

SCIENCE *et* VIE

CHEMINS DE FER 75

NUMÉRO HORS SÉRIE

6 F

SEPT - OCT - NOV 1974



L'Ecole qui construira votre avenir comme électronicien comme informaticien

quel que soit votre niveau d'instruction générale

Cette École, qui depuis sa fondation en 1919 a fourni le plus de Techniciens aux Administrations et aux Firmes Industrielles et qui a formé à ce jour plus de 100.000 élèves

est la **PREMIÈRE DE FRANCE**

Les différentes préparations sont assurées en **COURS DU JOUR**

Admission en classes préparatoires.

Enseignement général de la 6^{me} à la sortie de la 3^{me}

ÉLECTRONIQUE : enseignement à tous niveaux (du dépanneur à l'ingénieur). **CAP - BEP - BAC - BTS - Officier radio de la Marine Marchande.**

INFORMATIQUE : préparation au **CAP - Fi et BAC Informatique. Programmeur.**

BOURSES D'ÉTAT

Pensions et Foyers

RECYCLAGE et FORMATION PERMANENTE

Bureau de placement contrôlé par le Ministère du Travail

De nombreuses préparations-Electronique et Informatique - se font également par **CORRESPONDANCE** (enseignement à distance) avec travaux pratiques chez soi et stage à l'École.



R.P.E. - Cliché CSF - Hermil

ÉCOLE CENTRALE des Techniciens DE L'ÉLECTRONIQUE

Cours du jour reconnus par l'Etat
12, RUE DE LA LUNE, PARIS 2^e • TEL : 236.78.87 +
Etablissement privé

NON

à découper ou à recopier

Veuillez me documenter gratuitement et me faire parvenir votre Guide des Carrières N°
Cenvoi également sur simple appel téléphonique)

10 C.F.

Nom

Adresse

Correspondant exclusif MAROC : IEA, 212 Bd Zerkouni • Casablanca

CHEMINS

DE
FER
75



Notre couverture :
Photos Jean Marquis et SNCF

6 Éditorial : du chemin de fer au taxi automatique,

par Michel Frybourg

10 Chemins de fer : les grands problèmes du matériel roulant

par André Portefaix

12 La traction électrique

par Yves Machefert-Tassin

Elle assure près de 80 % du tonnage kilométrique brut remorqué en France

26 La traction diesel

par Gérard Coget

Le calcul économique définit sa place par rapport à la traction électrique

42 Les grandes vitesses sur rail

par Hubert Autruffe

Les 300 km/h sont un objectif raisonnable

58 Les trains à turbine

par Félicien Duflot

Le deuxième âge de la turbine à gaz en traction ferroviaire

66 Le trafic marchandises

par J.-C. Chappes, Michel Fontaine et J.-P. Michel

Un vaste système où l'informatique joue un rôle croissant

88 Les petits trains touristiques

par Sylvain Zaldkind

Des amateurs enthousiastes font revivre les tortillards d'autan

98 De nouvelles voitures-voyageurs

par Pierre Tacher

Le parc S.N.C.F. fait peau neuve

102 L'Europe des chemins de fer

par Bernard de Fontgalland

Plus que jamais, le chemin de fer au service de l'Europe...

112 Les musées des chemins de fer

par Michel Dörr

Un tour du monde des musées des chemins de fer

130 Coussin d'air et coussin magnétique

par Michel Leyrit et Jacques Roudier

Des techniques de pointe au service des transports de demain

142 Nouveaux systèmes de transport urbain

par Daniel Dunoyer

L'engorgement des villes réclame des solutions techniques révolutionnaires.

Avec des textes complémentaires sur l'informatique à la S.N.C.F. le fonctionnement et l'évolution des triages, l'atterrage automatique, les voies et ouvrages d'art.

POUR VOUS ABONNER A

**SCIENCE
et VIE**

● NOS TARIFS

	France et	Etranger
1 AN : 12 N°	54 F	65 F
1 AN : 12 N° + 4 H.S.	74 F	89 F
2 ANS : 24 N°	100 F	120 F
2 ANS : 24 N° + 8 H.S.	140 F	165 F

● NOS CORRESPONDANTS ETRANGERS

- BENELUX : PIM Services, 10, bd Sauvinière, 4000 LIEGE (Belgique). C.C.P. : 283.76 LIEGE
1 AN : 400 FB
1 AN + 4 H.Série : 550 FB
- CANADA : PERIODICA, 7045 Av. du Parc, MONTREAL 303 - QUEBEC
1 AN : 13,5 \$
1 AN + 4 H.Série : 19 \$
- SUISSE : NAVILLE et Cle - 5-7, rue Levrier, 1211 GENEVE 1 (Suisse)
1 AN : 40 FS
1 AN + 4 H.Série : 55 FS

● REGLEMENTS

A l'ordre de SCIENCE et Vie par Ch. Bancaire
Mandat-lettre C.C.P. 3 volets (sans n° de compte)

● RECOMMANDES ET PAR AVION : Nous consulter

BULLETIN D'ABONNEMENT

Je désire m'abonner à SCIENCE ET VIE pour :

1 AN 1 AN + HORS-SERIE
2 ANS 2 ANS + HORS-SERIE

NOM

PRENOM

ADRESSE

CODE VILLE

J'adresse le présent bulletin à SCIENCE ET VIE,
5, rue de la Baume, 75008 PARIS.

Je joins mon règlement de F
par C.C.P. (3 volets) C. bancaire Mandat
lettre

A l'ordre de SCIENCE ET VIE.

Je préfère que vous m'envoyez une facture.

Signature

**SCIENCE
et VIE**

HORS-SÉRIE

Publié par
EXCELSIOR PUBLICATIONS, S.A.
5, rue de la Baume . 75008 Paris
Tél. 266.36.20
Direction, Administration, Rédaction
Président : Jacques Dupuy
Directeur général : Paul Dupuy
Directeur administratif et financier : J.-P. Beauvalet
Promotion : Paul Cazenave, assisté d'Elisabeth Drouet
Diffusion ventes : Henri Colney
Rédacteur en Chef : Serge Caudron
Mise en page : Louis Boussange ; Alain Tercinet
Service photo : Denise Brunet, Miltos Toscas,
J.-P. Bonnif
Correspondants
New York : Arsène Okun, 64-33-99th Street
Rego Park - N. Y. - 11374
Londres : Louis Bloncourt - 38, Arlington Road
Regent's Park - London W 1
Publicité :
Excelsior Publicité - Interdeco
167, rue de Courcelles
Chef de publicité : Hervé Lacan
Compte Chèque Postal : 91.07 PARIS
Adresse télégraphique : SIENVIE PARIS

A NOS ABONNES

● Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi.

Elle porte tous les renseignements nécessaires pour vous répondre

● Changements d'adresse : veuillez joindre à votre correspondance, 1,50 F en timbres-poste français ou règlement à votre convenance.

A NOS LECTEURS

● Nos Reliures :

Destinées chacune à classer et à conserver 6 numéros de SCIENCE ET VIE, peuvent être commandées par 2 exemplaires au prix global de 15 F franco. (Pour les tarifs d'envois à l'étranger, veuillez nous consulter.)

Règlement à votre convenance à l'ordre de SCIENCE ET VIE adressé en même temps que votre commande : 5, rue de la Baume, 75008 PARIS.

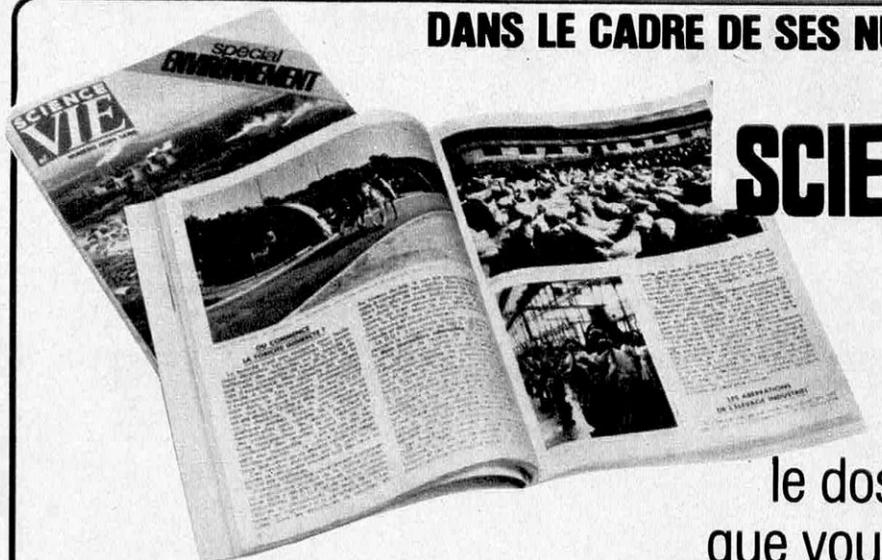
● Notre Service Livre

Met à votre disposition les meilleurs ouvrages scientifiques parus. Vous trouverez tous renseignements nécessaires à la rubrique : « La Librairie de SCIENCE ET VIE ».

● Les Numéros déjà parus

La liste des numéros disponibles vous sera envoyée sur simple demande à nos bureaux, 5, rue de la Baume, 75008 PARIS.

DANS LE CADRE DE SES NUMÉROS SPÉCIAUX



SCIENCE & VIE

a fait paraître le dossier complet que vous attendiez tous sur :

L'ENVIRONNEMENT

(OU L'HOMME CONTRE LA NATURE)

au sommaire

ENVIRONNEMENT



ENVIRONNEMENT ET CRISE DE L'ÉNERGIE	4
par Christian GARNIER-EXPERT	
ENVIRONNEMENT ET AMÉNAGEMENT	8
par François LAPORTE	
DES ESPÈCES EN GRAND PERIL	24
par Pierre PELLERIN	
PRESERVER LES TERRES AGRICOLES	34
par André BIRRE	
UN UNIVERS EMPOISONNÉ ?	48
par Irène ANDRIEU	
LA POLLUTION DES EAUX	58
par Jean-Pierre BRICOURT	
ÉPUIRER L'ATMOSPHÈRE	78
par Marie-Jeanne HUSSET	
CONCENTRATIONS HUMAINES ET ENVIRONNEMENT	94
par Jean AUDOUIN	
SOCIÉTÉS INDUSTRIELLES ET DÉCHETS SOLIDES	108
par Jean MAZODIER	
ÉNERGIE NUCLÉAIRE ET ENVIRONNEMENT	116
par Guy SCHWARTZ	
LA MER DÉPÔTOIR UNIVERSEL ?	130
par Yvonne REBEYROL	
VERS UNE CATASTROPHE ÉCOLOGIQUE GLOBALE	140
par Roland BECHMANN et Jean-Claude FISCHER	
QUI PAIERA ?	150
par Christian MARMAIN	

nous sommes tous concernés par ce sujet

BULLETIN DE COMMANDE

à découper ou recopier et à retourner à Science & Vie, 5, rue de la Baume - 75008 PARIS

Veuillez m'adresser le Numéro Hors-Série
"ENVIRONNEMENT"

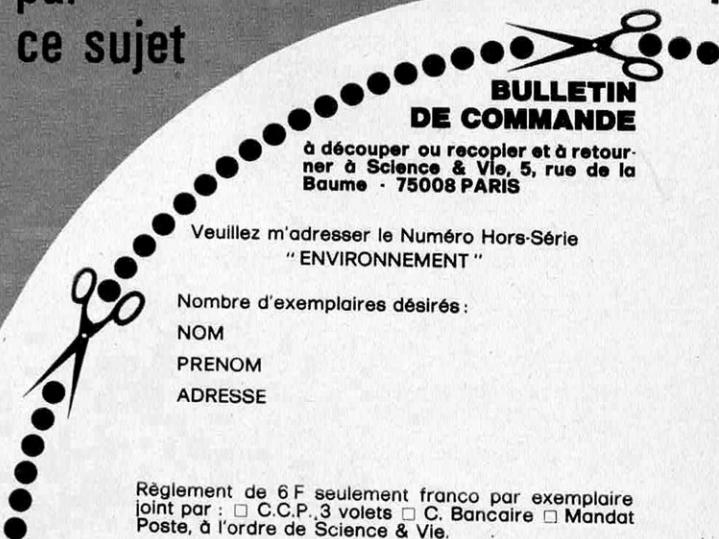
Nombre d'exemplaires désirés :

NOM

PRENOM

ADRESSE

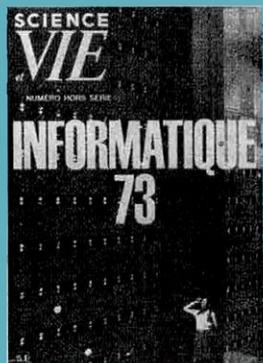
Règlement de 6 F seulement franco par exemplaire joint par : C.C.P. 3 volets C. Bancaire Mandat Poste, à l'ordre de Science & Vie.



**NUMÉROS
«HORS SÉRIE»
DISPONIBLES**

SCIENCE *et* VIE

POUR RÉPONDRE A LA DEMANDE DE NOMBREUX LECTEURS, NOUS INDIQUONS CI-DESSOUS LA LISTE DES NUMÉROS HORS-SÉRIE ENCORE DISPONIBLES :



N° 46 Habitation
N° 52 Auto 1960/61
N° 55 Énergie
N° 56 Auto 1961/62
N° 57 Photo-Cinéma
N° 62 Week-End 1963
N° 64 Auto 1963/64
N° 65 Radio Télévision
N° 66 Photo-Cinéma
N° 68 Auto 1964/65
N° 69 L'Automatisme
N° 71 Auto 1965/66
N° 74 Habitation
N° 75 Photo-Ciné
N° 76 Auto 1966/67
N° 79 Auto 1967/68
N° 80 Photo-Cinéma
N° 81 Télévision

N° 83 Transport Aérien
N° 85 Les Greffes
N° 87 1969 Aviation 1969
N° 89 1969 L'Automobile 1969/70
N° 91 1970 Navigation de plaisance
N° 93 1970 Auto 1970/71
N° 95 1971 Aviation 1971
N° 96 1971 L'Automobile 71
N° 97 1971 Photo-cinéma 72
N° 98 1972 Marine 72
N° 99 1972 Diététique
N° 100 1972 Auto-Moto 73
N° 101 1972 Photo-Ciné-Son
N° 102 Informatique 73
N° 103 Aviation 73
N° 104 Auto-Moto 74
N° 105 Hi-Fi 74
N° 106 Environnement
N° 107 Biologie 74

BON DE COMMANDE

à découper ou recopier et à retourner à Science et Vie, 5, rue de la Baume - 75008 Paris.
VEUILLEZ M'ENVOYER LES HORS-SÉRIE :

N° _____

JE JOINS 6,60 F (franco) par EXEMPLAIRE

RÈGLEMENT A L'ORDRE D'EXCELSIOR-PUBLICATIONS

CCP (3 volets) n° 32.826.31 La Source C. Bancaire Mandat Poste

NOM _____

PRÉNOM _____

ADRESSE _____

UNIECO prépare à 780 CARRIERES

110
CARRIERES
INDUSTRIELLES

ELECTRONIQUE - AUTOMOBILE - BUREAU D'ÉTUDES - ELECTRICITÉ - ELECTROMÉCANIQUE - MÉCANIQUE - MICROMECHANIQUE - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
Monteur dépanneur radio T.V. - Mécanicien réparateur d'autos - Electricien d'équipement - Electricien d'entretien - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Desinateur en construction mécanique - Agent de planning - Contremaire - Technicien radio T.V. - Diéséliste - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Ingénieur électronicien - Ingénieur mécanicien - Expert automobile - Chef du personnel - Esthéticien industriel - etc...

100
CARRIERES
FÉMININES

SECRÉTARIAT - COMPTABILITE - MÉCANOGRAPHIE - PARAMÉDICAL - EDUCATION - RELATIONS PUBLIQUES - TOURISME - MODE - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
Sténodactylographe - Caissière - Aide comptable - Auxiliaire de jardins d'enfants - Préparatrice en pharmacie - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Secrétaire commerciale, juridique - Secrétaire comptable - Comptable commerciale - Hôtesse d'accueil - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Secrétaire de direction - Décoratrice ensemblier - Traductrice commerciale - Technicienne en analyses biologiques - etc...

110
CARRIERES
COMMERCIALES

COMPTABILITÉ - REPRÉSENTATION - PUBLICITÉ - COMMERCE EXTERIEUR - RELATIONS PUBLIQUES - MANAGEMENT - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
Aide comptable - Aide mécanographe comptable - Agent d'assurances - Agent immobilier - Employé - Secrétaire - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Représentant voyageur - Comptable commercial - Desinateur publicitaire - Inspecteur des ventes - Acheteur - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Chef de comptabilité - Chef de ventes - Ingénieur commercial - Chef de publicité et des relations publiques - Ingénieur d'affaires - etc...

60
CARRIERES
ARTISTIQUES

ART LITTÉRAIRE - ART DES JARDINS - PUBLICITÉ - PEINTURE - DESSIN, ILLUSTRATION - ÉDITION - JOURNALISME - CINÉMA - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
Décorateur floral - Lettreur - Jardinier mosaïste - Fleuriste - Retoucheur - Monteur de films - Compositeur typographie - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Romancier - Dessinateur paysagiste - Journaliste - Secrétaire de rédaction - Maquettiste - Dessinatrice de mode - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Critique littéraire - Critique d'art - Styliste de meubles et d'équipements intérieurs - Documentaliste d'édition - etc...

80
CARRIERES
SCIENTIFIQUES

PARAMÉDICAL - BIOLOGIE - CHIMIE - ECOLOGIE - PHYSIQUE - SCIENCES HUMAINES - PHOTOGRAPHIE ET PROJETS SCIENTIFIQUES - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
C.A.P. d'aide préparateur en pharmacie - Assistant météorologiste - Assistant de biologiste - Aide de laboratoire médical - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Technicien en analyses biologiques - Aide physicien - Manipulateur d'appareils de laboratoire - Chimiste - Météorologiste - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Ingénieur électricien - Ingénieur en génie chimique - Ingénieur thermicien - Physicien - Ingénieur pneumatičien - etc...

30
CARRIERES
INFORMATIQUES

PROGRAMMATION - EXPLOITATION - CONCEPTION - SAISIE DE L'INFORMATION - APPLICATIONS DE L'INFORMATIQUE - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
C.A.P. aux fonctions de l'informatique - Opérateur sur ordinateur - Pupitre - Codifieur - Opérateuse - Monitrice - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Programmeur - Programmeur système - Préparateur contrôleur de travaux informatiques - Chef programmeur - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Analyste organique - Analyste fonctionnel - Ingénieur en organisation et informatique - Concepteur chef de projet - etc...

60
CARRIERES
AGRICOLLES

AGRICULTURE GÉNÉRALE - FLEURS ET JARDINS - ELEVAGES SPÉCIAUX - AGRONOMIE TROPICALE - CULTURES SPÉCIALES - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
Garde chasse ou de domaine - Cultivateur - Mécanicien de machines agricoles - Eleveur de chevaux - Fleuriste - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Désinsecteur paysagiste - Technicien agricole - Elevage - Aviculteur - Horticulteur (fleurs et légumes) - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Entrepreneur de jardins paysagiste - Ingénieur écologue - Conseiller de gestion - Conseiller agricole - Directeur de coopé - etc...

110
CARRIERES
BÂTIMENT & T.P.

MAÎTRISE - BUREAU DES ÉTUDES - MÉTRE - SECRÉTARIAT GÉNÉRAL - CHAUFFAGE - GROS OEUVRE - SECOND OEUVRE - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
Dessinateur calqueur en bâtiment - Electricien d'équipement - Menuisier - Maçon - Peintre en bâtiment - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Désinfecteur en bâtiment - Chef de chantier bâtiment travaux publics - Mètrier - Technicien en chauffage - Chef d'équipe - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Conducteur de travaux publics - Conducteur de travaux bâtiment - Projeteur calculateur en béton armé - Commis du bâtiment - etc...

40
CARRIERES
FONCT. PUBLIQUE

IMPOSTS - POSTES ET TELECOMMUNICATIONS - DOUANES - INTÉRIEUR - EDUCATION NATIONALE - CONCOURS ADMINISTRATIFS - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
Adjoint administratif - Agent de constatation des Impôts - des Douanes - Préposé des P.T.T. - Gardien de la Paix - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Technicien des installations de télécommunications - Secrétaire d'Administration et d'Intendance Universitaire - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Contrôleur des Impôts - Attaché d'Administration et d'Intendance Universitaire - Contrôleur des Douanes - etc...

80
CARRIERES
SERVICES & LOISIRS

TURISME - SURVEILLANCE ET RENSEIGNEMENTS - SPORTS - SPECTACLES - CINÉ T.V. - DECORATION RESTAURATION - ETC...

NIVEAU PROFESSIONNEL
Guide touristique - C.A.P. de cuisinier - Moniteur de sports - Secrétaire artistique - Secrétaire de rédaction - etc...

NIVEAU TECHNICIEN Photographe sportif - Dessinateur-décorateur - Opérateur de prises de vue - prise de son - Technicien du tourisme - etc...

NIVEAU SUPERIEUR Gérant d'hôtel - de restaurant - Responsable de Formation - Chef des relations publiques - Rédacteur en chef - etc...

Vous pouvez d'ores et déjà envisager l'avenir avec confiance et optimisme si vous choisissez votre carrière parmi les 780 professions sélectionnées à votre intention par UNIECO (Union Internationale d'Ecoles par Correspondance), ORGANISME PRIVE SOUMIS AU CONTRÔLE PEDAGOGIQUE DE L'ETAT

Préparation également à tous les examens officiels : CAP - BP - BT et BTS

Retournez-nous le bon à découper ci-contre vous recevrez gratuitement et sans aucun engagement notre documentation complète et notre guide en couleurs illustré et cartonné sur les carrières envisagées.



BON POUR RECEVOIR GRATUITEMENT
notre documentation complète et le guide officiel UNIECO sur les carrières que vous avez choisies (faites une).

NOM

- 110 CARRIERES INDUSTRIELLES
- 100 CARRIERES FÉMININES
- 110 CARRIERES COMMERCIALES
- 60 CARRIERES ARTISTIQUES
- 80 CARRIERES SCIENTIFIQUES
- 30 CARRIERES INFORMATIQUES
- 60 CARRIERES AGRICOLES
- 110 CARRIERES BÂTIMENT & T.P.
- 40 CARRIERES FONCTION PUBLIQUE
- 80 CARRIERES SERVICES & LOISIRS

RUE

.....code postal

VILLE

UNIECO

4608 rue de Neufchâtel 76041 Rouen Cedex

■ Pour la Belgique : 21-26, quai de Longdoz 4000 Liège ■

MICHEL FRYBOURG

Directeur de l'Institut de Recherche des Transports

du chemin de fer au taxi automatique

La deuxième moitié du XIX^e siècle fut la grande période du développement du chemin de fer qui se termina, au début de ce siècle, par la réalisation dans Paris de sa forme urbaine la plus élaborée : le métro.

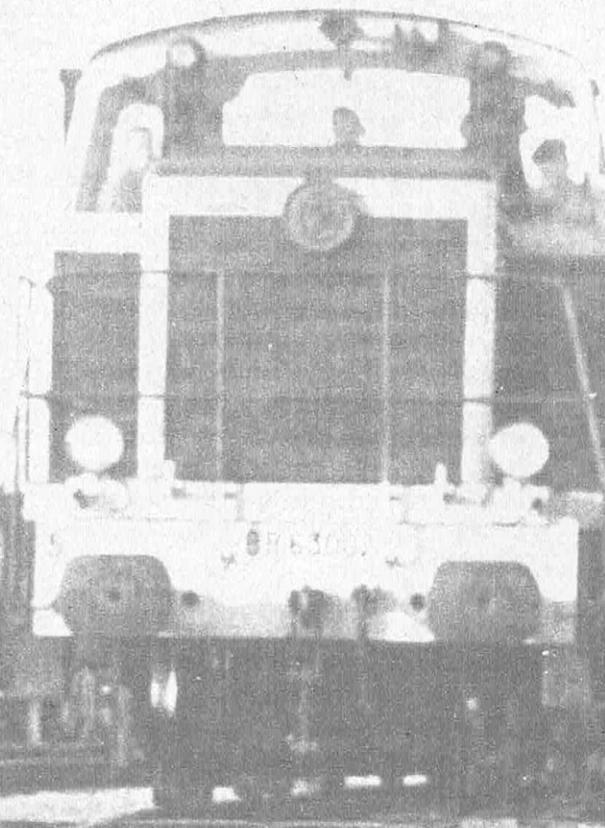
Le 27 avril 1837, le chemin de fer reliait Paris au Pecq en trente minutes alors qu'il fallait deux heures et demie en voiture. Le succès de ce moyen de locomotion fut si grand que d'autres lignes suivirent et que le réseau ferré s'étendit progressivement à toute la France. Par la suite, le chemin de fer détrôna la route ; seules les départementales reliant les bourgs voisins à la gare locale restèrent fréquentées.

En ville, l'omnibus disparut progressivement au profit du tramway, tiré, d'abord, par des chevaux. Puis, apparut le tramway à vapeur, lourd et mal-sain, remplacé, en 1890, par le tramway électrique.

A cette période de domination du chemin de fer succéda la formidable poussée de la motorisation individuelle qui, sans remettre en cause (en France tout au moins) la croissance du trafic

ferroviaire, obligea l'exploitant à une politique défensive.

La première moitié du vingtième siècle vit apparaître les difficultés financières du chemin de fer qui, en obligeant l'Etat à des interventions budgétaires de plus en plus lourdes,



conduisirent à la création, en 1937, de la première grande société nationale française : la S.N.C.F. La période d'après-guerre fut une période de reconstruction, qui reçut la toute première priorité du Plan pour remettre en route l'économie, et de modernisation, avec l'électrification.

Un événement couronne cette période : le record mondial de vitesse sur rails de type classique détenu par la France depuis les 28 et 29 mars 1955 avec la vitesse de 331 km/h (rame tractée par les locomotives BB 9004 et CC 7107). On remarquera, cependant, que cette performance fut recherchée davantage pour assurer la promotion du matériel ferroviaire français, que pour franchir un pas en avant dans l'accroissement des vitesses commerciales. Ces vitesses dépassaient bien celles atteintes du temps de Napoléon III, mais plus par « grignotage » que par volonté délibérée de mutation.

La généralisation de la motorisation étant maintenant sur le point d'être atteinte dans les pays développés et

l'aviation n'étant plus réservée à la seule clientèle privilégiée, les transports terrestres guidés vont connaître une nouvelle jeunesse :

— parce qu'ils ne sont plus les seuls à connaître les difficultés de la maturité : congestion, érosion des capacités financières d'investissement, pollutions et nuisances de toutes sortes.

— et surtout, parce qu'ils restent capables, sur certains segments du marché, de dépasser leurs concurrents, non seulement par leur coût inférieur, ce qui en fait un transport social, mais également par leur qualité de service.

Le succès rencontré par les trains d'affaires, type TEE, les formules « auto-couchettes », le trafic « Fret Express », ne peut s'assimiler à une politique de prestige, car il est financièrement sain.

Les réseaux ferrés, urbains et suburbains, des grandes métropoles ne sont plus fréquentés par la seule clientèle des captifs non motorisés. Une action promotionnelle, susceptible de rentabiliser une mutation de la qualité de service par la génération d'une demande solvable, apparaît possible.

Cette constatation se traduit par quelques faits significatifs parmi lesquels on peut citer :

— La mise en service du Capitole sur la liaison Paris-Toulouse qui, décidée en 1958, permit d'atteindre la vitesse de 200 km/h le 28 mai 1967 sur les tronçons d'excellent tracé.

— La décision du 14 mars 1960 d'entreprendre une ligne directe à grand gabarit entre le Rond-Point de la Défense et le Pont de Neuilly. Le Réseau Express Régional était né. Sa réalisation se poursuit maintenant par les travaux du « tronçon central » qui traverse Paris et son efficacité sera déoublée par la décision « d'interconnexion » du R.E.R. avec le réseau ferroviaire.

Cette nouvelle jeunesse des transports terrestres allait permettre de donner une nouvelle impulsion à l'innovation que l'extraordinaire succès de l'automobile et de l'aviation avait, en quelque sorte, aliénée. L'innovation, qui implique imagination et goût du risque, ne pouvait guère trouver un terrain favorable dans une activité « contractée » au seul effort de productivité et d'ajustement au marché.

C'est le 11 mai 1965 que fut prise la décision de construire la ligne expérimentale de Gometz qui allait permettre de valider le modèle probatoire de l'Aérotrain. Le véhicule Aérotrain, prototype I-80 modifié, véhicule de 80 places à sustentation par coussin d'air, propulsé par un turboréacteur Pratt et Whitney JT8D correctement insonorisé, a atteint, au cours des essais sur la voie expérimentale d'Orléans, la vitesse maximale de 428 km/h.

Pour ce qui concerne la sustentation classique roue-rail, la rame prototype TGV 001, composée de deux motrices et de trois caisses, propulsée par turbines à gaz de type aéronautique avec transmission électrique, a dépassé à de nombreuses reprises 300 km/h.

Tout récemment, à la fin du mois de mars 1974, l'autorail Garrett a atteint, sur le circuit d'essai de Pueblo (USA), la vitesse de 376,5 km/h. Il s'agit d'un véhicule expérimental, circulant sur une voie ferrée de construction conventionnelle, mais propulsé par un moteur électrique linéaire à double induc-

Tout récemment, à la fin du mois de mars 1974, l'autorail Garrett a atteint, sur le circuit d'essai de Pueblo (USA), la vitesse de 376,5 km/h. Il s'agit d'un véhicule expérimental, circulant sur une voie ferrée de construction conventionnelle, mais propulsé par un moteur électrique linéaire à double induc-

Au Japon, aux USA et en Allemagne, le courant semble irréversible, même si l'on ne peut se prononcer pour le moment sur les solutions qui seront retenues en définitive.

Le programme de développement des transports ferroviaires à haute vitesse au Japon (réseau Shinkansen) et le projet de liaison Tokyo-Osaka à très haute vitesse au moyen de trains à moteur linéaire sustentés magnétiquement s'appuient sur un effort de recherche tout à fait remarquable.

Le Congrès des Etats-Unis a adopté, en 1965, la loi dénommée « High Speed Ground Act » qui permet à l'administration fédérale des chemins de fer d'entreprendre une action vigoureuse de Recherche-Développement. Celle-ci a, notamment, débouché sur la réalisation d'un centre d'essai d'une ampleur sans précédent à Pueblo. Ce centre permettra d'expérimenter, en plus du véhicule Garrett déjà cité, un véhicule désigné par le sigle PTACV : Prototype Tracked Air Cushion Vehicle, véhicule à coussin d'air et à moteur linéaire de 60 places circulant à 150 mph (241 km/h). Il n'est autre qu'une utilisation des techniques françaises de l'Aérotrain et de la Société

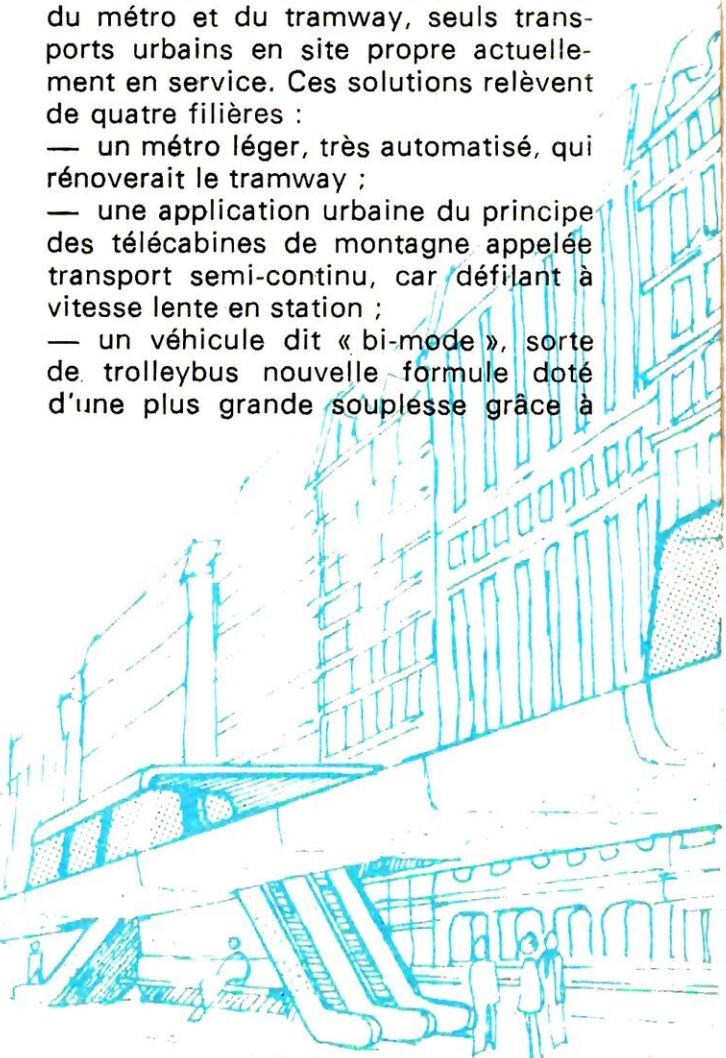
Le Moteur Linéaire (L.M.L.), filiale de Merlin-Gérin.

La République Fédérale d'Allemagne, craignant de ne pouvoir rattraper son retard dans le domaine de la sustentation roue-rail et du coussin d'air, s'est faite le champion de la sustentation magnétique par attraction et répulsion. Ce sont les sociétés Krauss-Maffei (K.M.) et Messerschmitt-Bölkow-Blohm (M.B.B.) qui reçurent les premiers contrats du gouvernement. Le véhicule Transrapid 04 de K.M. est étudié pour atteindre une vitesse de 350 km/h sur une nouvelle voie d'essais à Munich en utilisant la sustentation électromagnétique par attraction.

Le consortium Siemens-A.E.G.-B.B.C. réalise une piste circulaire de 280 m de diamètre à Erlangen pour essayer un prototype à sustentation électrodynamique jusqu'à des vitesses de 200 km/h.

Des solutions, également nouvelles, sont en cours d'expérimentation de par le monde pour déborder les possibilités du métro et du tramway, seuls transports urbains en site propre actuellement en service. Ces solutions relèvent de quatre filières :

- un métro léger, très automatisé, qui rénoverait le tramway ;
- une application urbaine du principe des télécabines de montagne appelée transport semi-continu, car défilant à vitesse lente en station ;
- un véhicule dit « bi-mode », sorte de trolleybus nouvelle formule doté d'une plus grande souplesse grâce à



son autonomie sur les parcours d'extrême ;

— et, enfin, le taxi automatique qui utiliserait un véhicule autopropulsé de capacité réduite et sans pilote, s'arrêtant aux seules stations « programmées ».

La perspective d'un accroissement du trafic permet d'envisager des investissements d'infrastructure, donc de dépasser les seules possibilités d'une meilleure utilisation des infrastructures existantes. Cette possibilité d'infrastructures nouvelles prend toute son importance si on la rattache à la signification de l'expression « mode de transport ». Un mode de transport est un système qui comprend les véhicules, l'infrastructure et les techniques d'exploitation.

Trois agents économiques sont donc impliqués dans le développement ou la création d'un mode de transport : l'industriel pour le matériel de transport, l'entrepreneur de génie civil pour l'infrastructure, et l'exploitant prestataire de services. Bloquer l'un des composants du système, c'est, en fait, figer le mode de transport. Or, l'industriel est lié par ses investissements ou sa technicité, l'entrepreneur n'intervient que si des investissements se justifient et l'exploitant est tenu par son cahier des charges.

Il faut donc une pression des besoins pour faire évoluer le système. Cette pression naît soit de l'insuffisante capacité des infrastructures existantes, soit de la qualité de service

jugée peu satisfaisante par les usagers soit des nuisances imposées aux non-usagers. Elle peut provenir, soit du système lui-même, soit des systèmes concurrents ou complémentaires.

Ainsi, la congestion de la circulation urbaine et les progrès de l'aviation commerciale ont-ils conduit à envisager des transports terrestres capables de répondre à une demande croissante dans de meilleures conditions de coût, de confort et d'insertion au sol des infrastructures. Il fallait transporter à moindre prix le voyageur pressé et plus rapidement le voyageur économique tout en respectant la qualité de la vie.

Dès qu'une infrastructure nouvelle se justifie par la saturation des infrastructures existantes notamment, la marge de manœuvre s'accroît considérablement : les tracés, les caractéristiques géométriques de la voie, les charges admissibles et, plus généralement, les contraintes réglementaires, peuvent évoluer. De nouveaux véhicules exploités différemment peuvent s'envisager.

Mais, si les possibilités sont nombreuses, les choix sont difficiles et les dépenses de développement élevées. Il faut évaluer les possibilités des différents systèmes envisageables en considérant l'ensemble des impacts des solutions possibles :

- sur les bilans financiers d'exploitation ;
- sur les usagers actuels ou potentiels ;
- sur les riverains ;
- sur l'économie des ressources naturelles : emprise au sol et énergie ;
- sur les activités desservies ;
- sur les autres systèmes de transport concurrents ou complémentaires.

Un nouveau mode implique, notamment, un rééquilibrage du marché des transports qui va bien au-delà d'un simple partage de ce marché car il faut tenir compte de la nouvelle clientèle attirée et des liens physiques tels que correspondances ou transports terminaux qu'il faudra nouer entre les différents modes complémentaires.

Ce qu'il faut retenir, c'est que, dans un monde où qui n'avance pas recule, le transport terrestre guidé est maintenant voué au progrès. Les articles qui vont suivre éclaireront le lecteur sur les différentes perspectives ouvertes.

LES GRANDS PROBLÈMES DU MATÉRIEL ROULANT

par André PORTEFAIX

Dans le vaste ensemble administratif, technique et commercial que constitue le chemin de fer, le matériel roulant n'est qu'un élément. Mais cet élément est le plus concret, le plus directement accessible au public et le plus représentatif du progrès. Ce progrès qui résulte d'efforts concertés sur tous les fronts de l'activité ferroviaire.

Pour n'envisager donc que le matériel roulant, il convient ici de mettre en évidence quelques-unes des mutations profondes qui se font jour actuellement dans le potentiel technique et économique du chemin de fer.

Les grandes vitesses : la rame automotrice prend la relève du train

L'expression de grandes vitesses connaît, il y a quelques années encore, aux circulations à plus de 160 km/h et jusqu'à 200 km/h. L'application réalisée depuis 1966 sur les lignes de Paris vers le sud-ouest s'est avérée un incontestable succès commercial et technique. Il est à noter que la S.N.C.F. est le seul réseau au monde à faire circuler des trains à 200 km/h sur des voies traditionnelles. C'est sur des voies nouvelles et de tracé approprié que les chemins de fer japonais ont lancé depuis 1964 des trains à 210 km/h. Mais cette réalisation a eu le mérite d'attirer l'attention de

l'opinion mondiale sur les nouvelles possibilités du chemin de fer. A noter que les Japonais (dans une perspective, il est vrai, d'augmentation prochaine de la vitesse à 250-260 km/h) ont eu recours à la rame automotrice. Les Français s'en sont tenus à la rame classique remorquée par locomotive.

Mais, pour les 250 km/h et au-delà, la locomotive n'est plus « dans la course », à cause de sa charge par essieu trop élevée et du pourcentage trop faible d'essieux-moteurs dans le train. A ces vitesses, c'est la rame automotrice qui s'impose. Les résultats favorables, en vitesse, stabilité, freinage, confort, obtenus par le TGV 001 montrent que la S.N.C.F. est prête à cette mutation.

On attribue parfois un caractère somptuaire aux grandes vitesses. Ce serait vrai, à cause de la résistance de l'air dans les basses couches de l'atmosphère, si on adoptait un niveau de vitesse de l'ordre de 400 km/h. Dans ce cas, il faudrait mettre en jeu trois fois la puissance d'un train classique pour transporter trois fois moins de voyageurs. A moins de découverte révolutionnaire dans la propulsion, ce serait encore plus vrai pour les 500 km/h, l'importance de la partie motrice réduisant à néant la charge commerciale. Le niveau modéré des 260-300 km/h échappe à ces critiques.

Dans un contexte d'aisance économique et énergétique, le nouveau système de transport ferroviaire permet de garantir, sur des distances de l'ordre de 500 km, des délais de transport globaux comparables à ceux de l'avion. Et ceci, avec des coûts voisins de ceux du train classique. L'intérêt commercial se double ici d'un avantage social.

Dans un contexte d'austérité énergétique, que nous ressentirons sans doute avec plus de force dans peu de temps, les faibles exigences du couple roue-rail entrent en ligne de compte. Les 9 000 litres de

combustible nécessaires à un airbus — avion réputé économique — pour transporter 300 passagers d'Orly à Satolas en un peu moins d'une heure suffiraient à conduire en 2 h, de Paris à Lyon, 1 000 passagers du turbotrain, et davantage encore en version électrifiée.

Extension de la qualité du transport à de nouvelles catégories sociales, palliatif aux difficultés énergétiques, telles sont les prérogatives de la rame automotrice à grande vitesse circulant sur ligne nouvelle.

Les voitures à voyageurs : priorité au confort

Les rames automotrices pour très grandes vitesses ne le céderont pas en confort au turbotrain expérimental TGV 001, qui semble avoir satisfait, à cet égard, ses nombreux visiteurs.

Le matériel remorqué qui sera mis en service au cours des toutes prochaines années sur les lignes actuelles (1 800 voitures environ, soit le renouvellement d'un quart du parc de grandes lignes) bénéficiera de soins équivalents.

Le confort résulte de la synthèse de beaucoup d'éléments. L'inventaire de ces éléments, la détermination de leur importance, l'examen des sujétions techniques et économiques qu'ils sont susceptibles d'entraîner, tout cela a donné lieu à d'importantes enquêtes de marketing et à des confrontations animées entre « commerciaux » et « techniciens ».

Des résultats, chacun pourra juger dans quelques mois, mais il importe ici de mettre l'accent sur deux améliorations :

— l'une est l'adoption généralisée du conditionnement d'air sur toutes les voitures de grandes lignes en construction. La régulation correcte — et économique — du climat interne s'accompagne naturellement d'un excellent confort acoustique et favorise en outre le « climat » social à l'intérieur des voitures (plus de litiges imputables à un procédé rustique d'aération) ;

— l'autre est le dessin des accès, problème permanent, et irritant, posé aux constructeurs de voitures en raison des contraintes géométriques et technologiques. Nous n'avons pas craint de subordonner sur nos 1 000 voitures pour lignes intérieures, la conception de la structure à la qualité de l'emmarchement dont la raideur a pu être sensiblement diminuée pour le plus grand confort des voyageurs. Et des facilités dans la montée et la descente des voyageurs ne peuvent être que bénéfiques

au temps de stationnement dans les gares et par conséquent à la durée du trajet.

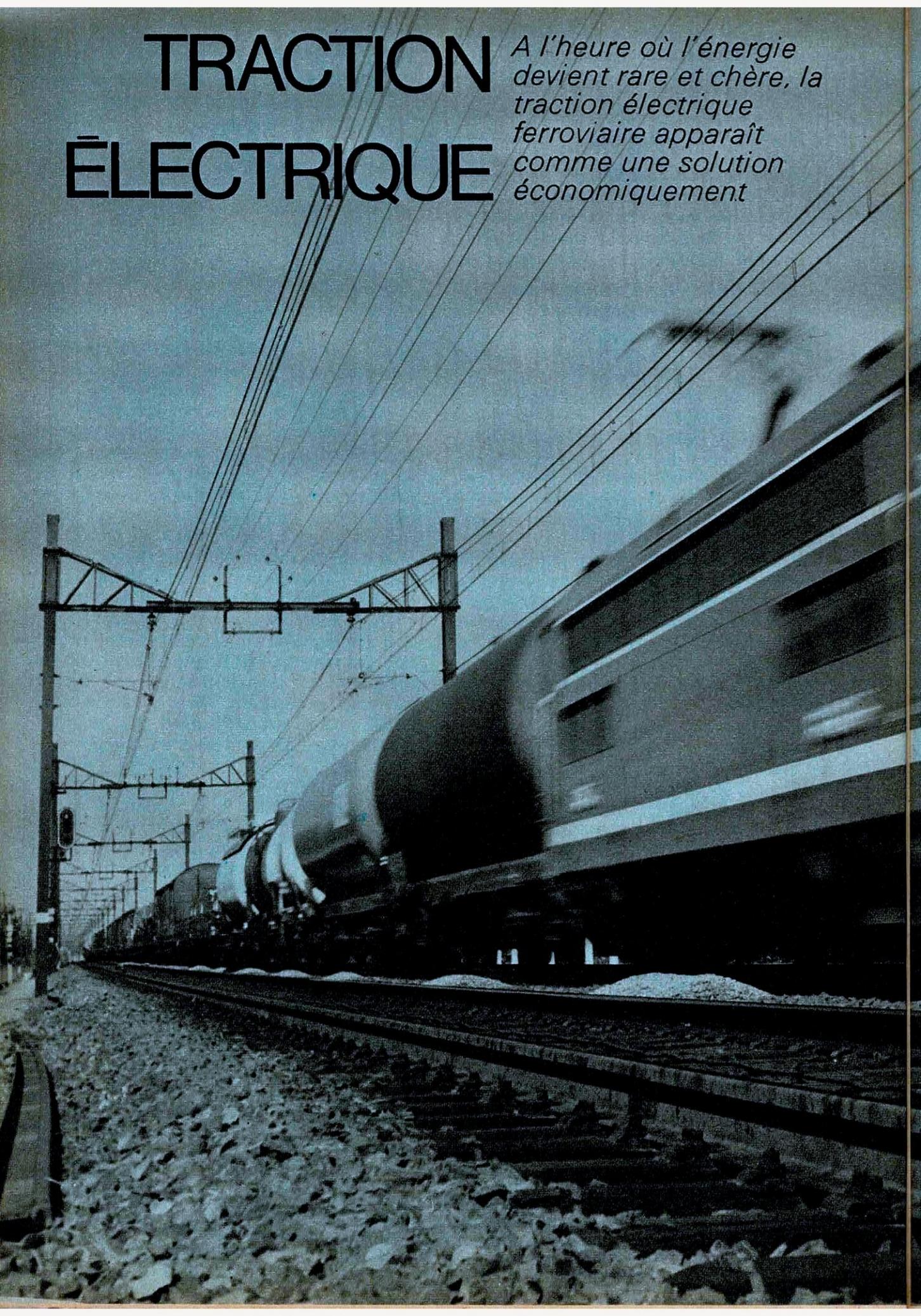
Le transport des marchandises et l'attelage automatique

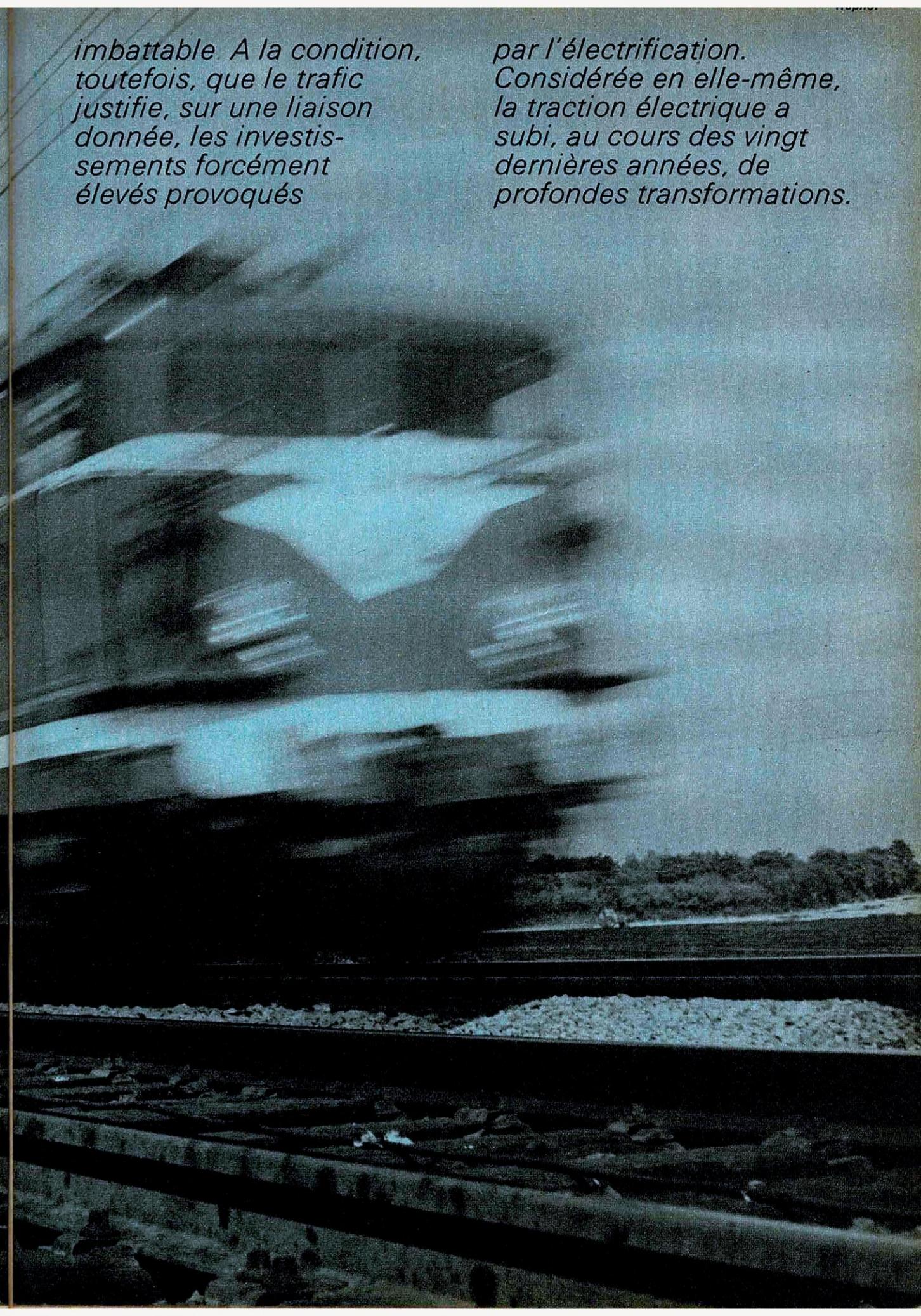
La S.N.C.F. obtient environ le tiers de ses recettes du trafic voyageurs, le reste du trafic marchandises. Il en est à peu près de même en République fédérale allemande. En Angleterre, en Italie, au Japon, la part du trafic voyageurs est plus importante. C'est le contraire aux Etats-Unis et en U.R.S.S. où le trafic marchandises prédomine largement.

L'efficacité du trafic marchandises s'exprime en tonnes transportées sur chaque ligne : pour l'élever, il faut accroître la composition des trains (dans les limites permises par les installations) et accroître la capacité et la charge des wagons (meilleur rapport charge/tare et meilleur rapport charge/longueur) et c'est ici que se pose la question de l'attelage automatique. Sa justification par la sécurité du travail n'est pas absolue, car il n'apparaît pas de différence bien significative dans les taux d'accident de personnel entre les réseaux équipés de l'attelage automatique et ceux qui ne le sont pas ; sa rentabilité, liée à divers chefs d'économie, dont le principal peut être une certaine amélioration dans la rotation des wagons, est très modeste dans les conditions qui prévalent actuellement dans les pays européens. Mais c'est le seul moyen de constituer, avec des wagons pesant 80, 120 ou 160 t en charge, des trains d'un tonnage substantiel : 4 000, 6 000, voire 10 000 tonnes au lieu des convois de 1 000 à 2 000 tonnes au plus, qui sont courants en Occident. Si ces chiffres modestes devaient se perpétuer, l'application de l'attelage automatique aux chemins de fer européens pourrait être contestée, car ses avantages pour le trafic marchandises s'accompagnent de quelques inconvénients à l'égard des wagons de faible tare et donc de faible capacité et à l'égard des trains de voyageurs. La vocation de l'attelage automatique, c'est le transport sur une échelle continentale, et il n'est pas surprenant que le plus ardent promoteur de l'attelage automatique en Europe, Louis Armand, ait été aussi un fervent Européen. La décision prise par les Réseaux Européens de mettre en service l'attelage automatique en 1985 apparaît ainsi comme une traduction technique et économique de la croyance que l'Europe sera entre temps devenue une réalité.

TRACTION ÉLECTRIQUE

A l'heure où l'énergie devient rare et chère, la traction électrique ferroviaire apparaît comme une solution économiquement.





imbattable. A la condition, toutefois, que le trafic justifie, sur une liaison donnée, les investissements forcément élevés provoqués

par l'électrification.
Considérée en elle-même,
la traction électrique a
subi, au cours des vingt
dernières années, de
profondes transformations.

Le transport sur rail, principal utilisateur de l'énergie électrique dans les moyens de transports, dispose de ce qui est devenu un privilège : pouvoir user de cette source d'énergie sans avoir à discerner son origine ou sa nature. Le graphique p. 21 concrétise l'évolution, pour la SNCF, des divers modes de traction, vapeur, diesel et électrique, au cours du dernier quart de siècle en France, et en pourcentage du trafic effectué. On trouverait une situation analogue en Europe et en URSS.

Pour ce qui est de la longueur des lignes électrifiées, la place de la France est honorable, puisqu'aujourd'hui 9 323 km de lignes sont électrifiées, soit 26,5 % de la longueur totale des lignes, et 36 % des voies principales, dont 4 809 km en courant continu 1 500 V et 4 307 km en alternatif (monophasé 25 000 V-50 Hertz). On notera une tendance générale à l'accélération et à l'extension des projets.

En France, le reste des lignes, soit environ 25 000 km, est exploité maintenant en diesel, et, depuis 4 ans, un peu en turbine à gaz.

L'effectif des engins de traction est au 1^{er} janvier 1974 :

- locomotives électriques, 2 235 ;
- locomotives diesel, 2 083 ;
- automotrices électriques, 668 ;
- automotrices diesel, 970 ;
- automotrices à turbines à gaz, 30.

(Pour mémoire, locomotives à vapeur = 20 et locomoteurs diesel = 87.)

Le trafic de la SNCF représente, en traction électrique, près de 80 % du trafic total alors que, comme on le voit, le parc moteur électrique ne représente que 48 % du total (2 900 sur 6 000). Aujourd'hui, donc, de moins en moins d'engins, en traction électrique, assurent de plus en plus de trafic. Comme l'électricité, c'est avant tout de l'énergie, voyons rapidement ce que représentent les consommations de la SNCF pour 1973 :

- *En traction électrique* : 5 milliards de kWh, ce qui, compte tenu des trafics enregistrés, veut dire qu'une simple lampe de 25 watts, presque une veilleuse, brulant pendant une heure, consomme autant d'énergie que pour transporter 10 tonnes sur 100 kilomètres pendant à peu près le même temps.

- *En traction diesel* : 522 000 mètres cubes de fuel, ce qui veut dire que pour la même comparaison du transport de 10 tonnes sur 100 kilomètres, la consommation est celle d'une modeste voiture auto-

mobile, alors que la masse correspondante, sur route, demande 3 à 4 fois plus de pétrole...

Il ne convient d'ailleurs pas de comparer directement les chiffres qui précèdent, étant donné la différence de nature des trafics effectués. Etant donnée l'importance prise ces derniers temps par les questions d'énergie, nous en dirons un peu plus pour montrer l'évolution de ce problème vis-à-vis des chemins de fer français.

Sources et nature de l'énergie en traction électrique

De tous temps, la traction électrique a bénéficié d'une énergie provenant de sources multiples, ayant d'ailleurs des qualités différentes suivant l'époque considérée.

Tout d'abord, l'énergie électrique d'origine hydraulique, par les centrales de montagne puis de fleuves, a été à l'origine même des électrifications. Soumise à des fluctuations saisonnières ou annuelles, voire pluriannuelles, cette source ne peut guère que s'utiliser au fur et à mesure de sa production dans le cas des fleuves, et s'accumule, par barrages ou par pompage, assez difficilement dans le cas des montagnes. C'est cependant l'énergie la moins coûteuse à long terme, et la forme idéale au point de vue résidus ou pollution.

Est venue ensuite l'énergie électrique d'origine thermique, produite dans des centrales aux combustibles aussi divers que charbon, lignite, gaz de haut-fourneaux, gaz naturel, pétrole sous forme de fuels lourds, et, récemment, réactions nucléaires. Le rendement de ces centrales s'étant amélioré au cours des ans, passant par exemple de 18 % en 1950 à 31 % en 1960 et 35 à 36 % actuellement, la traction électrique en a profité. Au point que son rendement global, malgré les pertes dans les lignes de transmission, est finalement au moins égal à celui de l'utilisation directe du combustible thermique sur la locomotive même, comme c'est le cas en traction diesel. On trouve ainsi pour le rendement moyen d'une locomotive diesel environ 22 %, alors qu'en thermique produit en centrale et utilisé en locomotive électrique, on trouve 24 à 25 %. Bien entendu, nous ne parlons même pas de l'hydraulique ou du nucléaire, où le rendement prend une autre signification au niveau de la centrale.

Ainsi la traction électrique, et c'est un énorme avantage sur le diesel ou la tur-

bine, utilise-t-elle et pourra-t-elle continuer à utiliser des sources primaires de plus en plus variées, alors que les autres types de traction dépendront toujours d'une énergie importée de pays lointains, dispendieuse, aléatoire et épuisable.

Coût de l'énergie en traction

Un autre argument, ayant pris de plus en plus d'importance, au cours des années récentes, en faveur de la traction électrique, est l'augmentation des prix des combustibles. Ceci établit une échelle des valeurs de l'énergie de traction en faveur de la plus diversifiable, et de la moins polluante. On peut dire que, même avant la « crise » de 1973, les prix de l'énergie étaient fort anarchiques.

Ainsi, pour le chemin de fer, il était financièrement plus avantageux de produire des « kWh » sur les locomotives diesel que de les acheter au réseau national.

Alors que les centrales consommaient du fuel lourd, les locomotives diesel exigeaient un combustible plus raffiné, plus cher, et il était surprenant de constater que, dans ce cas, de très nombreuses unités mal employées coûtaient moins que les grosses centrales utilisant de toutes façons des sous-produits de raffinage. Paradoxe d'autant plus fort qu'à égalité de volume, le fuel lourd produit plus de kWh dans une centrale que sur une locomotive ! A égalité de puissance installée, la centrale produit même 6 à 8 fois plus d'électricité (en kWh) que la locomotive... (sur une période annuelle par exemple).

Cependant, rapidement, l'électricité, même d'origine thermique, offrit un avenir meilleur. Ainsi en France, dès 1971, le prix de revient total du kWh nucléaire venait à parité avec celui du kWh produit par le fuel-oil : aujourd'hui, le nucléaire est à 4,5 centimes le kWh produit, le thermique à base de pétrole à 8 centimes. De ce fait, le seul poste combustible, dans le prix de revient des centrales à fuel-oil, dépasse le prix de revient total, y compris les charges d'investissement, des centrales nucléaires.

L'avantage financier sur le fuel va donc être écrasant en utilisant l'énergie nucléaire. Pour le chemin de fer, cela signifie que l'électrification sera de plus en plus supérieure au diesel. Même si le kWh de centrale coûte 1 et celui de locomotive diesel 0,4, pour avoir le même nombre de kWh, il faut dépenser 3 à 4 fois plus !

Mais on pourrait aussi dire que le prix

importe peu, et qu'il s'agit avant tout d'utiliser au mieux l'énergie dont on dispose. Car la pénurie d'énergie, demain, risque d'être telle que ce sont les « calories » qui devront avoir le pas sur toute autre considération (sans oublier, quand même, la main-d'œuvre d'entretien, qui fait que si 1 kWh coûte dans une centrale un entretien de 1, il en coûte 2,7 à 3 dans un diesel de locomotive).

Rappelons ainsi quelques notions quantitatives actuelles sur la valeur relative des énergies physiquement consommées :

Rendement des systèmes de traction

Nous l'avons déjà évoqué, mais quelques détails montreront l'importance du problème.

• *En traction électrique*, il y a 2 rendements à considérer :

— celui entre centrale et entrée haute-tension des sous-stations. (En France le rendement moyen actuel est de 0,35 en thermique, 0,73 à 0,9 en hydraulique suivant le sens « physique » qu'on lui donne, et en prenant 0,95 pour rendement moyen du transfert jusqu'aux sous-stations. Ces chiffres soulignent l'avantage écrasant de l'énergie hydraulique.) ;

— d'autre part, entre l'entrée des sous-stations et le crochet de traction de la locomotive, on trouve en moyenne annuelle, pour du matériel moderne : 0,725 en 25 kV, et 0,69 en continu ;

— par conséquent, dans son ensemble, le rendement moyen global est, au pire, de : 0,250 pour l'énergie d'origine thermique, 0,507 pour l'énergie d'origine hydraulique.

• *En traction thermique*, nous avons cité un rendement moyen annuel de locomotive diesel de 0,225 au crochet, à comparer avec les précédents.

Mais ces rendements ne sont pas tout, il s'agit de voir ce que l'on consomme en fait : pour le transporteur, c'est la tonne-kilométrique et le voyageur-kilométrique qui comptent. La combinaison de ces deux facteurs s'appelle « unité de trafic » en France. C'est évidemment une unité bizarre, mais assez significative.

On trouve ainsi pour la SNCF, sur l'ensemble des modes de traction, à l'unité de trafic :

— en voyageurs : 25,3 grammes d'équivalent charbon (gec) ;

— en marchandises : 21,9 gec, soit pour l'ensemble : 23,2 gec.

Une décomposition plus précise donne, à titre d'exemple pour quelques trains, et leurs concurrents, les consommations ci-après (en gec à l'unité de trafic, siège/km offert ou tonne/km utile) :

	<i>Cou- rant conti- nu</i>	<i>Cou- rant alter- natif</i>	<i>Ther- mique</i>
<i>Siège/km/offert</i>			
Rapides à supplément (locomotives de 3 000 kW aux moteurs)	10,6	9,4 (1)	9,5
Banlieue	8 à 10	8 à 10	8 à 12
Voiture particulière	—	—	25 à 35
Airbus A 300 sur 400 km	—	—	60 à 80

<i>Tonne/utile/km</i>	Messageries directes	27,6	24,4	25
	Marchandises omnibus	26,5	25,8	31,4
	Camion	—	—	115 à 145

(1) Ce qui fait que dans le prix de revient kilométrique d'un train de grandes lignes, l'énergie, en coût, n'atteint pas 14 %.

Ces valeurs prennent toute leur importance si on les transcrit en « consommation pétrole », en les comparant, sur une distance donnée, avec ce que consomment d'autres modes de transport ne pouvant d'ailleurs consommer que cela...

Enfin, on notera que de toutes façons, cet aspect énergétique, sous l'angle du prix de revient du transport, n'intervient que pour les parts suivantes en France : — 3,5 % sur le coût total de transport par rail pour l'ensemble des trains ; — 8 à 10 % sur le coût des transports par voie d'eau ; — 9 à 15 % sur le coût des transports aériens ; — 25 à 30 % sur le coût pour les voitures particulières.

Donc le chemin de fer électrifié est le mieux placé, car une augmentation probable du prix de l'énergie l'affectera beaucoup moins que les autres, et ceci d'autant plus qu'il sera plus indépendant des sources d'énergie pétrolières : sa dépendance des importations est actuellement, au niveau des sources d'électricité, de l'ordre de 18 %, et 44 % en y comprenant

même la traction diesel ou à turbines, alors que les trois autres modes cités en dépendent à 100 %, sans que l'on voie à court terme le moyen de changer cette dépendance.

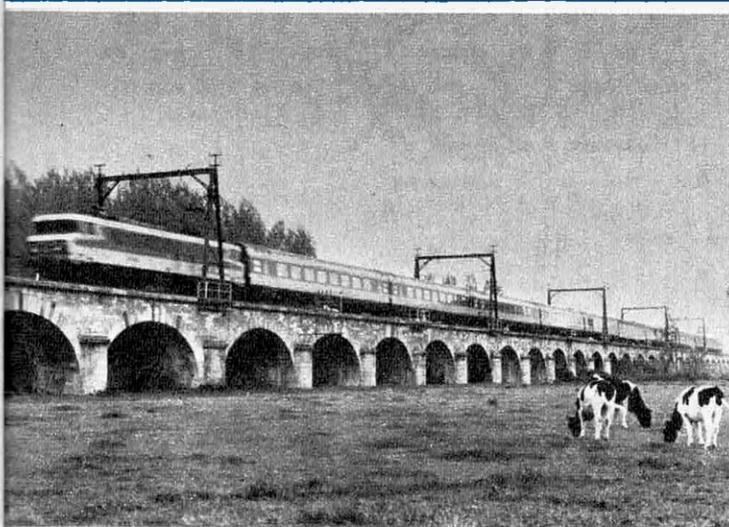
En plus de toutes les raisons précédentes, il y a les possibilités même de production de l'énergie utile qui sont si différentes entre locomotives électriques et diesels. Pour un même constructeur, à une même époque, appliquant les mêmes principes, la puissance au crochet, à poids égal d'une locomotive électrique, est 2,5 à 3 fois supérieure à celle d'une locomotive diesel. C'est même davantage en pratique, car le diesel ne peut être surchargé alors que l'engin électrique peut l'être d'au moins 50 à 60 %, tout au moins momentanément, mais répétitivement.

Ceci amène à parler de la longévité du matériel roulant. Il est de pratique courante, chez certains, de limiter la vie d'une locomotive à 12 ou 15 ans du fait qu'elle ne répond plus aux exigences du service... Pour nous, une vie aussi courte est impensable : 35 ans est un chiffre courant, mais, en fait, le nombre d'années ne signifie pas grand-chose, car une locomotive qui ne roule pas ne se fatigue pas. Les locomotives diesel « 72000 » parcourront 20 000 km par mois en moyenne, les locomotives électriques « 6500 », 32 000 km sur la région Sud-Est. Ceci amène à conclure qu'avec une certaine technique, des locomotives diesel, en fin de carrière, ont parcouru moins de kilomètres que les locomotives électriques en 5 ans : nous verrons ci-après comment l'évolution récente de la traction électrique a permis de tels résultats. En fait pour atteindre de telles durées de vie, on est conduit, en traction diesel, à des frais d'entretien très considérables, pouvant aller jusqu'à une refonte complète, alors que la locomotive électrique moderne ne présentera même plus de signes de vieillissement.

Enfin, alors que les puissances déjà disponibles en traction électrique ménagent l'avenir, celles possibles en diesel sont vites dépassées et demandent des moteurs nouveaux ou une multiplication anormale du nombre des locomotives.

L'évolution des installations fixes

On a souvent tendance à parler davantage du matériel roulant que des installations fixes, comme si, pour ces dernières, la situation des premières grandes électri-



En haut de page, à gauche, une BB 15 000 remorquant le train TEE Stanislas. Quarante engins de ce type ont été commandés par la SNCF. Ces machines 25 kV, 50 Hz, de 4 400 kW sont prévues pour la vitesse maximum de 180 km/h. Au-dessous, la CC 6 500, à courant continu 1 500 V,

d'une puissance de 6 000 kW. Elle remorque les trains rapides « Capitole », « Aquitaine », etc. En haut à droite, une CC 14 100, machine à conversion de courant mono-continu par groupe tournant. En bas, une automotrice de banlieue Z 6 100 en gare de Garges-Sarcelles.

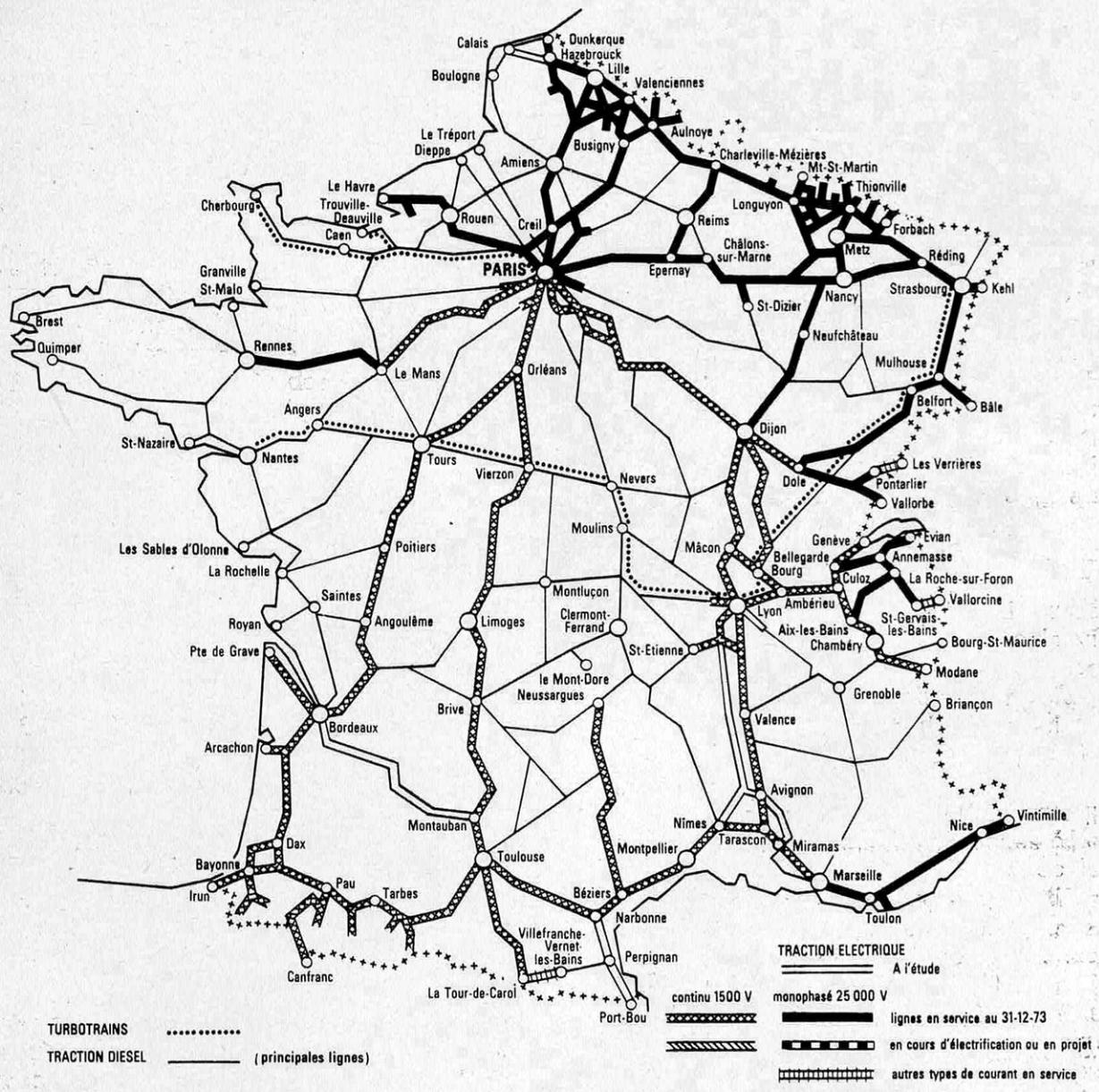
fications, il y a cinquante ans, n'avait guère évolué.

Si cela est en partie vrai pour la constitution des lignes aériennes de contact en courant continu 1 500 V (ce qui, soit dit en passant, montre le degré de qualité dans le choix de ces caténaires anciennes), par contre, avec ce même type de courant, l'évolution est concrétisée de façon saisissante par les *sous-stations de redressement et d'alimentation* à partir du réseau général EDF.

Nous sommes aujourd'hui très loin des énormes bâtiments avec ponts roulants ou monorails de levage nécessaires aux sous-stations à groupe convertisseurs tournants, commutatrices, et même redresseurs à vapeur de mercure polyanodiques. Il suffit de comparer l'importance, en volume et poids,

des redresseurs utilisés, par exemple en commutatrices 750 V de 2 000 kW il y a 50 ans, en redresseurs de même puissance il y a 20 ans, et en redresseurs à diodes silicium d'aujourd'hui qui, pour une puissance plus que doublée (5 000 kW) s'inscrivent à la même place et sans plus de volume que leurs prédecesseurs.

Grâce aux gains de performance des appareils, la faible largeur d'emprise des sous-stations modernes a permis ainsi de multiplier ou renforcer les points d'alimentation de nombreuses lignes anciennes dont le trafic et la vitesse ont fortement augmenté, telle la ligne Paris-Bordeaux passée en quelques années à un trafic de l'ordre de 20 000 tonnes-kilomètres brutes par kilomètre de ligne et par jour, et plus, et des vitesses de 200 km/h. Ainsi, le coût



des électrifications nouvelles encore nécessaires au maillage interne du réseau à courant continu a-t-il baissé, avec quelques autres simplifications côté lignes, au point que, dans certains cas où le matériel roulant est déjà abondant, on puisse encore choisir le continu pour un parachèvement de lignes.

En ce qui concerne le courant alternatif, par contre, l'évolution des installations fixes est apparente, alors même que sa simplification initiale semblait avoir défini pour longtemps le système. Voyons rapidement les principaux points forts de l'évolution technique récente :

En sous-stations à courant alternatif, rappelons que les schémas d'équilibrage

de type Scott, adoptés autrefois, ont depuis longtemps disparu au profit du schéma le plus simple. Le fait le plus marquant est l'apparition toute récente de tensions d'alimentation très élevées et de fortes puissances : 220 kV au lieu de 66 kV et 40 à 50 MVA, (avec surcharges de 50 % — 15 minutes et 100 % — 5 minutes) au lieu de 10 ou 20 MVA il n'y a pas longtemps. Par exemple, une seule sous-station de 50 MVA à Puteaux suffira prochainement à alimenter en 25 kV — 50 Hz tout le secteur de banlieue et de grandes lignes à 25 kV de St-Lazare.

Côté ligne de contact, on notera l'évolution permise par celle de la capacité des réseaux d'alimentation EDF. Ainsi, quand

ce réseau le permet, on peut coupler trois, quatre ou plus de sous-stations en parallèle de manière à réduire les chutes de tension. Outre que cela évite de couper le courant en passant les sections neutres, on augmente aussi la capacité, en puissance, de la caténaire, puisqu'avec des intensités permanentes de l'ordre de 5 A par mm², on trouve une puissance moyenne captable d'environ 15 MVA sous 25 kV.

Cette dernière a également bien évolué, puisqu'aujourd'hui en courant alternatif à 50 Hz on compte déjà 14 000 km de caténaires réalisées en France.

