton.

Nous avons capté le courant à grande vitesse sur tous les types de caténaires, la caténaire 1,5 kV du Midi, posée il y a 40 ans, celle de l'électrification Dijon-Lyon, et aussi la caténaire monophasée standard dans nos électrifications 25 kV-50 Hz. L'alimentation a été assurée aussi bien par les vieilles commutatrices du PO-Midi, par des redresseurs à vapeur de mercure, que par nos récents transformateurs 25 kV.

Nous avons remorqué nos voitures normales, en 1954 celles du type 1950, en 1965 celles d'un type plus récent.

Nous avons mis en essais des locomotives non pas spéciales, mais bien nos locomotives de série.

Autrement dit, nous n'avons pas construit un matériel spécial pour nous assurer ces records, nous avons toujours utilisé le matériel que l'on peut voir en tête de nos trains commerciaux.



La BB 9291, fonctionnant sous courant continu 1,5 kV, a atteint 250 km/h entre

Lamothe et Morcenx sur la ligne des Landes. Elle développe 5 760 ch au régime continu.

A l'heure actuelle, la S.N.C.F. possède 13 locomotives de vitesse pouvant être utilisées sous n'importe quel type de courant, du type CC ou BB, à commande individuelle d'essieu ou à essieux accouplés, à faible charge par essieu (15 t) ou à charge normale. Ce sont :

— les BB 9291 et 9292 (84 t) fonctionnant sous courant continu 1,5 kV, de 4 240 kW (5 760 ch) au régime continu, dont les essieux sont commandés individuellement et la vitesse maximale de 250 km/h;

— les BB 9531 à 9535 (60 t), fonctionnant sous courant continu 1,5 kV, de 2 210 kW (3 000 ch) au régime continu, à bogies monomoteurs avec double rapport d'engrenages, dont la vitesse maximale est de 200 km/h;

— les CC 40101 à 40104 (108 t), quadricourant (1,5 et 3 kV continu, 25 kV-50 Hz et 15 kV-16 2/3 Hz monophasé), de 3 670 kW (5 000 ch) au régime continu, à bogies monomoteurs avec double rapport d'engrenages, dont la vitesse maximale est de 240 km/h.

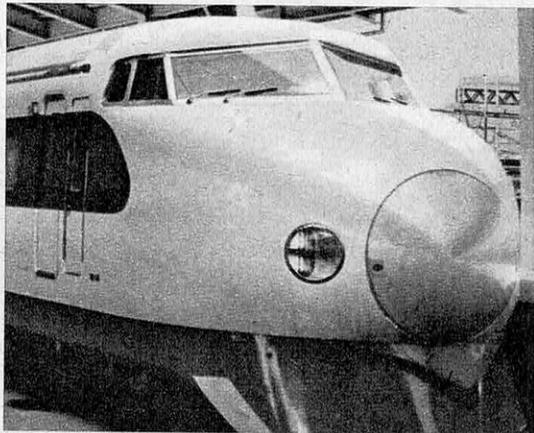
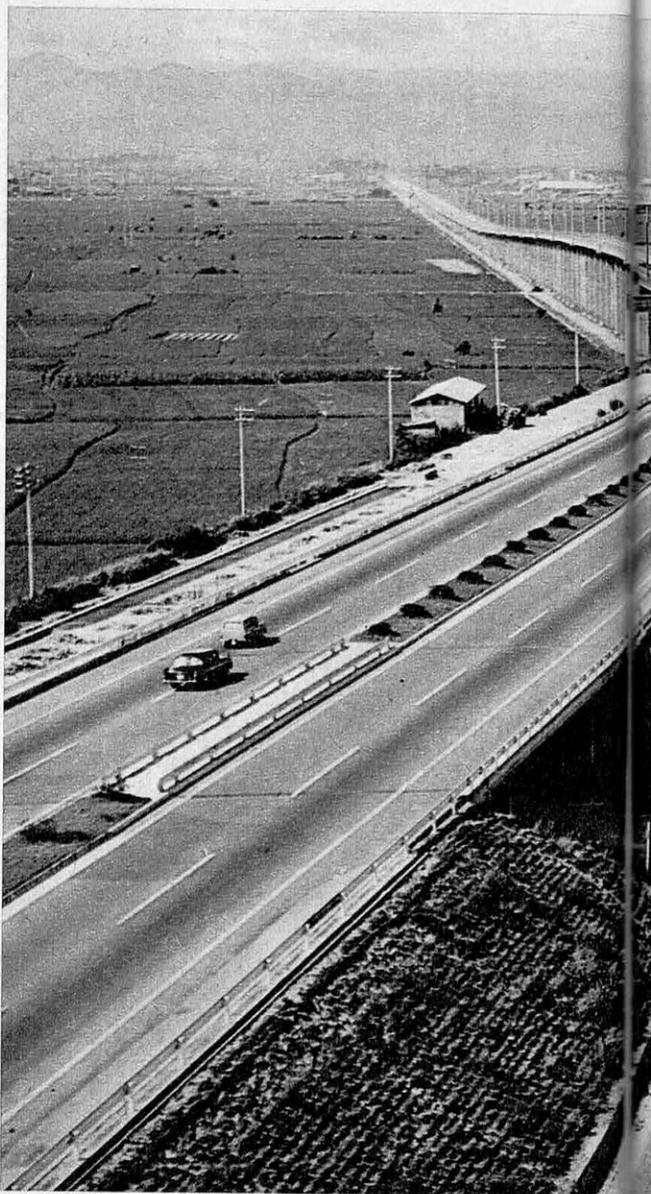
On peut de plus très facilement disposer de deux locomotives BB 16000 (85 t) aptes à circuler à plus de 200 km/h en remplaçant les bogies actuels pour obtenir le rapport d'engrenage désiré. Ces deux locomotives sont destinées aux lignes électrifiées en 25 kV monophasé. Leur puissance continue est de 4 130 kW (5 600 ch).

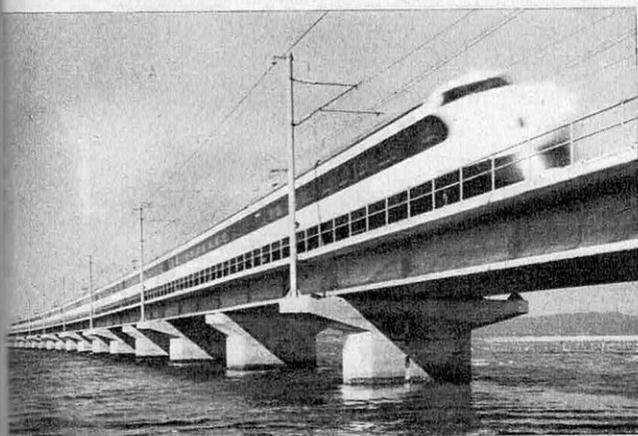
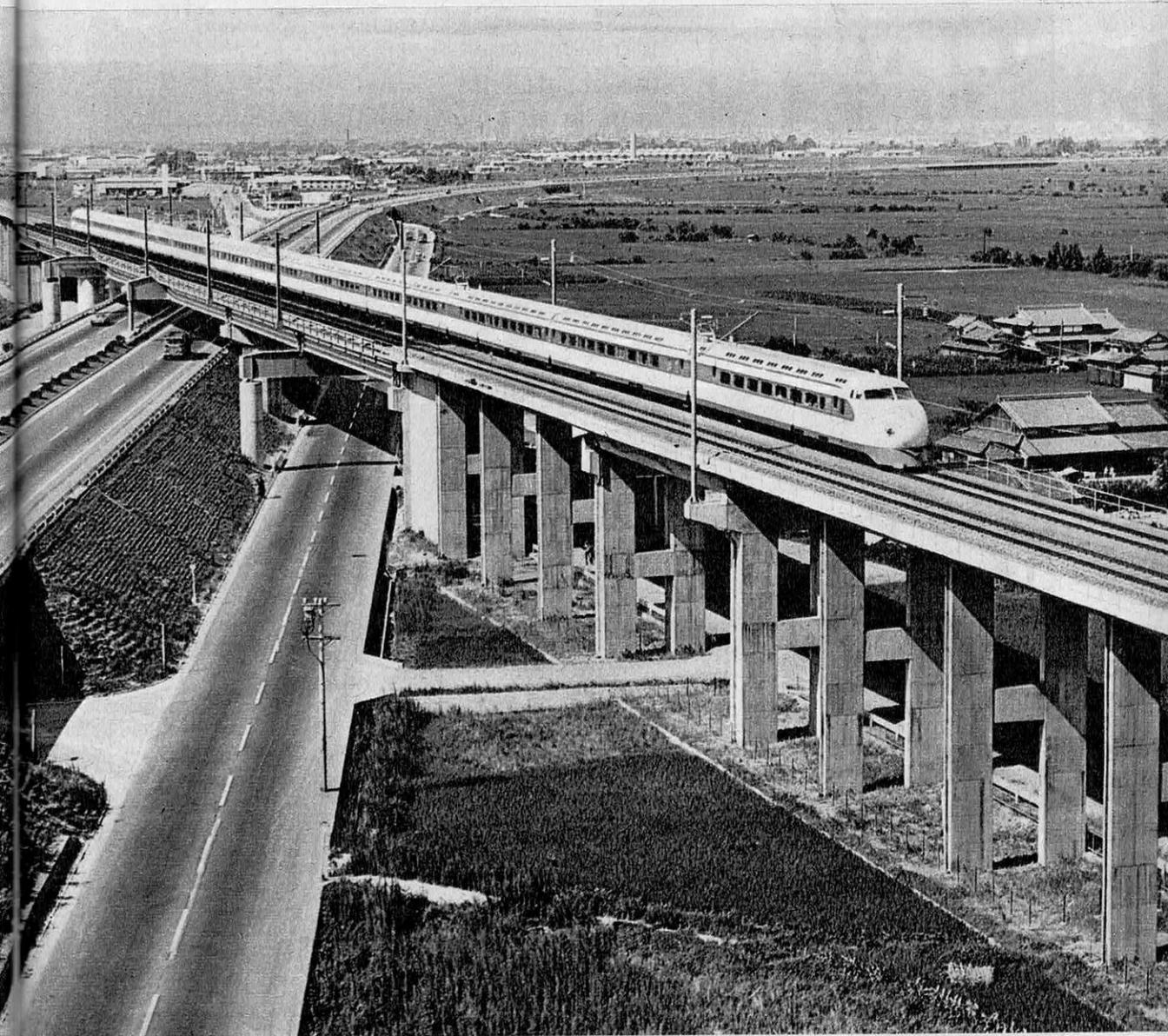
Ainsi nous sommes présents dans toutes les formules et sous tous les types de courant. Toutes ces locomotives sont, répétons-le, des engins en tous points comparables aux engins de série.

Réalisations étrangères

Le Japon, intéressé au plus haut point par nos essais, a envoyé en France de nombreuses missions. Finalement, il a décidé de construire une nouvelle ligne à écartement normal de Tokyo à Osaka pour assurer un service commercial rapide.

Le problème pratique s'est trouvé de ce fait considérablement simplifié : la voie comporte des alignements très longs, les courbes ont un rayon minimal de 2 500 m; les dévers ont été établis spécialement pour une circulation à grande vitesse, puisque les trains de marchandises eux-mêmes doivent rouler à 130 km/h; il n'y a aucun passage à niveau; la caténaire est à une hauteur constante sur les 515 km du parcours, ce qui permet de capter avec un pantographe miniature à tout petit débattement, dont l'influence aérodynamique est insignifiante; l'exploitation est scindée en deux parties, avec des trains de voyageurs le jour, et des trains de marchandises la nuit, ce qui évite la cohabitation de trains à vitesses très différentes.

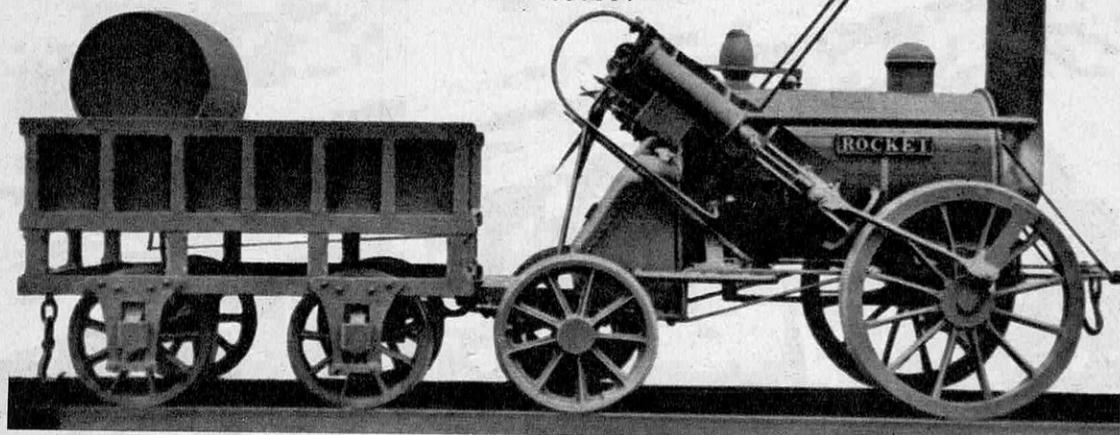




La liaison rapide mise en service par les Japonais entre Tokyo et le centre industriel d'Osaka est une spectaculaire démonstration des possibilités techniques des chemins de fer modernes. Le Tokyo-Osaka effectue actuellement son parcours de 515 km en trois heures, soit à une vitesse moyenne de 177 km/h, avec deux arrêts intermédiaires. Une telle performance est rendue possible par les caractéristiques de la ligne spécialement aménagée: alignements très longs, courbes à très grand rayon, etc., et par la conception très évoluée du matériel roulant comme de la signalisation, toutes les indications nécessaires à la conduite étant fournies directement à la cabine du mécanicien.

ÉTAPES DE LA VITESSE

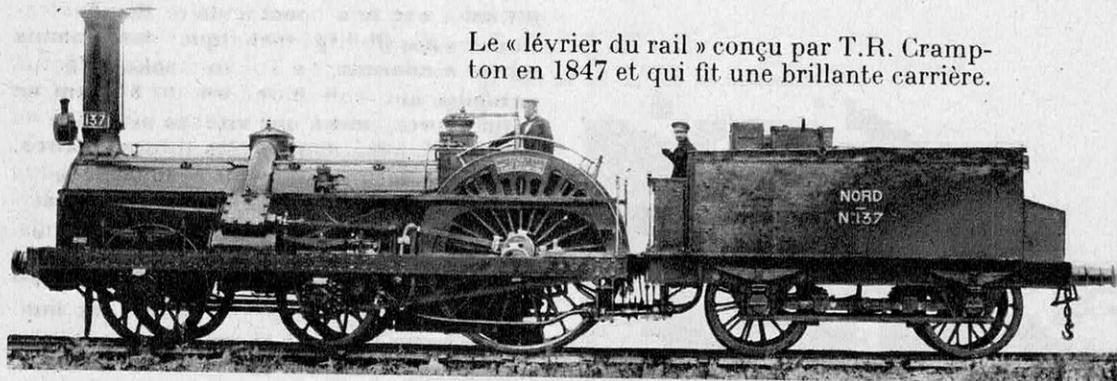
C'est sur rails que les 100 kilomètres à l'heure furent atteints pour la première fois dans le monde. Voici quelques machines qui marquèrent des étapes dans le domaine de la vitesse.



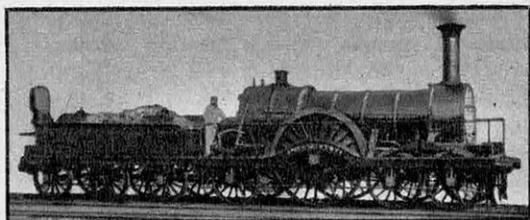
La « Fusée » de Robert Stephenson qui roula à 47 km/h, en octobre 1829.



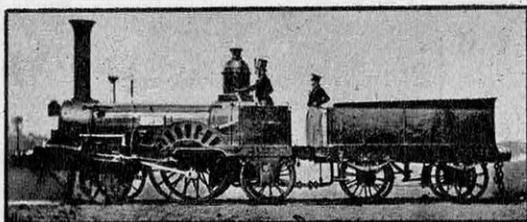
La locomotive Sharp et Roberts, première détenteuse au monde des 100 km/h, en 1835.



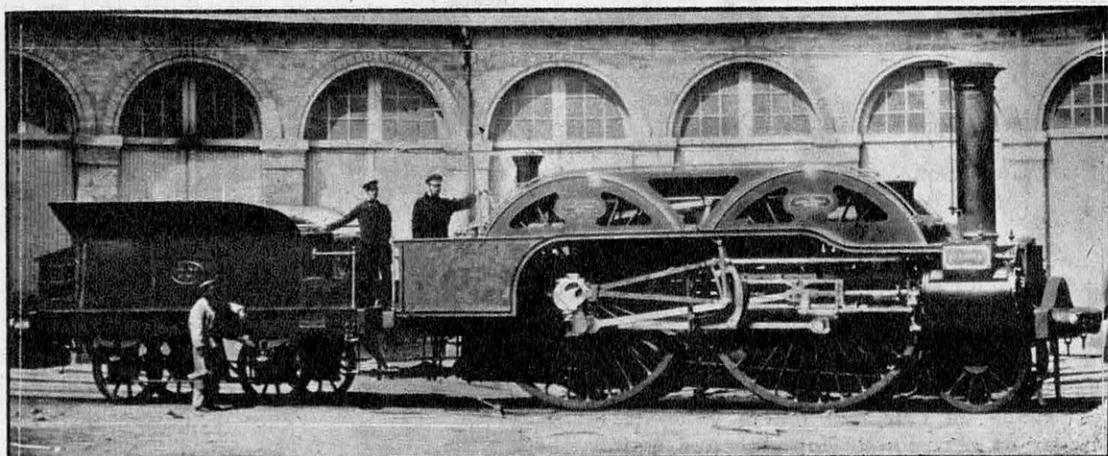
Le « lévrier du rail » conçu par T.R. Cramp-ton en 1847 et qui fit une brillante carrière.



La locomotive Gooch « Lord of the Isles » de 1851 pour la voie large (2,134 m).



La Buddicom de 1843 qui assura longtemps le service des express de Paris à Rouen.

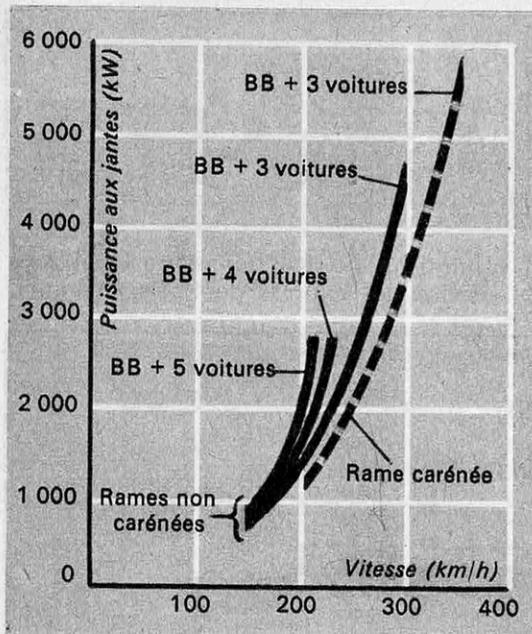


« L'Aigle » machine à grande vitesse de Blavier et Larpent, essayée sur l'Ouest en 1855.



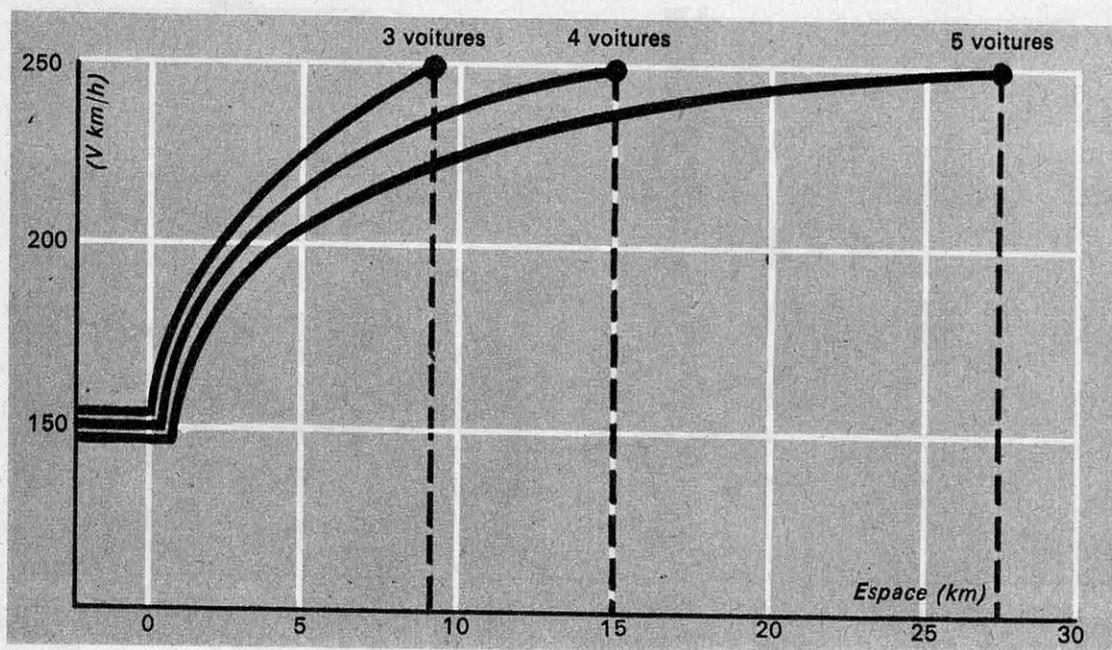
La locomotive à une seule paire de roues motrices de grand diamètre, conçue par

Patrick Stirling pour le Great Northern Railway, remporte une compétition en 1888.



La puissance nécessaire pour vaincre la résistance à l'avancement croît, du fait de la résistance de l'air, comme le cube de la vitesse et restreint le tonnage des trains.

Une autre limitation à l'accroissement de la vitesse est la distance nécessaire pour accélérer un train au delà de 150 km/h, qui augmente avec le nombre de ses voitures.



Par ailleurs, les Japonais ont établi un matériel spécial pour la grande vitesse. Là aussi ils se sont donnés de très larges facilités : faible charge par essieu (16 t), essieux tous moteurs, trains uniquement constitués d'assemblages d'éléments de deux voitures.

Ils ont donc choisi la formule la plus onéreuse, celle des automotrices, qui offre un avantage très sérieux du point de vue freinage : les essieux étant moteurs, il devient possible de réaliser un freinage électrique efficace de 200 km/h jusqu'à 50 km/h. L'action du sabot sur la roue est totalement supprimée, la freinage de 50 km/h à l'arrêt étant assuré par un frein à disque à très faible action.

Les Japonais ont mis au point, d'autre part, une signalisation toute nouvelle. Il n'y a plus de panneaux le long de la voie. Des indications de vitesse sont données au mécanicien directement dans la cabine. Le tout est évidemment réalisé au moyen de composants électroniques dont le nombre est tel que, pour assurer une fiabilité acceptable, on a doublé et triplé chaque dispositif.

Le résultat de tous ces efforts et des sommes considérables dépensées est tout à fait remarquable.

Toutes les heures entre 6 h et 20 h, à l'exception de midi, partent un train de Tokyo et un train d'Osaka ; ils accomplissent le trajet en 4 heures avec deux arrêts, Nagoya et Kyoto, soit, pour 515 km, une vitesse analogue à celle de notre Mistral. Depuis le mois d'octobre 1965, ce même trajet est accompli en 3 h, soit 171 km/h de moyenne.



Ci-dessus, l'engin de vitesse de la ligne Munich-Augsbourg qui remorque huit voitures (ci-dessous) à la moyenne de 143 km/h.

En outre, entre 6 h 30 et 19 h 30 partent à la demie de chaque heure, un train de Tokyo et un autre d'Osaka avec 10 arrêts intermédiaires, parcourant les 515 km en 5 h. Depuis octobre 65, le temps a été réduit à 4 h.

En service, la vitesse maximale est pour le moment de 210 km/h. Elle sera portée sans doute à 250 km/h.

En Allemagne, à l'occasion de l'exposition de Munich, les Chemins de fer fédéraux allemands ont commandé quatre locomotives CC de 108 t, alimentées en 15 kV-16 2/3 Hz, d'une puissance unihoraire de 6 420 kW (8 750 ch) à la vitesse maximale.

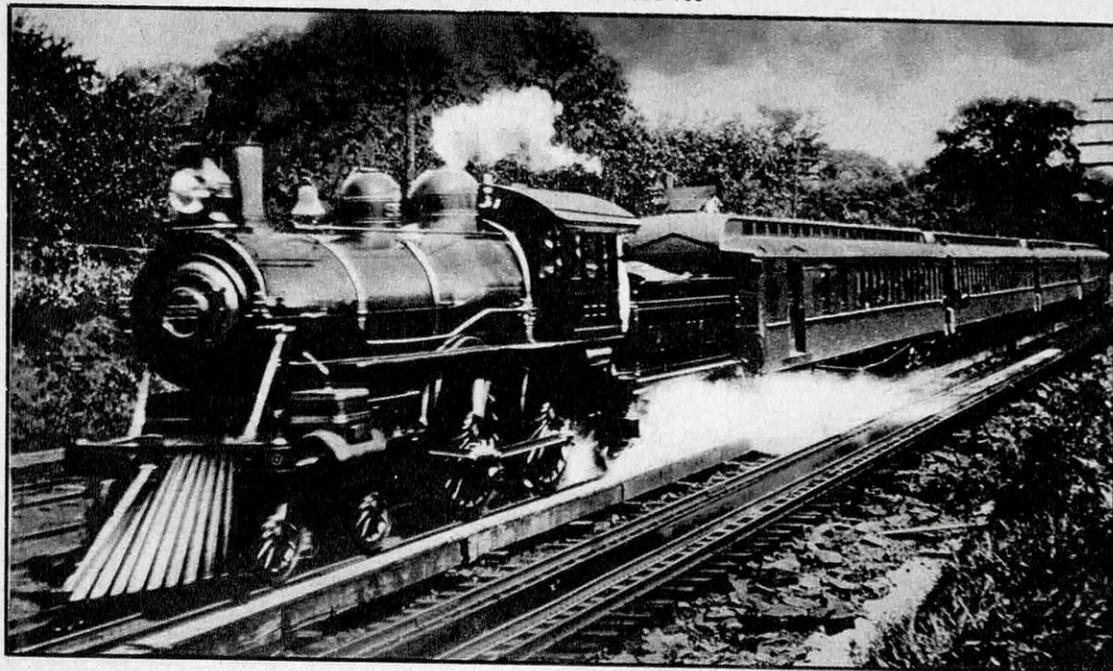
Ces machines remorquent deux à trois fois par jour des trains de 8 voitures entre Munich et Augsburg; la vitesse maximale est de 200 km/h et la vitesse moyenne, pour les 61,9 km effectués en 26 mn, de 143 km/h.

La position française

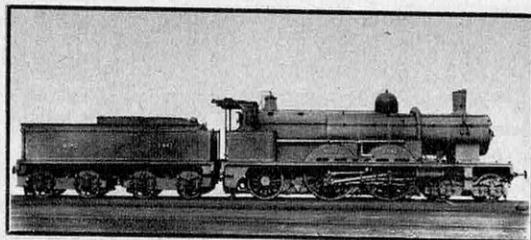
La S.N.C.F. possède, comme nous l'avons vu, un très grand nombre de locomotives capables de rouler à très grande vitesse. Nous pensons même être les seuls à présenter dans la formule locomotive un choix aussi grand de machines pouvant soutenir des vitesses de 200 à 250 km/h, et cela sous tous les genres de courant. Tous ces types assurent la remorque normale de nos rapides. Mais, répétons-le, la grande vitesse est pour la S.N.C.F. synonyme d'investigation et non de panneau publicitaire.