Pour réduire le coût des caténaires, la SNCF a mis au point un équipement simplifié : il s'agit d'un fil unique de contact dont la tension est réglée en fonction de la température. Une connexion de tension simple, au droit des poteaux, évite les points durs et permet une réduction de la flèche, et l'utilisation de portées longues. La disposition sous les ponts et dans les tunnels devient très simplifiée. Un tel fil de contact permet une économie de 30 % par rapport à la caténaire traditionnelle 25 kV. La SNCF l'a adoptée jusqu'à la vitesse de 120 km/h et vraisemblablement ces dispositions iraient encore jusqu'à 140 km/h.

L'évolution du matériel moteur

Le progrès des engins moteurs ne consiste pas seulement dans l'adoption de techniques nouvelles, mais aussi, et surtout, dans la manière de mettre en œuvre ces nouveautés. C'est seulement ainsi, en soignant aussi bien les grands principes qu'en s'attachant de près aux détails de mise en œuvre, que l'évolution peut se concrétiser par l'engin le meilleur à un instant donné. Ceci est particulièrement vrai en traction électrique, où le « moteur » ne peut en aucune façon être pris isolément du « système » véhicule, mouvement et voie.

Sur le plan le plus général de l'évolution des engins de traction, on a assisté, au cours de ces dernières années, pour ce qui concerne l'équipement électrique, au passage de « l'électromécanique » à celui de « l'électronique » dans tout ce qui concerne l'appareillage annexe au moteur de traction, ce dernier conservant le même principe, à savoir le moteur série à collecteur, alors que son alimentation a subi, en 20 ans, une évolution extraordinaire.

Ainsi en courant alternatif d'abord, le redressement du courant (1951), puis son

réglage (1960) a pu atteindre le continu vers 1972, avec des applications de série quelques années à peine après l'apparition des prototypes. On a pu utiliser successivement les techniques nouvelles même lorsqu'elles étaient loin de la perfection acquise depuis : ignitrons, diodes au silicium, thyristors, ont jalonné la progression des semi-conducteurs.

Grâce au thyristor, dont les premières applications en traction remontent, en 1963, sur l'automotrice Z 6004, et en 1964 sur la locomotive BB 20006, pour réaliser non seulement le passage de l'alternatif au continu, mais aussi l'inverse sur la BB 20006, ce qui était la nouveauté, on dispose maintenant d'un contacteur statique, à sens unique, d'une prodigieuse rapidité : si la matière n'acquiert pas pour autant de « cerveau », du moins a-t-elle, par cette rapidité, la faculté de répondre aux questions posées au préalable, par une réaction telle qu'on peut alors lui faire « découper » en tranches successives, à la vitesse et pendant le temps désirés, tout courant qui se présente, voire même de le faire « réagir » au début de l'apparition d'un phénomène, avant que celui-ci ne devienne un défaut.

Ainsi en réduisant ce que l'on appelle les constantes de temps des réponses électriques des circuits traditionnels avec les appareils mécaniques à contacts, l'utilisation de tous ces moyens électroniques au niveau de puissance d'une locomotive, soit de 1 000 à 10 000 fois plus que les applications autrefois connues pour les mêmes appareils à courant faible, a nécessité une refonte complète des circuits et équipements de réglage et contrôle de la puissance délivrée aux moteurs de traction d'une locomotive ou d'une automotrice.

Circuits de traction

Ainsi les thyristors, apparus pour la première fois en grande série en 1971 sur les automotrices Z 6150 à 6185, puis sur les locomotives BB 15000, ont gagné, après le courant alternatif, le courant continu, avec les futures locomotives BB 7200, voire même le bicourant avec les BB 22200.

Côté *alternatif*, le thyristor, appliqué à un circuit à 2 ponts en série procure un facteur de puissance convenable, et évite la multiplication des circuits et leur complication. Le réglage du couple est assuré par le réglage de la valeur du courant. Une

alimentation séparée pour chaque moteur de traction, du moins sur locomotives, procure l'avantage d'équilibrer équitablement les courants et de permettre de résorber les patinages de chaque moteur. En outre la protection est ainsi rendue très efficace. La réduction de champ, nécessaire à la plupart des moteurs de grande puissance unitaire, est également réalisée aujourd'hui sans aucun appareil mécanique, par réglage de l'ouverture des thyristors, qui dérivent hors du circuit d'excitation une partie du courant de l'induit.

L'équipement de commande permet de mettre en service successivement, avec une continuité parfaite, les équipements de réglage de tension, puis ceux de réglage d'excitation. Ainsi se trouve couvert entièrement et de façon continue le plan Efforts-Vitesses, et non plus en se limitant à quelques courbes discontinues de l'une à l'autre. Enfin, le schéma électrique à thyristors en pont complet permet en cours de freinage une récupération de l'énergie avec une facilité exemplaire : on peut développer un effort de freinage constant et important jusqu'à l'arrêt complet.

Outre le gain d'énergie électrique, sur des lignes à profil accidenté, le freinage électronique à récupération, plus fiable que ses prédecesseurs capables de mêmes performances, permet également de se substituer au freinage mécanique en réduisant les dégradations des roues et les remplacements des sabots de frein. Ces économies peuvent atteindre une diminution du tiers sur les remplacements d'essieux et des trois quarts sur ceux des sabots.

En courant *continu*, où il a fallu attendre une évolution suffisante des thyristors sous l'angle de la rapidité, pour les grosses puissances unitaires notamment, la substitution a été encore plus rapide qu'en courant alternatif. La différence réside essentiellement dans le fait que si, en alternatif, le thyristor « ouvert » (ou allumé si l'on veut) au moment souhaité pour le passage du courant, s'éteint ensuite de lui-même au passage à tension nulle (commutation dite naturelle), en continu, il faut le forcer à cela (commutation dite forcée), et assurer d'autre part la continuité de circulation du courant dans le circuit moteur par des diodes de retour.

Ceci pour expliquer le délai de près d'une dizaine d'années entre les premières applications thyristors de grande puissance en alternatif, et en continu. Vu ce temps, il a été possible aussi de faire des progrès

importants dans le domaine de la connaissance et de la protection contre les perturbations inévitablement engendrées par tous ces appareils qui coupent et rétablissent le courant venant de la caténaire, non plus comme autrefois à la cadence de quelques fonctionnements, au plus, par seconde, mais au rythme de 100 à 300 fois, fréquences utilisées soit pour le réglage en redressement d'alternatif à 50 Hz, soit pour le « hachage » du courant continu.

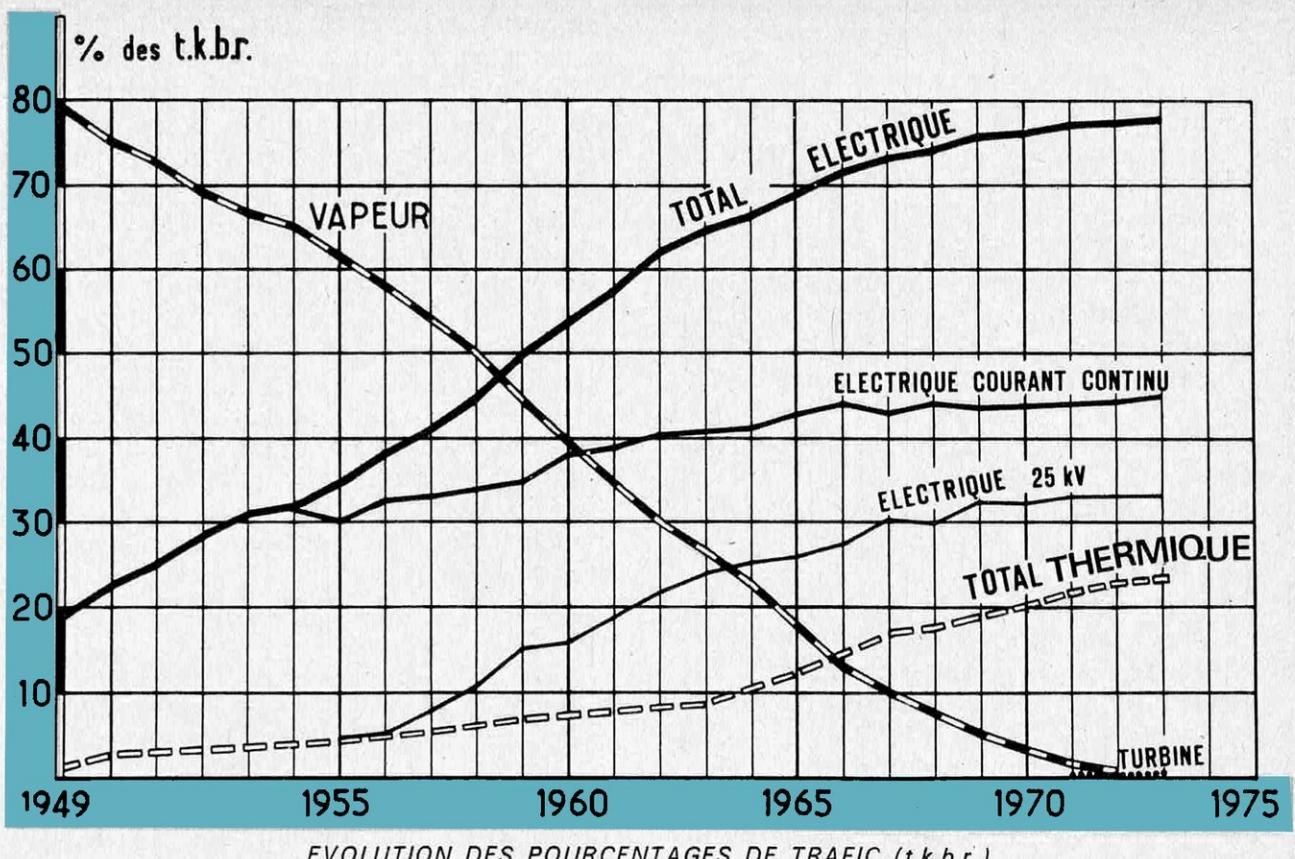
Ainsi, après avoir mis au point des systèmes de signalisation et de télécommunication surmontant les difficultés provenant des influences électriques et électromagnétiques du courant alternatif 25 kV-50 Hz, puis des engins à redresseurs, il y a déjà 20 ans, il a fallu tout récemment reprendre le problème avec les engins à thyristors, aussi bien en alternatif qu'en continu. Il est vrai que ces mises au point expérimentales valaient d'autant plus la peine d'être réalisées, pour permettre l'utilisation d'un parc nombreux d'engins moteurs à réglage électronique, que deux conséquences importantes allaient en découler :

- d'une part, combler le retard technique et de performances de la locomotive à courant continu vis-à-vis de sa sœur cadette de l'alternatif ;
- d'autre part, permettre de réaliser de nouveaux engins bicourant, acceptables tant en alternatif qu'en continu, avec les mêmes possibilités de traction dans les deux systèmes, ce qui n'était pas le cas auparavant.

Expliquons ces points communs à l'évolution des deux systèmes :

Le premier est relatif à l'utilisation des performances de traction, en fonction de l'adhérence roue-rail utilisable. On sait que la locomotive à redresseurs, en alternatif, outre le fait de disposer d'une grande quantité de courbes caractéristiques ajustées à chaque « cran » permanent du manipulateur de conduite, offrait, et nous l'avions indiqué vers 1950, une forme de courbe particulièrement bien adaptée à la meilleure utilisation de l'adhérence roue-rail disponible. Ainsi, lorsque la courbe donnant l'effort en fonction de la vitesse est moins inclinée que celle de l'adhérence physiquement disponible, dès qu'un patinage se produit, il y a tendance à l'emballement.

Au contraire, si la courbe est raide, on constate une certaine stabilité du patinage à une valeur faible, voire sa résorption. Les nombreux essais effectués par la SNCF



dans les conditions les plus diverses, ont sans doute montré que chaque type de locomotive présentait sa personnalité, mais que les possibilités d'actions rapides au niveau des thyristors contrôlant le courant de traction permettaient d'ajuster la courbe caractéristique utile au plus près de ce qui était possible au niveau du rail, en changeant si nécessaire de façon continue ces mêmes caractéristiques.

Ainsi, pour surmonter les difficultés d'un partage égal des courants de traction entre moteurs en parallèle, solution pouvant devenir commune au courant alternatif et au courant continu (alors qu'auparavant ce dernier ne pouvait utiliser que moteurs en série, avec résistances, pendant la plus grande partie du temps des démarriages), il a été possible d'adopter un réglage par le courant, de préférence à celui par la tension. Ceci exigeant un dispositif antipatinage particulièrement rapide et efficace, l'électronique a pu fournir une réponse presque parfaite. Ainsi est surmonté le principal handicap de traction de l'engin à courant continu qui devient égal, en performances, à celui à courant alternatif.

Restait cependant, en quelque sorte, la corollaire de cette égalité : la France disposant d'un grand nombre de kilomètres de lignes électrifiées en courant continu 1 500 V, aux contacts de plus en plus nom-

breux avec les lignes en courant alternatif 25 kV-50 Hz, n'était-il pas possible de concevoir de nouveaux engins de traction offrant exactement les mêmes possibilités sous les deux systèmes, sans avoir à juxtaposer complètement deux équipements, utilisant en fait, avec les thyristors, les mêmes éléments de base ? ...

En renonçant à l'idée de commuter les thyristors et leurs couplages pour passer d'un système à l'autre, ce qui complique fort le circuit de puissance, rend difficile les questions d'ajustement des selfs et filtres, et devient presque inextricable au niveau des circuits de commande et contrôle, il devenait nécessaire de revenir à un schéma déjà pratiqué, mais en désespoir de cause, sur certains engins poly-courant.

Le circuit de puissance de base est alors celui en courant continu, mais cette fois avec le hacheur à thyristors conférant de bonnes performances à l'ensemble, quel que soit le mode d'alimentation : directement en continu, ou par l'intermédiaire d'un transformateur et d'un redresseur à tension constante en courant alternatif.

C'est pourquoi la SNCF a pu récemment passer commande de 300 locomotives, toutes de type BB, de 4 400 kW et pour 180 km/h dont :

— 40 BB 15000 à courant alternatif

(25 kV- 50 Hz) ;

— 110 BB 7200 à courant continu (1,5 kV) ;

— 150 BB 22200 en bicourant.

On notera que bien que comportant l'équipement complet de la 7200, la 22200 bicourant ne pèse que 7 % de plus, au total, que celles monocourant.

Enfin cette dernière solution est aussi celle d'avenir pour les automotrices bicourant, soit à très grande vitesse pour les liaisons Paris-Sud-Est, où l'expérience des hacheurs a été acquise sur l'automotrice expérimentale Z 7001 jusqu'aux vitesses supérieures à 300 km/h. Ce sera aussi la solution bicourant des automotrices devant assurer la jonction au centre de Paris entre RER et SNCF.

En dehors des parties électriques essentielles des locomotives ou automotrices, et encore avons-nous laissé de côté le problème des moteurs de traction ou l'évolution n'est plus dans le principe, encore qu'il faille beaucoup attendre pour l'avenir des moteurs asynchrones alimentés à fréquence variable, mais dans le progrès des matières et surtout des isolants, on peut dire que même pour ces derniers, l'évolution est maintenant, surtout concrétisée par les éléments mécaniques : ainsi un moteur bien suspendu, que ce soit au bogie ou à la caisse du véhicule, avec une transmission moderne, est bien protégé et peut avoir une carcasse réalisée en tôles laminées, ce qui lui est très favorable au point de vue électrique lors des régimes transitoires. La suspension complète, pour sa part, protège des vibrations mécaniques défavorables à la commutation électrique.

Cette imbrication nous amène ainsi au progrès évolutif des *parties mécaniques* : on peut dire qu'en France, toute l'évolution récente en traction électrique s'est située sous le double aspect d'une réduction des usures et de la préservation de la qualité de tenue en ligne de la voie.

Évolution des bogies

Bogies à faible vitesse relative, avec boîtes d'essieux maintenus par silentblocs et moteurs suspendus par le nez : Depuis 1945, l'expérience des boîtes d'essieux avec bielles à silentblocs est excellente. L'usure de ce type de liaison est pratiquement nulle : il n'y a pas d'entretien. Ces bielles permettent une liberté verticale à la boîte d'essieux ; transversalement, elles introduisent une rigidité contrôlable, indis-

pensable pour la tenue sur voie. Ce sont surtout les charges verticales, statiques et dynamiques, qui fatiguent la voie, et obligent à la niveler ; les surcharges dynamiques dues aux masses non suspendues sont prépondérantes sur ce point. Un autre facteur important est la valeur du diamètre de roue. La fatigue des roues et du rail en déformation élastique est représentée par le rapport entre la charge sur roue et la racine carrée du diamètre de la roue multipliée par 2. Pour des vitesses inférieures à 120 km/h, on adopte 10,5 comme maximum pour 20 t par essieu. L'expérience a montré combien il était mauvais pour la voie, pour les coussinets de suspension et les collecteurs de moteurs de traction, de laisser un moteur libre transversalement. C'est pourquoi lui aussi est maintenu par bielle à silentbloc.

Bogies avec moteurs et engrenages entièrement suspendus — moteurs situés près des essieux : Depuis longtemps en France, le moteur suspendu par le nez a été abandonné car nos locomotives roulent au moins à 140 km/h. Tous les derniers engins de traction disposent de transmissions à cardans. Pour une locomotive chargée à 21 t par essieu, et à 160 km/h, s'exerce un effort vertical dynamique du même ordre de grandeur qu'un wagon de marchandises. L'étude des masses suspendues montre que les accélérations verticales qu'elles provoquent augmentent moins vite que la vitesse, et qu'une réduction relativement faible de la fréquence propre de la caisse peut annuler l'effet de l'augmentation de vitesse. De plus, avec des barres de traction basse, le déchargement dynamique des essieux est de l'ordre de 8 %, alors qu'il donne 20 à 25 % en défaveur du bogie classique, ainsi plus susceptible aux patinages.

Bogies avec moteurs entièrement suspendus concentrés au milieu du bogie : Pour des vitesses élevées, il est important de concentrer les masses vers le centre du bogie et d'alléger tous les organes situés près des extrémités du bogie. Le mieux est de placer les moteurs l'un contre l'autre, au centre, comme cela existe depuis 1953 sur de nombreux bogies de la SNCF. C'est ce qui a été reconduit pour le bogie nouveau à très grande vitesse, du type Y 225 par exemple. On peut aller encore plus loin en disposant un seul moteur au centre même du bogie, mais l'emplacement des essieux, devant être le plus grand possible, nécessite alors un train d'engrenages im-

portant. C'est le cas de la plupart des locomotives cependant, où l'on peut utiliser des bogies où l'on remplace 2 moteurs par un seul.

Développement récent des parties mécaniques pour des vitesses très élevées en service : 250-300 km/h : La vitesse que peut atteindre un véhicule ferroviaire est limitée par l'apparition d'une vitesse critique des essieux ou des bogies. Un mouvement de lacet parfois « violent » et entretenu, dont les amplitudes croissantes engendrent des efforts importants sur la voie, apparaît et caractérise cette vitesse. Dès l'apparition du régime critique, les accélérations transversales du bogie passent très rapidement de $\pm 0,2$ g à $\pm 1,5$ g., à la fréquence de 5,2 Hz. Les facteurs stabilisants sont : un grand empattement ; une faible masse des bogies ; une faible masse non suspendue ; un rayon de giration faible ; une valeur judicieuse des rigidités des liaisons boîtes d'essieux-châssis de bogie ; une bonne quadrangulation des boîtes ; un couple antilacet entre caisse et bogie ; une faible conicité du profil des tables de roulement.

Par contre, les facteurs suivants diminuent la valeur de la vitesse critique : la modification de la conicité des tables de roulement résultant de leur usure ; le poids du bogie et des moteurs trop important vis-à-vis de la caisse (de ce point de vue où le rapport optimal serait de 3, le bogie d'automotrice plus léger que le bogie de la locomotive est le plus favorable pour les grandes vitesses). L'empattement, la nécessité d'une puissance élevée pour rouler à grande vitesse et de réservrer une circulation commode au-dessus des bogies interdisent la formule du bogie monomoteur, mais cependant on peut rapprocher le plus possible les moteurs du centre de rotation.

Citons deux réalisations très récentes. La première, dite bogie Y 225, est en fait la reproduction, à échelle plus réduite, des bogies des locomotives BB 9200, la suspension secondaire étant assurée ici par des coussins pneumatiques. Elle s'est avérée être un succès complet. On dépasse 300 km/h à volonté, comme le prouvent 3 années d'expérimentation sur la rame TGV 001. La seconde, dite bogie Y 226, est en cours d'expérimentation depuis mai 1974. La grande innovation réside dans le fait que les moteurs sont suspendus, non plus sur le bogie, mais à la caisse.

Les liaisons boîtes d'essieux-châssis de

bogie ont été spécialement agencées pour une recherche expérimentale systématique des valeurs optimales des élasticités.

Pour assurer un freinage efficace à grande vitesse, des freins linéaires à courant de Foucauld ont été montés : avec un entrefer de 10 mm, verticalement, sur le plan de roulement, assuré par guidage sous les boîtes d'essieux, ces freins sans contact ni usure sont relevés contre le châssis du bogie pour ne pas majorer en permanence les masses non suspendues de 30 %, en dehors des courtes périodes de freinage. L'expérimentation sous l'automotrice expérimentale Z 7001, du point de vue dynamique et freinage, est un succès complet jusqu'à ce jour.

Un cas particulier de traction électrique : la banlieue

Les impératifs de service public, à réaliser aux moindres frais pour la collectivité, des performances honorables, aux prix d'une forte dépense d'énergie, et surtout l'augmentation toujours nécessaire des capacités de transport des trains, comme celle des gares terminales, montrent la primauté des infrastructures. La capacité s'exprime par le nombre de voyageurs qu'on peut enlever par mètre de quai, ou si l'on veut par mètre de voiture, attelage compris.

Ainsi l'élément essentiel, vu du public, des automotrices ou rames de banlieue, est la conception des caisses et des accès : on arrive aujourd'hui à la notion de 3 à 4 portes de 1,8 m par côté. Il y a rapprochement avec la desserte de type métropolitain : on arrive ainsi, par porte avec quai haut, à évacuer exactement 1,77 voyageurs par seconde ! ...

L'habitabilité aussi a fait de grands progrès : « pas » de type RER entre sièges, soit 1,54 m, avec 5 personnes par travée au lieu de 4. On trouve alors 0,41 m² par voyageur assis en première classe et 0,36 m² en seconde.

En ce qui concerne les performances, en dehors de l'habitabilité exprimée en places assises, soit au mètre de longueur (on admet 5 places/m) ou au mètre carré, on peut retenir un critère de puissance par masse, soit en kW par tonne de poids total. Il a été acquis récemment par la SNCF que des valeurs de 5 à 10 kW/t pour la traction étaient admissibles. En effet, le matériel de banlieue n'a pas besoin de revendiquer de trop hautes performances, par exemple

l'adhérence totale, et doit surtout être pratique et confortable, ce qui suppose une architecture soigneusement étudiée dans ses détails. Sous l'aspect strict de l'énergie électrique, retenons deux aspects, la traction, ou l'alimentation en énergie, et le freinage.

Nous avons déjà dit que les puissances installées, au kilomètre de ligne, avaient fortement tendance à croître. Ceci amène à constater qu'aujourd'hui, si chacun des 650 000 usagers quotidiens de la banlieue parisienne recourait au transport individuel, cela entraînerait la consommation de 5 millions de litres d'essence par jour, diminuant d'autant la ration d'air pur de non moins de 3 millions de personnes, et dans l'hypothèse la plus optimiste, dissiperait 1,5 million de mètres cubes d'oxyde de carbone et divers autres toxiques, dont plus d'une tonne de plomb. Cette constatation suffit à renforcer le bilan économique de cette dissuasion qui, par ailleurs, permet l'économie de près de 9 millions de F d'essence (taxes comprises il est vrai...), remplacées par 1,5 million de kWh, soit moins de 200 000 F d'électricité...

Dernier aspect, celui du freinage: la puissance installée en matériel banlieue, même modeste, permet de bonnes accélérations, soit 0,9 à 1 m/s.² Il serait logique que le freinage dispose de valeurs au moins comparables et si possible meilleures. Or, le frein mécanique à frottement ne permet pas de compter sur plus de 0,6 m/s², si l'on veut éliminer quasi totalement les risques d'enrayage. Pour aller au-delà, et aussi pour ménager l'usure et la contrainte thermique des roues, ainsi que l'usure et le remplacement onéreux des semelles de frein, il est indiqué de recourir au freinage électrique ; pour que celui-ci soit efficace et soulage substantiellement les roues, il faut que les essieux moteurs soient en proportion suffisante : 1 sur 2 paraît un minimum. On retrouve ici les mêmes éléments que ceux signalés à propos de la grande vitesse.

Quel frein électrique choisir ? Les équipements à courant continu à rhéostat de démarrage se prêtent bien au freinage électrique rhéostatique, et cette formule est utilisée, par exemple, sur le matériel RER, où la proportion des essieux moteurs est de 2/3.

Les équipements à courant alternatif, alimentés par graduateurs et diodes, se prêtent aussi au freinage par résistance, mais

à condition d'établir un rhéostat à cet effet, lequel peut d'ailleurs être utilisé comme résistance de climatisation en hiver.

Les équipements à courant alternatif, alimentés sans graduateurs par ponts de thyristors complets, permettent le freinage par récupération, particulièrement intéressant parce qu'il permet des économies d'énergie non négligeables, parce qu'il n'utilise pas de rhéostat important et n'entraîne pas de servitudes de dissipation de chaleur et enfin parce que l'effort retardateur peut être maintenu à un niveau élevé jusqu'à l'arrêt complet, contrairement au freinage rhéostatique dont l'efficacité décroît avec la vitesse. C'est ce type de freinage qui a été retenu pour le futur matériel de Saint-Lazare (automotrices Z 6400) et qui équipe aussi certaines rames de la RATP.

Enfin, les équipements à courant continu, dans lesquels la tension aux bornes des moteurs est réglée par hacheur, peuvent également comporter soit le freinage rhéostatique (à condition de prévoir un rhéostat), soit le freinage par récupération. Ce dernier mode de freinage sera adopté par les futures rames bicourant d'interconnexion, où il est préférable, dans les longs tunnels, de ne pas dissiper d'énergie calorifique, mais de renvoyer l'énergie de freinage en ligne. (Matériel à 9,2 kW/t en charge avec vitesse maximale 140 km/h.)

Conclusions

Vues les considérations précédentes, on pourrait penser qu'en fait la modernisation de la traction, et spécialement le développement de l'électrique pure, s'est échelonnée sur une longue période. C'est exact, mais il est aussi intéressant de constater que les progrès majeurs, pour leur part, ont permis d'arriver à maturité, pour les nouvelles techniques, en un peu plus de deux décennies seulement : citons le développement de l'alternatif à fréquence industrielle et celui des redresseurs pour rappeler combien l'évolution s'est accélérée. Mais le fait le plus important qui demeure en faveur de l'électricité, en plus de ses capacités techniques et économiques, aptitudes aux forts trafics et aux plus grandes vitesses, c'est la nature même, irremplaçable, diversifiable et multipliable de cette forme d'énergie, la plus « multiforme » des sources naturelles, et la plus convenable, de ce fait, aux transports des hommes et des choses, et à tout ce qui les entoure...

Yves Machefert-Tassin

BON DE COMMANDE

SCIENCE & VIE par les timbres

12

LE CHEMIN DE FER

Partout présent à l'arrière-plan de la civilisation industrielle, le rail est aussi un des thèmes les plus fréquents du timbre-poste. L'extrême richesse du sujet s'y prête. C'est en fait à une connaissance en profondeur de l'univers des chemins de fer que nous conduit la philatélie : l'histoire des chemins de fer, évolution technique, records mondiaux, transports exceptionnels, métiers du rail...

**6 TIMBRES PARMI
LES 50 COMPOSANT LA COLLECTION**

A découper ou recopier, et à adresser accompagné de son règlement à Science et Vie, 5, rue de la Baume 75008 Paris
Veuillez m'adresser votre collection de 50 timbres :

- N° 1 Les Moyens de Transport
- N° 2 Les Grandes Energies
- N° 3 On a marché sur la lune
- N° 4 Télécommunications
- N° 5 L'épopée de l'aviation
- N° 6 L'aviation moderne
- N° 7 La Médecine
- N° 8 Espace : Les Cosmonautes
- N° 9 La marine d'autrefois
- N° 10 La marine moderne
- N° 11
- N° 12 Le chemin de fer

Je vous règle la somme de 10 F. par collection (étranger 12 F.)

CCP 3 Volets Chèque Bancaire Mandat Poste. A l'ordre de Science et Vie

NOM _____

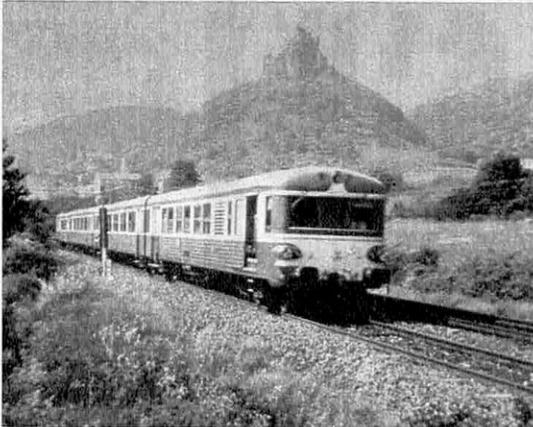
PRENOM _____

ADRESSE _____

CODE _____ VILLE _____

**50 TIMBRES
DE COLLECTION
POUR
10 F SEULEMENT**

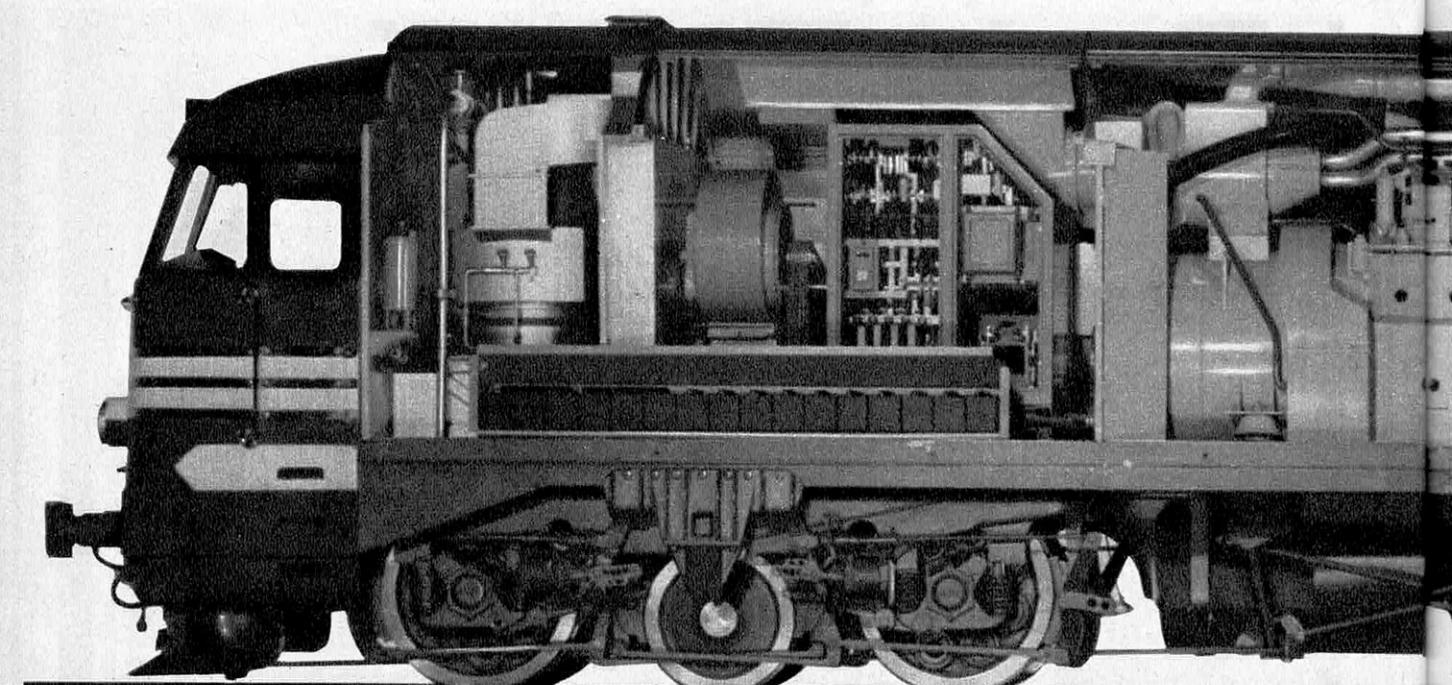




TRACTION DIESEL

Si l'on considère le trafic en tonnes-kilomètres qu'elle assure par rapport à la traction électrique, la traction diesel n'occupe encore en France qu'une place assez modeste.

C'est un problème de calcul économique. Mais les termes de ce calcul pourraient être remis en question, au fil des progrès qu'on est en droit d'attendre de la technologie diesel.



A1A A1A 68 000 ; au centre, le moteur Sulzer 2 700 ch.

Si l'on fait abstraction de la turbine à gaz, on peut dire, sans que la simplification soit excessive, que le développement de la traction diesel en Europe est étroitement dépendant de son aptitude à concurrencer la traction électrique. C'est dire que la frontière séparant les deux domaines d'application est difficile à définir de façon précise.

En effet, cette frontière peut facilement se déplacer en fonction de nombreux facteurs :

● *Le coût de l'énergie.* Il apparaît généralement, quand on établit un bilan économique pour décider du choix entre l'électrification et le maintien de la traction diesel sur une relation déterminée, que la balance penche en faveur de l'électrification dès que la quantité d'énergie dépensée dépasse un certain seuil.

Ce seuil est évidemment propre à la relation qui fait l'objet de l'étude. Il est fonction en particulier du coût des investissements et, pour le niveau technique pris en considération au moment de l'étude, des coûts respectifs d'exploitation et d'entretien.

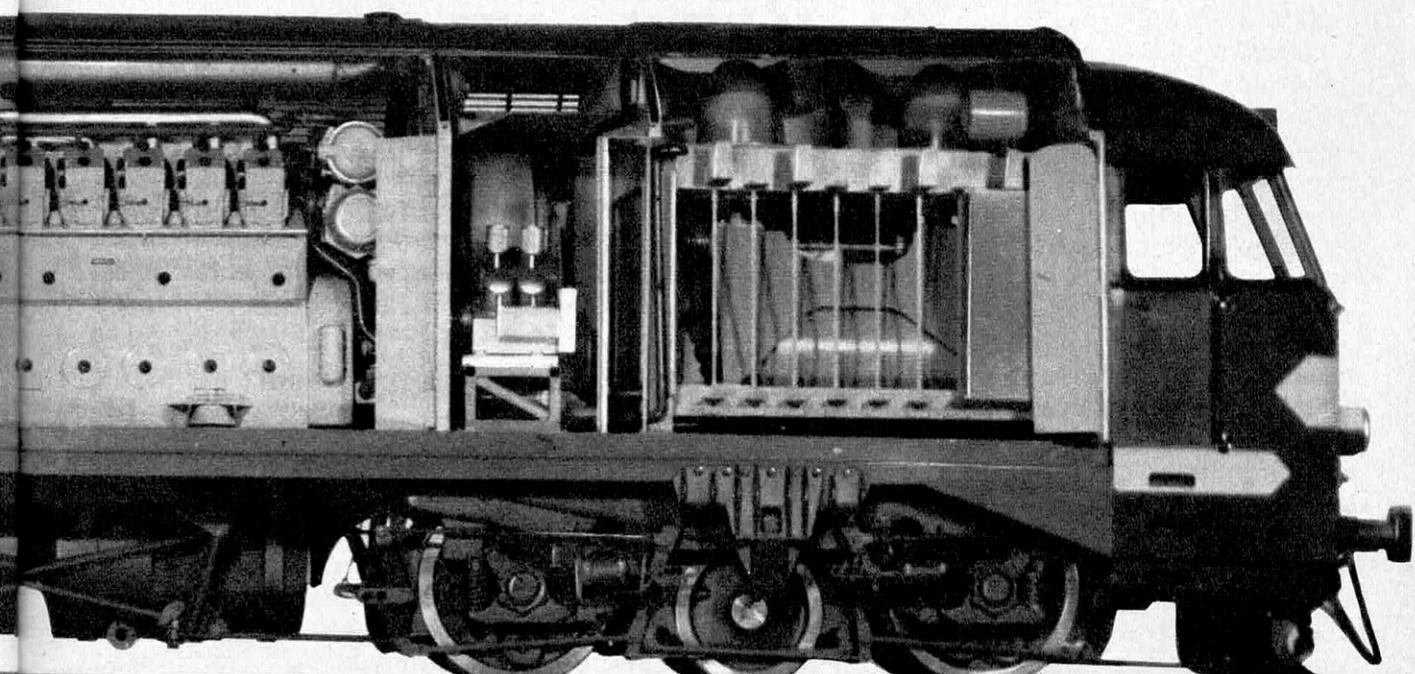
Il apparaît alors que, bien que l'on puisse affirmer que l'énergie primaire est utilisée pratiquement avec le même rendement global dans un mode de traction et dans l'autre, que le *prix payé pour son utilisation* constitue un facteur essentiel dans le bilan. Le prix mentionné est bien entendu celui

que paie l'entreprise de transport ferroviaire. Or, chacun le sait, les prix d'achat du kWh sous forme de combustible diesel et d'électricité sont loin d'évoluer parallèlement.

● *Le niveau technique.* Les degrés relatifs de performance et de qualité de service jouent un grand rôle dans les postes du bilan :

— dans les coûts d'exploitation et d'investissements : si, pour prendre des exemples extrêmes, la traction diesel n'est capable, sur la relation étudiée, que d'assurer la traction de trains de marchandises de 1 000 tonnes, alors que la traction électrique permet celle de trains de 2 000 tonnes, il faudra mettre en ligne beaucoup plus de locomotives diesel que d'électriques, et vraisemblablement utiliser un plus grand nombre de circulations pour acheminer un trafic déterminé. Ces deux aspects se répercutent rapidement sur les coûts d'exploitation, et bien sûr d'investissement (parc de locomotives, signalisation, nombre de garages nécessaires, frais de personnel de conduite, etc.) ;

— dans le coût d'entretien : une des façons les plus valables d'apprécier la qualité du niveau technique d'un matériel est de mesurer son coût d'entretien. Les possibilités de développement de la traction diesel sont donc très dépendantes de ce que le progrès technique réalisé permet de gagner, non seulement sur les performan-



ces, mais aussi sur le coût et l'entretien et, bien sûr, les deux aspects étant généralement très liés, sur la fiabilité du service.

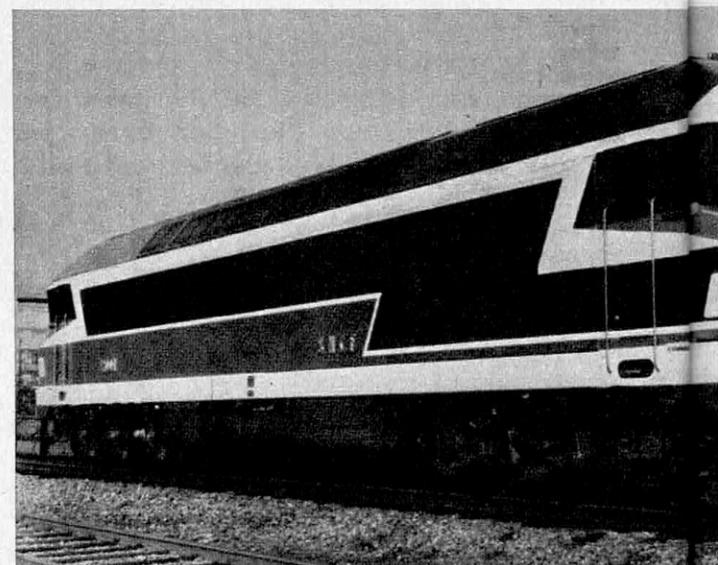
On peut en résumé dire que le « créneau » qui sera imparié à la traction diesel sera d'autant plus important, et d'autant plus indépendant de la différence de prix d'achat entre les deux formes d'énergie, que la qualité, à tous points de vue, du niveau technique de ces engins sera plus grande.

Les trains automoteurs de voyageurs (autorails) représentent un cas particulier du domaine d'application du moteur diesel à la traction ferroviaire.

En effet, tant que circuleront sur des lignes, qui seront toujours secondaires, donc jamais électrifiées, des circulations locales destinées au transport des voyageurs, les autorails seront nécessaires. Dans ce cas la qualité « économique » de ce matériel est très importante. Les décisions de maintien d'un service ferroviaire sur une relation donnée seront liées, d'une part, aux qualités économiques du matériel, d'autre part, dans une mesure plus ou moins grande, aux qualités de performance et de confort, du fait de leur influence sur le niveau de trafic observé. Ce dernier aspect est particulièrement illustré par ce qu'a apporté, pour des relations à moyenne et grande distance, l'introduction des rames à grand parcours (RGP), et beaucoup plus récemment celle des engins à turbine à gaz (ETG-RTG).

La recherche d'une évolution favorable de ce type de matériel (automoteurs à moteur diesel) est donc à poursuivre activement. Le créneau de son utilisation sera d'autant plus large, et sa compétition avec celui de la turbine à gaz plus ouverte, que les progrès techniques le concernant seront meilleurs.

On peut affirmer, en résumé, que la traction diesel sera toujours nécessaire à un réseau tel que celui de la S.N.C.F., et que le matériel qu'elle utilise doit pouvoir s'améliorer constamment. Sur le plan économique, le poids de cette évolution est d'autant plus grand que le trafic à assurer représentera toujours, on peut presque dire par principe, la part du trafic total dont l'équilibre économique est de très loin la plus difficile à obtenir. La traction électrique a en effet, et c'est normal, « écrémé » l'essentiel des trafics rentables sur les grandes artères. Il suffit pour illustrer ce handicap de rappeler que les deux parcs,



1



2

sensiblement équivalents en nombre (2 200 locomotives électriques, 2 150 locomotives diesel, dont un certain nombre assure cependant des prestations directes au « trafic électrifié » : triages, manœuvres) assurent respectivement environ 80 et 20 % du trafic en tonnes-kilomètres brutes remorquées de la S.N.C.F.

Le moteur diesel

L'organe qui vient à l'esprit pour caractériser un engin de traction autonome est le moteur diesel. L'évolution du moteur diesel domine donc largement celle de la locomotive, mais il serait vain de penser qu'elle en est entièrement représentative. Tous les autres éléments : transmissions, bogies, caisse, y concourent de façon déterminante.

Pour l'essentiel, l'évolution de la locomotive, mis à part le moteur diesel, a été

3
4

Quelques machines diesel : 1-CC 72000, moteur 3 600 ch et transmission électrique triphasé-continu ; 2-BB 67 400, moteur SEMT 2 400 ch et transmission électrique triphasé-continu ; 3-BB 67 000, même moteur avec génératrice à courant continu ; 4-A1A A1A 68 000, moteur 2 700 ch et génératrice à courant continu.

parallèle à celle de la locomotive électrique, pour les mêmes raisons et souvent même, nous le verrons, avec un caractère encore plus impérieux.

Si nous excluons pour le moment le cas des engins de manœuvre pour nous consacrer à la locomotive de ligne, les paramètres essentiels du moteur diesel à prendre en considération sont la puissance unitaire et la puissance massique. L'encombrement est bien sûr un élément d'importance, mais on peut le lier à la masse, donc à la puissance massique. Le choix de l'architecture du moteur exerce cependant une grande influence sur ses dimensions.

Finalement, les deux grands facteurs agissant sur la puissance unitaire et sur la puissance massique du moteur sont l'architecture générale et la puissance fournie par litre de cylindrée. Il n'est pas étonnant de retrouver ici les deux facteurs principaux qui caractérisent l'automobile. Mais

dans le cas de la locomotive, la contrainte globale constituée par la masse totale et le volume de l'engin est beaucoup plus grande.

La liberté dans le choix de l'architecture du moteur est tout d'abord restreinte aux strictes exigences du gabarit, en largeur et en hauteur. A l'intérieur même de cette limite, la place doit être réservée pour permettre une bonne accessibilité, soit à l'intérieur d'une caisse, soit depuis un plateforme latéral. Le maître-couple de l'espace disponible restant est donc strictement limité et il faut le remplir au mieux.

• *Le moteur à cylindres en ligne.* Il n'est pas nécessaire de démontrer que cette formule remplit très mal l'espace disponible. Elle a donc été abandonnée par tous les engins de performances élevées. Nous verrons cependant qu'elle peut retrouver tout son intérêt en permettant de placer un mo-

**ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE PAR CYLINDRE D'UN MOTEUR MGO,
DE 175 MM D'ALÉSAGE, A 1500 TR/MN, EN FONCTION DE
LA SURALIMENTATION, DU REFROIDISSEMENT DE L'AIR,
DE CELUI DES PISTONS**

	<i>Non suralimenté (1950)</i>	<i>Suralimentation à basse pression (1952)</i>	<i>Suralimentation à haute pression</i>	<i>Suralimentation à haute pression air refroidi</i>	<i>Suralimentation haute pression air refroidi (pistons refroidis)</i>	
Taux de suralimentation	1	1,5	1,7	1,7	1,9	2
Pression moyenne effective	6,5	8,2	9	10,1	11,4	13,1
Puissance par cylindre en kW en chevaux	36,7 50	46 62,5	50,6 68,7	56,7 77	64,4 87,5	73,6 100

teur à plat sous une caisse contenant des voyageurs (autorails).

Une variante intéressante a cependant été largement utilisée par les moteurs Sulzer du type LDA 28. Elle consiste à disposer côté à côté deux files de cylindres verticaux, soit pour ainsi dire deux moteurs en ligne réunis en un bâti en U. Les deux vilebrequins sont attelés par des engrenages qui forment un réducteur commun. La génératrice n'est pas, dans ce cas, directement associée au bâti du moteur et la longueur du groupe électrogène s'en trouve augmentée.

- *Le moteur en V.* Cette disposition présente l'avantage évident de pouvoir placer de front deux cylindres dont la hauteur totale, du fait de leur position oblique, peut être encore plus grande que pour une disposition en ligne. Les espaces disponibles dans l'angle du V et sous les ailes permettant de disposer astucieusement pompes d'injection, turbosoufflantes, collecteurs d'admission et d'échappement, filtres, échangeurs, etc., indispensables au fon-

ctionnement du moteur. Cette architecture permet, tout en maintenant un bon degré d'accessibilité, de remplir au maximum l'espace disponible dont la section est sensiblement rectangulaire.

Un certain degré de liberté est possible dans le choix de l'angle du V. Ce choix est cependant limité par les problèmes d'équilibrage et de vibrations et dépend par ailleurs du nombre de cylindres. Cet angle peut ainsi varier entre 90 et 50° suivant les moteurs.

Un artifice, assez largement utilisé, permet de gagner légèrement sur sa longueur du moteur : celui qui consiste à placer les bielles, non pas côté à côté sur un même maneton, mais à lier les bielles d'une file (dites bielles) aux bielles de l'autre, celles-ci étant seules liées au maneton du vilebrequin.

- *Les autres dispositions possibles.* Des tentatives plus ou moins fructueuses ont été faites pour mieux remplir l'espace, la principale est celle utilisée dans le moteur britannique Napier Deltic qui utilise, par

CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX MOTEURS DE LOCOMOTIVES DE LA S.N.C.F.

Application	Nombre et disp. des cyl.	Type injection	Alésage (mm)	Course (mm)	Cylindrée totale (l)	Vite. nomi-nale (tr/mn)	Puissance				Poids spé-cifique (kg/ch)
							Nomi-nale (ch)	Massi-que (ch/kg)	Volu-mique (ch/l)	Unitaire (ch/cyl.)	
BB 63500	12 en V à 60°	directe	175	180/192*	54	1 500	825	0,19	15,3	68,7	5,2
BB 66000	16 en V à 60°	directe	175	180/192*	72	1 500	1 400	0,23	19,4	87,5	4,3
BB 67000 BB 67400	16 en V à 90°	pré-chambre	185	210	90,4	1 500	2 400	0,33	26,5	150	3
A1A-A1A	12 en V à 50°	directe	240	280	151,9	1 050	2 700	0,19	17,8	225	5,3
CC 72000	16 en V à 50°	directe	240	220/232*	163,5	1 350	3 600	0,20	22	225	5
prototype CC 72075	12 en V à 60°	directe	280	290	214	1 050	4 200	0,23	19,6	350	4,4

* Course côté biellette.

ailleurs, un cycle à deux temps. Cette technique, malgré son intérêt, n'a guère de développements. Elle se heurte en particulier à de grandes difficultés d'ordre mécanique et thermique.

● *La longueur du moteur.* Il n'est pas question d'allonger le plus possible le moteur pour obtenir la plus grande puissance totale. La limite ne dépend plus du seul moteur, mais de toute l'architecture de la locomotive. Nous reviendrons plus loin sur ce point essentiel. Pour le moteur lui-même, l'obstacle principal est constitué par l'arbre-manivelle, dont l'extrémité doit transmettre la totalité du couple, et par la rigidité en torsion et même en flexion du bâti du moteur. Pour ces raisons, il n'est généralement pas utilisé plus de 16 cylindres en V. Certains moteurs, tout en remplissant bien l'espace qui leur est dévolu, pourraient cependant utiliser jusqu'à 20 cylindres en V. Nous verrons par contre, plus loin, l'intérêt de choisir le moteur le plus court, pour une cylindrée totale la plus grande possible. On constate en même temps que le meilleur compromis est obtenu avec le nombre de cylindres le plus petit.

La puissance par litre

C'est bien entendu ce facteur qui caractérise, de la façon la plus explicite et la plus spectaculaire, l'évolution du moteur diesel.

Le facteur primordial de cette évolution est, nous le verrons, sans conteste la suralimentation, mais il n'est pas inutile d'évoquer les recherches nombreuses qui ont précédé, et qui peuvent toujours contribuer à l'amélioration du moteur tant du point de vue du rendement que de celui des performances.

Nous n'évoquerons pas ici l'aspect rendement mécanique, sur lequel les possibilités d'action sont limitées, mais le rendement thermique. Les principales recherches ont été orientées sur la qualité de la combustion.

L'intérêt en est évident pour le rendement ; il l'est également pour ce qui nous intéresse, dans la mesure où une bonne caractéristique de combustion permet d'injecter plus de combustible, donc de tirer plus d'énergie d'un cycle. Les idées ont foisonné dans ce domaine, pour laisser finalement la place à deux dispositions : le moteur à préchambre de combustion (injection indirecte) d'une part, le moteur

à injection directe où le piston comporte la chambre de combustion, d'autre part.

Les améliorations successives apportées à la combustion, associées à toutes celles concernant l'aérodynamique de l'admission et de l'échappement, le choix précis des origines et des durées des diverses phases du cycle, etc. ont permis, les progrès mécaniques aidant, d'augmenter progressivement la pression moyenne effective du cycle, le rendement, et bien sûr la quantité de travail par cycle, tout en augmentant le moins possible la pression maximale atteinte au cours du cycle. Cette pression, exercée pendant une très faible partie de la durée du cycle, conditionne le dimensionnement mécanique des organes en mouvement : piston, bielle, vilebrequin et culasse.

De même que la vitesse linéaire du piston, la pression maximale de combustion ne peut plus guère augmenter, aucun progrès mécanique n'étant semble-t-il, du moins économiquement, susceptible de se produire.

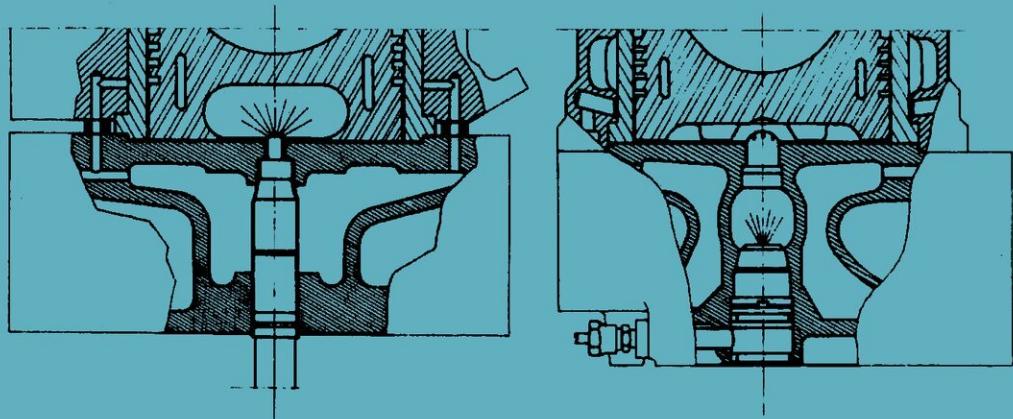
Une fois tous ces progrès accomplis, il est une barrière que l'on ne peut franchir pour augmenter la puissance du cycle, c'est la quantité maximale de combustible (donc d'énergie) que l'oxygène de l'air contenu dans le cylindre peut faire brûler. Au mieux, cette quantité d'air est celle que contient le cylindre au point mort bas, à la pression atmosphérique ambiante.

Le seul moyen d'augmenter cette quantité d'air est de l'introduire dans le cylindre, non pas à la pression atmosphérique, mais à l'état comprimé : c'est ce que permet la suralimentation.

Il n'est pas exagéré de dire que l'introduction de cette technique a permis de franchir un pas tel que la puissance par litre de cylindrée a au moins doublé, en faisant passer la pression moyenne effective de 6 à 8 bar à 16 bar environ.

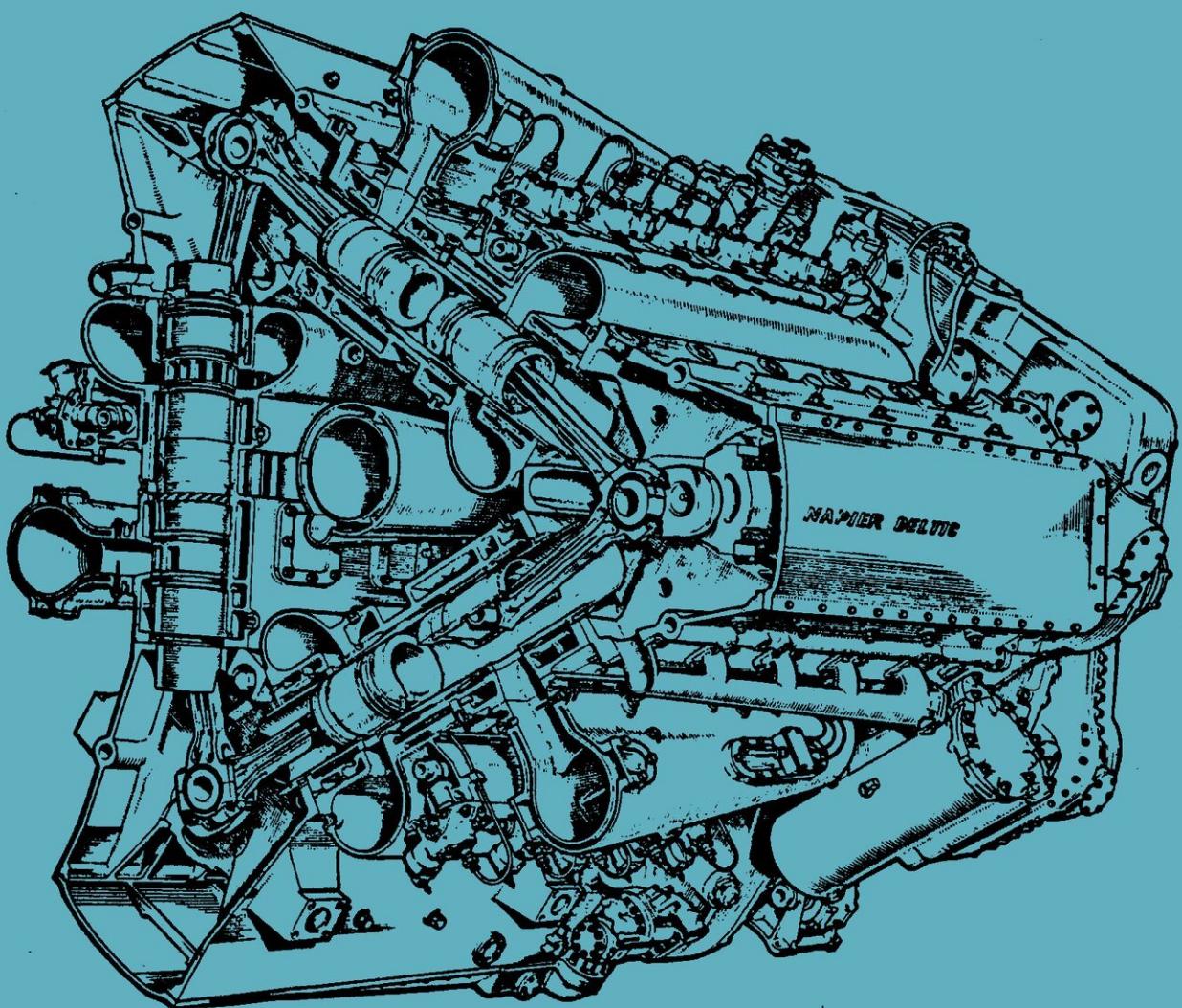
Le problème à résoudre est d'introduire dans le cylindre de l'air d'autant plus comprimé que la puissance demandée est plus grande. On pourrait penser réaliser cette compression par l'utilisation d'un compresseur attelé au moteur. Cette solution a le mérite de bien adapter le débit et la pression de l'air au régime, mais ne répond pas à la nécessité de les faire varier à vitesse constante et à charge variable. De plus la puissance nécessaire à l'entraînement du compresseur serait fournie intégralement par le moteur.

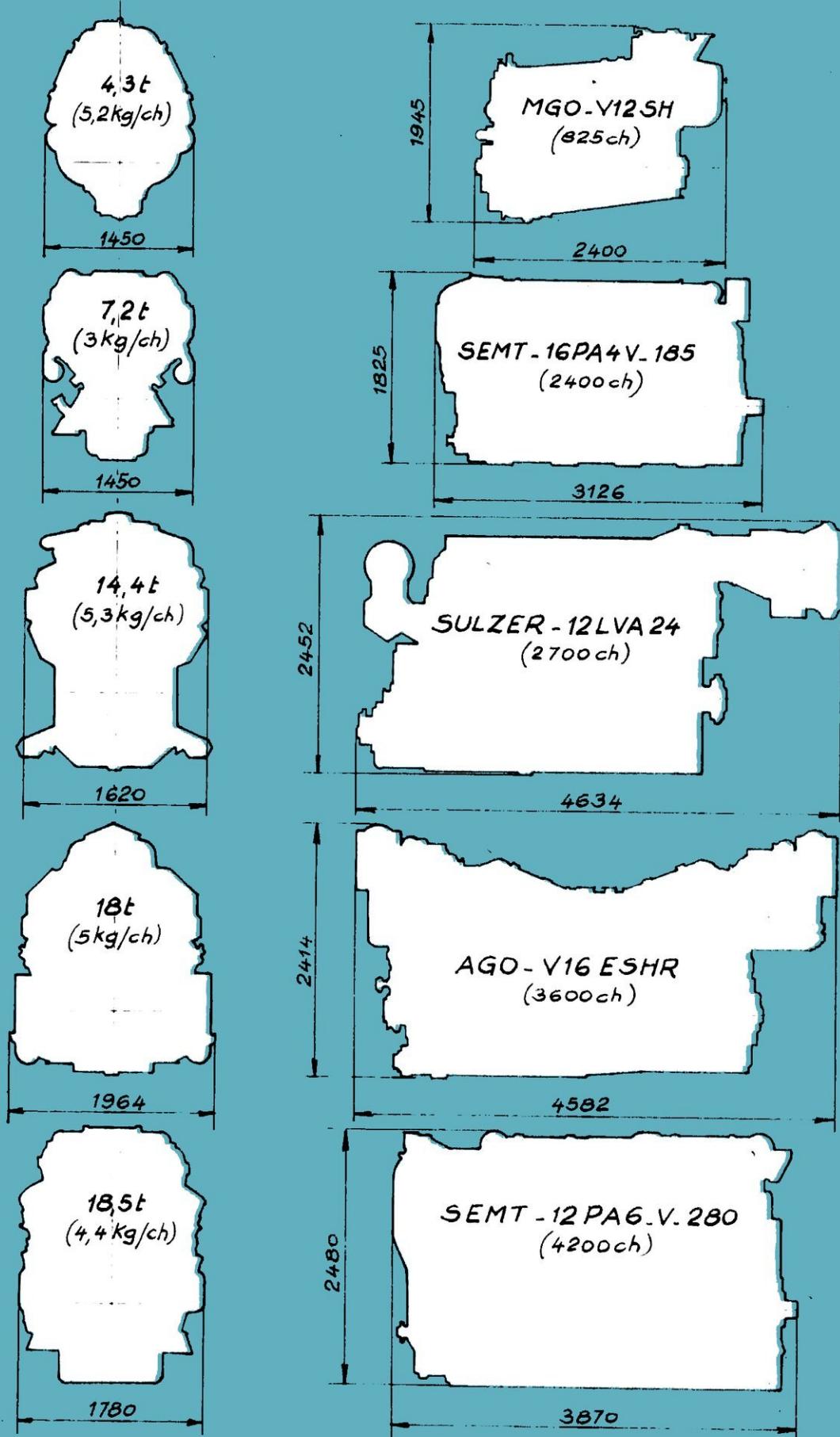
Il est beaucoup plus séduisant d'utiliser



Pour améliorer la combustion et le rendement thermique, deux dispositions ont prévalu : la préchambre de combustion et l'injection directe dans la chambre contenue par le piston.

Le faible espace disponible à bord des locomotives a conduit à la recherche de solutions originales. Le moteur Napier-Deltic, à deux temps, est caractéristique de cette tendance.





Pour augmenter la puissance, on est limité quant à la longueur du moteur.

l'énergie résiduelle des gaz d'échappement en les faisant travailler dans une turbine entraînant le compresseur : c'est la *turbo-soufflante*, ou plus exactement, le *turbo-compresseur*.

Pour un certain nombre de raisons que nous allons évoquer, le taux de compression (taux de suralimentation) ne peut actuellement être supérieur à 3, voire 2,5, après avoir franchi plusieurs obstacles freinant son développement.

L'augmentation des charges thermiques

Il est certain que le fait de brûler plus de combustible oblige à augmenter la quantité de chaleur évacuée dans le circuit de refroidissement du moteur. Les chemises des cylindres et les culasses ne peuvent s'échauffer davantage sans poser de nombreux problèmes. La surface des radiateurs doit être augmentée, la vitesse de circulation de l'eau éventuellement accrue, sans aller jusqu'à la cavitation destructive. Pour limiter la surface des radiateurs, il a été intéressant de mettre le circuit d'eau sous pression. L'eau peut ainsi être portée à plus de 100 °C, ce qui permet de réduire de près de moitié le nombre des radiateurs.

Le piston subit également des charges thermiques accrues : il faut créer ou améliorer son refroidissement. Le premier moyen utilisé est l'huile du moteur ; d'abord par simple projection sur le fond, puis par circulation dans une chambre annulaire ménagée dans la tête.

Cette solution n'est pas sans inconvénient dans le fonctionnement à faible charge ; un refroidissement exagéré risque de provoquer des phénomènes de laitage. Il faut donc la combiner de façon optimale avec le refroidissement procuré par le croisement des soupapes d'admission et d'échappement, en créant un balayage bien adapté qui présente par ailleurs l'avantage d'évacuer directement les calories à l'atmosphère, limitant ainsi l'utilisation du réfrigérant d'huile. De plus, cette solution permet un refroidissement convenable des soupapes et de leurs guides.

Au fur et à mesure que les températures et les contraintes thermiques subies par les pistons augmentent, le choix des matériaux les constituant devient critique. Les alliages légers traditionnellement utilisés doivent être remplacés, totalement ou partiellement, par la fonte (résistance à l'érosion, tenue des gorges de segments) ou par

certains cupro-alliages (chambres de combustion).

Revenons maintenant au phénomène de la suralimentation proprement dit pour situer ses limites. Un obstacle est vite rencontré sur le chemin de l'augmentation du taux de suralimentation. Au fur et à mesure que ce taux augmente, la température de l'air admis dans les cylindres augmente et sa densité diminue (pour une pression donnée). Par suite, la puissance du moteur ne s'accroît pas aussi vite que la pression de l'air. Ce phénomène a limité vers 1,7 le taux de suralimentation utilisable.

Une nouvelle étape a été franchie en *refroidissant l'air de suralimentation* avant de l'admettre dans le cylindre. Ce refroidissement a permis également de limiter la température des gaz d'échappement, donc de ne pas créer de problèmes trop sérieux aux soupapes et à la turbine du turbo-compresseur. Le refroidissement de l'air de suralimentation est généralement assuré par un radiateur à tubes d'eau, dont le circuit doit le plus souvent être distinct de celui du moteur si on veut obtenir une température assez basse. Le refroidissement de l'air de suralimentation a ainsi permis de porter le taux de suralimentation jusqu'à des valeurs comprises entre 2 et 2,5.

Pour terminer sur le moteur diesel, citons un chiffre : celui de la plus grande puissance par cylindre que l'on peut espérer voir développer dans un moteur en V embarquable dans une locomotive : 350 ch. Il y a 30 ans, cette puissance était de l'ordre de 50 ch.

La locomotive diesel

Nous avons vu que la tendance principale de la traction diesel était la recherche de puissances toujours plus grandes, pour que l'écart avec la traction électrique se réduise le plus possible. Les progrès du moteur diesel sont tels que l'on peut envisager d'embarquer un moteur de puissance au moins égale à 4 000 ch.

Encore faut-il savoir construire autour de ce moteur une locomotive capable de transmettre sa puissance ! Le handicap par rapport à la locomotive électrique est considérable. Il faut ici transporter l'équivalent d'une partie de la centrale électrique avec son stock de combustible et de celle des sous-stations d'alimentation des caténaires qui assurent une première conversion de l'énergie électrique.

Il faut noter que la locomotive diesel est encore défavorisée par le fait qu'ayant à circuler, on peut dire par vocation, sur des lignes à trafic moyen ou faible, elle ne peut atteindre les charges par essieu de la locomotive électrique. L'armement des voies est d'autant meilleur que le trafic supporté est important, et quand ce trafic l'est, la ligne est généralement électrifiée ! C'est pourquoi une locomotive électrique peut atteindre de 21 à 23 tonnes par essieu, et qu'une locomotive diesel doit se contenter de 18 à 20 tonnes au maximum.

Il faut reconnaître que, sauf exception, cette contrainte a peu joué tant que la puissance unitaire du moteur diesel n'a pas dépassé 1 500 ch. La seule évolution possible à ce moment concernait le choix de la formule : BB ou CC, cette dernière formule permettant d'embarquer deux moteurs diesel (c'est l'artifice qui permet d'augmenter la longueur du moteur, paramètre dont nous avons parlé plus haut).

Un bon exemple de cette évolution est constitué par les trois locomotives BB 63500, BB 66000, CC 65000 qui utilisent sensiblement le même type de moteur :

- 825 ch, BB 63500, moteur V12 (68,7 ch/cyl) ;
- 1 400 ch, BB 66000, moteur V16 (87 ch/cyl) ;
- 1 850 ch, CC 65000, 2 moteurs V12 (77 ch/cyl).

Les masses de ces locomotives sont respectivement de 68, 70,5, 112 t, et les charges par essieu de 17, 17,6, 18,7 t.

On peut dire que jusque vers 1960, le plafond de puissance de la locomotive se situait en dessous de 2 000 ch à condition de les placer dans 2 moteurs et sur une CC. Puis, une nouvelle génération de moteurs est apparue dont la puissance par cylindre pouvait atteindre 150, puis 220, 225 et maintenant 350 ch.

Ces moteurs ont permis de construire des locomotives : BB (67000-67400) jusqu'à 2 400 ch ; A1A-A1A (68000-68500) de 2 650 ch ; CC (72000) de 3 600 à 4 000 ch.

On voit déjà, avec les moteurs modernes, la possibilité si le besoin s'en présente de construire des locomotives⁽¹⁾ CC de puissance avoisinant 5 000 ch, avec un seul moteur diesel.

Nous allons voir maintenant comment

la locomotive a « encaissé » ces nouveaux moteurs, avec l'évolution des deux paramètres principaux que sont d'une part la transmission, d'autre part la caisse et les bogies.

L'évolution des transmissions

Le moteur diesel ne fournit, contrairement au moteur électrique, son couple utilisable que dans une gamme étroite de vitesse, de la vitesse nominale aux 3/4 environ de celle-ci. Il faut donc disposer d'une démultiplication à très grande variation de rapport pour transmettre l'effort aux essieux. Cet effort doit même avoir son maximum à vitesse nulle, au démarrage.

Les trois types de transmission possibles sont :

- la transmission mécanique (boîte de vitesse) ;
- la transmission hydraulique ;
- la transmission électrique.

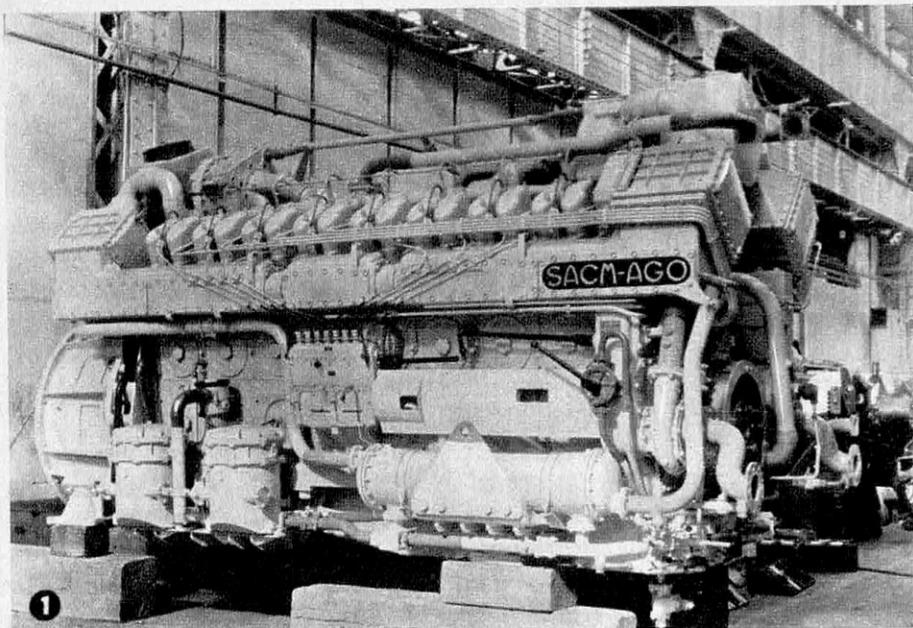
La première doit comporter des boîtes complexes, à 8 vitesses au minimum. Sa complexité, associée au terrible problème de l'embrayage, limite son application à quelques centaines de chevaux. Elle ne peut plus s'appliquer aux locomotives de forte puissance.

Les transmissions hydraulique et électrique entrent largement en compétition pour les puissances de 1 000 à 2 000 ch environ. On peut dire que l'une et l'autre constituent deux « écoles », mais que la transmission électrique, seule utilisée en France, est la plus largement répandue.

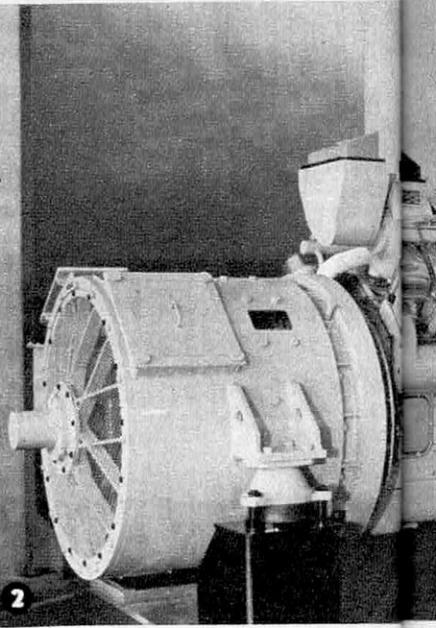
Sans entrer dans un débat entre les deux écoles, sur le rendement en particulier, nous pouvons dire que la transmission hydraulique se heurte à deux difficultés : le refroidissement de l'huile ; la transmission finale de l'effort moteur aux essieux qui doit faire appel à de nombreux arbres à cardans, et à des ponts moteurs délicats à renvoi d'angle portés par les essieux. L'inversion du sens de marche doit par ailleurs être purement mécanique. Son utilisation est cependant très intéressante pour des locomotives puissantes utilisant deux moteurs diesel.

Revenons maintenant à la transmission électrique. Nous savons que le moteur électrique de traction typique est un moteur à courant continu du genre série. Le problème est donc de lui fournir du courant continu, à tension et intensité variables. La solution qui vient de suite à l'esprit est de faire entraîner une génératrice à courant continu par le moteur diesel. Initialement

(1) Des prototypes : BB 69000 et CC 70000 avaient permis d'atteindre une puissance voisine, mais moyennant des dispositions telles qu'une généralisation ne pouvait être envisagée.



1



2

cette machine était d'une construction classique, un arbre la reliant au moteur diesel. Un gain de poids et d'encombrement a été vite franchi en « flasquant » la génératrice au moteur diesel, le palier arrière du moteur servant de palier à l'induit.

La génératrice à courant continu s'est cependant heurtée à une difficulté majeure, qui ne lui a pas permis de suivre l'évolution du moteur diesel. Il s'agit de son collecteur. C'est pourquoi, comme pour la production d'électricité industrielle, l'*alternateur* a remplacé la génératrice.

L'adoption d'un alternateur triphasé, de technologie bien plus simple que la génératrice (pas de collecteur, enroulements de puissance statiques) et de puissance massique nettement plus favorable, n'a été rendue possible que grâce aux progrès énormes que les redresseurs ont accomplis. La traction diesel a alors pu franchir non seulement le grand pas technologique de la traction électrique monophasée, mais un grand pas de capacité : seule l'existence des diodes au silicium de grande puissance a permis, en adoptant l'alternateur pour transformer l'énergie mécanique en énergie électrique, de ne plus rencontrer de frontière technique d'ordre électrique sur le chemin de l'accroissement de la puissance transmise.

Nous n'entrerons pas dans le détail de l'évolution de la régulation : cette fonction est nécessaire pour assurer la bonne adaptation des caractéristiques du moteur diesel à celles des machines électriques entraînées (alternateur ou génératrice, moteurs de traction) et à la caractéristique

de traction (effort-vitesse) la plus favorable. Il faut cependant noter que les possibilités d'action sont variées (combinaison des types d'excitation, etc.) et permettent d'obtenir des caractéristiques globales très favorables à l'adhérence.

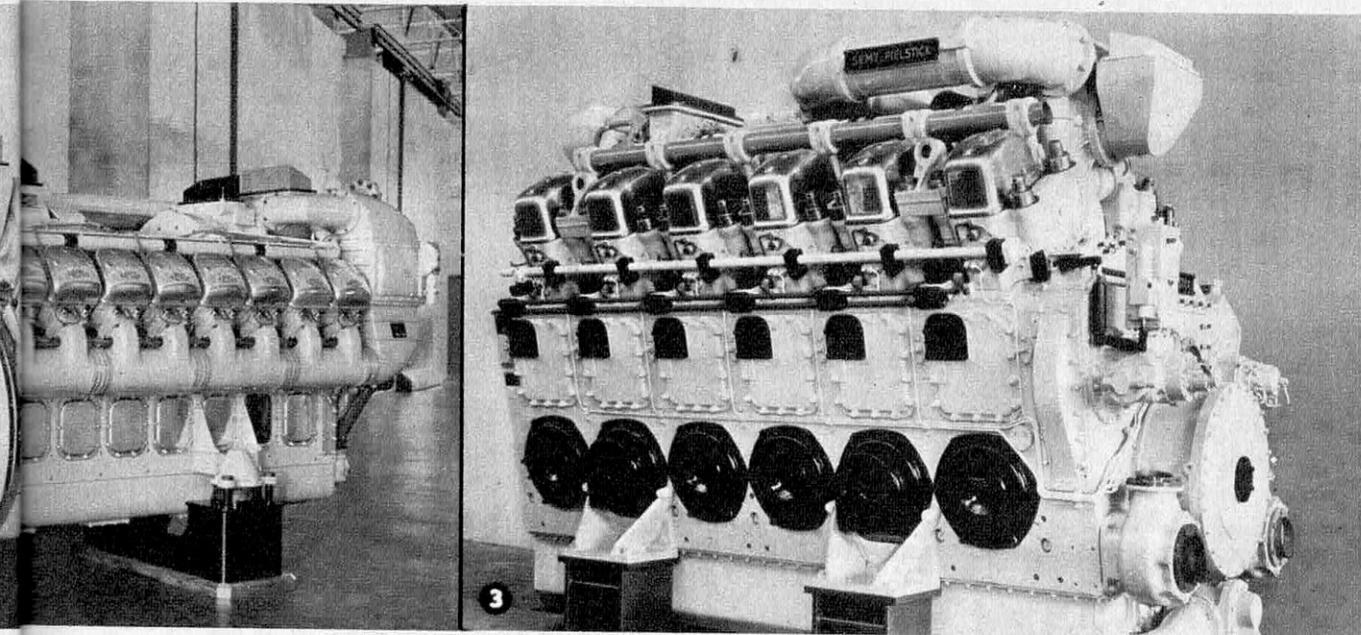
La transmission par alternateur + redresseur + moteur à courant continu peut à l'avenir se trouver supplantée par une technique encore plus évoluée : celle qui consiste à utiliser des moteurs asynchrones, alimentés à tension et fréquence variables.

Ici encore, la traction diesel verra peut-être ses progrès étroitement liés à ceux de l'électronique de puissance, avec l'utilisation des thyristors, dont l'existence est en train de révolutionner la traction électrique.

Le chauffage des trains

Les voitures à voyageurs ont traditionnellement utilisé comme source pour leur chauffage la vapeur fournie par la chaudière des locomotives. Quand la traction électrique s'est suffisamment développée, les voitures ont été équipées de radiateurs alimentés par la caténaire, par l'intermédiaire de la locomotive.

La locomotive diesel n'offrant aucune possibilité similaire, il fallut donc lui adjoindre un véhicule, spécialement affecté à la fourniture de l'énergie de chauffage. Ce véhicule est généralement un fourgon équipé d'une chaudière, fournissant de la vapeur à la rame. Dans certains cas, cette chaudière a pu être embarquée sur la locomotive.



1 - groupe électrogène de la CC 72 000 : moteur SACM, V 16 à 50°, injection directe, 3 600 ch, 22 ch/l + alternateur ; 2 - groupe électrogène de la BB 67 000 : moteur SEMT V 16 à 90°, préchambre, 2 400 ch, 26,5 ch/l + génératrice courant continu ; 3 - moteur de la CC 72 075 : V 12 SEMT à 60°, injection directe, 4 200 ch, 19,6 ch/l ; 4 - Installation du groupe électrogène à bord d'une A1A A1A 68 000 (V 12 à 50°, 2 700 ch + génératrice courant continu).



L'augmentation considérable de la puissance disponible pour la traction permet maintenant d'en prélever suffisamment pour chauffer les voitures, d'autant plus que l'adoption corrélative de la transmission par alternateur offre la possibilité de choisir la tension qu'il fournit.

Ce progrès considérable permet de ne plus monter d'équipement de chauffage par la vapeur sur les voitures modernes, et de débarquer des équipements d'entretien coûteux sur les autres. Il n'a été possible que grâce à une adaptation convenable des circuits de voie de signalisation : le retour du courant se fait par le rail, et ce courant est d'une fréquence qui varie entre 100 et 135 Hz environ avec la vitesse de rotation (adaptée au régime de chauffage) du moteur diesel.

Il faut remarquer que seule la transmission triphasée-continue (par alternateur) permet d'assurer cette fonction simplement. Les autres solutions, la transmission hydraulique en particulier, obligent à disposer soit d'un alternateur auxiliaire dont la régulation est difficile à assurer, soit d'un groupe électrogène à moteur diesel indépendant, solution lourde.

La caisse et les bogies

La tendance générale à l'augmentation de la puissance des locomotives a conduit à rechercher, pour le moteur diesel et la transmission, les solutions les plus évoluées sur le plan de la masse et du volume. Ces efforts seraient vains si le reste de la locomotive n'avait évolué dans le même sens.

Les caisses ne peuvent plus être constituées par l'assemblage de deux longerons, assurant toute la résistance à la flexion et à la compression, sur lesquels vient se poser une « carrosserie ». Il s'agit de faire travailler au maximum tout le métal. Elles forment maintenant une poutre de grande hauteur triangulée ou non, dont les revêtements peuvent participer à la résistance globale.

Pour les mêmes raisons, les bogies doivent être les plus légers possible, et être construits de manière telle que les efforts exercés sur la voie soient les plus faibles.

La solution du bogie monomoteur, qui permet de bien concilier ces caractéristiques a été naturellement adoptée à la S.N.C.F. pour les locomotives de forte puissance (exception faite des A1A-A1A 68000 et 68500).

Les bogies des deux derniers types de

locomotive diesel de la S.N.C.F. (BB 67400 et CC 72000) sont ainsi, pour ainsi dire, cousins germains de ceux des locomotives électriques BB 15000, 7200 et 22200 et CC 40100, 6500, 21000. Le moteur de traction est bien entendu adapté à la puissance à transmettre.

On rencontre également, pour répondre aux mêmes impératifs de polyvalence, services voyageurs et marchandises, des dispositifs de changement de rapport d'engrenage manœuvrables à l'arrêt (BB 67000-CC 72000).

On voit bien, au cours de ce survol rapide de l'évolution des bogies que tout ce qui est vrai pour les locomotives électriques est également valable pour les engins diesel, à l'échelle près des puissances transmises.

Des engins particuliers

Les matériels automoteurs à voyageurs et les engins de manœuvres ne font pas actuellement l'objet de développements bien spectaculaires.

Comme nous l'avons déjà indiqué, les autorails sont essentiellement destinés à assurer des services de voyageurs omnibus, le plus souvent sur des lignes secondaires. Ces engins doivent être robustes et économiques et le plus léger possible pour circuler sur des lignes comportant des rampes importantes. Les aménagements intérieurs doivent être assez simples.

Pour leur motorisation, il est fait de plus en plus appel à l'utilisation d'un moteur diesel à plat, placé sous la caisse, entraînant les deux essieux d'un bogie par des arbres à cardans et des ponts moteurs, par l'intermédiaire d'une boîte de vitesse mécanique ou hydraulique. La puissance de ce moteur, qui se situe vers les 500 ch, permet d'entraîner une deuxième voiture en remorque, les deux véhicules constituant un élément indissociable. Ces éléments de deux caisses peuvent être couplés par deux ou trois pour former des trains de 6 voitures au maximum. On peut également former des éléments de 3 voitures constitués de deux caisses motrices encadrant une remorque. C'est cette formule que la S.N.C.F. a envisagée pour disposer d'un matériel capable de franchir les rampes les plus importantes, en remplacement d'autorails anciens.

Certains réseaux développent cependant des matériels plus performants d'un grand confort, pour assurer dans de bonnes conditions des relations intervilles

sur des lignes non électrifiées. La politique de la S.N.C.F. dans ce domaine a été orientée vers l'emploi de rames à turbines à gaz, en association ou non avec un moteur diesel. Cette technique permet de disposer d'une puissance massique très élevée, condition nécessaire à la circulation à grande vitesse sur des lignes sinueuses dont la voie est faiblement armée.

Il ne faut pas exclure pour l'avenir, si de nouveaux progrès du moteur diesel sont possibles, ce « créneau » d'utilisation. Le matériel interville performant et confortable s'ouvre plus largement au moteur diesel.

Les engins de manœuvre, locotracteurs ou locomotives, ont toujours un domaine d'application très vaste : les triages, les réseaux d'entreprises, les gares. La puissance qui leur est nécessaire a tendance à augmenter, avec le trafic d'une part, avec l'accroissement général du chargement des wagons d'autre part. On peut cependant dire que les grands progrès du moteur diesel ne leur sont pas nécessaires, d'autant moins qu'ils doivent être suffisamment lourds (ils sont souvent lestés) pour disposer d'une adhérence suffisante (leur capacité se mesure surtout en effort au crochet à faible vitesse).

Perspectives d'avenir

Nous avons vu que le moteur diesel, dans son état de développement actuel, ne permet pas de construire des locomotives de vitesse (160 km/h) de puissance beaucoup supérieure à 4 000 ch. Les réalisations de telles locomotives sont d'ailleurs relativement peu nombreuses.

La traction de trains rapides et confortables, sur de grands axes non électrifiés (ou partiellement électrifiés, tels que Paris-Bâle, Paris-Clermont-Ferrand, Paris-Nantes, etc.), pourra, surtout si les vitesses praticables sur tout ou partie de ces lignes peuvent être notablement relevées, faire apparaître un besoin pour des locomotives encore plus puissantes. Il en va de même pour les matériels automoteurs à voyageurs.

Une voie nouvelle semble s'ouvrir à un progrès notable dans le domaine de la puissance massique, des réalisations prototypes permettant presque d'envisager un doublement de ce paramètre. Sans entrer dans le détail d'études qui sortent à peine du domaine du laboratoire, et qui sont couvertes par des brevets, nous pouvons en situer simplement l'esprit. Pour augmenter

encore la puissance par litre de cylindrée, il faut y brûler encore plus de combustible et donc y introduire plus d'air. Pour y arriver, on ne peut plus augmenter les sollicitations mécaniques, en particulier le taux de compression et la pression maximale de combustion.

L'idée serait au contraire d'abaisser très nettement ce taux de compression, de 16 à 8 par exemple, tout en comprimant nettement plus l'air d'alimentation, le taux de suralimentation passant de 2 à 4 par exemple.

A condition d'avoir refroidi cet air, on voit que le poids introduit peut être doublé et que la quantité de combustible peut être très augmentée. Il est démontré que dans ces conditions, les sollicitations mécaniques du moteur peuvent ne pas être majorées, les contraintes thermiques non plus. Le rendement peut être également sensiblement conservé.

Deux obstacles se présentent alors : l'existence de turbo-soufflantes de rapport de compression élevé, au moins 4 ; le démarrage du moteur.

Le premier n'est pas fondamental ; en première étape, bien que cela constitue une sorte de « bricolage », on peut y pallier par la mise en série de deux turbo-soufflantes.

Le deuxième résulte de ce qu'à un taux de compression faible, disons 8, le moteur ne s'allume pas : l'air relativement peu comprimé n'est pas assez chaud pour provoquer l'inflammation du combustible pulvérisé par l'injecteur. Il faut donc comprimer l'air avant de l'admettre, mais le moteur, ne l'oublions pas, ne tourne pas encore et la turbo-soufflante n'est pas alimentée par les gaz d'échappement. Un des moyens utilisés consiste à faire fonctionner cette machine en turbine à gaz, en lui adjointant une chambre de combustion. Cet appoint de gaz est également nécessaire en cas de fonctionnement du moteur à faible charge, l'énergie des gaz d'échappement étant alors insuffisante.

Cette technique, ou ses variantes, et à condition qu'elles ne posent pas de problèmes quant à la fiabilité et à la simplicité d'emploi du moteur diesel, permet d'espérer un progrès considérable.

Le domaine d'application de la traction diesel ne pourra alors que s'ouvrir plus largement, dans la mesure où l'énergie nucléaire, par le biais de la traction électrique, ne viendra pas concurrencer trop fortement l'énergie d'origine pétrolière.

Gérard Coget

L'informatique à la S.N.C.F.

La S.N.C.F. a été l'une des premières entreprises françaises à utiliser un ordinateur de grandes dimensions. Il s'agissait du Gamma 60, de ce qui était à l'époque la Cie des Machines Bull. Installé à la gare d'Auteuil en 1959, cet ordinateur devint opérationnel l'année suivante. Cet équipement était très éloigné des ordinateurs actuels, mais il servit d'école aux personnels informaticiens de la S.N.C.F. A l'époque, les outils de programmation et d'analyse que l'utilisateur exige aujourd'hui des constructeurs étaient rares, et il fallut tout mettre au point par soi-même. En 1966, après 40 000 heures de fonctionnement, le gamma 60 était remplacé par des ordinateurs Univac 1108 beaucoup plus évolués. Depuis 1964, d'ailleurs, le parc d'ordinateurs de la Société nationale s'était régulièrement développé. Au 1^{er} janvier 1974, il atteignait 126 unités.

Indépendamment d'une expansion rapide, les activités informatiques ont subi, depuis 15 ans, plusieurs transformations. Jusqu'à la fin des années 60, chaque direction ou service exploitait des ordinateurs de façon plutôt autonome. A la suite d'une mission des dirigeants de la S.N.C.F. aux Etats-Unis, on allait s'inspirer de l'évolution enregistrée dans ce pays et développer, à partir de 1971, un service de l'informatique indépendant, qui emploie actuellement près de 900 personnes.

Les domaines d'application ont, eux aussi, profon-

dément évolué. Aux applications traditionnelles dont on trouvera plus loin une rapide énumération, se sont ajoutées des applications opérationnelles telle que la gestion centralisée du trafic marchandises. Celle-ci a exigé la création d'un réseau de téléinformatique pour traiter en temps réel le déplacement des wagons. La réservation électronique des places, elle aussi, n'est concevable qu'en temps réel et avec un réseau de téléinformatique.

Depuis 1960, se sont développées de nombreuses applications de gestion parmi lesquelles on peut citer :

- gestion du personnel (284 000 agents au 31 décembre 1974), comprenant calcul de la paye, des primes de traction, états prévisionnels des départs à la retraite, prévisions de recrutement, etc. ; ces applications reposent sur la tenue à jour permanente d'un fichier du personnel sur bande magnétique ;

- gestion du régime de sécurité sociale de la S.N.C.F. (plus de 1 500 000 bénéficiaires, 15 000 mandats de prestations émis chaque jour...) ;

- gestion du régime de retraites (420 000 retraités ou bénéficiaires) ;

- gestion de stocks représentant plus d'un milliard de francs ;

- gestion des emprunts ;

- gestion des installations (passages à niveau, appareils de voie, signaux) avec observation statistique de leurs incidents de fonctionnement. Le réseau de téléinfor-

tique a été conçu vers 1966 et ses débuts opérationnels se situent en 1970. Le cœur du système est le Centre de gestion des messages, situé sur le périmètre de la gare d'Auteuil. Il est chargé d'acheminer les informations dans les deux sens sur les réseaux à grande et moyenne vitesse. Il « pilote » en outre les 43 concentrateurs-diffuseurs de messages répartis sur toute la France. Chacun de ces centres locaux gère de 60 à 64 terminaux qui lui sont raccordés par des lignes basse-vitesse. Depuis juin de cette année, le réseau permet la commutation des messages, c'est-à-dire le dialogue entre deux terminaux.

A la fin de 1974, 2 000 terminaux environ seront en service, avec un transit quotidien de 150 000 à 200 000 messages. La S.N.C.F. devient ainsi un des principaux utilisateurs du temps réel et de la téléinformatique en France.

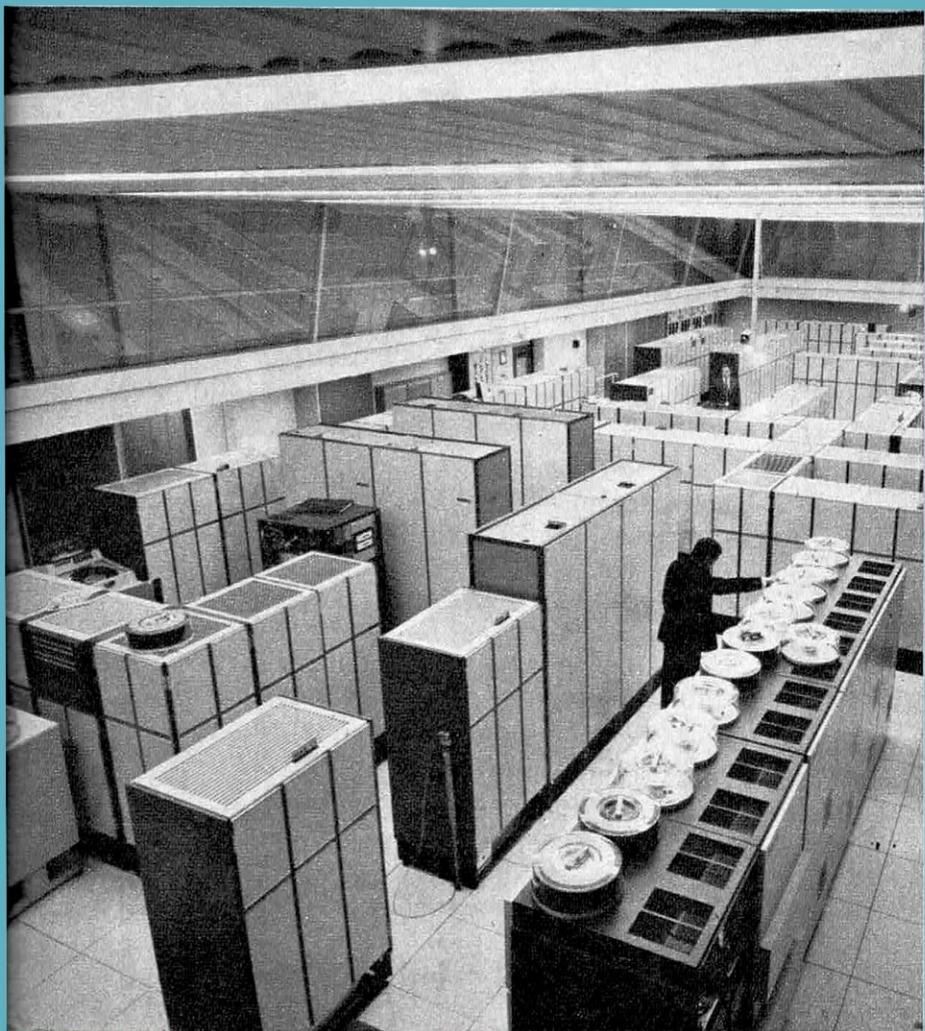
Il peut paraître surprenant que la S.N.C.F. n'ait envisagé la mise en place d'un système de réservation électronique que bien après d'autres réseaux (Espagne, Suède, Italie, République fédérale allemande), sans parler des compagnies aériennes.

En fait, c'est la mise en place de la gestion centralisée du trafic marchandises qui a retardé celle de la réservation électronique. Les réseaux étrangers cités avaient fait des choix inverses.

Dès 1967, un essai réalisé sur un petit nombre de trains entre Paris et Tourcoing avait montré qu'un système généralisé à l'ensemble du réseau était possible, bien que



Le Centre informatique des Batignolles



La salle des unités centrales du Centre d'Auteuil

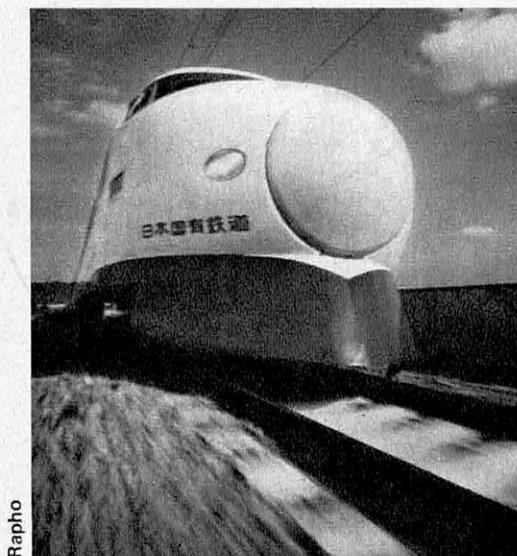
d'une extrême complexité. Il faut en effet considérer l'importance du trafic voyageurs à la S.N.C.F. et le fait que les problèmes sont très différents de ceux de l'aviation commerciale. La place retenue sur un avion est quelconque, alors qu'elle est bien déterminée dans un train. Et le nombre de trains en circulation chaque jour (environ 1 200) est très supérieur au nombre des vols quotidiens de n'importe quelle compagnie aérienne, avec, aussi, de 500 à 600 places par train.

Une équipe nombreuse d'informaticiens et de spécialistes de la réservation, le recours à des sociétés agissant en sous-traitance, l'aide des constructeurs, tout cela a permis de mener à bien l'opération dans des délais raisonnables. En décembre 1973, la réservation électronique était opérationnelle, au moins sous la forme d'une première étape. L'ensemble du réseau sera pris en compte avant la fin de l'année. Les wagons-lits et le système train-auto seront mis en réservation électronique à partir de 1976.

L'établissement de réseaux de téléinformatique à l'échelon d'un pays ne saurait être qu'une première étape. Sous l'impulsion de l'Union internationale des chemins de fer, une collaboration active s'est établie entre les diverses administrations pour que les informations circulent d'un réseau à l'autre. On peut espérer qu'avant 1980, un réseau de téléinformatique sera à la disposition des chemins de fer européens.

Henri Dreyfus

Le réseau à très grande vitesse des chemins de fer japonais a mis en lumière, il y a dix ans environ, quelques-unes des possibilités du train. Spécialisé en trafic voyageurs, ce réseau s'étend actuellement sur 680 km. Une importante extension est en préparation pour les prochaines années.



Rapido

On envisage très sérieusement, en France et ailleurs en Europe, de faire circuler des trains à 250-300 km/h. Sauf solutions techniques particulières, il faudra pour cela construire de nouvelles lignes spécialement adaptées. Les problèmes posés par ce relèvement des vitesses bénéficient d'ailleurs largement des études menées pour la circulation des trains à 160-200 km/h.

LES GRANDES VITESSES SUR RAIL

Les problèmes d'infrastructure sont les premiers à prendre en considération lorsqu'on examine le cas des lignes anciennes. Les limitations de vitesse dues à la voie ou à son tracé sont imposées soit par des motifs de sécurité, soit par des motifs de confort.

Pour ce qui concerne la sécurité, les efforts exercés par le matériel roulant sur la voie doivent demeurer, bien entendu, inférieurs à ce que cette voie peut supporter. Dans le sens vertical, la résistance de la voie est très élevée et les charges par essieu sont limitées surtout par l'existence des ouvrages d'art. Dans le sens transversal, la résistance de la voie dépend de son type de pose et, dans une moindre mesure, de sa méthode d'entretien. Par exemple, pour une charge par essieu de 20 t, on admet que la résistance limite en transversal d'une voie à traverses de béton est de 11,5 t. Au-delà, et bien au-delà car les marges de sécurité sont grandes, il y a risques de déformation de la voie.

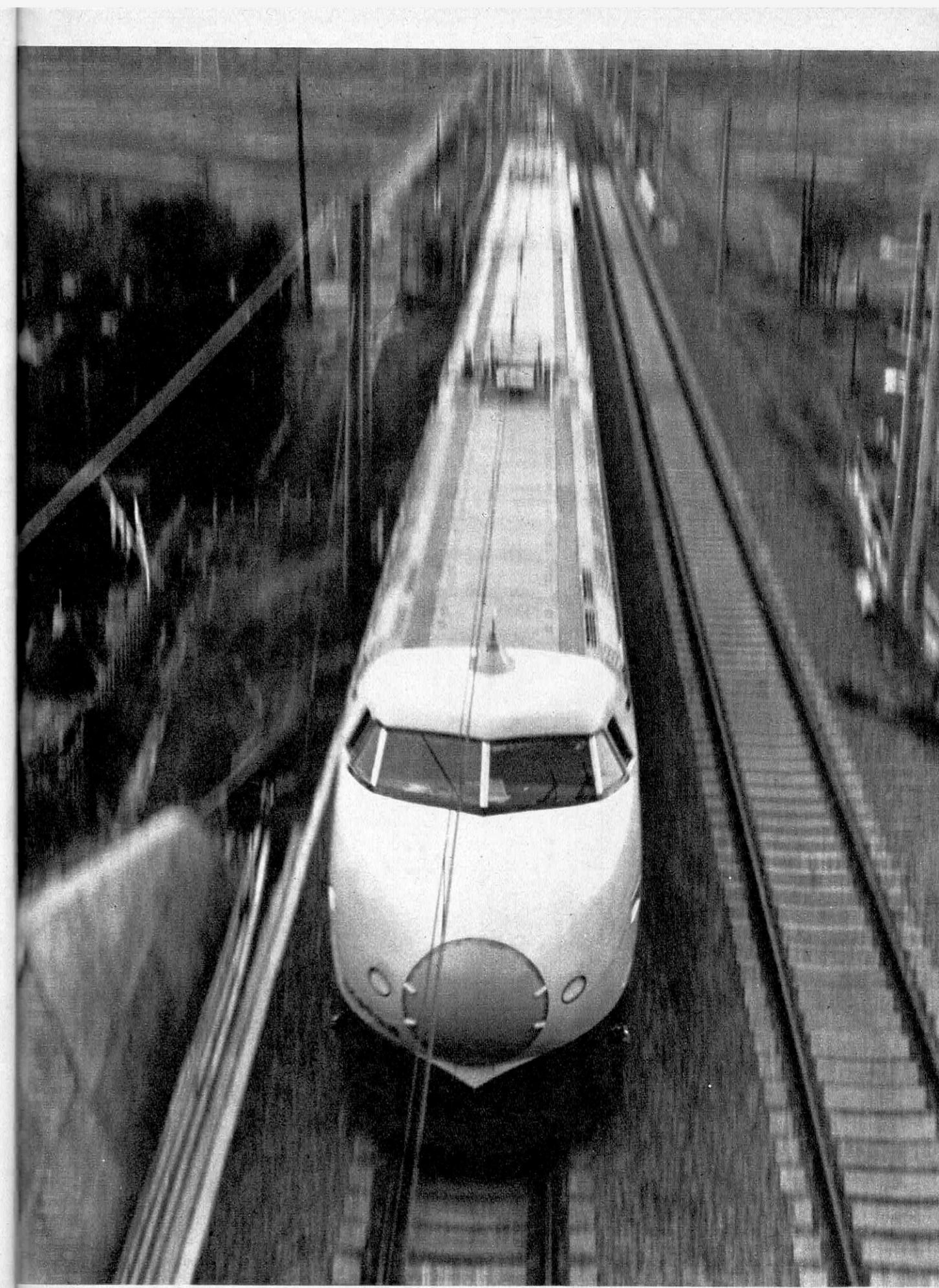
Les efforts transversaux exercés sur la voie relèvent de deux causes :

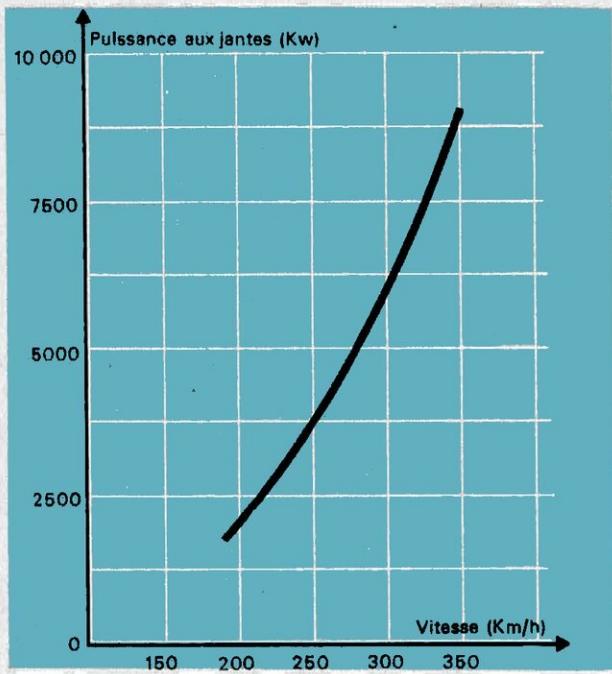
- les mouvements de lacet du bogie dans la voie, dont l'amplitude dépend des qualités du bogie, de celles de la voie, et de la vitesse ;
- la force centrifuge lors du franchissement des courbes, laquelle est fonction de la masse en déplacement et de la vitesse.

Les efforts dus au mouvement de lacet sont aléatoires. Les poussées exercées sont transmises par adhérence ou, dans le cas de mouvements importants, transmises par appui du boudin sur les bords intérieurs des rails. Par une bonne conception du bogie, on peut éviter ce second cas, et les efforts aléatoires restent faibles, compatibles, sur les voies en alignement, avec des vitesses bien supérieures à 300 km/h.

Un bogie de conception correcte doit ainsi comporter :

- une faible charge par essieu ;
- des charges concentrées au milieu du bogie ;
- une réduction des masses non suspendues ;
- un entraxe judicieux des essieux (l'em-





Évolution de la puissance de traction en fonction de la vitesse pour un turbotrain de 340 t.

pattement doit être important et faible la masse des bogies).

Ce catalogue explique en partie l'adoption du bogie monomoteur pour les locomotives récentes de la S.N.C.F. En effet, compte tenu de la puissance mise à bord, la charge par essieu d'une locomotive reste élevée. On est donc conduit à jouer sur les trois derniers critères énumérés. Le moteur unique, placé au centre du bogie et naturellement suspendu, compense l'effet défavorable de la masse.

Les efforts centrifuges sont inévitables lors du franchissement d'une courbe à grande vitesse. On ne peut les annuler par l'adoption d'un dévers important car celui-ci est incompatible avec la circulation des trains de marchandises lents. Pour ces derniers, le dévers excessif entraînerait, par appui contre le rail intérieur, une forte augmentation de l'usure et un risque de déformation. Le dévers adopté résulte toujours d'un compromis. Dans ces conditions, les trains rapides connaissent une insuffisance de dévers, d'où un effort résiduel sur la voie.

Ce qui concerne le confort

Le franchissement des courbes, seul, pose des problèmes. Les forces transversales ressenties par un voyageur doivent rester suffisamment faibles. Un voyageur assis peut supporter des accélérations transversales relativement élevées, mais il n'en est pas de même du voyageur debout,

sans parler des dégâts possibles sur les tables du wagon-restaurant. En pratique, l'accélération transversale doit être limitée à 1 m/s/s ou 1,1 m/s/s si cette valeur n'est pas atteinte trop souvent.

Ces exigences de confort conduisent à des vitesses inférieures à celles permises par les limites de stabilité. Pour les augmenter, on pourrait : soit augmenter le dévers, mais, comme on l'a vu, celui-ci a une limite ; soit augmenter le rayon des courbes, ce qui n'est généralement pas possible, sans dépenses énormes, sur les lignes existantes ; soit incliner la caisse en la faisant pivoter par rapport aux bogies.

La S.N.C.F. a étudié, avec d'excellents résultats, des dispositifs d'inclinaison de caisse. Mais de tels dispositifs sont coûteux. Une étude est indispensable dans chaque cas particulier pour déterminer si l'augmentation des vitesses qui en résulte justifie le coût des équipements.

Dans le cas de la ligne Paris-Caen-Cherbourg, on a montré que des rames à turbine à gaz à caisse inclinable ne permettraient qu'une réduction de 6 minutes du temps de parcours (légèrement inférieur à 3 heures), ceci pour une vitesse maximale de 160 km/h.

Les caisses inclinables présentent certainement un plus grand intérêt pour des lignes sinuuses où les limitations de vitesses sont basses (100 ou 120 km/h) mais où circule un trafic important. Le gain relatif de temps peut dans ce cas être beaucoup plus élevé. Les chemins de fer italiens, suédois et japonais ont en cours d'expérimentation des rames automotrices à caisse inclinable.

Les problèmes de signalisation

La plupart des lignes principales de la S.N.C.F. sont maintenant équipées du système de bloc automatique à trois aspects, vert, jaune et rouge. Le but de la signalisation en pleine ligne est d'assurer un espace tel qu'un train ait devant lui une distance suffisante pour s'arrêter si le train précédent se trouve à l'arrêt. En d'autres termes, la vitesse du train doit être limitée à une valeur telle que l'espace compris entre un feu jaune et un feu rouge lui permette de s'arrêter.

L'espacement entre les signaux dépend du profil de la ligne et des performances de freinage des trains. Pour augmenter la vitesse sans changer la position des signaux, il faut donc améliorer les performances de freinage. C'est ce qu'a fait jus-

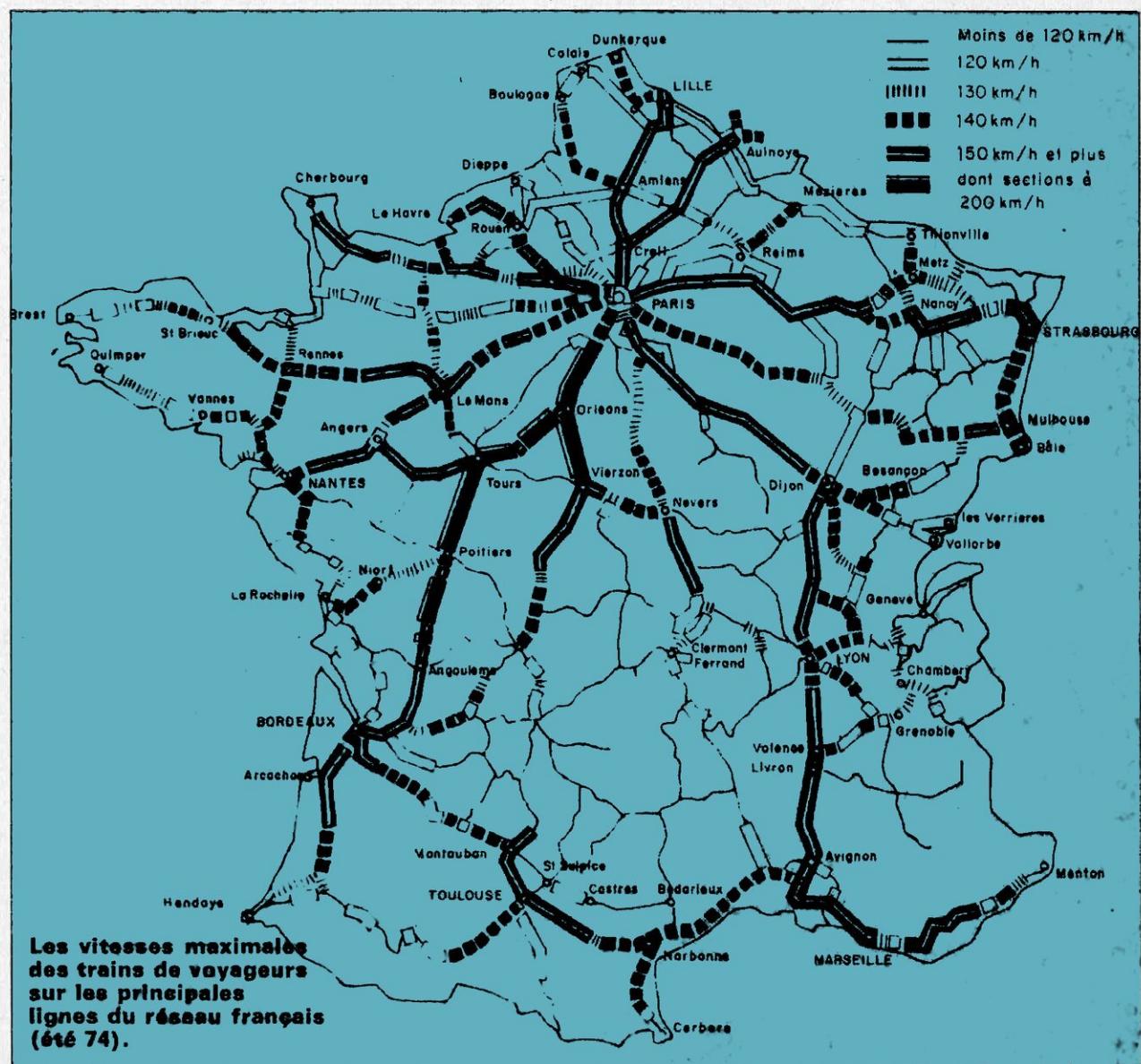
qu'à présent la S.N.C.F. Par exemple, sur la ligne Paris-Lyon actuelle, les signaux placés à l'origine pour permettre une circulation des trains à 140 km/h voient maintenant défiler des trains à 160 km/h, dont le célèbre « Mistral », grâce à un freinage haute puissance.

Mais on ne peut guère aller plus loin dans cette voie. En outre, du point de vue sécurité, il peut être jugé insuffisant de ne montrer au conducteur qu'un seul signal d'avertissement.

La S.N.C.F. a alors mis au point un système dit de « préannonce ». Ce système comporte un signal supplémentaire placé avant le signal d'avertissement. Il s'agit d'un feu vert clignotant combiné en pratique avec le signal existant du bloc automatique, de telle sorte qu'il n'y a pas de nouveau support à installer. L'arrêt d'un train à 200 km/h se fait ainsi en deux étapes.

Lorsqu'il franchit un feu vert clignotant, le conducteur doit réduire la vitesse de son train à 160 km/h, puis il dispose d'une longueur normale de bloc pour arrêter son train si le signal suivant est au jaune. Le système est complété par un double contrôle à bord de l'engin moteur.

L'expérience a montré que ce système était satisfaisant pour 200 km/h. Son intérêt est son faible coût. Des systèmes de transmission continue de signalisation par la voie seraient naturellement plus performants, mais aussi plus coûteux, surtout s'ils n'étaient utilisés que pour quelques trains au cours d'une journée. Cependant, le système simple de préannonce ne permettrait certainement pas d'aller au-delà de 200 km/h. Les distances d'arrêt deviennent en effet insuffisantes et la perception des signaux latéraux ne présenterait plus la sécurité requise.



Les passages à niveau

Les passages à niveau sont nombreux sur les lignes existantes : le réseau de la S.N.C.F. en comporte environ 24 000, dont 6 000 équipés de barrières automatiques. Ils constituent sans aucun doute des points faibles pour la sécurité. Les remplacer par des passages supérieurs ou inférieurs serait souhaitable, mais on imagine l'impact financier d'une telle opération.

Le premier problème qui se pose lorsqu'on veut augmenter la vitesse est celui de la régulation du temps d'annonce. Le dispositif d'annonce doit être placé à une distance suffisante du passage à niveau pour que les barrières puissent être fermées à temps pour le train le plus rapide. Mais, s'il survient un train de marchandises à 60 km/h, les barrières seront fermées beaucoup trop longtemps, apportant au trafic routier une gêne difficilement admissible. Aussi, l'action du dispositif d'annonce est complétée par une mesure de la vitesse du train qui diffère l'action sur le passage à niveau si cette vitesse est lente.

Le second problème concerne la sécurité. Au-delà de 160 km/h, les prescriptions gouvernementales imposent que les passages à niveau automatiques soient munis de dispositifs de détection automatique d'obstacles. Si la barrière est enfoncée par un véhicule, ou, si, au moment de la fermeture du passage à niveau, un obstacle se trouve sur la voie, le dispositif doit automatiquement mettre les signaux à l'arrêt et allumer une torche à flamme rouge impliquant un arrêt d'urgence. La S.N.C.F. a étudié et expérimenté des dispositifs de détection d'obstacle, basés sur un balayage par ondes à haute fréquence de l'espace compris entre les deux barrières. Mais ces dispositifs sont coûteux et, jusqu'à présent, les passages à niveau des sections de lignes parcourues par des trains à 200 km/h sont gardiennés.

La puissance de traction

La puissance nécessaire pour faire circuler un train croît à peu près comme le cube de la vitesse. Cette puissance doit en effet vaincre :

- les résistances au roulement du train, qui sont très faibles, le roulement acier sur acier se faisant presque sans frottement (ce qui explique, en contrepartie, les problèmes d'adhérence) ;
- les résistances dues à la ventilation des équipements thermiques ou électriques

des machines et au brassage de cet air dans les machines tournantes ;

— les résistances aérodynamiques, dues au frottement de l'air sur les parois frontales et latérales du train.

A grande vitesse, ces dernières résistances deviennent prépondérantes (plus de 80 % à 300 km/h).

Avec l'augmentation de puissance correspondant à celle de la vitesse, il est de plus en plus difficile de construire un bogie de locomotive non agressif pour la voie. A partir d'un certain niveau, la solution automotrice s'impose, car elle permet de répartir l'installation motrice sur un plus grand nombre de voitures et d'essieux. Mais le matériel devient spécialisé, coûteux, et cette solution n'est valable que si la grande vitesse est pratiquée sur des distances longues et pour un nombre de trains élevé, deux conditions difficilement réalisables sur les réseaux existants.

Cherchant dans chaque cas les solutions les plus opportunes, la S.N.C.F. s'est orientée vers des compromis :

— en traction électrique, l'adoption de bogies monomoteurs a permis de construire des locomotives CC 6500 (courant continu) et BB 15000 (courant alternatif) capables respectivement de vitesses de 220 et 180 km/h, tout en ne donnant sur la voie que des efforts acceptables ;

— en traction thermique, la masse des moteurs diesel rendrait très difficile la construction de locomotives puissantes. La CC 72000 (3 600 kW), capable de 160 km/h avec le même bogie monomoteur que la locomotive électrique CC 6500, constitue la limite des possibilités. Par contre, la turbine à gaz, plus légère, a permis la construction de rames automotrices (RTG), capables de 200 km/h. Avec leur masse par essieu de 16 t, elles sont particulièrement « douces » pour la voie.

Problèmes d'exploitation

Les problèmes que nous évoquerons ici ne sont pas d'ordre technique, mais leur impact peut être très important.

Le fait majeur est la réduction de la capacité des lignes entraînée par l'accroissement de l'écart entre la vitesse du train le plus rapide et celle du train le plus lent. Car les réseaux existants, sauf cas particulier, doivent acheminer sur les mêmes voies tous les types de trafic.

Les chemins de fer tendent à augmenter la vitesse des trains de voyageurs sur les

PARIS

Combs-la-Ville

Infrastructure nouvelle

Infrastructure actuelle

Infrastructure actuelle empruntée par les T.G.V.

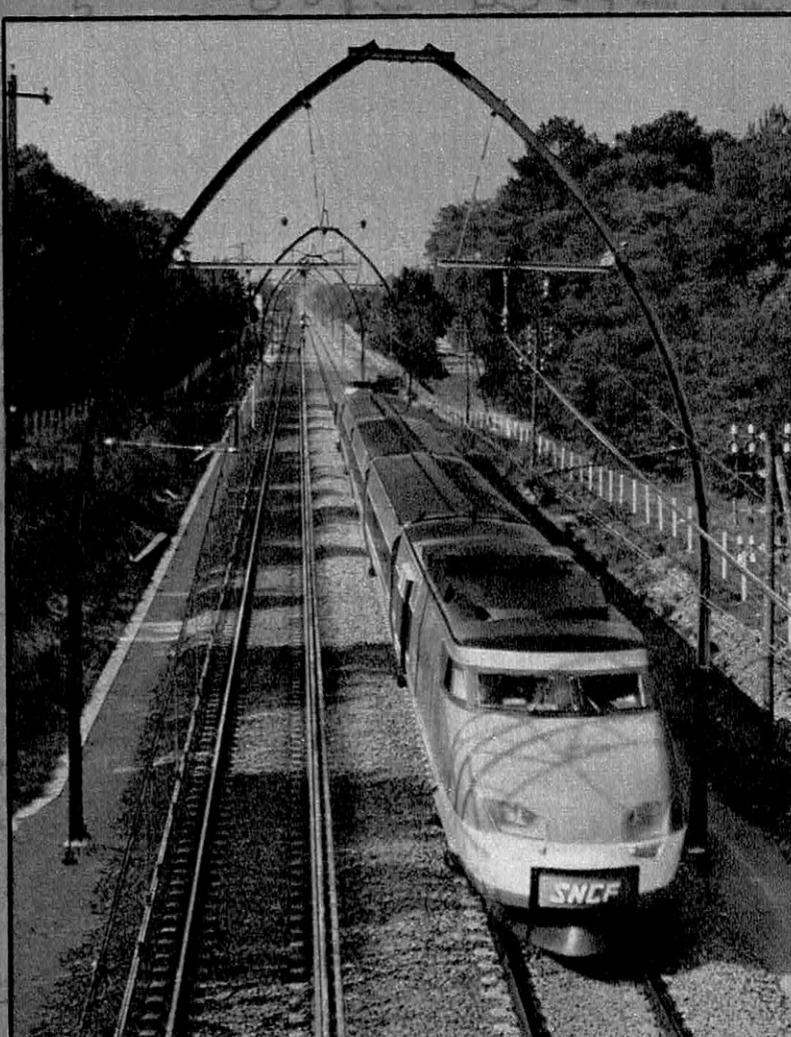
DIJON

**MONTCHANIN
LE CREUSOT**

MACON

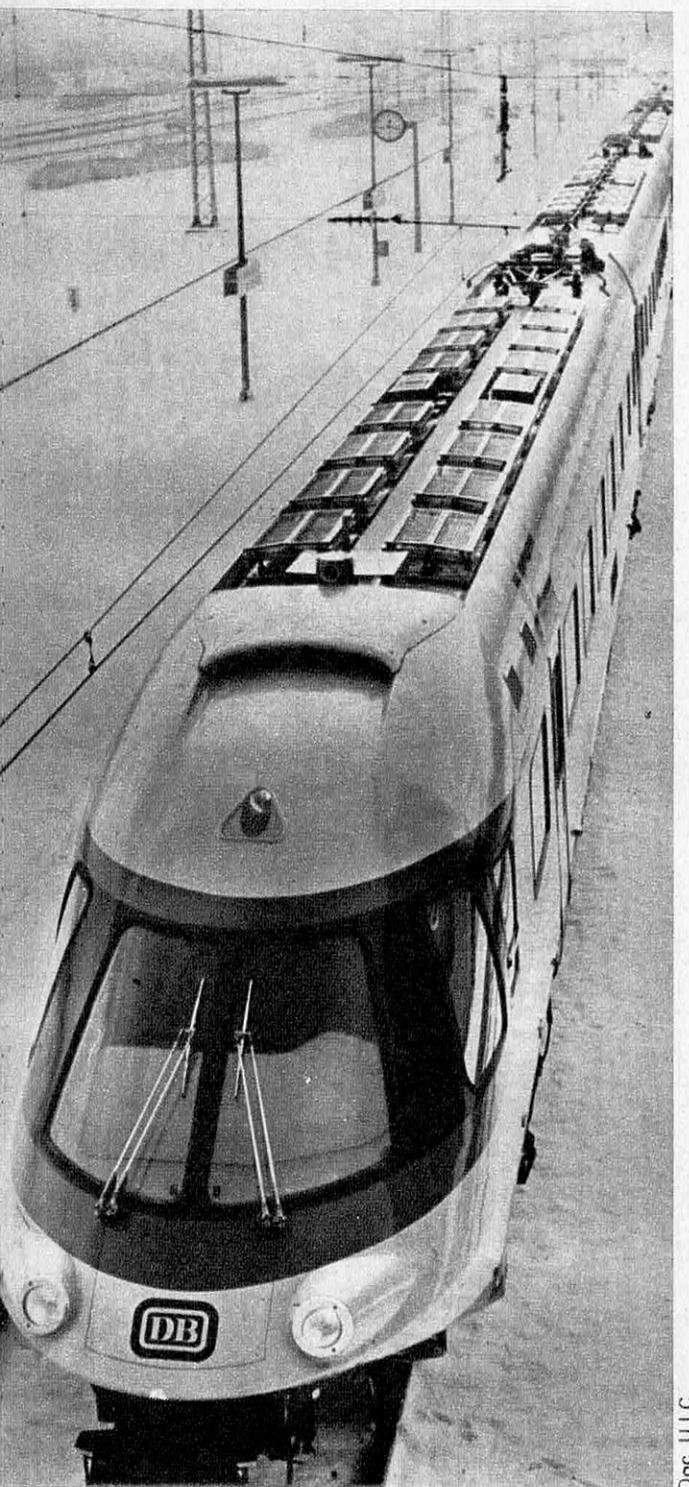
Sathonay

LYON



Le tracé de la ligne Paris-Sud-Est, pour turbotrains très grande vitesse ou leurs dérivés, n'est pas tout à fait arrêté.

Les principaux pays industrialisés se penchent actuellement, avec des solutions diverses, sur le problème des très hautes vitesses ferroviaires. En Allemagne, par exemple, l'automotrice ET 403 (ci-dessous) a commencé une exploitation commerciale à titre expérimental. Quelques exemplaires de ce matériel existent actuellement. La propulsion est électrique et tous les essieux sont moteurs, ce qui permet de très fortes accélérations. En Grande-Bretagne, l'« Advanced passenger train » (page de droite) est dotée d'une caisse basculante pour compenser l'insuffisance de dévers sur les voies existantes auxquelles il est destiné.



lignes reliant des centres urbains importants. Il y a là un potentiel de trafic qui le justifie. Mais ces centres sont aussi des centres industriels, générateurs de trafic marchandises. Ce n'est donc pas une coïncidence si c'est souvent sur des lignes déjà chargées qu'il faut chercher à créer des trains rapides.

Faire circuler un train à 200 km/h peut obliger à supprimer ou différer plusieurs trains de marchandises, ce qui n'est pas toujours admissible. On peut, naturellement, garer les trains de marchandises pour laisser passer les rapides. Mais c'est la vitesse moyenne des trains de marchandises qui décroît, avec les répercussions qu'on imagine sur la rentabilité du personnel et du matériel. Par exemple, entre Paris et Dijon, par suite de l'augmentation du nombre de trains de voyageurs et de leur vitesse, le temps de parcours des trains de marchandises a augmenté de près de 40 % ces dernières années.

En groupant les trains en « batteries », on remédie un peu à cet inconvénient, mais on a alors de longues périodes dans la journée sans trains de voyageurs. La fréquence devient mauvaise et irrégulière.

Il n'y a comme solution réelle à ces problèmes que la spécialisation des lignes, possible sur certains axes si la demande totale de transport (marchandises et voyageurs) dépasse de toute façon la capacité des infrastructures existantes.

La figure p. 50 montre l'évolution de l'augmentation de la vitesse des trains à la S.N.C.F. Le nombre de kilomètres parcourus à une vitesse moyenne supérieure à 120 km/h a triplé de 1968 à 1973.

En ce qui concerne les vitesses maximales pratiquées, la limite a été longtemps de 140 km/h. En 1963, les premiers trains à 160 km/h sont apparus, et, après de très nombreux essais faits dans la gamme des 200-250 km/h, la vitesse de 200 km/h a été pratiquée en service commercial en 1967. Actuellement, 1 800 km sont parcourus chaque jour à 200 km/h sur les lignes Paris-Toulouse et Paris-Bordeaux, par quatre paires de trains.

Sur les lignes existantes, il est fort peu probable que la vitesse maximale devienne supérieure à 200 km/h, bien que cette vitesse n'ait que la vertu d'être un chiffre rond. Pour des unités non métriques, le chiffre pourrait être légèrement différent.

Ainsi qu'on l'a vu, pour dépasser 200 km/h là où le tracé le permet, il faudrait :

- recourir à des puissances motrices plus élevées (ou réduire la capacité des trains) ;
- installer une nouvelle signalisation ;
- compliquer les installations de passage à niveau ;
- sacrifier le débit des lignes.

Et ceci n'aurait pour objet que de pouvoir pratiquer, pour un nombre de trains faible, une vitesse supérieure à 200 km/h sur des tronçons de lignes en nombre de plus en plus réduit.

En effet, l'augmentation de vitesse poserait de nouveaux problèmes d'infrastructure ; les investissements seraient élevés, peu utilisés, et les gains en temps de parcours faibles. Par exemple, en parcourant à 220 km/h, au lieu de 200 km/h, 330 km de la ligne Paris-Bordeaux, on ne gagnerait que 3 minutes ! En doublant la puissance motrice (2 locomotives), on ne gagnerait que 10 minutes, et ceci par rapport à un temps de parcours d'environ 3 h 45 mn.



Les vitesses pratiquées par la S.N.C.F. permettent déjà de relier Paris à presque toutes les grandes villes de France à des vitesses moyennes supérieures à 120 km/h. La liaison la plus rapide se trouve être Paris-Bordeaux, où la moyenne commerciale est de 145 km/h. Entre Tours (Saint-Pierre-des-Corps) et Poitiers, le train Eten-dard, qui s'arrête dans ces deux villes, réalise une vitesse moyenne de 162 km/h.

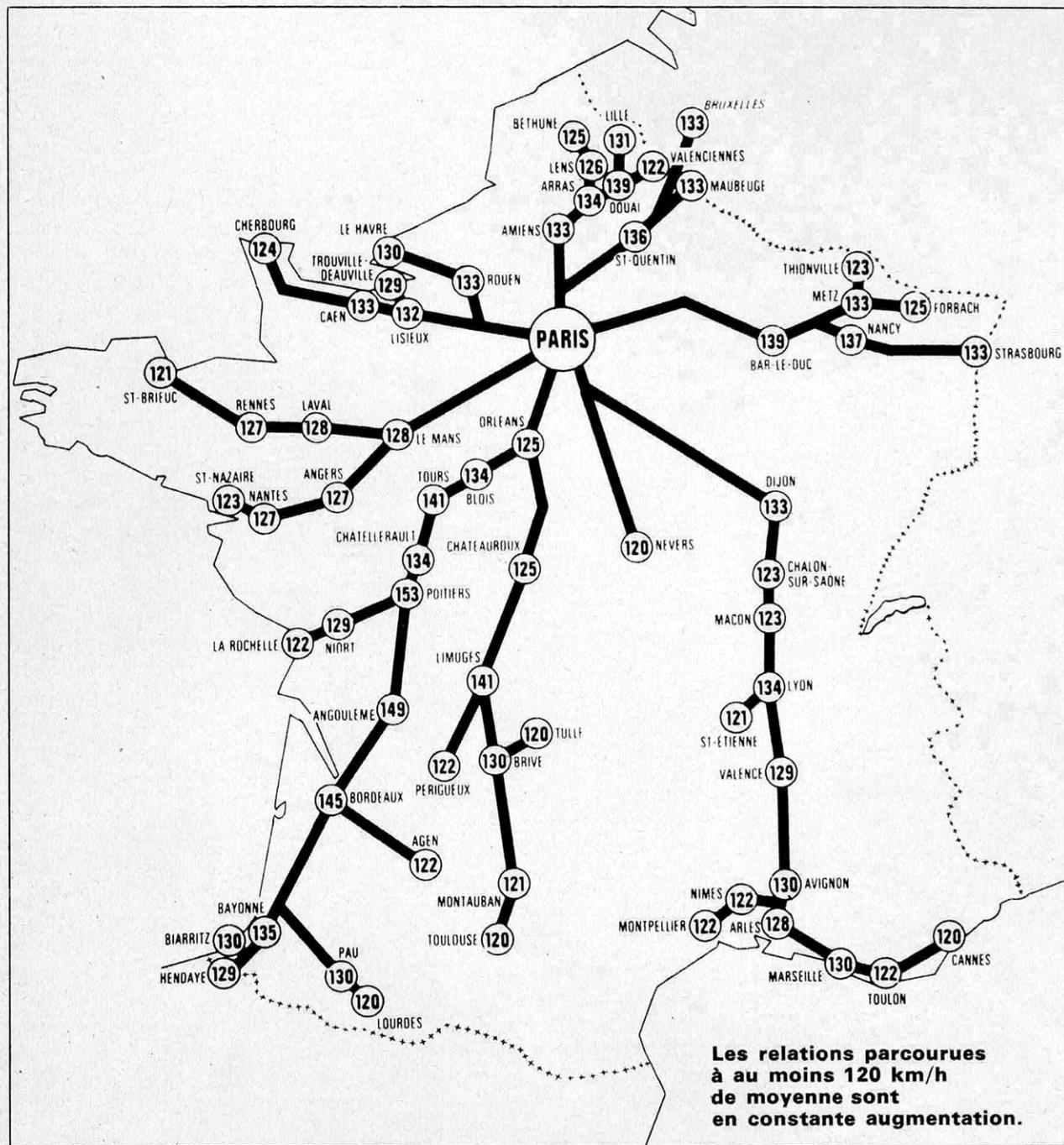
Sur réseau ancien, aucun pays ne fait actuellement mieux.

La vitesse optimale économique

La vitesse limite du guidage roue/rail, dans la mesure d'ailleurs où une telle vi-

tesse a un sens précis, est sans aucun doute très élevée. En 1955, la S.N.C.F. a fait circuler deux trains expérimentaux à 331 km/h. Récemment, le Département américain des transports a fait circuler un véhicule à guidage roue/rail à près de 400 km/h.

Cependant, les coûts, tant d'investissement que d'exploitation, croissent avec la vitesse, alors que le gain sur le temps de parcours est de moins en moins important. Sur une liaison quelle qu'elle soit, existent en effet des zones à vitesse réduite et des zones d'accélération et de freinage qui ne sont pas influencées par la vitesse maximale. Plus cette dernière est élevée, moins



longtemps elle peut être pratiquée sur une liaison donnée, et donc moins sensible est son impact sur le temps de parcours. Or, le matériel moteur et une grande partie des installations fixes doivent être dimensionnés pour la vitesse maximale. D'où l'existence d'une vitesse optimale économique, laquelle est de l'ordre de 240 à 280 km/h.

Mais, on l'a vu, dépasser 200 km/h nécessite pratiquement de recourir à des infrastructures nouvelles spécialement adaptées à ces vitesses. De plus, pour en tirer un bon profit, il y a intérêt à les spécialiser en trafic de voyageurs. Cela impose de construire de telles infrastructures sur des axes où le trafic de voyageurs peut atteindre un niveau suffisamment élevé, tout en ayant un trafic de marchandises suffisant pour assurer le plein emploi et tirer avantage de l'infrastructure actuelle libérée. C'est, en France, le cas de l'axe Paris-Sud-Est, et probablement aussi, bien qu'encore à l'étude, celui de Paris-Londres-Bruxelles, lié à la réalisation du tunnel sous la Manche.

La ligne Paris-Sud-Est. La ligne Paris-Lyon voit son trafic augmenter sans cesse et ce niveau d'augmentation est supérieur à la moyenne générale de la S.N.C.F. L'électrification, réalisée vers 1950, a apporté un nouveau souffle, mais qui s'éteint à son tour, malgré l'électrification ultérieure de Dijon-Bourg. Plusieurs solutions partielles ont été étudiées (quadruplement de Saint-Florentin-Dijon). Finalement la construction d'une nouvelle ligne de Paris à Lyon, plus courte que la ligne actuelle, s'est révélée comme la solution la plus rentable.

La ligne nouvelle doit être intégrée au réseau existant, comme les autoroutes le sont aux routes ordinaires, et les trains rapides, spécialement adaptés aux performances de vitesse de la ligne nouvelle, doivent être capables de circuler sans restriction sur le réseau existant. Ceci entraîne deux avantages fondamentaux : la ligne nouvelle ne dessert pas uniquement les centres urbains situés à ses extrémités (en l'occurrence Paris et Lyon), mais permet sans changement de train de faire profiter toute une région des avantages de vitesse qu'elle apporte. Ainsi, les trains de la ligne nouvelle iront en Bourgogne, dans le Jura, en Savoie, à Genève, à Saint-Etienne, à Grenoble, à Marseille, etc. D'où l'appellation de cet axe rapide : Paris-Sud-Est. Le second avantage est de pouvoir profiter des lignes existantes pour pénétrer

jusque dans les gares centrales. Ainsi la ligne nouvelle ne sera construite que de Combs-la-Ville à Sathonay (banlieue de Paris à banlieue de Lyon) et le coût s'en trouve très fortement réduit.

Les problèmes de capacité de ligne déjà évoqués montrent tout l'intérêt d'une spécialisation en trafic voyageurs. Mais apparaît un autre avantage : le matériel voyageur est nécessairement un matériel puissant. Aussi peut-il absorber beaucoup plus facilement des rampes fortes qu'un train de marchandises. On a admis, pour la ligne nouvelle, des rampes de 35 %, bien que relativement courtes. La ligne peut alors bien s'adapter au profil du terrain. Il y a peu d'ouvrages d'art et le coût de construction s'abaisse considérablement.

La ligne est tracée pour une vitesse maximale de 300 km/h avec, là aussi, la vertu du chiffre rond.

Cette spécialisation n'empêcherait naturellement pas de faire circuler sur la ligne nouvelle certains trains de marchandises spéciaux (conteneurs, porte-autos, etc.) si l'exploitation l'exigeait.

On sait que le gouvernement a décidé en mars 1974 la construction de cette ligne, dont la rentabilité a été largement démontrée, pour une mise en service en 1980. Le trafic, en 1^{re} et 2^e classe, car les trains seront accessibles pour ces deux classes, a été estimé à 16 millions de voyageurs lors de la mise en service. Ces trains rapides relieront Paris à Lyon en 2 heures.

Le projet Paris-Nord. Ce projet est lié à la réalisation du tunnel sous la Manche. Il prévoit la construction de lignes nouvelles entre Paris (ou plus exactement la banlieue nord), Londres et Bruxelles. Ces lignes auront en France les mêmes caractéristiques que la ligne Paris-Sud-Est : compatibilité et spécialisation en trafic voyageurs rapide. La présence du tunnel impose la traction électrique. Avec cette ligne et le tunnel, Londres sera à 2 h 30 de Paris, contre 7 h actuellement par l'itinéraire Calais-Douvres.

D'autres pays ont d'ailleurs des projets de construction de lignes nouvelles ; certains (Italie, Allemagne) ont même commencé leur construction. Peu à peu apparaîtront ainsi dans les réseaux ferroviaires européens des voies rapides, tracées pour 300 km/h, qui apporteront un sang nouveau aux lignes existantes. Il devrait en être réalisé 2 700 km en 1985, dont 950 en Allemagne.

Dès à présent, l'Union internationale des chemins de fer a entrepris l'étude technico-économique de la partie ouest de ce réseau, joignant Londres, Paris, Bruxelles, Amsterdam, Cologne et Francfort.

Les problèmes à résoudre

On peut classer les problèmes posés par le 300 km/h en deux catégories. Les uns se sont déjà posés pour atteindre 200 km/h sur les lignes existantes. Les autres sont nouveaux.

Parmi les problèmes « classiques », citons en premier lieu l'*infrastructure*. Il est clair que la ligne ne doit avoir que des courbes de grand rayon. On peut certes, puisque la ligne est spécialisée, accepter un dévers plus important en courbe. Mais un train peut avoir à franchir une courbe à faible vitesse, voire même s'y arrêter. Le dévers maximal correspondant à ces exigences est de 180 mm. Le rayon minimal des courbes est de 4 000 m, exceptionnellement de 3 200 m, et les problèmes de tracé sont éliminés.

Une voie de conception classique est suffisante. Tout au plus choisit-on les constituants les plus robustes : rail de 60 kg au mètre, traverses en béton, et ballast épais de 10 cm. L'entraxe des 2 voies est de 4,20 m (contre 3,70/3,80 m.).

En ce qui concerne la *signalisation*, un système de « cab-signal », basé sur des fréquences transmises par les rails, fera apparaître dans la cabine de conduite les vitesses prescrites. La ligne ne comportera pas de signaux latéraux, hormis ceux de prise de voie à contresens lors de travaux ou de perturbation. A bord du train, un contrôle automatique des actions de freinage, lié aux valeurs de vitesses reçues par le train, provoque un freinage d'urgence si la vitesse réelle demeure supérieure à la vitesse prescrite.

Les problèmes des passages à niveau disparaissent : les lignes nouvelles ne porteront aucune traversée à niveau.

Quant au problème de la puissance nécessaire, il est résolu de différentes façons :

— tout d'abord, les véhicules doivent avoir une aérodynamique très soignée, et si possible un petit gabarit. C'est le cas du TGV, dont la section n'est que de 9,15 m², contre 11 m² pour les voitures de voyageurs ordinaires, et dont le profil a permis une réduction de la résistance à l'avancement encore plus forte que les calculs ne le laissaient prévoir ;

— la puissance motrice est répartie dans deux éléments moteurs du train, ce qui divise la masse ;

— les moteurs de traction, qu'il s'agisse de trains à turbine à gaz ou de trains électriques, sont distribués sur un nombre d'essieux suffisant pour éliminer les problèmes de masse par essieu et d'adhérence.

Les deux derniers points imposent le recours à la solution automotrice, solution rendue possible en traction autonome grâce à la turbine à gaz. On a pu ainsi réaliser une puissance de 18 kW/t pour le TGV 001, qui a atteint, on le sait, la vitesse de 318 km/h. Dans une rame commerciale de vitesse maximale 260 km/h, qui sera celle pratiquée à l'ouverture de la ligne nouvelle Paris-Sud-Est, une puissance de 11 à 12 kW/t sera suffisante, permettant ainsi d'incorporer des remorques dans le train et d'augmenter sa capacité.

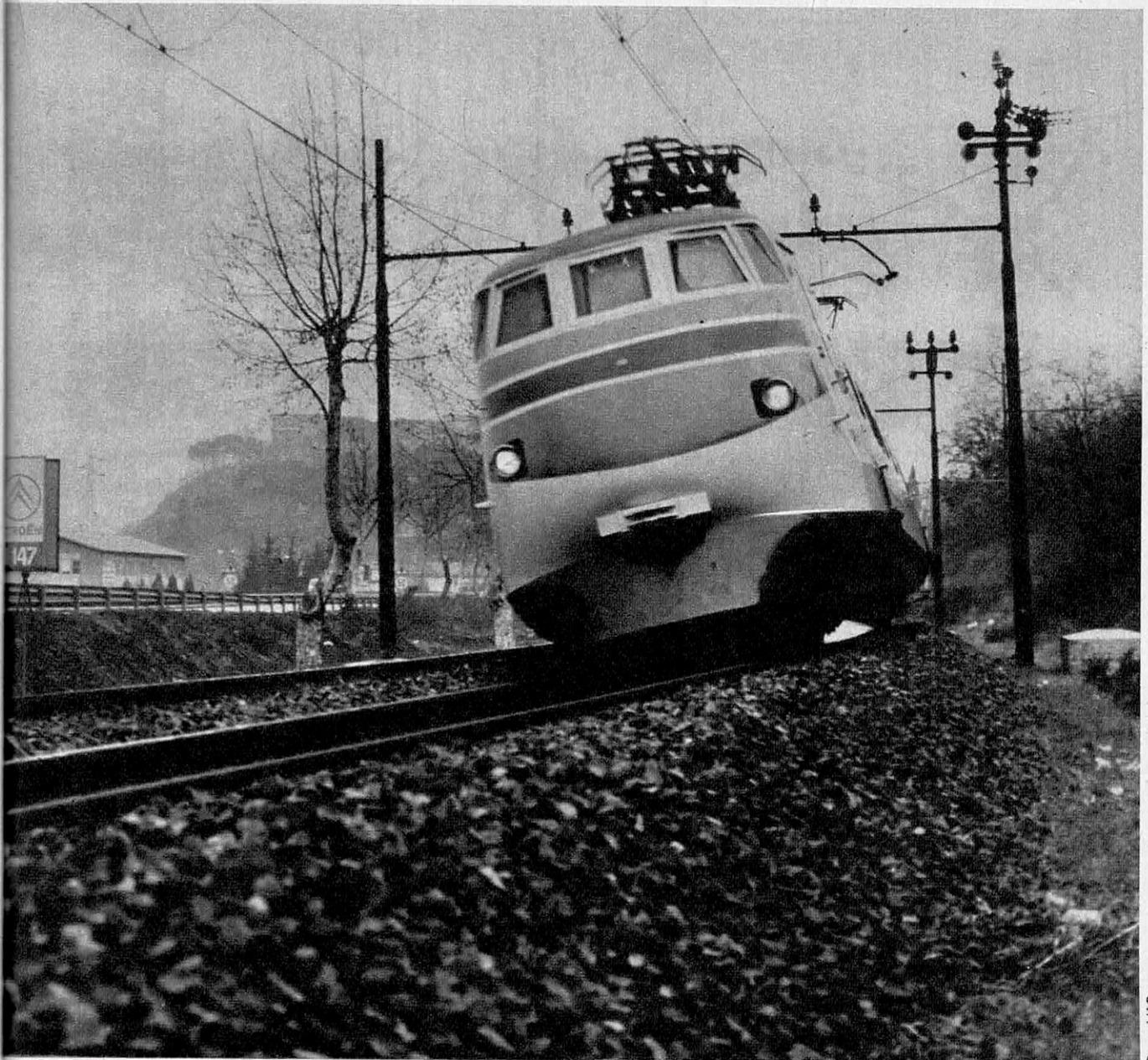
Les problèmes propres aux 300 km/h

On ne passe tout de même pas de 200 à 300 km/h sans que des problèmes, négligeables aux vitesses inférieures, prennent de l'importance. Selon leur nature, ces problèmes ont fait l'objet soit d'études théoriques, soit d'études expérimentales, soit le plus souvent des deux.

Stabilité. A 300 km/h comme à 200 km/h, le matériel roulant doit être conçu de telle sorte qu'il soit très peu agressif pour la voie. La formule automotrice est, de ce point de vue, bonne, puisque la masse par essieu est plus faible. Mais, plus la vitesse est élevée, plus il devient essentiel d'éviter des mouvements d'instabilité latérale du bogie. En cas d'instabilité, en effet, les efforts latéraux au contact roue/rail deviennent importants puisqu'il s'agit d'un phénomène entretenu de type résonant.

La vitesse critique d'un bogie est celle pour laquelle toute impulsion transversale transmise aux bogies par un défaut de voie quelconque dégénère en un mouvement entretenu instable. Le bogie doit être conçu pour que sa vitesse critique soit la plus grande possible. Cette vitesse dépend :

- des caractéristiques de liaison mécanique entre les essieux et le châssis du bogie ;
- du profil des roues ;
- de la raideur longitudinale de la suspension primaire ;
- de la raideur transversale de cette même suspension.



Doc. UIC

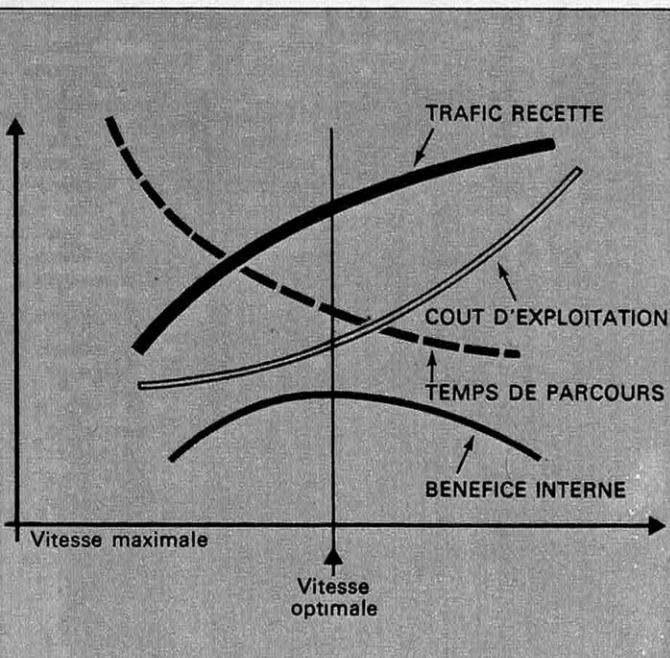
Une automotrice expérimentale italienne : la Y 0160 à caisse basculante. Elle peut rouler à 250 km/h.

On sait calculer la vitesse critique en fonction des valeurs de cette raideur, mais l'usure des roues modifie le profil et les vitesses critiques diminuent. Les expérimentations faites sur le TGV ont permis de recueillir les premières informations sur cette diminution de la vitesse critique. Le recours à des amortisseurs hydrauliques antilacet montés entre bogie et caisse réduit les effets de l'instabilité et retarde son apparition. Pour peu que le couple de réglage de ces amortisseurs soit assez élevé, le parcours avant lequel l'usure devient critique est tout à fait acceptable du point de vue économique.

En ce qui concerne le confort des voyageurs, des études ont été faites pour com-

parer les rames classiques (une voiture reposant sur deux bogies) avec les rames articulées, cas du TGV. Différents modèles mathématiques ont été calculés. Ils ont montré que les deux formules de trains étaient comparables, mais que, aux vitesses envisagées, ce sont les défauts de voie de l'ordre de 20 m de longueur d'onde qui sont les plus sévères.

Aérodynamique. En dehors des essais faits en soufflerie pour déterminer la meilleure aérodynamique à donner au TGV, des études et des expérimentations ont été faites pour étudier les effets de croisement des trains. Les résultats ont montré que l'entraxe de 4,20 m choisi pour les lignes nouvelles était très largement suffisant

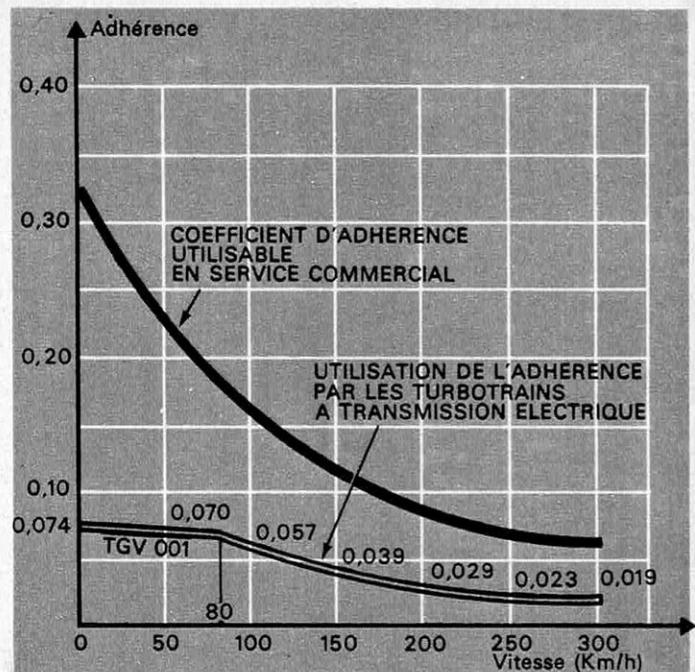


La vitesse coûte cher et l'optimum économique est en deçà de ce que peut la technique.

pour que les effets de souffle lors de croisements à 300 km/h ne soient pas supérieurs à ceux produits par les croisements des trains actuels.