En 1965, nous relevons journalièrement à la S.N.C.F. 137 357 km parcourus à vitesse

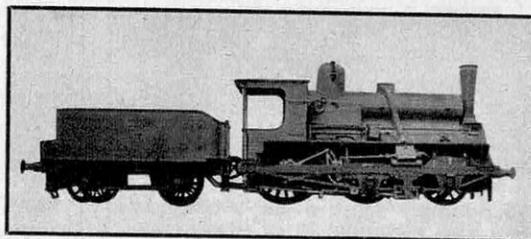




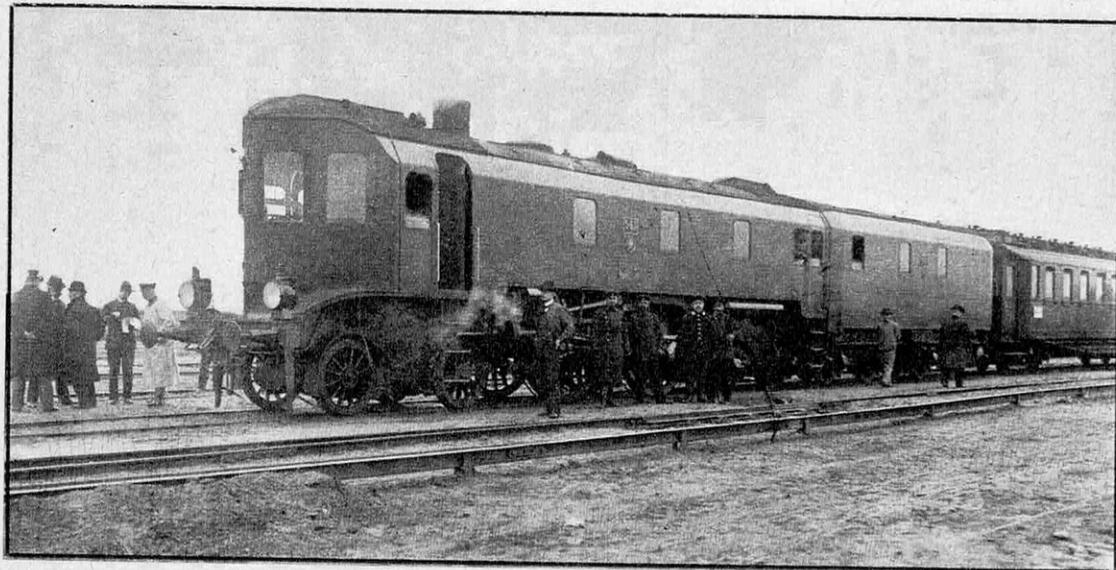
Le 10 mai 1893, aux États-Unis, la locomotive « 999 » du New York Central atteint 181 km/h.



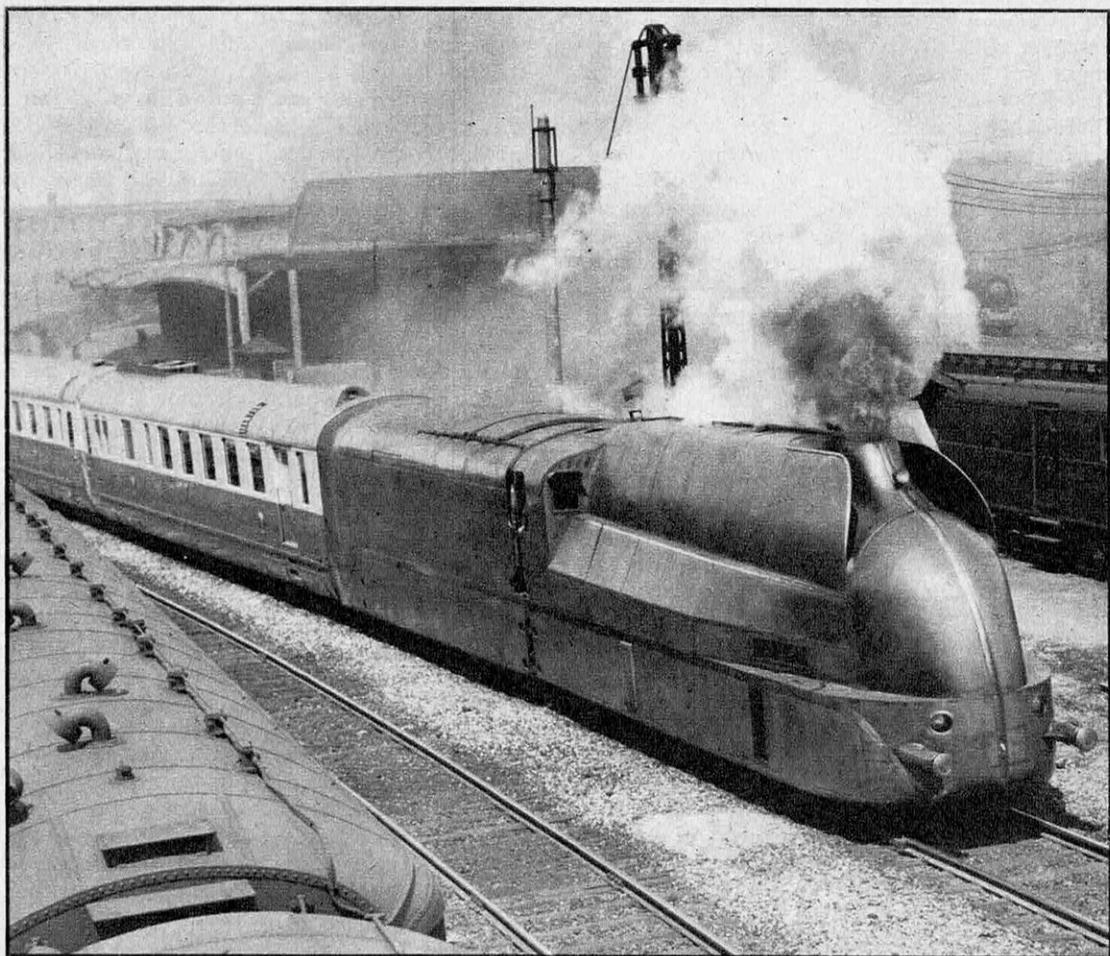
L'Atlantic du Nord, étudiée par de Glehn et du Bousquet, remorquait les trains rapides en 1900 avec des pointes à 120 km/h.



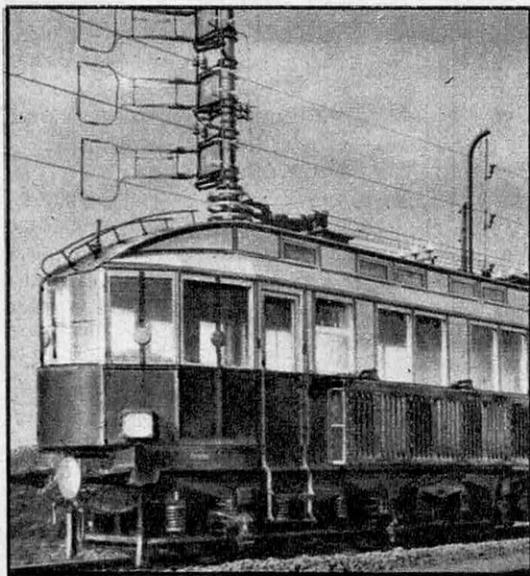
La locomotive Crampton de l'Est, équipée d'une chaudière Flaman, qui fit 144 km/h entre Montereau et Sens, le 21 juin 1890.



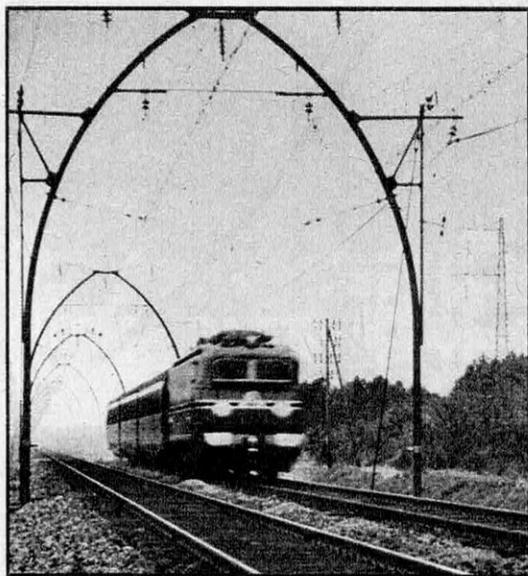
1904: la machine à vapeur de Henschell pour rapides avec postes de conduite à l'avant.



Train aérodynamique de 1935 qui reliait Paris à Lyon en 5 h à la vitesse de 102 km/h.



Automotrice électrique allemande qui dépassa 200 km/h au cours d'essais en 1903.



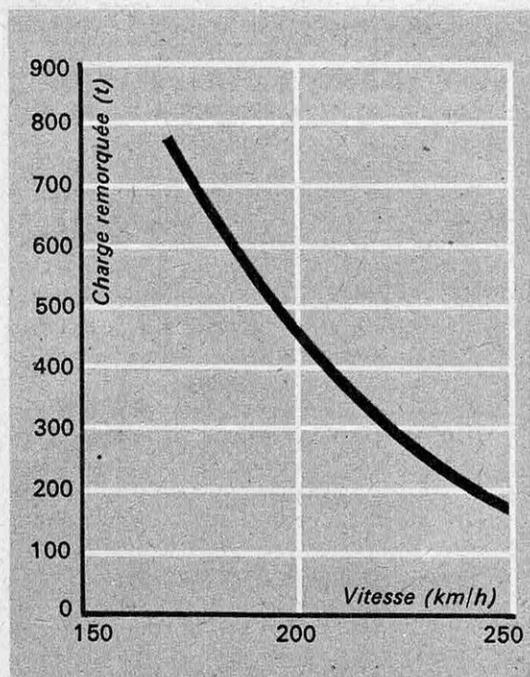
En 1955, la CC 7107 de la S.N.C.F. porte le record de vitesse sur rails à 331 km/h.

supérieure à 100 km/h, dont 120 384 km en traction électrique. C'est dans le développement des liaisons à vitesse moyenne élevée qu'on peut voir l'avenir de la S.N.C.F. plutôt que dans la mise en service de relations rapides spectaculaires. On sert mieux l'ensemble de la clientèle à moindre prix.

Pour le moment, la grande vitesse n'est pas économique, car nous ne voulons pas refaire nos voies, ce qui serait trop coûteux. Par ailleurs, si on veut profiter réellement d'un accroissement de vitesse maximale, il faut évidemment conserver une très grande réserve d'accélération aux environs de 150 à 200 km/h.

Précisons quelque peu ces points. Toute la difficulté provient, en fait, de ce que se déplacer sur le sol à grande vitesse est coûteux en puissance, car la résistance de l'air demeure. Quand l'avion veut voler plus vite, il change de milieu et monte pour trouver une atmosphère raréfiée. Au sol, la résistance au roulement est absolument négligeable devant la résistance de l'air; même si elle était nulle le problème ne changerait pas d'aspect.

Si l'énergie, qui est proportionnelle à l'effort résistant, varie sensiblement avec le carré de la vitesse en profil facile, la puissance, qui est le produit de l'effort par la vitesse, varie donc pratiquement avec le cube de la vitesse. C'est ce qu'illustre la figure ci-contre. On remarque qu'avec la rame à 3 voitures



Quand la vitesse dépasse 150 km/h, la charge remorquable décroît fortement.

non carénée, il faut, à 225 km/h, une puissance, trois fois plus élevée qu'à 150 km/h, et à 300 km/h, une puissance pratiquement sept fois plus élevée. Ceci conduit, avec la rame sans carénage, à dépasser les puissances des locomotives actuelles. De toute manière, il ne suffit pas de disposer de la puissance nécessaire pour circuler à grande vitesse, il faut aussi pouvoir pratiquer des accélérations suffisantes pour atteindre ces vitesses sur des distances assez courtes, car les zones où l'on peut les pratiquer sont limitées.

Sur la plupart de nos grandes lignes, on relève des tronçons en profil facile de 25 à 50 km où l'on pourrait circuler à 200 km/h. Dans les Landes, on dispose d'un tronçon d'une vingtaine de kilomètres où l'on peut pratiquer 250 km/h (et plus), encadré de zones de 8 à 10 km autorisées respectivement à 180 et 200 km/h. Il faut donc, à partir de 150 km/h, pouvoir atteindre ces vitesses élevées sur une dizaine de kilomètres. Autrement dit, il faut disposer d'accélération moyennes de 0,15 m/s² pour passer de 150 à 250 km/h et de 0,07 m/s² pour passer de 150 à 200 km/h.

Si l'on considère la puissance des BB 9200 sous 1,5 kV, soit environ 4 000 kW aux jantes, on obtiendrait, pour un rapport d'engrenages convenable, des accélérations très largement suffisantes pour passer de 150 à 200 km/h, encore acceptables pour aller de 150 à 250 km/h avec 3 et 4 voitures, mais par contre pratiquement inexistantes pour dépasser 250 km/h.

Prenons par exemple le train Mistral, dont la charge maximale actuelle est de 780 t, entre Paris et Lyon, et que l'on peut remorquer à la vitesse de 160 km/h en palier avec une BB 9200 dans les conditions moyennes d'alimentation. Si l'on disposait de locomotives capables de développer cette même puissance aux vitesses plus élevées, grâce à des rapports d'engrenage appropriés, on pourrait remorquer des trains à plus grande vitesse en palier, à la condition de réduire leur charge, avec ici encore, sensiblement la limite de 250 km/h que l'on peut pratiquer en palier avec la charge correspondant à trois voitures.

Tout ceci revient à dire qu'il faudrait réduire considérablement la charge de nos trains de voyageurs, c'est-à-dire, en fait, en faire circuler un plus grand nombre, ce qui reviendrait cher. Mais du seul point de vue technique, la S.N.C.F. est prête depuis dix ans à assurer des convois à très grande vitesse.

M. NOUVION

Ingénieur Général
 Chef de la Div. des Études de Traction
 Électrique de la S.N.C.F.

la desserte ferroviaire des banlieues

Les grandes villes ont vu, depuis quelques décades, se multiplier et croître autour d'elles des agglomérations dont la vie se trouve intimement liée à la leur. Anciennes bourgades ou villes-dortoirs poussées d'un bloc en peu d'années, ces localités constituent ce qu'on appelle la *banlieue*, zone caractérisée par le phénomène des « migrations alternantes » qui pose aux transporteurs des problèmes d'une nature particulière.

L'importance du trafic à écouler s'accroît beaucoup plus vite que la population des villes-centres. Si l'on considère, par exemple, l'ensemble des métropoles régionales d'équilibre (1), telles que les a définies la Commission Nationale d'Aménagement du Territoire, et d'autre part Paris, on constate que, pour des populations du même ordre, la banlieue parisienne connaît un trafic plus de six fois supérieur. Aussi est-ce dans la Région Parisienne, où les problèmes sont les plus ardu, que les moyens et les techniques les plus spécifiques des transports suburbains ont été mis en œuvre.

Le réseau desservant la Région Parisienne se compose de 28 lignes d'une longueur totale de 969 km et s'étend dans un rayon de 40 à 60 km autour de Paris. Il est constitué, pour sa majeure partie, de lignes radiales. Chaque jour de semaine, il est fréquenté par 3 000 trains qui desservent 340 stations et effectuent un parcours total de 65 000 km. Le trafic accuse, depuis une dizaine d'années, une progression régulière et continue. Pour

(1) Lille - Roubaix-Tourcoing, Metz - Nancy, Strasbourg, Lyon - St-Etienne, Marseille, Toulouse, Bordeaux, Nantes - St-Nazaire.

l'ensemble de l'année 1964, il a été de 350 millions de voyageurs transportés (contre 250 millions en 1938).

Comme tous les trafics suburbains, le trafic voyageurs de la banlieue de Paris a une répartition très irrégulière dans l'espace et dans le temps.

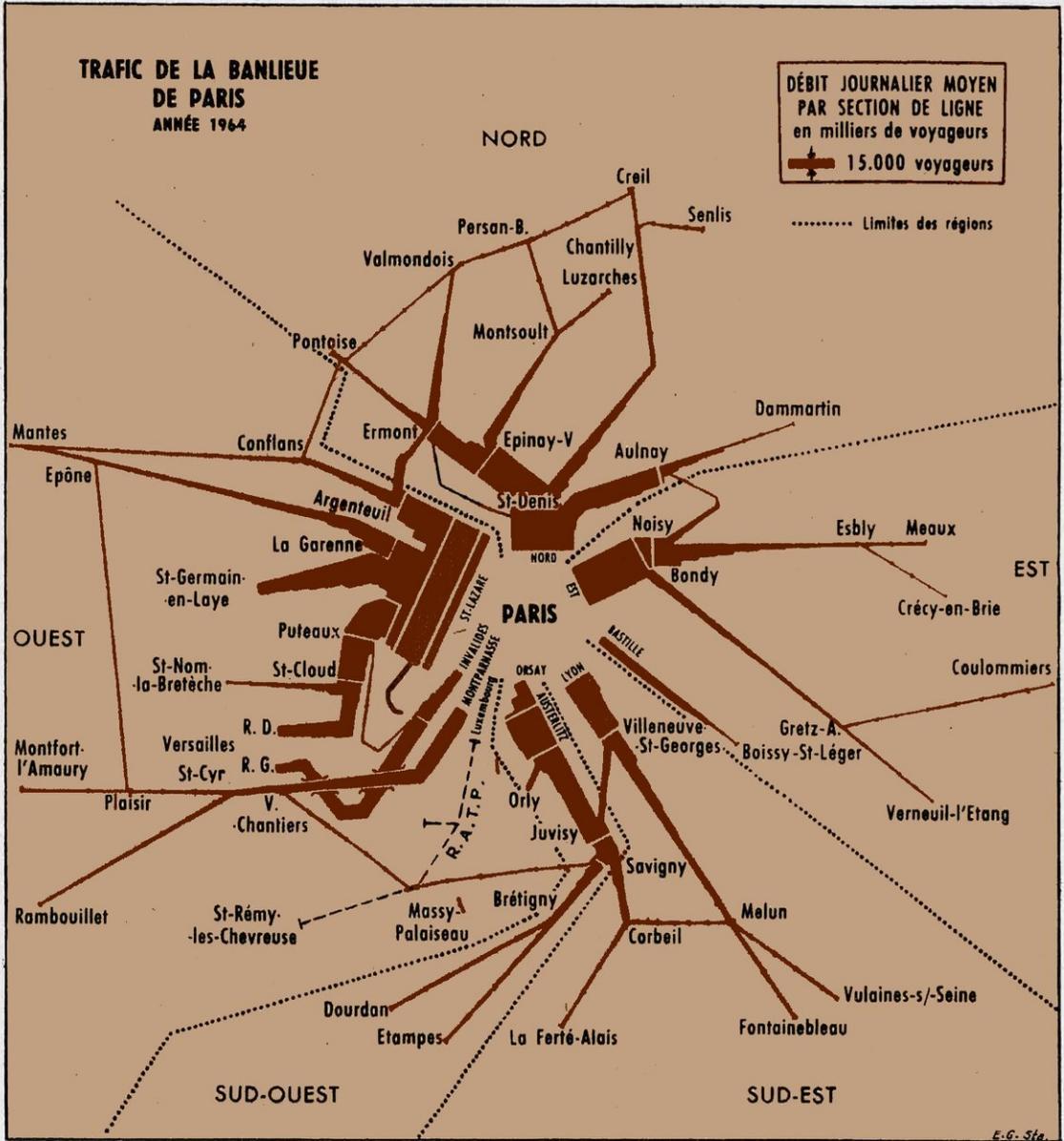
Tout d'abord, la densité du trafic décroît très rapidement lorsqu'on s'éloigne des gares parisiennes têtes de lignes. La S.N.C.F. s'efforce d'adapter son exploitation à cette particularité, d'une part par le fractionnement des rames — qui se pratique surtout en traction électrique et consiste à modifier la composition des trains, c'est-à-dire le nombre de places offertes, suivant le parcours —, d'autre part, par l'utilisation de terminus intermédiaires conjuguée avec la desserte par zones. Dans cette technique d'exploitation, chaque rame est affectée à la desserte d'une zone, c'est-à-dire qu'elle est acheminée en service direct depuis la tête de ligne jusqu'à la gare origine de sa zone, dont elle dessert alors toutes les gares en service omnibus (et inversement pour le trafic vers le centre). Les départs s'effectuent dans un ordre tel que les trains les plus directs ne soient pas gênés par les plus lents, et selon un cycle qui peut se reproduire de trois à six fois par heure aux heures de pointe.

La répartition du trafic dans le temps se présente d'une manière très complexe. Elle comporte des irrégularités saisonnières, avec des écarts d'environ 50% entre août et décembre par exemple, des irrégularités hebdomadaires (trafic réduit des dimanches et samedis), enfin et surtout des pointes quotidiennes particulièrement accusées. A titre d'exemple, pour Paris-St-Lazare, sur un total de 100 000 voyageurs (arrivées et départs), un jour normal de semaine, on en compte 80 000 entre 18 et 19 heures, soit un débit de plus de 1 300 voyageurs par minute.

Assurer un service convenable durant ces périodes de pointe exige des moyens importants et soulève aussi de difficiles problèmes sur les lignes parvenues au voisinage de la saturation.

Sur certaines sections, une amélioration de l'équipement technique peut encore être recherchée : augmentation de la capacité des rames, de la vitesse, modernisation de la traction, aménagement de la signalisation, allongement de quais, triplement ou quadruplement des voies. Mais, parfois, la capacité d'une ligne peut se trouver réduite du fait de la coexistence d'autres trafics, ce qui conduit à distinguer trois sortes de lignes :

— celles exclusivement affectées au service des voyageurs de banlieue (le service des marchandises étant seulement assuré de nuit);



— celles qui peuvent être entièrement réservées au service des voyageurs de banlieue pendant les heures de pointe, mais doivent acheminer un trafic de voyageurs de grandes lignes ou un trafic de marchandises en dehors de ces heures.

— celles où, même pendant les heures de pointe, le service de grandes lignes vient en compétition avec celui de la banlieue.

Compte tenu de ces divers facteurs, la capacité horaire de transport d'une ligne de banlieue varie entre 20 000 et 40 000 voyageurs. En l'état actuel des installations, la capacité globale de l'ensemble des lignes aboutissant dans les diverses gares de Paris se situe entre 350 000 et 400 000 voyageurs

par heure, mais, comme nous l'avons dit, le point de saturation est très variablement approché selon les lignes.

La S.N.C.F. a consacré, durant les dernières années, à l'amélioration du service des voyageurs de la banlieue de Paris, de très importants efforts.

La traction électrique constitue le principal aspect de cette modernisation et équipe actuellement 516 km de lignes, dont 243 km mis en service au cours des 15 dernières années : lignes de la banlieue Sud-Est en 1950, ligne de Paris-Nord à Creil en 1959, lignes de Paris-Est à Meaux et de Bondy à Gargan en 1962, ligne de Paris-Nord à Aulnay-sous-Bois et Crépy-en-Valois en 1963.

Les opérations en cours portent sur 121 km de lignes (de Paris-St-Lazare à Mantes par la rive gauche et la rive droite de la Seine), et celles susceptibles d'être prochainement engagées sur plus de 100 km (Paris-Nord à Pontoise, Creil à Pontoise, et Paris-Nord à Persan-Beaumont). A l'achèvement de ce programme, le trafic de la banlieue s'effectuera à près de 95 % sur les lignes électrifiées.

Les programmes prévoient l'introduction

d'un important contingent de rames automotrices électriques (150 à 160 éléments composés d'une motrice et de 2 ou 3 remorques). Le développement des éléments automoteurs en acier inoxydable témoigne déjà de la rénovation du parc, dont l'âge moyen est inférieur à celui des trains de grandes lignes.

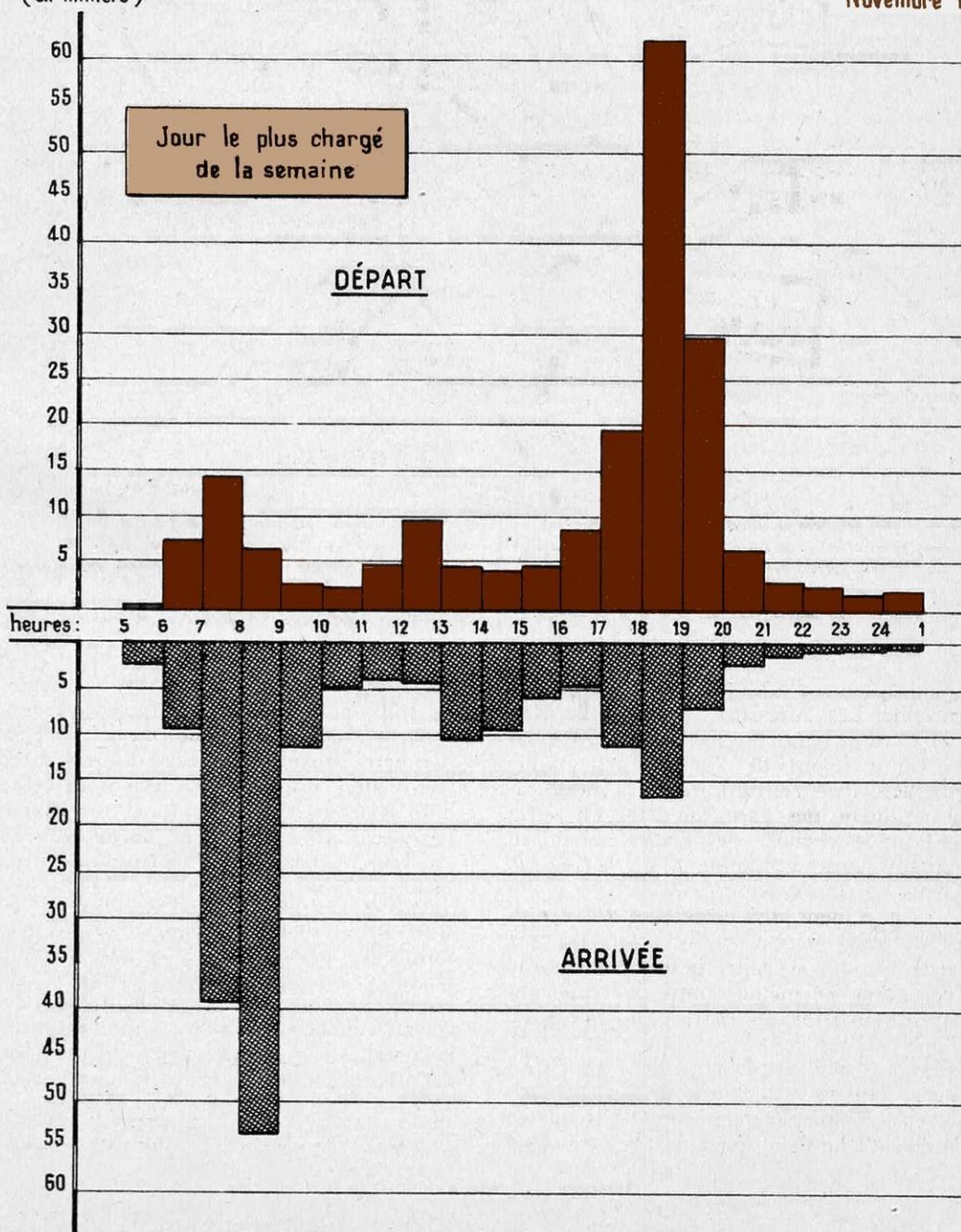
Par ailleurs, sur certaines lignes, divers travaux ont été réalisés, sont en cours ou vont être entrepris. Il s'agit de triplement ou

TRAFIC BANLIEUE EN GARE DE PARIS-ST-LAZARE

Nombre de Voyageurs
(en milliers)

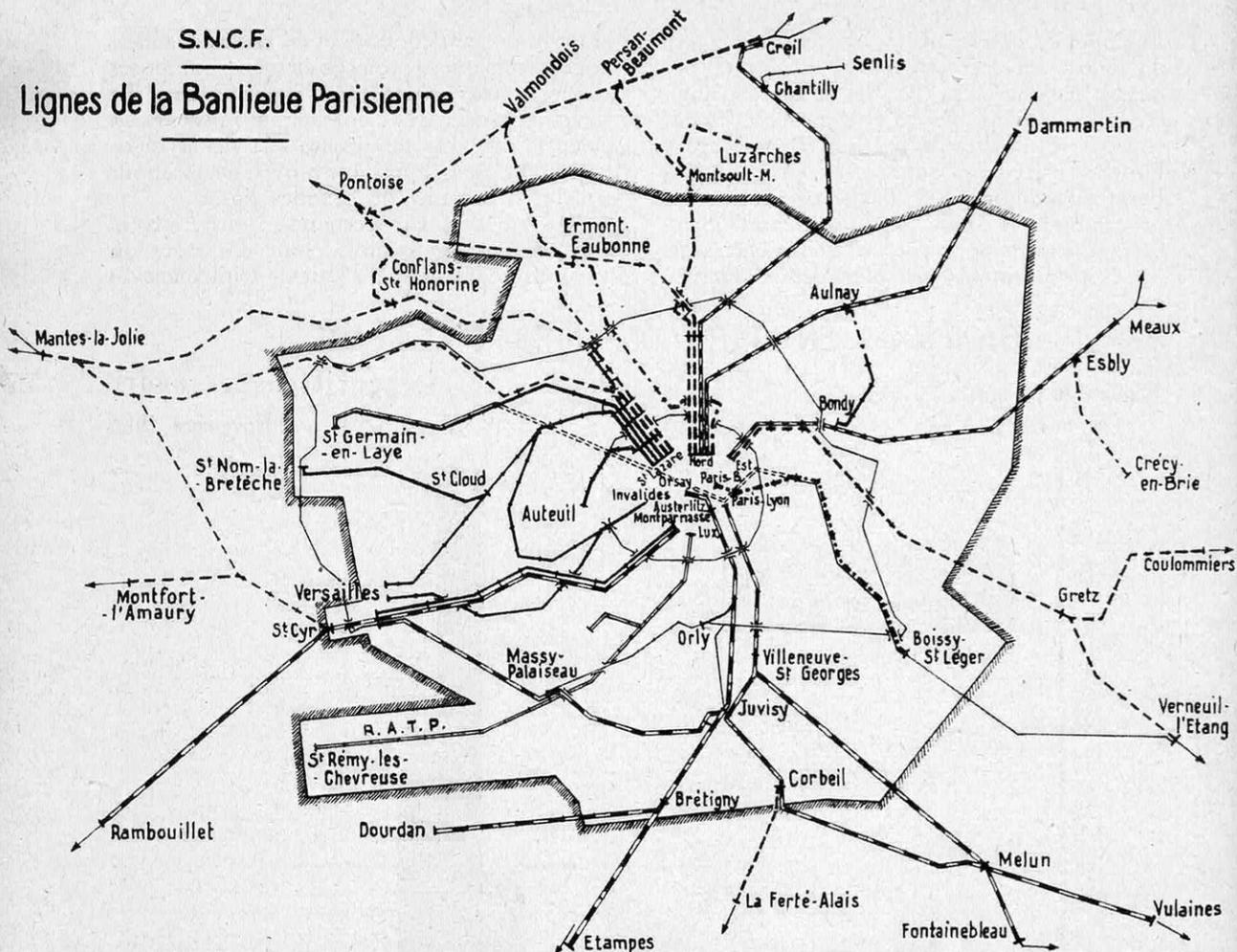
Répartition par heure

Novembre 1964



S.N.C.F.

Lignes de la Banlieue Parisienne



Lignes électrifiées		Lignes affectées exclusivement au service banlieue		Ligne exploitée par la R.A.T.P.
		Lignes affectées au trafic banlieue et grandes lignes		
Lignes vapeur ou Diesel		Lignes affectées exclusivement au service banlieue		Sections de lignes devant être incorporées à la ligne EST-OUEST du R.E.R.
		Lignes affectées au trafic banlieue et grandes lignes		
		Lignes non desservies par les trains de banlieue		

Limite de la "Région des Transports Parisiens" définie par le Décret du 30 Août 1963. E.G. STA.1965

de quadruplement des voies (Achères-Poissy, Vernouillet-Les Mureaux, Sartrouville-Maisons-Laffitte), d'améliorations ou de créations de terminus de zones (Sartrouville, Corneilles, Plaisir-Grignon), de la modification des quais des gares de Paris-Orsay et Paris-Pont-St-Michel, de l'équipement en block automatique lumineux de la section St-Denis - Ermont-Eaubonne, etc.

L'aménagement des grandes gares terminales de Paris fait aussi l'objet de travaux importants pour accroître la capacité interne de ces gares en même temps que celle des transports urbains en correspondance avec le chemin de fer.

De très fortes augmentations de trafic sont prévues dans les perspectives du Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région de Paris qui envisage, aux alen-

tours de l'an 2000, une Région Parisienne de 14 millions d'habitants, organisée sur une superficie double de celle que limite l'actuel périmètre urbain. En matière d'infrastructures ferroviaires nouvelles, il retient la création d'un Réseau Express Régional qui traversera Paris et dont, à l'extérieur, les diverses branches suivront les axes d'urbanisation prévus.

En dehors des problèmes que lui pose la constitution de ce réseau, la S.N.C.F., dans le cadre des principes définis par le Schéma Directeur, poursuivra l'augmentation de la capacité de ses lignes par la poursuite des travaux d'électrification, la modernisation de la signalisation et l'accroissement du nombre de places offertes dans les rames nouvelles.

A. FIOC

Directeur des Études Générales de la S.N.C.F.

LE RÉSEAU EXPRESS RÉGIONAL

Le Métropolitain de Paris, tel qu'il a été conçu au début de ce siècle, répondait aux besoins d'une ville de trois millions d'habitants, occupant une superficie d'une centaine de kilomètres carrés nettement délimitée, et entourée par des banlieues très peu peuplées.

L'agglomération parisienne compte actuellement neuf millions d'habitants, dont moins de trois millions dans Paris. Le schéma directeur récemment préparé sous l'autorité du Délégué général au District de la Région de Paris, prévoit que cette population atteindra 13 à 15 millions à la fin du siècle.

Le schéma directeur prévoit en conséquence la constitution d'une structure entièrement nouvelle, la *Région Urbaine de Paris*, comportant un certain nombre de villes nouvelles et, dans les banlieues existantes, de nouveaux centres urbains. Cette urbanisation doit s'ordonner le long d'axes préférentiels, dans un rayon de 30 à 35 km du centre de Paris.

Le support de l'organisation nouvelle sera un système de transport comprenant un vaste réseau routier et surtout un réseau ferroviaire nouveau, le « réseau express régional ». Ce dernier, dont la mise en place doit précéder le plein développement de la structure nouvelle, en canalisera l'extension suivant les axes choisis et assurera la vitalité des centres urbains nouveaux, en les reliant les uns aux autres et au centre de Paris.

Le réseau métropolitain, avec ses caractéristiques essentiellement urbaines de débit, de vitesse commerciale et de tarification, restera consacré à la desserte de Paris et de sa proche banlieue. Le réseau express régional, avec ses trains plus longs et plus rapides, sera à l'échelle de l'urbanisation nouvelle. Les lignes traversant Paris donneront plusieurs points d'échange avec le réseau métropolitain qui assurera la diffusion complémentaire des voyageurs en provenance de la banlieue. Le réseau métropolitain se trouvera déchargé d'une partie notable de son trafic, ce qui contribuera efficacement à l'amélioration du confort des voyageurs.

Le réseau régional sera constitué, dans Paris, par des sections de lignes souterraines à grande profondeur (20 à 30 m); en banlieue, il comprendra des sections entièrement nou-

velles ou des branches de lignes exploitées par la S.N.C.F. : lignes primitivement isolées, comme celles de Sceaux et de Vincennes, ou branches détachées des faisceaux des grandes installations terminales, telles que la Gare St-Lazare ou la Gare du Nord.

En dehors de la ligne de Sceaux qui, rattachée aux transports parisiens en 1938, a été la première du réseau express régional, le schéma directeur prévoit trois grandes lignes transversales, l'une d'orientation générale est-ouest, avec deux branches de chaque côté, et deux traversant Paris du nord au sud et s'épanouissant vers les nouvelles localisations urbaines.

La constitution de la ligne régionale est-ouest a été décidée dès 1962 ; cette ligne, longue de 46 km, absorbera, à l'ouest et à l'est, deux branches de lignes de banlieue de la S.N.C.F. :

— à l'ouest, la ligne de Saint-Germain déjà électrifiée, aboutissant actuellement à la Gare Saint-Lazare;

— à l'est, la ligne de Vincennes, ligne isolée, à traction vapeur.

Deux parties de la ligne sont en cours de construction :

— la partie ouest — 20 km — comprend la ligne de Saint-Germain, laquelle doit être transformée, et une section souterraine de 11,5 km avec des stations à Nanterre, au Rond-Point de la Défense, place de l'Étoile et près de l'Opéra;

— la partie est — 20 km — comprend la ligne de Vincennes (en cours d'électrification) et une section souterraine de 3 km aboutissant place de la Nation.

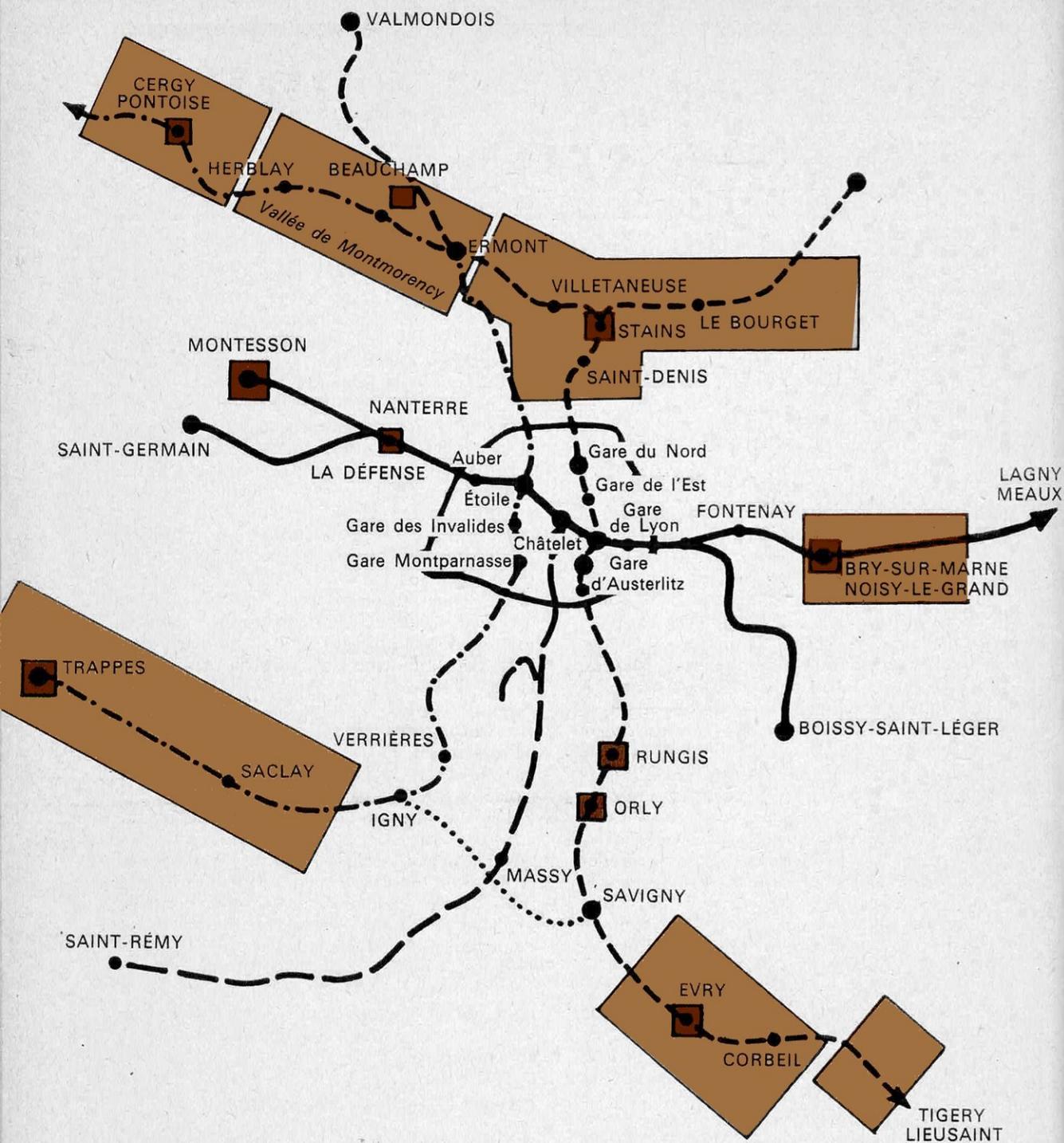
Caractéristiques techniques

Les lignes du réseau express régional pourront assurer un débit horaire de l'ordre de 50 000 voyageurs dans chaque sens, avec une vitesse commerciale de 40 à 60 km/h.

Les caractéristiques principales seront les suivantes :

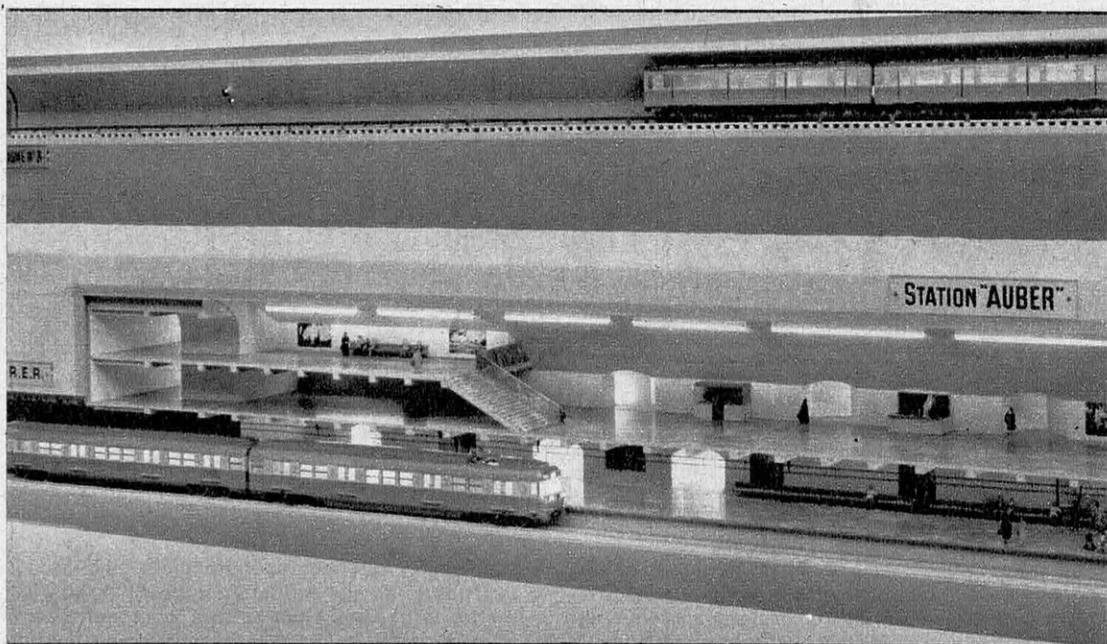
— espacement des stations assez grand, de l'ordre de 1 000 m au moins;

— courbes de rayon supérieur à 500 m, sauf exception, permettant des vitesses de l'ordre de 90 km/h, et rampes inférieures à 30 mm par mètre ;



Le Réseau Express Régional se développera selon les « axes préférentiels d'urbanisation » de la future Région parisienne. Il comportera, en plus de la ligne de Sceaux, des lignes d'orientation générale Nord-Sud et Est-Ouest dont une est actuellement en cours de construction. Le tracé représenté ici n'a cependant qu'un caractère provisoire.

- Ligne transversale Est-Ouest
- - - 1^{re} ligne transversale Nord-Sud
- · - · 2^e ligne transversale Nord-Sud
- - - - Ligne de Sceaux



La station Aubert, dont les travaux sont en cours, sera établie à grande profondeur entre le carrefour Havre-Caumartin et la place de l'Opéra, sous la ligne n° 3 du Métropolitain. Cette station permettra la correspondance avec 6 lignes du Métropolitain et sera en liaison directe avec la gare Saint-Lazare (S.N.C.F.) par un trottoir roulant établi sous la rue du Havre. Les quais seront surmontés

d'une vaste mezzanine et de plates-formes d'accès où seront effectués les contrôles, en particulier pour les correspondances. L'ensemble sera complété par de nombreux appareils élévateurs. Les travaux, effectués en grande partie dans la nappe aquifère, posent d'importants problèmes, ainsi que l'ampleur des installations, qui s'étendront sous les immeubles qui bordent la rue.

— matériel du gabarit unifié des chemins de fer (largeur 3,15 m); /

— trains de 220 m de long, d'une capacité de 2 500 voyageurs;

— signalisation et performances des trains permettant, sur les sections les plus chargées, un intervalle de 2 minutes 30 secondes;

— dispositions réduisant au maximum les temps de stationnement : quais « hauts », portes des voitures larges et nombreuses.

La partie souterraine des lignes sera constituée, soit par un tunnel unique à deux voies avec des stations à quais latéraux, soit par deux tunnels à une voie. Le tunnel à deux voies, là où sa section sera circulaire, aura un diamètre intérieur de 8,70 m environ.

La traction électrique sera assurée, comme sur la ligne de Sceaux, par courant continu à 1 500 V fourni aux trains par ligne de contact aérienne à suspension caténaire. L'énergie sera répartie le long de la ligne par des petits postes de redressement télécommandés de faible puissance, répartis dans les stations.

L'exploitation sera dirigée à partir d'un poste central de régulation qui pourra, s'il en est besoin, commander à distance toutes les manœuvres des trains.

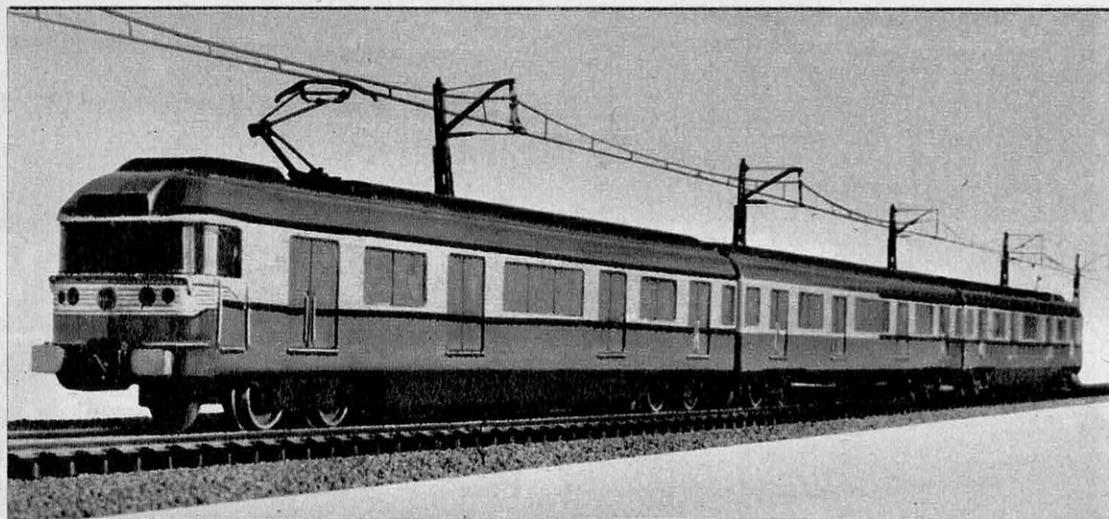
Les stations souterraines

Les stations souterraines créées dans Paris ou en proche banlieue pour assurer les correspondances avec les lignes du métropolitain ou de la S.N.C.F. seront des ouvrages très importants et complexes. Longues de 225 m, elles auront des accès multiples le long des quais, équipés d'escaliers mécaniques, montants et descendants, aboutissant à des salles de répartition situées à 5 ou 6 m au-dessus des quais, où s'effectueront les opérations de contrôle des billets, à l'entrée comme à la sortie. Ces salles seront elles-mêmes réunies au niveau des rues par des couloirs et escaliers mécaniques. Ainsi le nombre des appareils élévateurs équipant une station sera de l'ordre de 40 ou 50.

Du fait de ses dimensions, une station souterraine du réseau express régional représentera un ouvrage sept à huit fois plus important qu'une station du métropolitain.

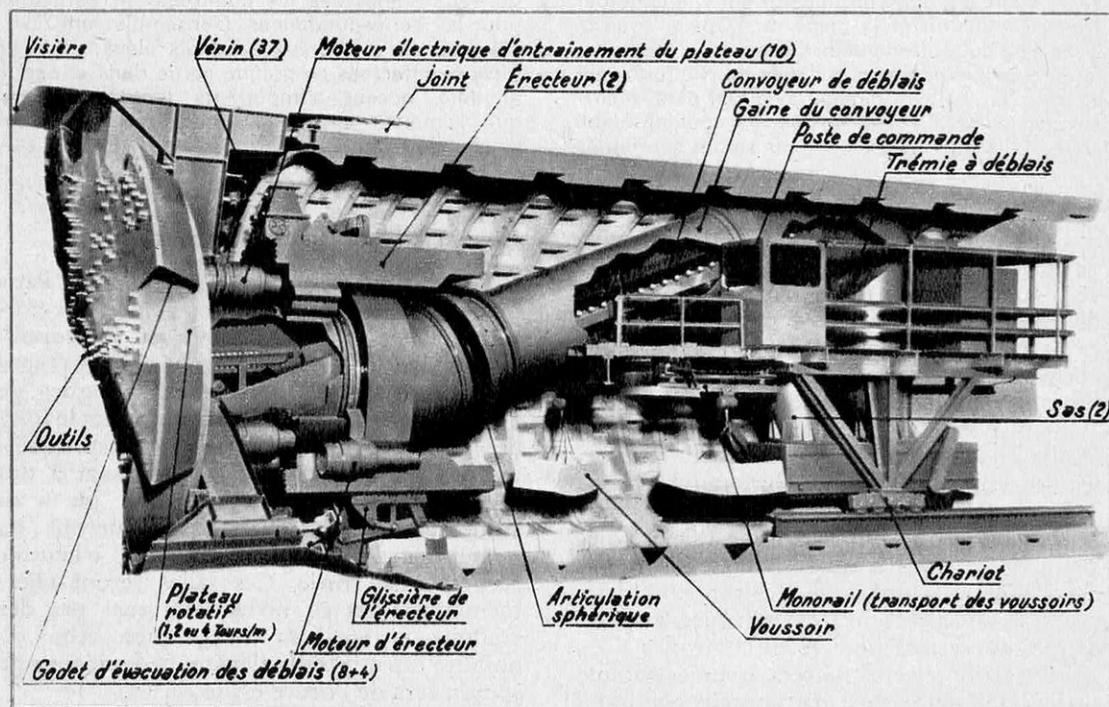
La station souterraine de la Défense, qui desservira le Palais des Expositions, sera à quatre voies avec de vastes salles pouvant faire face à des affluences considérables.

Deux autres stations souterraines — pro-



Les trains du Réseau Express Régional seront constitués par des éléments automoteurs accouplables de trois voitures (ci-dessus) alimentés en courant continu 1 500 V par ligne aérienne à

suspension caténaire. L'équipement électrique de ces trains, qui pourront atteindre 90 km/h, permettra le freinage rhéostatique, combiné avec un frein à sabot à commande électropneumatique.

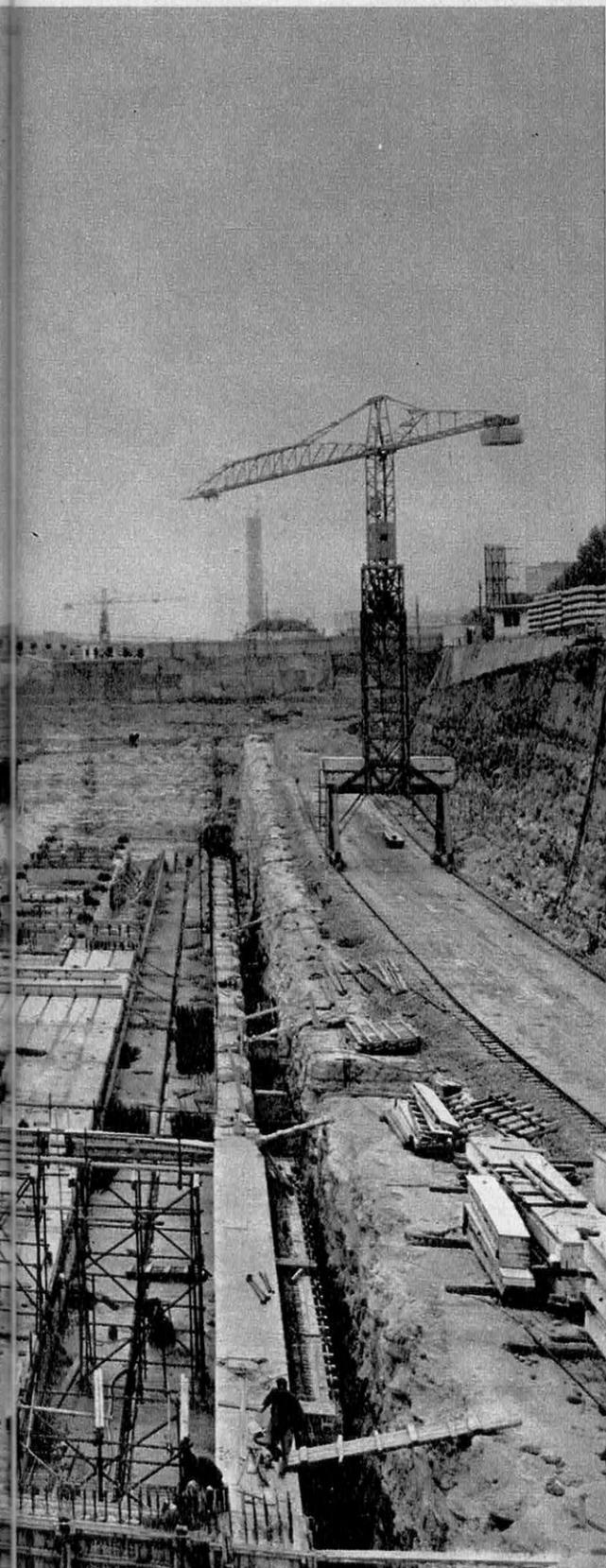


Entre la place de l'Étoile et la Défense, le tunnel a été foré par la méthode dite « du bouclier » utilisant la machine représentée ci-dessus. En avant du bouclier qui assure le soutènement et la protection contre l'eau, un plateau rotatif de 10 m de diamètre porte les outils de forage. Les déblais sont évacués à l'arrière vers des tapis transporteurs. Un appareil érecteur permet la manutention et la pose des voussoirs de revêtement.

Dans les sections forées par la méthode du bouclier, le tunnel, de section circulaire (ci-contre), est habillé de voussoirs préfabriqués en béton armé qui sont fixés par boulons et assemblés en anneaux.







visoirement baptisées « M » et « P » — seront créées à Nanterre pour desservir des aménagements nouveaux, en particulier la Faculté des Lettres, la Préfecture des Hauts-de-Seine et des parkings.

Le matériel roulant

Le matériel roulant comprendra des éléments de trois voitures de 23 m de longueur pouvant former, grâce à leurs accouplements automatiques, des trains de 3, 6 ou 9 voitures. Chaque élément comprendra lui-même deux motrices identiques, à quatre essieux moteurs, encadrant une remorque, et aura une capacité de 860 places environ.

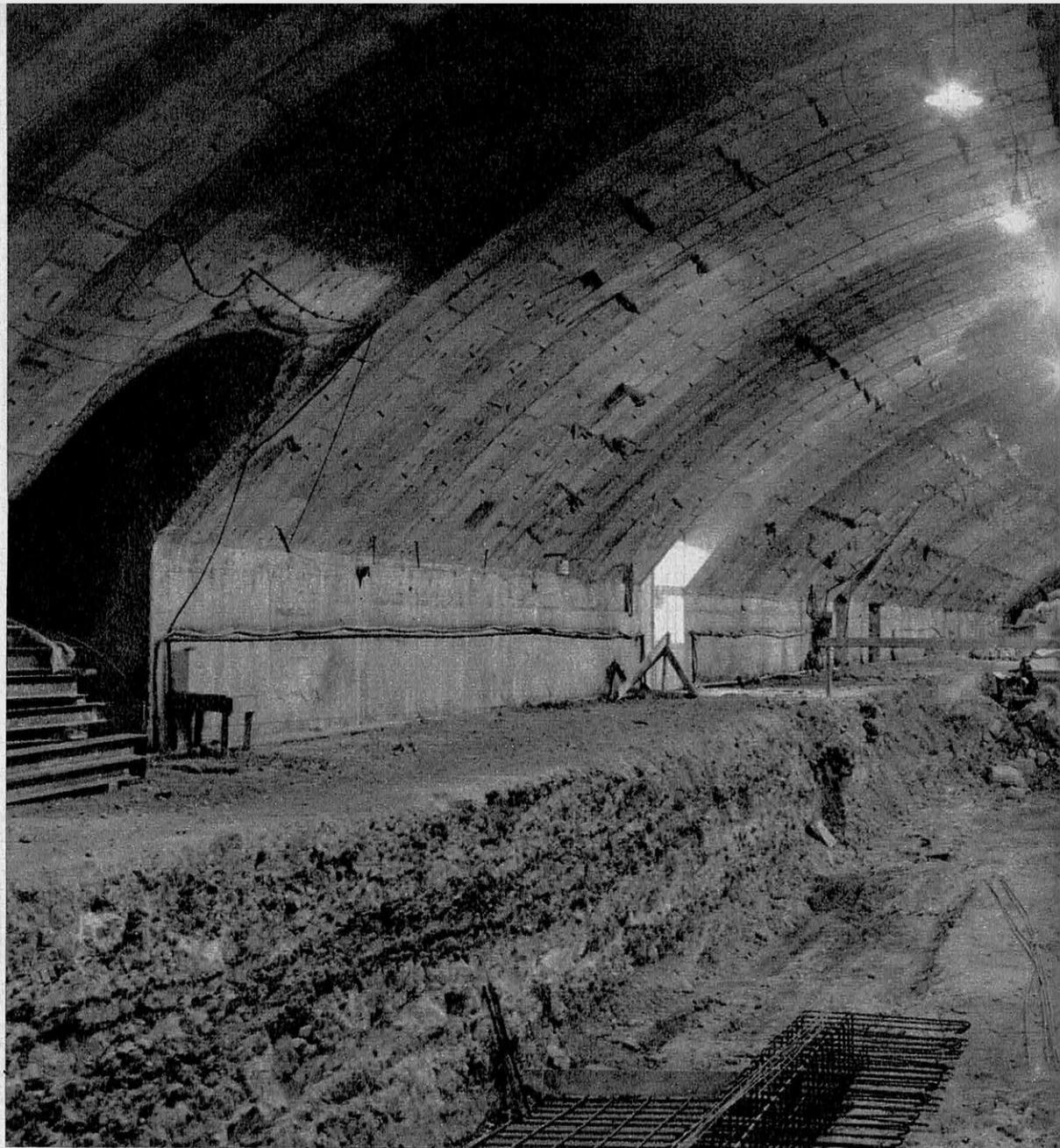
Une telle proportion d'essieux moteurs est nécessaire pour permettre le franchissement dans de bonnes conditions des rampes de 30 mm par mètre et surtout pour donner aux trains une accélération suffisante pour le dégagement rapide des stations, condition essentielle d'une grande fréquence des trains. Le freinage électrique par les moteurs sera complété par le freinage par sabots sur les roues des motrices et remorques, à commande électropneumatique, l'ensemble assurant la modérabilité de l'effort, au serrage comme au desserrage. Les voitures seront éclairées par tubes fluorescents alimentés par le courant de traction, le chauffage sera combiné avec un dispositif de ventilation.