Adhérence. Ce ne sont pas les conditions d'adhérence qui limitent la vitesse praticable en guidage roue-rail. La répartition de l'effort moteur sur plusieurs essieux grâce à la formule automotrice explique qu'il n'y ait eu aucun patinage au cours des essais du TGV qui pourtant a circulé plus de 70 fois à des vitesses supérieures à 300 km/h. Le TGV ne requiert, à la vitesse maximale de 300 km/h, qu'une adhérence d'à peine 2 %. Il ne sera donc pas utile d'avoir, pour le matériel commercial, tous les essieux moteurs.

Freinage. Si pour 200 km/h, on a pu se contenter d'améliorer les moyens de freinage classiques, on a estimé utile pour 300 km/h de munir le train de plusieurs types de frein. D'une part, l'énergie à dissiper augmente. D'autre part, il faut éviter de trop faire appel au freinage par sabot sur les roues pour ne détériorer que le moins possible le profil des roues. Le frein électrique rhéostatique est, sur le TGV 001, le frein essentiel. Il est complété : par des freins à courants de Foucault rotatifs montés sur l'arbre du moteur de traction ; par des freins électromagnétiques de voie et par les freins à sabots classiques qui ne sont appliqués qu'à des vitesses inférieures à 180 km/h (en dehors d'un léger frotte-



L'adhérence est loin de poser un problème pour les automotrices à grande vitesse.

ment au-dessus de cette vitesse pour nettoyer les roues).

Les recherches actuelles portent surtout sur les freins à courants de Foucault linéaires qui, mis à la place de patins électromagnétiques, permettraient sans frottement de meilleurs efforts de freinage. Un nouveau bogie, à l'essai sur une automotrice électrique qui a elle aussi dépassé 300 km/h, est muni de ce type de frein. **Captage du courant.** Pour que le captage soit de bonne qualité, il faut un pantographe dont la masse dynamique soit faible. Ce pantographe doit donc avoir de petites dimensions. Sur les lignes existantes, son développement ne lui permettrait pas de suivre les variations de hauteur de la caténaire (qui sont de l'ordre de 2 mètres). La S.N.C.F. a étudié et expérimenté un pantographe à deux étages. Sur les zones à grande vitesse, et donc les lignes nouvelles, seul le petit pantographe supérieur est en mouvement et il suit les légères variations de hauteur qui existent sur la caténaire. Sur les lignes existantes, c'est le grand pantographe qui absorbe les variations de hauteur.

Environnement. L'augmentation des vitesses et la création de lignes nouvelles soulèvent des problèmes de nuisances acoustiques. Le bruit du roulement des trains (qui couvre le bruit des machines de propulsion quelle qu'en soit la nature dès lors que la vitesse dépasse 150 ou



La vitesse de 200 km/h est quotidiennement pratiquée par Le Capitole (ci-dessus) qui relie Paris à Toulouse, et par l'Aquitaine, entre Paris et Bordeaux. Il est improbable qu'on aille au-delà.

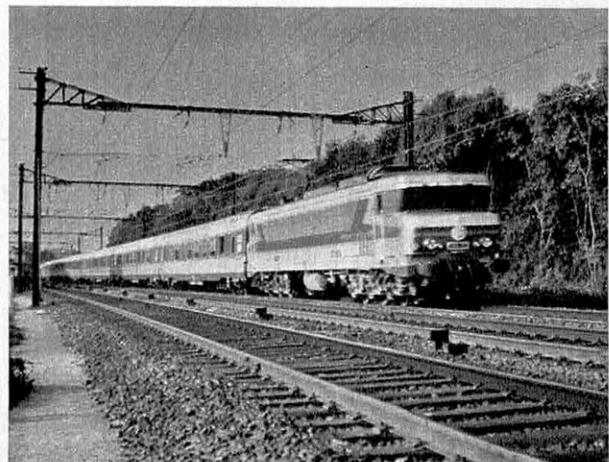
160 km/h) croît avec la vitesse et peut apporter une gêne aux riverains.

Il importe donc de réduire pour les trains rapides le niveau sonore global. Cette réduction est obtenue par la formule TGV à rame articulée. Le nombre d'essieux est en effet plus réduit que dans la formule classique et par là même les sources de bruit. En outre, l'aérodynamique du train facilite la pénétration dans l'air et réduit les turbulences. Au total, le TGV à 300 km/h ne fait pas plus de bruit qu'un train à 200 km/h (de l'ordre de 95 dBA à 25 m).

Si le bruit reste inévitable, la faible emprise au sol d'une voie ferrée (14 m contre 34 m pour une autoroute à 2 fois 3 voies) permet une insertion facile dans le site et un respect du paysage.

Réalisations et projets étrangers

L'accroissement des vitesses est une tendance quasi-universelle, et les réseaux ferroviaires étrangers ont également conduit des travaux de recherche et de développement. Certains d'entre eux ont déjà procédé à des réalisations spectaculaires. *Le Japon.* Dans ce pays le réseau ancien à voie métrique était depuis longtemps saturé sur ses axes les plus chargés. En outre, les performances de vitesse sur un réseau métrique sont modestes (110 à 130 km/h). Aussi les Japonais ont-ils entrepris la construction d'un réseau à écartement normal,



La Vie du Rail

à grande vitesse, spécialisé en trafic de voyageurs. Le réseau comporte : 676 km de lignes en exploitation (Tokyo-Okayama) ; 1 170 km de lignes en construction ; 1 715 km de lignes en projet (mise en service prévue pour 1979) ; soit au total 3 561 km.

Récemment, le gouvernement a déposé un rapport demandant la prise en considération de 12 nouveaux projets de lignes d'une longueur totale de 3 540 km. C'est 7 101 km de lignes à grande vitesse qui pourraient être construits d'ici 1985.

Sur le tronçon en exploitation, la vitesse de circulation des trains est de 210 km/h. Cette vitesse suffisait par rapport au réseau métrique à assurer une réduction de plus de moitié des temps de parcours. Les nouvelles lignes en construction sont tracées

pour une vitesse de 260 km/h. Elles se caractérisent par une proportion de tunnels très élevée, provoquée par la géographie et par la haute densité de population.

Les trains sont des rames automotrices électriques de 16 véhicules, tous moteurs, l'unité technique de base étant constituée de 2 véhicules. Le trafic assuré sur le tronçon en exploitation — et notamment entre Tokyo et Osaka, distantes de 515 km, que les trains rapides relient en 3 h 10 avec 2 arrêts intermédiaires — est à l'échelle des populations de cette zone côtière : le nombre moyen journalier de voyageurs est de l'ordre de 400 000 (500 000 en pointe). *Italie*. Les chemins de fer italiens ont entrepris en 1970 la construction d'une ligne Rome-Florence, la Diretissima, tracée pour 250 km/h. Une première moitié de cette ligne devrait être mise en service en 1975. Elle est électrifiée en courant continu 3 kV, comme tout (ou presque) le réseau italien. Il est prévu de la prolonger ultérieurement vers l'Italie du nord.

Côté matériel, les chemins de fer italiens, qui font circuler en service commercial des trains à 180 km/h, possèdent un parc de quelque 120 locomotives à 4 essieux, série E444, capables d'une vitesse de 200 km/h. Pour les vitesses plus élevées, ils ont également recouru à la formule automotrice, et deux séries d'expérimentations ont lieu :

— une automotrice ALe 601, dont le rapport d'engrenages a simplement été modifié, a atteint en essai la vitesse de 248 km/h. La puissance motrice est de 1 000 kW. A partir de cette automotrice, déjà ancienne (1961) et non conçue pour les très grandes vitesses, les chemins de fer italiens ont défini une rame automotrice à 4 caisses, type ALe 541, spécialement adaptée aux 250 km/h ;

— une automotrice expérimentale Y 0160, de vitesse maximale 250 km/h, puissance 880 kW, a été construite pour expérimenter, outre la grande vitesse, un dispositif d'inclinaison de caisse. La position du pantographe, qui ne doit naturellement pas s'incliner avec la caisse, est commandée par la position des bogies. Cette automotrice est le premier élément d'une rame à 4 caisses en cours de construction. L'intérêt de l'inclinaison de la caisse n'est pas pour la marche à grande vitesse, mais pour la circulation sur des lignes sinuosités où la vitesse limitée, parfois à 100 km/h, pourrait être relevée à 130 km/h. Une démonstration de cette automotrice a été

faite entre Rome et Orte (84 km). Le trajet a été couvert en 36 mn, alors que les trains ordinaires les plus rapides prennent 50 mn. *Allemagne fédérale*. Sur les chemins de fer allemands, la vitesse commerciale des trains est de 160 km/h. Mais, en 1973, a commencé la construction d'un premier tronçon de ligne nouvelle, au sud de Hanovre. En première étape, bien que le tracé de la ligne soit fait pour 300 km/h, il y circulera des trains remorqués à 200 km/h. Les lignes nouvelles seront électrifiées en 15 kV, 16 2/3 Hz, comme l'ensemble du réseau allemand.

Les chemins de fer allemands procèdent actuellement à des essais de vitesse à 250 km/h avec la locomotive électrique E 103 (il en existe 150 unités) sur un tronçon de ligne de 26 km entre Hamm et Bielefeld. L'objectif est de confirmer les conditions de marche en commercial à 200 km/h et d'acquérir des enseignements pour les vitesses plus élevées.

Les Allemands ont également fait construire 3 rames automotrices électriques à 4 caisses ET 403. Sur ces rames très profilées, tous les essieux sont moteurs et la puissance permet des accélérations importantes. La vitesse maximale est limitée à 220 km/h. L'une de ces rames est en service commercial entre Munich et Brême. La seconde va procéder prochainement à des essais.

Pour les vitesses supérieures, qui seront pratiquées ultérieurement lorsque les longueurs de lignes nouvelles seront suffisantes, la formule automotrice sera adoptée.

L'Angleterre. Les chemins de fer britanniques ont fait porter leurs efforts sur la réalisation d'une rame expérimentale, l'*« Advanced passenger train »* (APT) destinée à circuler sur les lignes existantes. La vitesse visée est 250 km/h, soit 50 % de plus que les vitesses usuelles. Comme cette vitesse doit pouvoir être pratiquée sans que soit modifiée la signalisation existante, les performances de freinage doivent être très élevées.

L'APT présente un certain nombre d'originalités :

- son aérodynamique et sa forme particulière ;
- sa caisse inclinable à 9° ;
- des roues élastiques qui ont des insertions de caoutchouc entre le voile de roue et la jante ;
- des freins hydrocinétiques par circula-

tion d'eau dans des « pompes » (ce frein utilise cependant l'adhérence, puisqu'il agit sur les roues, et si sa puissance peut être importante, les efforts restent limités par les risques d'enrayage dans les cas de mauvaises conditions d'adhérence) ;

— la propulsion par 5 turbines à gaz de 224 kW entraînant un alternateur et alimentant des moteurs de traction suspendus par le nez (dans la phase actuelle de réalisation) ;

— sa construction légère.

Les essais de l'APT viennent de commencer sur une voie de 21 km dans le Nottinghamshire. La vitesse maximale atteinte dans la première phase d'essai a été de 200 km/h et les essais doivent se poursuivre à une vitesse supérieure.

En fait, les problèmes de signalisation, de passages à niveau et vraisemblablement de rentabilité économique, réduisent vers 200 km/h les ambitions de vitesse. Les chemins de fer britanniques pensent exploiter l'APT entre Londres et Glasgow, à 200 km/h, concurremment avec des trains remorqués. Compte tenu des courbes et malgré l'inclinaison des caisses, le gain de temps de parcours ne serait que de 15 mn sur 4 h entre Londres et Glasgow si la vitesse maximale était de 250 km/h au lieu de 200.

USA. Si de nombreux réseaux ferroviaires des Etats-Unis ont axé leur développement sur le trafic marchandises, la demande de trafic de voyageurs dans les « corridors » à urbanisation particulièrement dense a augmenté, si bien que le chemin de fer doit de nouveau apporter une contribution importante.

C'est le cas de l'axe Washington-New York-Boston. Des trains rapides, capables de 250 km/h en traction électrique (metroliner) ou à turbines (turbotrains d'United Aircraft) ont été construits ces dernières années. Bien que circulant en exploitation à des vitesses ne dépassant pas 160 km/h (par suite de l'état de la voie), ces trains sont un succès commercial.

Le Département des transports a en cours une étude pour améliorer et renouveler la voie Washington-Boston et pour électrifier la partie New York-Boston, de façon à permettre réellement la vitesse de 250 km/h là où le tracé la rend possible.

Entre Chicago et St-Louis, autre « corridor », ce sont des rames RTG construites en France et semblables à celles de la SNCF qui, depuis septembre 1973, assu-

rent avec succès un service commercial. Ceci malgré des vitesses de pointe limitées à un niveau relativement modeste (130 km/h) par l'infrastructure. Quatre rames supplémentaires, que viennent de commander les U.S.A., renforceront cette contribution au renouveau du transport de voyageurs.

Conclusions

La technique du guidage roue/rail permet des vitesses élevées et la vitesse maximale permise n'est pas encore connue. Les quelque 2 cm de hauteur du boudin d'une roue suffisent à maintenir entre les rails des convois de plusieurs centaines de tonnes. D'ailleurs, quand le guidage est bon, les boudins n'ont pas de contact avec les rails, et les ingénieurs ont su trouver des solutions qui maintiennent un bon guidage jusqu'à des vitesses supérieures à 300 km/h.

Mais il faut, pour atteindre ces vitesses, installer à bord des engins moteurs de puissances élevées car la résistance aérodynamique devient forte. Il faut aussi prévoir des dispositifs de freinage performants, si possible sans contact frottant (freins à courants de Foucault ou freins électriques rotatifs) et recourir à des formes aérodynamiques évoluées, comme le TGV 001 de la S.N.C.F.

Mais il faut encore que le tracé de la ligne soit tel que les efforts dans les courbes soient supportables par la voie et par le voyageur. Les courbes doivent être de grand rayon, ce qui impose une infrastructure nouvelle. L'impératif de créer une signalisation adaptée au 300 km/h, et finalement d'accroître, en même temps que les vitesses, les capacités de transport (puisque la vitesse attire le client) conduit aussi à la construction d'infrastructures nouvelles, spécialisée en trafic rapide et compatible techniquement avec l'ensemble du réseau.

Ce sont en fait des considérations économiques qui dictent les limites du système à construire. Au-delà d'une certaine vitesse, les rentabilités décroissent, car les coûts augmentent plus vite que le trafic. A grande vitesse, il importe que les composants techniques, voie, matériel moteur, signalisation, soient étudiés pour des performances homogènes, tant le coût de ces composants croît avec la performance souhaitée. D'où l'importance de bien définir la vitesse optimale.

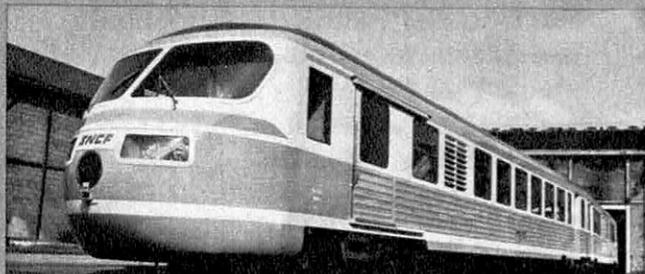
LES TRAINS A TURBINE

Les premières utilisations de la turbine en traction ferroviaire sont à peu près contemporaines de son introduction dans l'aviation. Ce fut en fait un premier âge de la turbine, très vite concurrencée par les progrès du diesel. Depuis quelques années, en particulier en France, on assiste au deuxième âge de la turbine pour la traction des trains.

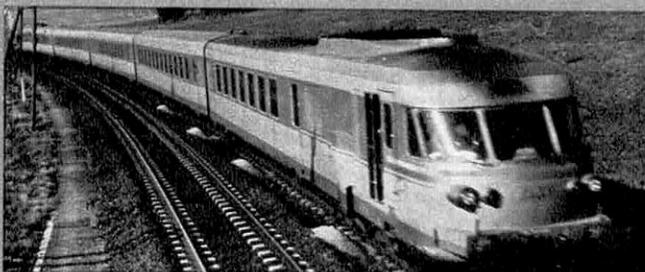
La turbine à gaz ayant révolutionné l'aviation militaire d'abord et civile ensuite, il était tentant d'en étendre l'utilisation aux autres moyens de transport et en particulier aux Chemins de fer.

Par ordre chronologique, on peut rappeler les applications suivantes en traction ferroviaire, après 1940 :

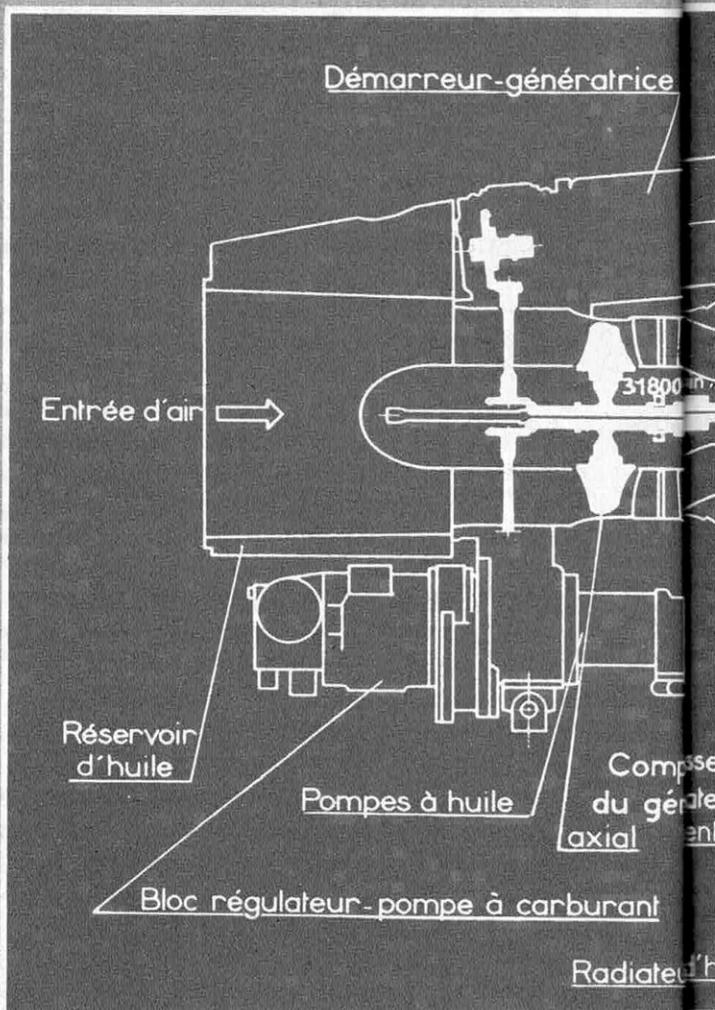
- une locomotive Brown-Boveri, type 1 ABA 1, de 1 620 kW mise en service en 1941 sur les Chemins de fer fédéraux suisses entre Bâle et Lucerne, qui a été essayée en 1946 entre Chaumont et Bâle et retirée de la circulation en 1959 ;
- une locomotive ALCO, type BBBB, de 3 300 kW mise en service en 1949, suivie de 25 locomotives identiques de 1952 à 1954, sur l'Union Pacific. A notre connaissance, elles furent toutes réformées en 1963 ;
- une locomotive Brown-Boveri, type 1A1-1A1, de 1 840 kW sur la région ouest des chemins de fer britanniques dès 1950 ;
- une locomotive Baldwin - Westinghouse, type BBB, de 2 950 kW mise en essai en 1950 ;
- une locomotive Metropolitain-Vickers, type CC, de 2 570 kW mise en essai en 1951 par les Chemins de fer britanniques ;
- 30 locomotives de 6 250 kW mises en service en 1959 par l'Union Pacific dans

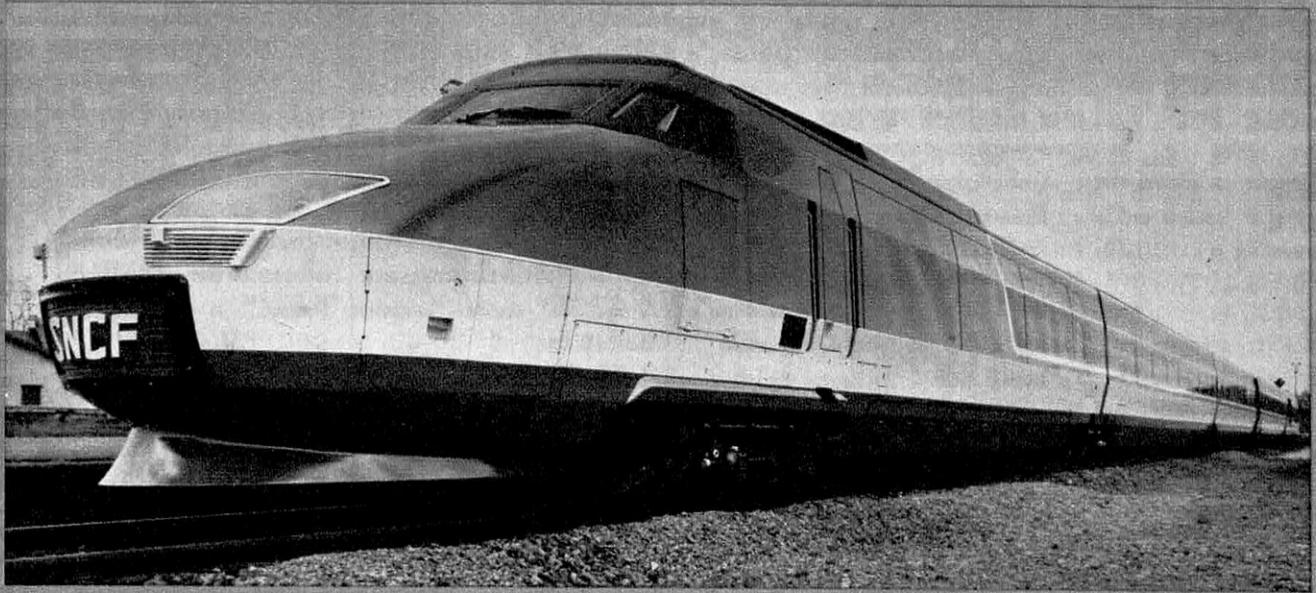


Rame ETG.

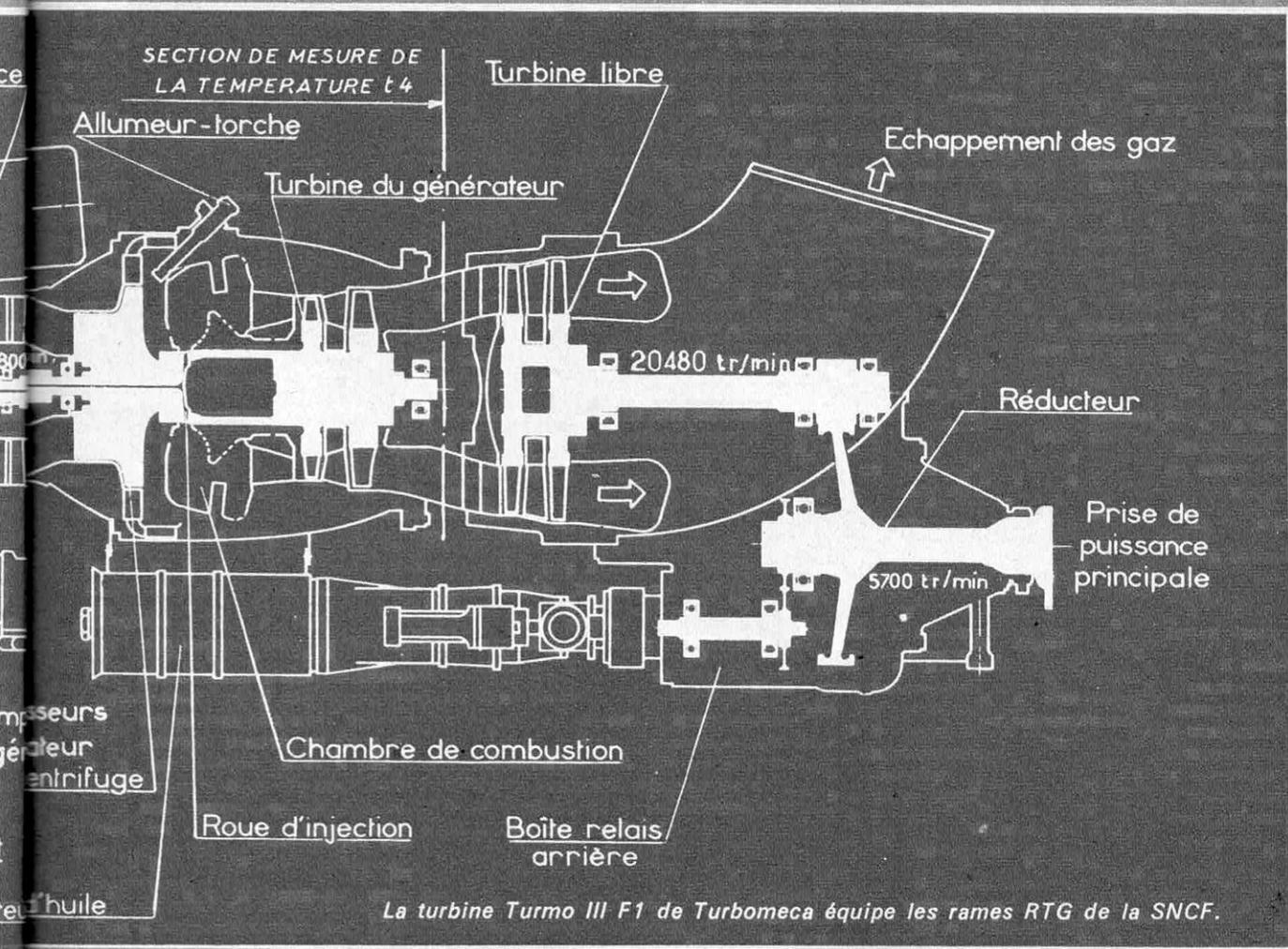


Rame RTG.





Turbotrain prototype TGV 001



les Montagnes Rocheuses et retirées de la circulation en 1970.

Les turbines à gaz permirent d'installer des puissances élevées, atteignant 6 250 kW en 1959, ce qui était impossible avec des moteurs diesel. Mais à partir de 1963, grâce aux progrès de la suralimentation, une locomotive diesel de plus de 3 000 kW devenait possible. A cette date, la SNCF mettait en service deux locomotives type BB de 3 500 kW pesant 80 tonnes.

Dès lors, les locomotives à turbine à gaz telles qu'elles étaient conçues devenaient sans intérêt. Les turbines à gaz, du type à turbine liée, étaient trop lourdes et avaient un rendement très faible. Les locomotives avaient peu de souplesse dans l'exploitation et étaient surtout aptes à parcourir de grandes distances sans arrêt en climat tempéré et froid pour une charge aussi constante que possible et proche de la pleine charge.

Les raisons de la turbine à gaz

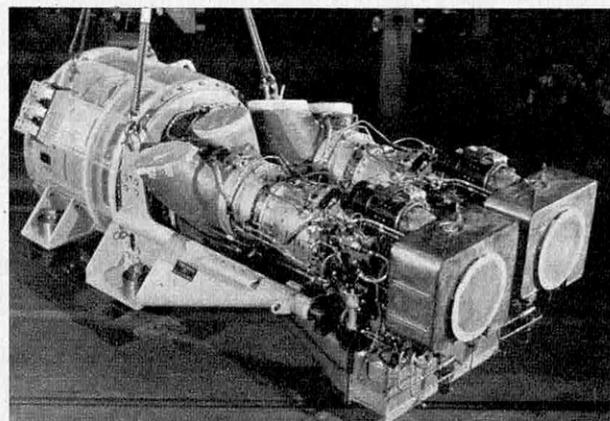
En 1966, la SNCF reprit l'idée d'utiliser la turbine à gaz pour la traction ferroviaire. Les deux raisons de cette reprise étaient essentiellement, d'une part la nécessité d'atteindre de plus grandes vitesses sur l'infrastructure existante et en particulier sur les lignes non électrifiées, ce qui exige une puissance massique élevée ; d'autre part, la possibilité récente de disposer de turbines à gaz aéronautiques à turbine libre, construites en série et bien éprouvées.

Un problème restait à résoudre. Pour accéder aux grandes vitesses, faut-il choisir une locomotive ou un élément automoteur ?

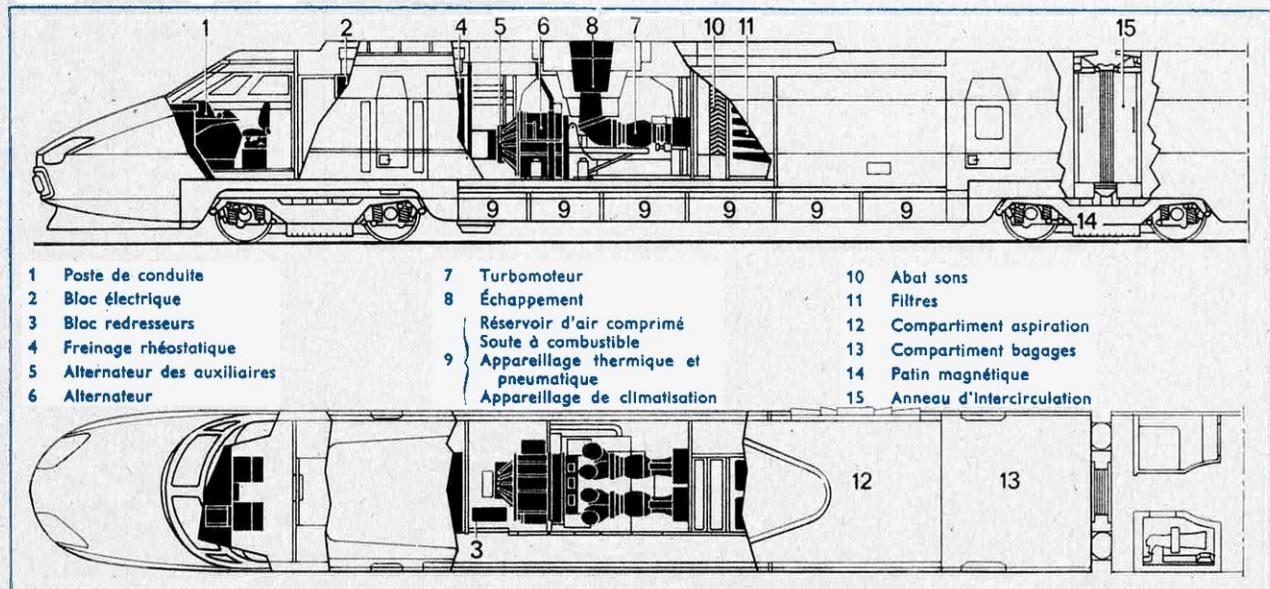
La locomotive avec moteur diesel peut être puissante, mais généralement sa charge par essieu atteint le maximum que permettent les voies pour les vitesses maximales autorisées. Une turbine à gaz de même puissance rend possible une réduction de la charge par essieu. Elle rend aussi possible la réduction de gabarit, donc une réduction de la puissance installée, mais cela serait sans effet si la locomotive devait tirer des voitures de plus grand gabarit. Dans ces conditions, l'inconvénient de la consommation spécifique élevée de combustible apparaîtrait intégralement dans le bilan économique.

L'élément automoteur paraît préférable. L'élément automoteur choisi à l'origine (X 4300) avec moteur diesel, a déjà une charge par essieu qui lui permettrait de rouler au-delà de la vitesse limite de la voie si la puissance installée était suffisante.

La turbine à gaz, du fait de sa légèreté et de sa compacité, permet dans le même emplacement, donc en conservant le gabarit réduit, de loger aisément la puissance nécessaire à l'accroissement des vitesses. La



Le groupe bi-Turmo III G équipe le TGV 001.



solution avec turbine à gaz est donc actuellement sans équivalent.

Le choix d'une turbine à gaz aéronautique de série permet en outre de disposer du potentiel mis en place par le développement des machines en ce qui concerne à la fois les études et la production industrielle, et de bénéficier de l'expérience acquise et de la fiabilité élevée exigée en service aérien.

Une machine à turbine libre est capable de fournir un couple à vitesse nulle du fait de l'indépendance du générateur de gaz et de la turbine libre. En effet, cette turbine libre étant arrêtée et freinée, rien n'empêche de lancer le générateur de gaz et d'engendrer ainsi un couple moteur utilisable.

Les turbotrains ETG

Le turbomoteur Turmo III de la Société Turbomeca, déjà développé en version D3 pour les avions Bréguet 941 et en version C3 pour les hélicoptères Sud Aviation « Super Frelon » et SA 321 F, répondait le mieux à la réalisation du projet. L'expérimentation au Centre d'essais des propulseurs de Saclay porta sur la marche au combustible diesel (choisi tant pour des raisons économiques que du point de vue de la sécurité), sur les dispositifs d'aspiration et d'échappement, sur le circuit d'alimentation en combustible et sur les appareillages de commande.

Les essais en ligne se réalisèrent à l'origine sur un élément automoteur à deux caisses déjà équipé à une extrémité d'un moteur diesel de 330 kW. La remorque de cet élément est devenue une motrice à turbine à gaz. Le fait de disposer du moteur diesel permettrait de simplifier considérablement la transmission entre la turbine à gaz et les essieux puisque la turbine pouvait n'être utilisée que dans une gamme de vitesse favorable.

L'adjonction d'un convertisseur hydraulique à la transmission admettait la traction intégrale par turbine, c'est-à-dire l'utilisation

de la turbine dès le démarrage.

Les résultats favorables de la rame expérimentale aboutirent à la construction de 10 rames commerciales, les turbotrains ETG.

La vitesse maximale possible des rames est de 180 km/h. Elle a été limitée à 160 km/h sur la ligne Paris-Caen-Cherbourg pour tenir compte de la signalisation existante. Remarquons que cette vitesse est limitée à 140 km/h pour les autres trains de la même ligne.

Chaque turbotrain ETG se compose d'une façon indéformable de quatre caisses, c'est-à-dire d'une motrice à turbines à gaz de 820 kW, d'une motrice à moteur diesel de 330 kW et de deux remorques dont l'une comprend un compartiment libre-service. Les 188 sièges offerts se répartissent en 56 de 1^{re} classe et 132 de seconde classe.

La construction est très classique, les caisses sont en acier et résistent sans déformations permanentes à un effort de compression de 150 tonnes appliqué au droit des organes de tamponnement et à une charge verticale de 265 kg par mètre carré de plancher.

Les bogies sont, dans leurs principes, conformes aux bogies d'autorails traditionnels de la SNCF. Toutefois, l'empattement a été porté à 2,800 mètres.

Le freinage a été, par contre, sérieusement modifié pour être adapté à des vitesses plus élevées ; l'équipement comporte 1 bloc frein par roue avec une semelle composite de chaque côté de la roue, 2 patins électromagnétiques par bogie, 1 dispositif d'antienrayage, à détection électronique, par essieu.

La première rame a été mise en service le 20 novembre 1969 et dès le service d'hiver 1970, les 10 rames assuraient 13 à 15 relations quotidiennes Paris-Caen dans chaque sens, dont 6 étaient prolongées jusqu'à Cherbourg.

Le trajet Paris-Caen sans arrêt est effectué en 1h49 soit 131,5 km/h de moyenne.



Turbine première manière : locomotive de l'Union Pacific, aux USA (1959)

La réponse de la clientèle a dépassé tous les espoirs puisqu'en 1970, le trafic voyageurs sur la ligne a augmenté de 25 % en moyenne par rapport à l'année 1969 et que depuis, l'accroissement de trafic a continué à progresser au moins à la même vitesse que celui moyen de la SNCF. Pour cette raison il a été nécessaire dès la fin mai 1972 de porter le parc des turbotrains ETG à 14 rames.

Les turbotrains RTG

Devant le succès des turbotrains ETG sur la ligne Paris-Caen-Cherbourg, il apparaît souhaitable d'en faire bénéficier d'autres lignes non électrifiées de la SNCF. Après une étude minutieuse des besoins, il fut cependant décidé de créer une nouvelle série, les turbotrains RTG.

Les principales améliorations sont les suivantes :

- la capacité est portée à 280 voyageurs ;
- le confort est meilleur du fait de l'installation du conditionnement d'air en première et en seconde classe ;
- les performances sont plus élevées, mais, pour les mêmes raisons que précédemment, la vitesse maximale en service est limitée à 160 km/h.

Au point de vue technique, la différence essentielle est l'absence de moteur diesel.

Chaque rame se compose de deux motrices à turbine encadrant trois remorques. Dans le compartiment moteur de chaque motrice, un turbomoteur Turmo III F1 de 820 kW produit l'effort nécessaire à la traction, comme dans le turbotrain ETG, et un groupe électrogène de 290 kW fournit l'énergie utile au conditionnement d'air, au chauffage, à l'éclairage, à la cuisine et aux autres auxiliaires.

Pour le groupe électrogène, il fut choisi un Astazou IV A à turbine liée, dérivé d'une machine aéronautique Astazou III, également construite par Turbomeca. Le grand intérêt de cette solution réside dans la légèreté et le faible encombrement du groupe auxiliaire qui peut se loger dans le compartiment moteur sans réduire les volumes utilisables pour le service commercial et sans que l'alourdissement de la charge par essieu ne devienne une cause de réduction de la vitesse limite de circulation.

Les remorques sont de trois types différents ; une remorque de première classe de 60 places, une remorque de deuxième

classe de 80 places et une remorque mixte, deuxième classe (44 places) et grill-bar.

Les bogies sont d'un type nouveau. En particulier la gîte des caisses est faible pour faciliter la circulation à vitesse élevée dans les courbes. La possibilité d'installer un dispositif d'inclinaison des caisses à 4° a été réservée en vue d'un montage ultérieur. Les moyens de freinage ont été accrus par rapport aux turbotrains ETG, compte tenu de l'augmentation du poids de la rame. Les bogies moteurs comportent une semelle par roue, des patins électromagnétiques et le freinage hydraulique sur la transmission.

Les bogies porteurs reçoivent également une semelle par roue et des patins électromagnétiques, mais des freins à disque y ont été ajoutés.

Le premier service commercial débute en février 1973 entre Lyon et Mulhouse. Puis Lyon-Strasbourg bénéficie de 5 à 6 allers et retours quotidiens en fin septembre 1973, Lyon-Nantes de 4 à 6 allers et retours quotidiens le 16 décembre 1973, et Lyon-Bordeaux de 2 à 4 allers et retours quotidiens le 25 mai 1974.

Au 1^{er} juin 1974, 16 rames sont en service et ont parcouru au total 3 100 000 km.

Le parcours moyen mensuel de chaque rame est de 28 000 km environ. 23 rames en commande, renforceront, dès leur livraison, le service des lignes existantes ou entreront en service sur de nouvelles lignes telles que Lyon-Grenoble.

Les ensembles moteurs

Le Turmo III F n'a qu'un compresseur axial et un compresseur centrifuge. Sa puissance a été limitée à 820 kW pour ne pas dépasser une température de 840 °C à l'entrée du premier étage de la turbine du générateur de gaz et augmenter ainsi les potentiels entre révisions. Le réducteur de vitesse de la turbine libre a été renforcé pour tenir compte de l'utilisation ferroviaire.

Au cours du lancement du générateur de gaz par une dynamo démarreur, l'allumage de la chambre de combustion s'effectue par deux allumeurs torches alimentés par du combustible sans paraffine, équivalent du kérosène, la roue d'injection recevant également ce combustible. Dès l'obtention de la vitesse d'autonomie du générateur de gaz, seule la roue d'injection reçoit du gaz-oil utilisé par ailleurs pour tous les moteurs diesel et présentant plus de sécurité. L'ac-

célération se poursuit jusqu'au régime de ralenti stabilisé, c'est-à-dire à 22 000 tr/mn environ.

La transmission hydraulique Voith comprend un convertisseur, un coupleur, un inverseur de marche et, pour les RTG, un frein hydrodynamique. La boîte est liée au turbomoteur par un arbre à flectors ou un arbre à cardans. Le refroidissement de l'huile de la boîte est assuré par un échangeur huile-air et son ventilateur à vitesse régulée par la température de l'huile.

L'Astazou IV A est une turbine à gaz à un seul arbre, formant, avec un alternateur, un groupe électrogène de 290 kW destiné aux servitudes du turbotrain RTG. Il tourne à vitesse constante de 43 155 tr/mn, consomme 400 g/kWh à la puissance maximale et pèse 285 kg pour un encombrement de 1 323 x 630 x 677 mm.

La captation de l'air sur la face latérale de la caisse s'effectue par une écope munie d'un abat-son. Ce principe réduit sensiblement la perte de charge et le bruit d'aspiration. L'air comburant traverse une chambre de tranquillisation puis passe avant de pénétrer dans les turbomachines dans des filtres à air plans ayant un seuil de filtration de 5 à 10 microns.

L'évolution des turbomachines n'est pas achevée en ce qui concerne l'utilisation du combustible diesel. Le but est de s'affranchir de l'utilisation du carburant léger encore nécessaire pour amorcer la combustion, en évitant toute sujexion au cours des hivers les plus froids.

Pour la réalisation de ses projets en cours, la SNCF a demandé à la Société Turbomeca de développer un nouveau turbomoteur de 1 200 kW, à peu près de même calibre que le Turmo III F, et qui profite de toute l'expérience ferroviaire et aéronautique de ce moteur.

La différence essentielle par rapport au Turmo III F est l'adjonction d'un étage axial au compresseur, qui a pour conséquence importante la réduction de la consommation spécifique de 17 % à la puissance nominale sans augmentation sensible de la masse (400 kg environ) et en conservant pratiquement le même encombrement.

Le Turmo XII sera une des premières turbines à gaz industrielles dérivant de l'aéronautique sans en avoir la destination.

Le TGV 001

Avant de commencer la construction de lignes nouvelles avec infrastructure adap-

tée aux vitesses comprises entre 250 et 300 km/h et ayant des courbes de très grand rayon, la SNCF a fait construire un turbotrain expérimental à très grande vitesse dit « Turbotrain TGV ». Celui-ci a été mis aux essais dès avril 1972.

Ce matériel présente, par rapport aux réalisations antérieures, deux différences essentielles ; d'une part, l'adoption de formes extérieures d'un aérodynamisme plus poussé, d'autre part le choix d'une transmission électrique.

Le turbotrain TGV 001 se compose de deux motrices encadrant trois remorques. La remorque centrale est aménagée en voiture d'essais, les deux autres ont reçu un équipement complet, l'une de première classe, l'autre de seconde classe.

L'architecture de la rame est celle d'une rame articulée et non d'un matériel classique où chaque caisse repose sur 2 bogies. Cette solution permet d'abaisser le plancher des véhicules de 0,30 m et, à confort égal, la hauteur totale de la rame, donc de diminuer la résistance à l'avancement cependant que le centre de gravité occupe une position favorable à la stabilité.

Ces avantages ne sont cependant pas obtenus sans contrepartie puisque la liaison mécanique entre deux caisses est plus compliquée et que le retrait d'un véhicule d'une rame devient une opération plus délicate.

Le groupe bi-Turmo III G se compose de deux turbines entraînant par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse un groupe alternateur fournissant le courant de traction et le courant auxiliaire.

Les Turmo III G sont identiques aux Turmo III F des turbotrains ETG et RTG en ce qui concerne la machine nue. Ils diffèrent par certaines dispositions relatives aux auxiliaires, aux tuyères de sortie des gaz d'échappement, aux éléments de fixation, et par la puissance portée à 940 kW. On retrouve ici un avantage résultant de la compacité des turbines qui permet de monter deux turbomoteurs côté à côté dans le gabarit ferroviaire.

Le réducteur commun abaisse la vitesse de sortie des turbines (5 700 tr/mn) à 4 000 tr/mn.

Le groupe bi-Turmo est supporté par 4 plots élastiques, deux sous le réducteur et deux sous l'alternateur. La masse de l'ensemble en ordre de marche est de 5 150 kg.

Les turbomoteurs sont lancés l'un après

l'autre. Le démarrage de chaque turbomoteur, entièrement automatisé, s'effectue d'abord comme sur les Turmo III F jusqu'à la vitesse de ralenti du générateur de gaz, puis après mise en service progressive de la régulation, jusqu'à l'obtention ou le rattrapage de la vitesse nominale de l'alternateur.

La commande de puissance s'effectue par simple affichage du courant d'excitation de l'alternateur de traction par la position du manipulateur.

Le freinage de la rame est assuré par quatre types d'équipements :

- rhéostatique ;
- à courant de Foucault (rotatif) ;
- oléopneumatique à sabots, utilisé pour les freinages d'appoint et d'arrêt ;
- magnétique, utilisé pour les freinages d'urgence seulement.

En outre, un frein d'immobilisation maintient la rame à l'arrêt.

Signalons qu'au 1^{er} juillet 1974, le turbo-train TGV 001 a parcouru près de 200 000 km dont 15 000 km à plus de 260 km/h et 87 marches à plus de 300 km/h. La vitesse maximale (318 km/h) a été atteinte le 8 décembre 1972.

Expériences à l'étranger

Allemagne. La Deutsche Bundesbahn expérimente, depuis 1965, une locomotive 219001 prototype, dérivée de la locomotive série 216, sur laquelle a été ajoutée une turbine à gaz. Une transmission hydraulique à deux convertisseurs reçoit, d'un côté, la puissance d'un moteur diesel de 1 590 kW à 1 600 tr/mn et de l'autre côté la puissance d'un turbomoteur de 660 kW.

La turbine à gaz sert d'appoint de puissance lors des accélérations et des parcours difficiles. Elle n'est ainsi utilisée qu'à sa puissance maximale, donc dans une zone de consommation spécifique favorable. La locomotive type 216 a ainsi une puissance supérieure à 2 300 kW et une caractéristique de puissance se rapprochant de celle des locomotives électriques.

La Deutsche Bundesbahn, ayant jugé l'expérience satisfaisante, a mis en service en 1971 huit locomotives turbo-diesel, type 210, construites sur le même principe que la 219001. La puissance du moteur diesel est portée à 2 500 ch, celle de la turbine à gaz à 1 200 ch.

La Deutsche Bundesbahn expérimente

un élément automoteur. Elle procède pour cela à la transformation de rames TEE désaffectées et constituées de cinq remorques encadrées par 2 motrices type 601. Un moteur diesel de 810 kW avec sa transmission hydraulique et un groupe auxiliaire de 220 kW équipent chaque motrice.

Le groupe de puissance a été remplacé par un turbomoteur Lycoming TF 35 de 1 840 kW, à turbine libre et une transmission à convertisseur de couple.

L'élément automoteur, avec une motrice diesel et une motrice turbine a ainsi une puissance de traction de 2 650 kW ; il est destiné aux relations intervilles.

Des essais ont été effectués avec une rame ayant deux motrices à turbine.

Grande-Bretagne. L'APT (Advanced Passenger Train), l'élément automoteur britannique, mis en ligne en 1972 avec un programme d'essais de 3 ans, se compose de 4 voitures articulées. Dans chacune des deux motrices, quatre groupes turbo-alternateurs de 224 kW produisent la puissance pour la traction, cependant qu'un cinquième groupe fournit l'énergie nécessaire aux auxiliaires.

Les échangeurs de chaleur montés à l'origine sur la turbine à gaz ont été abandonnés à cause des avaries fréquentes. La turbine aéronautique, à turbine libre, d'une puissance à peu près égale à celle de quatre turbines, qui avait été rejetée à l'origine à cause de son prix trop élevé, semblerait une solution maintenant préférée.

Amérique. La firme United Aircraft, aux Etats-Unis, a construit deux rames à trois véhicules pour le « Department of Transportation » des USA et cinq rames de sept véhicules pour le Canadian National.

Chaque rame est propulsée par 4 turbomoteurs de 380 kW, la transmission étant mécanique, et un cinquième turbomoteur accouplé à une génératrice fournit l'électricité nécessaire au train.

L'une des rames à trois caisses a atteint la vitesse de 270 km/h en 1968.

Ces rames durent être retirées du service par deux fois pour y subir un vaste programme de modifications, dont certaines découlent des rigueurs de l'hiver canadien.

La dernière remise en service commercial date de la fin de l'année 1973 et 3 rames de neuf caisses sont en service entre Montréal et Toronto et une rame entre New York et Boston.

Félicien Duflot

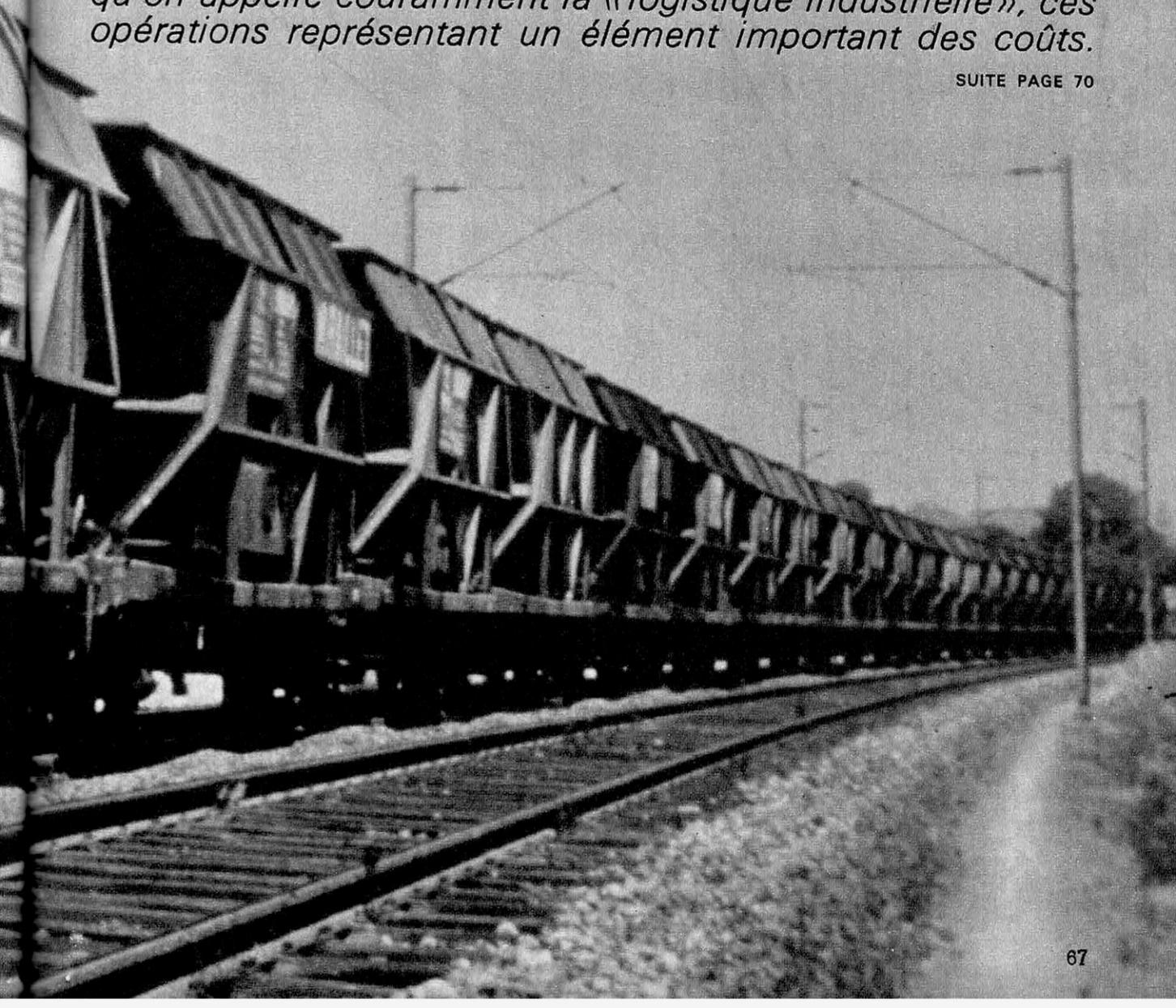


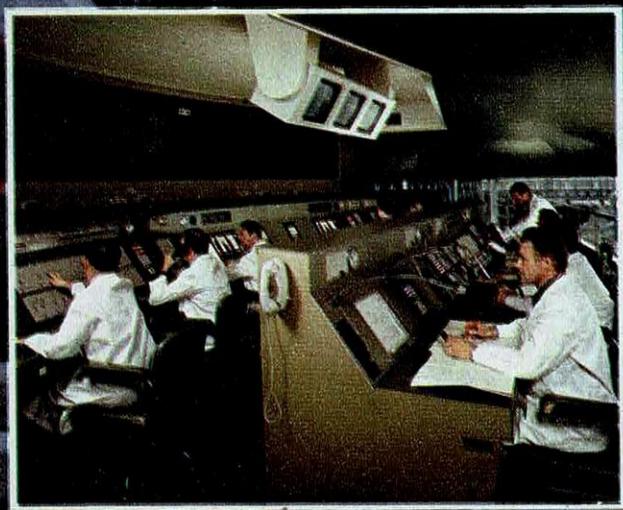
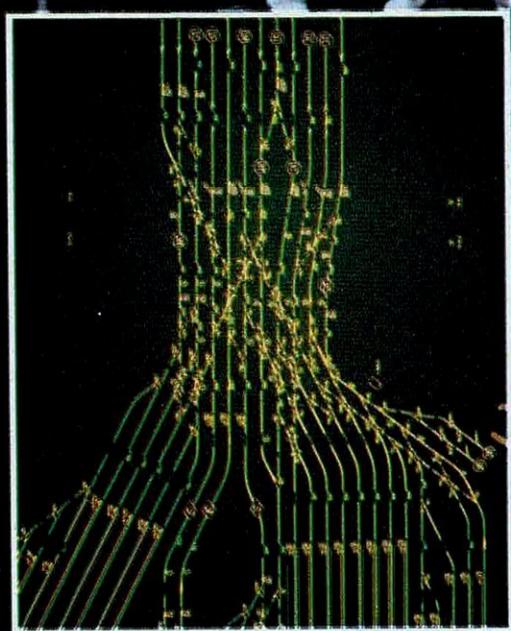
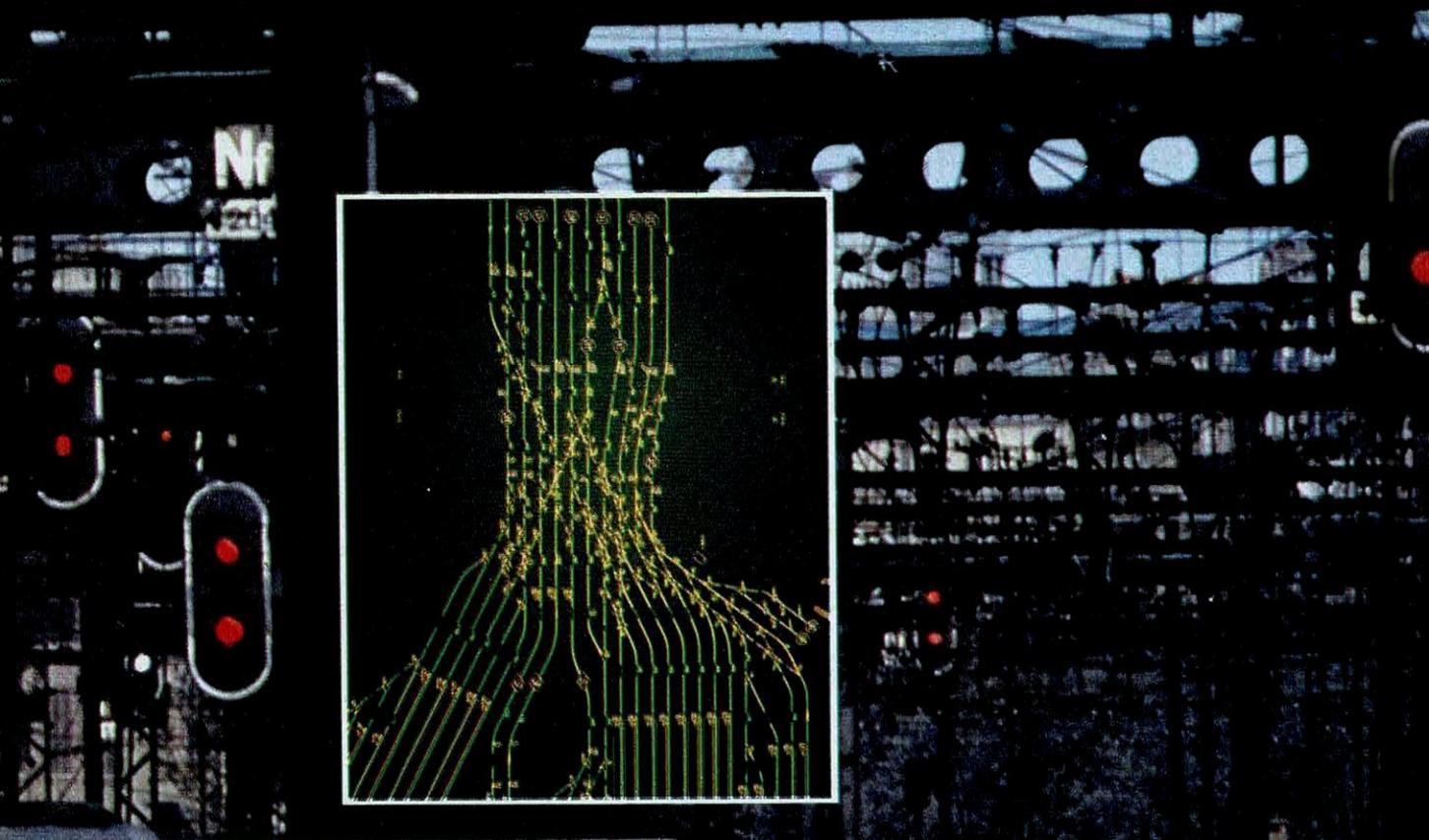
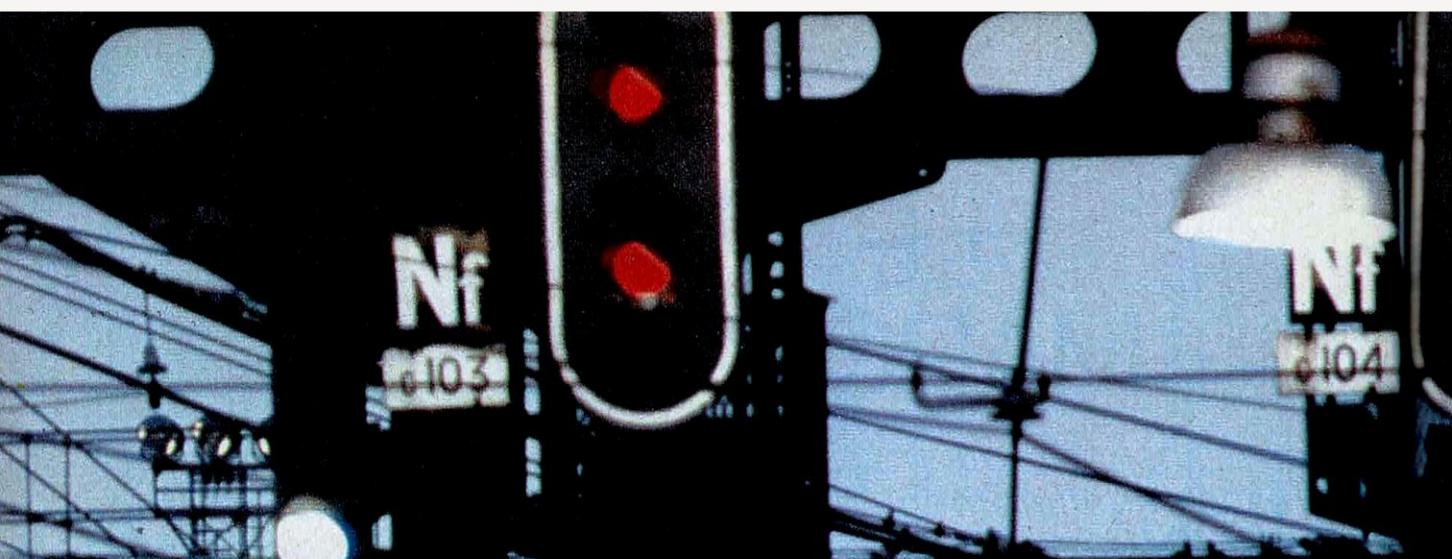


LE TRAFIC MARCHANDISES

Les transports de marchandises par voie ferrée ont progressé régulièrement dans les dernières années, passant entre 1971 et 1973 de 67 à près de 74 milliards de tonnes-kilomètres; mais cette augmentation globale ne suffit pas, à elle seule, à caractériser l'évolution du trafic. En effet, les entreprises modernes sont de plus en plus appelées à se pencher sur l'ensemble des opérations de manutention, de stockage, d'emballage et de transport, qui constituent ce qu'on appelle couramment la «logistique industrielle», ces opérations représentant un élément important des coûts.

SUITE PAGE 70







Des installations modernes répondent à la complexité des aiguillages et des signaux. En encart, un tableau de contrôle optique, représentation du plan des voies, et le poste d'aiguillage PRS de Paris-St Lazare.

Le transporteur est donc de plus en plus amené à ne plus considérer son activité de façon indépendante, mais comme partie intégrante d'une organisation qui conduit de la sortie du poste de fabrication jusqu'à l'utilisateur, celui-ci pouvant, suivant le cas, faire subir une nouvelle élaboration au produit reçu ou le distribuer aux consommateurs. Il s'agit donc à la fois d'adapter le matériel roulant à la nature des produits ainsi qu'à leurs techniques de manutention, d'assurer leur transport non seulement « porte à porte », mais depuis l'intérieur de l'usine jusqu'au poste de consommation, et de réduire dans toute la mesure du possible le délai de transport.

Le matériel roulant servant au transport des marchandises a longtemps été constitué de wagons de trois grandes catégories (couverts, tombereaux et plats) en général à deux essieux, dont les séries successives ne se différenciaient, au cours des années, que par des détails et par une tendance à l'accroissement des dimensions et des charges unitaires. Ces wagons de type courant représentaient encore, au lendemain de la dernière guerre, quelque 90 % du parc de la S.N.C.F.

Mais, depuis une vingtaine d'années, on a pu assister à une différenciation et une spécialisation croissante des wagons en fonction de la nature des marchandises et de leurs techniques de manutention ou de conditionnement, de telle sorte que les wagons classiques ne représentent maintenant guère plus de 55 % du parc total.

Des matériaux très évolués

Ce développement s'est effectué soit à la diligence de propriétaires particuliers, notamment pour le matériel très spécialisé, soit dans le cadre du renouvellement du matériel du réseau, lorsqu'il s'agit de wagons susceptibles d'une certaine banalisation.

Il serait fastidieux d'en décrire les multiples catégories, mais on peut cependant signaler quelques-unes des principales familles couramment rencontrées :

- wagons pour denrées alimentaires acheminées sous régime du froid, en général réfrigérés par de la glace, hydrique ou carbonique, mais de plus en plus équipés d'une machinerie frigorifique autonome pour produire les basses températures nécessaires aux produits surgelés ;
- wagons citernes ou réservoirs qui s'adaptent aux produits les plus variés :

alimentaires (vins, huile, etc.) ; pétroliers et chimiques, non seulement sous forme de liquides ordinaires, mais aussi de gaz comprimés ou liquéfiés sous pression (on peut avoir une idée de la souplesse des moyens offerts par la technique ferroviaire en pensant qu'il existe aussi bien des wagons cryogéniques pour l'azote ou l'oxygène liquide, aux environs de — 200°, que des wagons-poches acheminant jusqu'à 150 t de fonte liquide à 1 400° entre usines distantes d'une centaine de kilomètres) ; — wagons spécialisés pour marchandises telles que les demi-produits sidérurgiques, plus spécialement les tôles en rouleaux (dont le trafic a plus que doublé dans les cinq dernières années), les tubes pour oléo-ou gazoducs, les voitures automobiles (en wagons à étages), etc. ;

— wagons facilitant les manutentions de produits divers, soit au moyen d'engins de levage (wagons à toit ouvrant), soit par chariots élévateurs pour les marchandises palettisées ou fardelées (wagons à parois coulissantes ou à bâchage mécanique), soit, pour les produits en vrac, par gravité (wagons trémies).

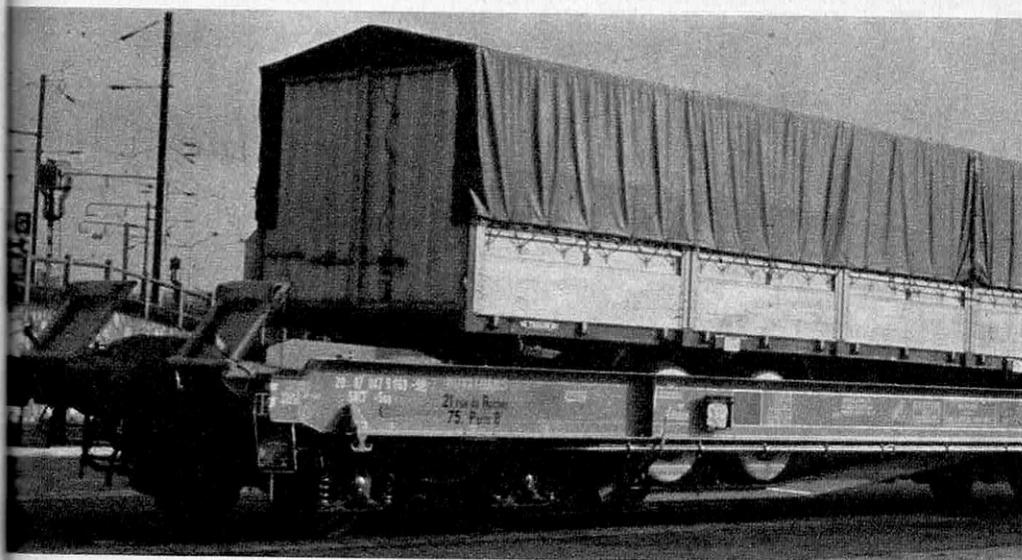
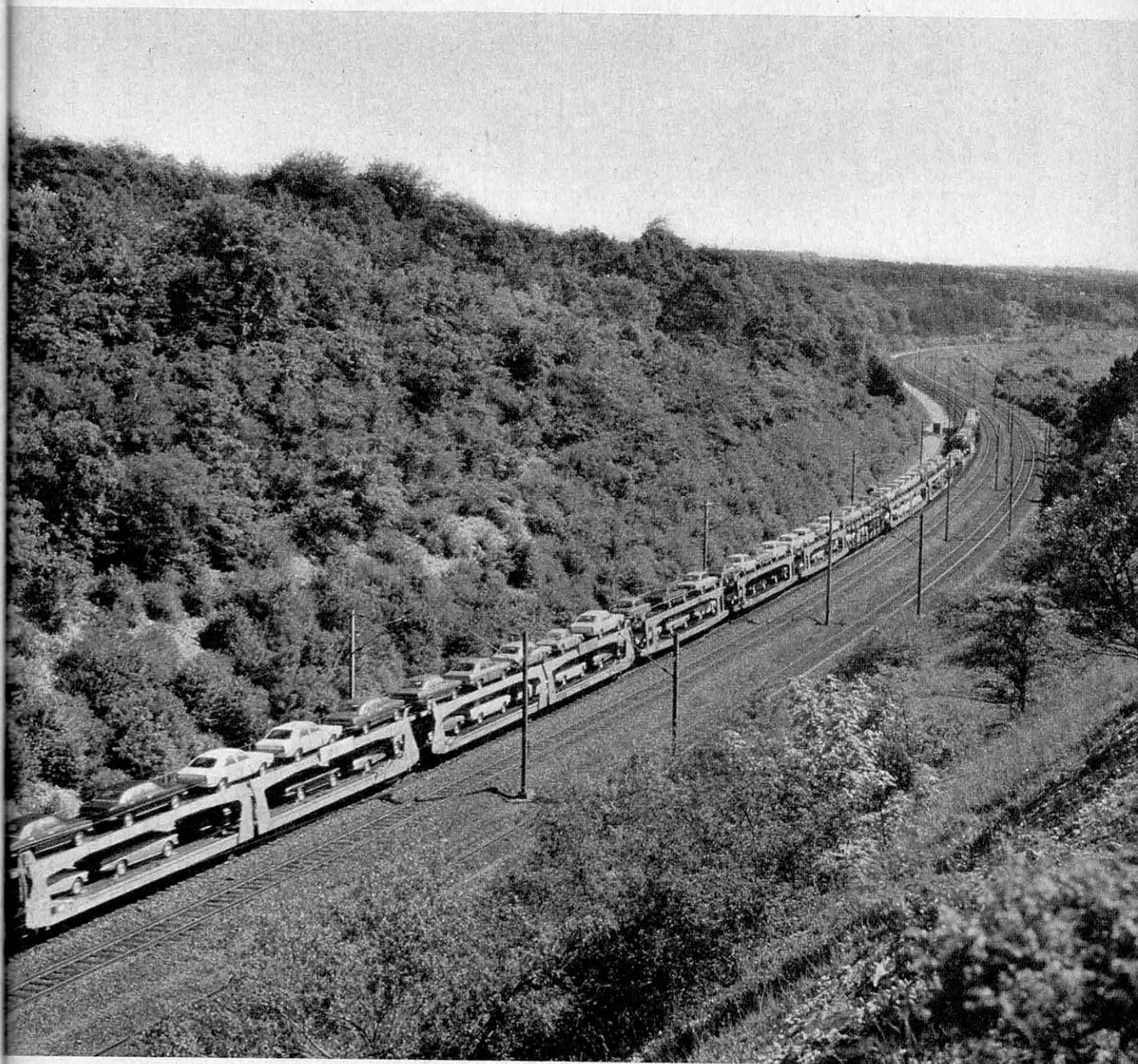
L'adaptation du matériel aux méthodes modernes de manutention a abouti à des résultats très spectaculaires qu'illustrent quelques exemples, pris au hasard :

— un wagon trémie de 30 t de blé en vrac est déchargé en 40 mn avec un spirogyre (engin mobile à vis d'Archimède) sous la surveillance d'un seul homme, alors qu'il faut environ 8 h de travail pour sortir d'un wagon couvert classique la même quantité de blé conditionné en sacs ;

— dans diverses centrales électriques récentes, on arrive à vider à une cadence de 1 000 t à l'heure des trains de charbon défilant de façon continue, toutes les opérations d'ouverture et de fermeture des trappes étant assurées automatiquement ;

— avec des wagons plats spécialement conçus pour charger des fardeaux de briques sur palettes, deux conducteurs de chariots élévateurs déchargent en 8 h un train de 1 200 t utiles, ce qui, avec la reprise à la main des briques dans des wagons tombereaux suivant les méthodes traditionnelles, aurait nécessité au moins 10 fois plus de main-d'œuvre ;

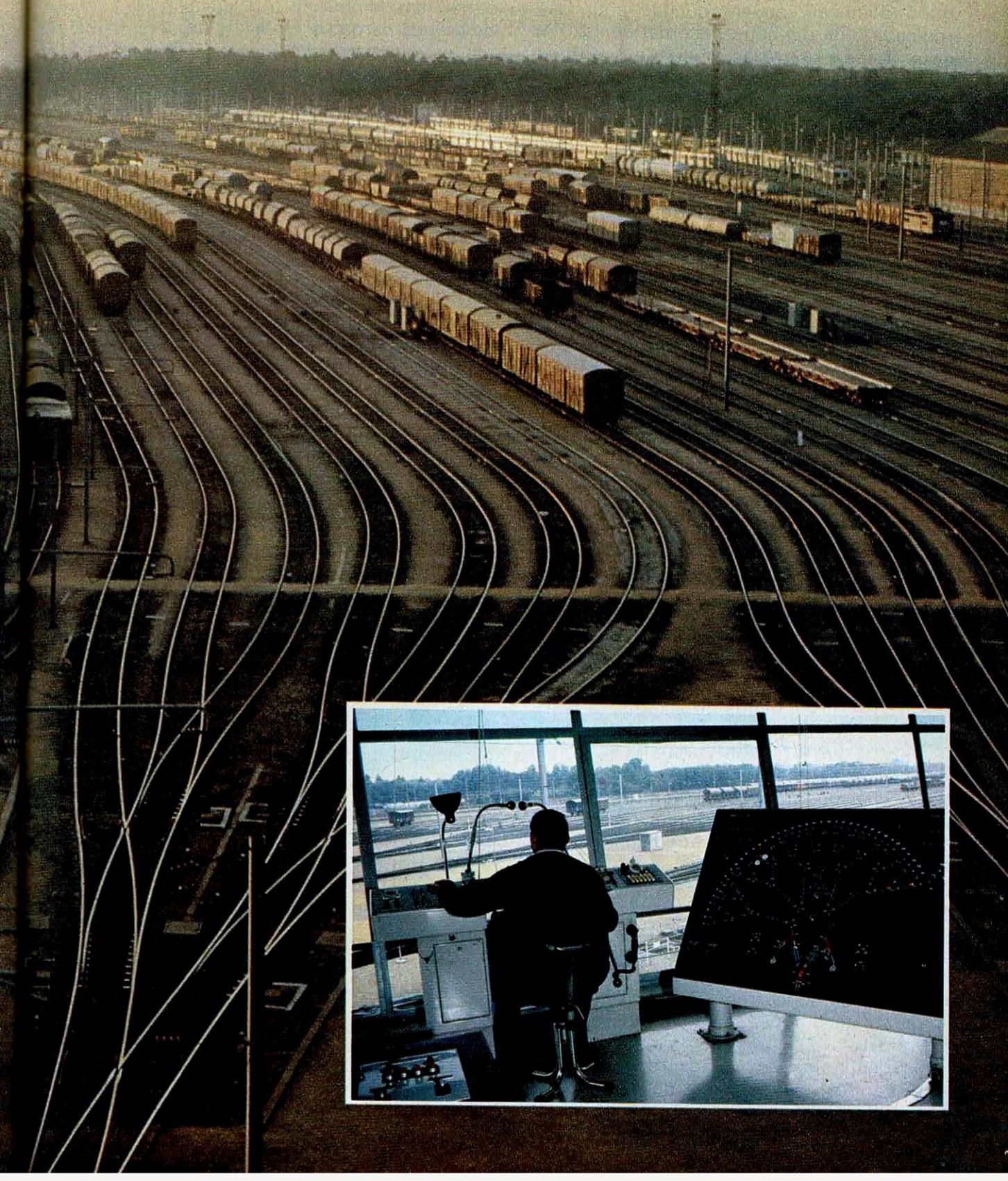
— avec un wagon plat à bâchage mécanique, on assure en 10 mn une protection efficace de l'expédition, alors que la mise en place de bâches classiques nécessite plusieurs heures à deux hommes travaillant dans des conditions pénibles, sinon



Des wagons à étage spécialisés assurent le transport des voitures neuves à partir des usines de construction ou des aires de stockage. Pour les transports combinés rail-route il existe des wagons permettant l'escamotage du train de roulement des engins lourds.