Les travaux de la ligne Est-Ouest

La construction d'une ligne ferroviaire souterraine à grand gabarit à travers le Paris d'aujourd'hui présente des difficultés bien plus considérables que celles de la construction, au début du siècle, du réseau métropolitain. L'une de ces difficultés résulte de la circulation automobile intense qui ne permet que des implantations d'emprises très limitées pour les travaux souterrains.

D'autre part, le tracé de la ligne à grande profondeur, sous le réseau des égouts et du métropolitain, place en de nombreux points la construction dans des terrains aquifères où règnent des pressions d'eau pouvant atteindre 20 m. La structure géologique du sous-sol parisien pose aux constructeurs des problèmes délicats et variés, car ce sous-sol est

La station La Défense, située près du Palais des Expositions, a pu être construite à ciel ouvert. On voit ici un aspect du chantier au fond de son excavation de 225 m sur 80. La station sera surmontée d'une vaste salle d'échanges desservant le Palais des Expositions, la station S.N.C.F. de la ligne Paris-Versailles, etc. Elle sera insérée entre les diverses branches d'un nœud routier souterrain.



constitué par des couches de nature et d'épaisseurs très diverses.

Enfin, bien qu'on ait cherché systématiquement à implanter le tunnel sous les artères urbaines, les exigences du tracé et l'importance des stations imposent en divers points le passage sous les immeubles.

Compte tenu de ces données complexes, des méthodes très diverses ont été, ou seront, employées pour réaliser les sections souterraines. C'est ainsi qu'à l'ouest de la Défense, l'infrastructure de la ligne se trouvant dans une zone en cours de remodelage, le tunnel peut presque partout être construit à ciel ouvert.

Entre la Défense et l'Étoile, distantes de 4 km, le tunnel aura été réalisé, à l'exception de la traversée de la Seine, par la méthode du bouclier, à partir de deux chantiers, l'un voisin de la Défense, l'autre installé place de l'Étoile.

Le tunnel, de section circulaire, est constitué par anneaux formés de voussoirs en béton armé préfabriqué. La progression du bouclier du côté de la Défense a nécessité des injections pour améliorer la cohésion du terrain. Le bouclier utilisé à partir de l'Étoile est une machine à forer de 10 m de diamètre.

Pour la traversée de la Seine, le tunnel sera constitué par sept caissons en béton pré-

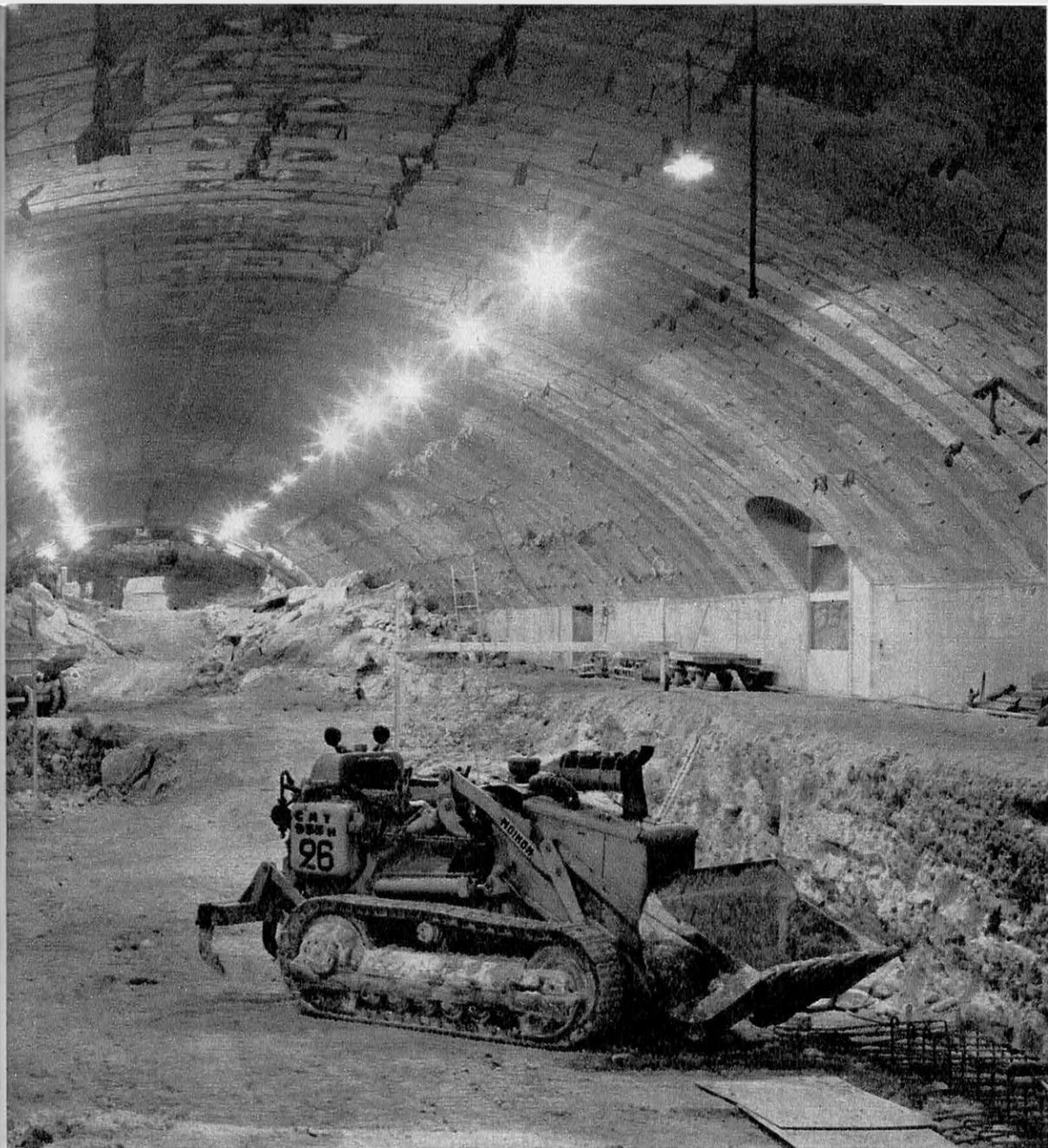


PHOTO COIRIER, EUROPA-STUDIO

contraint, immergés dans une « souille » préparée dans le fond du lit du fleuve.

Les autres lots de souterrain courant sont réalisés suivant des méthodes diverses, en utilisant des procédés semi-mécaniques puissants, le revêtement du tunnel étant en maçonnerie de béton tassé mécaniquement.

Un lot particulier de 500 m de long (boulevard Haussmann) est en cours de construction en même temps qu'un parking souterrain à 6 étages, l'ensemble étant réalisé à l'abri d'une dalle de couverture établie dans une première phase.

La même variété se retrouve pour l'établissement des stations : celle de la Défense

▲
Ci-dessus, les travaux de la station Étoile qui comportera deux quais de 7 mètres de large encadrant les voies. Réalisé grâce à de puissants moyens semi-mécaniques, cet ouvrage comporte une voûte de 21 mètres d'ouverture prenant appui sur deux culées massives et constituée de voussoirs préfabriqués en béton armé, assemblés en arcs juxtaposés. Les travaux ont été effectués au voisinage des fondations de l'Arc de Triomphe.

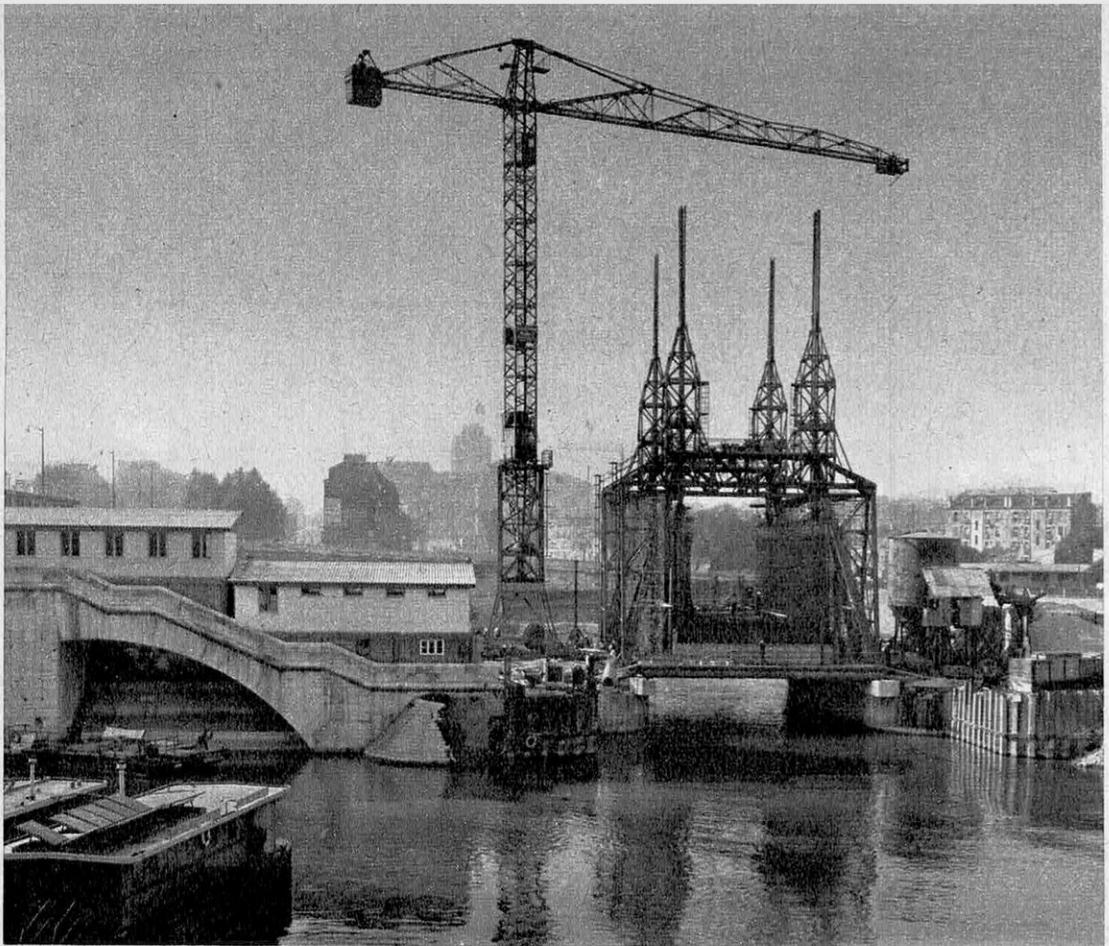


PHOTO BARANGER

Le tunnel, dans sa traversée de la Seine, près du pont de Neuilly, sera constitué par 7 caissons rectangulaires de 21 à 35 m de long préfabriqués en

béton armé précontraint. Ils seront enfoncés dans le lit du fleuve par havage à air comprimé et bloqués en position par du béton coulé sous l'eau.

est construite à ciel ouvert; la station Étoile, dans des terrains calcaires hors de la nappe, a une voûte surbaissée constituée par des voussoirs préfabriqués en béton armé; la station Auber, qui sera construite dans la nappe aquifère et dont la largeur est largement supérieure à celle de la rue qui la surplombe, nécessitera un important traitement préalable pour assurer la consolidation et l'étanchement du terrain.

Les travaux à effectuer sur les sections des lignes de la S.N.C.F. qui seront intégrées au réseau express régional, s'ils sont moins importants, n'en sont pas moins complexes. En dehors de l'électrification, ils portent sur la voie qu'il faut adapter à une exploitation intensive, et surtout sur les stations, dont certaines doivent subir des modifications très importantes. Les quais doivent en effet être modifiés en longueur comme en hauteur et les bâtiments modernisés. Enfin, plusieurs de ces stations doivent être complétées par des terminus pour lignes d'autobus ou cars de rabattement et par des parkings juxtaposés ou superposés aux installations ferroviaires

afin d'inciter les habitants de la banlieue à utiliser les transports publics lorsqu'ils sont appelés à pénétrer dans le centre de l'agglomération parisienne.

Le réseau express régional, dont le principe a été imaginé en 1936, avant le rattachement de la ligne de Sceaux aux transports parisiens, est entré dans une phase active de réalisation. En 1969-1970, il contribuera de façon effective par ses deux premières parties, est et ouest, aux transports quotidiens de la population de l'agglomération parisienne. Plus tard, lorsque ces deux premières parties seront jointes à travers Paris, l'ancien réseau métropolitain se trouvera libéré d'une charge importante et son utilisation s'en trouvera rendue plus confortable.

Enfin, dans les prochaines décennies, la création de nouvelles branches et la constitution de nouvelles lignes donneront à la région parisienne un réseau de transport à la mesure de sa nouvelle organisation.

Raymond GUITONNEAU

Directeur des Travaux Neufs à la R.A.T.P.

le métro se modernise



La modernisation d'un vaste réseau ferroviaire souterrain, brillamment conçu au début du siècle mais avec les techniques disponibles à cette époque, nécessite de grandes transformations portant aussi bien sur le débit des lignes que sur le confort des voyageurs et l'efficacité du personnel.

Ces transformations intéressent le matériel roulant, les stations et les multiples équipements électriques. Un choix délicat doit être fait pour l'adoption des solutions nouvelles car il est certainement plus difficile de moderniser un réseau ancien, en exploitation 20 heures sur 24, que de construire un réseau neuf.

En ce qui concerne le matériel roulant, dont les voitures les plus anciennes dataient encore de 1908, un matériel sur pneumatiques a été mis en service en 1955. Deux lignes sont ainsi exploitées, dont la ligne n° 1 (Château de Vincennes—Pont de Neuilly), la plus chargée du réseau ; une autre ligne (n° 4, Porte de Clignancourt—Porte d'Orléans) est

en cours d'équipement. Par ses dispositions intérieures et ses performances d'accélération et de freinage, ce matériel permet d'accroître très sensiblement le débit des lignes. En outre, il apporte aux voyageurs, par son silence de roulement, une amélioration importante du confort. Parallèlement au matériel sur pneumatiques, qui exige une transformation complète de la voie, un matériel de type classique, mais perfectionné va être essayé pour permettre de hâter la modernisation du réseau.

Les stations font l'objet, suivant leur emplacement, de transformations importantes et coûteuses, dont la principale est l'allongement des quais, sur les lignes les plus chargées, pour permettre la circulation de trains de 6 ou 7 voitures ; la longueur de 75 m, adoptée en 1900, ne permet en effet le passage que de trains de 5 voitures du type actuel. La ligne n° 1 a ainsi été transformée en 1962 et la ligne n° 4 en octobre 1965, l'accroissement de débit résultant de l'allongement des trains s'ajoutant à celui qui provient de la modernisation du matériel.

La modernisation des stations porte également sur l'éclairage, la décoration et surtout sur l'installation d'appareils ascenseurs ou translateurs (ascenseurs, escaliers mécaniques, trottoirs roulants) qui réduisent la fatigue des usagers pour le franchissement des distances verticales ou horizontales que le tracé des lignes et des stations leur impose.

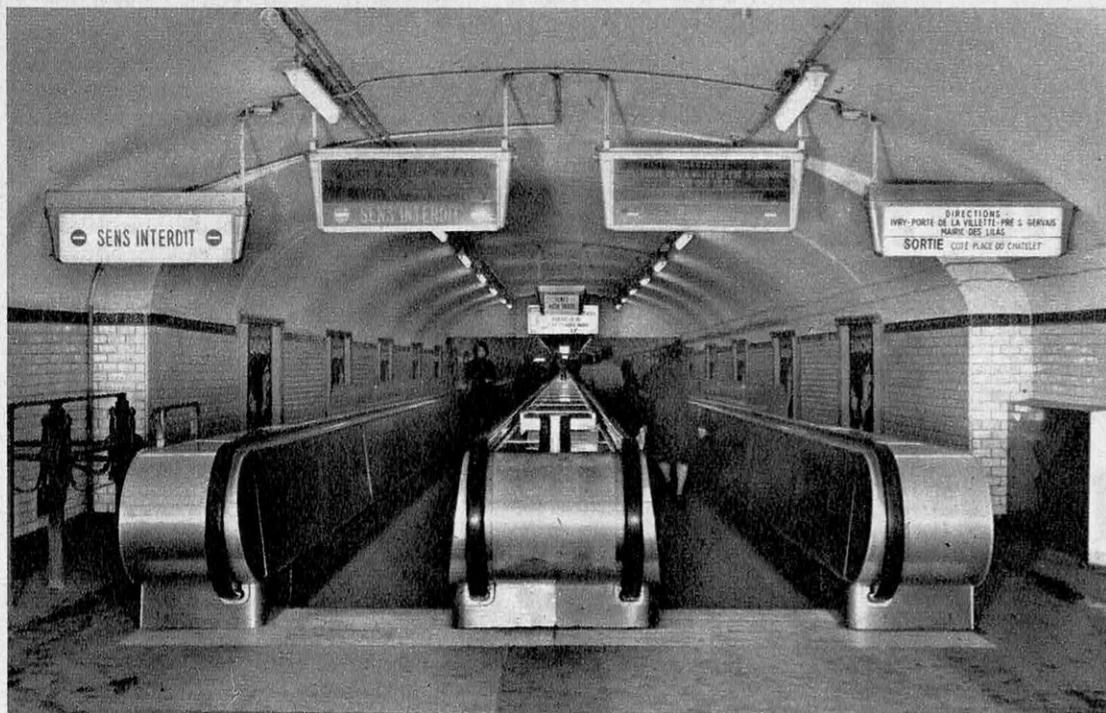
Les équipements électriques

Les techniques récentes de l'électronique, de l'automatisme et des télécommunications donnent pour les équipements électriques des moyens spectaculaires de modernisation et d'amélioration de la productivité.

Dans le domaine de la production et de la distribution de l'énergie électrique sur les lignes, un grand travail a été entrepris depuis 1958 et doit s'achever vers 1970 avec la mise en place d'un grand nombre de postes de redressement automatiques, alimentés et télécommandés par quatre grands postes de transformation.

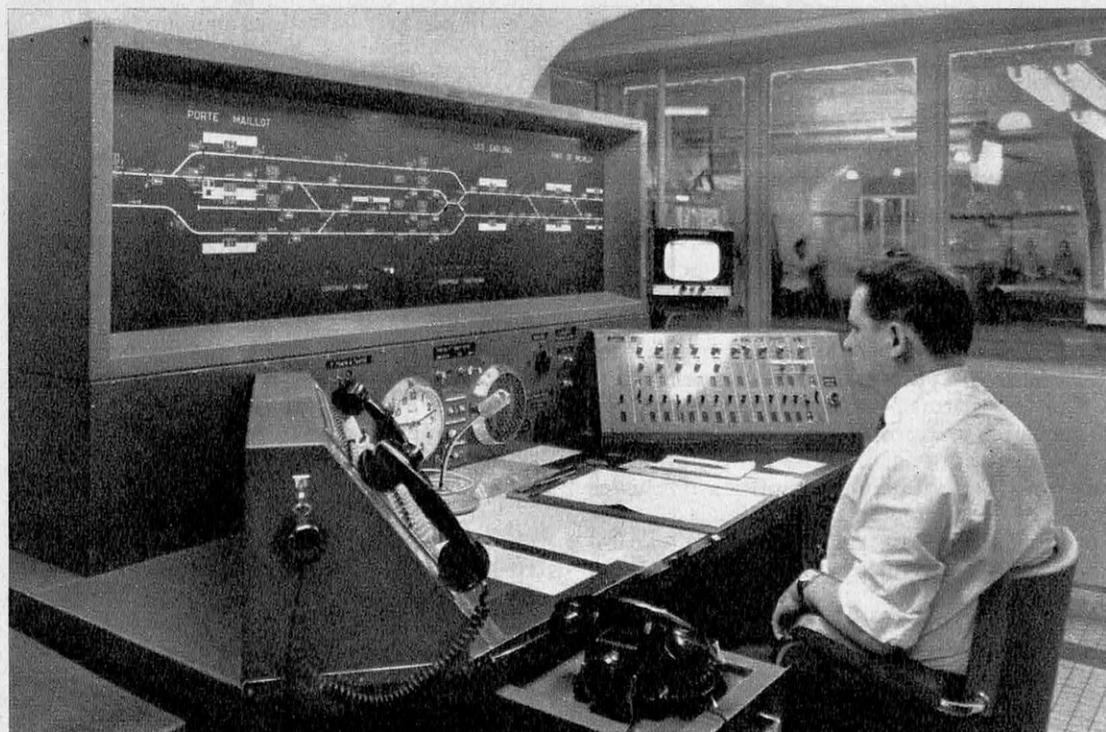
Pour la signalisation des lignes, les dispositifs automatiques de commande des appareils de voie, antérieurement appliqués aux seules voies principales, sont actuellement en cours d'extension à tout le réseau : voies secondaires, voies de garages, appareils pour les manœuvres exceptionnelles.

La télévision a trouvé, en permettant au chef de train de surveiller les mouvements des voyageurs sur toute la longueur du quai des stations en courbe le long duquel son train stationne, une application très intéres-



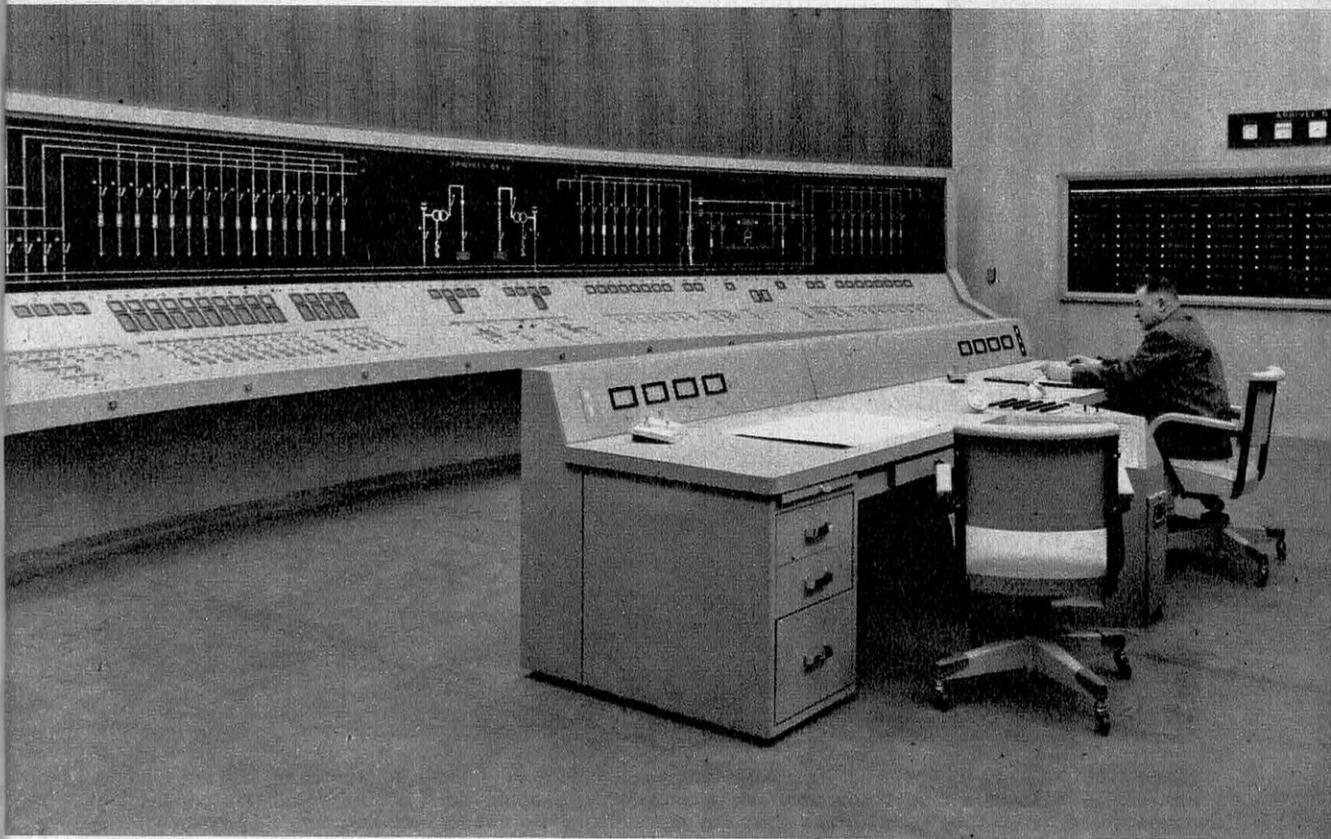
Dès la construction de la station Châtelet, la largeur du grand couloir de correspondance avait été prévue pour un trottoir roulant. Deux telles unités

fonctionnant en sens inverse, comportant une bande d'acier revêtue de caoutchouc sur rouleaux distants de 60 cm, ont été installées en 1964.

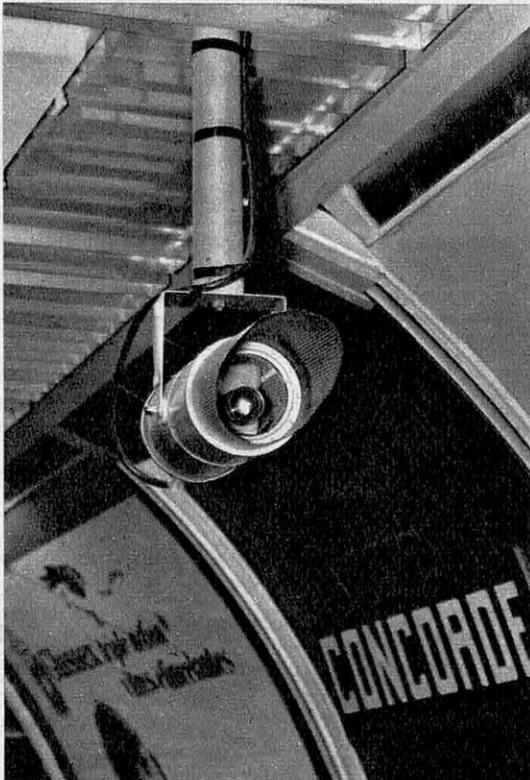


Le poste de commande « tous relais » installé depuis 1964 à la station Porte Maillot couvre l'ensemble des voies à l'extrémité de la ligne n° 1. Le tableau

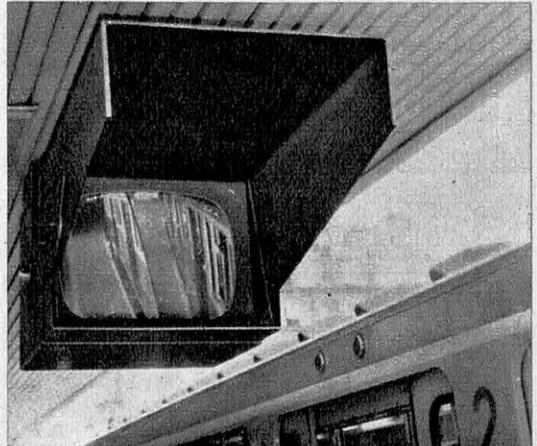
de contrôle optique permet au responsable de suivre les manœuvres des trains et le récepteur de télévision à sa droite, de lire le numéro des rames.

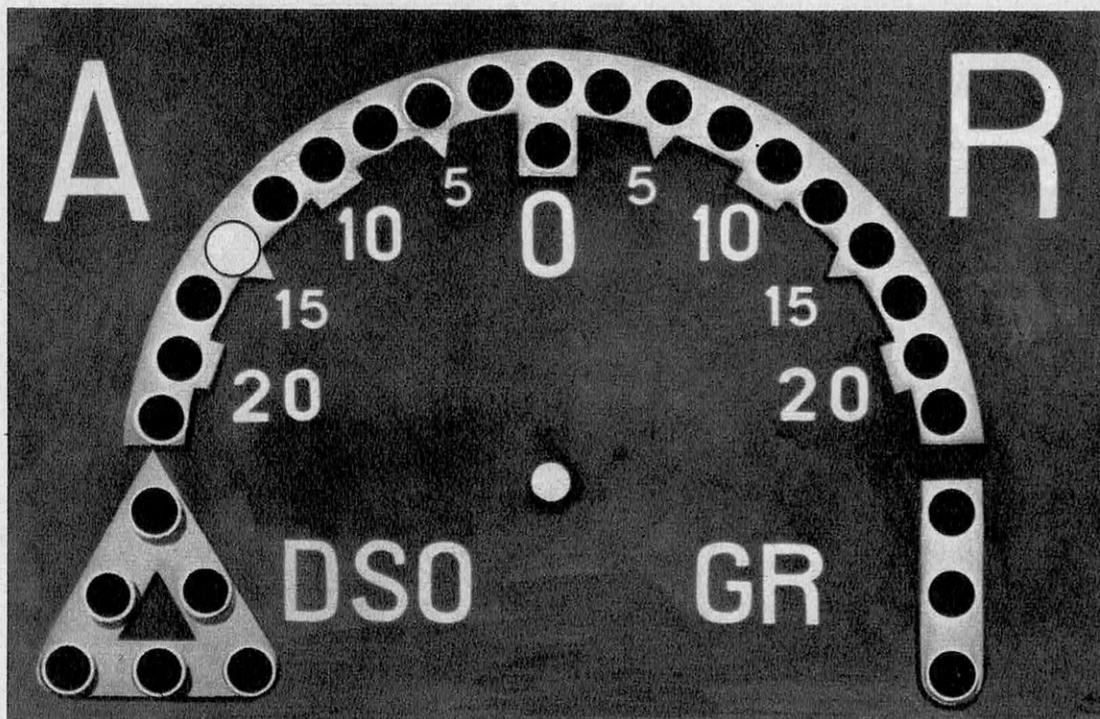


Ci-dessus, la très moderne salle de contrôle d'un des trois grands postes de transformation déjà en service, qui assurent à la fois l'alimentation et la télécommande de trente postes de redressement.



Dans les stations en courbe, les circuits de télévision permettent au chef de train de surveiller la montée et la descente des voyageurs. A gauche, caméra ; ci-dessous, un récepteur à deux images.





Modèle de panneau lumineux pour la régulation en vitesse, transmettant au conducteur les indications élaborées par une calculatrice électronique.

La partie supérieure du tableau signale une avance ou un retard de 0 à 20 secondes, la partie inférieure, un grand retard ou un départ sur ordre.

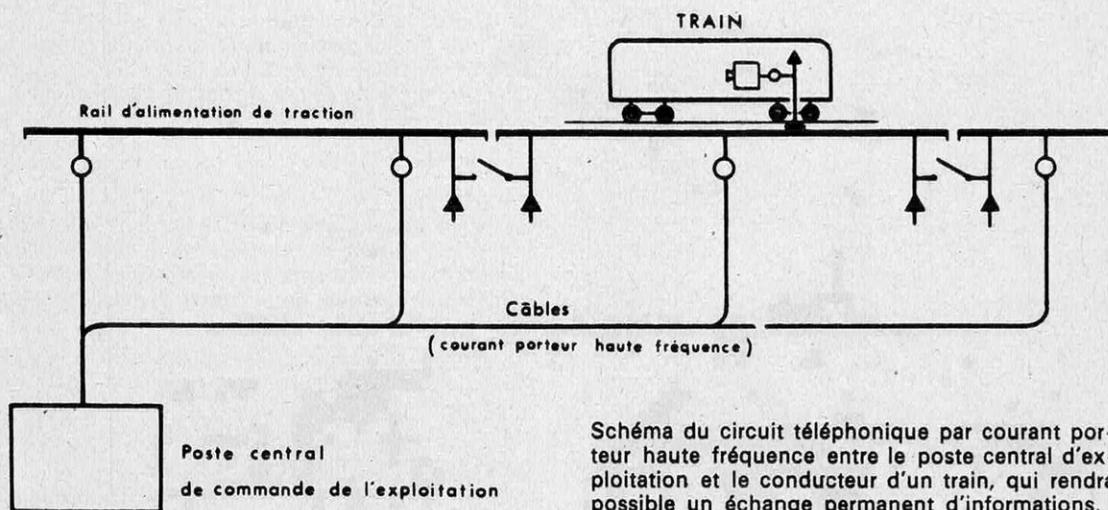
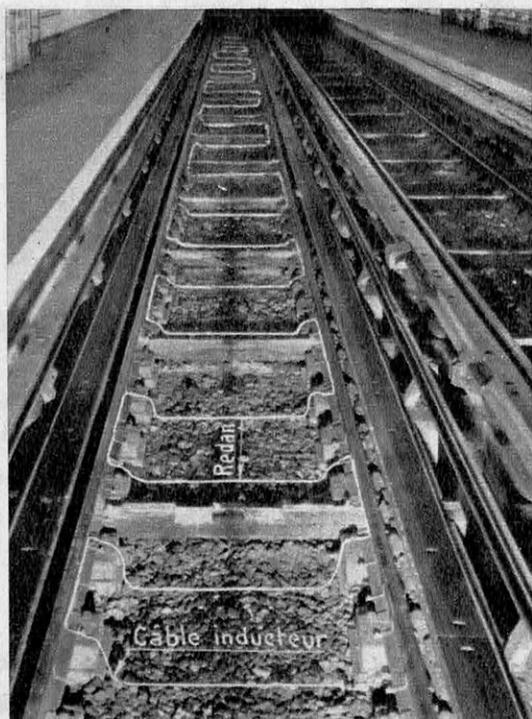


Schéma du circuit téléphonique par courant porteur haute fréquence entre le poste central d'exploitation et le conducteur d'un train, qui rendra possible un échange permanent d'informations.

sante du point de vue de la sécurité et de l'économie de main-d'œuvre.

Des installations de contrôle de la circulation d'un type nouveau seront mises prochainement en service sur la ligne n° 1 (Château de Vincennes—Pont de Neuilly). Il s'agit en premier lieu d'un poste central de commande de l'exploitation qui contrôlera l'ensemble du service en ligne, soit en service

normal — par le jeu d'appareillages automatiques —, soit en service perturbé, avec intervention d'un agent dont les décisions pourront être immédiatement télécommandées. En second lieu, un système de régulation automatique de la marche des trains s'ajoutera à cet équipement pour donner aux conducteurs des indications sur la marche à respecter pour maintenir la régularité du

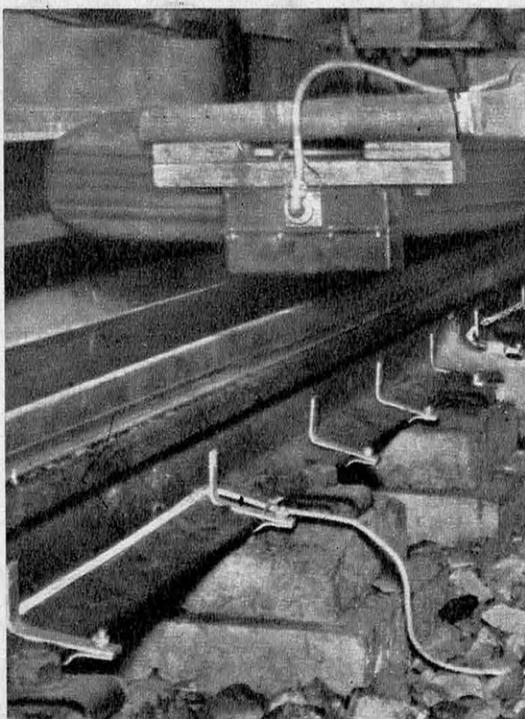


Disposition du câble inducteur dans le système de conduite automatique ; les longueurs de câble sont proportionnelles aux vitesses-type prévues.

service malgré les perturbations de faible amplitude. Enfin, l'ensemble sera rendu plus efficace par la mise en service d'une liaison téléphonique permanente entre les trains et le poste central, par courants porteurs à haute fréquence transmis par les rails d'alimentation de traction.

Afin de parvenir, dans l'avenir, à un plus haut degré d'automatisation, la Régie a mis au point un système de conduite automatique des trains parfaitement adapté à son exploitation. Il est entré en service, avec voyageurs, sur deux rames de la ligne n° 11 (Châtelet—Mairie des Lilas). Sur l'ordre de départ donné par un agent du train, l'appareillage automatique assure la commande de la marche du train suivant la marche-type prévue, éventuellement accélérée ou retardée, avec arrêt précis en station et respect de la signalisation. Un fil inducteur en forme de « grecque » à pas variable, placé entre les rails, transmet au train toutes les informations nécessaires au pilote automatique.

La Régie poursuit également des études dans le domaine de la vente et du contrôle des titres de transport, fonction très importante qui peut faire l'objet d'une automatisation grâce à l'électronique. Ce problème est rendu très ardu sur le réseau parisien par la complexité de la tarification. Une solution pourra



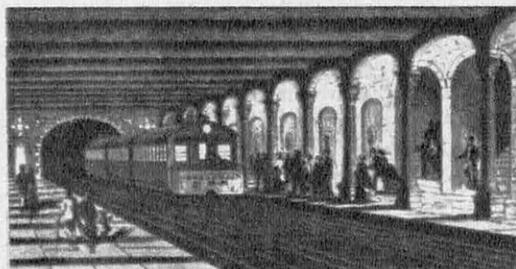
L'absence de courant dans le câble inducteur, dont on voit ici le détail du système de fixation, est un signal provoquant l'immobilisation du train.

être obtenue par l'utilisation de billets portant des inscriptions magnétiques que des appareils électroniques déchiffreront avant d'autoriser le franchissement de tourniquets automatiques spéciaux. Les voyageurs bénéficiant d'un tarif réduit posséderont une carte portant également des marques magnétiques et qui sera introduite dans les appareils de lecture avec les billets correspondants.

L'adaptation du métropolitain aux besoins de transports actuels fait ainsi l'objet d'un vaste programme qui touche chacun des multiples éléments qui conditionnent l'efficacité et le rendement de cet ensemble à la fois massif et délicat qu'est un réseau ferroviaire de transport public urbain.

Henri AGUZOU

Directeur des Études Générales à la R.A.T.P.



VERS DES SOLUTIONS

Les chemins de fer ont, en un siècle, accompli des progrès remarquables, et leur technique s'est affirmée tant au point de vue sécurité que régularité. A ce titre, ils apparaissent irremplaçables dans les tâches qu'ils assument actuellement.

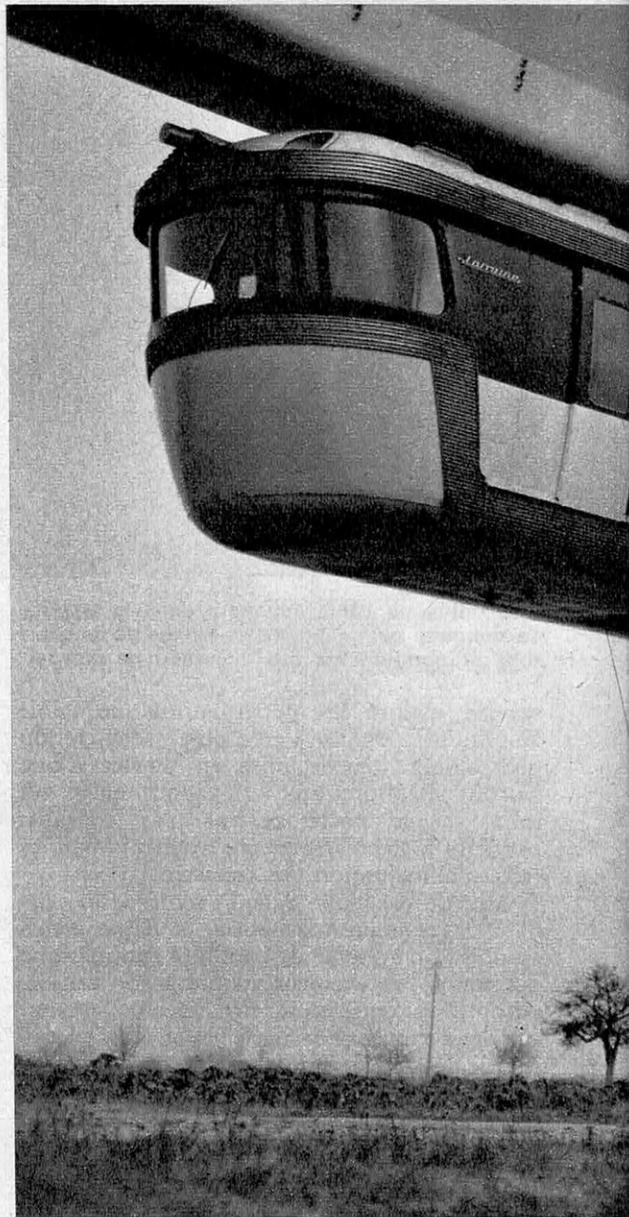
L'évolution du monde moderne suscite cependant sans cesse des besoins nouveaux. Il faut des liaisons entre centres industriels séparés par des distances où l'avion ne se justifie pas. Il en faut aussi entre ces centres et les aéroports qui les desservent. Les agglomérations urbaines s'étendent, des villes satellites, telles les cités-dortoirs, surgissent, qu'on doit doter de transports rapides, fréquents et à grand débit. Autant de problèmes pour la solution desquels les ressources de la technique ferroviaire classique sont encore loin, certes, d'être épuisées. Leur mise en œuvre est cependant de plus en plus délicate, car elle implique un important accroissement en volume de l'infrastructure alors que l'espace libre se réduit constamment, tant en surface qu'en profondeur.

Ainsi ne peut-on maintenant exclure a priori l'introduction de nouvelles techniques de transport, qui, tout en conservant le principe du guidage, sont susceptibles d'apporter des solutions originales. Nous en examinerons ici quelques-unes, applications modernisées d'idées parfois fort anciennes. Elles n'ont guère encore en général dépassé le stade des essais pour les plus évoluées, des projets pour les plus audacieuses. L'avenir seul dira si elles pourront s'imposer.

Le métro monorail

A Châteauneuf-sur-Loire, le 23 février 1960, fut présenté officiellement un métro aérien expérimental du type suspendu qui évoluait silencieusement sur une ligne longue de 1350 m. Cette ligne existe toujours et l'on n'a pas cessé d'y effectuer des essais de toutes sortes qui ont amené à envisager la construction, dès l'année prochaine sans doute, d'une telle ligne entre Charenton-Ecoles et Créteil.

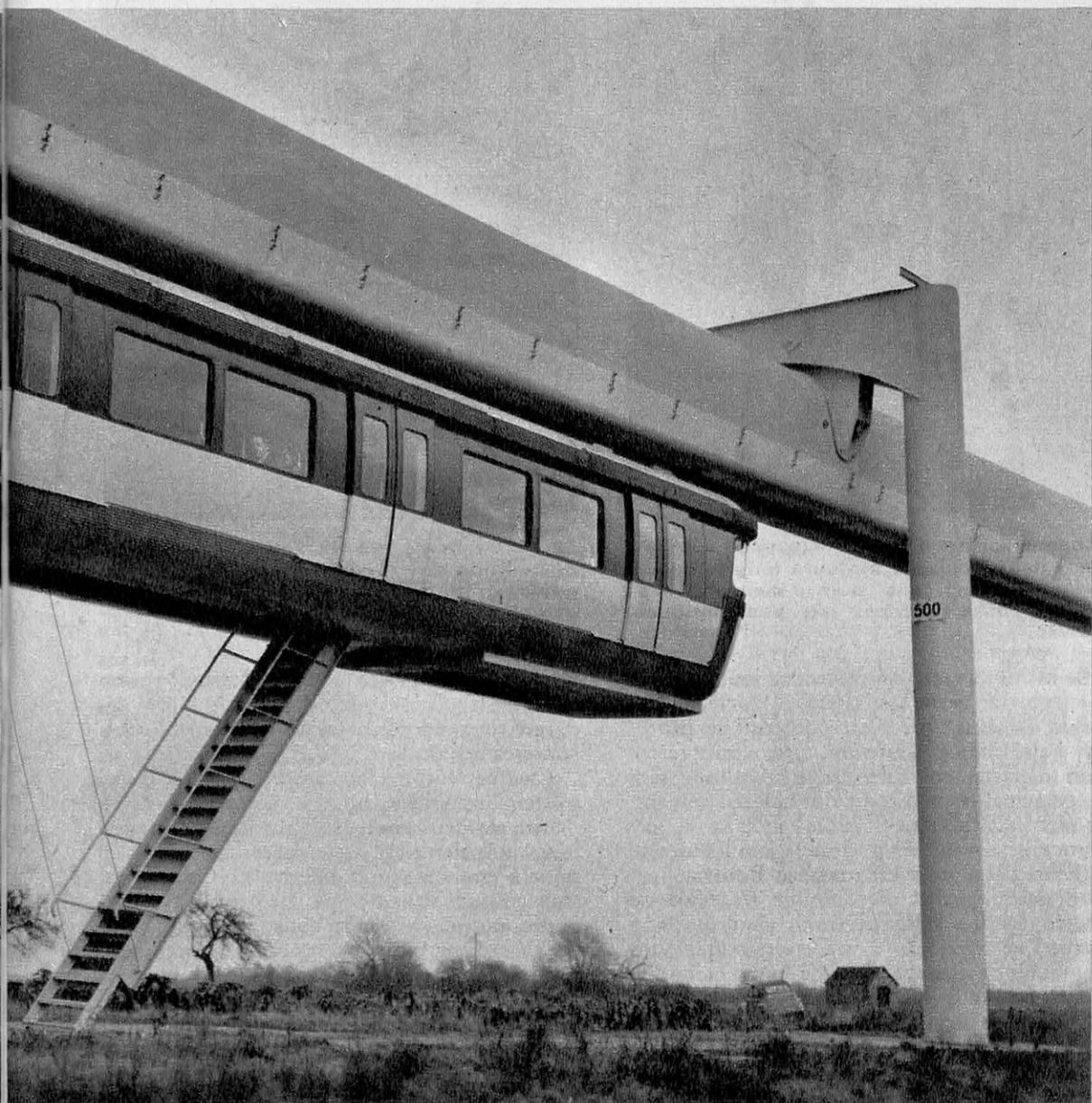
Il s'agit d'un itinéraire où la circulation a atteint une densité de quasi-saturation, alors qu'on envisage encore la construction à Créteil d'une cité nouvelle de 100 000 habitants. Ultérieurement, cette ligne pourrait être prolongée jusqu'à Boissy-Saint Léger et, dans l'autre sens, jusqu'à la Gare de Lyon.



Si cette technique donne satisfaction, elle pourra être adoptée sur d'autres itinéraires qui ont grand besoin d'être décongestionnés, tels que Place d'Italie - Rungis - Orly ; Gare Montparnasse - Porte de Vanves - Velizy - Saclay ; Livry-Gargan - Clichy-sous-Bois, etc.

En ce qui concerne Charenton-Créteil, la R.A.T.P. n'a pas achevé les études entreprises

NOUVELLES

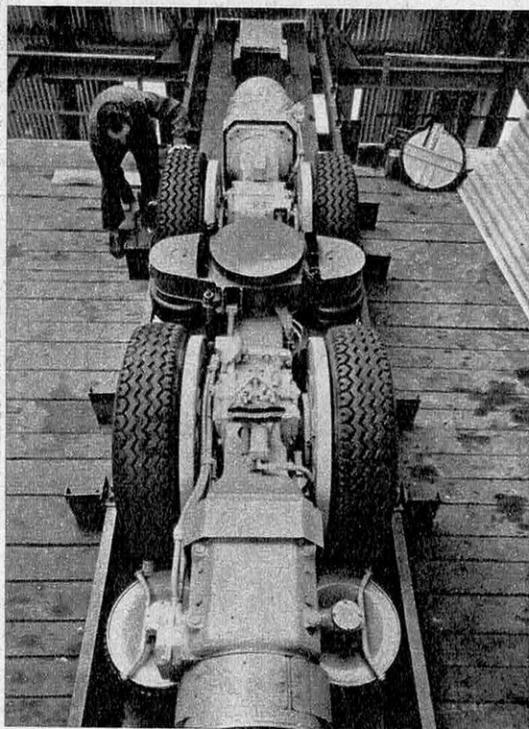


S.A.F.E.G.E.

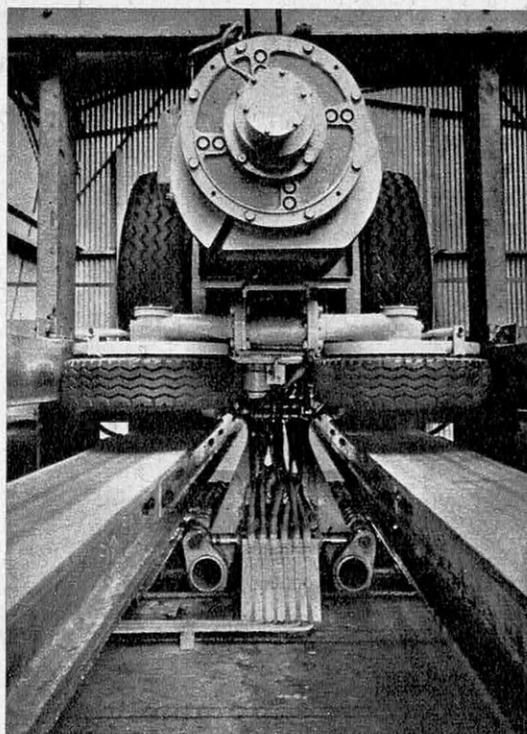
en vue de déterminer avec précision l'emplacement des gares terminales (celle de Charenton-Écoles doit être aussi proche que possible de la station de métro), et le gouvernement n'a encore pris qu'une décision de principe. Ce n'est qu'au début de 1966 que le marché doit être signé.

Le promoteur de ce projet est la S.A.F.E.G.E., société d'études qui ne procède

Le métro suspendu de Châteauneuf-sur-Loire (ci-dessus) a fait depuis plusieurs années l'objet d'études approfondies qui vont permettre l'installation d'une ligne régulière dans la proche banlieue de Paris.



Chaque voiture du métro suspendu comportera deux bogies à moteurs longitudinaux, engagés dans une poutre-caisson, avec quatre roues motrices sur pneumatiques.



Le même bogie, vu de l'avant, montre la disposition des roues horizontales pour le guidage, du moteur, des roues motrices et des bielles de suspension des voitures.

elle-même à aucune construction, laissant ce soin à certaines grandes sociétés. La régie Renault, qui avait construit le prototype de Châteauneuf-sur-Loire, ayant fermé son département ferroviaire, Alstom sera le principal constructeur du matériel roulant, tandis que la partie génie civil et superstructure revient à la Compagnie Française d'Entreprises et à l'Entreprise Boussiron.

Si la S.A.F.E.G.E. emploie le terme de métro et non celui de train, c'est que son projet ne vise pas à transporter quelques centaines de passagers sur de longs parcours, mais des milliers de voyageurs à vitesse moyenne et sur de courts trajets. Tel qu'il est, le métro suspendu pourrait marcher entre 80 et 120 km/h. A la demande des Américains, la S.A.F.E.G.E. étudie les problèmes qui se poseraient à des vitesses plus élevées : entre 120 et 160 km/h.

Compte tenu des distances de lancement et de freinage, la ligne expérimentale de Châteauneuf n'a d'ailleurs pas permis de dépasser 100 km/h. Mais démarrer, atteindre 100 à l'heure et stopper, le tout en 1300 mètres, constitue déjà une performance peu commune. Ces accélérations et ces freinages remarquables sont dus pour une large part

aux pneus dont sont équipées les huit roues du prototype suivant la formule mise en œuvre avec un plein succès sur deux lignes souterraines de la R.A.T.P.

Chaque voiture est automotrice et supportée par deux bogies, équipés l'un et l'autre de deux moteurs électriques disposés longitudinalement, avec entraînement par pont à engrenages et différentiel. Ces bogies sont engagés dans une poutre-caisson dont la partie interne inférieure constitue un chemin de roulement pour les roues pneumatiques. La solidité de chaque élément est assurée par une poutre métallique enrobée par le toit, à laquelle est boulonnée la caisse, réalisée en acier ou en métal léger à base d'aluminium. Il est possible de constituer des rames de plusieurs voitures par accouplement automatique, (on prévoit deux véhicules par rame sur la ligne Charenton-Créteil).

Le système S.A.F.E.G.E. présente plusieurs avantages. Il est peu encombrant, car la voie repose sur des piliers — un tous les 30 mètres environ — qui n'occupent au sol qu'un mètre carré. Il suffira de réaménager quelque peu la N 19 pour la séparer en deux voies, avec un terre-plein central au-dessus duquel sera installée la voie aérienne. Par

ailleurs, la suspension pendulaire des voitures autorise des courbes de faible rayon. La voie de roulement étant protégée des intempéries par sa poutre-caisson, il n'y a pas de risque de patinage par temps de pluie. La construction de la superstructure en acier et béton reviendra un peu plus cher que celle d'une voie de chemin de fer classique, mais moins qu'une voie classique surélevée. Sa construction pourra être très rapide, 100 mètres par jour. Par contre, celle du matériel roulant demandera environ dix-huit mois.

Les monorails

L'idée de faire circuler des chemins de fer sur des voies aériennes simplifiées est fort ancienne et, en particulier, les lignes monorail ont depuis longtemps séduit maints inventeurs à cause de leur encombrement au sol extrêmement réduit et de leur superstructure simplifiée.

Le premier réalisateur semble avoir été un Français, Duchamp, qui construisit à Lyon, pour l'Exposition de 1872, un curieux chemin de fer aérien monorail. Les wagons, généralement attelés deux par deux, étaient placés à cheval sur un rail fixé sur une poutre que supportaient des piliers de bois. Le système de propulsion, pittoresque mais efficace, comportait à chaque extrémité de la ligne, longue de 1 100 mètres, un tambour horizontal. L'un d'eux, actionné par une machine à vapeur, entraînait un câble sans fin tendu entre les deux tambours et qui traversait les wagons en glissant sur des galets. Il suffisait de rapprocher ces galets en agissant sur une vis de pression pour que les wagons se trouvent entraînés. En serrant le câble d'un côté ou de l'autre on changeait le sens de la marche. Ce système fonctionnait assez bien pour que ce monorail arrivât à transporter jusqu'à 3 500 voyageurs par jour, ce qui est assez remarquable si l'on considère que chaque wagon ne pouvait contenir que trente personnes.

Le Français Charles Lartigue conçut également, vers 1880, un chemin de fer où la locomotive et les wagons étaient à cheval sur un rail unique installé sur une charpente métallique à environ 80 centimètres du sol. Ce monorail Lartigue fit merveille dans le Sud-Oranais pour la récolte de l'alfa et, modifié en vue du transport des voyageurs, desservit à partir de 1887, sur la côte ouest de l'Irlande, une ligne de 15 km.

La technique inaugurée par Duchamp est demeurée d'actualité. Divers systèmes de monorails ont été expérimentés, voir utilisés, en Argentine, en Afrique du Sud, en Allemagne, en Italie, au Japon et aux U.S.A.

Le monorail de l'ingénieur suédois Alweg, mis au point sur une ligne expérimentale construite en Allemagne près de Cologne, est le plus connu. Aux Etats-Unis, le parc d'amusement « Disneyland » est sillonné par un monorail Alweg en réduction et, à Seattle, un système du même type, comportant quatre voitures, a permis aux visiteurs de parcourir à vol d'oiseau la gigantesque Exposition.

C'est enfin ce système Alweg que les Japonais ont choisi pour la liaison rapide entre l'aéroport de Haneda et le centre de Tokyo. Longue de 13 km, cette ligne monorail mise en service pour les Jeux Olympiques de 1963 donne toujours entière satisfaction. Le problème le plus délicat a été d'assurer aux piliers, supportant chacune des deux voies monorail, une très grande résistance aux secousses sismiques. Cette superstructure repose en effet en partie sur le fond sous-marin de la baie de Tokyo, et chaque pylône est enfoncé à 30 mètres de profondeur, tandis que les deux voies parallèles s'élèvent à une hauteur variant de 8 à 15 m au-dessus du niveau de la mer. Les deux gares terminales, situées l'une dans le sous-sol de l'aérogare, l'autre au cinquième étage de la gare de Hamamatsu-cho, présentent entre elles une différence de niveau de 40 mètres, ce qui correspond à une pente trois fois supérieure à celle que l'on admet pour les trains électriques conventionnels, gravie grâce à l'excellente adhérence des roues, entourées de bandages de caoutchouc, sur une voie de roulement en ciment. Sur ce court trajet, la moyenne peut ainsi atteindre 60 km/h, la vitesse maximum étant de 130 km/h et le rayon des courbes descendant jusqu'à 120 m.

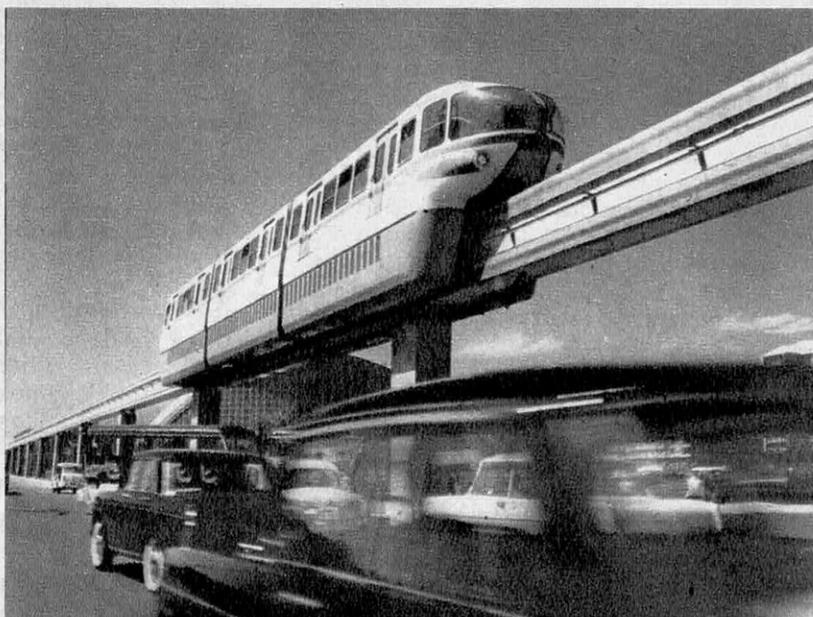
Les rames, composées de six voitures, peuvent accueillir 480 voyageurs et se suivent à une cadence de 7 à 10 minutes. Il est possible que cette ligne, qui constitue le plus long monorail du type Alweg actuellement en service dans le monde, soit prolongée jusqu'à Yokohama, à 17 km de Tokyo.