Le rôle des triages est primordial dans l'acheminement des wagons de marchandises. C'est pourquoi le SNCF automatise de plus en plus les opérations (débranchement, freinage). On a ici une vue générale du faisceau de débranchement de la gare de triage d'Achères. En encart, le poste du freineur au triage d'Hourcade, près de Bordeaux.



acrobatiques, sur le sommet du chargement.

Mais, pour offrir à la clientèle les commodités qu'elle réclame, le chemin de fer doit sans cesse résoudre de nouveaux problèmes, car les marchandises se modifient vite, comme l'illustre l'évolution des wagons pour rouleaux de tôle laminée à froid.

Les premiers construits, il y a une dizaine d'années, étaient conçus pour des rouleaux d'un diamètre maximal de 1,20 m et un poids unitaire de moins de 8 t. Ceux du programme de construction de 1974 permettront le chargement de rouleaux atteignant 45 t et 2,70 m de diamètre. Indépendamment de l'adaptation à ces caractéristiques dimensionnelles, il a fallu résoudre des problèmes complexes de protection contre les intempéries par capots télescopiques de manœuvre facile, de calage latéral dans les dévers des courbes (pour des matériaux souvent huilés à la fabrication !) et de planéité des faces des supports (il s'agit de tôles de quelques dixièmes de millimètre, très sensibles aux moindres déformations).

Vers le wagon à bogies

L'évolution du matériel ne résulte pas seulement de l'adaptation de ses caractéristiques aux marchandises à transporter, mais aussi de considérations propres à la technique ferroviaire, dont les principales sont l'augmentation des vitesses et l'attelage automatique.

Pendant longtemps, les trains de marchandises ne dépassaient guère des vitesses de l'ordre de 60 km/h, sauf quelques trains de « messageries » atteignant 90 ou 100 km/h. Il y a moins de dix ans, tous les wagons ont été rendus aptes à circuler à 80 km/h en « régime ordinaire », tandis que se développait le « régime accéléré », assuré par des trains atteignant 100 km/h, dont les parcours représentent maintenant le tiers du kilométrage accompli par les trains de marchandises.

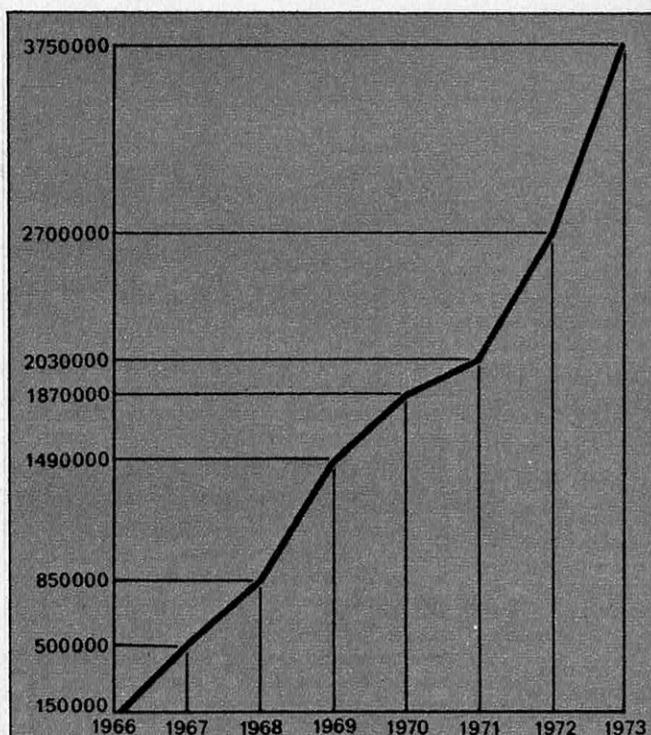
La recherche d'une vitesse plus élevée pour le service marchandises ne vise pas seulement à obtenir une réduction directe des temps de parcours, qui constitue un impératif commercial vis-à-vis des moyens de transport concurrents. Elle est aussi un impératif technique, car des trains de marchandises trop lents sont incompatibles avec des trains de voyageurs de plus en plus rapides. Pour ne pas gêner ces derniers, ils doivent être souvent garés en

parcours, ce qui augmente sérieusement les durées d'acheminement et immobilise inutilement des locomotives.

Aussi s'oriente-t-on vers la réalisation de wagons tous capables de rouler à 100 km/h, une bonne partie d'entre eux pouvant circuler à 120 km/h en « régime accéléré ». Si les essais en cours sont concluants, certains pourraient même circuler à 140 km/h pour le transport rapide, sur de grands parcours, d'envois urgents, comme les primeurs destinées aux marchés des grandes villes.

Quant à l'attelage automatique, dont les caractéristiques techniques sont décrites par ailleurs dans ce numéro, il entraîne des contraintes plus sensibles que l'attelage classique pour la stabilité des wagons, soumis à des efforts de compression lors des refoulements ou des freinages.

Il apparaît en fait que les problèmes posés tant par la tenue de voie à grande vitesse que par la résistance au déraillement sous compression trouvent des solutions plus aisées et plus efficaces avec les wagons à bogies qu'avec les wagons à deux essieux. Ces motifs s'ajoutent aux avantages que pouvait déjà présenter le wagon à bogies pour le transport des produits. En effet, ces wagons peuvent recevoir des chargements sensiblement plus élevés que les wagons à essieux, à longueur égale de voie occupée.



Le kilométrage parcouru à 120 km/h, rapporté au nombre des trains, a fortement augmenté.

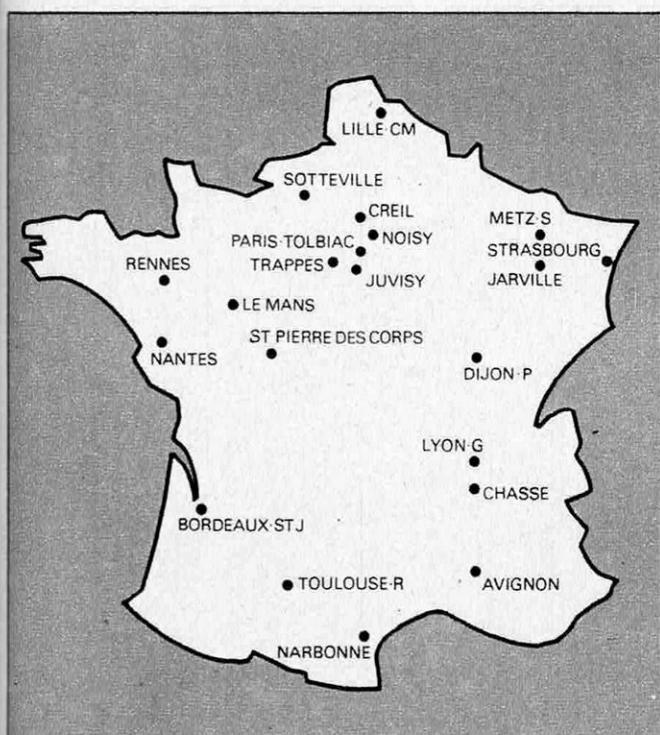
Ainsi, depuis plusieurs années, la S.N.C.F. n'assure plus le renouvellement et la modernisation de son parc qu'avec des wagons à bogies, qui représentent maintenant près de 25 % de l'effectif et 40 % de la capacité de transport.

Le transport « porte à porte »

Le développement de wagons gros porteurs pose toutefois quelques problèmes commerciaux pour les marchandises expédiées par quantités faibles ou moyennes. Une des solutions peut résider dans l'emploi des conteneurs, dont les tailles variées s'adaptent à l'importance des lots expédiés, mais qui peuvent être ensuite regroupés sur des wagons porteurs à bogies.

L'emploi des conteneurs, qui a pris une importance considérable dans le trafic maritime a, bien entendu, trouvé d'abord sa place dans les prolongements terrestres des transports maritimes. Mais il se développe aussi dans les relations purement terrestres, où il permet d'éviter les ruptures de charge terminales qui sont un handicap du chemin de fer lorsqu'il s'agit d'assurer le « porte à porte ».

Les conteneurs modernes sont, pour la plupart, des « transconteneurs », dont les dimensions ont été normalisées sur le plan international (section de 8 x 8 pieds, longueurs de 10 à 40 pieds).



Au régime accéléré des marchandises correspondent des centres de triage spécialisés.

Pour les conteneurs, les chemins de fer ont conçu des wagons spéciaux assurant un positionnement rigoureux. Celui-ci est indispensable pour assurer la compatibilité avec le gabarit ferroviaire.

Il existe d'autres méthodes pour assurer le « porte à porte ». Diverses techniques « rail-route » ont par exemple pour but d'assurer, sur les longues distances, le transport par wagons de véhicules routiers qui, aux extrémités du parcours, reprennent leur autonomie. Dans ce cas aussi, le problème est d'assurer le respect du gabarit ferroviaire, ce qui oblige à escamoter le train de roulement des semi-remorques sous le plancher des wagons porteurs. Ceux-ci sont du type « kangourou » avec un pont-levis, ou du type « à poche fixe » dans lequel le chargement se fait au moyen des portiques à pinces latérales servant également aux conteneurs.

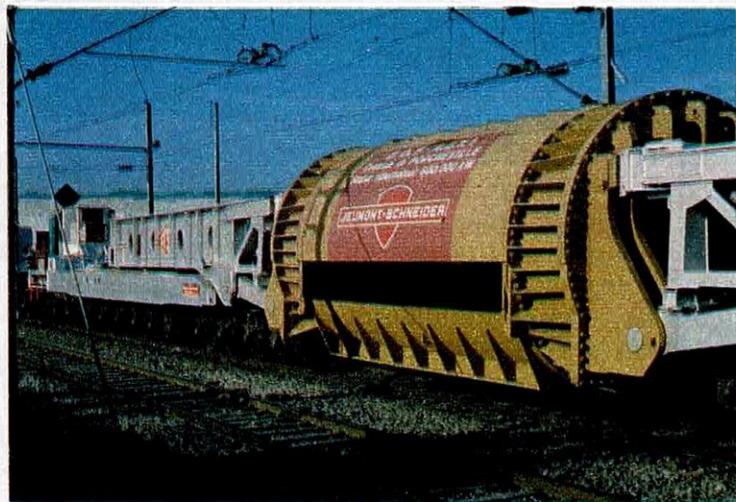
En dehors de ces transports combinés, il existe une solution purement ferroviaire qui, depuis longtemps, fait mieux que la liaison porte à porte, en pénétrant au cœur des usines : c'est l'embranchement particulier, réseau privé plus ou moins étendu, raccordé aux voies du réseau général et desservant les principaux points de fabrication et de stockage à l'intérieur d'une entreprise. Le nombre de ces embranchements s'accroît sans cesse, notamment avec le développement des « zones industrielles » créées dans la plupart des localités importantes et dont le raccordement au réseau ferré est un atout majeur.

Ces embranchements jouent un rôle fondamental dans le trafic marchandises puisque 90 % du tonnage total transporté par la S.N.C.F. en proviennent ou leur sont destinés. Les échanges, au niveau de ces branchements, se font pour 50 % au moyen de trains complets qui, en évitant les triages, assurent des transports rapides et réguliers.

L'accélération des liaisons entre les triages et entre les gares importantes a été recherché non seulement par une élévation de la vitesse des trains, mais aussi par un aménagement de l'organisation des transports.

Le régime accéléré

En ce qui concerne la vitesse des trains, les wagons ont été rendus progressivement aptes à circuler à la vitesse de 80 km/h et, en 1972, la vitesse limite des trains de marchandises (trains du régime dit « ordinaire ») est passée de 75 à 80 km/h (le



Spécialisation des matériels de transport marchandises : citerne pour le gaz liquéfié ; stato-alternateur chargé sur un wagon spécial de 500 tonnes ; chantier de manutention des containers ; déchargeement de fonte en fusion dans l'Est de la France.





relèvement de 70 à 75 km/h était intervenu en 1969).

C'est cependant sur la vitesse des trains de messageries (trains du « régime accéléré ») que l'amélioration la plus spectaculaire a été apportée dans les dernières années. Depuis 1962, époque à laquelle le train « Provence-Express » acheminant les fruits et légumes entre le Vaucluse, la Vallée du Rhône et la Région parisienne a été autorisé à circuler à 120 km/h, le nombre de trains entrant dans la nouvelle catégorie des « messageries-express » a sensiblement évolué, comme le montre le graphique de la page 74. Après la création du train « Garonne-Express », équivalent du « Provence Express », l'effort s'est porté sur les liaisons entre grands centres. C'est ainsi qu'en 1967 un nouveau train de nuit appelé « Méditerranée Fret-Express » a été mis en service entre Paris et Marseille et vice versa pour l'acheminement des trafics de groupages et de marchandises diverses. Ce service nouveau a été étendu en 1968 à deux nouvelles liaisons intervilles : Strasbourg-Marseille et retour et Bordeaux-Toulouse-Marseille et retour. Dans tous ces cas, les liaisons sont réalisées la nuit.

En 1970, un nouveau pas était franchi avec la création du train « Transconteneurs-Express » reliant entre elles huit gares importantes équipées de portiques modernes pour la manutention.

Depuis, chacun des nouveaux services d'horaires voit soit la création de nouveaux trains pouvant circuler à la vitesse limite de 120 km/h, soit l'élévation de celle des trains de messageries existants.

Une nouvelle organisation

L'accélération des liaisons est également obtenue par des mesures d'organisation notamment réalisées à l'occasion de la création de nouveaux triages. Elles permettent la concentration d'un trafic important par la création de « lots » inter-triages et, par conséquent, la diminution du nombre d'escapes intermédiaires. La S.N.C.F. a ainsi mis en service deux triages modernes au cours de ces dernières années : Hourcade (région bordelaise) en 1966 et Sibelin (région lyonnaise) en 1970.

L'effort d'accélération des liaisons ne s'est pas limité au trafic national et les échanges entre pays européens ont également fait l'objet d'améliorations. C'est en 1961 qu'un réseau de trains de marchandises rapides, appelés « Trans-Europ-

Express-Marchandises » (T.E.E.M.) a été constitué. Ce réseau, qui s'est sensiblement développé dans les 10 dernières années, relie les principales régions européennes de production et de consommation.

Les T.E.E.M. acheminent les marchandises de toute nature — à l'exception des pondéreux — à condition qu'elles soient chargées dans des wagons aptes à la vitesse de 100 km/h ; ces marchandises ne doivent pas être soumises à des arrêts prolongés aux frontières.

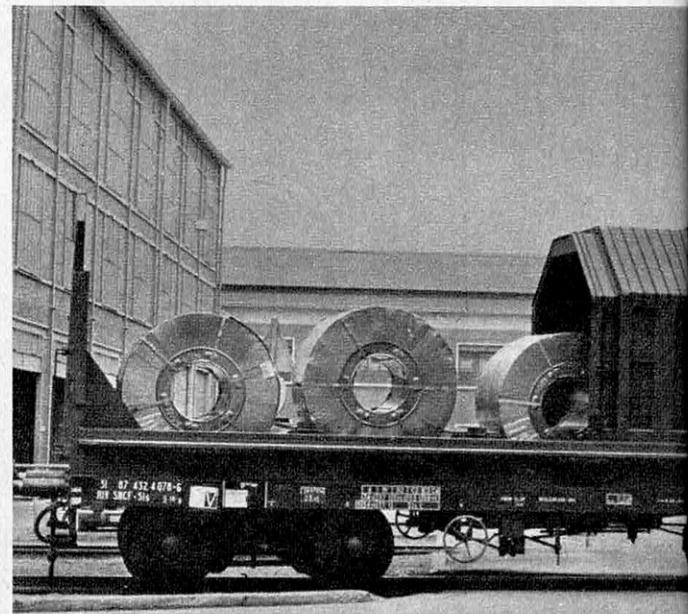
Il ne suffit pas d'améliorer les techniques de chargement par une adaptation incessante du matériel, ni d'accélérer les liaisons entre les triages et entre les gares importantes, encore faut-il assurer une gestion continue de ces transports.

Cette gestion est présentement en voie d'être assurée à la S.N.C.F., grâce au système dit de « Gestion Centralisée du Trafic Marchandises ». Ce système se propose de résoudre, à l'aide d'ordinateurs et d'un réseau de téléinformatique, l'ensemble des problèmes très complexes se posant à l'occasion des transports par wagons.

Comment fonctionne la gestion centralisée

Résoudre les problèmes que pose le trafic des marchandises revient, en fait, à exploiter judicieusement un fichier « wa-

SUITE PAGE 87

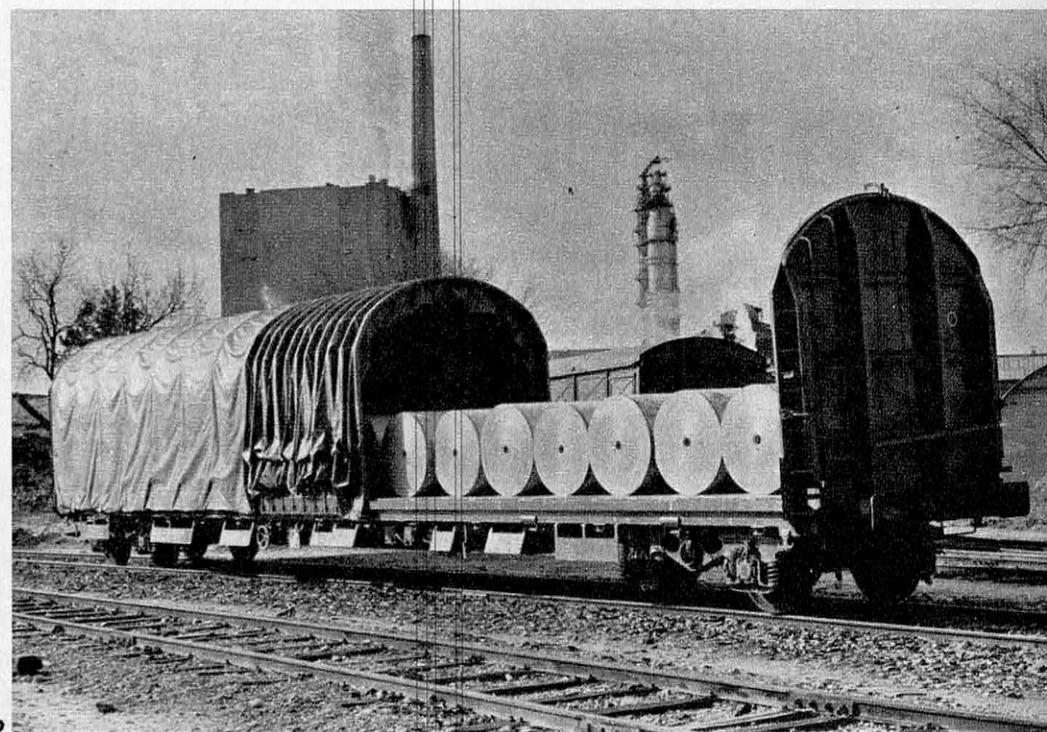


1

1) Wagon plat pour tôles en rouleaux; 2) wagon à

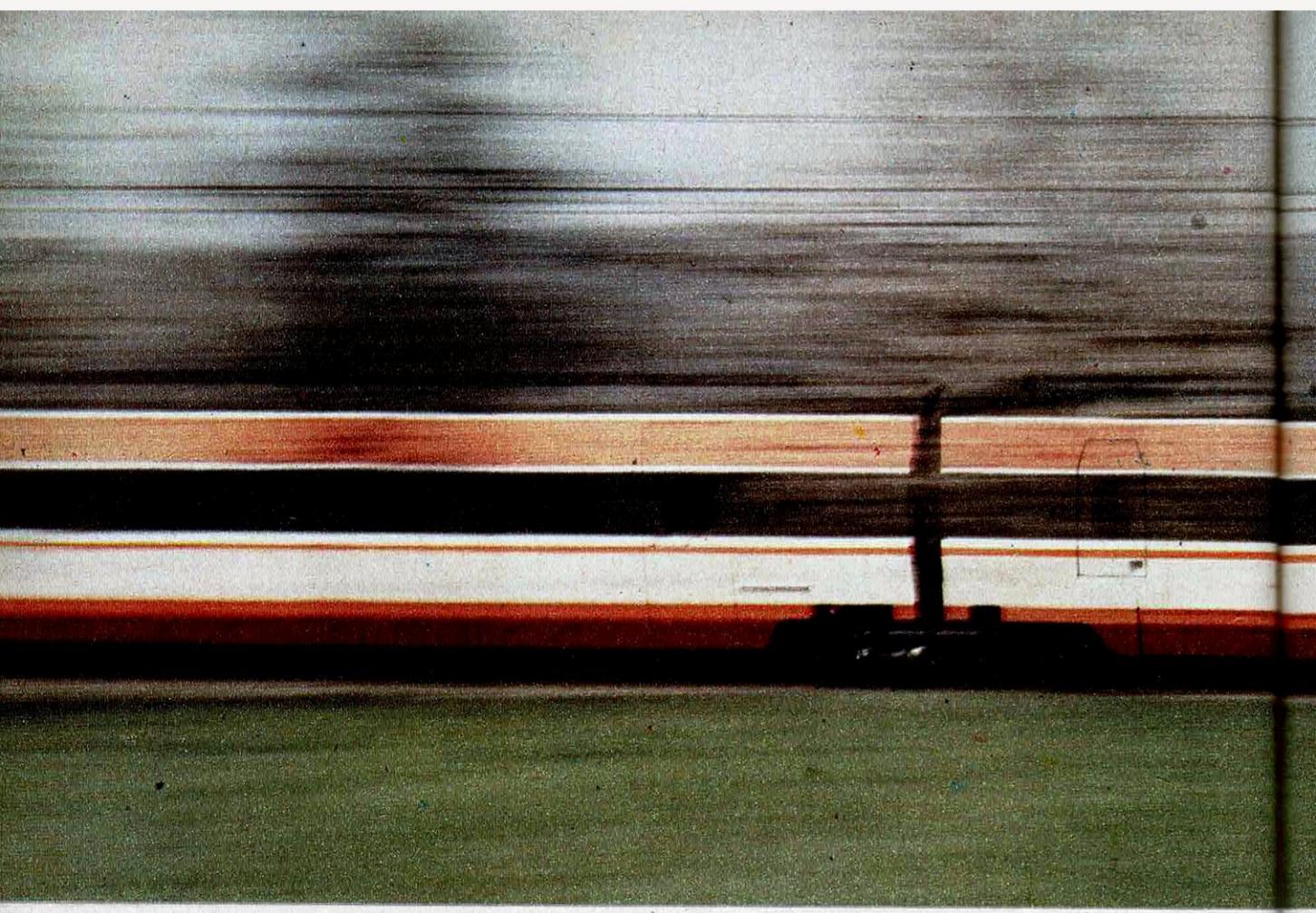


3

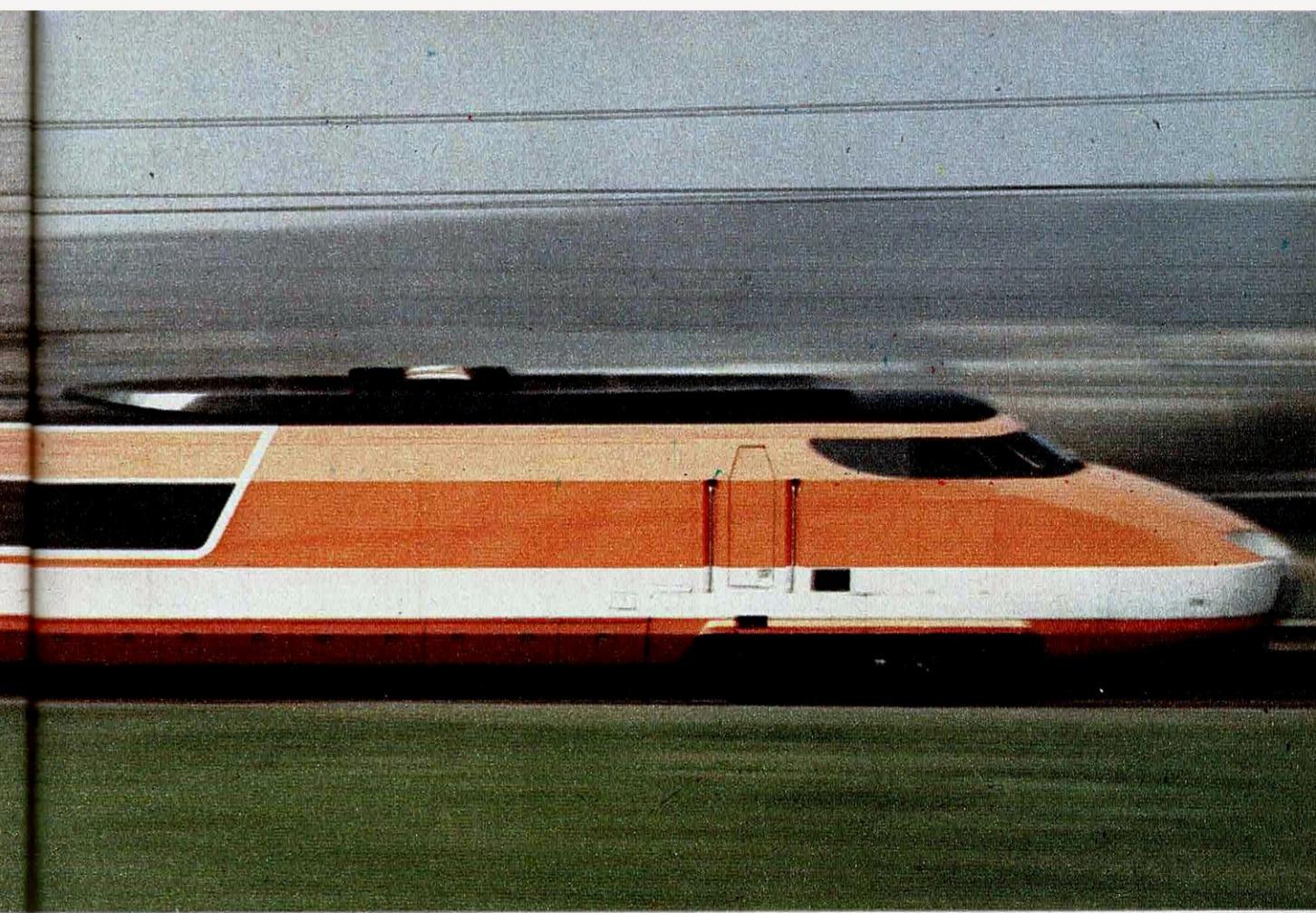


2

à décharge mécanique, dit « débach' vite »; 3) convoi de wagons frigorifiques.



Légereté et puissance de la turbine ont permis d'alléger les véhicules et d'augmenter les vitesses. En haut, le TGV 001. En bas, un RTG, en service au départ de Lyon vers Strasbourg, Nantes et Bordeaux. Ci-dessus, intérieur d'une voiture de 2^e classe du RTG.



Fonctionnement et évolution des triages

La moitié environ du trafic par wagons de la S.N.C.F. est constituée par des transports de masse entre grands centres industriels, qui peuvent être effectués directement, sans aucun remaniement intermédiaire, par des « trains complets » de fort tonnage.

L'autre moitié, constituée de wagons isolés ou de petits groupes de wagons, d'origines et de destinations très diverses, nécessite un acheminement par des trains successifs qui doivent être remaniés dans des « gares de triage ».

Le rôle d'une gare de triage est donc :

— de recevoir des wagons provenant d'un autre triage ou collectés dans les gares expéditrices voisines par des trains de ramassage ;

— de trier ces wagons pour former d'autres trains chargés de les distribuer dans les gares destinataires ou de les conduire dans des triages plus éloignés.

A cet effet, une gare de triage classique comporte les installations suivantes :

— un faisceau de réception, où sont reçus les trains et où ils sont préparés (dételage des wagons) en vue du tri à effectuer ;

— un faisceau de triage, relié directement au précédent par un dos d'âne, ou « bosse de débranchement ». Les wagons reçus dans le faisceau de réception sont refoulés par une locomotive de manœuvres sur cette bosse d'où ils descendent par gravité sur la voie de triage qui

leur est affectée en fonction de leur destination. C'est l'opération du « débranchement » ;

— un faisceau d'attente au départ, dans le prolongement du faisceau de triage, où sont tirés les nouveaux trains formés et où ils sont préparés en vue de leur expédition.

Peuvent également exister un ou deux faisceaux de relais sur lesquels sont effectués des échanges de machines ou d'agents de conduite pour les trains de marchandises de passage, notamment les trains complets, ainsi que divers chantiers annexes tels que voies de remisage pour les machines ou ateliers d'entretien des wagons.

Des moyens de communications divers, téléphones, interphones, haut-parleurs, transmetteurs pneumatiques, radio, signalisation optique, assurent les liaisons entre les différents chantiers du triage ainsi qu'avec les conducteurs des locomotives de manœuvre.

L'ensemble des installations d'un triage important peut s'étendre sur plus de 5 km de longueur, couvrir plus d'une centaine d'hectares de terrain et comporter plus de 100 km de voies. Elles permettent de trier plus de 4 000 wagons par jour, ce qui correspond à environ 90 trains de marchandises.

C'est le débit obtenu au débranchement qui conditionne, pour une large part, le rendement d'ensemble de la gare de triage. C'est donc en particulier sur les installations de la bosse de débranchement et de la tête du faisceau de triage qu'ont por-

té les efforts de modernisation entrepris par la S.N.C.F.

Deux éléments essentiels interviennent dans le débranchement :

— la commande des itinéraires que doivent suivre les wagons successifs pour parvenir à leur voie de destination ;

— la régulation de leur vitesse depuis le sommet de la bosse jusqu'à leur contact avec les wagons déjà arrivés sur la voie. Dès que l'on veut dépasser une cadence de débranchement de l'ordre de 4 wagons par minute, la commande individuelle des aiguilles n'est plus possible. Il faut avoir recours à une commande d'itinéraires, ceux-ci étant fixés au plus tard au moment où chaque wagon franchit le sommet de la bosse.

COMMANDÉ DES ITINÉRAIRES

Le système utilisé bénéficie depuis de nombreuses années déjà (1932) d'un degré élevé d'automatisme, grâce à l'emploi du « combinateur à billes ». Il s'agit d'un véritable simulateur électromécanique, où les wagons sont représentés par des billes de métal, cheminant de porte en porte dans des tubes verticaux, au fur et à mesure de la progression, contrôlée par des circuits de voie, des wagons sur le terrain. Plus de 30 triages ont été équipés de ce dispositif.

Plus récemment, les progrès de l'électronique ont permis de mettre au point un simulateur entièrement

statique, où les wagons sont matérialisés par des impulsions de courant. Il existe actuellement quatre applications de cette nouvelle version : Sotteville, Hourcade, Sibelin et Chasse-sur-Rhône.

Enfin, deux nouvelles installations, qui seront mises en service avant la fin de l'année au Mans et à St-Jean-de-Maurienne, utiliseront de petits ordinateurs industriels.

RÉGULATION DE LA VITESSE DES WAGONS

Dans les triages classiques, la régulation de la vitesse des wagons entre la bosse et leur point d'arrêt sur les voies de triage est effectuée :

— en premier lieu, au moyen de freins, disposés à raison d'un par pinceau de 8 voies, commandés par un agent « freineur » en cabine et qui, au passage des wagons, serrent les roues au moyen de mâchoires. Ces freins de voie sont chargés d'assurer entre les wagons, malgré leurs différences de qualités de roulement, un intervalle suffisant pour permettre la manœuvre des aiguilles. Ils préparent également le freinage complémentaire ultérieur. Plus de 50 triages de la S.N.C.F. sont équipés de tels freins de voie à mâchoires ;

— en second lieu, avant le contact avec les wagons arrêtés, au moyen de « sabots » disposés sur la voie par des agents « enraveurs », de façon à éviter les accostages brutaux.

Le métier de freineur exige beaucoup d'habileté et de

précision dans le coup d'œil. Quant à l'enrayage dans les voies, c'est une tâche pénible et dangereuse, qui nécessite un personnel important.

C'est pourquoi les différents réseaux de chemins de fer se sont attaqués depuis plusieurs années au problème de l'automatisation du freinage des wagons. La S.N.C.F. vient ainsi de réaliser, dans les triages de Sotteville, près de Rouen, et d'Hourcade, près de Bordeaux, deux installations prototypes qui donnent toute satisfaction. Leur disposition générale est la même que dans les installations traditionnelles, avec un freinage primaire et un freinage secondaire. Cependant, l'ensemble des opérations est automatique et nécessite la mise en œuvre d'un ordinateur. Celui-ci reçoit, à partir de nombreux détecteurs situés sur le terrain, les informations concernant, pour chaque wagon, le poids, la vitesse mesurée en différents points du parcours, la distance à parcourir sur chaque voie de triage. Le système tient également compte des circonstances atmosphériques.

La vitesse des wagons au moment où ils vont passer dans les freins est contrôlée à l'aide d'appareils rardars disposés dans les voies en amont.

De telles installations permettent en particulier une amélioration de la cadence (8 à 10 wagons par minute) ainsi qu'un meilleur remplissage des voies. En outre, par temps de brouillard et, même en l'absence totale de visibi-

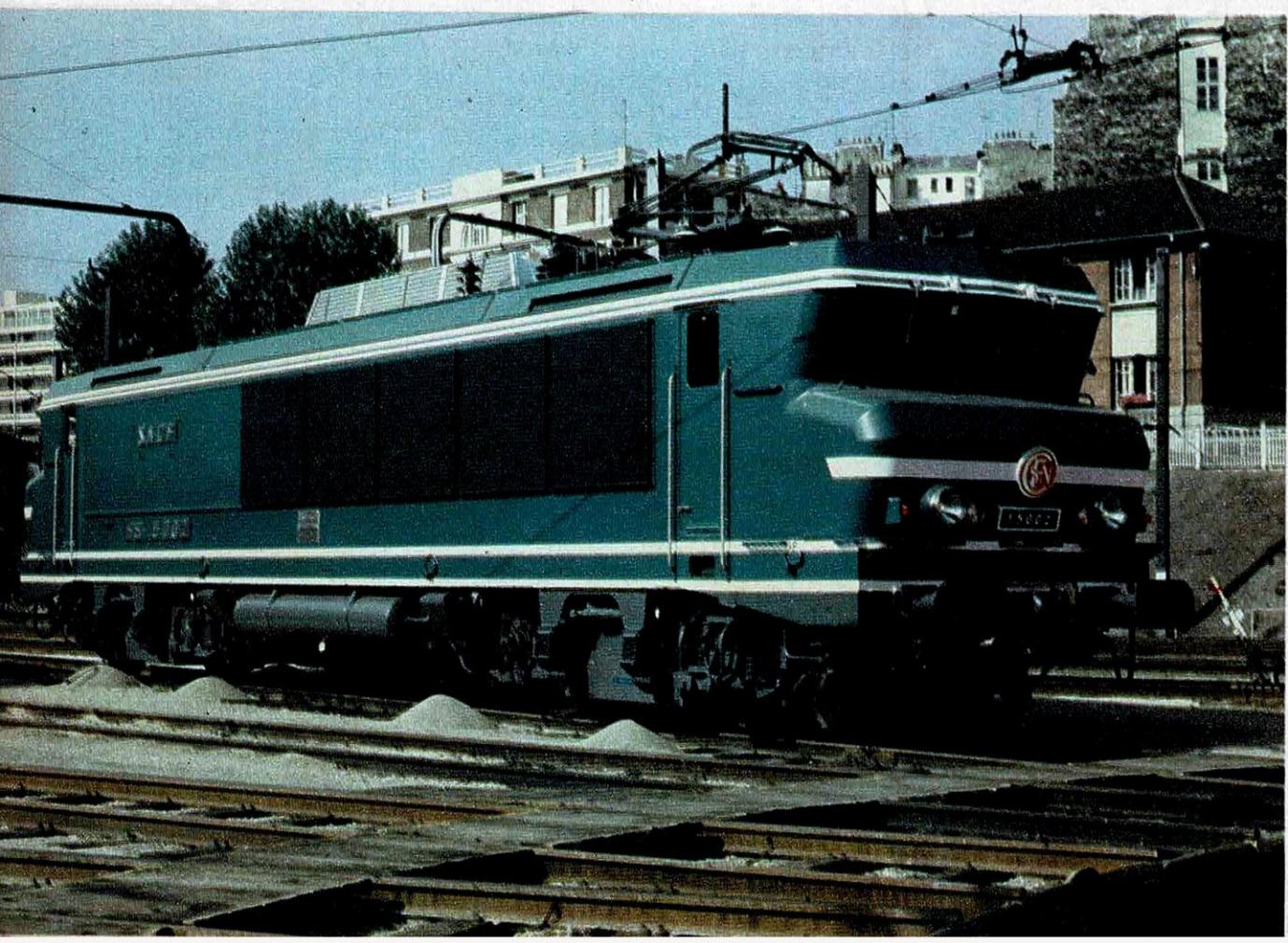
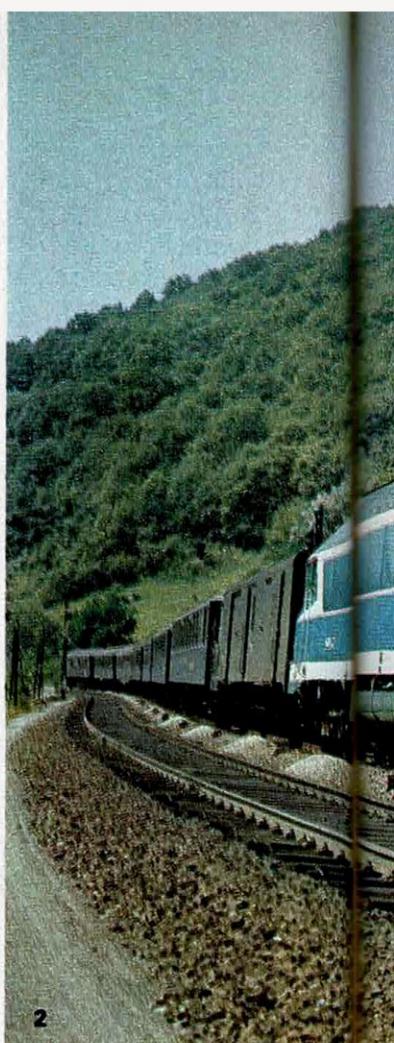
lité, le débranchement peut être poursuivi à une cadence quasi normale.

AUTRES AUTOMATISATIONS

L'ordinateur chargé du freinage est également relié au réseau de transmission de données de la S.N.C.F. Il reçoit les plans de débranchement des trains qui sont transmis, depuis la gare expéditrice, par l'intermédiaire de l'ensemble électronique de gestion situé à Paris. Il les enregistre dans une mémoire auxiliaire à disques magnétiques. Le moment venu, l'ordinateur est à même de commander directement les itinéraires successifs des wagons débranchés, sans aucune intervention humaine.

Quant à la télécommande par radio de la machine de manœuvres qui refoule les rames pendant le débranchement, elle permet une meilleure régularité et une amélioration de la cadence. Elle sera prochainement mise sous la dépendance directe de l'ordinateur chargé du freinage. Celui-ci choisira à chaque instant la vitesse de refoulement optimale en fonction des voies de destination et de la longueur des groupes de wagons.

René Vallet



4 5



1 et 2 : Deux aspects d'une locomotive Diesel CC 72000 ;
3 : maquette des futures automotrices électriques pour Paris-Versailles RD et St-Nom-la-Bretèche ;
4 : locomotive BB 15000 à courant alternatif 25 kV ;
5 : locomotive CC 6500 à courant continu 1500 V.

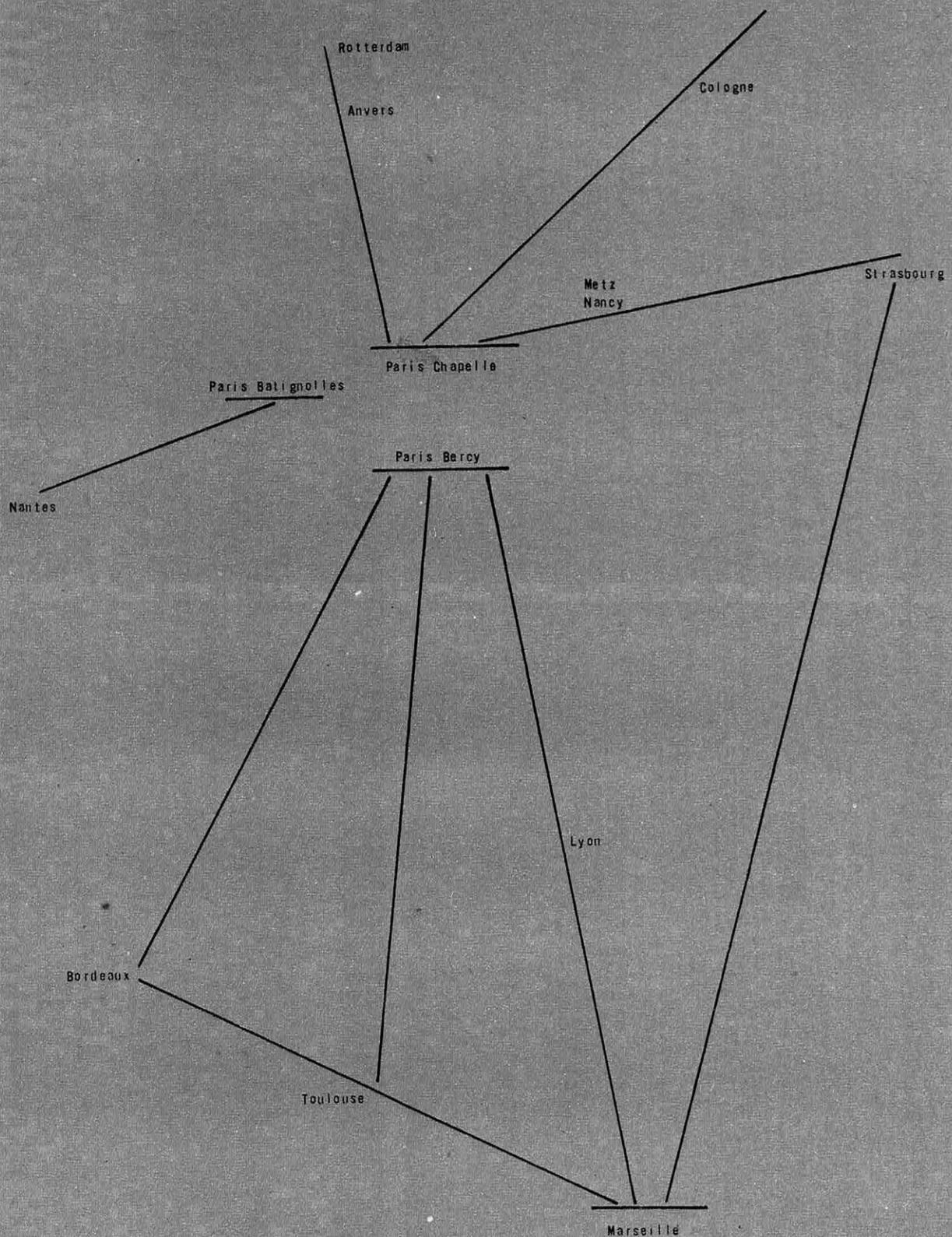
3



4 5



**Le réseau transconteneurs-express de
la S.N.C.F.**



gons » et ceci d'un triple point de vue : exécution du transport, opérations commerciales et gestion du parc.

- Les problèmes « *transport* » concernent :
- le contrôle du séjour des wagons (facturation des dépassements de délais de chargement et de déchargement, élaboration des statistiques de séjour) ;
 - la répartition des wagons vides ;
 - le contrôle de l'acheminement (établissement des plans de débranchement des trains, prévisions d'enlèvement, envoi des préavis d'arrivée des wagons, recherches de wagons, statistiques sur les séjours dans les triages) ;
 - le contrôle de l'utilisation du matériel (statistiques sur les chargements, les courants de trafic, les effectifs et le rendement du matériel) ;
 - la gestion des échanges de wagons avec les réseaux étrangers et les réseaux secondaires.

Les *opérations commerciales* comportent :

- la taxation ;
- la comptabilité des expéditions et des arrivages ;
- la facturation et la tenue des comptes des clients (y compris les décomptes relatifs aux embranchements particuliers et les redevances pour wagons de particuliers) ;
- la confection de statistiques commerciales (régulières ou à la demande).

Quant à la *gestion du parc*, elle a pour objet :

- de connaître, à tout moment, de façon très précise, l'inventaire du parc et la situation géographique de chacun des wagons ;
- d'assurer la régulation des opérations périodiques d'entretien des wagons en fonction des possibilités des établissements réparateurs, en réduisant au minimum le nombre de wagons immobilisés et les parcours à vide ;
- d'obtenir des renseignements précis sur la rentabilité de chaque type de wagon en enregistrant le kilométrage parcouru, les tonnes-kilomètres réalisées, les recettes, les dépenses (entretien, réparations).

Ce souci d'intégration, indispensable si l'on veut aboutir à une rentabilité meilleure, a été poussé peut être plus loin à la S.N.C.F. qu'en aucun autre réseau.

En effet, aux U.S.A., le système TRAIN⁽¹⁾ se borne à contrôler les échanges de wagons entre les réseaux intéressés ; le système TOPS⁽²⁾, du Southern Pacific,

est un système de qualité fonctionnant en temps réel, mais axé essentiellement sur les problèmes de transport et de répartition des wagons vides.

Le système S.N.C.F. dispose par contre, en un point central, de manière presque instantanée, de toutes les informations relatives à la vie de chaque wagon. En traitant ces informations sur un ensemble électronique puissant, on obtient des documents de gestion, des statistiques ou des renseignements à la demande. On peut aussi transmettre, en temps utile, les éléments de prise de décision aux différents échelons en fonction de l'évolution des situations.

On peut avoir une idée de la capacité de ce système en remarquant qu'il gère 450 000 wagons, soit à la fois les wagons français et ceux exploités en commun avec huit autres réseaux de chemins de fer européens, ce qui l'amène à contrôler chaque jour les opérations relatives à 30 à 40 000 wagons chargés dans près de 5 000 gares.

Il ne suffit pas d'avoir un équipement informatique puissant, si on ne l'alimente pas en informations de qualité. D'où de nombreuses mesures spéciales prises « sur le terrain » en particulier l'emploi systématique de chiffres-clés dans toutes les informations importantes⁽³⁾.

On utilise, de même, la technique du radio-pointage qui consiste à faire opérer de concert un agent placé sur le terrain, muni d'un poste émetteur, pour la dictée des informations, et un opérateur dans un bureau, pour la frappe sur le terminal.

On étudie pour l'avenir (si l'intérêt économique en est démontré) la lecture automatique des numéros de wagons. Chaque wagon serait muni d'un dispositif permettant de solliciter par des procédés divers (magnétique, optique, microondes...) des équipements au sol capables de fonctionner jusqu'à des vitesses dépassant celles admises par les trains.

J.-C. Chappes, Michel Fontaine
et J.-P. Michel

(1) Train : Tele Rail Automated Information Network.

(2) Tops : Total Operations Processing system. Le system-Tops est en cours d'installation en Europe sur les chemins de fer britanniques.

(3) L'opération consiste, par exemple, pour un code à 7 chiffres, à lui adjoindre un 8e chiffre dont la valeur permet de vérifier la somme des chiffres précédents. Ces codes sont vérifiés en temps réel par les composants du réseau de téléinformatique. Les informations importantes ainsi contrôlées sont, au plan international : le numéro des wagons, le code des gares, des marchandises, des clients.

LES PETITS TRAINS TOURISTIQUES

Il n'est pas déplacé, même à l'heure du T.G.V. 001 ou du Tokaido, de se pencher sur les petits tortillards d'autan qui vagabondaient dans la nature à l'échelle d'un département ou même d'un canton. Des amateurs enthousiastes s'appliquent d'ailleurs à réanimer, au moins à la belle saison, quelques-unes de ces lignes locales dont l'intérêt touristique est souvent considérable. Il est parfois déterminant, et à l'origine de la création de diverses lignes du début du siècle.

**Dans la forêt vosgienne,
le chemin de fer
forestier d'Abreschviller.**



LES PETITS TRAINS TOURISTIQUES

Dès le début du siècle, le chemin de fer s'est révélé être un instrument du tourisme, et plus particulièrement en montagne. Ainsi sont nées des lignes à vocation spécifiquement touristique montant à l'assaut des Alpes (lignes de Chamonix au Montenvers, de St-Gervais au Bionassay, d'Aix-les-Bains au Revard), des Pyrénées (lignes de Superbagnères et de la Rhune), du Massif Central (Chemin de fer du Puy-de-Dôme), et des Vosges (lignes de Retournemer à la Schlucht et, sur le versant alsacien, donc allemand à l'époque, de Munster à la Schlucht). Cette énumération n'est d'ailleurs pas exhaustive et bien d'autres voies ferrées créées à cette époque ont un caractère touristique marqué.

Toutes ces lignes de montagne étaient à voie étroite, à l'écartement d'un mètre, laquelle s'adaptait mieux à un tracé tourmenté ; compte tenu des fortes pentes, beaucoup (mais pas toutes) étaient munies d'une crémaillère ; certaines ont bénéficié dès leur mise en service de la traction électrique, d'autres bien plus tard. Actuellement trois lignes subsistent, toutes à crémaillère et à traction électrique : chemin de fer du Montenvers (Mer de Glace) ; tramway du Mont-Blanc (Bionassay) ; chemin de fer de la Rhune ; elles connaissent une grande affluence l'été et, pour les deux premières, à la saison des sports d'hiver.

La première guerre mondiale mit fin à la période faste des chemins de fer de montagne et le demi-siècle qui suivit n'en verra plus apparaître en France, à une exception près, mais celle-ci est d'importance : le chemin de fer d'Artouste, l'un des plus hauts d'Europe. En fait c'est un « sous-produit » de la construction du barrage d'Artouste dans la vallée d'Ossau, près de la frontière espagnole.

Installée en 1924 pour l'édification du barrage, cette ligne à voie de 50 cm, longue de 10 km, a été convertie en 1932 à l'exploitation touristique (en traction diesel)

et elle est toujours très active. Caractéristique particulière, le point de départ, à 1 950 mètres d'altitude, n'est accessible que par le téléphérique de la Sagette.

D'abord quelques créations

Dans les années 1950-1960, la disparition de la plupart des lignes secondaires départementales, petits « tortillards » longeant les routes ou lignes à l'infrastructure plus consistante, allait susciter un regain d'intérêt, dans les milieux d'amateurs ferroviaires, pour de tels réseaux. Ainsi sont apparus le tramway de Cap Ferret, face à Arcachon, en 1952 ; le chemin de fer touristique de Meyzieu, dans la banlieue lyonnaise, en 1962 ; le tramway touristique de St-Trojan, dans l'île d'Oléron, en 1963 ; et la ligne du musée de Pithiviers, en 1966, cette dernière récupérant une section non démontée de l'ancien tramway de Pithiviers à Toury à vocation essentiellement agricole (transport des betteraves).

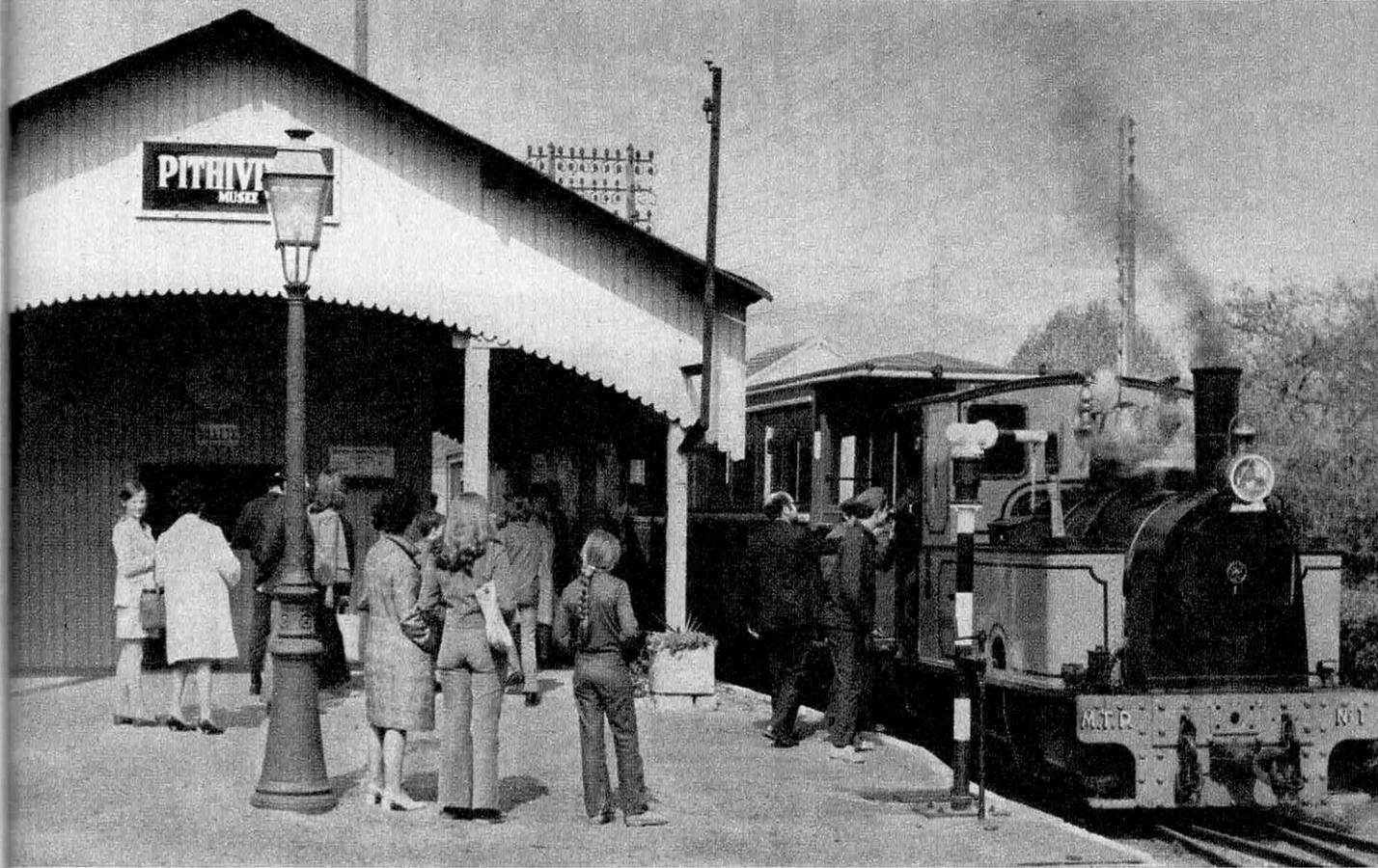
Caractéristiques communes à ces lignes : la voie de 60 cm d'écartement, légère et économique, et la faible longueur du parcours (2 à 4 km), ceci correspondant aux moyens limites de promoteurs enthousiastes mais sans capitaux notables... Des différences : les lignes du Cap Ferret et de St-Trojan (prolongée, cette dernière totalise maintenant 6,5 km) ont surtout un rôle utilitaire, pour la desserte balnéaire estivale, auquel s'ajoute l'attrait non négligeable du « petit train dans la forêt » ; par contre, les chemins de fer de Meyzieu (¹) et de Pithiviers, dont la réalisation a été rendue possible par la main d'œuvre bénévole de nombreux amateurs, misaient surtout sur l'attrait du « petit train à vapeur » et sur le caractère historique d'une grande partie du matériel roulant utilisé (notamment les locomotives à vapeur), le tout dans un cadre agréable, certes, mais qui, à lui seul, n'aurait pas justifié le déplacement. Associé à un petit musée ferroviaire bien présenté, le train de Pithiviers continue d'accueillir bon ou mal an ses quelque 15 000 voyageurs...

Réanimer d'anciens réseaux

Par leurs dimensions et leur situation, les petites lignes que nous venons d'évo-

suite page 94

(¹) Chassé par l'urbanisation de la banlieue lyonnaise, le chemin de fer de Meyzieu a cessé son activité et le matériel est provisoirement remisé en attendant de reprendre du service dans un parc de loisirs. Ses promoteurs poursuivent maintenant leur activité sur une plus grande échelle dans l'Ardèche.



Le petit train de Pithiviers en gare.



Rosheim-Ottrott: le train inaugural.

Photo « Dernières Nouvelles d'Alsace »



Photo M. Geiger.

Deux aspects (ci-dessus et à droite) du train de Pithiviers : au terminus de Bellebat et dans la campagne. Le matériel remorqué est différent dans les deux cas. En page de droite, le chemin de fer du Vivarais (ligne de Tournon à Lamastre) : un train en gare de Boucleu-le-Roi.

Photo M. Geiger.

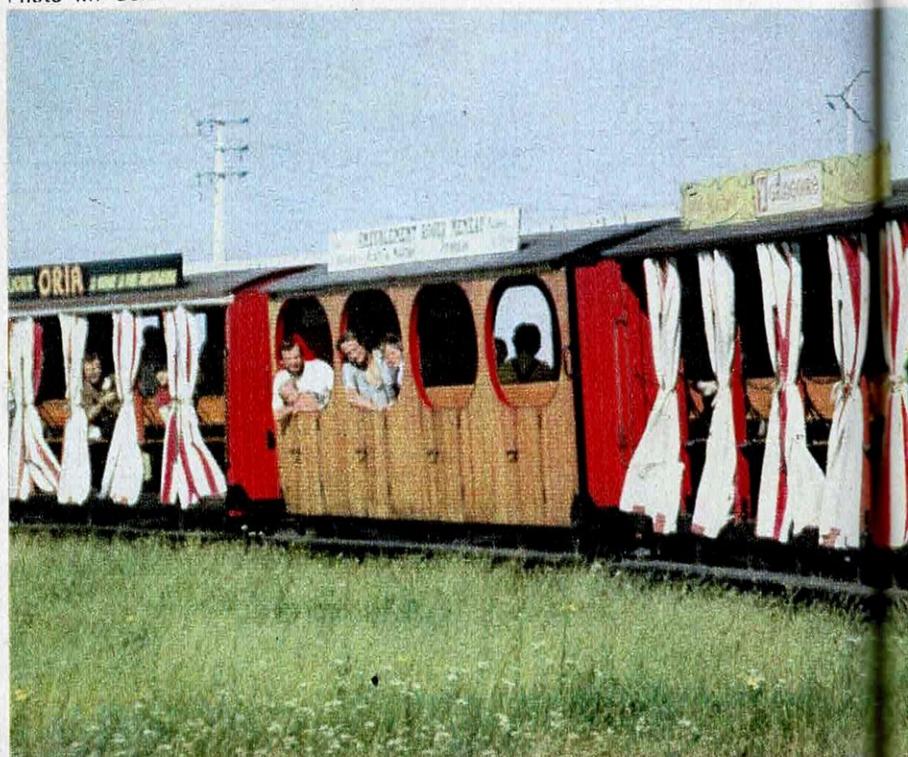




Photo M. Geiger.



LES PETITS TRAINS TOURISTIQUES

quer restent encore proches des chemins de fer « attraction » dont l'un des plus importants et le plus actif est celui du Bois de Boulogne, à Paris, et dont d'autres exemplaires fonctionnent dans divers parcs de loisirs. Dans tous les cas, en traction diesel (locotracteurs carrossés en caricatures de locomotives à vapeur...) et sans aucun caractère historique.

Mais l'élan était donné et l'année 1968 voit renaître une partie de l'ancien réseau forestier d'Abreschviller (en Moselle), à voie de « 70 » ; ce réseau était autrefois très étendu : c'est la ligne d'Abreschviller au Grand Soldat, 6 km en lisière de la forêt vosgienne, au pied du Donon ; la traction est assurée pour une bonne part par une locomotive articulée système Mallet construite en 1906. La vapeur, sur un parcours forestier idyllique, c'est le succès : en 1973, on a presque atteint les 30 000 voyageurs au cours de la saison.

La formule du train à vapeur sur un parcours touristique va maintenant se développer, mais en changeant de dimensions. En 1968, l'intérêt du groupement d'amateurs qui exploitait le chemin de fer de Meyzieu se porte sur le magnifique réseau de montagne du Vivarais, réseau secondaire d'intérêt général (c'est-à-dire concédé et subventionné par l'Etat), à voie métrique, qui venait d'être fermé au trafic régulier. Transformé en société commerciale mais appuyé par une association, le groupement reprend dès 1969 l'exploitation touristique du parcours de Tournon à Lamastre, 33 km le long des gorges du Doux.

Peu après, un autre groupement, lui aussi érigé en société, remet en activité une autre section de l'ancien réseau du Vivarais : la ligne de Dunières à St-Agrève, 38 km dans les monts du Vivarais. Très différents l'un de l'autre, ces parcours sont particulièrement pittoresques, et la traction à vapeur par locomotives articulées système Mallet ne fait qu'en accroître l'attrait.

Ces deux lignes connaissent un grand succès, surtout celle de Tournon à Lamastre, servie par la position privilégiée de son point de départ dans la vallée du Rhône.

Au tour de la voie normale...

Avec le train folklorique de Rosheim à Ottrott, en Alsace, en 1969, puis le chemin de fer touristique des Landes de Gascogne, en Gironde, la voie normale (écartement de 1,44 m qui est celui de la presque totalité des lignes S.N.C.F.) participe à son tour à cette renaissance du chemin de fer touristique. Le premier est un train à vapeur qui circule le dimanche sur les 8 km d'un embranchement desservant les carrières de St-Nabor, au pied du Mont Ste-Odile. Le second est un tronçon de 4 km d'une ancienne ligne départementale de la Gironde, en pleine forêt de pins, et à cause de cela exploité uniquement par autorail ou locomotive diesel (tout au moins actuellement, car il est prévu de mettre en service une locomotive à vapeur équipée pour la chauffe au mazout). Ce court tronçon aboutit à l'Ecomusée installé dans l'airial de Marquèze, et il en est le moyen d'accès normal depuis Sabres.

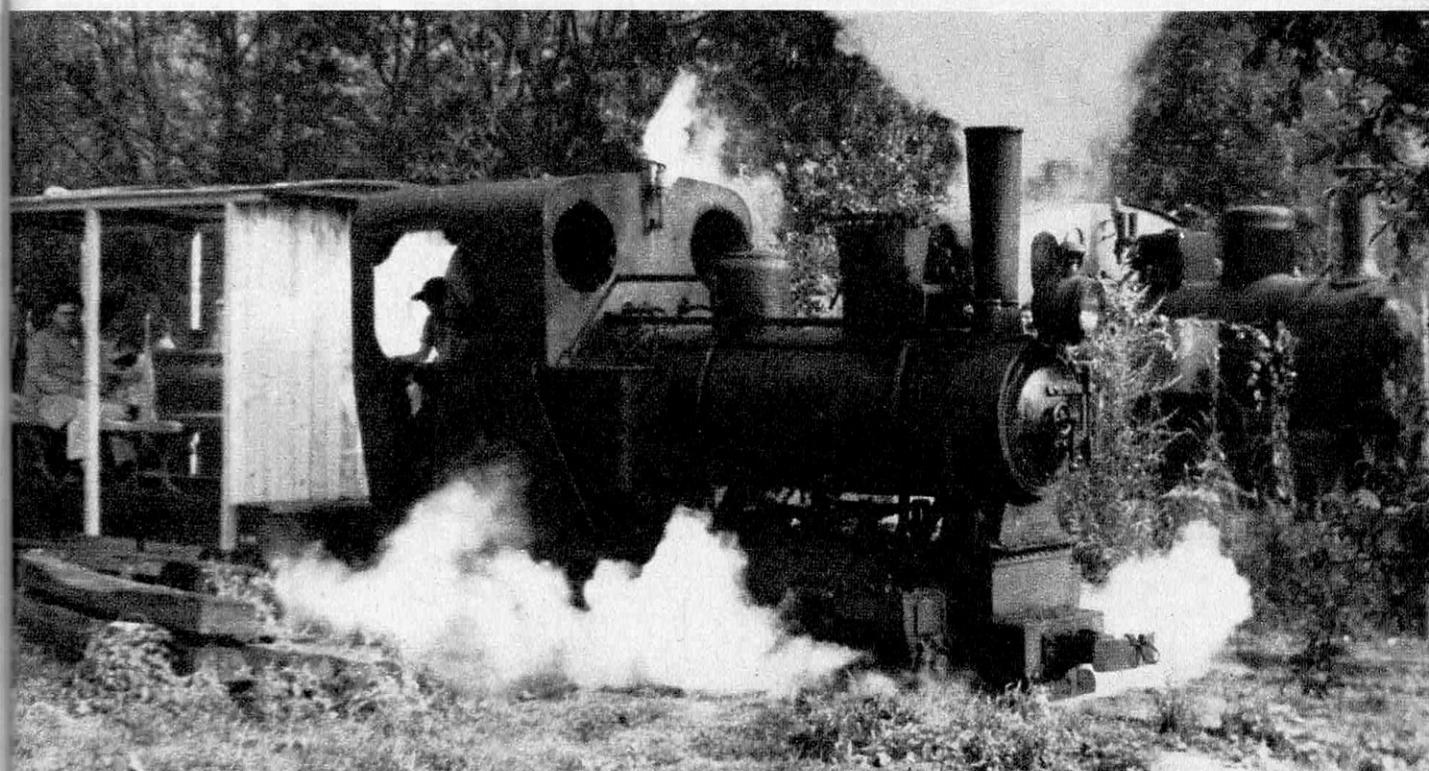
Mais c'est cette année, en 1974, que le chemin de fer touristique à voie normale vient de prendre sa véritable dimension, ceci en Touraine, sur la ligne départementale de Ligré-Rivière à Richelieu (16 km). Depuis quelques années, une dynamique association d'amateurs avait racheté et remis en état des locomotives à vapeur et des voitures à voyageurs à voie normale, provenant pour la plupart de la S.N.C.F., et les abritait en Seine et Marne, à Longueville, dans un dépôt loué à la Société Nationale. Par le passé, à plusieurs reprises, cette association avait fait circuler ses trains sur de petites lignes de la S.N.C.F., mais des motifs juridiques s'opposant à la poursuite de cette activité, elle s'est mise d'accord avec la Régie ferroviaire richelaise pour faire circuler tous les week-ends un train à vapeur historique dans le Val de Loire.

D'autres lignes à voie étroite

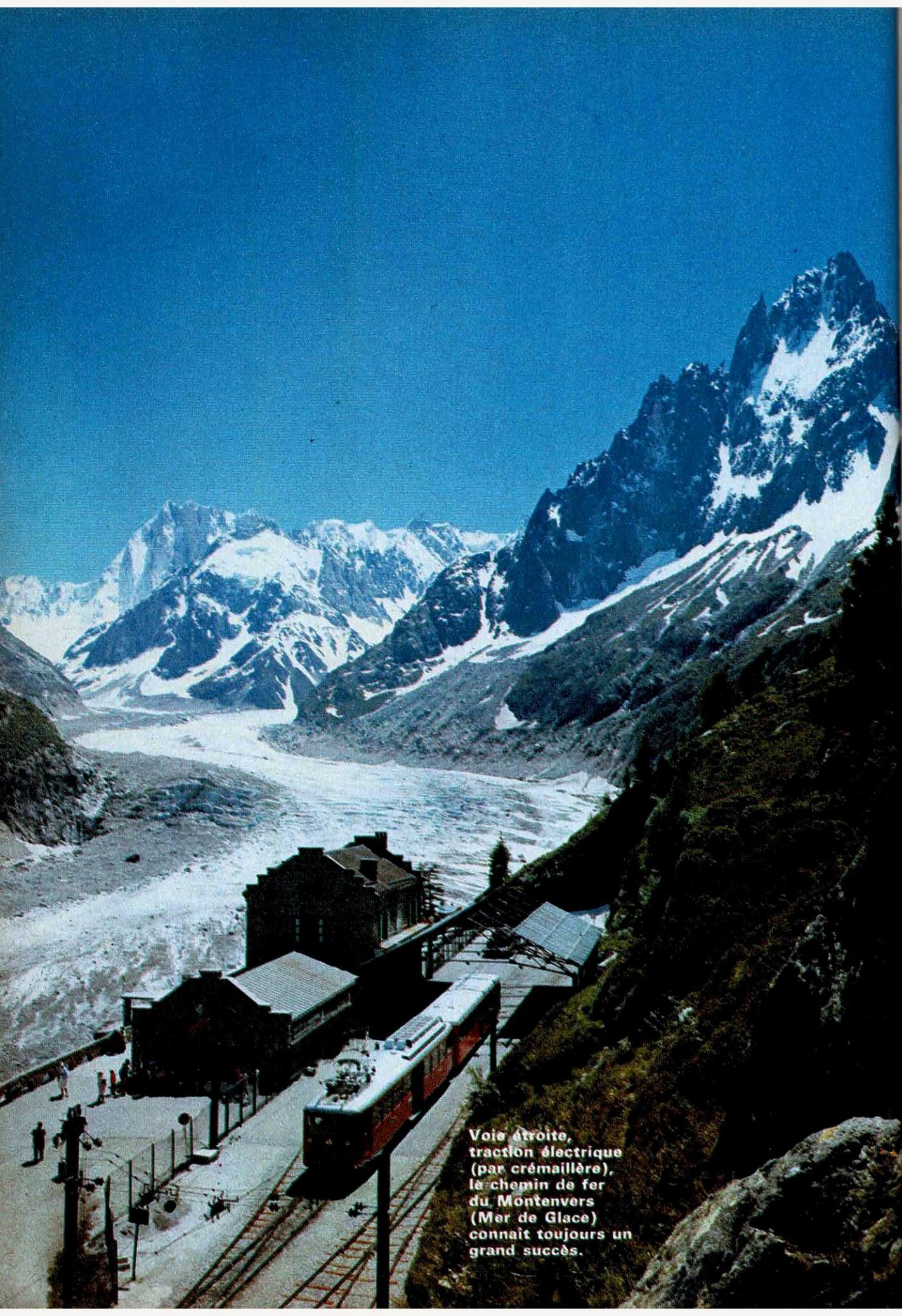
Cependant la voie étroite ne se tient pas pour battue... 1971 avait vu la mise en service d'une petite ligne à voie de « 60 », en traction à vapeur, à Cappy dans la vallée de la Somme, sur les vestiges d'un important réseau militaire installé par les Alliés en 1916. En 1972, c'est un véritable train du Far-West, construit de toutes pièces,



Richelieu : 16 kilomètres de voie « normale ».



Dans la vallée de la Somme, de Froissy à Cappy...



Voie étroite,
traction électrique
(par crémaillère),
le chemin de fer
du Montenvers
(Mer de Glace)
connait toujours un
grand succès.

LES PETITS TRAINS TOURISTIQUES

matériel roulant compris, par des amateurs, qui est ouvert au public à la Loge des Gardes, dans la montagne de la Madeleine, entre Roanne et Vichy.

L'écartement de 70 cm correspond ici à l'échelle 1/2 respectée pour la locomotive à vapeur, réplique d'une 220 « American » de 1875, et pour le matériel remorqué. Par ailleurs, les lignes à voie métrique de la baie de Somme (Noyelles au Crotoy et à Cayeux), fermées ces dernières années au trafic régulier, ont été reprises depuis l'année dernière en exploitation touristique estivale avec trains à vapeur.

Ce panorama serait incomplet si nous ne mentionnions le chemin de fer de La Mure, dans l'Isère, ligne à traction électrique servant à l'écoulement de la production charbonnière ; surplombant la vallée du Drac, accrochée à une paroi rocheuse abrupte sur une partie de son parcours, elle présente un intérêt exceptionnel ; des trains spéciaux pour touristes y sont admis occasionnellement.

Des projets nombreux

L'expansion des chemins de fer touristiques se poursuit. Plusieurs lignes nouvelles, toutes à traction vapeur, sont en gestation : à Palavas, une partie de l'ancienne ligne de Montpellier à Palavas, rendue célèbre par le dessinateur Dubout ; dans la vallée de la Doller, près de Mulhouse, où pour la première fois une ancienne ligne S.N.C.F. sera convertie à l'exploitation touristique ; dans la vallée d'Ouche, en Bourgogne, où une ligne à voie de « 60 » doit être installée sur les emprises d'une des premières voies ferrées françaises, disparue ces dernières années.

Et maintenant, que conseiller au lecteur, sinon d'aller découvrir par lui-même les chemins de fer touristiques français. Il peut être assuré de faire, grâce à eux, de joyeuses promenades à travers forêts ou montagnes.

Sylvain Zaldkind ■

Où obtenir des informations sur les chemins de fer touristiques?