Trains monorails suspendus

Il existe un autre type de monorails, où les roues sont situées au-dessus de la caisse des voitures, comme dans les téléphériques.

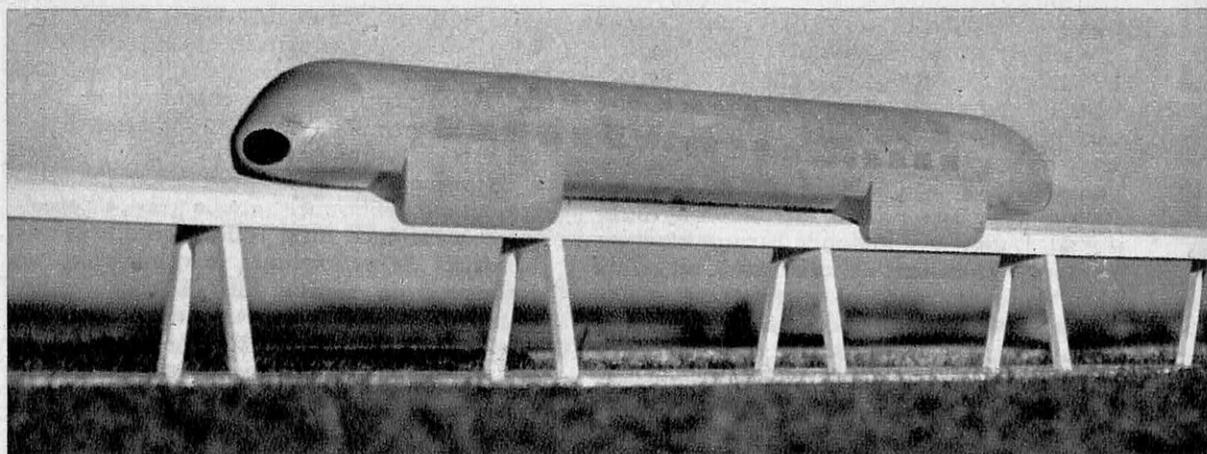
Cette technique a été expérimentée en Grande Bretagne en 1925 et dans la banlieue de Houston, aux U.S.A., en 1957. Elle est utilisée également dans des parcs d'attractions japonais. Mais c'est en Allemagne que, depuis plus de soixante ans, elle fait le mieux ses preuves. C'est en 1903, en effet, que fut inaugurée, en Westphalie la « Schwebebahn », chemin de fer électrique suspendu à un monorail porté par d'immenses arches métalliques et dont une partie du parcours s'effec-

Ci-contre, l'un des monorails Alweg mis en service au cours des dernières années, celui de Turin, dont l'exploitation a dû être arrêtée en raison de la mauvaise implantation de la ligne, trop isolée. Ci-dessous, un projet de train sur coussins d'air actuellement étudié en Angleterre et dont on espère une vitesse maximale de 500 km/h environ. Le moteur à induction linéaire paraît être retenu pour assurer la propulsion, mais les caractéristiques d'un tel moteur sont encore mal connues et divers systèmes sont à l'étude.

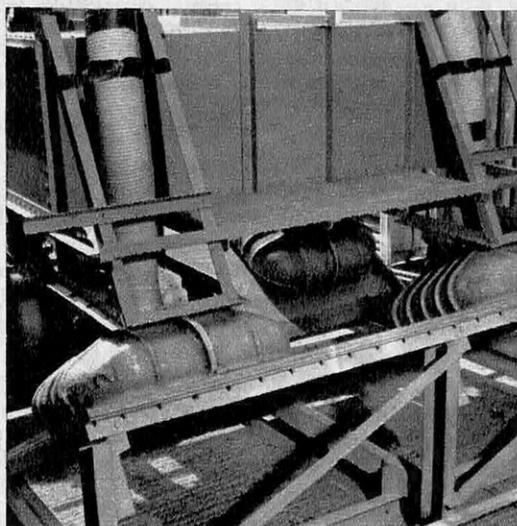


ALWEG

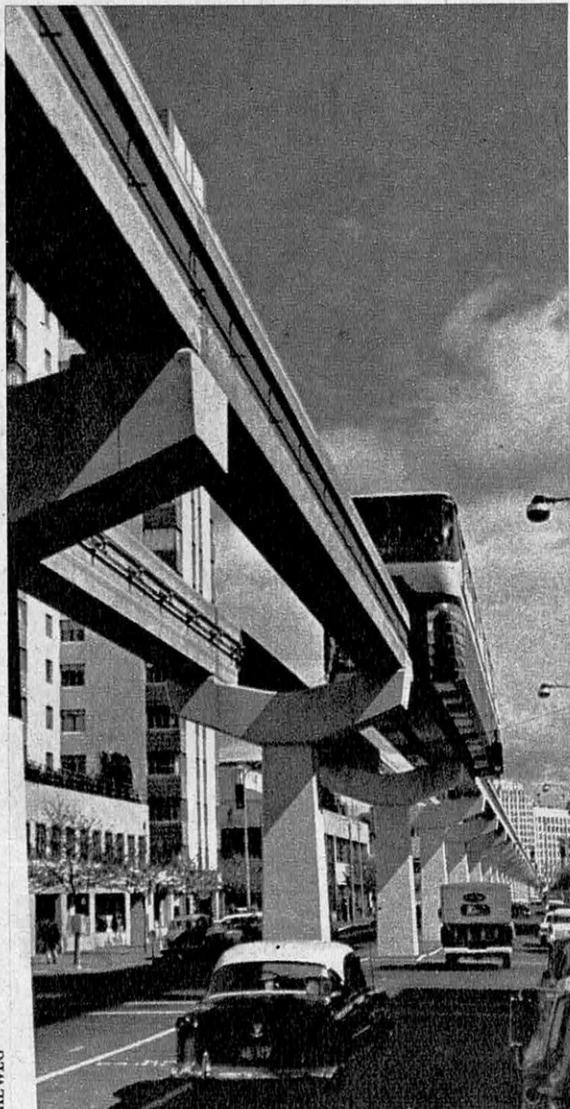
HOVERCRAFT DEVELOPMENT LTD



U.S.I.S.



Un des dispositifs utilisés par la Hovercraft Development, en Angleterre, pour tester les performances et le comportement des « lift-pads » qui assureront la sustentation du « Tracked hovercraft ». La forme de la piste, ici du type en V, n'est pas encore bien définie. A gauche, une technique moins révolutionnaire, le monorail suspendu de Houston (Texas) qui, en service depuis près de dix ans, assure une liaison rapide avec la banlieue.



A gauche le monorail de Seattle, aux Etats-Unis en service depuis 1962. L'infrastructure simple et le faible volume occupé au sol de l'avenue que cette ligne surplombe démontrent les possibilités que les diverses formules de trains sur voie surélevée peuvent offrir, à une époque où l'encombrement croissant des grandes villes rend les solutions classiques souvent inopérantes ; à droite, le monorail suspendu du parc zoologique de Tokyo dont il est une des attractions : chaque voiture peut transporter une trentaine de passagers.



LA VIE DU RAIL



BUDD

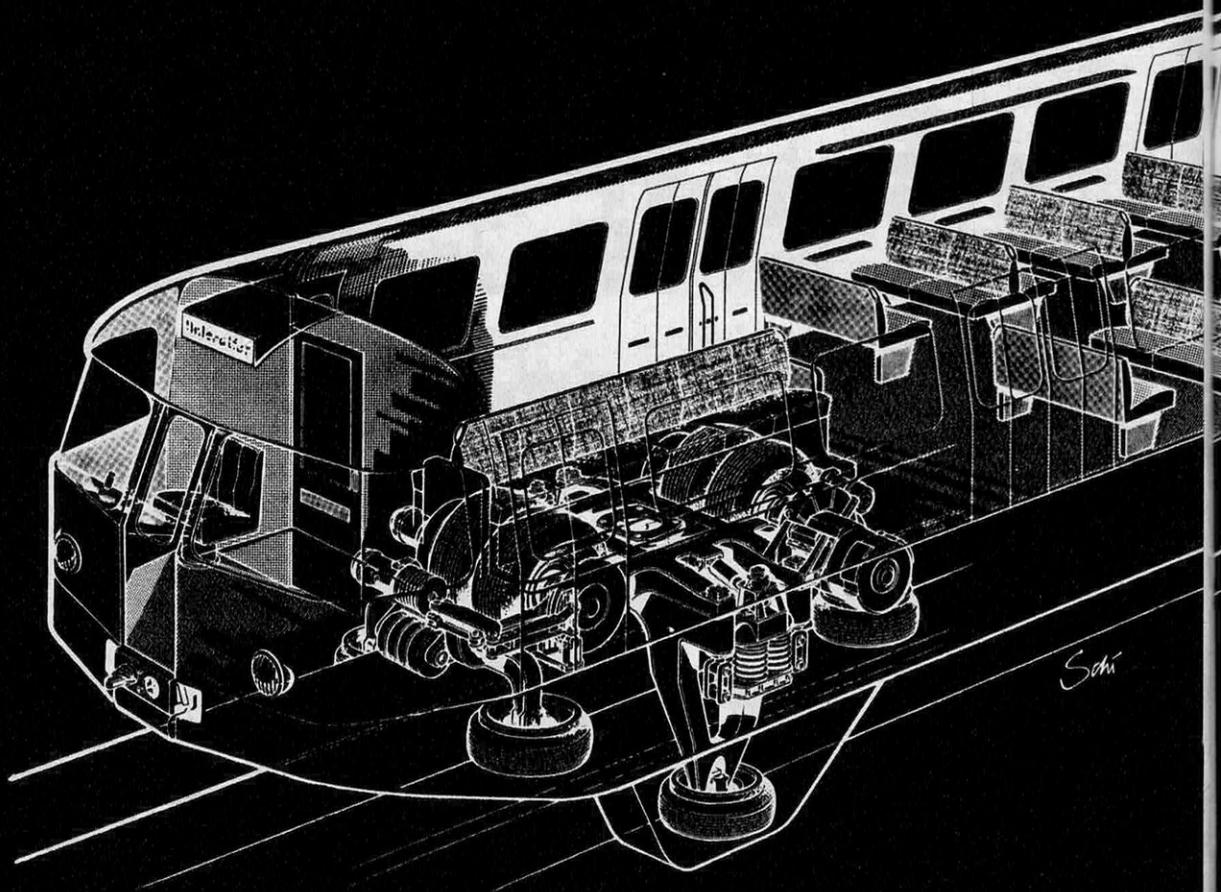


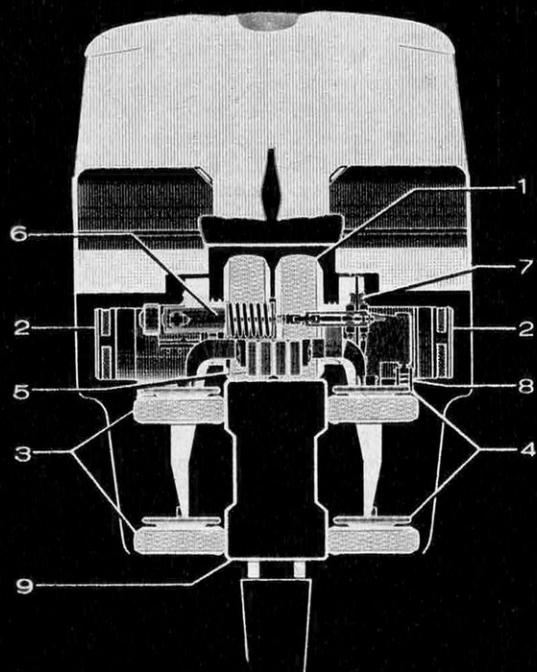
ALWEG

Près de Cologne, la société d'études Alweg a fait construire une ligne d'essais où les plus récents matériels construits peuvent être placés dans les conditions de leur exploitation future. Ci-dessus, un projet de train ultrarapide de la Budd Comp. visant, comme les « trains-tubes » de Foa ou Edwards, à apporter une solution à la saturation du corridor Nord-Est aux États-Unis. Ici, la propulsion pourra être assurée au moyen de turbines à gaz.

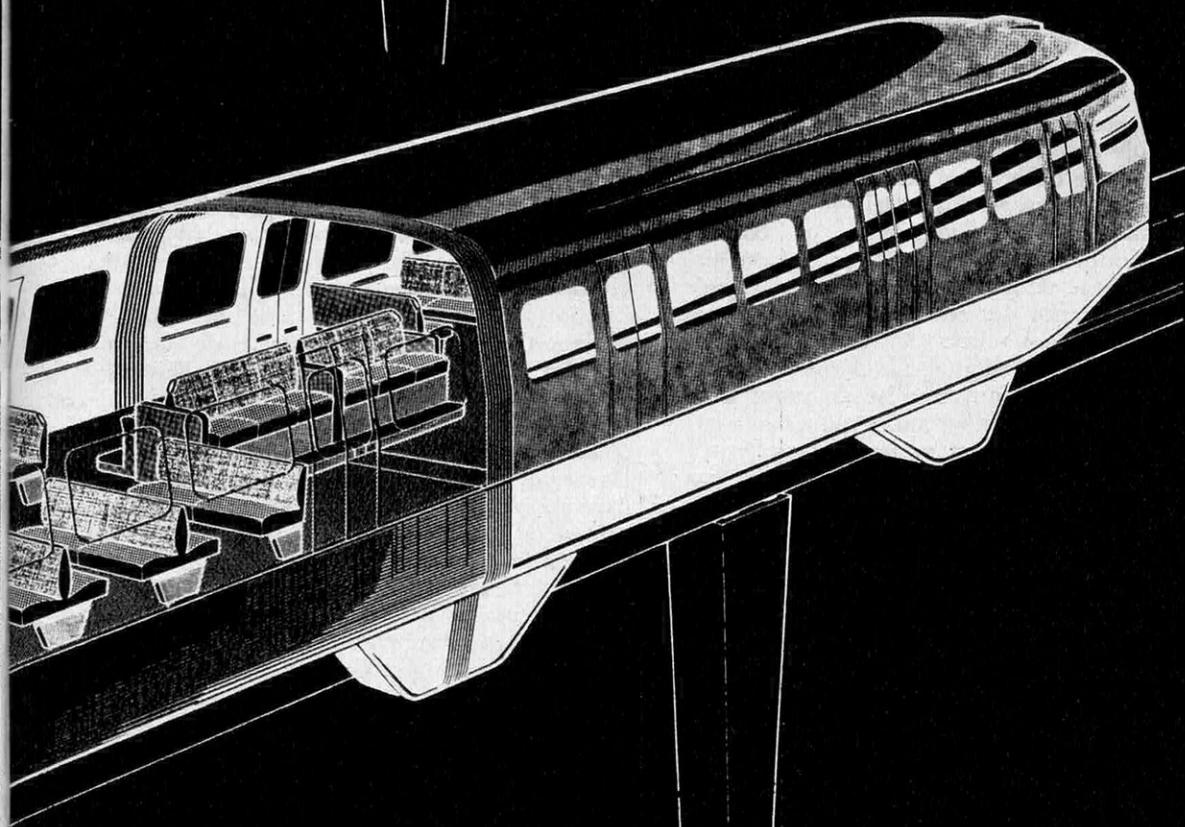


La ligne monorail qui relie Tokyo à l'un de ses aéroports est établie au-dessus de la baie, sur d'énormes pylônes de béton. Le parcours, qui comporte de fortes rampes, est couvert en quinze minutes à la moyenne de 60 km/h avec des pointes de vitesse à 130 km/h.





- 1 pneu porteur
- 2 moteur de traction
- 3 roues de guidage et de stabilisation
- 4 bandages de sécurité
- 5 rouleaux de caoutchouc plein
- 6 commande pneumatique du frein
- 7 frein à disque
- 8 amortisseur
- 9 poutre de roulement



après Tokyo, le dernier Alweg à l'étude

tue au-dessus de la Wupper, petite rivière dont le lit caillouteux sert de déversoir aux nombreuses usines de la région. Il est encore aujourd'hui en service.

Les Russes, à leur tour, adoptent le monorail. La construction d'une première ligne s'achève, dans la banlieue de Kiev, sur la rive gauche du Dniepr. Elle doit relier la tête de ligne du métro aux nouveaux quartiers d'habitation et déjà l'on envisage de la prolonger. On songe aussi à construire une ligne de 145 km au bord de la mer Noire et plusieurs lignes rapides à Moscou.

Les coussins d'air

La facilité d'implantation des voies monorail ne joue plus qu'un rôle secondaire quand il s'agit de liaisons interurbaines, où l'objectif essentiel est la vitesse. En Angleterre, aux U.S.A. et en France, des chercheurs paraissent avoir trouvé une solution dans la technique récente des véhicules à « effet de sol » ou, comme on dit souvent, à « coussins d'air ».

On imagine fort bien, en effet, qu'un tel véhicule apte à évoluer sur la surface fluide et houleuse de la mer, puisse, sur une piste sûre et régulière, atteindre des vitesses remarquables dans des conditions de confort exceptionnelles. En outre, avec ce système, la puissance de propulsion n'est pas limitée par l'adhérence des roues, ce qui ouvre des perspectives nouvelles.

En Grande Bretagne, *The Hovercraft Development Ltd* poursuit la mise au point d'un train sur coussins d'air qui « glisserait » sur une piste surélevée et pourrait, dans l'esprit de ses promoteurs, concurrencer non pas tant les trains conventionnels que les lignes aériennes. On envisage en effet des vitesses de l'ordre de 480 km/h. On compte sur la souplesse des « coussins d'air » et sur la suspension prévue entre la caisse des voitures et les caissons à l'intérieur desquels l'air comprimé forme coussins, les *lift-pads*, pour réduire à des valeurs négligeables l'amplitude des mouvements horizontaux et verticaux auxquels des véhicules terrestres atteignant ces vitesses élevées sont obligatoirement soumis. Le rayon des courbes ne descend pas au-dessous de 3 200 m pour ne pas infliger aux passagers des accélérations centrifuges trop fortes. La conduite sera entièrement automatique, l'observation des signaux visuels n'étant plus utilisable à de telles vitesses. Pour la propulsion de ces trains bolides, les Britanniques envisagent de faire appel au moteur à induction linéaire qui, déjà, a fait ses preuves, mais son application à une telle échelle demande des études plus

poussées. L'incidence des grandes vitesses sur les coussins d'air eux-mêmes n'est pas bien connue et l'on hésite également sur le type de piste qui donnera les meilleurs résultats. Tous les problèmes que pose l'application de cette technique révolutionnaire, bien que simple dans son principe, aux transports à haute vitesses, ne sont donc pas, on le voit, entièrement résolus.

La France, dans le domaine des engins à « effet de sol », se trouve en bonne place grâce aux travaux de l'ingénieur Jean Bertin.

M. Bertin souligne volontiers que « l'effet de sol » appliqué à des véhicules utilisant une voie spéciale présente des avantages tout à fait remarquables. L'absence d'obstacles, ou même d'irrégularités de surface notables, éliminera la difficulté majeure que l'on rencontre dans la mise au point des aéroglisseurs terrestres ou marins. De ce fait, le « coussin » peut avoir une épaisseur très faible, d'où une économie sensible d'énergie. Par ailleurs, il est très important de noter qu'à la différence de ce qui se passe pour un véhicule sur roues, les contraintes mécaniques n'augmentent pas dans un aéroglisseur quand la vitesse s'accroît; théoriquement, celle-ci n'est donc pratiquement pas limitée. Pour M. Bertin, ces avantages ne seront pas payés un prix élevé. En effet, le matériel roulant pourra être de structure légère, donc peu coûteux, sauf en ce qui concerne le groupe motopropulseur dont l'importance sera fonction de la vitesse désirée. On envisage un minimum de 200 ou 300 km/h, selon qu'il s'agira de liaisons suburbaines ou interurbaines.

Ce qui est vrai pour les véhicules l'est également pour la voie qui pourra être assez légère, donc relativement peu coûteuse. Réalisée en béton ou en métal, elle aura une section en T inversé, la partie verticale montant approximativement à mi-hauteur des véhicules, et la largeur étant d'environ 3 m.

Quant à la propulsion, elle sera assurée par un turbopropulseur entraînant une hélice. Moins silencieux que ne le serait un moteur électrique linéaire (auquel on songe d'ailleurs également), le turbopropulseur présente l'avantage de simplifier l'aménagement des voies, le véhicule étant autonome.

L'aérotrain de la Société Bertin est donc un projet d'avant-garde, mais sans rien de chimérique. Il pourrait être exploité d'autant plus rapidement que tous les éléments auxquels il fait appel existent déjà sans qu'il soit besoin de les modifier sensiblement. Il n'y a, pour ainsi dire, qu'à choisir parmi les turbines, hélices et compresseurs existant sur le marché.

La Société d'Études de l'Aérotrain doit commencer, en janvier 1966, sur une ligne

de 6 km construite entre Limours et Gometz-le-Châtel, les essais d'un aérotrain expérimental de dimensions modestes (10 m de longueur, six places assises). Pour la propulsion, on a choisi un moteur Continental de 250 ch, tandis que deux moteurs Renault-Gordini de 50 ch entraîneront les ventilateurs assurant la sustentation du véhicule.

Les trains-tubes

Outre-Atlantique, des projets plus avancés encore sont en cours. Les Américains, dont les autoroutes sont saturées, dont l'espace aérien même est près de l'être entre Boston et Washington, ce que les Américains appellent le « North-East Corridor », cherchent désespérément de nouvelles techniques susceptibles d'assurer des moyens de transport terrestres ultra-rapides.

Malheureusement, un véhicule terrestre ne peut, au delà d'une certaine vitesse, offrir des garanties de sécurité acceptables. C'est pourquoi plusieurs ingénieurs pensent qu'un tel véhicule doit circuler à l'abri de l'air, c'est-à-dire dans un tube où l'on ferait le vide. L'idée n'est pas nouvelle. Elle a été longuement étudiée, au tout début du siècle, par Robert H. Goddard, plus connu comme inventeur des fusées à combustibles liquides, et a été reprise à la fin de la guerre par Irving Langmuir, Prix Nobel de chimie, qui en attendait 8 000 km/h. Mais le coût de l'installation et la dépense d'énergie parurent déraisonnables.

C'est maintenant un ingénieur italo-américain, le Dr Foa, du Rensselaer Polytechnic Institute, qui propose, pour des liaisons sur grandes distances, des trains-cigares, propulsés dans des tubes par des réacteurs à des vitesses de 1 500 à 3 000 km/h ou, pour des distances plus courtes, par des turbopropulseurs autorisant des vitesses de 400 à 600 km/h. Des « coussins d'air » assureraient le centrage du train dans le tube et un dispositif particulier repousserait vers l'arrière l'air situé devant le train, fournissant un complément de poussée. Un autre ingénieur, Larry Edwards, a conçu un projet de train sous tube qui pourrait atteindre 350 km/h sans être équipé d'aucun moteur. Edwards s'est sans doute souvenu qu'en 1810, l'ingénieur anglais Medhurst imagina de transporter le courrier, dans les grandes villes, sur un chariot tiré par un piston glissant dans un petit tunnel. La force propulsive appliquée au piston n'était autre que la pression atmosphérique : il suffisait de faire le vide à l'autre bout du tunnel, à l'aide d'une pompe aspirante. Medhurst venait d'inventer le transport pneumatique (d'ailleurs déjà ima-

giné par Denis Papin). Trente-trois ans plus tard, un train utilisant ce mode de propulsion fonctionna — assez irrégulièrement, il est vrai — en Irlande. Pendant une trentaine d'années, cette technique allait exciter l'imagination des chercheurs et donner lieu à de nombreuses réalisations des deux côtés de l'Atlantique et notamment en France.

Les conceptions de Larry Edwards se justifient par les progrès accomplis dans le domaine des machines à vide. Si, en effet, on peut faire un vide convenable en avant d'un véhicule au diamètre ajusté à celui du tube, sept mètres carrés par exemple, c'est une poussée de 70 tonnes qui s'exercera sur l'arrière du fait de la pression atmosphérique. On prévoit de plus d'utiliser la gravité pour accroître l'accélération au départ et la décélération à l'arrivée en donnant au tube, entre deux stations, le profil d'un V très évasé. En cas de défaillance des pompes, des moteurs montés sur les véhicules leur permettraient de rejoindre la station la plus proche.

Économiquement, il n'est pas certain qu'un tel projet soit réalisable. Certains ingénieurs pensent en effet que la nécessité d'une rigidité parfaite implique que les tubes soient cimentés sous terre, à une certaine profondeur, ce qui représenterait, pour une ligne de plusieurs centaines de kilomètres, des investissements prohibitifs.

Monorails *sur* ou *sous* une voie aérienne, aérotrains, bolides sous tube... Comme on le voit, les idées sont nombreuses et certaines tentatives ne manquent pas d'intérêt. Faut-il pour autant parler de révolution ? Non, sans doute, car la qualité et la fiabilité des moyens de transport actuels rendent une évolution brutale et généralisée peu probable pour les prochaines années.

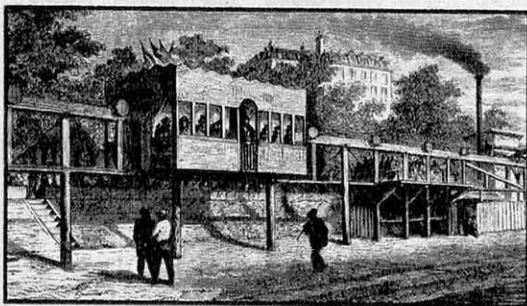
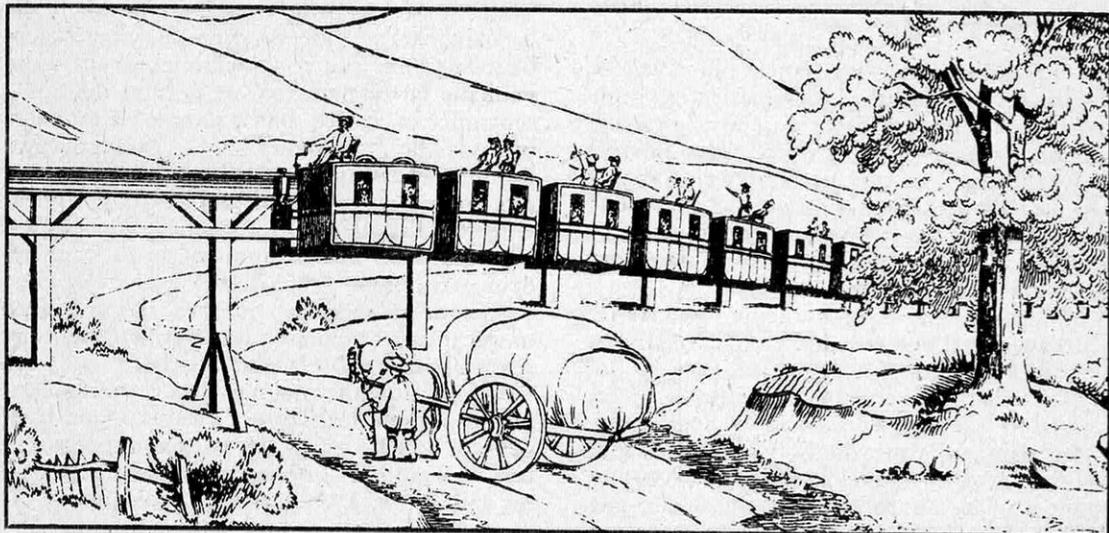
Jean FONDIN



L'aérotrain de l'ingénieur J. Bertin glissera à 300 km/h et plus sur une piste de béton.

ANCÊTRES DU MONORAIL

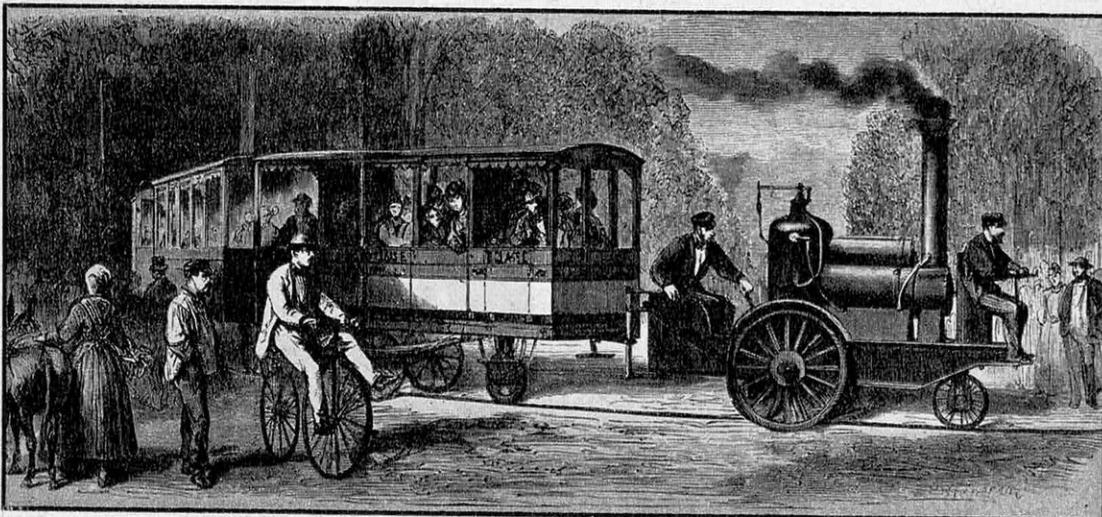
Sous des aspects très variés, le monorail propose un moyen de locomotion de réalisation économique mais de capacité limitée. Il ne saurait être encore comparé à la voie ferrée traditionnelle.