Adresses des chemins de fer touristiques, dans l'ordre où ils sont cités dans le texte :

- Chemin de Fer de Chamonix au Montenvers (Mer de Glace), 74401 Chamonix. Tél. (50) 53.12.54 ;
- Tramway du Mont-Blanc (ligne de St-Gervais-le-Fayet au Bionnassay), 74190 Le Fayet. Tél. 21 à St-Gervais ;
- Société anonyme des voies ferrées départementales du midi (Chemin de fer de la Rhune). Col de St-Ignace, Sare, 64310 Ascan. Tél. (59) 54.20.26 ;
- Chemin de fer du Lac d'Artouste : M. l'Ingenieur, Chef des centrales hydro-électriques S.N.C.F. de la vallée d'Ossau, 64440 Laruns. Tél. 78 à Laruns ;
- Tramways du Cap Ferret, huitième avenue, 33970 Le Cap Ferret. Tél. (56) 60.60.20 ;
- Société du tramway touristique de Saint-Trojan, 17370 St Trojan. Tél. (46) 47.41.26 (en dehors de la saison d'été : 8, place du 11-Novembre, 17000 Saintes. Tél. (46) 93.02.62) ;
- Association du Musée des Transports de Pithiviers, 7, rue Lacuée, 75012 Paris. Tél. 628.23.47 (ou syndicat d'initiatives de Pithiviers) ;
- Chemin de fer forestier d'Abreschviller : M. Baillet, Hôtel des Cigognes, 57560 Abreschviller. Tél. (87) 03.70.09 ;
- Chemins de fer touristiques et de montagne (chemin de fer du Vivarais - Tournon à Lamastre), Boîte postale 37, 69226 Lyon Cedex 1. Tél. (78) 28.83.34 ;
- Chemins de fer régionaux Dunières-St-Agrève : M. Gérard Prévot, 227, rue Chateauvert, 26000 Valence. Tél. (75) 60.00.64 ;
- Société des carrières de St-Nabor (train folklorique de Rosheim à Ottrott), 67530 Ottrott. Tél. (88) 95.81.14, poste 24 ;
- Chemin de fer touristique des Landes de Gascogne (ligne de Sabres à Marquèze) : Association Bordelaise des Amis des Chemins de fer réels et modèles (A.B.A.C.), 54 bis, rue Amédée, Saint-Germain, 33000 Bordeaux ;
- Ligne de Ligré-Rivière à Richelieu : A.J.E.C.T.A., gare de Richelieu, 37120 Richelieu, ou (siège social) : A.J.E.C.T.A., Boîte Postale n° 1, 77650 Longueville. Tél. 401.60.62 ;
- Chemin de fer touristique Fraissy-Cappy-Dompierre : A.P.P.E.V.A., Boîte Postale n° 7 A, 80001 Amiens Cedex ;
- Chemin de Fer de la Loge des Gardes, Arcon, 42880 Saint André d'Apchon ;
- Chemins de fer touristiques et industriels de Picardie (chemins de fer de la Baie de Somme) : B.P. 9, 80550 Le Crotoy ;
- M. l'Inspecteur principal du Chemin de fer de la Mure, 38350 La Mure. Tél. 54 à La Mure.

DE NOUVELLES VOITURES-

Le début de l'année 1975 constituera une étape importante de l'évolution du matériel voyageurs, avec la mise en service par la SNCF d'une nouvelle génération de voitures modernes de grandes lignes. Au cours des quatre prochaines années, plus de 1700 voitures vont être progressivement incorporées dans le parc «voyageurs», traduisant un effort de renouvellement vraisemblablement sans précédent dans l'histoire du réseau français.

Les qualités spécifiques de ce nouveau matériel correspondent au souci de la S.N.C.F. de faire bénéficier toute sa clientèle des perfectionnements techniques et du niveau de confort qui avaient été, jusqu'alors, plus spécialement réservés aux trains de grand standing. Dans le cadre des recherches et des études qui ont conduit à la mise au point de ces nouvelles voitures, on s'est efforcé d'offrir au voyageur un environnement non seulement confortable mais également agréable, en donnant plus d'importance aux facteurs liés à l'espace offert, à l'ambiance, à la décoration, aux possibilités de restauration et de distraction.

Les commandes passées par la S.N.C.F. concernent essentiellement quatre types de matériel : les voitures standard européennes, les voitures pour trafic international qui correspondent en fait à une variante du type précédent, les voitures pour le service intérieur et les voitures-lits.

Indépendamment du matériel remorqué de grandes lignes, objet principal du présent article, le programme de construc-

tion « voyageurs » de la S.N.C.F. comprend également des rames à turbine à gaz (RTG) et des rames automotrices à moteur diesel classique. Par ailleurs, le parc de banlieue verra son effectif renforcé par 65 rames automotrices électriques à courant monophasé dont les premiers éléments entreront en service au cours du deuxième semestre de l'année 1975 sur la ligne Paris-Saint-Lazare-Versailles-Saint-Nom-la-Bretèche et sur la ligne Paris-Nord-Roissy pour desservir, en particulier, l'aéroport Charles-de-Gaulle.

Il importe de citer enfin une commande de 500 voitures de banlieue à deux niveaux, plus connues sous le nom de voitures à étage, dont les premières unités seront livrées dès les premiers mois de l'année 1975.

Les voitures standard européennes

Ces voitures d'un niveau de confort élevé sont destinées au trafic international. Il importe de préciser que la définition de ce matériel résulte d'une étude commune qui a été confiée à un groupe de travail de l'Union internationale des chemins de fer comprenant des ingénieurs de six réseaux européens (suisse, allemand, italien de l'Etat, autrichien, belge, et S.N.C.F.). Ce groupe de travail rédigea le cahier des charges qui devait servir de base à un appel d'offres international lancé par la Sté Eurofima⁽¹⁾. A la suite de cet appel d'offres, Eurofima a commandé à un regroupement de quatre firmes la construction de dix prototypes et d'une première série de 500 voitures, dont 100 sont destinées à la S.N.C.F.

Les dix voitures-prototypes dont la dernière a été livrée en juillet 74 sont toutes construites selon la formule A⁴B⁶ (4 compartiments de 1^{re} et 6 de 2^e classe) mais comportent des variantes pour les équipements, les aménagements et la décoration. Ces véhicules seront soumis à des essais

⁽¹⁾ Eurofima, dont le siège est à Bâle, est une société de financement qui a pour objet de procurer aux meilleures conditions possibles aux réseaux des matériels de type unifié ou à performances unifiées.

VOYAGEURS

techniques approfondis et à des enquêtes commerciales auprès du public.

Ces voitures ont une longueur hors-tout de 26,400 m, dimension adoptée pour toutes les voitures destinées au trafic international.

Sur le plan dimensionnel, trois éléments concourent à l'amélioration du confort, en particulier en 2^e classe :

- passage de 8 places à 6 places pour les compartiments de 2^e classe (3 places de front au lieu de 4) ;
- élargissement du couloir de 0,710 m à 0,785 m ;
- allongement du compartiment de 1^{re} classe qui passe de 2,113 m à 2,306 m.

Le tableau p. 101 illustre l'évolution des caractéristiques dimensionnelles.

Ces voitures comportent une installation de conditionnement d'air, l'énergie électrique étant fournie à partir de la caténaire par l'intermédiaire de la locomotive et d'une canalisation générale qui distribue le courant dans la rame. Chaque voiture comporte une installation de transformation de l'énergie électrique permettant d'alimenter les différents équipements (conditionnement d'air, éclairage, sonorisation et servo-mécanismes divers).

Ce matériel a été étudié pour la vitesse de 200 km/h. Cependant, la vitesse maximale effectivement réalisable dépendra des équipements de frein qui seront adaptés sur les voitures par les différents réseaux.

L'amélioration des conditions d'accès a fait l'objet d'études et de recherches très approfondies. Les portes d'accès sont coulissantes, à fonctionnement entièrement automatique tant à l'ouverture qu'à la fermeture. Dans un but de sécurité, elles sont verrouillées en position de fermeture dès que la vitesse du train dépasse un certain seuil. L'embarquement comporte 4 niveaux (au lieu de 3 dans les voitures actuelles), la marche inférieure étant mobile. Ce dispositif permet de réduire la pente de l'embarquement. Le voyageur bénéficiera ainsi d'un accès nettement plus commode que dans le matériel traditionnel. Afin de faciliter la circulation entre les voitures, les portes d'intercirculation sont également automatiques.



L'aménagement des compartiments comporte des sièges individuels avec appui-tête réglable en hauteur. Chaque siège peut être allongé de façon à venir en contact avec le siège vis-à-vis pour constituer une couchette. Un diffuseur central assure l'éclairage d'ambiance ; des lampes-liseuses sont implantées dans le porte-cannes au-dessus de chaque siège. Il importe de noter l'existence d'un porte-bagages longitudinal dans le couloir et de strapontins. Ces derniers ne sont prévus que dans les voitures de 2^e classe.

Le matériel bénéficiera des techniques les plus récentes en ce qui concerne le roulement, la suspension et l'isolement phonique. Les bogies qui équiperont ce matériel permettent tous la vitesse de 200 km/h, avec de remarquables qualités de stabilité et de souplesse. Le confort acoustique sera élevé : les premiers essais permettent d'espérer un niveau de bruit de l'ordre de 60 dBA à 160 km/h. Ce résultat est obtenu grâce aux qualités propres des bogies et aux liaisons caisse-bogies spécialement étudiées. L'isolation phonique est complétée, au niveau de la caisse, par des planchers-sandwiches à montage semi-flottant, par l'emploi de fibres minérales et d'enduit insonorisant sur l'ensemble des faces et de la toiture et par l'utilisation de fenêtres fixes. Cette dernière disposition est rendue possible du fait que les voitures sont conditionnées. Certaines fenêtres comportent néanmoins un châssis mobile, normalement fermé, mais qui peut être ouvert en cas de défaillance du conditionnement d'air.

Comme nous l'indiquions précédemment, les dix prototypes, qui ont été réalisés suivant la formule A⁴B⁶ (voiture mixte de 1^{re} et 2^e classe) afin d'expérimenter les aménagements des deux classes, com-

porteront un certain nombre de variantes concernant les bogies, les portes d'accès, le dispositif mobile d'embarquement, les sièges, les fenêtres, la décoration extérieure et intérieure, l'appareil de fourniture d'énergie électrique et l'équipement de conditionnement d'air.

Les nouvelles voitures SNCF pour trafic international

Indépendamment de la commande de 100 voitures du type « standard européenne », la S.N.C.F. a lancé en 1974 un marché de construction de 600 voitures pour trafic international comprenant des voitures de première classe (série A⁹), des voitures de 2^e classe à places assises (série B¹¹, série B⁶D avec compartiment à bagages), des voitures-couchettes de 2^e classe (série B¹⁰C¹⁰) et des voitures mixtes de 1^{re} et 2^e classe (série A⁴B⁶).

Les caractéristiques générales de ce matériel correspondent à celles des voitures standard européennes, en particulier en ce qui concerne l'organisation et la répartition des locaux ainsi que les dimensions des caisses, des compartiments, des fenêtres, etc.

Ces voitures, à l'exclusion des voitures-fourgons (série B⁶D) comporteront un équipement de conditionnement d'air et seront aptes à la vitesse de 200 km/h. Néanmoins, en première étape, elles recevront un équipement de frein qui limitera leur vitesse d'exploitation à 160 km/h. Il sera possible ultérieurement, en appliquant le frein électromagnétique, d'utiliser ces véhicules pour des trains circulant à 200 km/h, les bogies ayant été étudiés pour cette vitesse. Ces bogies se caractérisent par leur souplesse de suspension et leurs qualités de stabilité à grande vitesse.

Les portes d'accès sont du type pliant-pivotant à fermeture automatique avec verrouillage pendant la marche. L'embarquement comporte quatre niveaux, la marche inférieure étant rabattable. Les aménagements intérieurs et la décoration correspondent pratiquement à la variante proposée par la S.N.C.F. pour les voitures standards européennes.

Les voitures-couchettes comporteront 10 compartiments à 6 couchettes, utilisables en version 6 places ou 4 places. Dans la version 4 places, la couchette intermédiaire est relevée contre la paroi, ce qui permet d'offrir au voyageur de la couchette

inférieure un espace plus important, le voyageur de la couchette supérieure disposant dans les deux cas de l'ensemble du volume situé entre la couchette et le plafond.

La mise en service de ce nouveau matériel est prévue pour le milieu de l'année 1975. Les premières livraisons concerneront des voitures de 1^{re} classe, série A⁹.

Les nouvelles voitures de service intérieur

Les voitures évoquées précédemment appartiennent à la catégorie des voitures à couloir latéral. Les nouvelles voitures de service intérieur seront du type à couloir central, disposition déjà utilisée. L'ensemble de la commande comprend 970 voitures, dont 275 de 1^{re} classe et 695 de 2^e classe. Les premières livraisons sont prévues pour le début de l'année 1975.

Les dimensions principales des caisses (longueur hors-tout, hauteur au-dessus du rail, implantation des fenêtres) ont été choisies analogues à celles des voitures standard européennes et des nouvelles voitures pour trafic international, de telle sorte que les rames conservent une présentation homogène.

Comme les voitures à couloir latéral, elles sont équipées de bogies aptes, selon l'équipement de freinage, à 160 ou 200 km/h. Elles bénéficient également du conditionnement d'air en toutes classes.

Chaque voiture comprend deux compartiments (fumeurs et non-fumeurs) auxquels on accède par une plateforme dont le niveau surbaissé permet un embarquement commode à trois niveaux fixes.

Les portes d'accès sont à fermeture automatique. En outre, les portes d'entrée dans les compartiments sont automatiques à la fermeture et à l'ouverture. À l'extrémité de chaque compartiment, on a implanté deux cases à bagages visibles des voyageurs. Les locaux de service se répartissent aux quatre angles de la caisse, comprenant respectivement deux WC-toilettes, un local pour l'appareillage électrique et un emplacement qui sera utilisé soit comme aire de dégagement, soit comme local de restauration, ce dernier équipement devant être implanté sur 150 voitures.

L'exploitation de ce matériel sera caractérisée par le lancement d'une nouvelle formule de restauration. Comme nous venons de le voir, 150 voitures comporteront un local permettant le stockage de boissons

et de mets préparés à terre et la préparation de plats chauds. Chaque voyageur pourra être servi à sa place.

La formule de la voiture à couloir central soulève quelques critiques du fait qu'il n'y a pas de possibilité, comme dans les voitures à compartiments, de se détendre dans le couloir. Aussi, la S.N.C.F. a-t-elle prévu la mise en circulation d'un nouveau type de voiture-bar, donnant aux voyageurs la possibilité de faire de petits achats (livres, journaux, cigarettes), de prendre une consommation ou un plat léger (sandwich, hot-dog, etc.) et ainsi de se distraire dans une ambiance agréable.

Les voyageurs qui ont emprunté le Mistral ont pu apprécier la voiture-bar-boutique de ce train qui comporte un comptoir de vente, un salon de coiffure et un secrétariat. C'est une formule analogue, simplifiée, qui a été reprise pour les rames du service intérieur.

Les voitures-lits T2

Ces voitures sont maintenant bien connues, puisque la Compagnie internationale des wagons-lits a mis en circulation les premières unités en 1968. La S.N.C.F. a développé ce matériel en passant successivement deux commandes de 35 et de 47 voitures en 1971 et 1973. Les nouvelles voitures présentent les mêmes dispositions que précédemment, dix-huit compartiments à 2 lits, mais comportent une installation de climatisation. Par ailleurs, on a amélioré les conditions d'accès en appliquant, sur les 47 voitures de la 2^e tranche, un emmarchement à 4 niveaux avec marche inférieure rabattable. Ces voitures qui sont accessibles aux voyageurs de 2^e classe comportent deux types de compartiment : le compartiment inférieur à 2 lits mobiles superposés et le compartiment su-

périeur à 2 lits fixes, situés sur un même plan, au niveau de la voussure de toiture.

Les voyageurs des compartiments T2 bénéficient des mêmes commodités que ceux des autres voitures-lits : meuble-lavabo alimenté en eau froide et chaude, armoire à boissons, penderie, lampe-liseuse individuelle, prise de rasoir électrique.

Les nouvelles voitures de banlieue à deux niveaux

Comme nous le disions au début de cet article, ce matériel n'est pas destiné aux trains de grandes lignes mais son caractère original intéressera le lecteur, en particulier le lecteur de la région parisienne qui verra apparaître les premières rames au début de l'année 1975. Le principe même de la voiture à étage n'est pas nouveau, puisque de telles voitures circulent actuellement sur la banlieue ouest au départ de Paris-Saint-Lazare. Mais les nouvelles voitures, dont 500 unités ont été commandées par la S.N.C.F. en 1973, offriront un confort qui sera, nous l'espérons, apprécié par la clientèle de la banlieue parisienne. La voiture de 2^e classe, voiture de base, permet d'offrir 164 places assises (175 en comptant les strapontins) et 132 places debout, soit au total 296 places.

Si l'on compare ce matériel à un matériel classique à un seul niveau, on obtient, pour une même longueur d'occupation des quais, une augmentation de 60 % pour les places assises et 42 % pour la capacité totale. Le tracé des accès portes d'entrée, escaliers intérieurs a été étudié avec le souci de faciliter la circulation. Les bogies comportent une suspension pneumatique, technique très favorable pour le confort en raison de ses qualités propres de souplesse et de filtre anti-vibratoire.

Pierre Tachet

Type de voiture	Long. hors tout (m)	Long. compt. (m)	Larg. compt. (m)	Larg. couloir (m)	Nb places de front	Capacité	Surface unitaire par voy. (m ²)
Voiture B10 actuelle	24,500	1,900	2,010	0,710	4	80 v.	0,48
Voiture B11 stand. europ.	26,400	1,883	1,880	0,735	3	66 v.	0,59
Voiture A9 actuelle	24,500	2,113	2,010	0,710	3	54 v.	0,71
Voiture A9 stand. europ.	26,400	2,309	1,880	0,785	3	54 v.	0,72

LE NOUVEL ÂGE DU CHEMIN DE FER EUROPÉEN

Moteur de la révolution industrielle en Europe, le chemin de fer s'y est développé au siècle dernier avec une extraordinaire rapidité. Villes, ports, mines et industries sont aujourd'hui desservies par un réseau de 250000 kilomètres qui constitue un véritable système circulatoire du vieux continent. Pourtant, au cours des dernières décennies, une incertitude a plané sur l'avenir du rail. Les transports routiers et fluviaux, puis le transport aérien et les pipe-lines ont alors bénéficié de l'essentiel des investissements tandis que la construction de lignes ferroviaires nouvelles était pratiquement stoppée. Aussi l'actuel réseau ferré européen repose-t-il sur une infrastructure datant du siècle dernier.

Alors que de nombreux observateurs avaient cru pouvoir prédire un inéluctable déclin du rail, depuis quelques années, et avant que ne débute la crise de l'énergie, la tendance s'est renversée dans le monde entier. Le trafic ferroviaire augmente, les investissements reprennent, les chantiers de lignes nouvelles s'ouvrent un peu partout. Tout récemment, et ceci a valeur de symbole, la technique ferroviaire européenne a remporté un succès que lui envie l'aéronautique : 6 turbotrains français ont pris le chemin de l'Amérique, achetés par l'Amtrak, société chargée par le Gouvernement des U.S.A. de revitaliser le trafic ferroviaire des voyageurs dans ce pays.

Le rail achève ainsi sa « traversée du désert », au cours de laquelle il lui a fallu résister à de nombreux assauts, le plus souvent dans un climat d'incompréhension des réalités économiques. Mais ces réalités ne pouvaient être ignorées indéfiniment, encore moins à un moment où la crise de l'énergie a mis en lumière quelques aspects longtemps méconnus de la vérité des prix,

et cette « opération vérité » s'est révélée très loin d'être défavorable au chemin de fer.

L'attrait économique au premier plan

Les coûts d'exploitation du rail ont été longtemps dominés par le poids de la main-d'œuvre. Or, la tendance s'est renversée depuis la dernière guerre et, à trafic égal, les effectifs diminuent régulièrement grâce à l'amélioration de la productivité et en particulier à la suppression de la vapeur et au développement de la cybernétique qui trouve dans le transport guidé un terrain d'application privilégié. On peut citer dans ce domaine les nombreuses réalisations de signalisation automatique, de commande centralisée de la circulation, d'automatisation des triages et, plus récemment, la réservation électronique des places et la gestion automatique en temps réel du trafic marchandises. A moyen terme, les réseaux européens ont en outre décidé d'adopter l'attelage automatique. Or, cet impact de la main-d'œuvre joue dans un



Le viaduc de Paglia, en construction pour la nouvelle ligne à grande vitesse entre Rome et Florence.

sens opposé pour la plupart des autres modes de transport, confrontés notamment à l'application stricte des règlements de durée du travail.

On sait, d'autre part, que le chemin de fer est, en dehors de la navigation dont le marché est spécialisé et géographiquement limité, le mode de transport le plus économique en énergie. Ceci explique pourquoi les conséquences de la situation actuelle se font beaucoup moins sentir dans les tarifs ferroviaires que dans ceux des autres modes. En outre, dans un continent qui doit importer la plus grande partie de son énergie, il est évident que le recours aux transports les plus économies constitue un élément important du redressement de la balance des comptes.

Les coûts de développement comparés des différents modes de transport sont également beaucoup mieux connus. Ainsi les études menées par les experts gouvernementaux français ont montré que le coût kilométrique d'une voie ferrée rapide du type Paris-Lyon est inférieur à celui d'une autoroute dans les mêmes conditions topo-

graphiques, et ceci pour une capacité incomparablement plus grande. Ces coûts d'infrastructure ne se mesurent d'ailleurs pas uniquement en unités monétaires. Par exemple, un grand aéroport « coûte » la superficie d'une ville moyenne, sans parler de ses infrastructures d'accès. Enfin, il n'existe aucune commune mesure entre le coût de développement du matériel ferroviaire et celui du matériel aéronautique.

Il faut également tenir de plus en plus compte de ce qu'on appelle les « coûts sociaux », c'est-à-dire les répercussions des investissements sur l'environnement en général, qu'il s'agisse des nuisances, de la sécurité, de l'utilisation du sol, etc. Dans tous ces domaines, qui intéressent au premier chef la qualité de la vie, il est incontestable que le chemin de fer moderne se situe très favorablement.

De nouvelles préoccupations

Quelles lignes de force peut-on dégager, dans ce contexte, pour le chemin de fer européen au cours des prochaines décen-

nies ? Tout d'abord l'adjectif *européen* s'impose car, avec le développement des communautés économiques et celui de la technologie ferroviaire — en particulier l'augmentation des vitesses — les problèmes ferroviaires ont depuis longtemps dépassé en Europe le cadre national pour prendre un caractère continental. C'est d'ailleurs dans ce but qu'a été créée en 1922 l'Union Internationale des Chemins de fer, qui poursuit une action d'animation et de coopération, entre les réseaux européens en particulier.

Il faut ensuite, dans l'intérêt de la collectivité, remplacer la notion de concurrence, parfois sauvage, par celle de complémentarité des différents modes. Mais cette complémentarité s'entend, bien entendu, en respectant la vérité des coûts. Il est d'ailleurs bien connu que l'exécution d'un transport, qu'il s'agisse de voyageurs ou de marchandises, nécessite presque toujours l'emploi successif de plusieurs modes. Cet objectif, qui met au premier plan la réalisation d'*« interfaces »* bien étudiées et réduisant soit la fatigue des voyageurs, soit les risques d'avaries des marchandises, doit figurer au premier rang des préoccupations des responsables. En ce qui les concerne, les Chemins de fer n'ont jamais fermé la porte à ce sujet, bien au contraire.

De façon plus concrète, les considérations économiques, et en particulier la vérité des coûts, permettent de dégager les principaux marchés d'avenir du chemin de fer européen.

Quelques points d'application

Dans le domaine des marchandises, le chemin de fer conserve, sauf pour les trafics relevant géographiquement de la voie d'eau ou techniquement du pipe-line, le marché des transports lourds à moyenne et grande distance, en particulier sous la forme de trains complets reliant directement les installations de l'expéditeur à celles du destinataire. L'avenir du « wagon isolé », caractéristique de l'exploitation ferroviaire par regroupement des wagons en trains dans les gares de triage, a été récemment discuté. Mais aucune formule ne semble présenter d'avantages décisifs par rapport au wagon isolé associé aux embranchements particuliers, qui permet d'offrir le porte à porte pour les envois de faible tonnage, ni par rapport aux systèmes de transports combinés, dont la formule la plus récente est celle du transconteneur.

Par contre, l'avenir du trafic des colis par rail est beaucoup plus incertain et plusieurs réseaux l'ont déjà confié à la route.

Le développement de ces trafics n'exige d'ailleurs pas d'investissements importants, sinon dans le domaine de l'automatisation qui permet en contre-partie, nous l'avons dit plus haut, des économies considérables de main-d'œuvre.

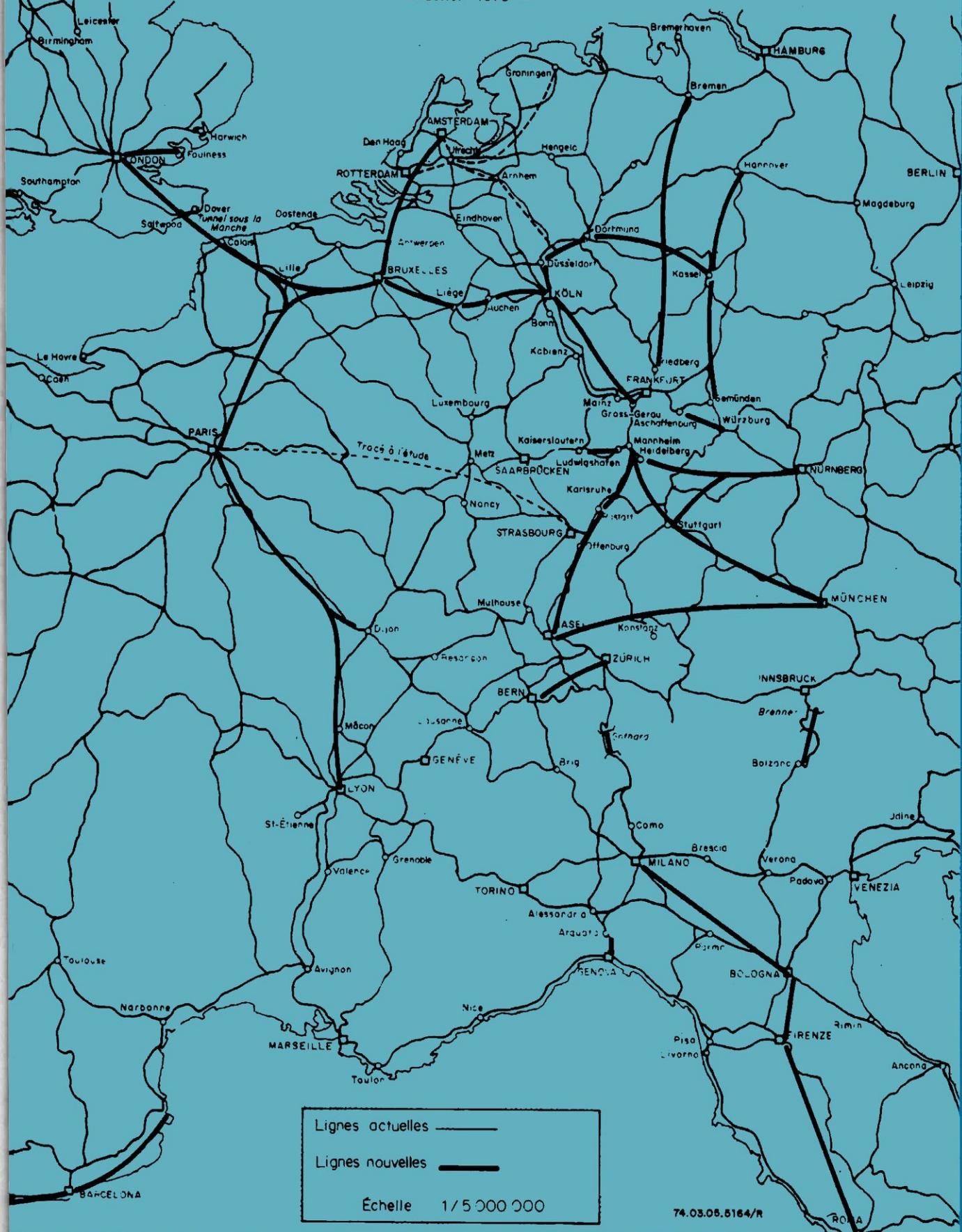
Dans le domaine des voyageurs, le trafic local rural semble définitivement du ressort de la voiture particulière, ce qui entraîne la fermeture de petites gares et souvent de lignes secondaires complètes.

Par contre, le trafic intervilles, qui est en constant développement, est appelé à poursuivre encore son ascension pour des raisons fondamentales qui tiennent à la géographique urbaine de l'Europe. En effet, il suffit de regarder une carte pour constater que les grandes agglomérations européennes — et ce sont évidemment elles qui produisent le trafic — ne sont jamais distantes de plus de quelques centaines de kilomètres. Cette situation géographique est profondément différente de celle que l'on rencontre dans la plupart des autres continents, Japon et côte Est des Etats-Unis exceptés, et ceci explique pourquoi l'avenir du trafic voyageurs intervilles ne peut être envisagé de la même façon dans le monde entier. En effet, sur des distances de quelques centaines de kilomètres, et malgré une vitesse maximum de l'ordre de 900 km/h qui est celle des avions subsoniques courts et moyens courriers, le transport aérien ne peut offrir, de centre à centre de ville et au prix de l'emploi de plusieurs modes successifs, qu'une vitesse commerciale de 200 à 250 km/h. Or, le chemin de fer, dont les grandes gares sont situées au centre des villes et dont la technique permet dès maintenant le 300 km/h, peut assurer sans rupture de charge et à un coût nettement inférieur (de l'ordre du tiers en seconde classe), même au prix de la construction de quelques lignes nouvelles en dehors des agglomérations, une qualité de service au moins égale, notamment en fréquence, confort et régularité.

Ceci constitue sans doute la plus importante réévaluation du rôle respectif des différents modes de transport intervilles depuis de longues années. L'intérêt social de cette situation est en outre considérable puisqu'elle permet, pour la première fois, de réaliser une véritable « démocratisation de la vitesse ».

LIGNES NOUVELLES A TRÈS GRANDE VITESSE ENVISAGÉES PAR LES RÉSEAUX EUROPÉENS

- Situation 1973 -



Lignes actuelles

Lignes nouvelles

Echelle 1 / 5 000 000

74.03.08.5164/R

Les transports urbains et suburbains resteront également un domaine privilégié du rail, mais cette fois dans une optique de service public. En effet les contraintes d'une telle exploitation nécessitent, quel que soit le mode de transport, des subventions des collectivités intéressées. Mais le caractère irremplaçable du chemin de fer, à cause de son très haut rendement, de l'occupation du sol et de la situation de ses gares, ne peut être discuté. Dans le monde entier, les chantiers se multiplient pour développer les réseaux ferroviaires urbains et suburbains, et améliorer les interfaces aussi bien avec les autres systèmes urbains qu'avec les aéroports.

Un nouveau réseau

La reprise de la construction de grandes lignes ferroviaires en Europe marque donc un tournant fondamental dans la géographie des transports de notre continent. La construction de ces lignes répond à un double impératif d'amélioration rentable de la qualité du service pour les usagers et de développement urgent de la capacité du réseau existant. Il est en effet normal que, après plus d'un siècle, les principaux axes ferroviaires européens, dont le trafic n'a fait que se développer, présentent des signes de saturation. Il est particulièrement heureux que les nouvelles possibilités ferroviaires à haute vitesse se soient matérialisées au moment où des investissements de capacité devenaient indispensables. En effet les cheminots ont pu concevoir ces développements de capacité dans le même esprit que les ingénieurs des Ponts et Chaussées lorsqu'ils ont dû faire face à la saturation des grands itinéraires routiers. De même que l'on a doublé les grands axes routiers par des autoroutes de caractéristiques différentes, permettant une certaine spécialisation du trafic, les nouvelles lignes ferroviaires sont dotées de caractéristiques de haute vitesse (250 à 300 km/h) permettant une spécialisation du trafic, ce qui améliore leur rendement économique. Mais comme pour les autoroutes, on a maintenu la compatibilité de l'ensemble du système afin notamment de permettre l'accès aux gares des grandes villes et la diffusion des services pour l'utilisation du réseau existant. Il ne faut pas oublier en effet que, à la différence de l'avion qui réalise du « point à point », le train, comme la route, est un système de « desserte en surface ».

C'est dans cet esprit que les réseaux européens ont établi récemment, dans le cadre de l'UIC, un « Plan directeur du chemin de fer européen de l'avenir », lequel prévoit en première étape, pour les 15 années à venir, environ 6 000 km de lignes nouvelles, la plupart à haute vitesse. Ceci représente d'ailleurs un volume d'investissement très faible par rapport à celui des autres modes. La carte ci-jointe donne une idée de ce plan, dont il est intéressant de savoir que d'ores et déjà plus de 1 000 km sont en cours de construction ou ont fait l'objet d'une décision finale des gouvernements.

Ce plan prévoit la disparition des transbordements maritimes subsistant en Europe, avec la Grande-Bretagne et la Scandinavie. Les études économiques détaillées effectuées non seulement par les réseaux mais par les gouvernements, avant d'autoriser ces investissements, ont montré leur très grande rentabilité aussi bien pour les exploitants que pour la collectivité.

Des structures communautaires

Les chemins de fer européens accélèrent également leurs actions communes dans tous les domaines de la gestion, en vue d'améliorer la rentabilité et la qualité du service. Un des objectifs les plus importants est de réaliser la standardisation des matériels, qui permet une réduction des coûts d'approvisionnement, et d'élaborer des structures tarifaires internationales faisant abstraction des frontières. Un autre type d'action, qui tient compte de certaines réalités politiques et économiques, consiste à développer des « actions sectorielles » au niveau européen, soit sous la forme de pools d'exploitation (voitures-lits, wagons de marchandises, etc.), soit sous la forme de sociétés multinationales spécialisées. Ainsi sont nés Interfrigo, Intercontainer, Europabus, Eurofima, dont les sigles définissent clairement les objectifs. D'autres structures de ce type s'élaborent à l'intérieur de l'UIC.

Ainsi s'affirme incontestablement la seconde jeunesse du chemin de fer, lequel, pour reprendre la phrase par laquelle Louis Armand terminait son introduction à la publication « Chemins de fer 1952 » de Science et Vie, « est aussi un facteur indispensable de la constitution de l'Europe future et l'un de ceux qui peuvent exercer le plus rapidement leur action bienfaisante ».

Bernard de Fontgalland

L'ATTELAGE AUTOMATIQUE

L'attelage automatique des véhicules de chemins de fer a été envisagé par les chemins de fer européens depuis plusieurs dizaines d'années déjà, notamment à partir de 1922, sous l'égide de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC). L'introduction de cette réforme n'a pas jusqu'alors abouti ; son exécution aurait exigé de la part des Réseaux de chemins de fer intéressés une solidarité et une coordination indispensables pour mener à bien une opération qui, à cause de l'ampleur des échanges de matériel roulant, ne peut être organisée que sur le plan international. La situation politique en Europe entre les deux guerres mondiales ne constituait pas un terrain favorable pour l'exécution d'un tel projet, en outre très coûteux, et à une époque où ne se posait aucun problème de main-d'œuvre.

Maintenant, la question se présente sous des aspects nouveaux. L'élimination de la tâche dangereuse et pénible qu'est l'attelage manuel des wagons dans une gare de triage est devenue un impératif social inéluctable. Le cheminement de l'exploitation ferroviaire vers une automatisation de plus en plus poussée (et peut-être, un jour, totale) ne saurait être entravé par le main-

tien d'une phase relevant d'un autre âge. Par ailleurs, permettant de former des trains plus lourds, l'attelage automatique est un moyen d'accroître le potentiel d'un réseau de chemin de fer, à égalité d'installations déterminant le débit des lignes (nombre de voies, signalisation, etc.).

C'est en prenant en considération ces données nouvelles que l'UIC a remis le projet en chantier. L'esprit de collaboration internationale développé en Europe depuis la fin de la 2^e guerre mondiale offrait en outre une perspective favorable à son aboutissement.

L'œuvre entreprise a maintenant largement dépassé le stade des études théoriques dont elle n'était pas sortie auparavant.

Un type d'attelage automatique répondant beaucoup plus aux exigences actuelles des chemins de fer européens que les divers types utilisés dans d'autres parties du monde (notamment en Amérique, au Japon, en Chine et en URSS, etc.) a été créé, en collaboration avec un groupe industriel international, le Groupe « Unicupler ». Ce type d'attelage, contrairement, à ceux qui existent déjà, peut assurer, en plus de ses fonctions normales de traction et de tampon central, la jonction automatique de

deux conduites d'air comprimé et d'un certain nombre de circuits électriques. Ceci permettra tous les perfectionnements possibles en matière de commande du frein pneumatique et de transmission d'informations et de commandes, aussi bien dans les trains de marchandises que dans les trains de voyageurs. En outre, l'attelage Unicupler est accouplable sans restriction avec l'attelage automatique des chemins de fer soviétiques, condition impérative pour les chemins de fer de l'Est de l'Europe ; ces derniers, d'ailleurs, pour des raisons industrielles, ont préféré ne pas recourir à l'attelage « Unicupler » et ont créé un attelage assez voisin et entièrement compatible avec ce dernier. De nombreuses séries d'essais ont été effectuées avec les deux sortes d'attelages et ceux-ci sont maintenant pratiquement au point.

Mais la création d'un type d'attelage adéquat n'est pas le seul problème qui se posait. Le fait de substituer à l'attelage manuel et aux tampons latéraux, qui existent actuellement sur le matériel roulant, un attelage automatique jouant en même temps le rôle de tampon central modifie sensiblement les conditions de la stabilité des wagons dans les

trains lorsqu'il se produit des efforts longitudinaux de compression (freinage, rame poussée).

Il en résulte que certains types de wagons, tels qu'ils sont actuellement en service, peuvent, dans certaines situations, se trouver en danger de déraillement. Il s'agit essentiellement des wagons à deux essieux lorsqu'ils sont légers ou à grand porte-à-faux. Le remède le plus efficace se trouve dans la généralisation du matériel à bogies, mais il s'agit d'une solution à très long terme. Il a donc été nécessaire de trouver des solutions techniques intermédiaires pour utiliser le matériel à deux essieux : ces solutions résident dans une construction adéquate de la liaison attelage-véhicule (articulation stabilisatrice), complétée par un choix judicieux des caractéristiques du dispositif élastique de choc, éventuellement par des modifications aux conditions de freinage, ainsi que par un classement imposé à certains véhicules dans les trains de tonnage très élevé. La recherche de ces solutions a demandé beaucoup de travaux théoriques et une quantité d'essais compliqués et onéreux, mais dont le résultat apparaît positif.

Les éléments techniques acquis sont largement suffisants pour que l'UIC ait pris, en 1973, la décision formelle d'introduire l'attelage automatique dans ses Réseaux européens. Mais les problèmes financiers ne sont pas encore suffisamment

éclaircis pour qu'une date ferme soit déjà définitivement fixée. Le début de l'opération (qui devrait s'étaler sur une période de deux à quatre ans) a d'abord été envisagé pour 1979, puis 1981. Les difficultés financières de certains grands Réseaux, confrontés par ailleurs à la nécessité de réaliser des investissements vitaux dans d'autres domaines, ont conduit à prévoir pour 1985 la date de l'obligation d'effectuer le trafic international en wagons munis de l'attelage automatique.

Le coût du projet a été estimé, en 1972, à un peu plus de 10 milliards de Deutsche Mark pour l'ensemble des pays d'Europe de l'Ouest, Yougoslavie comprise. L'achat des attelages entre dans ce coût pour un peu moins de la moitié, le reste résultant, en gros, de la transformation des véhicules (locomotives, voitures, wagons) pour les rendre aptes au montage de l'attelage automatique et au tamponnement central. Il s'agit donc d'une opération relativement coûteuse et dont la rentabilité, si on doit la considérer isolément, n'est pas très élevée, ainsi qu'il a été établi par différentes études économiques. Mais ce serait une erreur de considérer cette rentabilité à elle seule, car l'attelage automatique étant la clé de l'automatisation de l'exploitation ferroviaire, sa rentabilité doit être considérée dans l'ensemble de l'accroissement de productivité que cette automatisation procurera.

Les principales tâches, à l'heure actuelle, sont donc l'étude du financement et la préparation des fournitures. En ce qui concerne le financement, outre les ressources propres des Réseaux, il sera largement fait appel au concours de la Société européenne pour le financement du matériel ferroviaire (Eurofima). D'autres formules sont également à l'étude, faisant appel soit à la BIRD, soit, dans le cadre de l'Europe des Neuf, à la Banque Européenne d'Investissement. Enfin, le recours au financement privé et au crédit des fournisseurs d'attelages n'est pas exclu.

La fabrication des attelages et des dispositifs élastiques qui leur sont associés mettra largement à contribution l'industrie de l'acier moulé ; toutefois, d'autres procédés de construction des attelages sont à l'étude qui permettraient l'intervention d'autres formes de fabrication, telle que la mécano-soudure. Des préconsultations de l'industrie ont déjà eu lieu dans le monde entier et il s'avère que, établie sur un temps suffisant (de l'ordre de quatre ans), la fourniture de la quantité d'attelages nécessaires à l'équipement d'un million environ de véhicules en Europe de l'Ouest sera possible sans investissement en usines nouvelles. L'UIC a acquis la licence de l'attelage automatique Unicupler et ses Réseaux membres d'Europe auront ainsi la possibilité de faire jouer largement la concurrence.

Maurice Pézard

Des voies aux ouvrages d'art

Le langage courant confond souvent, sous le terme de « tracé des voies », deux domaines bien différents qu'il importe de dégager ici.

Le tracé de ligne s'applique par exemple à une liaison nouvelle dont le profil en travers reste uniforme sur une grande longueur. Il se représente généralement en plan et par le profil en long. En général, toutes les voies d'une même ligne peuvent être représentées de la même façon.

Le tracé de voie intéresse, par exemple dans une gare, un ensemble de voie comportant des liaisons entre elles. Ce qui importe ici, ce sont les itinéraires, et chaque voie aura son propre tracé et son propre profil en long. On conçoit que ce problème soit beaucoup plus complexe que celui du tracé de ligne qui peut être considéré comme un cas particulier du tracé de voie, avec un seul itinéraire, ou plusieurs parallèles. Nous n'envisagerons ici que le cas du tracé de ligne.

Avant d'aborder la construction de lignes nouvelles, la S.N.C.F. s'est efforcée de tirer le meilleur parti de ses lignes anciennes. En trafic voyageurs, en particulier, des vitesses de 160 ou même de 200 km/h sont maintenant assurées sur certaines sections.

Généralement, ces opérations ont pu avoir lieu sans modifications sensibles du tracé. On a, d'une part, utilisé la largeur de « plateforme » disponible

pour augmenter légèrement le rayon des courbes et allonger leurs raccordements. On a, d'autre part, augmenté le dévers dans les courbes. Toutefois ces opérations ne sont possibles que dans certaines limites. D'où l'étude de lignes nouvelles à grande vitesse, comme celle de Paris à Lyon, étude décidée en 1968. Depuis, d'autres projets ont été mis à l'étude et un bon millier de kilomètres se trouve aujourd'hui sur la planche à dessin.

Pour ces lignes nouvelles, les conditions de sécurité (limitation des efforts transversaux exercés sur la voie) et de confort (limitation de l'accélération non compensée par le dévers) conduisent, pour une vitesse de 300 km/h, à des courbes de rayon minimum 4 000 m. Du point de vue du profil en long, on a pu adopter de fortes rampes. Les lignes en question seront en effet spécialisées dans le trafic voyageurs, par rames automotrices à grande adhérence. Pour Paris-Lyon, le maximum arrêté pour les rampes est de 35 mm/m. Ce choix a un grande influence sur l'économie du projet. Empruntant un relief moyennement vallonné, la ligne a pu être tracée sans aucun tunnel. Les exigences de confort ont, par ailleurs, fait porter à 16 km au moins les raccordements de profil en long entre deux rampes successives.

Comme on avait affaire à une ligne à double voie, il a fallu, compte tenu de

l'effet de souffle au croisement des rames à grande vitesse, porter l'entraxe des voies à 4,20 m (au lieu de 3,57 ou 3,67 m). Avec les voies, les fossés, les poteaux des caténaires (dans l'éventualité d'une électrification), les pistes de circulation, la plateforme complète a une largeur de 13 m.

Ces caractéristiques de base se trouvant définies, la recherche du meilleur tracé n'est plus une affaire spécifiquement ferroviaire. La S.N.C.F. s'est, par contre, largement inspirée des méthodes mises au point pour les études d'autoroutes.

La recherche du meilleur tracé a des répercussions importantes sur le coût de construction. Il est donc essentiel d'étudier de nombreuses variantes de tracé et de profil en long. Il faut en fait tenir compte de données fort nombreuses : la topographie, qui déterminera le volume des terrassements à exécuter ; la géotechnique et l'hydrologie, pour connaître la nature du terrain et prévoir les difficultés des travaux ; les contraintes, fort diverses, liées à l'environnement, à l'urbanisme, aux voies de communication existantes...

Une première phase, que l'on peut qualifier d'« intelligente » consiste à faire une synthèse de toutes ces données, laquelle fait intervenir quelques appréciations subjectives. La seconde, plus systématique, conduira, par une longue série de calculs et de

dessins, à l'estimation du coût de telle variante proposée. C'est à ce niveau que l'ordinateur intervient, ainsi que des machines à dessiner perfectionnées apparues depuis quelques années.

Les ouvrages d'art

Avec le nouveau rythme des réalisations d'autoroutes et de modernisation des routes nationales et départementales, les techniques de construction des ponts ont été complètement bouleversées au cours de ces dernières années.

La S.N.C.F. est directement intéressée à cet effort. Elle garde, par exemple, la maîtrise d'œuvre de la totalité des ouvrages sous voie ferrée, des « ponts-rails », et réalise bon nombre de « pont-routes » construits au-dessus de ses installations, surtout quand le déroulement des travaux a une influence notable sur l'exploitation du chemin de fer. Ainsi, chaque année, elle construit une centaine d'ouvrages. Dans l'avenir, l'établissement de nouvelles lignes de banlieue et celle de lignes nouvelles à grande vitesse (le projet Paris-Lyon comporte à lui seul 400 ouvrages) augmenteront sensiblement cette contribution.

Lorsqu'il n'existe pas de contrainte de maintien du trafic, les techniques utilisées par la S.N.C.F. ne diffèrent pas de celles que mettent en œuvre les constructeurs d'autoroutes. Au contraire, sur les lignes déjà existantes, où la règle générale est le maintien du trafic, assurer la continuité de la voie et

de ses réseaux annexes (caténaires, signalisation, télécommunications), sa stabilité, et le respect des gabarits, conduit à des travaux particuliers et à des dépenses souvent considérables.

Sur les lignes importantes, et dans des conditions difficiles, ces dépenses peuvent doubler ou même tripler le prix de l'ouvrage lui-même. D'où la nécessité de réduire au minimum la durée des travaux, et, pour cela, de mettre en œuvre des techniques particulières.

Les ponts-rail

Les ouvrages métalliques, qui peuvent être élancés et légers, conviennent à beaucoup de lignes déjà existantes, où la mise en place du tablier est généralement délicate. Les ponts métalliques actuels, en matériau à haute élasticité tel que l'acier au niobium, sont entièrement soudés.

Il y a vingt ans, la S.N.C.F. avait réalisé un des plus beaux ouvrages en béton précontraint de l'époque, celui de La Voulte, sur le Rhône. Jusqu'à ces derniers temps, pourtant, elle n'a plus réalisé d'ouvrages comparables (un certain nombre de ponts-routes ont cependant été construits). Les progrès réalisés quant aux procédés de précontrainte ou aux qualités d'acier donnent aujourd'hui une nouvelle assurance pour de tels ouvrages. Comme la technique apparaît particulièrement intéressante au plan économique, elle a subi une relance récente. Ainsi, deux ouvrages en béton précontraint sont en cons-



Le pont Masséna, à Paris : 500 mètres d

truction entre Juvisy et Corbeil sur la nouvelle ligne d'Evry.

Métal et béton précontraint sont généralement adoptés pour des ouvrages d'assez grande longueur. Pour des ponts-rails de moindre importance, le béton armé et la technique des poutrelles enrobées (poutrelles noyées dans une dalle de béton dont elles constituent l'essentiel de l'ossature résistante) sont à l'honneur, sous des formes modernisées.

Dans ces différentes techniques, pour réduire la durée des travaux, il est fait un large appel à la préfabrication.

Dans le cas d'un ouvrage



de longueur.

sous voie exploitée, trois techniques d'exécution peuvent être citées. Le poussage consiste à introduire latéralement, à l'horizontale, et par substitution progressive, la structure nouvelle sous la voie. Il convient à des structures moyennes.

Le ripage transversal d'éléments lourds consiste à exécuter les appuis du futur ouvrage à l'abri de tabliers auxiliaires pendant que les tabliers définitifs sont préfabriqués latéralement à la voie. Terminés, ces derniers sont mis en place pendant une coupure du trafic. La manutention lourde par engins sur rail sera mise en œuvre à la S.N.C.F. par un

véhicule actuellement en construction, l'hydrocampe, qui permet d'amener à pied d'œuvre un tablier préfabriqué, d'enlever le tablier ancien et de lui

substituer très rapidement le tablier nouveau.

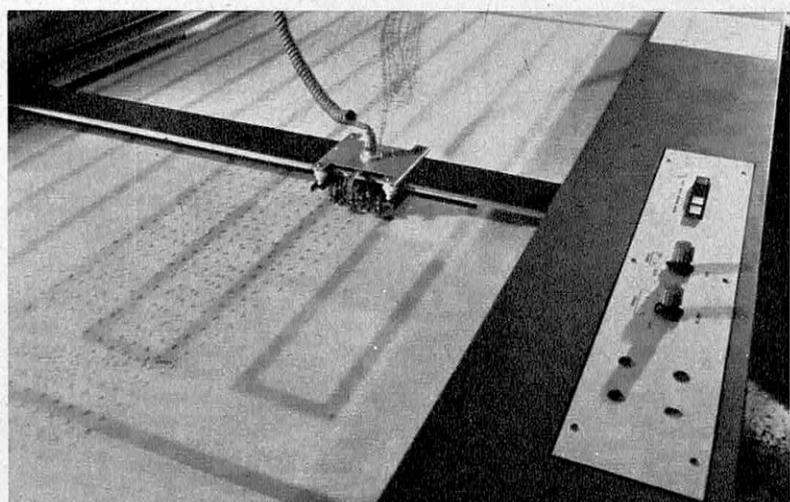
Les ponts-routes

Pour les petits ouvrages, on a recours à des tabliers à poutres préfabriquées, lancés ou mis en place à la grue. Les poutres peuvent être en acier ou en béton précontraint. Elles jouent le rôle de support de coffrages et permettent de s'affranchir de tout échafaudage.

Pour les ouvrages de plus grande longueur, on a le plus souvent recours aux tabliers à caissons, en métal ou en béton précontraint.

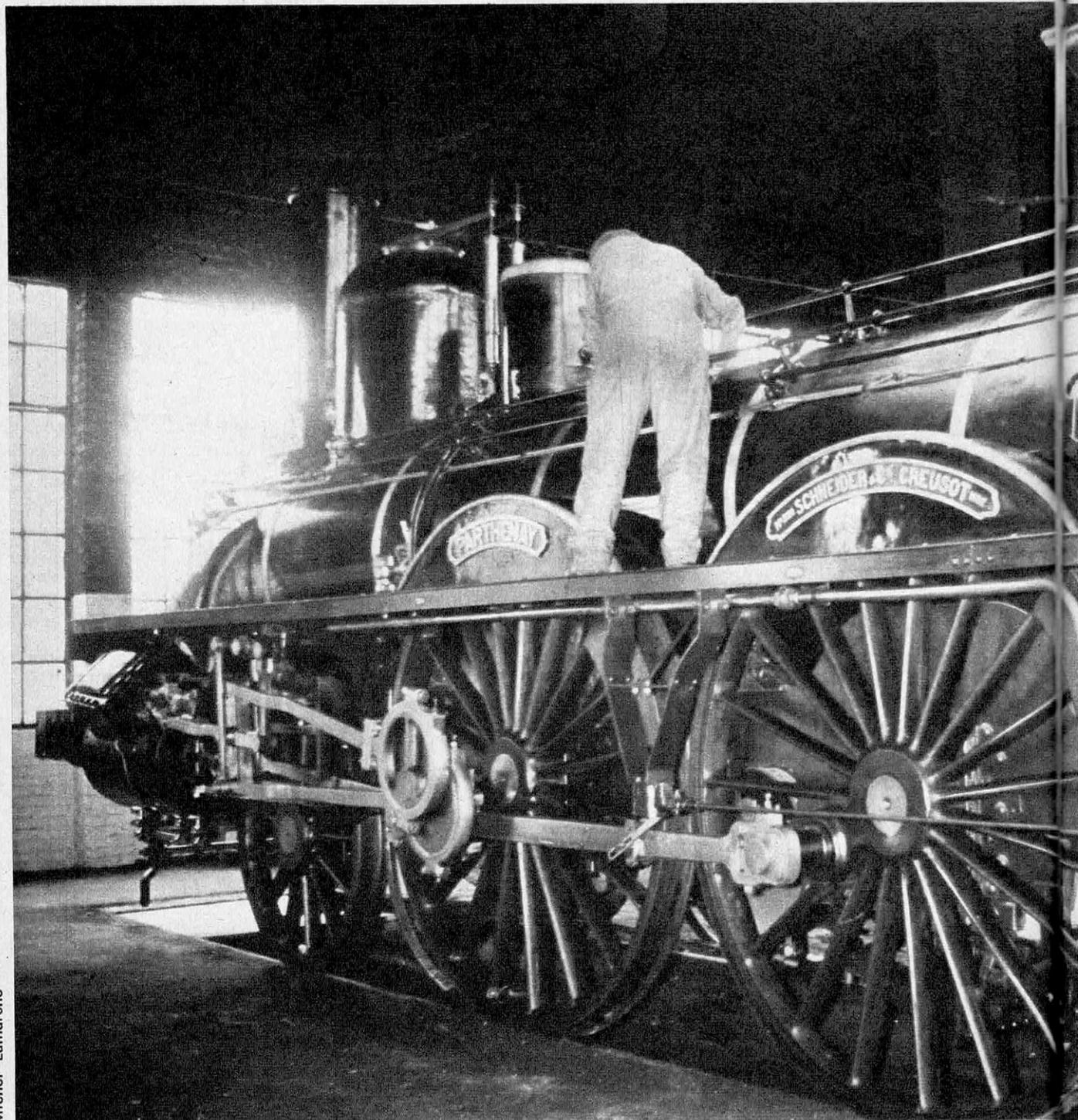
Comme ouvrages remarquables mettant en œuvre une gamme de techniques nouvelles, on peut citer les ponts du boulevard périphérique qui permettent, à Paris, le franchissement des installations ferroviaires. Le pont Massena, en particulier, au-dessus des voies de Paris-Austerlitz (500 m de long) est l'un des premiers ponts à hau-bans construits en France, avec large appel aux aciers au niobium.

Jacques Gandil et J.-P. Pronost



L'ordinateur peut guider la machine à dessiner lors de l'étude des voies et des ouvrages d'art.

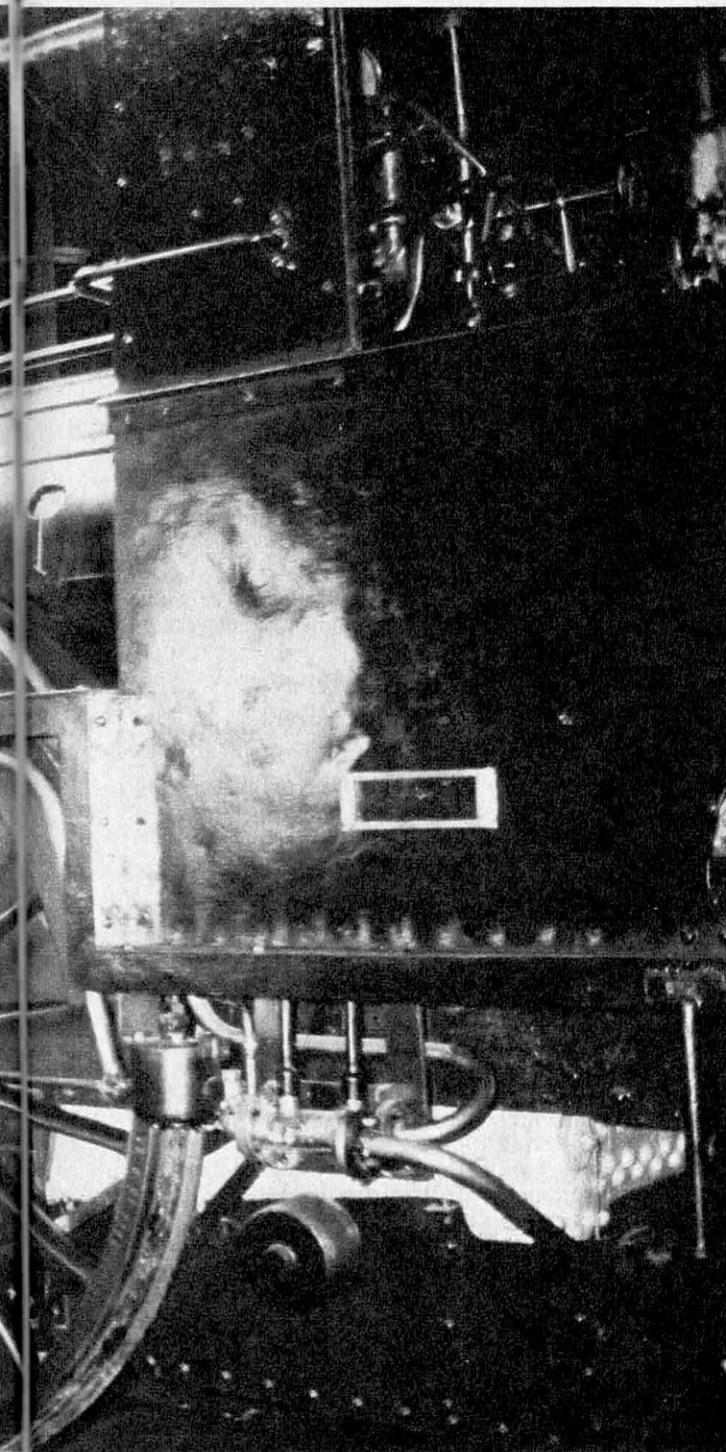
LES MUSÉES FERR



Michel Lamarche

Au musée de Mulhouse, locomotive 2029 du réseau de l'État, 1882.

OVIAIRES



La réunion de collections thématiques sous la forme des Musées est une expression tangible de l'humanisme. A travers la chronologie, la conception classique du Palais ou Museum- dédié à la fonction muséale a profondément évolué. Il n'y a pas vingt ans, qui aurait songé à un Musée de l'espace ? Aujourd'hui des capsules Apollo et des échantillons de la géologie lunaire, confiés par la Nasa, ont pris place à la Maison suisse des Transports et Communications de Lucerne.

Sans retenir pour critère un tel exemple, l'aspect évolutif des conceptions muséales s'est précisé depuis la fin de la seconde guerre mondiale⁽¹⁾.

Selon l'article 3 des statuts de l'ICOM⁽²⁾ la portée altruiste des objectifs vers lesquels le musée doit tendre est ainsi définie : « le musée est une institution sans but lucratif, au service de la société, qui acquiert, conserve, communique et, notamment, expose à des fins d'étude, d'éducation et de délectation, des témoins matériels de la nature et de l'homme ».

(1) On trouvera une analyse plus poussée de la définition du Musée dans le n° 3; 1971, du Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse, à propos de « objectifs et problèmes de la constitution d'un musée français du chemin de fer » par Michel Doerr.

(2) International Council of Museums ou Conseil International des Musées, relevant de l'Unesco. L'ICOM comporte des comités nationaux qui regroupent, dans un même pays, les différents musées, et des comités internationaux qui, sans distinction de nationalité, réunissent les musées représentatifs d'une même discipline. Les comités internationaux sont au nombre de 16. Parallèlement ont été créées sept associations internationales affiliées, dont l'IATM ou Association Internationale des Musées de Transports.

Le Conseil international des musées est libéral quant aux statuts propres à chaque musée, c'est-à-dire quant aux formes administratives et juridiques qui les régissent. Celles-ci, ainsi qu'il est aisément de l'imaginer, sont extrêmement variables et fonction de la nature des institutions, de la provenance et de l'importance des collections formant le patrimoine, du régime politique des pays.

Pourquoi des musées ?

Depuis l'avènement de l'ère industrielle (qui correspond sensiblement à la mise en pratique de la machine à vapeur en tant que force motrice ayant pris le relais du vent, du fil de l'eau, de l'énergie animale, voire humaine), nous disposons d'un recul suffisant pour inciter le public à une prise de conscience de la révolution pacifique prodigieuse⁽¹⁾ qui, s'étant accomplie en moins de deux siècles, n'a de comparable que l'invention de la roue en d'autres temps. D'où le rôle dévolu aux musées techniques.

Par ailleurs — et cela est ressenti avec une acuité plus ou moins vive, selon les individus et l'étendue de leur culture — la disparition de certains objets, machines ou êtres familiers, éléments de « l'environnement » quasi-quotidien⁽²⁾, en conséquence de l'évolution technique, fait que l'on en arrive instinctivement à rechercher des témoins matériels, ne serait-ce que pour mieux s'imaginer la qualité (ou la médiocrité) de la vie dans une époque et en des lieux donnés. En découle la création de musées impensables antérieurement puisque leur objet même était inexistant. C'est le cas des nombreux musées historiques de l'automobile qui se sont constitués depuis la dernière guerre.

Dans la partie qui nous intéresse, et qui relève plus spécialement des applications technologiques, la tendance est, avec raison, de donner aux musées correspondants une double, si ce n'est une triple, dévolution : présenter tout d'abord le rappel du passé à l'aide d'échantillons convenablement sélectionnés, voire reconstitués ; offrir une évocation de l'actualité, ce qui suppose une révision périodique de la présentation des collections, assortie d'un problème permanent de refonte et d'extension (tel engin actuellement en service sera détrôné obligatoirement dans un certain temps par un autre plus évolué, plus pratique, d'un meilleur rendement ; à partir de sa réforme, tout échantillon devient « historique », en fonction de la longévité de son usage, de l'étape de progrès technique qu'il avait pu jaloner lors de sa création) ; informer par des expositions temporaires (au sein même de l'institution, ou en antenne de celle-ci) de l'état des recherches prospectives

(1) Quand nous écrivons « révolution pacifique », nous ne mésestimons pas les soubresauts qu'engendre toute « révolution ». On peut cependant penser que le bilan de l'ère industrielle est positif pour le bonheur de l'humanité par la libéralisation qu'elle lui a apportée. Les hommes étant ce qu'ils sont dans le contexte de leur époque, c'est l'application des « moyens » qui demeure critiquable par les excès qu'elle engendre, tels que guerres, recherche du profit, collusions, affrontements politiques contraires à la « sagesse des nations ».

(2) On parle actuellement beaucoup « d'environnement » et de « qualité de la vie » sans que personne ait encore tenté de définir application et portée des mesures à prendre pour le bien-être des hommes (à défaut de leur « bonheur » !). Tel aimera à se relaxer en atmosphère sylvestre à ses heures de loisirs, pendant que tel autre pourra trouver plénitude dans le spectacle d'une gare de triage en pleine activité...

dans un domaine déterminé relevant de l'inspiration du musée. Cette dernière mission comporte une part abstraite et il n'est pas forcément aisément faire saisir la portée au plus grand nombre de visiteurs non préparés, d'âges et d'horizons divers.

Mais avant d'en arriver à ces conceptions modernes de la muséologie, dont la nécessité est aujourd'hui à peu près universellement reconnue, il ne paraît pas inutile de faire un bref appel.

Une spécialisation croissante

Il apparaît que de tous les musées techniques d'Europe, le Národní Technické Muzeum de Prague figureraient parmi les plus anciens, puisque certaines de ses collections proviennent du « Museum Mathematicum » fondé en 1722 par les Jésuites de Prague à partir d'objets scientifiques précieux, dont « le cabinet des sciences exactes », leg des monarques de Habsbourg.

Vient en seconde position le Conservatoire National des Arts et Métiers à Paris. Sa fondation par décret de la Convention du 19 vendémiaire An III (13 octobre 1794) s'insérait dans un ambitieux programme élaboré par le gouvernement révolutionnaire afin d'ouvrir au peuple (non plus comme une grâce mais comme un droit), l'accès aux vastes collections de toute nature confisquées parmi les biens de la monarchie, du clergé et de particuliers appartenant à la classe privilégiée. La pensée directrice, en vertu de soucis égalitaires, culturels et éducatifs, était que le Conservatoire devienne un institut scientifique de formation et de recherche comportant « un musée de machines » (en grandeur ou en modèles selon les cas), à titre d'exemples d'applications positives et surtout pratiques de l'enseignement théorique. En fait, et à l'image du musée de Prague, l'embryon des collections du musée du Conservatoire venait en grande partie de la collection privée de machines et d'automates réunie par Vaucanson, décédé en 1782.

Le transport à base de propulsion mécanique étant encore au stade de la préhistoire, les sections correspondantes ne pouvaient voir le jour qu'ultérieurement. En choisissant, pour abriter le Conservatoire, l'ancien prieuré de St-Martin des Champs, ses promoteurs ne pouvaient imaginer qu'un jour viendrait où il serait souhaitable d'accueillir des témoins en grandeur nettement plus encombrants et pondéreux que le fardier de Cugnot ! L'antériorité de la création du Conservatoire peut ainsi expliquer, en partie, la stagnation qui s'ensuivit dans notre pays, si l'on met en parallèle des institutions plus récentes telles que le Science Museum de Londres (1857) ou le Deutsches Museum de Munich (1903-1906). Ces institutions ont été conçues dès leur origine pour accueillir des échantillons « en grandeur » de gros matériels, tels que matériel de mine, de travaux publics, de chemin de fer, machines hydrauliques, à vapeur, etc., représentatifs de la mise en pratique, au service de l'industrie, de l'agriculture et du commerce, de découvertes scientifiques relevant de la physique, de la chimie, de l'astronomie...

Il est certain que des institutions du genre Science Museum ou Deutsches Museum, qui ont une dimension nationale, dont les galeries sont parcourues annuellement par 2 millions de visiteurs, peuvent être très rationnellement structurées. Leur polyvalence permet au plus grand

nombre d'emporter, après avoir parcouru leurs multiples galeries, des visions frappantes susceptibles d'inciter à la réflexion, de suggérer la recherche, parfois d'éveiller une vocation.

Mais il en est de musées comme de « l'honnête homme » du XVIII^e siècle : le recul prodigieux de la limite des connaissances incite obligatoirement à la spécialisation. D'autre part, même si des moyens matériels exceptionnels sont mis en œuvre, il n'est pas pensable que toute ville de Grande-Bretagne ou d'Allemagne puisse « s'offrir » l'équivalent de ce qui existe à Londres et à Munich. Il en résulte que, sur la masse des visiteurs, à moins qu'ils ne résident pas trop loin, peu ont le temps et les moyens matériels de procéder à la visite méthodique de tels établissements. Si ces visites doivent être par trop abrégées, elles tournent à l'épreuve physique contraire à une bonne assimilation. Le spécialiste venu de loin se contentera de l'examen de la section qui l'intéresse particulièrement.

C'est pourquoi on a ressenti dans de nombreux pays la nécessité de créer (ou de réorganiser) des musées techniques nettement spécialisés, et parmi eux des musées spécifiques des moyens de transport, et même consacrés à un seul genre de moyen de transport.

Une notion paradoxale

Dans l'introduction à son ouvrage « Transport museums »⁽¹⁾, Jack Simmons observe qu'a priori il y a antinomie (apparente) entre les notions de « transport » (dynamique) et de « musée » (statique).

Il ajoute :

« Pour la plupart d'entre nous, un musée est quelque chose de statique. Il gèle (traduction littérale) et préserve les choses alors que le transport « bouge » ou bien ce n'est pas du transport ! »

L'auteur explique ensuite comment cette opposition peut être harmonieusement conciliée par le truchement de modèles présentés en fonctionnement ou par des pièces « en grandeur » dont certaines parties mécaniques sont animées.

De toute manière, il est certain qu'un effort de transposition est demandé à tout visiteur d'un musée des transports, car il est exclu de pouvoir lui présenter en fonctionnement toutes les pièces d'une collection « fonctionnelle ». De là est née l'idée des « musées actifs » qui d'ailleurs, à notre sens, ne sont plus exactement des musées.

En matière de chemin de fer, notamment, s'il est imaginable de montrer par certains artifices le mécanisme d'une locomotive en fonctionnement, il est exclu, par exemple, de rallumer sporadiquement une locomotive, ne serait-ce qu'en égard aux sujétions d'entretien qu'exige la mise en pression puis le jet de feu d'un engin à vapeur. S'il s'agit d'un engin historique d'un grand intérêt, tous les efforts faits pour sa mise en état « musée » sont d'ailleurs neutralisés par la mise en marche (conservation des peintures, du polissage des bielles, effets de corrosion, etc.).

Une étude conjointe sur l'attrait des chemins de fer touristiques créant l'atmosphère du « temps de la vapeur » à laquelle sont sensibles nombre d'amoureux du passé ferroviaire montre que les buts recherchés ne se recouvrent pas

(1) *Transport museums*. George Allen & Unwin. Ltd, Londres, 1970.

exactement (ce qui n'exclut pas leur complémentarité).

Cependant, chaque fois que cela est possible, il est préférable de montrer une pièce en vraie grandeur plutôt que son modèle réduit, aussi fidèlement exécuté soit-il. La pièce réelle est créatrice d'une sorte de « prise de conscience », d'abord parce qu'elle est « vraie » et qu'ensuite elle peut impressionner, ne serait-ce que par sa masse⁽²⁾.

Un secteur privilégié

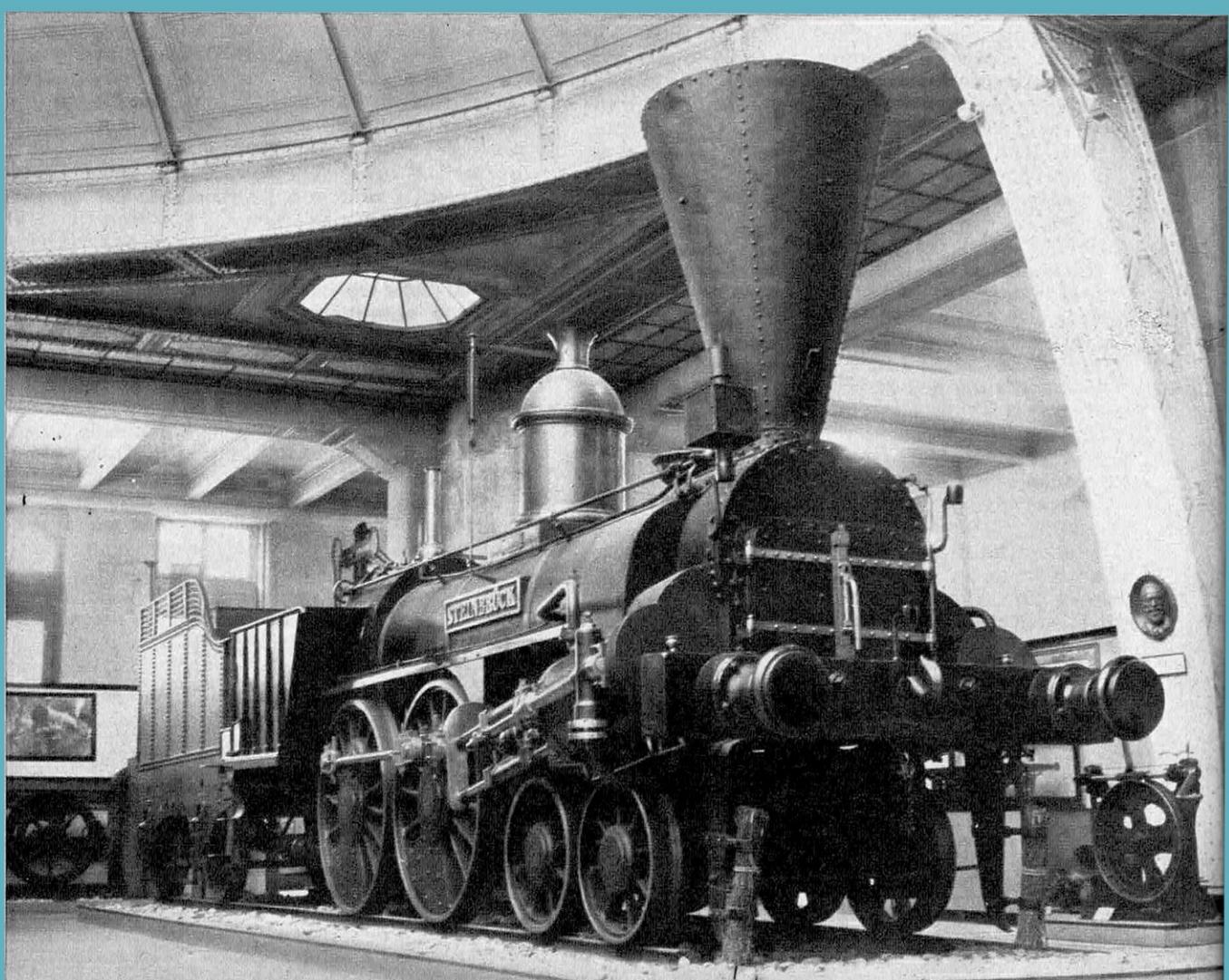
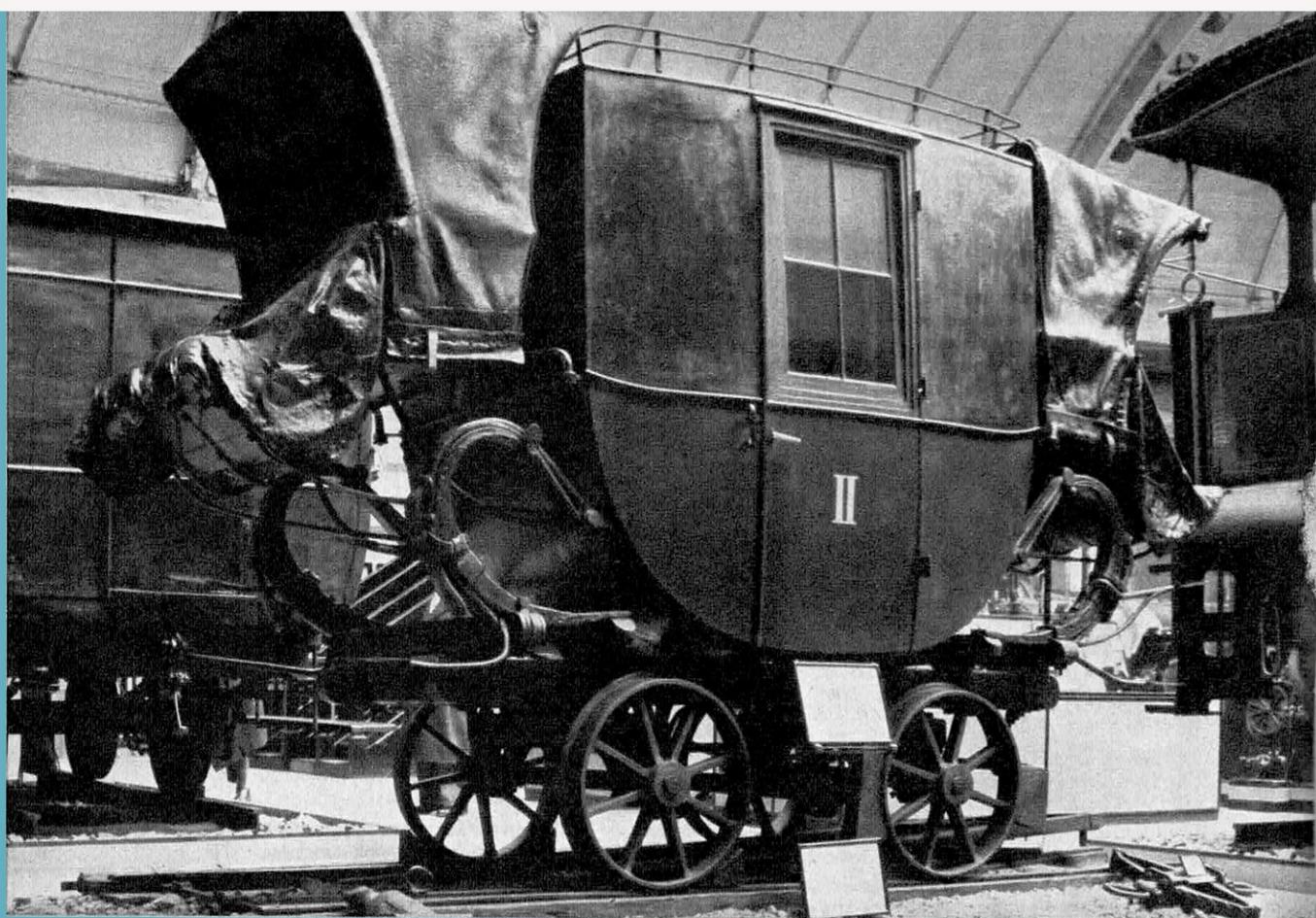
Dans le même ordre d'idée, Jack Simmons note aussi, avec raison, que dans le domaine de l'évocation du transport au Musée, le transport terrestre est privilégié par rapport au secteur aérien et maritime. En particulier un musée de la marine (ou la section maritime d'un musée technique) ne peut en général exposer que des modèles où, à la rigueur, des éléments en grandeur prélevés lors de la démolition d'un navire, telle la passerelle du paquebot « Conte Biancamano » au Musée Leonardo da Vinci de Milan. La préservation d'un 3 mâts du genre « Cutty-Sark » en cale sèche à Greenwich ou encore du « Maria Finkenwerder » (bateau de pêche de faible tonnage mais déjà « encombrant ») au Deutsches Museum revêt un caractère exceptionnel. En matière de chemin de fer, le matériel roulant, par définition même et à condition de disposer de voies convenablement établies pour son accueil, ne pose pas de problèmes d'acheminement et de mise en place particulièrement ardu à résoudre.