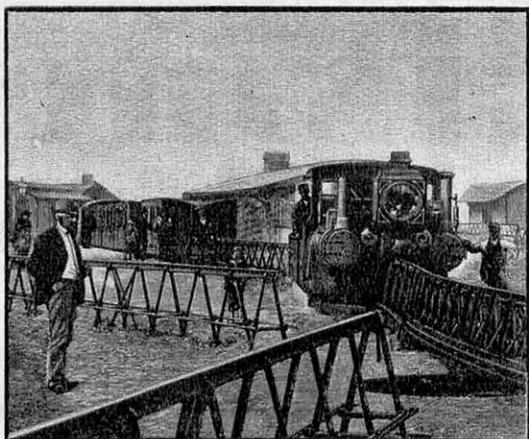


Train suspendu se déplaçant sous l'effet de l'air comprimé, projet d'Andraud, 1846.

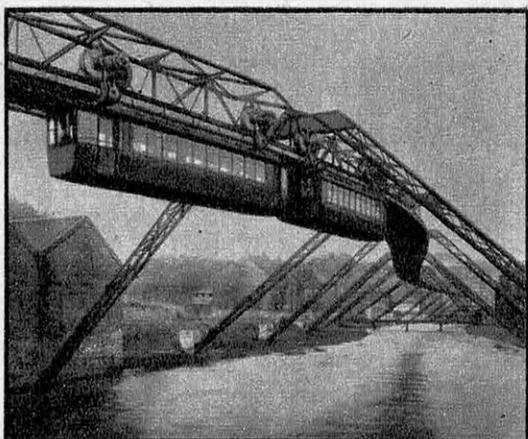
Ci-contre, le monorail Duchamp, à câble sans fin, de l'Exposition de Lyon, en 1872.

Le chemin de fer monorail de Montfermeil au Raincy, établi en 1868 par Larmenjat.

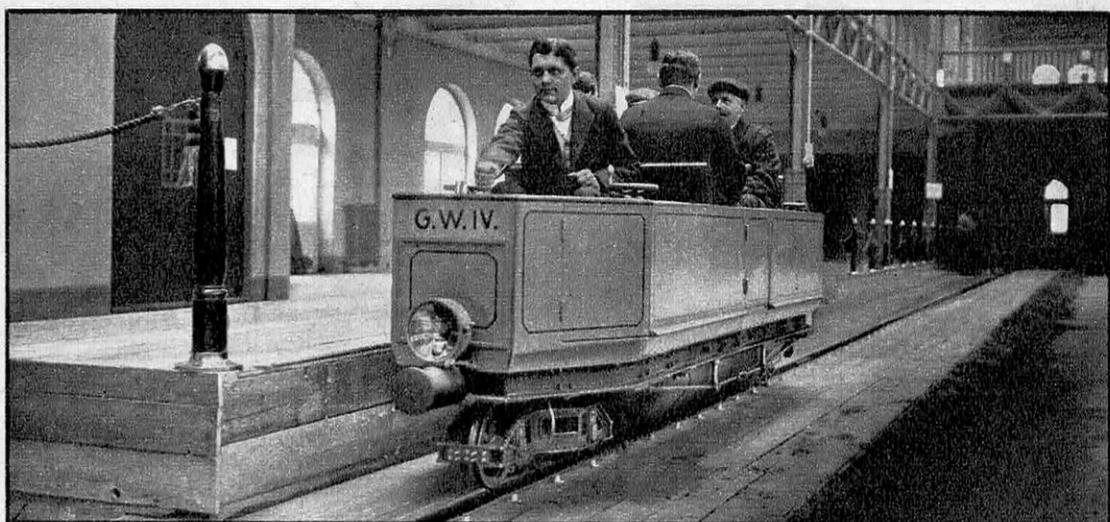




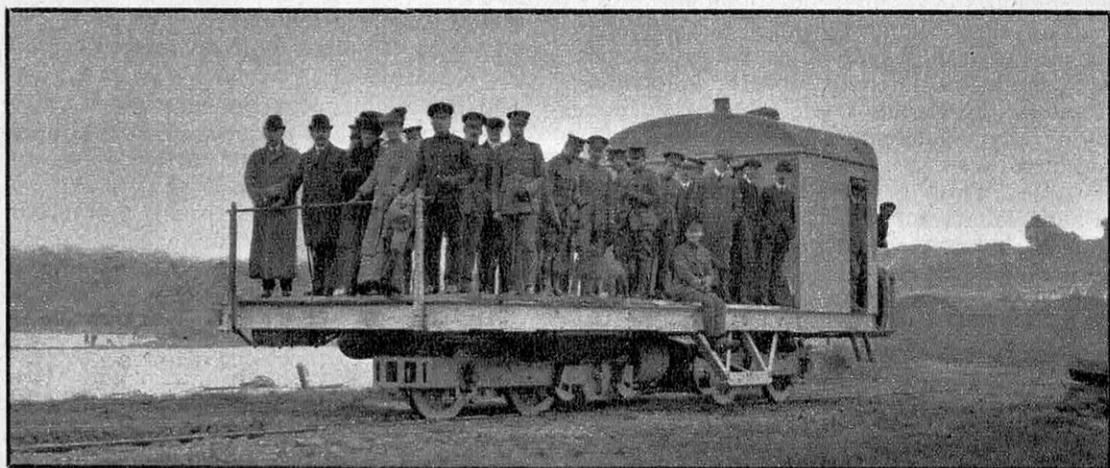
Le chemin de fer monorail du système Lartigue, long de 15 kilomètres, a été installé en 1887 sur la côte ouest de l'Irlande.



Le chemin de fer suspendu Barmen-Elberfeld passant au-dessus de la Wupper dont il emprunte partiellement le cours (1899).



Le monorail à gyroscopes d'Auguste Scherl, au jardin zoologique de Berlin, en 1909.



Un essai encourageant du monorail à gyroscopes de Louis Brennan, dans le Kent, en 1909.

modélisme ferroviaire



PHOTO EGGER BAHN

Il y a dix ans, le train miniature relevait encore du domaine des jouets. Seuls quelques amateurs, des pionniers pourrait-on dire, s'intéressaient à perfectionner la construction de leurs réseaux ou réalisaient de leurs mains différents modèles de locomotives ou de wagons à une échelle de réduction bien différente de celles adoptées désormais.

Aujourd'hui, grâce à la vulgarisation du « Petit Train » à l'échelle 1/87, le modélisme ferroviaire s'est ouvert un large marché et a pris rang parmi les délassements de l'homme moderne. S'il existe toujours en tant que jouet, et fait, à ce titre, le bonheur de nos enfants, si nous trouvons encore de très nombreux « puristes », maquettistes de talent, collectionneurs très avertis, le train miniature atteint de nos jours une clientèle des plus éclectiques, où tous les âges, tous les groupes sociaux se retrouvent.

Un train de chantiers à l'échelle 1/87°, dans un décor reconstitué à partir d'éléments du commerce. Son moteur électrique se trouve logé verticalement dans la cabine.

Il faut d'ailleurs reconnaître que les mille et un aspects sous lesquels on peut aborder le modélisme ferroviaire entrent pour une large part dans son succès.

Certains, et non des moins nombreux, rêveront en regardant simplement tourner sur un réseau banal une rame non moins classique, tandis que d'autres mettront à profit leurs talents de bricoleurs pour concevoir tout un nœud ferroviaire avec ses aiguillages, ses voies de garage, etc. Pour beaucoup, l'électronique sera prétexte à une télécommande extrêmement poussée de plusieurs trains circulant simultanément sur un réseau complexe.

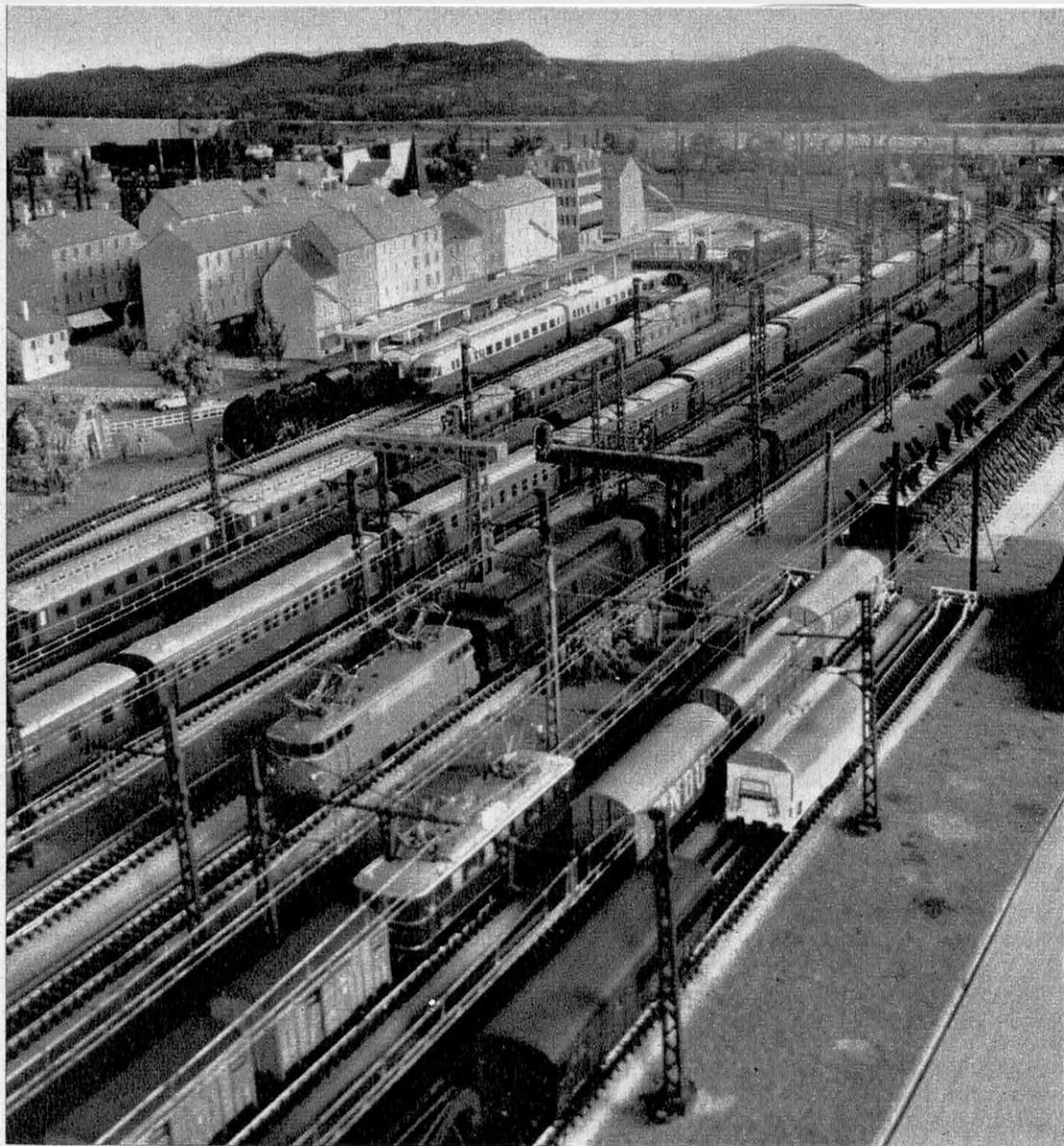


PHOTO RAIL MINIATURE FLASH

Le temps n'est plus où les amateurs dissimulaient la nature de leur «hobby» dans la crainte d'être taxés de puérilité. Ils se sont maintenant groupés en clubs, et ces clubs se sont constitués en fédération. Un organisme européen, le «MOROP», réunit toutes les associations de notre continent, tandis qu'une organisation analogue existe aux États-Unis sous le nom de «N.M.R.A.», dont les résolutions sont appliquées dans de très nombreux pays.

En France, l'AFNOR a déjà publié plusieurs normes relatives au modélisme ferroviaire.

Les échelles de réduction

A l'origine, c'est-à-dire il y a près d'un siècle, le matériel proposé aux amateurs était à faible échelle, compte tenu de la matière utilisée. Avant la guerre, le «O» régnait

Également réalisé à partir de matériaux du commerce, ce magnifique réseau alimenté en courant de traction par des chaînes de plots disposés au centre des voies ou par la caténaire. On aperçoit tout à fait à droite les postes de commande des aiguillages.

encore en maître et offrait déjà de fort beaux modèles en fer blanc sous une réduction de 1/43. L'encombrement des réseaux était important en comparaison de ce que l'on pouvait faire avec l'échelle 1/86 ou «HO» (half zero). Mais le prix était élevé et il fallut attendre l'ère du plastique, qui est la nôtre, pour atteindre au développement actuel du 1/87.

Depuis, sont apparues des échelles de réduction encore plus importantes, tel le «TT», abréviation de «table-top», échelle 1/120, enfin l'échelle «N» au 1/160.

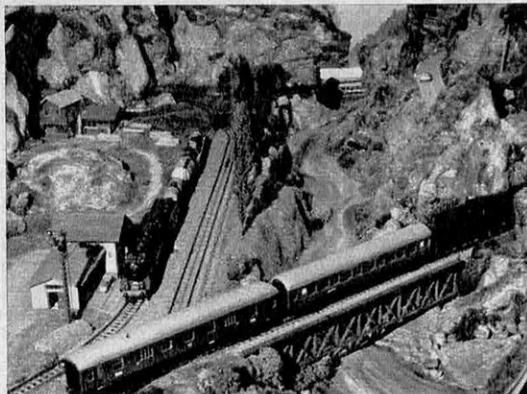


PHOTO RAIL MINIATURE FLASH

Pour constituer un réseau, on ne se contente plus aujourd'hui de mettre des rails bout à bout, et l'imagination poétique s'unit à l'ingéniosité technique pour donner des réalisations fort complexes et pittoresques.

Les « systèmes »

On entend par « système » la manière dont le courant d'alimentation est fourni aux locomotives. Trois systèmes différents coexistent actuellement dans le matériel commercialisé.

Dans un premier type, l'alimentation est assurée par un conducteur central, le retour par les deux rails de roulement. Le conducteur central est constitué, soit par un rail, soit par une chaîne de plots plus ou moins apparents au milieu des traverses. Ce système, qui est certainement le plus simple, met d'autre part en œuvre un courant alternatif.

L'alimentation par un conducteur central avec retour par l'un des deux rails est une variante du système précédent. Les deux rails de roulement étant isolés l'un par rapport à l'autre, l'amateur peut commander séparément deux trains se trouvant sur une même voie. Il peut, de plus, réaliser facilement une signalisation et une télécommande simple et efficace. On peut également concevoir un éclairage permanent des voitures voyageurs en lui réservant l'un des deux circuits électriques disponibles.

Enfin, avec l'alimentation par l'un des rails de roulement, et retour par l'autre, il est obligatoire d'isoler les roues de chaque essieu, ce que l'emploi des matières plastiques permet de réaliser facilement. Ce système est certainement le plus réaliste. Toutefois, en utilisant un courant de traction continu, certaines difficultés peuvent apparaître, une simple boucle dans un réseau posant déjà des problèmes de polarité. Loin de rebuter les amateurs, ces difficultés les ont plutôt stimulés et l'on peut aujourd'hui déclarer qu'à une exception près, il est tout à fait possible de

réaliser avec le système deux rails continu les mêmes montages qu'avec le système trois rails alternatif.

Chacun des trois systèmes proposés peut être utilisé conjointement avec une prise de courant supplémentaire par caténaire et pantographe, ce qui augmente d'autant les possibilités.

L'alimentation

Le courant de traction peut être soit alternatif, soit continu. Le premier présente l'avantage de ne pas poser de problème de polarité dans le raccordement des voies. L'inversion du sens de marche est obtenue en envoyant dans la machine une impulsion de tension supérieure à la normale, le déclenchement d'un relais incorporé sur la motrice suffisant alors à inverser le sens de rotation du moteur.

La tension continue de 12 V est la plus répandue. On l'obtient à partir d'un transformateur réducteur et redresseur ou de batteries de piles. Les normes prévoient que les locomotives circuleront en marche avant lorsqu'elles recevront une polarité positive par le rail droit et négative par le rail gauche. On comprend aisément que la marche arrière s'obtient alors en inversant simplement les deux polarités.

Quels que soient le système et le mode d'alimentation choisis, la variation de la vitesse est obtenue, soit au moyen d'une résistance variable insérée dans le circuit d'alimentation, soit par un curseur dont chacun des plots est réuni à une prise différente du secondaire du transformateur d'alimentation. Tout l'appareillage électrique répond à une réglementation de sécurité très étudiée.

Rappelons enfin que les boîtiers de commande possèdent une prise accessoire pour une tension alternative de 14 V, grâce à laquelle on alimentera passages à niveau, aiguilles, circuits d'éclairage de gares, signalisation, etc.

Voie et appareils de voie

C'est une des parties essentielles de la constitution d'un réseau, et l'on peut affirmer qu'à l'heure actuelle la gamme de matériel présenté par nos fabricants couvre la totalité des besoins de l'amateur.

La construction évolue très nettement vers des rails pleins en profilé de laiton, de maillechort, voire même d'acier inoxydable. Si quelques rares fabricants demeurent fidèles à une présentation des voies sur un ballast généralement en tôle, la majorité laisse à leur clientèle le soin de réaliser celui-ci, opération

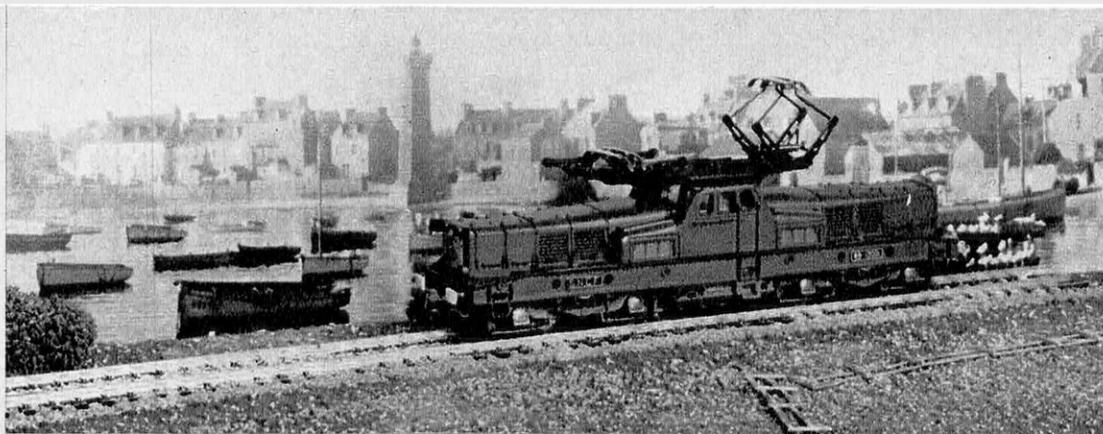


PHOTO G. PIOT

L'une des dernières productions d'un constructeur français. L'utilisation des

matières plastiques améliore la finesse de reproduction et abaisse le prix de revient.

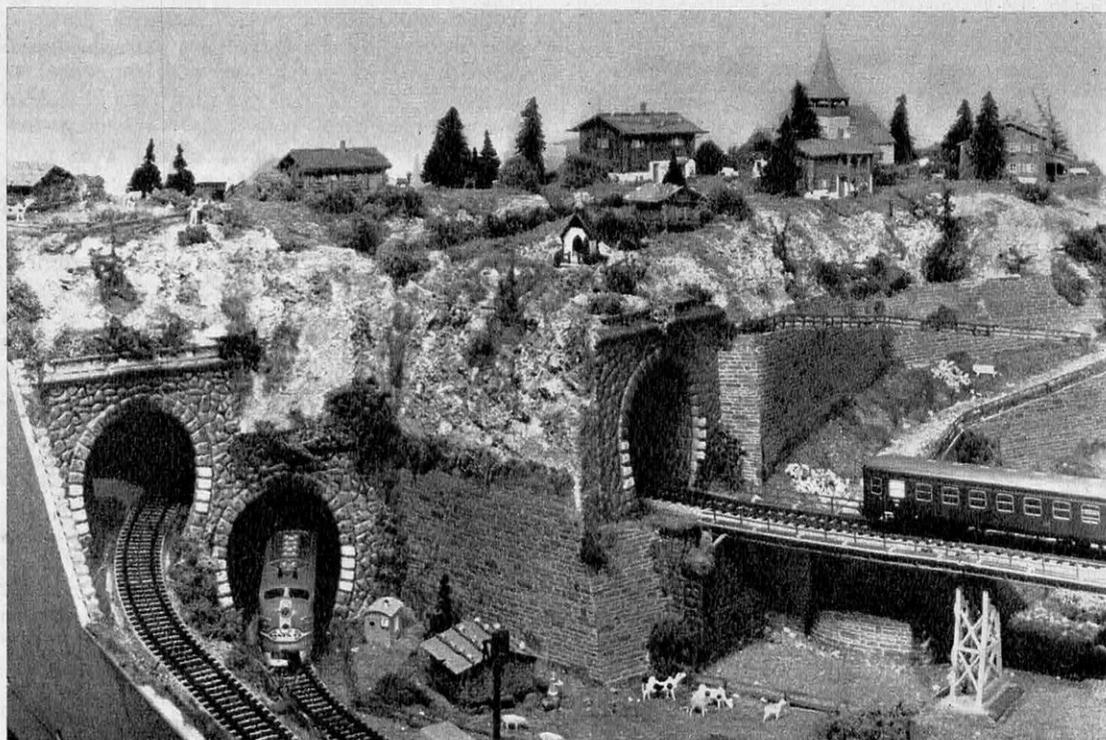


PHOTO KIBRI

Vue partielle d'un réseau équipé de voies avec chaîne de plots centrale et rails non

isolés pour assurer le retour du courant. Noter la finesse de reproduction du décor.

devenue très simple depuis l'apparition de « bandes ballast », en mousse plastique souple reproduisant parfaitement la réalité, et de plus réalisant une insonorisation presque totale de la voie.

Dans ce même domaine, mentionnons l'initiative d'un constructeur français présentant une voie à traverses de béton, d'un réalisme parfait, apportant une solution élégante au problème du système trois rails, autrement dit à conducteur central. C'est en effet sur la partie métallique de ces traverses reliées entre elles électriquement que vient s'appuyer le frotteur de la motrice. On

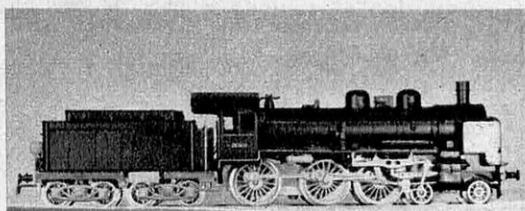
trouve sur le marché depuis un certain temps de la voie courbale livrée en éléments de grande longueur, formule qui laisse l'amateur entièrement libre pour adapter les dimensions et les rayons de courbure de la voie à l'implantation qu'il lui plaît de donner à son réseau.

L'éventail des appareils de voie est également très complet, la commande des aiguilles par électroaimant tendant à se généraliser; certains constructeurs poussent même le souci de la perfection jusqu'à doter leurs appareils de voie de certains dispositifs réglant automatiquement l'alimentation des

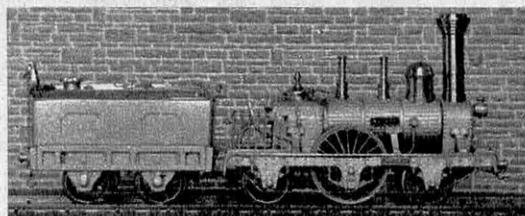
voies de chaque aiguillage en fonction de leur position, soit en jouant sur la polarité du courant, soit à l'aide de contacts auxiliaires.

Matériel roulant

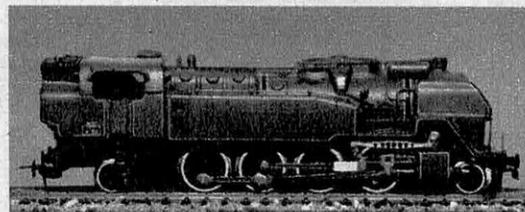
Qu'il soit de traction ou remorqué, il s'accroît de jour en jour. A l'origine, la plupart des productions étrangères ne comportaient que fort peu de modèles S.N.C.F. Aujourd'hui, il suffit que notre Société Nationale sorte une locomotive pour que



La locomotive allemande de type P-8, échelle HO, fabriquée en série en Autriche.



La reproduction de la locomotive Bayard, modèle commercial pour le collectionneur.



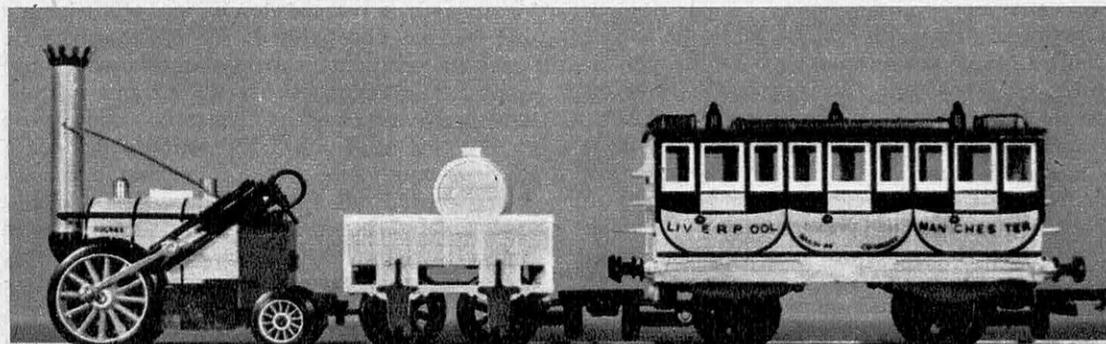
Locomotive à vapeur à l'échelle 1/87^e, réalisée entièrement à la main par un amateur.

deux ou trois fabricants français et étrangers se mettent au travail et présentent très rapidement leur première maquette. Cette concurrence s'exerce évidemment au plus grand profit de l'amateur. Citons comme exemple d'une telle émulation, les locomotives quadricourant CC 40100, dont trois modèles rivalisent de beauté et de finition. Parmi eux, un modèle français tient de loin la meilleure cote.

Le façonnage des modèles en matière plastique permet de réduire considérablement les prix de revient tout en améliorant la reproduction des détails. Parallèlement, l'alliage métallique zamac et sa technique d'injection ont fait d'énormes progrès, donnant une finesse de reproduction comparable à celle du plastique. En ce qui concerne les attelages, il y a encore fort peu d'années chaque fabricant possédait son dispositif propre, qui ne pouvait se marier avec celui de ses concurrents. Cette politique à courte vue a fait son temps. Certains fabricants ont abandonné leur propre type d'attelage pour adopter un modèle plus largement répandu, d'autres se sont efforcés de rendre leur dispositif compatible avec ceux des autres constructeurs. Quelques-uns enfin ont tourné la difficulté en rendant les attelages de leur matériel roulant amovibles, et donc facilement remplaçables.

Enfin, c'est certainement dans le domaine du décor que les progrès ont été les plus spectaculaires. Les spécialistes offrent à une clientèle de plus en plus nombreuse un choix prodigieux de matières brutes ou de produits finis. Il n'y a aucune commune mesure entre un train à l'échelle « O » sorti de sa boîte un dimanche et la reproduction exacte au 1/87 d'un paysage ferroviaire avec ses gares, ses voies de service, ses ponts, ses tunnels, ses montagnes, ses chutes d'eau, ses maisonnettes dont les cheminées fument, ses rames de marchandises ou de voyageurs, patiemment et passionnément montés aux heures de loisir.

J. MERIAT et P. STAHL



L'antique « Fusée » de Stephenson à l'échelle HO, dont la cheminée fume réellement.