Si nous en venons aux musées de chemins de fer actuellement constitués ou en cours de formation dans le monde, leur liste n'est pas aisée à établir avec précision. Leur recensement se poursuit déjà depuis plusieurs années à l'initiative de l'Association Internationale des Musées de Transport, en collaboration avec le Centre de relations publiques de l'Union Internationale des Chemins de fer. La revue que nous allons passer ci-après n'a aucune prétention exhaustive mais a seulement pour objet de donner un aperçu des collections ferroviaires historiques conservées sur les cinq continents.

Il est hors de question de décrire en détail, ne serait-ce que pour l'Europe, les collections que l'on peut voir dans chaque musée (ou dans la section ferroviaire des musées pluri-disciplinaires). Ne sont pas repris ci-après les musées présentant du matériel tels que tramways ou chemins de fer métropolitains qui relève plutôt du transport public urbain et éventuellement suburbain. De plus, le patrimoine préservé à des titres fort divers (par les réseaux, associations d'amateurs, quelquefois par des particuliers) est considérable.

Ainsi, pour ce qui concerne les seules locomotives à vapeur à caractère historique, y compris celles que l'on voit quelquefois érigées en « monument » dans des jardins publics, places devant les gares etc., P. Ransome Wallis donne-t-il dans « Preserved steam locomotives of western Euro-

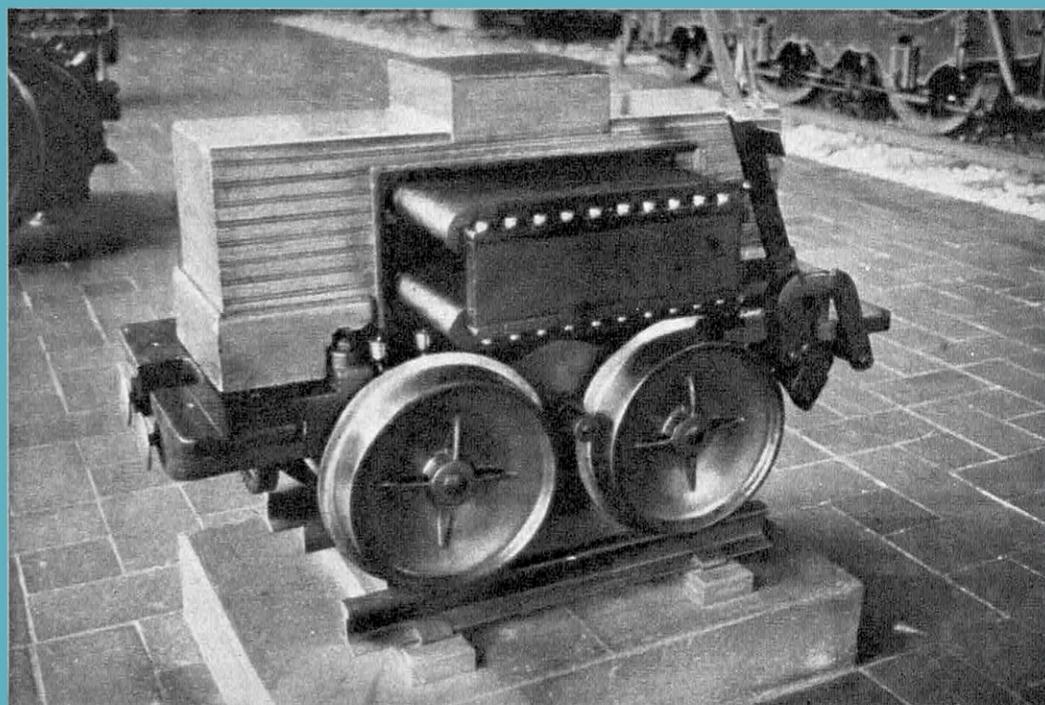
(2) Nous avons pu nous livrer à cette expérience au Musée du chemin de fer, à Mulhouse. L'enfant est instinctivement attiré d'abord par les plus grosses locomotives exposées. Chez l'adulte qui se souvient de la locomotive à vapeur en service, mais qui ne l'avait vue que de loin, — d'un quai de gare ou autre — la confrontation de « tout près » avec des machines telles que 31102 Nord ou 241 Al est toujours un sujet d'étonnement (dû à la hauteur totale, à celle de la cabine par rapport au niveau du rail, au diamètre des roues accouplées, etc.).





**Musées
germaniques :**

- 1) voiture à compartiment unique dite « Hannibal », 1832 (Vienne);
- 2) locomotive Steinbruck du chemin de fer Vienne-Gloggnitz, 1848 (Vienne);
- 3) reconstitution en grandeur du boisage de la galerie du tunnel du Simplon pendant son percement (Munich);
- 4) la locomotive électrique de Siemens et Halske, 1879 (Munich).



Paillard

pe »⁽¹⁾ la description de quelque 620 engins conservés sur le continent, répartis entre 13 pays d'Europe de l'Ouest, et auxquels il faut ajouter un total dépassant 250 unités pour la Grande-Bretagne et l'Irlande.

Observons toutefois que la conservation de locomotives à vapeur, si elle est la plus populaire, parce que profondément évocatrice, n'est à notre sens qu'un élément d'un véritable musée harmonieusement équilibré. Le musée se doit, pour être rationnel, de montrer toutes sortes d'autres appareils et engins capables d'entourer et de compléter un élément qui n'est qu'un maillon de « l'histoire du rail », ni négliger la représentation de l'élément humain sous la forme du métier de cheminot.

Les musées allemands

Deutsches Museum, Munich. Ainsi que nous l'avons vu, le Deutsches Museum de Munich est le plus important musée technique de l'Europe continentale. Parmi les 28 sections qu'il comporte, la section ferroviaire a été complètement refondue en 1970. Cette dernière offre au public une collection de locomotives à vapeur et électriques en « grandeur ». Parmi elles : une Pacific bavaroise S 3/6 remise dans sa livrée de 1912 ; la première locomotive électrique de Siemens (1879) ; la n° 1 triphasée du Burgdorf-Thoune de 1899.

Une collection de modèles réduits à grande échelle (1/8 et 1/10) complète la présentation du matériel roulant. La démonstration des appareils de sécurité employés aux Chemins de fer allemands est assurée par un réseau miniature couvrant une surface de 40 m². Accessoirement, la section génie civil possède des maquettes se rapportant à l'infrastructure ferroviaire.

Verkehrs Museum, Nuremberg. C'est en fait à Nuremberg que se trouve le véritable musée du Chemin de fer de l'Allemagne occidentale. Ce musée, d'origine purement bavaroise, fut inauguré le 1^{er} octobre 1899 en provisoire et le 22 avril 1925 dans ses locaux actuels (détruits aux 2/3 pendant la dernière guerre, puis reconstruits). Il est administré par la direction de Nuremberg de la Deutsche Bundesbahn. Il contient une extraordinaire collection de modèles au 1/10 qui retracent l'évolution de la locomotive à vapeur allemande, de 1835 aux machines unifiées de la DR puis de la DB. Parmi les pièces « en grandeur », on peut y voir : la locomotive Adler et le train de 1835 qui inaugura la première voie ferrée allemande de Nuremberg à Fürth (reconstitution) ; la Crampton « Phœnix », également reconstruite, et les prototypes à très grande vitesse S 2/6 3201 de 1906 et 05001 de 1935.

Sont également conservées à Nuremberg deux voitures du train royal de Louis II de Bavière et, la voiture-salon de Bismarck. Ainsi qu'à Munich, une installation de réseau miniature sert à la démonstration des enclenchements.

Verkehrs Museum, Dresden. Le musée des transports de Dresden a pour origine l'ancien musée des Chemins de fer de l'état de Saxe. Endommagé pendant la dernière guerre, le musée actuel a été rouvert en 1965. Les collections qu'il présente se rapportent à tous les moyens de transport. La partie ferroviaire comporte modèles réduits et échantillons en vraie grandeur, dont la locomotive « Muldenthal » qui, construite en 1861 par

Hartmann, est la plus ancienne locomotive à vapeur authentique encore existante en Allemagne de l'Est. La rétrospective des uniformes, avec 120 costumes de cheminots, est vraisemblablement la plus riche des musées ferroviaires d'Europe.

Verkehrs Museum, Berlin. Le musée des transports ouvert par la Prusse en 1906 comportait une importante section consacrée aux Chemins de fer prussiens, avec pièces en « grandeur », dont une locomotive S. 10 et une voiture-salon impériale (Guillaume II). Installé dans l'ancienne gare terminus de la ligne de Hambourg, le musée fut en grande partie détruit en 1944. Situé à Berlin-est, il a été réouvert en provisoire en 1964 par la Deutsche-Reichsbahn et des travaux pour sa reconstruction définitive dans une autre gare désaffectée de Berlin-est devaient commencer en 1967. Depuis cette époque, aucune information n'a été portée à notre connaissance.

Museum für Hamburgische Geschichte, Hambourg. Le musée historique de Hambourg possède une section ferroviaire importante, avec notamment un réseau miniature en « 0 ».

De l'Autriche à la Finlande

Oesterreichisches Eisenbahnmuseum, Vienne. Ce musée organisé par les Chemins de fer autrichiens est inclus dans le Musée Technique de Vienne dont la première pierre avait été posée en 1909 sous le régime austro-hongrois. Sa partie centrale renferme des pièces remontant au tout début du chemin de fer en Autriche, dont la voiture « Hannibal » du chemin de fer à traction animale Linz-Budweis, première ligne ouverte en 1827, et plusieurs locomotives de l'époque de Golsdorf.

Musée des Chemins de fer, Bruxelles. Le musée des Chemins de fer belges est organisé par la SNCF. Il fut ouvert en 1951 dans des locaux désaffectés de l'ancienne gare du Nord, puis transféré dans la nouvelle en 1958. Dans sa consistance actuelle, le catalogue décrit 300 pièces, dont la locomotive « Pays de Waës », construite en 1842 pour le chemin de fer d'Anvers à Gand. Une extension du musée doit être organisée dans le dépôt SNCF de Louvain afin de présenter au public une dizaine de locomotives à vapeur belges anciennes et plusieurs voitures à voyageurs.

Musée national des transports et communications, Ruse. Ce musée, ouvert au bord du Danube en 1966, est administré par le Ministère des transports de Bulgarie et installé dans une gare désaffectée. Il comporte une section ferroviaire dont les pièces en grandeur (locomotives, voitures, wagons) sont disposées en plein air.

Jernbane Museet, Copenhague. Le dernier étage du bâtiment de la direction des Chemins de fer danois à Copenhague est aménagé en musée du chemin de fer depuis 1928. Ce musée ne comporte évidemment que des modèles réduits et notamment des maquettes de train-ferry. Par ailleurs les chemins de fer danois préservent 16 locomotives à vapeur et 11 véhicules remorqués. Ces pièces sont remises en différents points du réseau et non exposées au public jusqu'à présent.

Museo del Ferrocarril Español, Madrid. Ce musée a été ouvert en 1967 au rez-de-chaussée de l'immeuble du Conseil d'administration de la RENFE à Madrid. Il contient des modèles et une petite O20 T provenant des « Andaluces », datant de 1871.

Musée provisoire de Villanueva. Depuis 1971 des bâtiments désaffectés du dépôt de locomo-

(1) 2 volumes, Ian Allan Editeur, Londres 1971.

tives de Villanueva (à 50 km de Barcelone) ont été aménagés pour l'exposition permanente de 15 locomotives à vapeur provenant d'anciens réseaux espagnols constitutifs de la RENFE.

Un projet d'utilisation de la gare voyageurs de Madrid-Delicias est à l'étude depuis plusieurs années.

Musée ferroviaire d'Helsinki. Le musée ferroviaire de Finlande, de fondation privée à l'origine, remonte à 1898. Partiellement détruit pendant la dernière guerre, il a été réinstallé à l'initiative des Chemins de fer de l'Etat dans les bâtiments de la gare d'Helsinki en 1959. Il ne comporte que des modèles, dont la curiosité est la « parade des draisines » dans lesquelles ont été placées des effigies des personnalités qui jouèrent un rôle éminent dans le développement et l'exploitation du chemin de fer en Finlande. Les Chemins de fer finlandais ont aussi une collection de locomotives, voitures et wagons qui, ne pouvant prendre place au musée, sont remisés (et entretenus) dans plusieurs ateliers du réseau.

La Grande-Bretagne et l'Irlande

Science Museum, Londres. La section ferroviaire a été réorganisée en 1968. Elle comporte 5 locomotives à vapeur dont la célèbre « Rocket » de Stephenson et « Caerphilly Castle » du Great Western, ainsi qu'une locomotive moderne diesel-électrique « Deltic ».

De nombreux modèles à grande échelle (80 au total) et une petite cabine d'aiguillage (provenant de Haddiscoe Junction) complètent la présentation du chemin de fer au Science Museum.

Musées ferroviaires de York et de Clapham. Le musée ferroviaire d'York avait été constitué à l'initiative de l'ancien réseau North Eastern et ouvert en 1928 par le LNER. A la nationalisation des Chemins de fer, (1948), il tomba sous l'obédience du British Railway Board qui ouvrit parallèlement, en 1961, à Clapham (Londres) un très important musée comportant 14 locomotives et 14 véhicules divers parmi lesquels on pouvait admirer la « Mallard » qui roula à 202 km/h en 1938, le Pullman « Topaz » et le salon royal de la reine Victoria.

Par suite de restaurations internes, les musées d'York et de Clapham ont été fermés en 1973 afin de permettre leur concentration dans une nouvelle installation qui sera ouverte en 1975 à York et placée sous l'obédience du Science Museum de Londres.

Quand ce musée, dont l'ouverture devrait coïncider en principe avec la commémoration du 150^e anniversaire de la ligne de Stockton à Darlington, sera aménagé, il comprendra vraisemblablement en un même endroit la collection ferroviaire historique la plus importante du monde.

Great Western Railway Museum, Swindon. Ce musée commémoratif unique de l'ancien réseau « Great Western » a été ouvert en 1962 conjointement par la municipalité de Swindon et la British Transport Commission. Il abrite 5 locomotives typiques dont la réplique en grandeur de la célèbre « North Star » conçue pour la voie large de Brunel, ainsi que la non moins populaire « City of Truro » qui roula à 160 km/h en 1904.

Indépendamment de ces musées purement ferroviaires, on peut voir des « reliques » ferroviaires dans de nombreux musées régionaux d'Angleterre et d'Ecosse, notamment à Birmingham, Bristol, Glasgow, Edimbourg, Leicester, Liverpool, New-

castle, etc. Plus de 80 sociétés préservent à titre privé des échantillons tels que locomotives, voitures, wagons, signaux, sections de voies, appareils etc., en général rachetés (par souscription auprès de leurs adhérents) aux Chemins de fer britanniques.

Belfast Transport Museum. Le musée des transports de Belfast remonte à 1962. Il est géré par la ville et l'organisation Ulster Folk Museum. Sa section ferroviaire est importante et comporte une trentaine d'échantillons de matériel roulant typiquement irlandais (du Nord et du Sud).

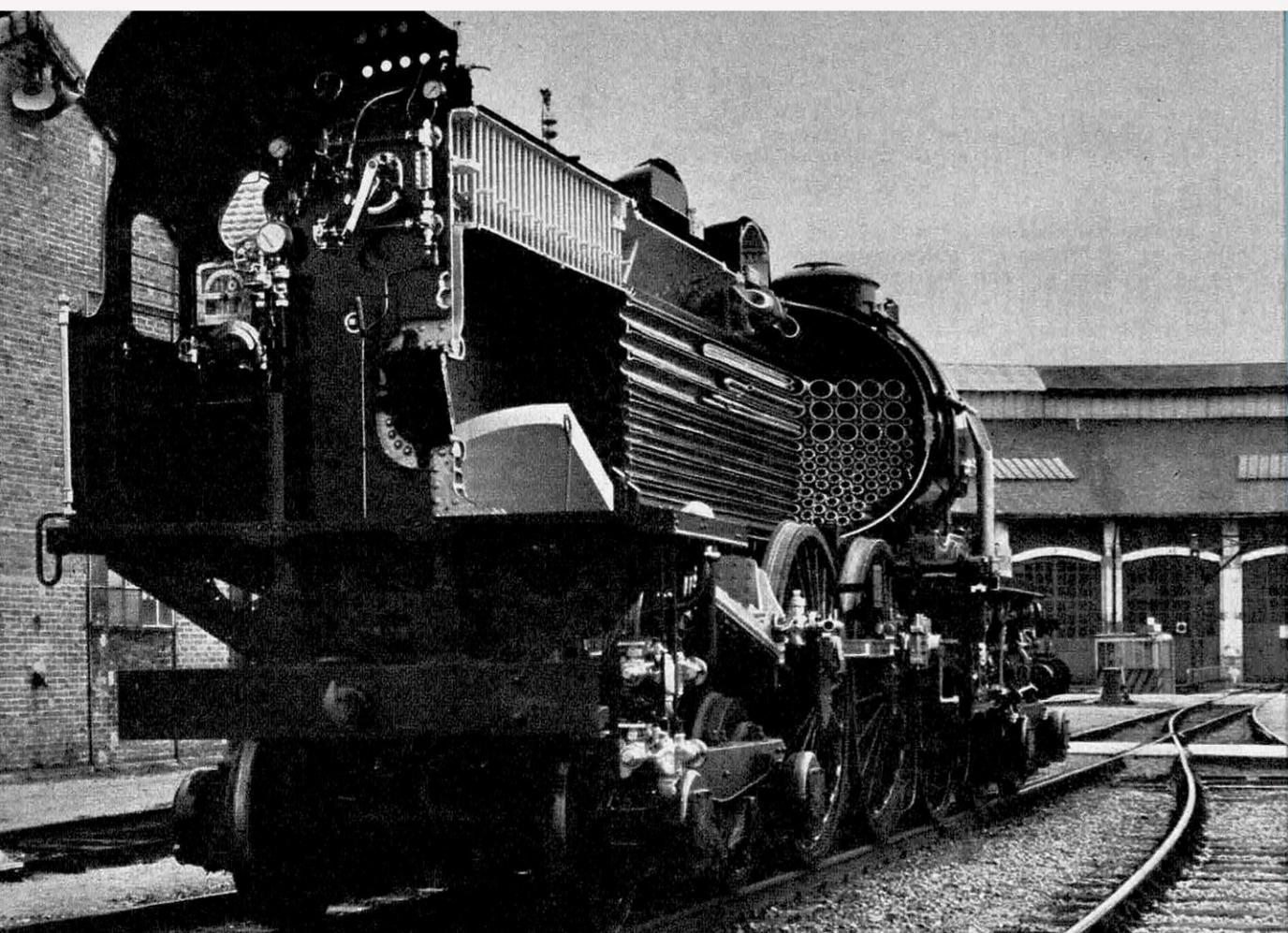
Des Pays-Bas à la Roumanie

Nederlands Spoorweg Museum, Utrecht. En fait, le musée néerlandais des Chemins de fer existait depuis 1927, mais après des fluctuations diverses, ce n'est qu'en 1951 qu'il fut installé en situation définitive par les Chemins de fer néerlandais dans les bâtiments de l'ancienne gare de Maliebaan à Utrecht. Le musée possède son propre atelier de maquettes et expose une collection unique de plus de 500 médailles ferroviaires. On peut y voir la reconstitution (datant de 1939) du premier train qui relia cent ans plus tôt Amsterdam à Haarlem, et parmi les 10 locomotives à vapeur conservées, la 150 Austerity « Longmoor » utilisée par l'armée britannique sur les voies néerlandaises à la fin de la 2^e guerre.

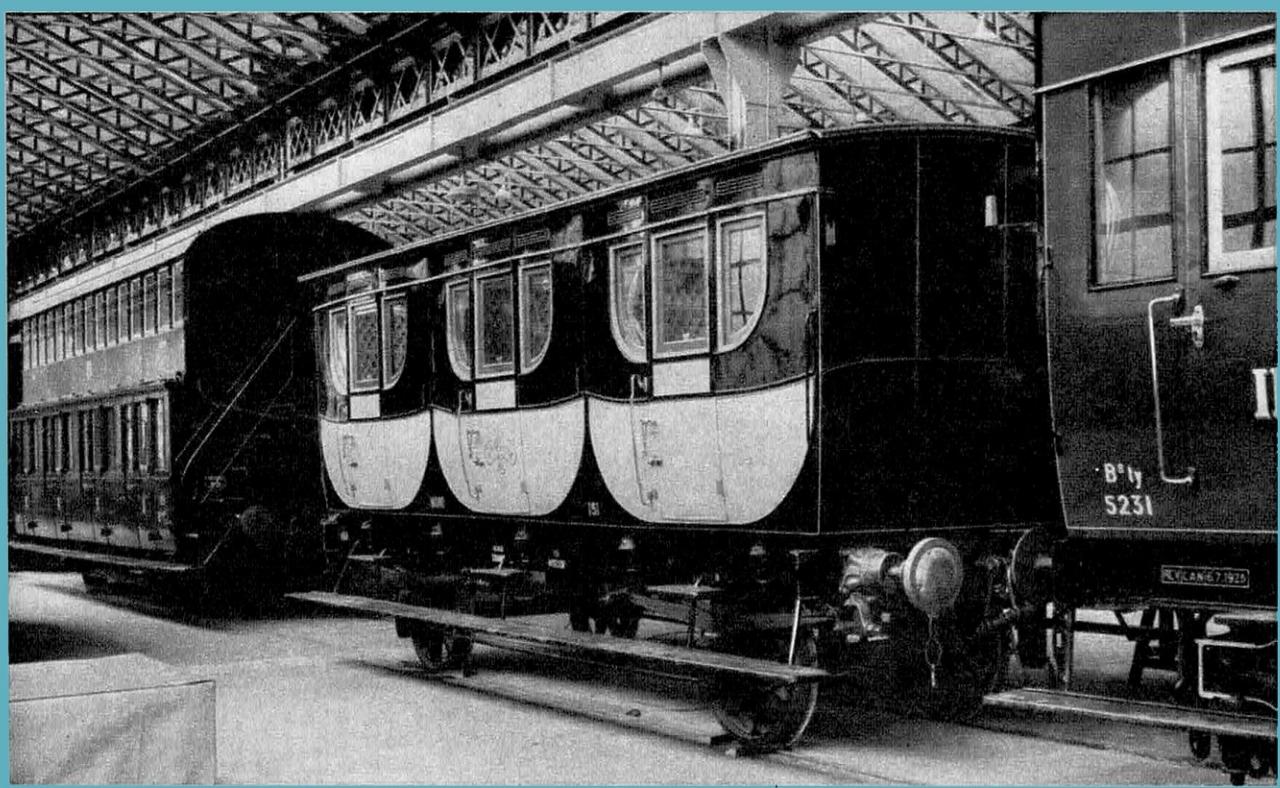
Magyar Kozlekedési Muzeum, Budapest. Le musée hongrois des communications existe depuis 1896. Ayant subi des dommages importants pendant la guerre, il ne put être réorganisé et à nouveau ouvert qu'en 1966. Il a pour objet de donner un aperçu d'ensemble sur le développement des divers moyens de communications en Hongrie. Sa gestion relève de l'Administration centrale des Chemins de fer hongrois de l'Etat (M.A.V.). La présentation ferroviaire est répartie en 4 sections. Celle relative aux engins-moteurs comporte 2 locomotives anciennes et surtout une étonnante collection de modèles au 1/5 exécutés dans les ateliers de la MAV et disposés dans une vaste salle en rotonde. Le musée exploite aussi en cafétéria, à l'extérieur, une très belle voiture restaurant en teck, antérieure à 1914, provenant du parc d'Europe centrale de la Compagnie Internationale des Wagons-lits et des Grands Express Européens.

Muséo Nazionale della Scienza e della Tecnica « Leonardo da Vinci », Milan. Un certain nombre de pièces de collections ferroviaires avaient été réunies, à l'initiative des Chemins de fer italiens de l'Etat (F.S.), dans les sous-sols de la gare de Rome-Termini. La disposition des lieux étant trop exigüe, cette collection fut transférée au Musée national de la science et de la technique à Milan où un pavillon spécial fut édifié. Cette section ferroviaire fut inaugurée en 1969. 5 voies abritées de 70 m de longueur accueillent 5 locomotives à vapeur, 5 locomotives électriques et plusieurs échantillons de matériel remorqué à voie normale et étroite. Le hall a une hauteur généreuse qui a permis d'y réunir une importante collection de signaux « en grandeur ».

Jernbanemuseet, Hamar (Norvège). Le musée des Chemins de fer de Hamar est vraisemblablement la plus ancienne fondation de l'espèce. Il vit le jour dès 1896 sur l'initiative d'une association professionnelle de cheminots. Après des fluctuations diverses, il fut pris en charge un demi-siècle plus tard par les Chemins de fer de l'Etat norvégien (NSB). Dans sa consistance actuelle, il com-



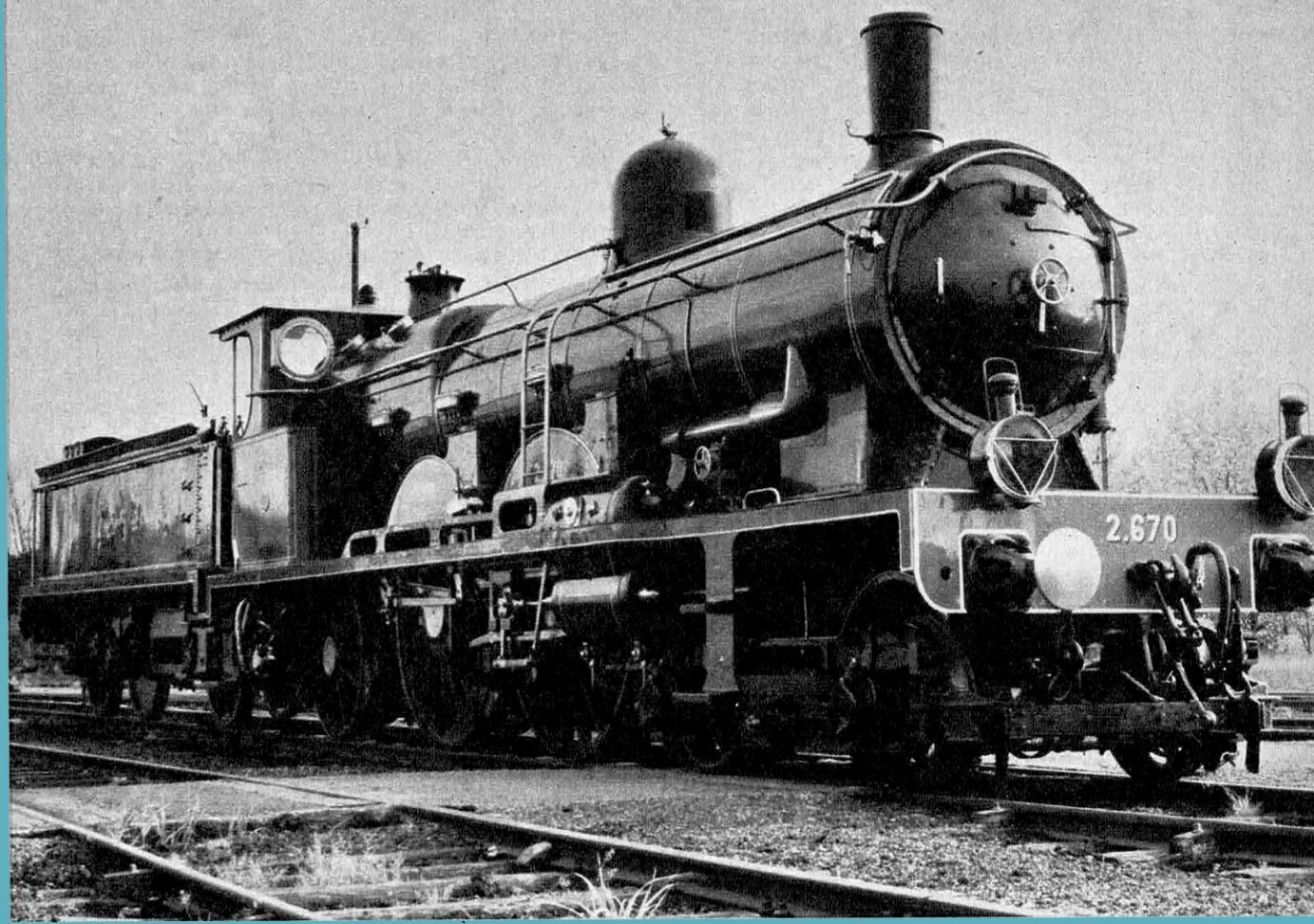
1



2

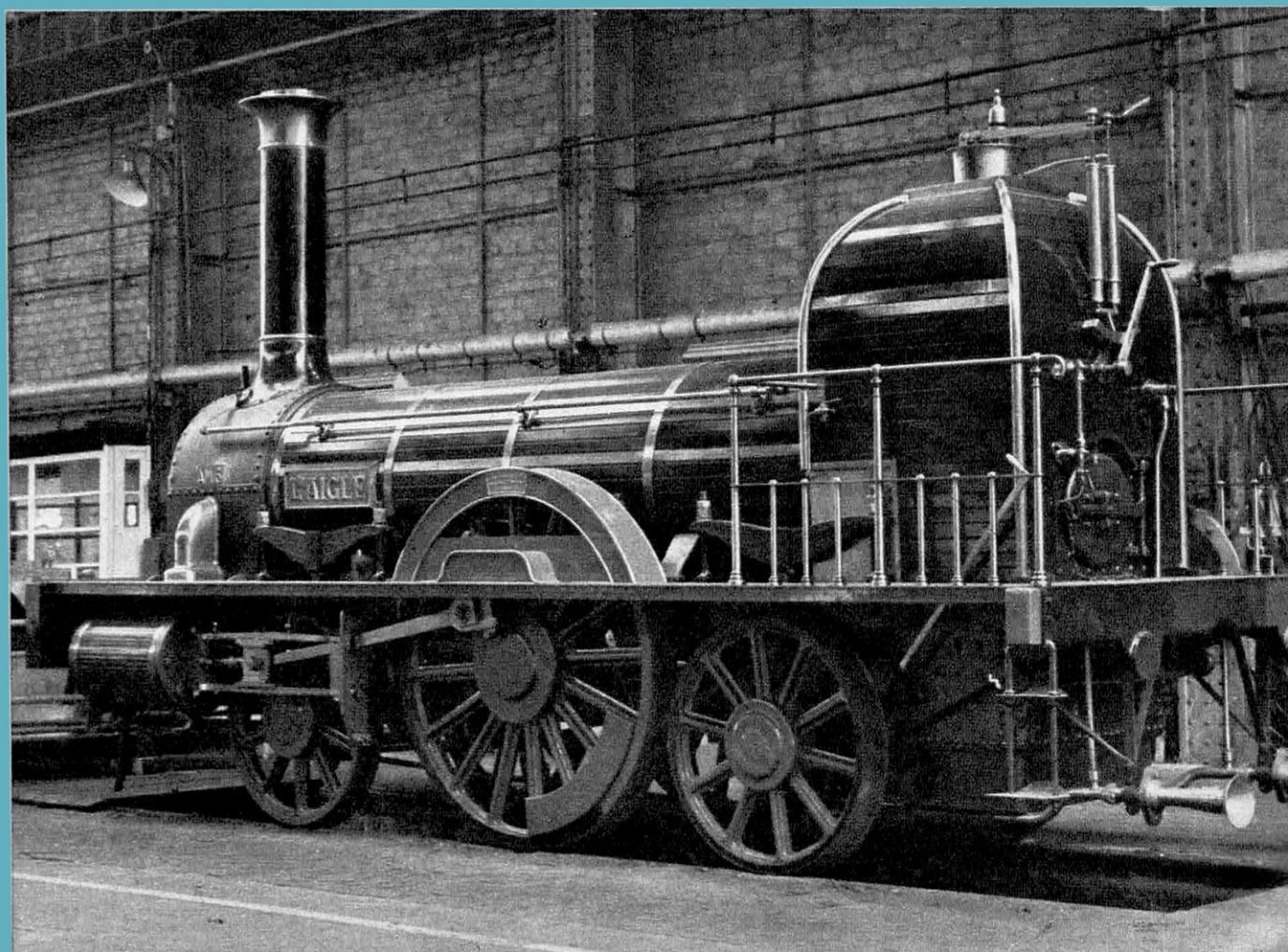
Au musée de Mulhouse (installation provisoire de « Mulhouse-Nord ») ou en attente d'exposition : 1) locomotive 3-1102 Nord, 1911-1913, coupée longitudinalement; 2) voiture Nord de 1^{re} classe pour trains de vitesse, 1850, et voi-

ture Est à impériale, 1884-1900 (en attente); 3) locomotive 2-670 Nord, 1904, rétablie dans son état de 1912 après application de la surchauffe; 4) locomotive Stephenson, ligne d'Avignon à Marseille, 1846.



3

4



porte des installations de plein air, dont trois bâtiments de gare reliés par un tronçon de voie normale (avec signalisation) où peuvent être exposés par beau temps des éléments de matériel moteur et remorqué. Dans les parties abritées, on peut voir 5 locomotives à voie normale, 4 à voie étroite, plusieurs voitures et wagons. Une voie de 750 disposée dans les jardins attenants au musée offre aux visiteurs, de mai à septembre, l'attrait de promenades en train à vapeur de style ancien.

Portugal. Les Chemins de fer portugais ont pré-servé plusieurs de leurs locomotives à vapeur, une voiture-salon royale et d'autres échantillons représentatifs de leur histoire. Ils se préoccupent d'organiser leur musée à Entroncamento, important centre où sont situés les ateliers principaux du chemin de fer.

Musée du Chemin de fer, Bucarest. Dès 1924 les Chemins de fer roumains prenaient des mesures conservatoires pour préserver des échantillons représentatifs, dont la locomotive « Calugareni ». Pour leur 70^e anniversaire, ils ouvraient en 1939 un musée à Bucarest qui devait être détruit en grande partie par les bombardements de 1944. Ce musée a été rétabli dans le cadre de la « maison technique des chemins de fer » et ouvert en 1953.

D'autres musées européens

Järnvägs Museum, Gävle. Le musée des Chemins de fer suédois a été transféré en 1970 de la banlieue de Stockholm à Gävle (à environ 120 km au nord de la capitale). Il comporte une riche collection de locomotives à vapeur et électriques, plusieurs automotrices, une trentaine de véhicules remorqués, des signaux, des coupons de rails et une collection de plaques de constructeurs de matériel de chemin de fer, aussi étonnante par le nombre que par la diversité. L'une des pièces maîtresses de la présentation est la locomotive Atlantic de 1907, présentée en « écorché », dans le même esprit, bien que moins imposante, que la locomotive 3.1102 Nord exposée à Mulhouse.

D'autres sections ferroviaires peuvent être visitées dans des musées régionaux, à Nässjö, Kristianstad, Linköping et Ystad notamment.

Maison suisse des transports et communications, Lucerne. Fondée en 1942, la Maison suisse des transports et communications a été ouverte à Lucerne en 1959. C'est un organisme privé qui a reçu pour les premiers investissements l'aide de la Confédération, de la ville, des compagnies de chemins de fer, du département fédéral des postes, et des milieux suisses intéressés à l'industrie des transports. La partie ferroviaire est divisée en 5 sections. Dans la salle du matériel roulant, on peut voir la reconstitution (1847) du premier train suisse ayant circulé de Zurich à Baden, à côté de l'Engerth « Genf » originale (1858) et autres pièces de matériel de traction à vapeur et électrique. Une importante maquette animée, au 1/86, reproduit l'exploitation de la ligne du Gothard avec 350 m de voie miniature posés dans un décor alpestre reproduisant les lacets de Wasen et la gare d'Ertsfeld. Des expositions temporaires de matériel ferroviaire viennent périodiquement animer l'intérêt de la collection de fond qui comprend aussi de beaux modèles à grande échelle (1/10).

Narodni Technické Muzeum, Prague. Nous avons vu que le musée technique de Prague est un des plus anciens d'Europe. Il a été réorganisé plusieurs fois au cours de son histoire et sa gestion a été prise en charge directement par l'Etat en 1951.

La représentation du chemin de fer y est concrétisée par 8 locomotives anciennes (dont l'Engerth « Kladno » de 1855), par du matériel roulant dont un salon impérial de 1891, et par des souvenirs divers, une collection de modèles réduits et un réseau miniature animé.

Un musée des « wagons » existerait à Studénka et le musée technique de Brno posséderait aussi une section ferroviaire.

URSS. Il existe à Moscou et dans les principales villes d'URSS, des « Maisons de la Technique du Chemin de fer » qui servent conjointement à l'information du public et à la documentation des étudiants et des professionnels. Y sont exposés, sous forme de beaux modèles réduits, au 1/10 ou 1/5, les matériels roulants actuels les plus typiques ainsi que des modèles de réalisations caractéristiques en ouvrages d'art, voie, signalisation.

Par ailleurs, « l'Exposition permanente des réalisations de l'économie nationale » qui occupe de vastes installations dans un parc, à Moscou, comporte une section « Transports » également dotée de maquettes et de matériels ferroviaires. Mais dans les unes et les autres de ces présentations, la partie historique est presque absente et l'accent est surtout mis sur les réalisations d'aujourd'hui, voire d'avant-garde.

Musée des Chemins de fer, Belgrade. Il existe à Belgrade un musée des Chemins de fer. Il relève des Chemins de fer de l'Etat yougoslave. Nous ne disposons d'aucun renseignement sur sa consistance.

L'Asie et l'Afrique

Ceylan. A l'occasion du centenaire des Chemins de fer, un musée ferroviaire a été ouvert à Colombo en 1964.

Japon. Les Chemins de fer japonais (JNR) possèdent un musée à Tokyo qui comporte 15 000 pièces de collection dont une évocation en grandeur de la ligne du Tokaido. Un autre musée existe également à Osaka et un troisième fut ouvert en 1972 à Kyoto à l'occasion du Centenaire des Chemins de fer japonais (1872-1972).

Turquie. Les Chemins de fer de l'Etat ont ouvert en 1964 un musée à Ankara. Il expose de nombreux documents sur les anciens chemins de fer de l'Empire ottoman et sur leur développement après l'avènement de la République.

Indes. Un musée des transports avec section ferroviaire aurait été fondé en 1971.

En Afrique. Le plus ancien musée ferroviaire du continent est probablement celui du Caire, qui fut, à l'époque de l'obédience britannique, ouvert en 1933, pour coïncider avec une session de l'Association Internationale du Congrès des Chemins de fer. Un catalogue de ce musée a encore été publié en 1958. A cette époque, on pouvait y voir de nombreux modèles réduits ainsi que 3 locomotives à vapeur, dont une Atlantic de 1906 construite par la North British à Glasgow, une 030 de 1865 et l'extraordinaire locomotive-salon construite en 1862 à Newcastle par R. Stephenson pour l'usage personnel de Saïd Pacha.

Un musée des « East African Railways » serait en formation à Nairobi depuis plusieurs années. Il devrait comporter une douzaine de locomotives à vapeur. Un projet identique concerne les chemins de fer de Rhodésie à Bulawayo avec 5 locomotives et une voiture salon. Enfin le musée des South African Railways est en cours de transfert et de réorganisation à Johannesburg.

De l'Amérique à la Nouvelle-Zélande

Le Canada possède un National Museum of Science and Technology à Ottawa dans lequel la section ferroviaire contient 11 locomotives à vapeur, une diesel, une électrique et plusieurs voitures et wagons. Par ailleurs le « musée ferroviaire canadien », entreprise privée, dispose d'importantes installations à Delson-St-Constant dans la province de Québec (16 locomotives à vapeur, une dizaine de voitures à voyageurs, des tramways).

Aux Etats-Unis, on dénombre plus de 60 musées ferroviaires, répartis dans 36 états. A part les sections ferroviaires d'organisations comme la Smithsonian Institution de Washington et quelques musées appartenant à des Compagnies de chemin de fer telles le Baltimore et Ohio, à Baltimore (¹), il est très difficile de faire la distinction, depuis l'Europe, entre les véritables musées et les chemins de fer à caractère touristique et rétrospectif. Ainsi, par exemple, la ligne à voie étroite du Denver et Rio Grande Western qui est maintenue en exploitation saisonnière entre Silverton et Durango.

Au Mexique, il n'existe aucun musée ferroviaire à notre connaissance.

Amérique centrale et Amérique du Sud. La situation est mal connue. Une seule locomotive ancienne recensée est exposée à Potosi en Bolivie. L'Association Panaméricaine des Chemins de fer se préoccupera de l'organisation de musées auprès des Chemins de fer argentins, brésiliens, et péruviens, mais il ne semble pas que les déclarations d'intention soient bien positives.

Océanie. Conséquence de l'influence anglaise, il existe plusieurs musées en Australie et en Nouvelle-Zélande. A Sydney le musée technologique contient 6 locomotives historiques dont une de Stephenson datant de 1855.

A Enfield, près de Sydney, le New South Wales Railway Museum, installé dans deux anciennes rotondes de dépôt, conserve 44 locomotives à vapeur, 10 voitures à voyageurs, 8 wagons divers.

A Williamstown près de Melbourne, le musée de l'Australian Railway Historical Society contient 18 locomotives, 4 voitures, 3 wagons.

A Redbank, près de Brisbane, les chemins de fer de l'état de Queensland ont organisé leur propre musée qui montre entre autres 15 locomotives dont une Garratt maintenue en état de marche.

A Adelaïde, le musée ferroviaire comporte 21 locomotives provenant de 5 anciennes compagnies avec trois écartements de voie.

A Perth, l'Australian Railway Historical Society a un musée comportant 10 locomotives et des pièces diverses.

En Nouvelle-Zélande des musées ferroviaires ou des sections ferroviaires dans des musées de technologie existent dans plusieurs villes : à Auckland, Christchurch, et Dunedin notamment. Chacun d'eux possède plusieurs échantillons de matériel. Au total une quarantaine de locomotives de provenances diverses sont préservées.

Malgré l'absence d'un caractère introspectif poussé, l'énumération qui précède aura permis au lecteur d'apprécier l'importance que les pays, les organisations culturelles, les compagnies fer-

roviaires, les collectivités et les associations attachent sous presque toutes les latitudes du globe où le chemin de fer a pénétré à la préservation d'échantillons représentatifs de son histoire. Bien sûr, ce mouvement est troué de lacunes dans sa répartition géographique. Il dépend, dans une certaine mesure, des mentalités, des conceptions et aussi de la longueur de voie ferrée ramenée à l'unité de surface ou au nombre d'habitants.

Pour clore ce chapitre, nous observerons que, de même que pour le recensement des institutions et l'inventaire de leur patrimoine, il est très malaisé de se faire une idée de leur fréquentation. Le questionnaire limité à l'Europe, lancé conjointement par l'UIC et l'IATM en 1972, a apporté des résultats fort imprécis. Comme ordre de grandeur, rien qu'en Europe, plusieurs dizaines de millions de visiteurs parcourent chaque année les galeries des musées techniques, la densité de fréquentation trouvant plus spécialement son épanouissement dans les pays de culture anglo-saxonne, germanique et nordique.

Une idée de 1900...

A propos de la création du Conservatoire National des Arts et Métiers, nous avons remarqué que sa fondation ancienne et surtout sa prétention polyvalente avaient eu peut-être pour conséquence une certaine stagnation des initiatives par rapport à celles de nos grands voisins fortement industrialisés.

Sans nous livrer à une fastidieuse énumération chronologique des événements de notre histoire ferroviaire, soulignons cependant que la France vit s'installer la deuxième ligne d'Europe continentale ouverte au transport public ; que de grandes étapes de la traction à vapeur y ont été marquées par l'introduction de systèmes (chaudière à tubes de fumée, compoundage par exemple) et de types de locomotives originaux de conception purement nationale. Plus près de nous, c'est sur les voies de la S.N.C.F. que fut mise en pratique la traction électrique par courant monophasé à fréquence industrielle, aujourd'hui adoptée par un grand nombre d'administrations ferroviaires proches (tels les BR) ou lointaines (Inde). Enfin, même en faisant abstraction de la mise au point de prototypes expérimentaux du genre du TGV 001, la S.N.C.F. détient toujours, après 20 ans, le record absolu de vitesse sur voie ferrée (1955).

Il est donc paradoxal, et bien que le Conservatoire dispose d'une salle des Chemins de fer renfermant de magnifiques modèles (¹), de constater que si l'idée de réunir des échantillons en grandeur dans un musée permanent des transports fut

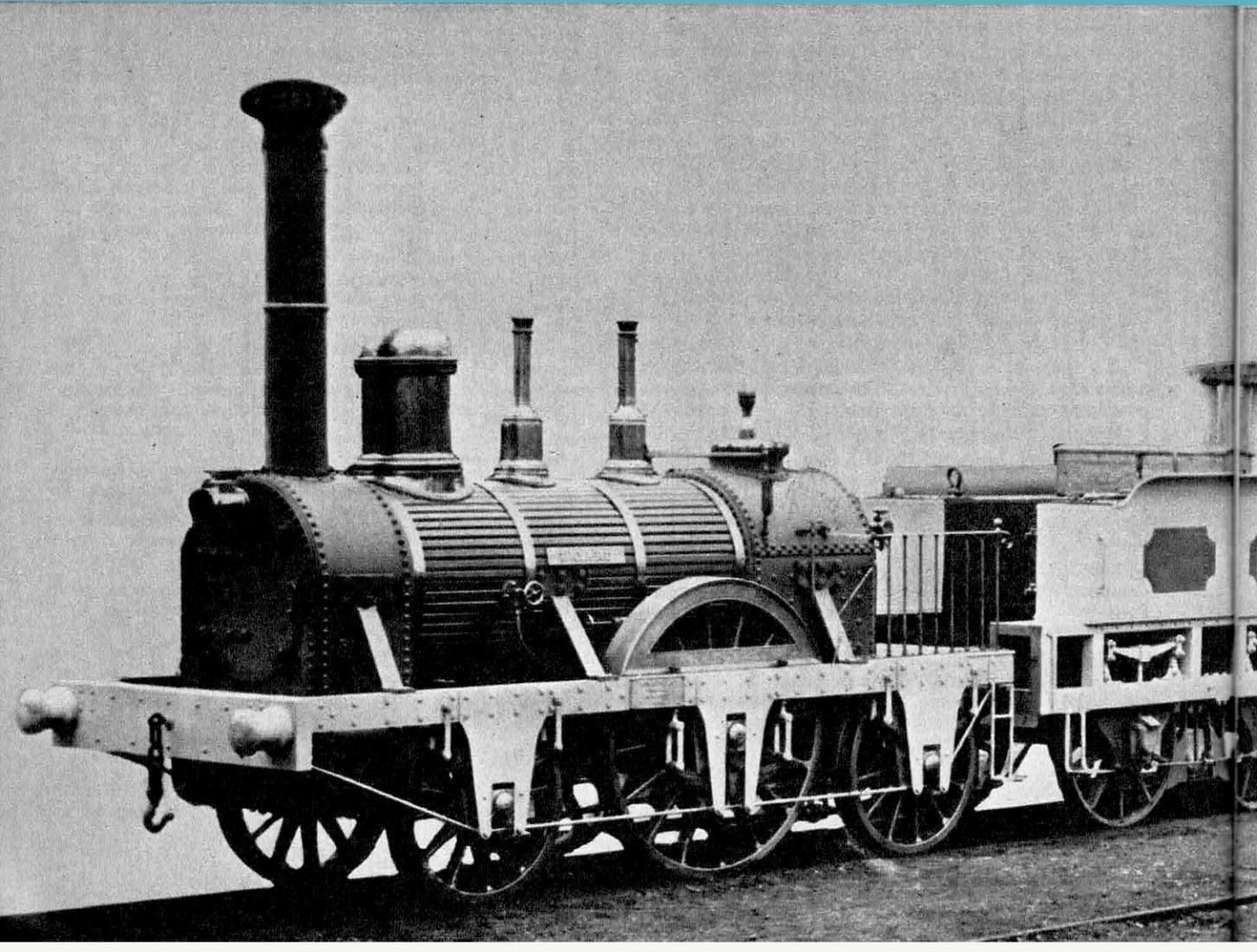
(1) Il est remarquable que dès avant 1850 des modèles d'appareils ferroviaires ont été versés à la collection du Conservatoire. Nous relevons au hasard du catalogue : plaque tournante par Philippe, modèle au 1/5 entré avant 1849 ; changement de voie au 1/5, même auteur, même époque ; locomotive Stephenson Long-boiler modèle au 1/5 par Philippe, entré en 1833. Quant à la célèbre locomotive Norris à l'échelle de 1/4 don du constructeur au roi Louis-Philippe, elle n'entra au Conservatoire qu'en 1904, après un curieux oubli parmi les collections du Louvre. Cet oubli est bien la preuve de l'importance que l'on attachait à la représentation artistique de la technologie, à l'époque où, précisément, Maurice Bixio, président de la commission centennale des moyens de transport de l'Exposition de 1900 émettait le vœu en question ! Une autre malheureuse histoire est celle du Musée des Travaux Publics créé en 1939. Il comportait une section ferroviaire des plus intéressantes, organisée avec une minutie remarquable par la SNCF. A peine achevé, en 1946, le musée était dispersé par « la raison d'état ». Certains de ses modèles furent relogés au Conservatoire, d'autres sont maintenant à Mulhouse ; d'autres, enfin, paraissent irrémédiablement « égarés » ou détruits !

(1) Le Musée du B & O est en cours de rénovation. Le « Chessie System », résultant de la fusion des Compagnies Baltimore & Ohio RR et Chesapeake & Ohio RR y consacre un crédit de \$ 1 000 000 pour que l'institution prenne une dimension « nationale ».

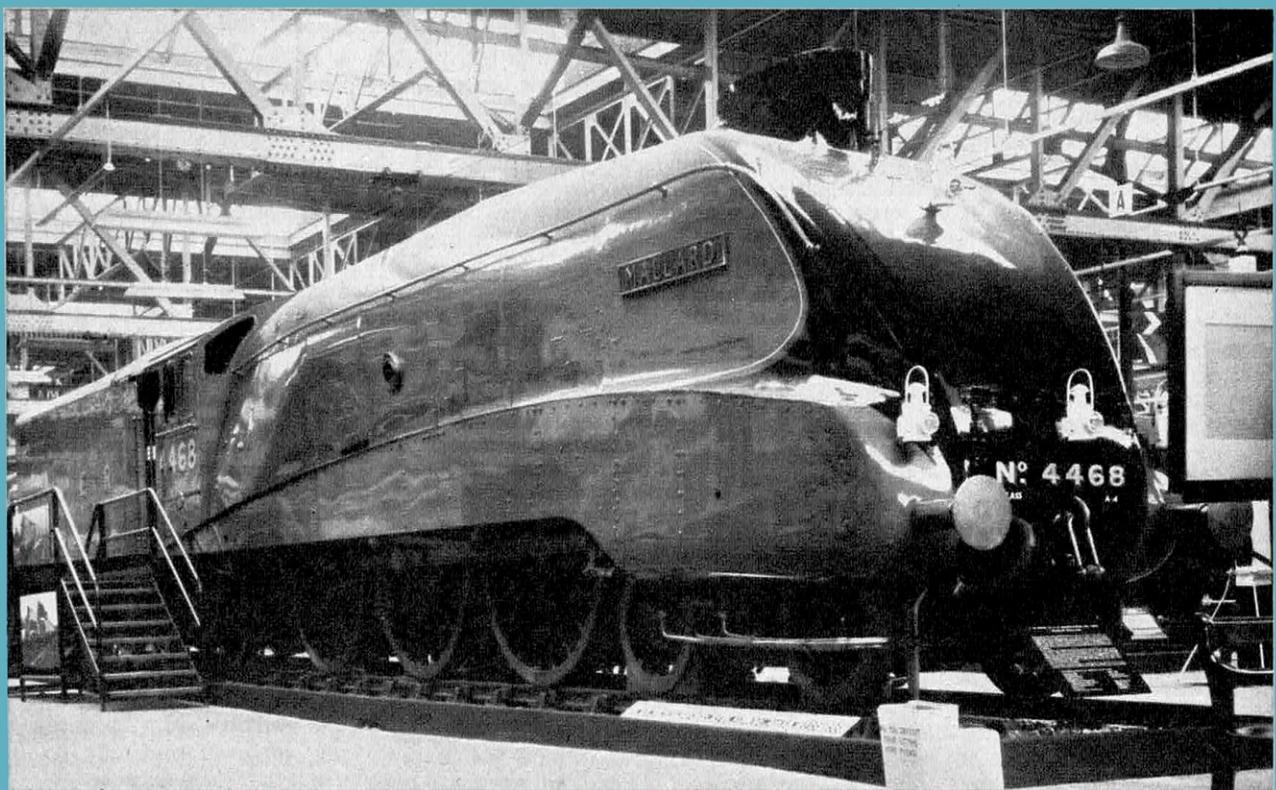


Utrecht: locomotive des « Stroomtram » de la Frise, 1904.

Milan: au musée Leonardo da Vinci, reconstitution du premier

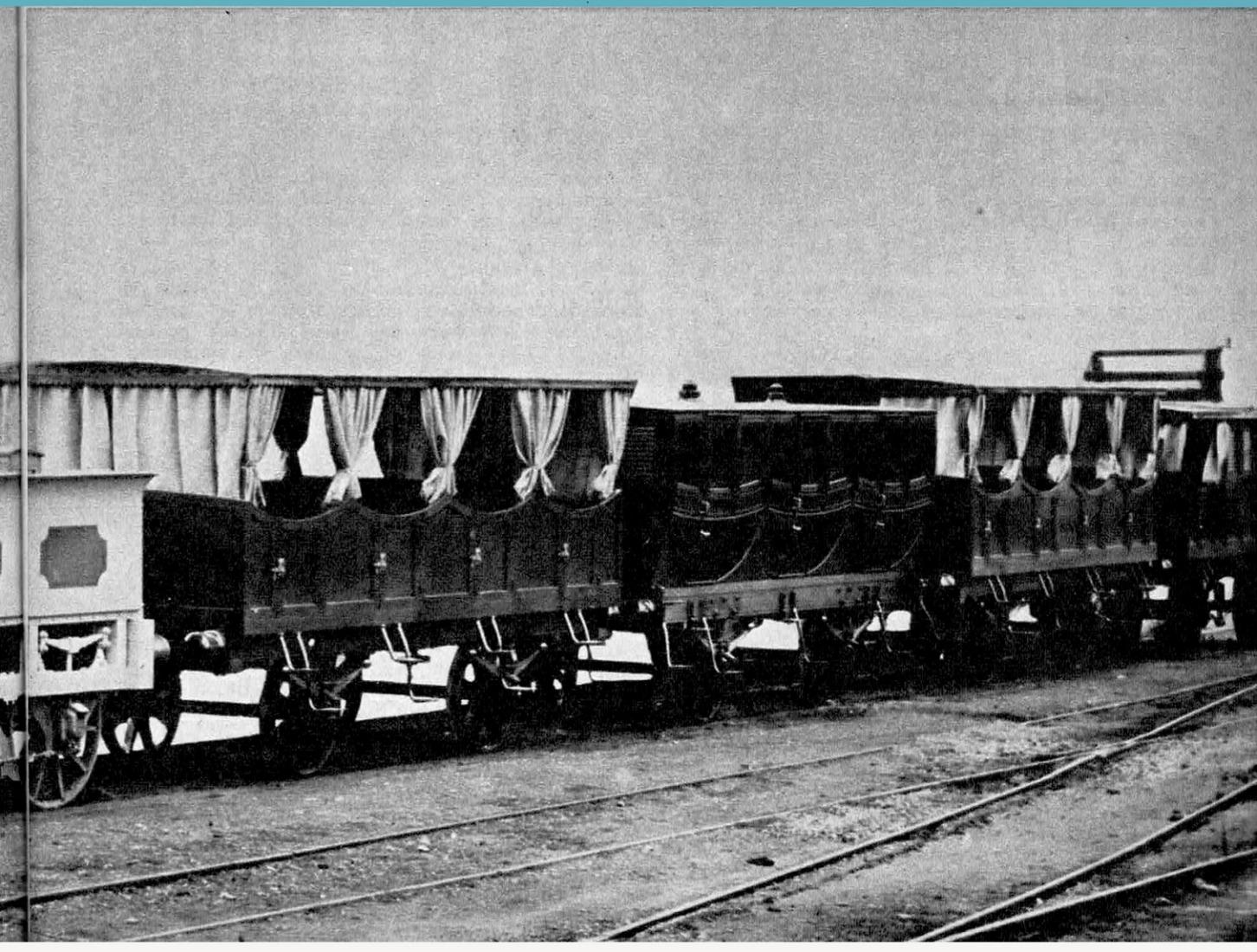


Les documents illustrant cet article nous ont été communiqués par notre confrère « La Vie du Rail ».



Londres : la « Mallard », qui roule à 202 km/h le 18 juillet 1938.

convoi de Naples à Portici avec la locomotive « Bayard ».



émise à la clôture de l'Exposition Universelle de 1900, le vœu correspondant, et expressément formulé auprès des pouvoirs publics, resta lettre morte. Il a fallu — pour le seul secteur ferroviaire — et avec toutes les difficultés de conservation et de reconstitution se greffant en incidente, attendre 71 ans avant que l'idée de 1900 puisse se matérialiser sous la forme d'une institution permanente. La genèse du Musée Français du Chemin de fer, le concours des initiatives, l'enchaînement des circonstances qui décidèrent de son implantation à Mulhouse ont déjà été longuement exposés, de même qu'a été décrite la consistance du patrimoine (éolutif) conservé et remis en état (ou en cours de restauration) par la S.N.C.F. et la CIWLT⁽²⁾ et tout récemment par la direction du matériel roulant du Ministère des postes, en accord avec le Musée Postal⁽³⁾. Voici un bref rappel :

Peu après la réorganisation de la salle des chemins de fer du Conservatoire, un programme de conservation de pièces de matériel moteur et remorqué (surtout locomotives à vapeur, à l'époque) fut établi dans les années 1944 sur l'initiative de l'Association Française des Amis des Chemins de fer, en collaboration avec la Division des Etudes de Locomotives à vapeur et le service central du matériel de la S.N.C.F. Des instructions étaient données aux établissements intéressés pour préserver 34 locomotives et 15 échantillons de matériel remorqué rendus disponibles par suite de leur réforme ou de leur versement proche en attente d'amortissement. Ces pièces étaient dispersées dans un certain nombre de dépôts ou ateliers en différents points du réseau. En 1958, la décision fut prise de les rassembler sous les rotondes du dépôt de locomotives à vapeur de Châlon/Saône, rendues disponibles par l'achèvement de l'électrification de la ligne Paris-Lyon.

Problèmes de restauration

En 1966, une nouvelle décision du Directeur général de la S.N.C.F. autorisait la Direction du Matériel et de la Traction à faire entreprendre la réparation des engins les plus remarquables. Il convenait aussi de profiter de la présence dans les ateliers, pour un temps que l'on savait limité, de spécialistes tels que chaudronniers ou ajusteurs formés pour l'entretien des locomotives à vapeur, peintres en lettres, capitonneurs-selliers, ébénistes pour le matériel remorqué.

Pour ce qui concerne la S.N.C.F., le choix des matériels anciens à réparer en priorité, l'encaissement des travaux proprement dits, et la surveillance de leur exécution furent confiés, au sein de la Direction du Matériel, à une commission de spécialistes créée à cet effet, un « groupe de travail musée du Chemin de fer » constitué en 1967 et assisté d'un conseiller historique désigné en accord avec l'Association Française des Amis des Chemins de fer.

(2) Voir notamment : revue « *Chemins de fer* » : plusieurs numéros et tirés à part de janvier 1965 ; Revue Générale des Chemins de fer : septembre 1970, septembre 1971, mai 1974 ; n° spécial 3-1971 du Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse ; bulletin d'information des cadres de la SNCF, mai 1972 ; articles d'actualités dans la Vie du Rail.

(3) Le Musée Postal — Maison de la Poste et de la Philatélie à Paris — ne peut abriter d'échantillons en vraie grandeur de matériel ambulant ferroviaire présentant un intérêt rétrospectif. Une convention a donc été établie en 1973 entre ce musée et le musée français du Chemin de fer en vue du dépôt à Mulhouse des matériels correspondants. Actuellement deux wagons-postes sont exposés à Mulhouse.

Pour le maintien de son aptitude au service, le matériel de chemin de fer subit toujours des transformations. Selon la durée de sa carrière active, une locomotive à vapeur, sans être reconstruite intégralement, peut subir jusqu'à 40 et 50 modifications altérant plus ou moins son aspect original. Dans le cas de la restauration d'un échantillon représentatif, le premier problème qui se pose, au moment de sa prise en charge, est d'être en mesure de donner des instructions précises accompagnées de documents d'exécution nécessaires pour la remise de l'engin dans l'état souhaité par le groupe de travail. Au cours de telles études, qui relèvent textuellement de l'archéologie appliquée à un secteur bien déterminé, surgissent des problèmes matériels parfois difficiles à résoudre. La réfection de pièces à l'identique, même si l'on dispose toujours des moyens d'usinage, peut se heurter au fait que la matière première n'est plus produite dans les spécifications de l'époque (cas du fer puddlé) ou dans les normes (cas de la largeur maxima de certaines tôles). Cas aussi pour ce qui est du rétablissement des « livrées » dans leur couleur d'origine.

Il faut noter qu'aux différents niveaux de leur exécution, toutes ces tâches d'un caractère exceptionnel ont été accueillies avec intérêt et conviction, et accomplies par les ateliers avec la conscience et le souci de faire du « beau travail » pour la postérité. D'où les restaurations remarquables que l'on peut admirer dès maintenant au musée : elles soutiennent avantageusement la comparaison, quant à la finition, avec celles de même nature que l'on voit dans les musées ferroviaires de l'étranger.

Où placer le musée ?

Mais la poursuite des travaux sur les matériels historiques ne donnait pas, pour autant, de solution quant à l'emplacement et à l'organisation du musée qui devrait un jour les accueillir. Pour ce qui concerne l'emplacement, de nombreuses suggestions furent formulées, tenant plus ou moins compte que, du fait de leur masse indivisible, il est peu pensable de répartir, quand on est limité en surface au sol, locomotives, voitures ou wagons sur plusieurs niveaux. C'est ainsi que l'on envisagea dans Paris la réutilisation du dépôt du Champ de Mars, le Grand-Palais, les plateformes ferroviaires (au niveau inférieur) des gares d'Orsay et des Invalides, celle de la vieille gare Montparnasse. En province, on pensa à la réutilisation de divers dépôts de locomotives à vapeur rendus disponibles par suite de la reconversion des moyens de traction.

Tous ces projets se limitaient surtout à des « déclarations d'intention », plus qu'ils n'étaient assortis d'études sérieuses des possibilités d'aménagement ou de rentabilisation des investissements nécessaires à l'adaptation de locaux non dévolus de par leur conception primitive à des fonctions muséales.

Il apparut finalement que l'exploitation directe d'un musée ferroviaire par la S.N.C.F. n'irait pas sans soulever de difficiles problèmes, ne serait-ce que d'ordre juridique, et on essaya de porter la question sur le plan de l'Etat. Des tentatives furent faites pour provoquer l'inscription du Musée du Chemin de fer au IV^e plan puis au Ve plan. Elles n'eurent pas de suite.

Cependant, le regroupement (à partir de 1958) du matériel ancien au dépôt de Châlon s/Saône n'était pas resté ignoré des amis de la technique et

de l'histoire ferroviaire. La S.N.C.F. avait consenti à plusieurs reprises que des groupes intéressés visiterent le dépôt de Châlon — qui n'offrait pourtant rien de l'image que l'on peut se faire d'un musée.

La publication, en 1965, dans un numéro spécial de la revue « Chemins de fer », d'une sorte de catalogue descriptif des engins rassemblés à Châlon eut un retentissement décisif. Elle attira l'attention de plusieurs sympathisants du Chemin de fer résidant en Alsace. Ils formèrent, au sein de la Société Industrielle de Mulhouse, sous l'égide du Président alors en fonction, un comité du « Musée du Chemin de fer ». Ce comité reçut mission de procéder à une étude relative aux possibilités d'implantation d'un musée à caractère national, dont les statuts, compte tenu des nuances juridiques inévitables, seraient inspirés de ceux de la Maison Suisse des Transports et Communications de Lucerne.

Très rapidement, la municipalité de Mulhouse, invitée aux travaux de ce comité, se déclara prête à fournir le terrain nécessaire. Il serait de peu d'intérêt ici d'entrer dans l'analyse du volumineux dossier que représente aujourd'hui le développement de cette initiative. Nous observerons toutefois que la situation géographique de Mulhouse est (et ce fut un des arguments décisifs produit par les initiateurs) privilégiée quant à la convergence de divers courants de voyageurs et de touristes nationaux et étrangers.

En définitive, le 6 juin 1969, le Ministre des transports, tenant compte de l'avis favorable de la S.N.C.F., décidait de retenir le projet et invitait ses promoteurs à se mettre en rapport avec la S.N.C.F. pour fixer les modalités de dépôt à Mulhouse de la collection qu'elle avait conservée et commencée à remettre en état.

Une solution provisoire

Aussitôt en possession de la décision ministérielle, le comité provisoire de la Société Industrielle de Mulhouse décida de faire naître, juridiquement pour commencer, une association ayant la capacité légale préalable à toute activité matérielle. Le 14 octobre 1969 était fondée l'*Association du Musée français du Chemin de fer*. Sur leur demande, la S.N.C.F. et la CIWLT ont été admises dès l'origine en qualité de membres d'honneur.

Depuis 1969 la vice-présidence du conseil est assurée conjointement par la S.N.C.F. et la ville de Mulhouse, la Chambre de Commerce et d'Industrie de Mulhouse et la Société Industrielle de Mulhouse remplissent respectivement les fonctions de Trésorier et de Secrétariat. Conformément aux statuts, le directeur du musée est nommé par le conseil d'administration.

A sa création, l'Association prévoyait la construction, sur le terrain mis à sa disposition par la Municipalité⁽¹⁾ d'une première tranche de bâtiments susceptibles d'abriter 25 à 30 échantillons de matériels roulants historiques pour un investissement dont le montant se serait élevé à 4 millions de francs en première estimation. L'exécution de ce projet dut être différée par suite des mesures très sévères d'encadrement du crédit prises par le gouvernement.

Il apparut alors qu'une solution de relais était désirable et qu'il était possible d'exposer en permanence un certain nombre d'engins dans une

rotonde à machines du dépôt de Mulhouse-Nord libérable de son utilisation « active » fin 1970 par suite de la mise en service de la traction électrique entre Mulhouse-Belfort et Dôle.

Celle-ci fut ouverte à la visite publique le 12 juin 1971. Ainsi donc, en ce jour mémorable, était effectivement né le Musée Français du Chemin de fer. Compte tenu de la disposition des lieux, du nombre des voies abritées et aussi du sentiment maintes fois exprimé par une grande majorité de personnes, priorité fut donnée à une évocation de la locomotive française de vitesse, de 1844 à 1936, représentée par 12 échantillons alors disponibles dont on trouvera la nomenclature en annexe. Elle constitua d'emblée le rassemblement de locomotives à vapeur à voie normale (présentant un intérêt historique indéniable ne serait-ce que par leur authenticité) le plus important que l'on puisse voir en Europe continentale parmi les musées ferroviaires déjà existants.

Depuis 1971 le thème central a été étoffé par des apports complémentaires et notamment par la locomotive 3.1102 Nord décrite par ailleurs en annexe. Parmi d'autres attractions, un réseau miniature aménagé dans une voiture réformée, fruit du travail bénévole du club local des amateurs de modélisme ferroviaire, apporte, sur un développement de 108 m de voie en HO, l'animation de ses petits trains qui évoluent dans un décor caractéristique de la région.

Sur le plan des commodités matérielles il paraît utile aussi de signaler qu'en haute saison (du 15 mai au 15 septembre, sauf les lundis) une voiture-restaurant ancienne est effectivement exploitée, à poste fixe, pour permettre aux visiteurs du musée, isolés et en groupe, de se procurer repas légers et rafraîchissements à toute heure dans un cadre caractéristique de l'époque 1930.

Une mission bien remplie

Depuis son ouverture, l'installation transitoire du musée du chemin de fer a vu passer quelque 110 000 visiteurs, nombre remarquable si l'on tient compte du fait que l'exploitation du musée est divisée en deux périodes annuelles : saison d'été avec ouverture journalière y compris samedis, dimanches et fêtes ; saison d'hiver où l'ouverture est limitée aux week-ends et jours fériés (avec, toutefois, possibilité d'ouverture en semaine pour les visites de groupes annoncées préalablement). 15 % environ des entrées sont constituées par des visites de groupes scolaires (qui bénéficient d'un tarif réduit spécial), ce qui met en relief l'importance que les milieux universitaires et enseignants attachent à une telle réalisation.

Compte tenu de cette expérience et de ses résultats positifs, les options financières nécessaires à l'édification du musée définitif ont pu être contractées. La première pierre du nouveau musée a été posée solennellement le 29 juin 1974⁽²⁾. Pour un investissement de 6 millions de francs, la première tranche des travaux débutera à l'automne 1974. Elle permettra de disposer d'une longueur utile de 800 m de voie abritée, soit une possibilité d'accueil pour au moins 40 véhicules parmi lesquels des échantillons de matériel moteur et remorqué d'un très grand intérêt représentatif de l'évolution technique ou de souvenirs qui s'attachent à notre histoire ferroviaire.

(1) Terrain bordant, à Dornach, la voie ferrée d'importance internationale (Bâle-Mulhouse-Strasbourg-Luxembourg) et aisément raccordable à celle-ci.

(2) Sur le même terrain doit être également édifié un musée d'inspiration originale dévolu à la rétrospective des moyens de lutte contre l'incendie.

A titre d'exemple, dans la première catégorie — et indépendamment, bien sûr, des locomotives à vapeur — on pourra voir une des premières locomotives électriques et le premier autorail ayant circulé en France ; dans la deuxième, des voitures parmi lesquelles un salon du train impérial de 1855 avec sa décoration intérieure par Viollet-le-Duc, ceci en opposition à d'humbles mais évocateurs wagons de marchandises tels les « 40 hommes

8 chevaux ». Bien entendu d'autres aspects de notre réseau ferroviaire auront leur place dans un ensemble dont la conception harmonieuse et surtout fonctionnelle, due à P.Y. Schoen, architecte, sera conforme aux plus récentes connaissances en matière de muséologie appliquée.

Ainsi avons-nous désormais la certitude que notre pays (après une longue attente et une difficile naissance) disposera très bientôt d'une ins-

Catalogue sommaire des pièces principales ex (Installation transitoire — Dép

Cour d'entrée

Différentes pièces représentatives de l'infrastructure et de la signalisation.

Demi-rotonde

La demi-rotonde « A » du dépôt de Mulhouse-Nord comporte 14 voies rayonnantes disposées sur fosses de visite. Elles sont desservies par un pont tournant extérieur aux emprises du musée. La fosse de visite de la voie 13 a été approfondie et éclairée afin de permettre aux visiteurs un libre passage sous une locomotive de 102 t.

● Voie 1 : Tramway électrique à voie normale — 1935 — réseau de Lille — collection de l'Amtuir.
● entre voies 1 et 2 : Pompe à incendie, à bras, ayant été en service au dépôt de Carhaix (réseau breton) restaurée par l'atelier du dépôt de Thouars en 1973.
● Voie 2 : Locomotive 3.1102 Nord, premier type « Baltic » à tender séparé, et dernière étude de Du Bousquet 1911-1913. Cette locomotive, coupée longitudinalement, figura, sous le titre « La vie intérieure d'une locomotive » à l'exposition des Arts et Techniques de Paris 1937. Elle a été complètement restaurée en 1972-1973 par l'atelier du dépôt de Thouars. Telle qu'elle est présentée, avec simulation de feu sur la grille, c'est le plus important « écorché » réalisé à ce jour (dans sa catégorie) pour des fins didactiques. A l'état d'origine : vitesse 120 km/h, masse en service 113 t, roues accouplées de 2,04 m.