LIBRAIRIE

SCIENCE ET VIE

24, Rue Chauchat, Paris 9^e - Tél. 824 72 86

CHEMINS DE FER

Cette bibliographie, établie d'après le stock d'ouvrages sélectionnés de notre librairie, ne représente qu'une partie des ouvrages figurant dans notre catalogue général. Prix F 5,00

EXPLOITATION

HISTOIRE DES CHEMINS DE FER EN FRANCE. (Préface de M. Armand L.). Regards sur le passé (Harland G.). L'épopée du rail (Falaize J.). Des tronçons aux grandes Compagnies (Giroud-Eymery H.). Les chemins de fer et l'économie française (Marois P.). Histoire des origines de la locomotive à vapeur et son évolution en France (Chapelon A.). La traction électrique (Machefert-Tassin Y.). L'autorail et la locomotive Diesel (Machefert-Tassin Y.). Le matériel roulant remorqué (Dufour E.). La voie (Sonneville R.). La signalisation et les dispositifs de sécurité (Tuja J.). Le chemin de fer vu par les peintres (Chan G.). Littérature ferroviaire (Riverain J.). 416 p. 22 x 28. 400 illustr. en noir et en couleurs. Relié, 1963 F 92,50

LES CHEMINS DE FER. (Weil P. et divers auteurs). Histoire et évolution des chemins de fer. Les installations fixes: Voie et plate-forme. Les appareils de voie. Les ouvrages d'art. Les gares. Le matériel roulant: Généralités. Le matériel roulant: la locomotive à vapeur. Traction Diesel. Locomotives à turbine à gaz. Traction électrique. Les automotrices électriques. L'équipement électrique des locomotives. Alimentation en énergie de la traction électrique. La désignation des types et la numérotation des engins de traction. Le matériel remorqué. Les systèmes modernes de freinage. L'exploitation technique: L'acheminement pratique du trafic et son contrôle. Les mesures de sécurité. Le service des voyageurs. Le transport des marchandises. Transports urbains. Recherches et progrès. 448 p. 16,5 x 23. 650 illustr. et cartes en noir. 16 planches couleurs. Relié pleine toile, 1964 F 44,50

GÉOGRAPHIE UNIVERSELLE DES TRANSPORTS. (Lartilleux H.). Tome I: Les Chemins de fer français: 1^{er} et 2^e volumes. La S.N.C.F. Introduction. La ligne impériale Paris-Lyon-Méditerranée. Les Alpes et le Jura. L'Est et le Nord. L'Ouest. Le Centre. Le Sud-Ouest. La ligne du Bourbonnais. Réseaux divers. Les chemins de fer secondaires. Transports par fer urbains et suburbains. Chemins de fer spéciaux. 369 p. 20 x 30, 424 illustr. en noir, 10 en couleurs, relié, 1962 F 50,00

L'EXPLOITATION COMMERCIALE DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS. (Bourgeois R.). Les données du problème commercial pour le chemin de fer. Les données réglementaires et économiques. La concurrence des autres moyens de transport. La coordination des transports. Le trafic des marchandises. Généralités sur le trafic des marchandises. Trafic des marchandises en régime intérieur. Liaison du chemin de fer avec les autres modes de transport. Le trafic international des marchandises. Le trafic des voyageurs et des bagages: Généralités sur le trafic des voyageurs et des bagages. Le trafic des voyageurs et des bagages en régime intérieur. Le trafic international des voyageurs. L'organisation et l'action commerciales de la S.N.C.F. Conclusion. Index alphabétique et table des illustrations. 446 p. 16,5 x 25, 40 pl. hors-texte, 3^e édit., 1955 F 29,00

AIDE-MÉMOIRE DUNOD: CHEMINS DE FER. (Bohl G.). Tome I: Traction. Traction vapeur. Traction électrique. Traction Diesel. Traction par turbines à gaz. Chemins de fer à crémaillère. 328 p. 10 x 15, 86 fig., 62^e édit., relié, 1954 F 8,00
Tome II: Matériel, voie, exploitation. 268 p. 10 x 15, 150 fig., 1 dépliant, 62^e édit., relié, 1954 F 8,00

MATÉRIEL

NOTIONS DE MATÉRIEL ROULANT DE CHEMIN DE FER. (Bailleul M.). Locomotives à vapeur, électriques, à moteurs thermiques. Matériel remorqué. Freinage des trains. Passage au gabarit. Automotrices électriques. Autorails. Résistance de l'air. Formes aérodynamiques. Carénage des véhicules. Adhérence, efforts de traction, de freinage, résistance des trains. 178 p. 16,5 x 25, 98 fig., 9 pl. hors-texte, 2^e édit., 1951 F 15,00

LA LOCOMOTIVE A VAPEUR. (Chapelon A.). Tome I: Évolution récente de la locomotive à vapeur. Considérations générales. Évolution des types en Europe et en Amérique de 1907 à 1937. Méthodes d'utilisation de la vapeur. Production de la vapeur. Le mécanisme du moteur. Le véhicule. Le châssis. Accessoires. Boosters. Tendres. Freinage. Surchauffe. Systèmes d'évacuation. Progrès dans la transformation récente des locomotives. Compound. Progrès apportés à la construction des locomotives à simple expansion. Les machines à très grande vitesse. Les locomotives mixtes, à marchandises. Locomotives articulées, à tenders. Locomotives légères. Performances actuelles de la locomotive à vapeur. 648 p. 21 x 27,5, nombr. fig. et pl. hors-texte, 2^e édition relié, 1952 F 78,00

LA MACHINE LOCOMOTIVE. (Sauvage E. et Chapelon A.). Chaudière. Mécanisme. Châssis, suspension roues. Types divers de locomotives. Tendres, moyens d'arrêts. Conduite. Service dans les dépôts. Engins divers de traction. 668 p. 12 x 19, 521 fig., 1947, relié F 20,00

LA LOCOMOTIVE ACTUELLE. (Deverney E.). Préliminaires. Rappel de quelques notions scientifiques. Évolution de la locomotive à vapeur. Production de la vapeur. Le foyer et la boîte à feu. Le corps cylindrique. La boîte à fumée. Echappement. Alimentation. Combustibles. Fonctionnement de la chaudière. Surchauffe. Appareils de sûreté. Utilisation de la vapeur. Distribution de la vapeur. Systèmes de distribution. Réglage de la distribution. Action motrice de la vapeur. Essais des locomotives. Le véhicule. Les organes de roulement. Le mécanisme moteur. Le graissage. Inscription dans les courbes. Mouvements parasites. Tendres, freins et divers. Tendres. Freins. Réversibilité. Enregistrement de la vitesse et des signaux. Appendice. Description de locomotives. 488 p. 16 x 25, 443 fig., 4^e édit., 1954 F 35,00

LES LOCOMOTIVES A VAPEUR FRANÇAISES A GRANDE VITESSE ET A GRANDE PUISSANCE DU « TYPE PACIFIC ». Cinquantenaire de leur mise en service. (Vilain L.M.). Machines Pacific antérieures à 1914 (ou construites d'après les mêmes normes): Cie de Paris-Orléans. Cie des Chemins de Fer du Midi. Cie des Chemins de Fer de l'Ouest puis réseau de l'Etat. Cie P.L.M. Réseau d'Alsace-Lorraine. Réseau du Nord. Réseau de l'Est. Les Pacific modernes ou transformées: Cie de Paris-Orléans. Cie du Nord. Cie P.L.M. Réseau de l'Etat. Réseau d'Alsace-Lorraine. Cie de l'Est. 120 p. 16 x 25, 52 photos et fig., 8 tableaux, 1959 F 12,00

ÉVOLUTION DU MATÉRIEL MOTEUR ET ROULANT DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI. Des origines (1855) à la fusion avec le P.O. (1934) et à la S.N.C.F. (Vilain L.M.). Origine, formation, contexture et trafic du Réseau du Midi. Évolution générale des locomotives à vapeur. Perfectionnements et améliorations du parc. Entretien et réparation du matériel moteur.

Locomotives à grande vitesse. Locomotives mixtes. Locomotives à marchandises. Locomotives-tenders. Locomotives d'origine étrangère. Matériel de la Compagnie du Médoc et de Perpignan à Prades. Locomotives des Sociétés Filiales. Électrification partielle du réseau du Midi: Electrification en monophasé 12 000 V 16 2/3 périodes. Matériel monophasé. Installations fixes; électrification en continu 1 500 V. Matériel locomoteur à 1 500 V. Locomotives mixtes et à marchandises. Automotrices. Voitures à voyageurs. Voitures à couloir et à aménagements spéciaux; à bogies, construction ordinaire; à bogies métalliques; d'origine allemande. Matériel: de la Compagnie du Médoc, de la ligne de Cerdagne, des Sociétés Filiales. États de matériel et renseignements divers. Bibliographie. 318 p. 15 x 24. 205 fig. et photos. 1965 F 30,00

UN SIECLE DE MATÉRIEL ET TRACTION SUR LE RÉSEAU D'ORLÉANS (1840-1938). Locomotives à vapeur. Traction électrique 600 et 1 500 volts. Voitures à voyageurs (Voie normale et voie étroite). (Vilain L.M.). Contexture, formation et trafic du réseau d'Orléans. Évolution générale des locomotives. Locomotives à grande vitesse et dimensions générales principales. Locomotives mixtes, locomotives à marchandises, locomotives-tenders et dimensions principales. Matériel d'origine étrangère. Traction électrique. Matériel à voyageurs. Fusion P.O.-Midi du 1^{er} janvier 1934. Renseignements divers. 456 p. 15,5 x 23,5. 283 fig., 1962 F 30,00

LES CHEMINS DE FER DE MONTAGNE FRANÇAIS. (Vilain L.M.)

Tome I: Ligne de Limoges à Ussel (S.N.C.F. Sud-Ouest). Ligne de Tulle à Ussel et les tramways départementaux de la Corrèze. Ligne de Souillac à Aurillac (S.N.C.F. Sud-Ouest). Ligne d'Aurillac à Arvant (S.N.C.F. Sud-Ouest et Sud-Est). Ligne de Bort à Neussargues (S.N.C.F. Sud-Ouest). Ligne de Langeac à Alès (S.N.C.F. Sud-Est et Méditerranée). Ligne de Grenoble à Veynes (S.N.C.F. Sud-Est). Ligne de Villefranche-Vernet-les-Bains à la Tour-de-Carol (S.N.C.F. Méditerranée). Index alphabétique des localités figurant dans le texte. Index géographique (Orographie, hypsométrie, hydrologie). De quelques expressions usitées en matière de chemins de fer et de génie civil. Index documentaire. 180 p. 16 x 24, 117 photos, 2 cartes. Un dessin, 1 planche photos couleurs hors-texte, 1960 F 18,00

Tome II: Ligne de Brive à Clermont-Ferrand (S.N.C.F. Sud-Ouest). Ligne de Laqueuille au Mont-Dore (S.N.C.F. Sud-Ouest). Réseau à voie étroite, d'intérêt général de la Corrèze (S.N.C.F. Sud-Ouest). Ligne d'Uzerche à Tulle (S.N.C.F. Sud-Ouest). Ligne de Tulle à Argentat (S.N.C.F. Sud-Ouest). Ligne de Seilhac à Treignac (S.N.C.F. Sud-Ouest). Projet d'Argentat à Salers. Ligne de Bort-les-Orgues à Aurillac (S.N.C.F. Sud-Ouest). Ligne de Neussargues à Béziers (S.N.C.F. Méditerranée). Ligne de St-Georges-de-Commier à La Mûre d'Isère (S.G.L.M.G.). Ligne de Livron à Briançon (S.N.C.F. Méditerranée). Ligne de Nice à Breil (S.N.C.F. Méditerranée). Ligne de Foix à Puigcerda (S.N.C.F. Sud-Ouest). Index alphabétique et touristique des localités. Index géographique (orographie, hydrographie, hypsométrie). 220 p. 16 x 24, 156 photos, 3 cartes. 1964 F 21,50

LE MATÉRIEL MOTEUR DE LA S.N.C.F. (Defrance J.) Ouvrage comprenant les caractéristiques, le dessin et la photographie de chaque engin-moteur circulant sur les voies de la S.N.C.F.: locomotives à vapeur, locomotives électriques, locomotives à moteur thermique, automotrices électriques et autorails. 320 p. 13,5 x 20,5. 529 fig., 6 photos hors-texte et 50 tabl., 1960 F 19,00

LOCOMOTIVES (Petit atlas de poche). (Schijtschky M.). Locomotives à vapeur, électriques, Diesel, à turbine à gaz. 96 p. 11 x 15, 131 illustr., 4 tableaux ... F 7,20

LA SÉCURITÉ DES TRANSPORTS. (Lemonnier A.). L'exploitation technique du chemin de fer. Moyen d'éviter les rattrapages. Block-system. Réalisation du block. Réglementation. Moyens d'éviter les prises en écharpe. Signalisation. Signaux. Enclenchements. Postes d'aiguilleurs. Répétition des signaux. Freinage automatique. Voie unique. Régime des gares de voie unique. 167 p. 16 x 25, 49 fig., 9 pl. photo, 5^e édit., 1960 F 19,00

LA TRACTION A MOTEURS THERMIQUES. (Châtel M.). Problèmes particuliers de mécanique appliquée. Les mouvements périodiques à élasticité constante et variable. Les forces et les mouvements parasites dans le roulement. **Éléments essentiels des parties mécaniques des locomotives à moteurs thermiques.** Les divers types de châssis. Les caisses et leur calcul. Les bogies. Équilibre dynamique et application de l'effort de traction. **La partie motrice: Les divers types de moteurs Diesel.** Critères de fatigue. Les turbines à gaz. Les générateurs à pistons libres. Les carburants et les lubrifiants. L'insonorisation. **Les transmissions: Transmissions mécaniques et hydromécaniques.** Transmission hydraulique. Transmissions électriques. Étude comparative. **Les auxiliaires.** Les problèmes de traction et l'exploitation par locomotives thermiques: Entretien. Evaluation des dépenses d'exploitation. Équipement des dépôts et ateliers. Autorails. 440 p. 16 x 25, 254 fig., 33 planches photos hors-texte, 1960 F 50,00

LA TRACTION ÉLECTRIQUE ET DIESEL-ÉLECTRIQUE. (Patin P.) Généralités sur la traction. Mécanique de la locomotive. Partie électrique de la locomotive à courant continu. Installations fixes de traction à courant continu. Traction à courant alternatif. Traction Diesel-électrique. Diagrammes des locomotives électriques françaises les plus récentes. 296 p. 16 x 25, 173 fig., 59 pl., 2^e édit., 1954 F 24,00

LES MOTEURS DIESEL A GRANDE VITESSE, pour l'automobile, l'aéronautique, la marine, la traction sur rail et les applications industrielles. (Heldt P.M.). Traduit par Léonetti. Nature et champs d'application du moteur Diesel. Thermodynamique. Combustibles. Injecteurs et jets. Les pompes d'injection. Moteurs à chambre de pré-combustion, à injection directe, à chambre de turbulence, à chambre auxiliaire. Moteurs à deux temps. Moteurs de chemin de fer. Compresseurs. Mise en route. Graissage, fonctionnement, entretien. Turbines à gaz. Appendice. 470 p. 16 x 25, 295 fig., relié toile, 6^e édit., 1962 F 58,00

LES TRAINS MINIATURE. (Géo-Mousseron). Modèles non électriques et modèles électriques. 108 p. 13,5 x 21, 84 fig., 3^e édit., 1959 F 6,00

LE TRACÉ DU RÉSEAU. (Écartés O et HO). Établissement de l'infrastructure. Les schémas type. (Fournereau J.-F.). Sens de circulation des trains; choix de l'écartement. Quelques chiffres; dévers. Gabarit d'ouverture des ouvrages. Les appareils de voie; implantation des aiguillages. Les bifurcations et les gares. Le tracé. Le plateau. Le tracé géométrique. Plate-forme et soutènement. Figureation du terrain. Les schémas type. Quelques grands réseaux. 68 p. 21 x 27. 141 fig., schémas et photos. 2^e édit., 1964 F 8,50

Les commandes doivent être adressées à la **LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE**, 24, rue Chauchat, Paris (9^e). Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de chèque bancaire ou de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement ou de versement au Compte Chèque Postal de la Librairie: Paris 4192 - 26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition, soit 10% (avec un minimum de F 1,10). Envoi recommandé: F 1,00 de supplément.

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

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

La Librairie est ouverte de 8 h 30 à 12 h 30 et de 14 h à 18 h 30. Fermeture du samedi 12 h 30 au lundi 14 h.

ÉTUDES CHEZ SOI

L'enseignement par correspondance de L'ÉCOLE UNIVERSELLE la plus importante du monde

vous permet de faire chez vous, à tout âge, brillamment, à peu de frais, des études techniques, primaires, secondaires, supérieures, conformes aux programmes officiels, d'obtenir en un temps record tous diplômes (Certificats d'aptitude professionnelle, Brevets professionnels, Brevets de techniciens, B.E.P.C., Baccalauréats, Licences, etc.) et toutes situations.

Demandez l'envoi gratuit de la brochure qui vous intéresse

- SN 36.165 : **Carrières de la S.N.C.F.** : Techniciens, Agents des Cadres.
TC 36.160 : **Toutes les classes, tous les examens** : du cours prép. aux Cl. Terminales, C.E.G., B.E.P.C., Baccalauréats, C.E.P., B.E., C.A.P., E.N., B.S., Bourses - Classes des lycées techniques B.E.I., B.E.C., B.S.C.
ED 36.162 : **Les Etudes de Droit** : Admission Faculté, Capacité, Licence, Carrières juridiques.
ES 36.174 : **Les Etudes supérieures de Sciences** : Admis. Fac. M.G.P., M.P.C., S.P.C.N., etc., C.A.P.E.S., Agrégation de Math. C.R.E.P.S., Médecine : C.P.E.M., 1^{re} et 2^e année.
EL 36.183 : **Les Etudes supérieures de Lettres** : Admis. Fac., Propédeutique, Licence, C.A.P.E.S., Agrégation.
GE 36.187 : **Grandes Ecoles et Ecoles Spéciales** : E.N.S.I., Militaires, Agriculture, Commerce, Beaux-Arts, Administration, Lycées techniques, Enseignement. (Préciser l'École.)
AG 36.170 : **Carrières de l'Agriculture** (France et Républiques africaines) : Industries agricoles - Génie rural - Radiesthésie - Topographie.
CT 36.163 : **Carrières de l'Industrie et des Travaux publics** : Toutes spécialités, tous examens. C.A.P., B.P., Brevets Techniques, Admission aux stages payés (F.P.A.). Programmation, Transistors.
DI 36.176 : **Dessin Industriel** : C.A.P., B.P.
MV 36.167 : **Carrières du Métre** : Métreur, Métreur vérificateur.
LE 36.177 : **Carrières de l'Électronique**.
EC 36.179 : **Carrières de la Comptabilité** : C.A.P., B.P., Expertise-comptable, Préparations libres.
CC 36.166 : **Carrières du Commerce** : Employé de bureau, de banque, Sténo-dactylo, Représentant Publicitaire, C.A.P., B.P., Publicité, Assurances, Hôtellerie, Programmation.
FP 36.164 : **Pour devenir Fonctionnaire** : Toutes les fonctions publiques E.N.A.
ER 36.175 : **Tous les Emplois Réservés**.
OR 36.184 : **Orthographe**, Rédaction, Versification, Calcul, Dessin, Ecriture, Graphologie, Conversation.
MM 36.168 : **Carrières de la Marine Marchande** : Ecole nationale de la Marine March., Elève-chef de quart, Capitaine, Officier mécanicien, Pêche, Certificats intern. de Radio (P.T.T.), Navigation de plaisance.
MN 36.186 : **Carrière de la Marine Nationale** : Ecoles : Navale, Elèves officiers, Elèves ingénieurs et mécaniciens; Service de Santé, Maistrance, Apprentis marins, Pupilles, Ecoles Techniques de la Marine, Génie Maritime, Commissariat et Administration.
CA 36.180 : **Carrières de l'Aviation** : Ecoles et carrières militaires - Aéronautique - Carrières administratives - Industrie aéronautique - Hôtesse de l'Air.
RT 36.185 : **Radio** : Construction, Dépannage - **Télévision**.
LV 36.161 : **Langues Vivantes** : Anglais, Espagnol, Allemand, Italien, Russe, Arabe, Esperanto, Français - **Tourisme**.
EM 36.181 : **Etudes Musicales** : Solfège, Harm. Composit., Orchestre - Piano, Violon, Guitare classique et électrique, Flûte, Clarinette, Accordéon, Jazz, Chant, Professorats publics et privés.
DP 36.171 : **Arts du Dessin** : Cours Universel, Anatomie artistique, Illustration, Mode, Caricature, Aquarelle, Gravure, Peinture, Pastel, Fusain, Composition décorative, Professorats publics et privés.
CO 36.188 : **Carrières de la Couture et de la Mode** : Coupe (hommes et dames), Couture, C.A.P., B.P., Petite main, Seconde main, Première main, Vendeuse-retoucheuse, Modiste, Chemisier, etc. Enseignement ménager, Monitorats et Professorats.
CS 36.172 : **Secrétariats** : Secrétaire de direction, de médecin, d'avocat, d'homme de lettres, Secrétaire technique, Journalisme, Art d'écrire, Art de parler en public.
CI 36.169 : **Cinéma** : Technique générale, Décoration, Prise de vues, Prise de son - I.D.H.E.C. - **Photographie**.
CB 36.182 : **Coiffures et Soins de Beauté** (Stages pratiques gratuits à Paris). C.A.P. d'Esthéticienne, Parfumerie.
CF 36.173 : **Toutes les Carrières Féminines**, Carrières Sociales, Ec. d'Infirmières, Visit. médicales.
PC 36.189 : **Cultura** : Cours de perfectionnement culturel : Lettres, Sciences, Arts, Actualité.
Universa : Enseignement préparatoire aux études supérieures.

La liste ci-dessus ne comprend qu'une partie de nos enseignements. N'hésitez pas à nous écrire. Nous vous donnerons gratuitement tous les renseignements et conseils qu'il vous plaira de nous demander.

**DES MILLIERS
D'INÉGALABLES
SUCCÈS**

remportés chaque année par nos
élèves dans les examens
et concours officiels prouvent
l'efficacité de notre enseignement
par correspondance.

ENVOI
GRATUIT

A découper ou à recopier

ÉCOLE UNIVERSELLE
59, Bd Exelmans, Paris-16^e

Brochure N°

NOM

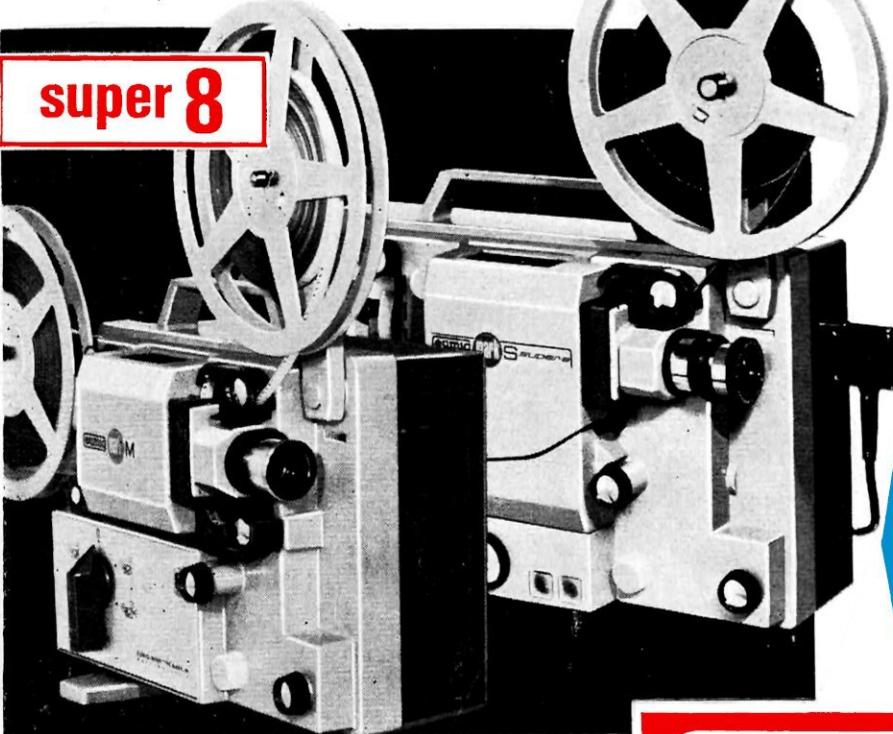
Adresse

la plus haute qualité d'image possible

Equipés d'un système de condensateur spécial à lentilles asphériques et d'un ZOOM PANCRATIQUE étudiés en fonction de la lampe Quartz à vapeur d'halogène (iode), ces deux projecteurs **SUPER 8** l'un muet, l'autre sonore, sont d'un rendement exceptionnel.

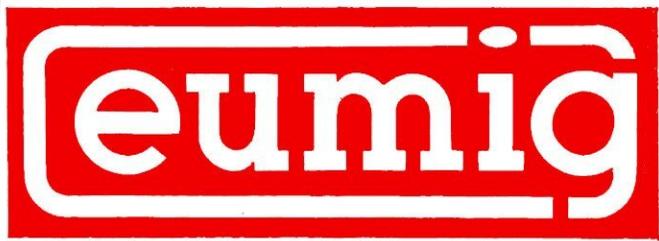


super 8



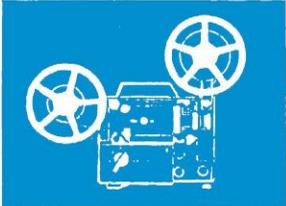
EUMIG MARK S Projecteur Magnétique Super-8 basse tension, alimenté sur les réseaux alternatifs de 110 à 250 V, groupant sous un volume réduit l'ensemble des dispositifs lumineux et sonore ● Lampe quartz à vapeur d'halogène préchauffée 12 V, 100 W ● 2 lampes pilotes incorporées 12 V, 2 W ● Objectif ZOOM EUPROVAR pancratique 11,3 de 13 à 25 mm ● Chargement automatique et marche arrière ● Moteur asynchrone, transmission par pignons, aucune courroie ● Vitesses 18 et 24 images seconde ● Entrée micro, Entrée radio, magnétophone et tourne-disque ● Tête de sonorisation interchangeable ● Modulation équilibrée par tubes électroniques ● Suppression automatique des bruits parasites ● Mixage automatique ● Haut-parleur elliptique incorporé ● Sortie pour haut-parleur supplémentaire 5 ohms ● Courbe de réponse 45 à 10.000 Hz ● Livré avec micro

EUMIG MARK M Projecteur Super-8, basse tension, alimenté sur les réseaux alternatifs de 110 à 250 V avec 9 positions de réglage ● Encombrement réduit ● Lampe quartz à vapeur d'halogène 12 V, 100 W ● 1 lampe pilote incorporée 12 V, 3 W ● Objectif ZOOM EUPROVAR pancratique 11,3 de 13 à 25 mm ● Chargement avec accrochage automatique sur la bobine réceptrice ● Correction automatique de la boucle du film pendant la projection ● Moteur asynchrone, transmission par pignons, aucune courroie ● Vitesses 18 et 24 images/seconde ● Marche arrière, Arrêt sur image ● Toutes les commandes s'effectuent par un commutateur central **1.150 F**

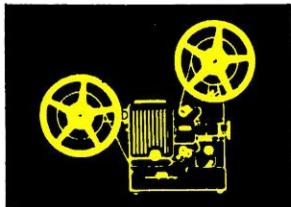


... ET TOUTE LA GAMME DES PROJECTEURS 8 mm

MARK M 8 mm. Basse tension 12 V, 100 W. Alimentation 110 à 250 V. Lampe quartz iode. Objectif ZOOM 11,3 - 15 à 25 mm. Moteur asynchrone vitesse 16 à 24. Marche arrière. Arrêt sur l'image. Chargement avec accrochage automatique sur la bobine réceptrice **920 F**

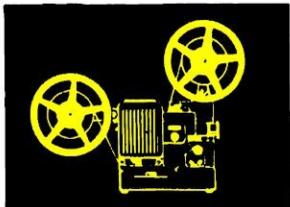


P 8 E 8 mm basse tension 12 V, 100 W, alimenté sur les réseaux alternatifs de 110 à 240 V - Objectif 1,4 de 20 mm - Chargement automatique - Bobine de 120 m - Refroidissement par turbine ... **580 F**

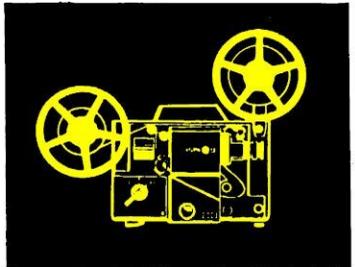


P 8 Automatic 8 mm basse tension 12 V, 100 W alimenté sur les réseaux alternatifs de 110 à 240 V - Lampe quartz iode - Objectif ZOOM 11,3 de 15 à 25 mm - Marche arrière - Arrêt sur l'image - Chargement avec accrochage automatique sur la bobine réceptrice - Bobine 120 m - Refroidissement par turbine **845 F**

P 8 Phonomatic Mêmes caractéristiques que le P 8 Automatic mais équipé du dispositif de synchronisation pour magnétophone ... **986 F**



EUMIG SONORE 8 Projecteur magnétique, basse tension, 12 V, 100 W, alimenté sur les réseaux alternatifs de 110 à 250 V groupant l'ensemble des dispositifs lumineux et sonore - Lampe quartz à circuit d'iode préchauffée - Objectif ZOOM EUPROVAR 11,3 de 13 à 25 mm - Chargement automatique et marche arrière - Moteur asynchrone, vitesses 16-18 et 24 - Modulation équilibrée par tubes électroniques - Mixage automatique - Haut-parleur incorporé, 2 W, courbe de réponse 45 à 10.000 Hz - Entrée micro - Entrée radio, magnétophone et tourne-disque - Sortie pour haut-parleur supplémentaire ... **1.720 F**



CHEZ TOUS LES CONCESSIONNAIRES AGRÉÉS

PUBLICITÉ PICT