● Entre voies 2 et 3 : Atelier d'outils à feu et outillage courant utilisé par les équipes de conduite en traction à vapeur. A la partie inférieure échantillons de combustible « traction ».

● Voie 3 :
— draisine et wagonnet à outillage VB Nord 1920. Dans le wagonnet, bille de Billinge, bois du Gabon utilisé pour la fabrication des traverses ;
— lorry à bras manœuvré par 2 hommes dit « lorry » à pompe (réseau du Midi, 1928) ;
— loco-pulseur pour la manœuvre des wagons

sur les embranchements particuliers (Ateliers de Jambes 1940) ;

— Wagon couvert « 40 hommes, 8 chevaux » avec guérîte de serre frein type unifié Etat, 1928. Remis au type d'origine par les ateliers de Saintes en 1972.

● Entre voies 3 et 4 : Modèles au 1/10 de locomotives électriques dont la CC 7107 détentrice du record de vitesse de 331 km/h (1955).

● Voie 4 :
— essieu de wagon à marchandises avec roues à rayons système Léonard ;
— essieu Condé-HP à roues de 2 m, masse 5,5 t provenant de la locomotive 241 P 5.

● En travers de la voie 4 : Modèle au 1/5 de locomotive 141-700 EST, en ordre de marche (et fonctionnant à l'air comprimé). Chef d'œuvre exécuté en 80 000 heures, par les classes d'apprentissage 1928, 1929, 1930, des ateliers d'Epernay.

● Voie 4 : Locomotive Buddicom « St-Pierre » n° 33 de la Cie Paris à Rouen, 1844. Vitesse 60 km/h. Masse en service 18,9 t. Roue motrice de 1,720 m. Remise au type strictement d'origine par les ateliers de Sotteville — Quatre-Mares en 1968.

Près de la machine, sur un pilier, cloche des ateliers Buddicom, Rouen 1847.

● Entre voies 4 et 5 : Plusieurs modèles de pièces de locomotives : essieux coudés, bogie, boîte à feu, ensemble de démonstration du fonctionnement de la coulisse de Walschaerts. Exécutés par les ateliers de Thouars et de Bischheim.

● Voie 5 :
— locomotive Stephenson Long Boiler n° 6 « L'Aigle » de la Cie Avignon à Marseille, construite en 1846. Vitesse 60 km/h, masse en service 22 t, roue motrice de 1,700 m. Remise à son type d'origine par les Ateliers de Sotteville Quatre Mares en 1968 ;

— locomotive n° 5 « Sézanne » de la compagnie Montereau — Troyes — 1847. Vitesse 60 km/h, masse en service 20,1 t, roue motrice de 1,690 m. Remise à son type d'origine par les Ateliers d'Epernay en 1968. C'est la première locomotive ayant reçu la chauffe au mazout en 1868 et sur laquelle Napoléon III fit un court voyage pour s'informer du « nouveau procédé » dû à Sainte-Claire Deville.

stitution représentative des grandes heures de sa riche tradition ferroviaire. L'ouverture d'un tel musée s'insère dans le contexte d'une époque où, précisément, le transport collectif (particulièrement le transport par rail, le plus économique d'énergie) reprend toute sa justification économique.

Mais encore, et c'est la véritable mission des promoteurs du Musée Français du Chemin de fer, leur vœu est qu'il devienne aussi, à Mulhouse, au

coeur de cette « Europe » pour laquelle tant d'efforts sincères et désintéressés ont déjà été déployés, une maison de la culture ferroviaire, détentrice d'une captivante synthèse du passé, du présent et de l'avenir, dans la ligne de cette pensée de Georges Duhamel :

« Conserver c'est encore créer ».

Michel Doerr

posées au musée français du chemin de fer. ôt S.N.C.F. de Mulhouse-Nord).

● Voie 6 :

— locomotive Crampton « Le Continent », n° 80 de la Cie Paris à Strasbourg 1852 — vitesse 120 km/h — masse en service 27,3 t — roue motrice de 2,300 m. Restaurée par les ateliers d'Epernay en 1947 puis repeinte dans sa livrée strictement d'origine par le dépôt de Mulhouse nord en 1972 ;

— fourgon Nord n° 7061 de 1868, avec un compartiment d'extrémité de 3^e classe. Muni du frein à déclenchement système Bricogne. Restauré en 1972 par les Ateliers de Romilly.

● Voie 7 : Locomotive « Parthenay », n° 2029 Etat, 1882 ; Masse en service 36,8 t, roues accouplées de 2,020 m, remise à son type d'origine par le dépôt de Laval en 1969.

● Voie 8 : Locomotive 340 PO, dite « Forquenot », 1882, vitesse 100 à 110 km/h. Masse en service 45 t, roues accouplées de 2 m. Remise à son type d'origine par le dépôt de Thouars en 1971.

● Entre voies 8 et 9 : Sifflets en état de fonctionnement provenant de : 231-500 Etat, 141 R, 2D2 500.P.O.

● Voie 9 : Locomotive 701 Nord — Première machine compound à 4 cylindres du système de Glehn — Du Bousquet construite à Mulhouse en 1885. Vitesse 95 km/h, masse en service 41,5 t ; roues motrices (non accouplées) de 2,114 m. Restaurée dans l'état de 1892 (après application du bogie AV) par le dépôt de Dunkerque en 1970.

● Entre voies 9 et 10 : Sémaaphore PLM pour double voie.

● Voie 10 : Locomotive « Coupe vent » C. 145 PLM, 1900. Essai du début du siècle en matière d'aérodynamisme. Vitesse 120 km/h ; masse en service 56,6 t, roues accouplées de 2 m. Restaurée par le dépôt de Paray-le-Monial en 1970 pour la partie mécanique, mise en peinture par l'entretien de Mulhouse-Riedisheim en 1971-1972.

● Voie 11 : Locomotive 2670 Nord (« Atlantic ») 1904 Vitesse 130 km/h, masse en service 70 t — roues accouplées de 2,040 m. Remise dans l'état de 1912 (après application de la surchauffe) par le dépôt de Laon en 1969.

● Voie 12 : Locomotive 4546 P.O. 1908 — Représentative de la première série de « Pacific » ayant été mise en service en Europe par la Cie Paris-Orléans (à partir de juillet 1907) ; vitesse 110 km/h. Masse en service 90 t, roues

accouplées de 1,850 m, remise à l'état d'origine par le dépôt de Thouars en 1972.

● Entre voies 12 et 13 : Modèle au 1/10 de locomotive 240-700 P.O. (type de machines obtenues par transformation en 1932/1933 des 4500 P.O.).

● Voie 13 : Locomotive 3.1192 Nord, dite « Chapelon-Nord », 1936 — Vitesse 140 km/h — Masse en service 102 t roues accouplées de 1,950 m. Remise au type d'origine par le dépôt de Dunkerque en 1970. Face à la voie 13 : panonceau « R.F. » : Il servait à décorer les portes de boîte à fumée des locomotives affectées à la remorque des trains spéciaux en cas de déplacements du chef de l'Etat, réceptions de chefs d'Etat étrangers, etc.

● Entre voies 13 et 14 : Modèle au 1/10 de locomotive 241 P (à chauffe par stoker).

● Voie 14 : Locomotive 1-241 A1, ex-41001 Est, prototype de 1925 ayant marqué l'introduction en Europe du type « Mountain ». Vitesse 110 km/h, masse en service 121,4 t, roues accouplées de 1,950 m. Laissée dans son apparence finale, dernière réparation par les Ateliers de Sotteville — Quatre Mares en 1968, dernière mise en peinture en 1973 par le dépôt de Mulhouse-Nord.

● Voies extérieures à la rotonde :

Voiture restaurant 3349, remise dans son apparence extérieure d'origine (1929) avec la raison sociale « Compagnie Internationale des wagons-lits et des grands express européens ».

— Voiture A 3 1/2 B 5 P.O. métallisée. Dégarnie de ses aménagements intérieurs, après réforme, cette voiture contient un réseau miniature fonctionnel, en H.O., construit par le Groupement des modélistes ferroviaires « Alsace-Sud », de Mulhouse ;

— voiture-salon-salle de conférence, ex n° 10 A.L. dite de la Grande-Duchesse et ayant été effectivement à disposition permanente de la famille Grand-Ducal de Luxembourg pendant la période 1895-1930. Cette voiture a été remise en état par les ateliers de Romilly en 1972-1973 ;

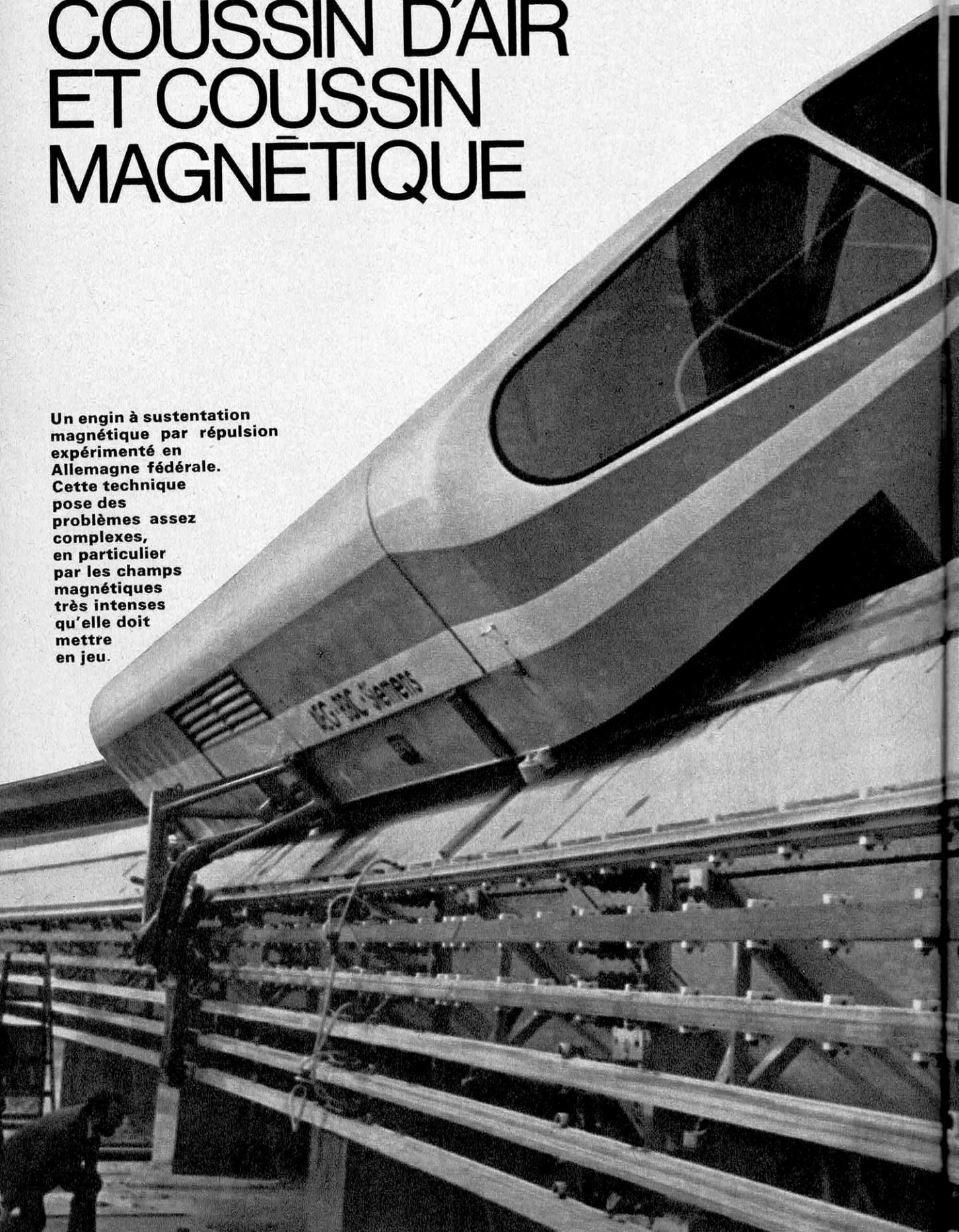
— wagons-postes pour le service des lignes AL, dits « 10,70 m » métalliques OCEM 1933 ;

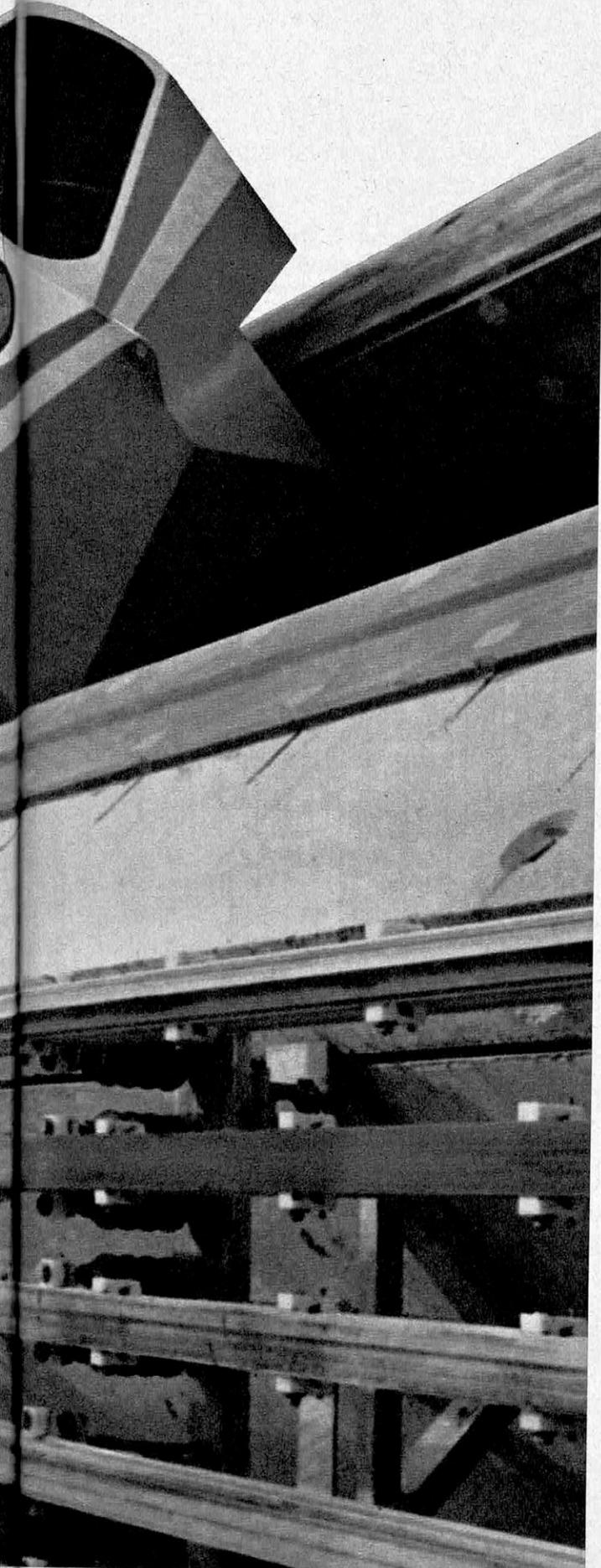
— Patf 40558 remis à son type d'origine en 1973 par SEB. Cannes-la-Bocca ;

— 5087 00 17 0600, laissé à son type final de retrait de service en 1972.

COUSSIN D'AIR ET COUSSIN MAGNÉTIQUE

Un engin à sustentation magnétique par répulsion expérimenté en Allemagne fédérale. Cette technique pose des problèmes assez complexes, en particulier par les champs magnétiques très intenses qu'elle doit mettre en jeu.





Les véhicules classiques de transport terrestre à grande vitesse utilisent une technologie dont le principe remonte à la plus haute antiquité : la roue. Toutefois, dans plusieurs pays, les chercheurs ont étudié, puis mis au point, des techniques de sustentation et de guidage qui tendent à éliminer tout contact matériel entre le véhicule et la voie et permettent d'atteindre de très grandes vitesses (plus de 300 km/h).

Pendant longtemps, on avait pu croire, que la roue ne permettrait pas de dépasser « une vitesse critique maximale », liée surtout au problème de l'adhérence. Or, les recherches dans le domaine ferroviaire tendent actuellement à démontrer que cette vitesse maximale était une vue subjective et qu'elle ne correspond pas à une limite physique clairement établie. A priori, le chemin de fer semble pouvoir donner satisfaction jusqu'à des vitesses de l'ordre de 350 km/h.

Dans ce contexte, on peut se demander quel est l'intérêt de développer des techniques de sustentation sans contact matériel.

En fait, trois arguments justifient la volonté d'innover :

- les sustentations sans contact matériel sont moins sensibles aux défauts de la voie, ce qui se traduit par la possibilité de faire circuler des véhicules à grande vitesse sur une voie de qualité relativement médiocre sans pour autant compromettre leur stabilité dynamique ;
- la répartition des charges sur une plus grande surface pourrait conduire à une infrastructure plus légère, donc moins onéreuse à la construction ;
- l'absence de liaison mécanique entre le sol et le véhicule permet d'espérer une

réduction considérable des vibrations et du bruit.

Un principe fondamental de la mécanique imposant à toute action une réaction, le poids du véhicule (action) doit être équilibré à chaque instant par une force égale et opposée. Dans le cas de la roue, cet équilibre est naturellement obtenu par le contact avec le rail, alors que pour les autres types de sustentation, il est indispensable d'entretenir un coussin « fluide » stable entre le véhicule et le sol. Ces sustentations sont de trois types : le coussin d'air ; le coussin magnétique à attraction ; le coussin magnétique à répulsion.

Où en est le coussin d'air ?

Ce type de sustentation est développé en France par la société Bertin et la société de l'Aérotrain qui, depuis 1965, poursuivent des essais à grande vitesse sur deux sites expérimentaux : Gometz et Orléans. Il est à noter que la technique du coussin d'air peut être utilisée à des vitesses faibles. Ainsi, la société de l'Aérotrain, en collaboration avec l'E.D.F., développe actuellement un système de transport urbain sustenté par coussin d'air, le Tridim⁽¹⁾.

Après les essais sur maquettes (Aérotrain 01 et Aérotrain 02) sur la piste de 6,7 km de Gometz, fut décidée la construction d'une voie d'essais de 18 km près d'Orléans (1969) et du prototype d'Aérotrain interurbain de 80 places (I-80). Propulsé par deux turbomoteurs entraînant une hélice carénée, il a été expérimenté durant deux ans. Simultanément, un Aérotrain de 44 places, à propulsion électrique (moteur linéaire), destiné au transport suburbain, a été testé à Gometz sur une voie de 3 km.

A la suite des résultats acquis, les pouvoirs publics ont accordé de nouveaux crédits à la société de l'Aérotrain afin que soit modifié le système de propulsion de l'I-80 (remplacement de l'hélice par un réacteur Pratt et Whitney JT-8D équipé d'un système d'insonorisation). Ainsi pouvaient être effectués des essais à très grande vitesse (350 à 400 km/h). C'est avec ce prototype qu'a été battu le record du monde de vitesse des engins de transport terrestre : 428 km/h, le 5 mars 1974.

Le « coussin d'air » français a sans conteste une avance importante sur ses prin-

cipaux concurrents : l'Hovertrain en Grande-Bretagne et le modèle Grumman aux U.S.A. Après avoir construit puis testé un véhicule à moyenne vitesse, la Grande-Bretagne a abandonné le projet d'un véhicule qui devait atteindre 500 km/h. Il est à noter que la Grande-Bretagne semble avoir principalement orienté ses efforts sur les aéroglissoirs marins.

Aux U.S.A., la société Grumman a réalisé un véhicule purement expérimental destiné à atteindre 500 km/h, qui devrait être essayé sur une voie expérimentale de 3 km, à Pueblo dans l'Etat du Colorado. D'autre part, la société Rohr-Aérotrain a construit un véhicule à coussin d'air selon les brevets Bertin. Propulsé par un moteur électrique linéaire L.M.L., ce véhicule préfigure un système de transport suburbain (240 km/h) et est actuellement en cours d'expérimentation à Pueblo.

De façon beaucoup plus sommaire, quelques expérimentations sur le coussin d'air ont été conduites au Japon, en Allemagne (Krauss-Maffei) et en Italie (université de Palerme).

Les coussins d'air à grande vitesse

Le principe de cette sustentation est simple : de l'air sous pression est envoyé dans des coussins situés sous le véhicule et s'échappe sur la périphérie de ceux-ci, entre le sol et des lèvres d'étanchéité souples.

Dans ces conditions, la force de sustentation est égale, en toute première approximation, au produit de la surface des coussins par la surpression de l'air qu'ils contiennent.

Sur les Aérotrains, on trouve en fait non seulement des coussins de sustentation qui équilibreront le poids des véhicules, mais aussi des coussins de guidage verticaux qui reprennent les efforts latéraux.

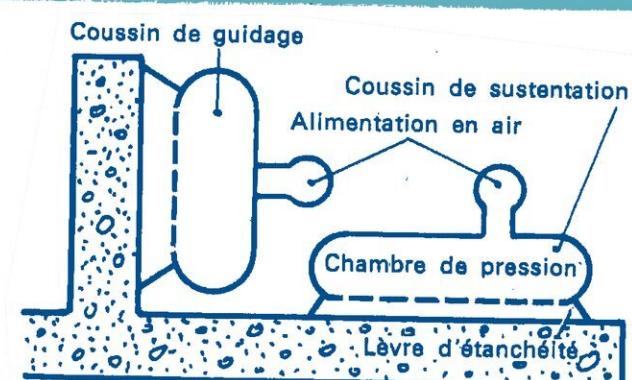
La mise en pression des coussins est assurée par un compresseur embarqué à bord du véhicule. Ce compresseur est entraîné soit par une turbine (Aérotrain I-80), soit par un moteur électrique. Dans tous les cas, la puissance de sustentation est égale au produit du débit du compresseur par la surpression dans le coussin. Or, pour un coussin donné, le débit est directement proportionnel à la hauteur de fuite et à la racine carrée de la surpression.

On en déduit que, pour une puissance de sustentation donnée et supposée cons-

(1) Voir l'article suivant « nouveaux systèmes de transport urbain ».

LES AÉROTRAINS FRANÇAIS

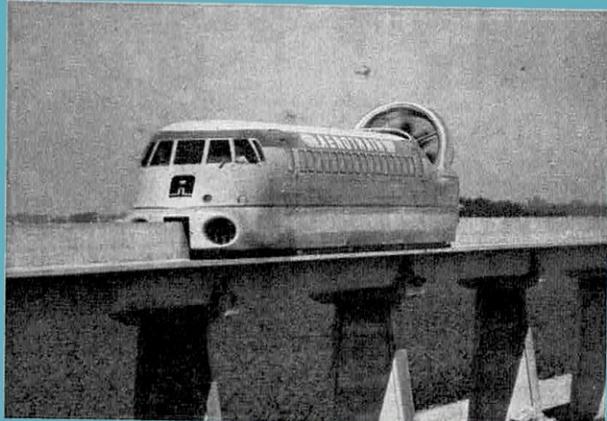
- 1 - Aérotrain expérimental 02 sur la voie de Gometz.
- 2 - Aérotrain suburbain à propulsion par moteur linéaire.
- 3 - Aérotrain I-80 à hélice sur la voie d'Orléans.
- 4 - Version à réacteur insonorisé de l'I-80 (428 km/h).
- 5 - Maquette de l'aérotrain qui devait relier La Défense à Cergy-Pontoise.



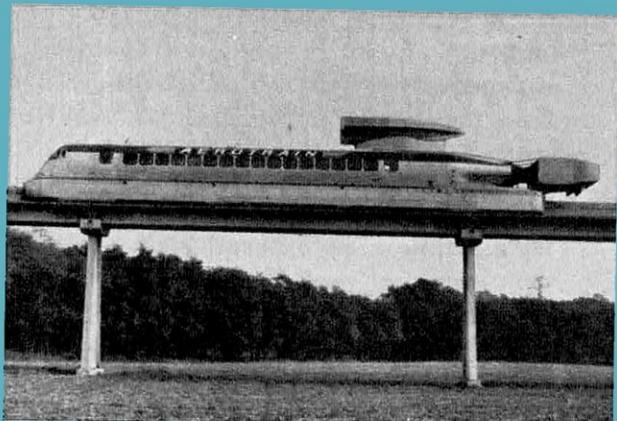
1



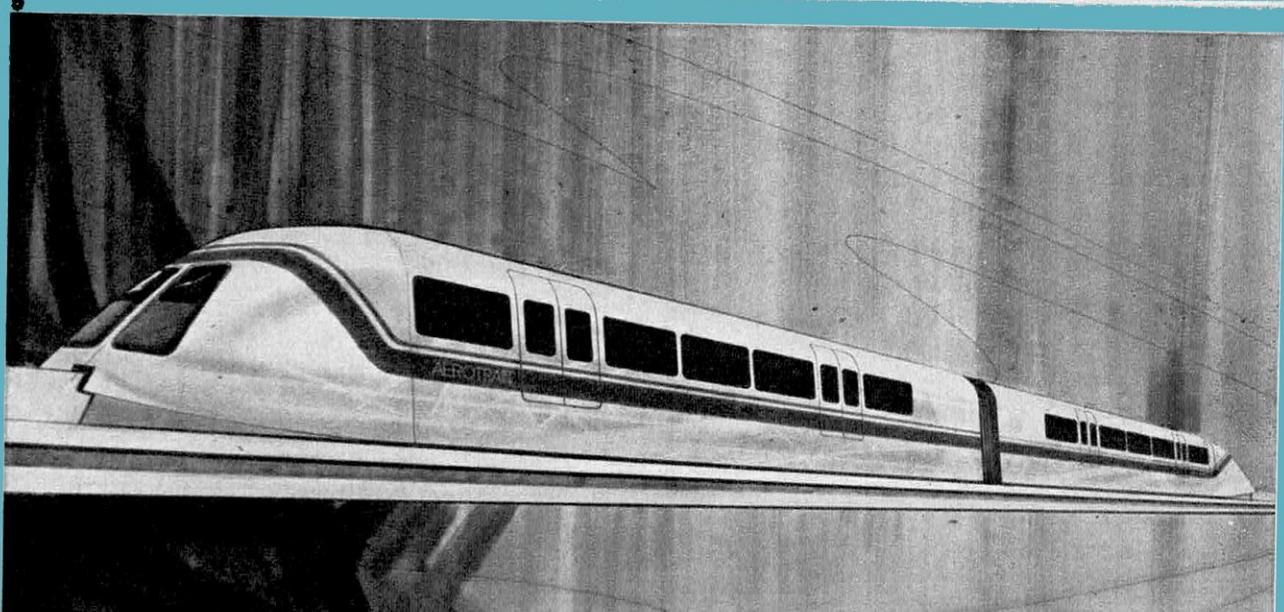
2



3



4



5

tante, à toute augmentation de la hauteur de fuite (par exemple si le véhicule se soulève sous l'action d'un effort aérodynamique) correspond une diminution de la pression dans le coussin. Le poids du véhicule jouera alors comme une force de rappel. Réciproquement, si le véhicule s'écrase sur sa piste (diminution de la hauteur de fuite), en résultera une augmentation de la pression et de la force de sustentation. Le système à coussin d'air est donc naturellement stable.

D'autre part une avarie sur un coussin (déchirure des lèvres d'étanchéité principalement) n'impose pas une chute et une immobilisation immédiate du véhicule.

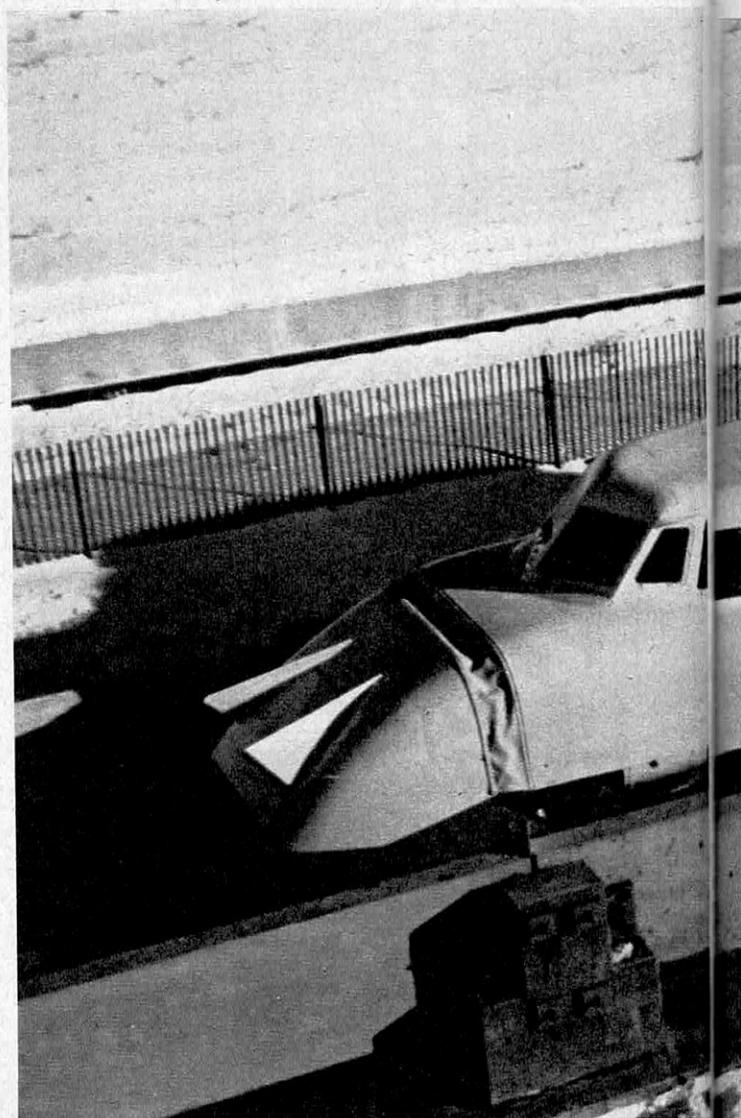
Pour les Aérotrains interurbains à propulsion thermique, la puissance absorbée par la sustentation est actuellement de l'ordre de 15 kW par tonne, ce qui peut paraître important. Toutefois, il faut remarquer qu'un véhicule de 80 places propulsé par réacteur a une masse de 25 t⁽¹⁾, ce qui correspond à 4,7 kW de puissance de sustentation par place offerte.

D'autre part, à grande vitesse, l'Aérotrain bénéficie d'une récupération dynamique.

En effet, l'avant du véhicule est le siège d'une surpression qui varie comme le carré de la vitesse ; dans ces conditions, il est possible de réduire d'une manière très sensible la puissance des moteurs de sustentation. A 400 km/h, on pourrait gagner 50 % au moins. La puissance de sustentation passerait alors à un chiffre de l'ordre de 2,5 kW par place offerte.

Le chiffre de 15 kW/t correspond d'ailleurs à une hauteur de fuite relativement importante, déterminée par la rugosité de la voie afin de minimiser l'usure des lèvres d'étanchéité. Si l'on accepte de réduire la hauteur de fuite, il est possible de diminuer la puissance. Ceci implique que la voie soit d'une construction plus soignée et, par conséquent, plus onéreuse. Un compromis doit au total être trouvé entre le coût de la voie et le coût de l'énergie de sustentation.

Remarquons enfin que des études sur la technologie des coussins sont actuellement poursuivies en vue de diminuer la puissance de sustentation. Les coussins des Aérotrains de deuxième génération ne consomment plus que 12 kW/t.

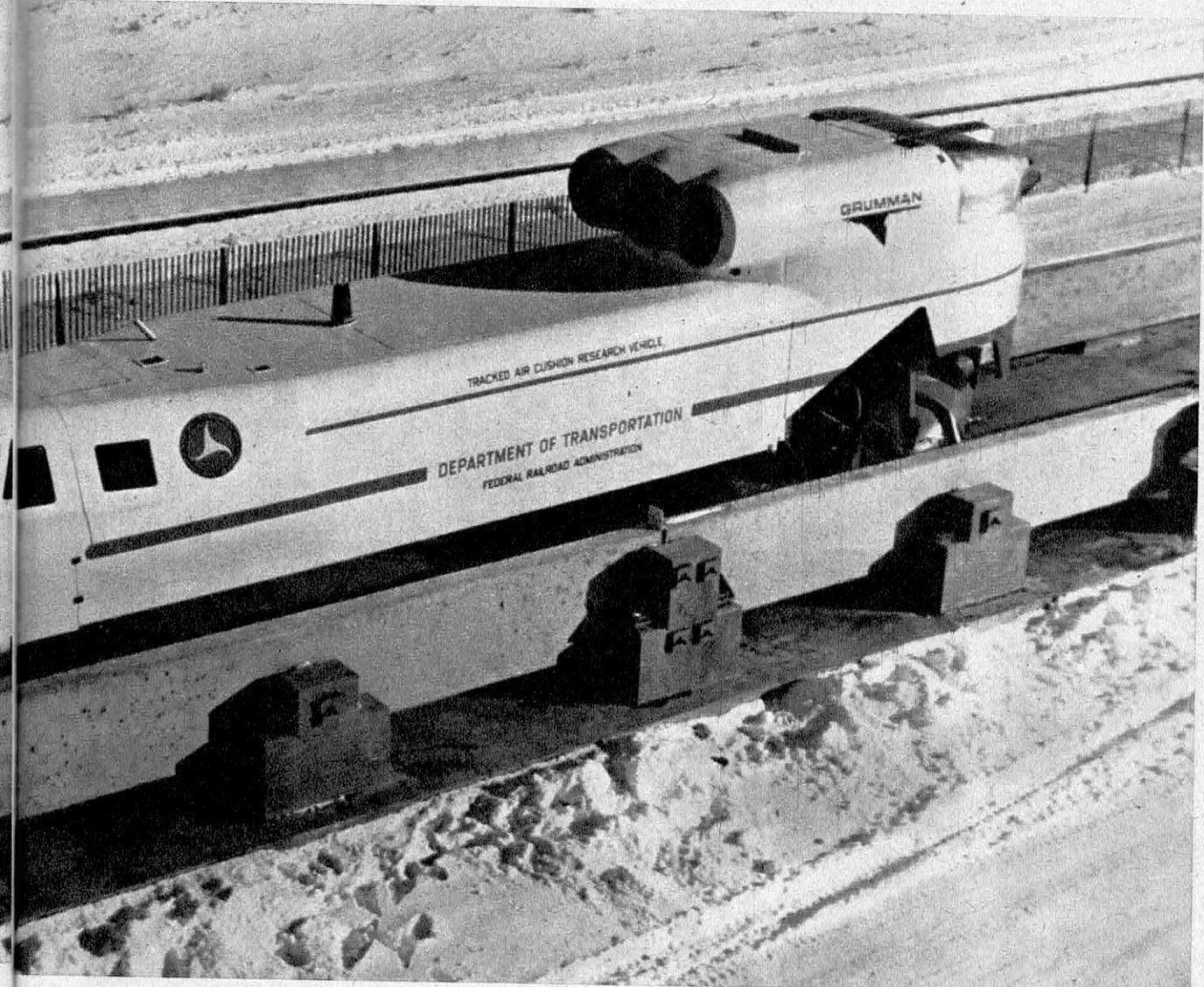


L'aérotrain Grumman doit être équipé de moteurs

En plus de la traînée aérodynamique classique, le système de sustentation introduit une traînée supplémentaire, la traînée de captation. Celle-ci est proportionnelle au débit du compresseur et à la vitesse du véhicule, la puissance utilisée à vaincre cette traînée étant fournie par le moteur de propulsion. Elle correspond à l'énergie qu'il faut transmettre à la masse d'air captée chaque seconde pour l'accélérer de la vitesse nulle à la vitesse du véhicule.

Ce type de sustentation ne demande aucun équipement particulier sur la voie, constituée d'une simple plate-forme de béton sur laquelle est disposé un muret servant au guidage des véhicules à propulsion thermique. Dans le cas des Aérotrains électriques, propulsés par moteur linéaire, le muret est remplacé par une plaque métallique verticale qui représente l'induit du moteur linéaire.

(1) La modicité de la masse provient essentiellement de l'adoption de techniques aéronautiques dans la construction.



linéaires évolués, refroidis par eau. Il pourrait ainsi atteindre les 450 km/h.

La sustentation électromagnétique par attraction

Ce système, qui se présente comme le concurrent direct du coussin d'air, n'est étudié actuellement qu'en Allemagne, par les firmes Krauss-Maffei et Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB). Les deux systèmes font appel à la même technologie et il est probable que dans un avenir relativement proche, leurs concepteurs s'associeront pour n'en présenter qu'un seul.

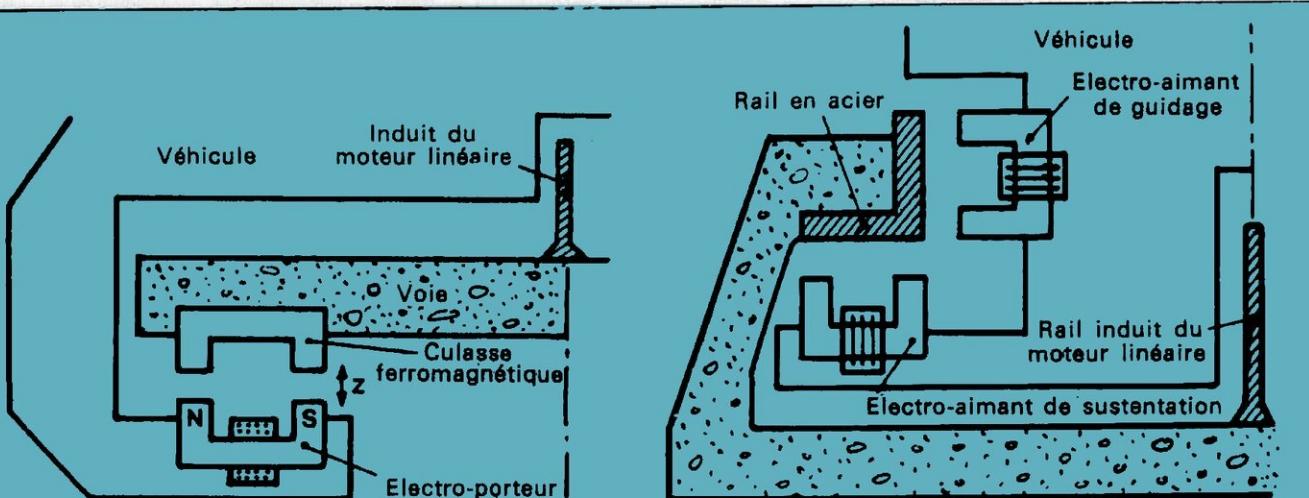
En octobre 1971, Krauss-Maffei mettait en service un site expérimental sur lequel ont été testées la sustentation magnétique par attraction et la sustentation sur coussin d'air. Pratiquement, seul le véhicule sur coussin magnétique, capable de 160 km/h, a fait l'objet d'essais notables. A l'instar du développement de l'Aérotrain en France, le gouvernement de la République fédérale

a soutenu les industriels qui poursuivent les recherches, dont la prochaine étape sera d'atteindre la vitesse de 350 km/h avec le véhicule Transrapid 04 de Krauss-Maffei sur une nouvelle voie d'essais à Munich.

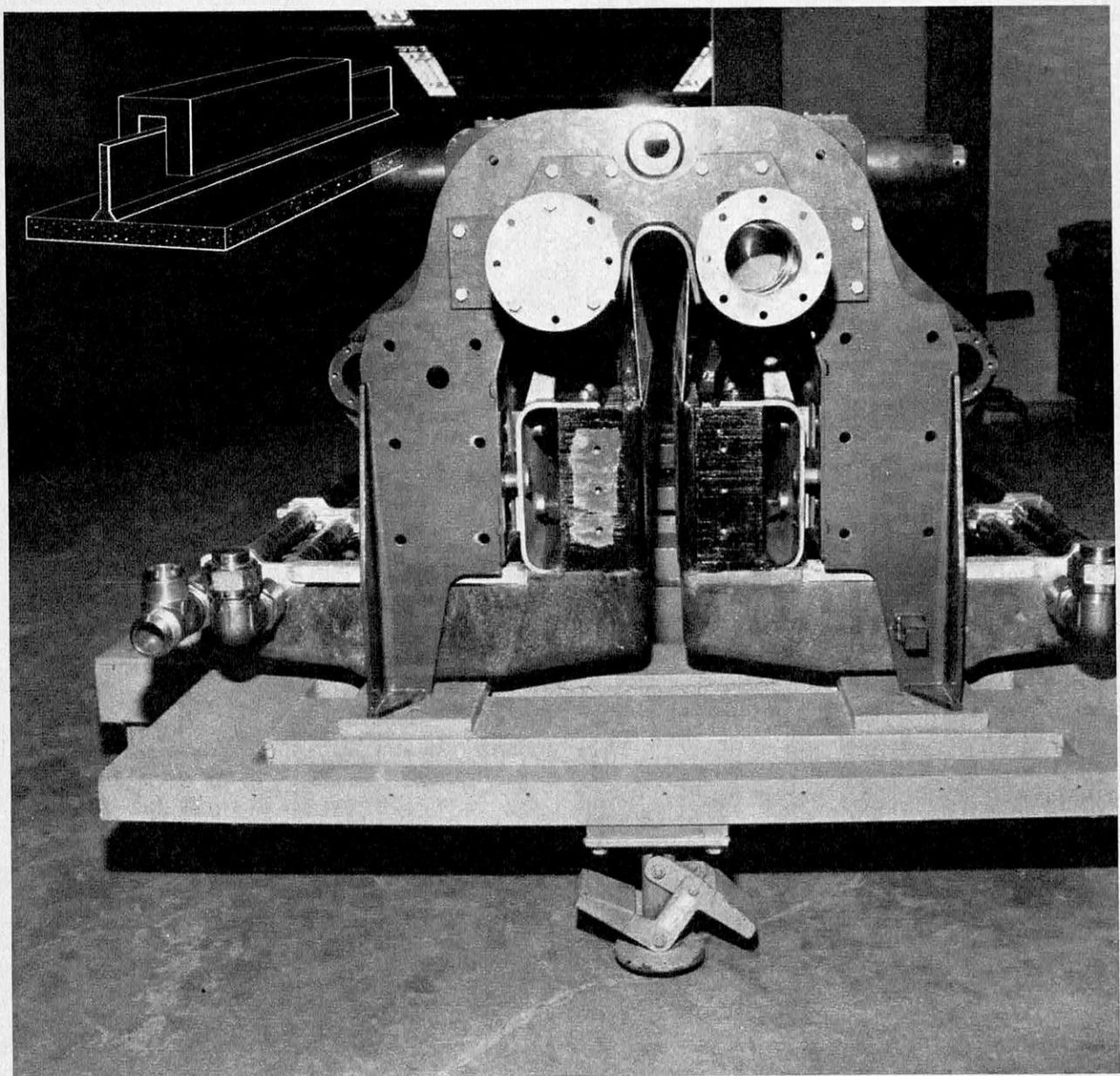
Dans le cas du système Krauss-Maffei, le véhicule porte des électro-aimants disposés, sans contact, vis-à-vis de rails en acier fixés à la voie ; la force d'attraction des électro-aimants est utilisée pour la sustentation et le guidage.

Dans le dispositif MBB, on a séparé les fonctions sustentation et guidage qui sont assurées par deux jeux d'aimants différents portés par le véhicule. Les schémas en page 136 portent sur le principe des deux systèmes.

La principale difficulté rencontrée lors de la mise au point de ce mode de sustentation réside dans le fait que les forces d'attraction entre l'électro-aimant et le rail



Diverses solutions ont été proposées pour le coussin magnétique par attraction.



La partie inducteur du moteur linéaire prévu pour l'aérotrain Grumman (p. 135).

sont d'autant plus intenses que l'entrefer est plus faible. Si le courant d'excitation des bobines est constant, il existe une seule valeur de l'entrefer pour laquelle la force magnétique équilibre exactement le poids du véhicule. Si pour une raison quelconque la hauteur de l'entrefer diminue, la force de sustentation augmente et le véhicule sera soulevé, allant jusqu'à entrer en contact avec le rail. De même, si l'entrefer augmente, la force de sustentation diminue et le véhicule est alors entraîné par son poids et tombe.

Le système est donc naturellement instable et doit impérativement incorporer une chaîne d'asservissement *parfaitement fiable* qui, à chaque instant, devra réguler l'intensité du courant dans les électro-aimants pour conserver une hauteur de vol à peu près constante. Du point de vue sécurité, se pose le problème d'une coupure de l'alimentation électrique qui se traduirait immédiatement par une chute brutale de l'engin.

Pour que l'attraction ait une valeur suffisante, tout en ayant dans les électro-aimants des courants dont l'intensité rend possible une régulation fine, il faut un entrefer réduit. Les ingénieurs de KM et de MBB ont choisi un entrefer de 15 mm. La puissance de sustentation nécessaire, correspondant essentiellement aux pertes par effet Joule dans les bobinages, peut être faible, de l'ordre de 3 kW/t. Il est toutefois indispensable, pour assurer la stabilité dans toutes les configurations de fonctionnement, d'installer une puissance au moins trois à quatre fois supérieure.

Il faut d'ailleurs noter que les véhicules à sustentation magnétique par attraction sont lourds. Un engin de 144 places, capable de 300 km/h, atteindrait, selon Krauss-Maffei, 135 tonnes. Soit une puissance de sustentation de 2,8 kW par place offerte. D'autre part, la puissance nécessaire à la sustentation est, en première approximation, indépendante de la vitesse. Selon certains auteurs, elle aurait même tendance à augmenter avec celle-ci.

Sur le système Krauss-Maffei, le guidage est, nous l'avons vu, couplé avec la sustentation. Dans ces conditions, un décalage du véhicule engendrera une force de rappel. Sur ce point, le système MBB utilise une autre série d'électro-aimants attirés par des rails verticaux. Il est à noter que tout comme la sustentation, le guidage n'est pas naturellement stable.

Comme dans le cas du coussin d'air (traînée de captation), le système électromagnétique par attraction engendre une traînée qui doit être vaincue par la force de propulsion. Le phénomène peut être schématisé de la façon suivante.

Si l'on considère un aimant ou un électro-aimant qui se déplace devant un conducteur (le rail), à l'entrée et à la sortie de l'aimant, se produit une variation d'induction qui engendre des courants de Foucault. Les pertes d'énergie consécutives à la circulation de ces courants se traduisent par une force de traînée opposée au sens du déplacement. Actuellement les chiffres avancés sont contradictoires et des études expérimentales et théoriques sont poursuivies sur ce sujet. Cependant on sait qu'au-delà d'une certaine vitesse, la traînée induite diminue.

L'infrastructure du système électromagnétique par attraction est plus complexe que celle de l'aérotrain, puisqu'à une poutre en béton du même genre il faut adjoindre des rails en acier. Et la masse plus importante des véhicules n'est pas de nature à alléger la voie.

Sustentation magnétique par répulsion

Il s'agit sans conteste de la formule la plus futuriste. Elle est étudiée aux U.S.A. par Ford et l'université de Stanford, au Japon par les J.N.R. et en Allemagne par le consortium Siemens-AEG-BBC.

L'Allemagne a investi des sommes très importantes dans cette technologie ; à Erlangen, une piste d'essai circulaire de 280 m de diamètre a été construite afin de pouvoir tester ce mode de sustentation sur un véhicule prototype jusqu'à des vitesses de 200 km/h.

Il existe une opposition de principe fondamentale entre le système basé sur l'attraction magnétique et celui basé sur la répulsion électrodynamique. Les phénomènes physiques mis en œuvre pour la sustentation et le guidage dans chacun des systèmes n'ont aucun point commun.

La répulsion est obtenue par l'opposition de deux champs magnétiques : un champ très intense créé par une bobine et un champ créé par des courants induits dans un rail placé sur la voie sous le véhicule. Schématiquement si l'on considère une bobine d'induction (ou un aimant permanent) circulant au-dessus d'une plaque conductrice *non magnétique* (cuivre ou alumi-

nium), chaque portion de plaque est soumise à une variation de flux magnétique au passage de la bobine, mais la bobine n'est pas attirée par la piste métallique. Cette variation de flux engendre des courants de Foucault qui circulent de telle manière que le champ qu'ils induisent tend à s'opposer à la variation du flux.

A grande vitesse, on peut dire que tout se passe comme si, sous la bobine, se déplaçait une bobine « image » synchrone dont le champ est opposé au champ inducteur. Dans ces conditions, les deux bobines (la réelle et la fictive) se repoussent, tout comme deux aimants de pôles identiques.

La force de répulsion est fonction de l'intensité du champ inducteur, mais aussi de la hauteur de vol (c'est-à-dire de la distance entre les bobines réelle et fictive) et de la vitesse du déplacement. Il est ici encore nécessaire de prévoir une hauteur de vol suffisante pour éviter un coût d'infrastructure prohibitif ; les promoteurs avancent, en général, des chiffres de l'ordre de 10 cm.

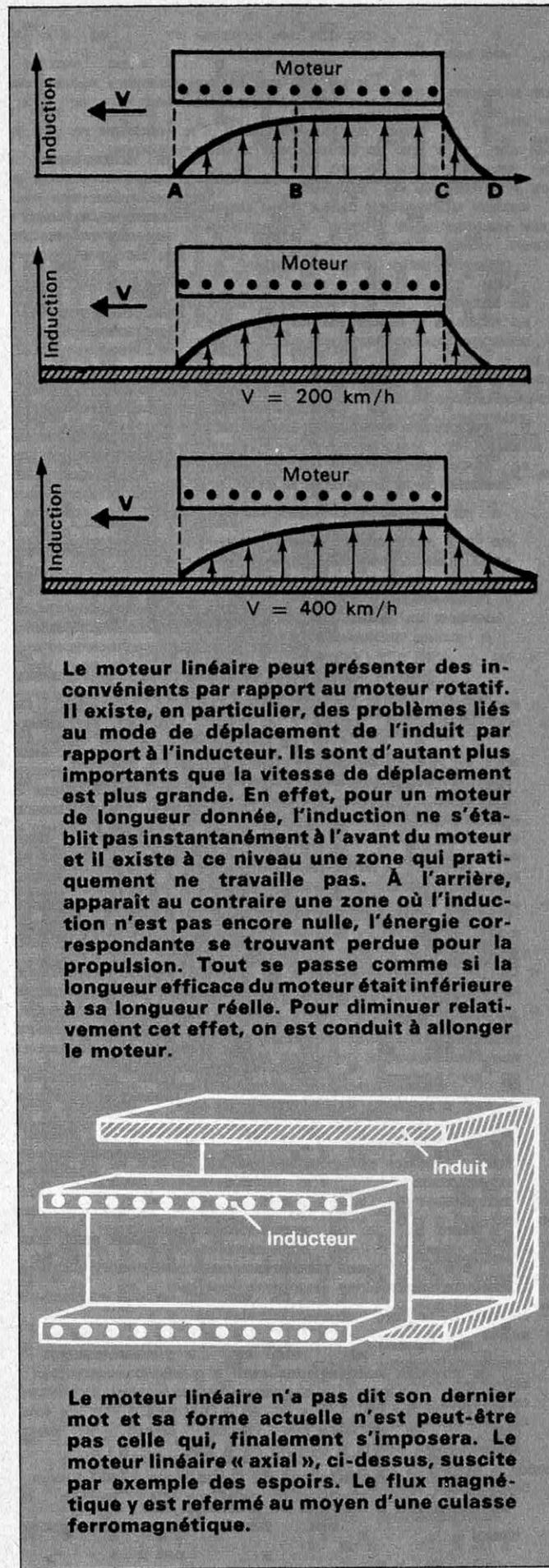
Si l'on fixe le champ et la vitesse, la force de répulsion est, en première approximation, fonction inverse de la hauteur de vol. Donc, si le véhicule se soulève, la force de répulsion diminue et le poids a tendance à le ramener dans sa position initiale. De la même façon si le véhicule chute, la force de répulsion augmente et agit comme un ressort. Le système est donc naturellement stable.

La technologie du coussin magnétique par répulsion pose des problèmes techniques particuliers. Elle nécessite des installations capables de fournir des champs magnétiques considérables (correspondant à des bobines d'un million d'ampères-tours et plus). La seule solution est d'utiliser la supraconductivité des métaux ou des alliages à des températures proches du zéro absolu.

Le prototype allemand est équipé de cryostats remplis d'hélium liquide contenant les bobines d'induction. C'est sans doute le problème technique le plus difficile à surmonter. Car le maintien de l'hélium à l'état liquide (-269°C) à bord du véhicule nécessite des installations complexes et volumineuses.

Les courants de Foucault qui apparaissent dans la plaque engendrent aussi des pertes qui se traduisent par une résistance supplémentaire à l'avancement.

Un autre point mérite d'être signalé ici.



La force de sustentation a en fonction de la vitesse l'allure d'une courbe exponentielle. Il est donc nécessaire d'atteindre une vitesse suffisante pour que l'effort de répulsion équilibre le poids du véhicule. De ce fait, il est indispensable de prévoir un « train d'atterrissement » sur lequel reposera le véhicule tant que sa vitesse ne dépassera pas la vitesse critique de sustentation.

Problèmes de propulsion

Les technologies nouvelles de sustentation ayant comme principe fondamental l'élimination d'un contact matériel, il était logique de propulser les véhicules avec des moteurs ne faisant pas appel aux forces de frottement. De plus ces moteurs doivent fonctionner aussi bien en freinage qu'en propulsion et, pour des raisons de sécurité, leurs performances en freinage doivent être supérieures à celles de propulsion. Il est beaucoup moins grave de perdre du temps à l'accélération que de ne pas pouvoir s'arrêter.

Dans l'état actuel de la technique, il existe deux familles de propulseurs qui respectent ce cahier des charges. Ce sont les propulseurs utilisés en aéronautique (réacteur ou hélice carénée) et les moteurs électriques linéaires.

Les propulseurs aéronautiques ont été utilisés en France sur les Aérotrains interurbains. L'hélice ne permettait pas, malgré l'amélioration due au carénage, d'obtenir des poussées suffisantes pour atteindre de très grandes vitesses. Le freinage était obtenu par inversion du pas de l'hélice.

Pour des vitesses supérieures à 300 km/h, le réacteur était la solution logique. Toutefois, il était difficile d'installer un réacteur sur un véhicule circulant près du sol à cause des nuisances sonores. Aussi, la société Bertin a développé un système d'insonorisation basé sur le principe de la dilution du jet de gaz chaud dans une trompe. Comme en aéronautique, le freinage est obtenu grâce à un inverseur de poussée, un frein à mâchoires serrant le muret de guidage permet l'immobilisation complète du véhicule.

En cas d'arrêt d'extrême urgence, un dispositif de mise à l'air libre de la canalisation d'alimentation des coussins de sustentation permet l'annulation de celle-ci. Dans cette situation le véhicule se pose sur des patins spéciaux assurant un freinage efficace.

Le moteur linéaire à induction

Actuellement toutes les grandes puissances industrielles (Etats-Unis, Allemagne, Grande-Bretagne, France, Japon) poursuivent des programmes de développement sur ce sujet. Aux U.S.A., la compagnie Garrett a mis au point un prototype de moteur linéaire embarqué à bord d'un véhicule ferroviaire sur roues qui a atteint la vitesse de 376 km/h sur la piste de 11 km de Pueblo.

En Allemagne tous les systèmes à sustentation magnétique (attraction et répulsion) sont propulsés par des moteurs linéaires asynchrones.

En France, outre la voie de Gometz de 3 km, la société LML, filiale du groupe Merlin-Gerin, dispose d'un centre d'essai unique au monde où les moteurs linéaires peuvent être testés jusqu'à 400 km/h sur une roue de 14 m de diamètre. D'autres groupes de construction électrique poursuivent des essais sur des installations plus modestes.

Dans un but de simplicité, le moteur linéaire est le plus souvent assimilé à un moteur rotatif asynchrone triphasé, coupé en deux diamétralement, et déplié. Dans cette configuration, le couple fourni par le moteur se transforme en une poussée. L'inducteur est installé dans le véhicule, l'induit fixé sur la voie.

Pratiquement, les moteurs prototypes « grande vitesse » sont du type double inducteur, ce qui conduit à un moteur en fer à cheval circulant autour d'une plaque en alliage non magnétique (à base d'aluminium). Cette plaque forme l'induit, ou rail de réaction.

Les difficultés rencontrées au cours de la mise au point d'un moteur linéaire de ce type sont de trois ordres : électriques et électromagnétiques ; mécaniques (guidage du moteur) ; thermiques (échauffement du rail de réaction et des inducteurs).

• *Les problèmes électriques.* Pour adapter le moteur aux diverses configurations de fonctionnement, il est acquis, après les nombreux essais, qu'on doit pouvoir jouer sur trois facteurs : tension d'alimentation ; intensité du courant dans les bobinages ; fréquence du courant. Dans ces conditions, on est conduit à alimenter le moteur par l'intermédiaire d'un onduleur, qui transforme un courant continu à moyenne tension (1 000-1 500 V) en un courant triphasé à fréquence variable.

Les moteurs linéaires « grande vitesse »

(200 km/h) ont des rendements et des facteurs de puissance médiocres. Un rendement de 0,7 à 0,8 est actuellement considéré comme une réussite. Et la situation est encore plus mauvaise pour le facteur de puissance, compris entre 0,3 et 0,6. Or, l'onduleur est directement intéressé par la puissance apparente, qui peut atteindre le triple de la puissance réelle fournie par ce moteur à grande vitesse. L'onduleur devra donc être dimensionné pour supporter une puissance triple de celle que fournira le moteur, d'où une augmentation sensible de son poids.

● *Les problèmes électromagnétiques* (effets d'extrémités). Contrairement aux moteurs rotatifs où l'induit « baigne » dans le flux magnétique, l'inducteur du moteur linéaire « absorbe » continuellement un induit magnétiquement neutre. Dans ces conditions, lorsque l'inducteur est animé d'une vitesse grande par rapport à l'induit, il existe à l'avant du moteur une zone qui ne travaille pratiquement pas. Tout se passe comme si le moteur était moins long qu'il n'est en réalité. En arrière du moteur apparaît en outre une zone où l'induction n'est pas nulle. L'énergie stockée dans cette portion d'induit est perdue pour le moteur.

Au total, la longueur active du moteur est d'autant plus réduite que la vitesse est plus grande. Aussi, pour obtenir des poussées importantes à grande vitesse, les ingénieurs sont conduits à construire les moteurs les plus longs possibles.

Mais si on allonge le moteur, on en augmente la masse et le guidage de celui-ci devient très délicat.

● *Les problèmes mécaniques*. Il semble qu'à ce niveau résident les difficultés les plus importantes pour les moteurs à double inducteur à grande vitesse. Pour améliorer le rendement et le facteur de puissance du moteur, on peut chercher à réduire au maximum l'entrefer, ce qui correspond à une réduction de l'épaisseur du rail de réaction. De plus, il est impératif d'éliminer tout contact entre le moteur et le rail de réaction. La solution logique est alors de guider directement le moteur sur le rail de réaction. Mais la masse des moteurs atteignant plusieurs tonnes, le rail doit être capable de supporter des efforts transversaux importants. Il doit être rigide et très robuste. Une solution est l'adoption d'un profilé d'alliage d'aluminium alvéolé, mais ceci entraîne une augmentation de l'entrefer. Le guidage peut alors être assuré par

des roues pressées latéralement sur le rail induit.

● *Les problèmes thermiques*. L'énergie échangée à tout instant entre l'inducteur et le rail de réaction se répartit suivant un travail mécanique (poussée du moteur) et une dissipation de chaleur dans l'inducteur et dans le rail de réaction (effet Joule des courants de Foucault). Il est donc nécessaire de refroidir l'inducteur et de prendre des précautions en ce qui concerne le rail induit.

Aux faibles vitesses, une partie importante de la puissance est dissipée en chaleur, d'où des élévations de température importantes. Ceci principalement dans les zones de démarrage. L'élévation de température pose le problème de la dilatation longitudinale du rail contre laquelle deux solutions peuvent être retenues : soit un rail segmenté avec joints de dilatation, soit un rail de grande longueur monté à chaud. Les deux solutions ont leurs inconvénients.

D'autres moteurs linéaires

● *Le moteur « axial »*. Ce moteur linéaire mis au point par M. Guimbal fait appel au même principe que les moteurs asynchrones à double inducteur. L'originalité provient du fait que l'inducteur est encastré dans l'induit, le flux magnétique se refermant par l'intermédiaire d'une culasse ferromagnétique. Cette disposition particulière de l'inducteur présente l'avantage de réduire les fuites magnétiques, ce qui est un facteur favorable pour l'amélioration du facteur de puissance. Ce moteur est en cours d'expérimentation.

● *Le moteur linéaire synchrone* (voie active). Ce type de moteur ne semble pouvoir être applicable qu'au système électrodynamique à répulsion. Dans ce cas le véhicule n'a pas de moteur proprement dit à bord. Un système de trois conducteurs est fixé sur la voie et alimenté par une source de courant triphasé. Le véhicule portant de puissants aimants (bobines cryogéniques) circule au-dessus de cette nappe de conducteurs.

Le système de conducteurs crée une onde magnétique qui se propage à une certaine vitesse (on démontre que cette vitesse est proportionnelle à la fréquence du courant alternatif). Cette onde se comporte comme une succession d'aimants de pôles opposés reliés par un câble qui défilerait sur la voie.

Le véhicule qui porte des bobines, dont le sens d'aimantation est fixé, est donc



L'engin Garrett, qui a récemment battu un record mondial de vitesse, est propulsé par moteur linéaire.

soumis à des efforts magnétiques horizontaux, les pôles de signe contraire s'attirant, les pôles de même signe se repoussant. D'une manière très simpliste, on peut dire que les aimants du véhicule tendent à se placer au-dessus d'aimants de la voie de signe contraire.

Ce principe de propulsion très futuriste pose actuellement de nombreux problèmes de stabilité. En effet si le véhicule « décroche », sous l'effet d'une rafale de vent par exemple, sa propre inertie l'empêchera de se synchroniser de nouveau avec l'onde électromagnétique.

Perspectives

Nous avons décrit les efforts d'innovation menés en France et à l'étranger dans le domaine des technologies des transports terrestres rapides de voyageurs : les états de développement atteints par les divers systèmes sont différents.

La technique du coussin d'air a atteint le stade de l'expérimentation commerciale qui permettra de tester un premier comportement des usagers.

La réduction des durées de déplacement, généralement ressenties comme des pertes de temps, est un élément essentiel de l'amélioration du service et la vitesse est évidemment un premier moyen de parvenir à cette diminution du temps de transport. Mais il convient de considérer, du point de vue de l'usager, non pas le temps de transport entre les stations terminales, mais entre le lieu d'origine (domicile par exemple) et le lieu de destination finale. Ce temps porte-à-porte ajoute au temps de transport proprement dit celui des parcours terminaux. Ainsi, sur une relation de l'ordre de 500 km, des vitesses de 300 km/h suffisent actuellement pour atteindre des temps de parcours globaux comparables à ceux de l'avion ou de l'automobile.

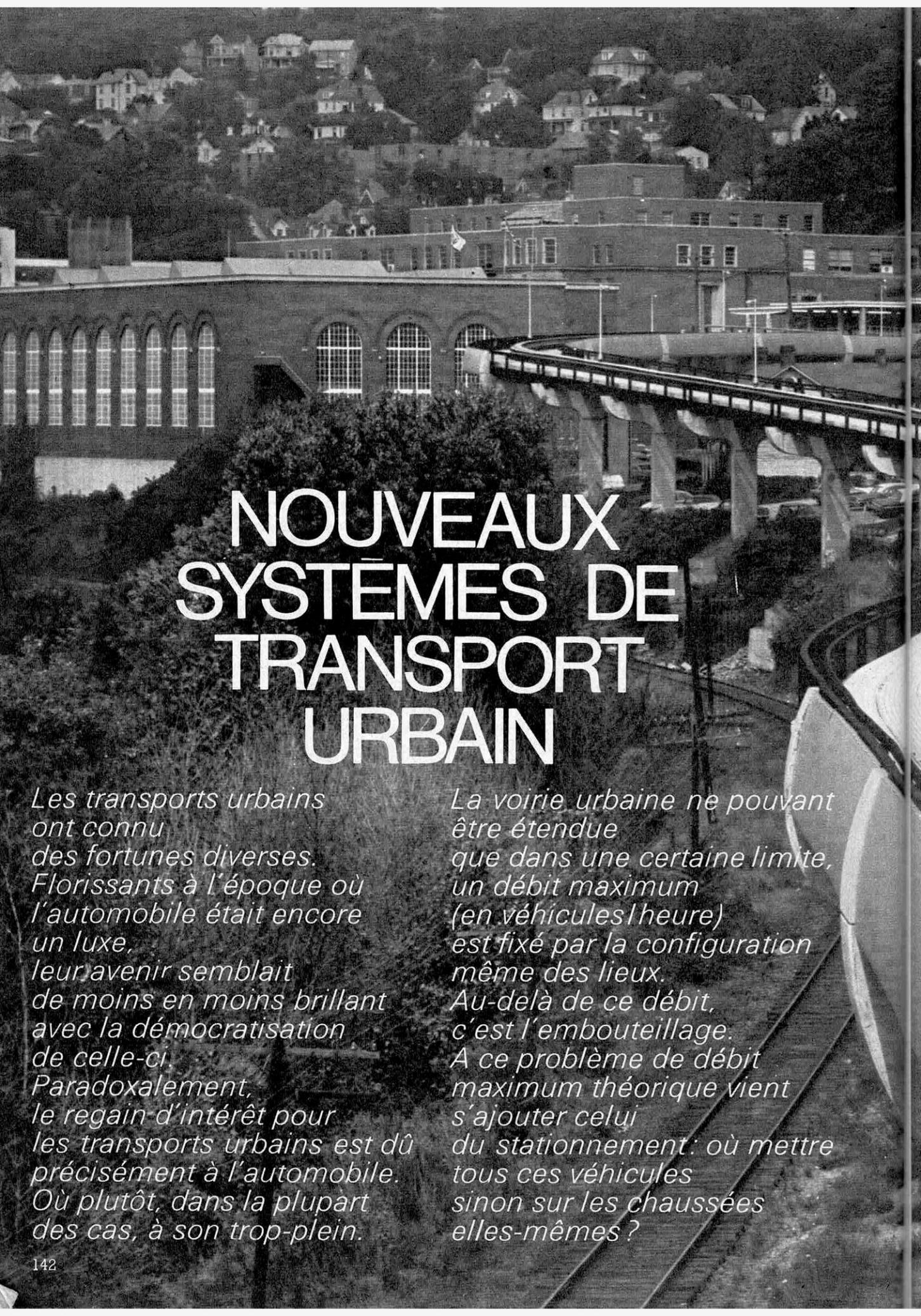
Le fait de proposer des transports ayant

des performances élevées, notamment de vitesse, conduit à augmenter les coûts d'investissement et d'exploitation. Des vitesses élevées imposent des sujétions rigoureuses et coûteuses pour le tracé de la ligne, qui se rapproche alors d'une trajectoire balistique. Il en résulte aussi une augmentation de la consommation spécifique en énergie par siège-kilomètre offert. Cette dernière assertion doit toutefois être nuancée. En effet, des performances élevées concourent à accroître l'attractivité du transport collectif et incitent les usagers à modifier leurs comportements et leurs choix pour se déplacer. Ainsi, une ligne nouvelle de transport terrestre rapide peut entraîner une économie globale d'énergie sur les axes à fort trafic si un nombre suffisant de voyageurs est détourné de l'avion ou de la voiture.

Pour la sustentation magnétique par attraction, des essais sur prototype sont encore nécessaires. Toutefois, le gouvernement allemand envisage de faire une expérimentation commerciale sur une liaison relativement courte, la plus souvent avancée étant Cologne-Dusseldorf (180 km). Quant à la sustentation par répulsion électrodynamique, le développement des différents composants (installations cryogéniques notamment) nécessitera encore plusieurs années de recherche et d'expérimentation sur un banc d'essais en vraie grandeur.

Ces expérimentations commerciales ont lieu sur des liaisons de longueur relativement limitée. La mise en service des techniques nouvelles sur des liaisons interurbaines de plusieurs centaines de kilomètres peut être raisonnablement envisagée, compte tenu des résultats que fourniront les expérimentations commerciales, pour les années 1980-1990.

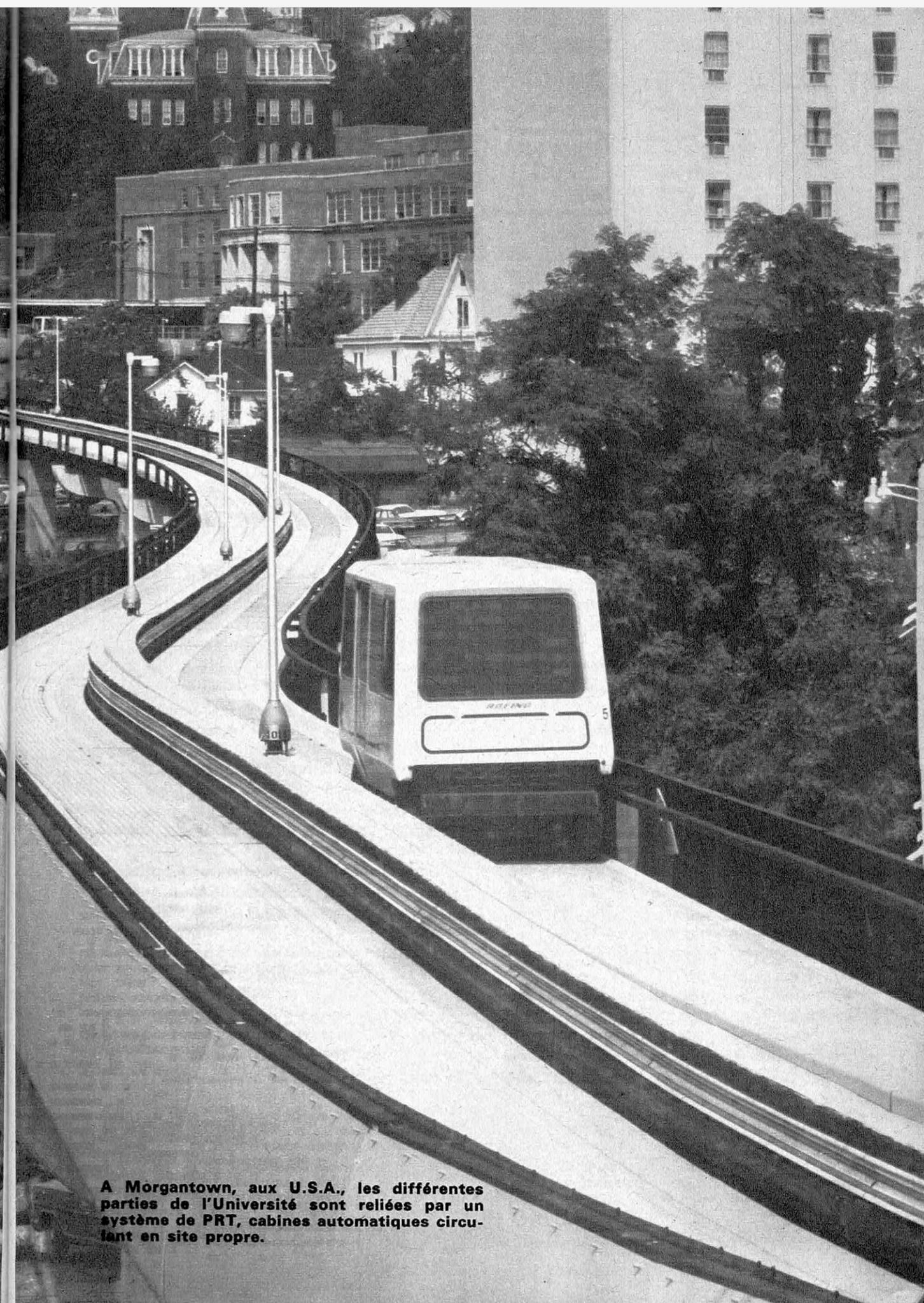
Michel Leyrit et Jacques Roudier



NOUVEAUX Systèmes de Transport urbain

Les transports urbains ont connu des fortunes diverses. Florissants à l'époque où l'automobile était encore un luxe, leur avenir semblait de moins en moins brillant avec la démocratisation de celle-ci. Paradoxalement, le regain d'intérêt pour les transports urbains est dû précisément à l'automobile. Où plutôt, dans la plupart des cas, à son trop-plein.

La voirie urbaine ne pouvant être étendue que dans une certaine limite, un débit maximum (en véhicules/heure) est fixé par la configuration même des lieux. Au-delà de ce débit, c'est l'embouteillage. A ce problème de débit maximum théorique vient s'ajouter celui du stationnement: où mettre tous ces véhicules sinon sur les chaussées elles-mêmes?



A Morgantown, aux U.S.A., les différentes parties de l'Université sont reliées par un système de P.R.T., cabines automatiques circulant en site propre.

NOUVEAUX SYSTÈMES DE TRANSPORT URBAIN

Les transports en commun peuvent apporter un remède à ce type de difficultés. Toutefois, dans la plupart des villes où des problèmes se posent, les débits en passagers ne sont pas assez importants pour amener à implanter un métro de type classique. La recherche et le développement se sont donc orientés vers de nouvelles solutions, susceptibles de répondre à des exigences multiples. Exigences multiples du point de vue du transport aussi bien que du respect des conditions d'environnement (pollution, obstruction visuelle...).

Les transports en commun peuvent se diviser en deux grands groupes : les transports en commun en site propre et ceux en site banalisé. Les premiers utilisent une voie de circulation qui leur est entièrement réservée. C'est le cas des trains, du métro et des autobus disposant de couloirs.

Les seconds utilisent les voies de circulation communes. Il s'agit par exemple des taxis ou des autobus hors des couloirs réservés.

La congestion actuelle des villes grandes et moyennes, au-dessus de 100 000 habitants, a orienté les efforts de recherche vers les systèmes en site propre.

Les préoccupations générales concernant les transports en commun dans les villes ont permis de dégager un certain nombre de critères qualitatifs pour les nouveaux modes de transport en commun. Ces critères, ou ces objectifs, sont les suivants :

- réalisation d'un réseau en site propre par aménagement progressif ;
- diminution des frais d'infrastructure et des difficultés d'insertion (faible gabarit des véhicules, faible emprise des

stations) ;

- diminution des coûts d'exploitation réalisée par l'automatisation ;
- amélioration de la qualité du service : moins d'attente, temps de parcours plus faible, confort amélioré...

Chacun de ces objectifs a une influence sur les autres. Par exemple, une infrastructure légère ne pourra supporter que de petits véhicules et ceux-ci devront être plus nombreux si l'on veut assurer un certain débit. Cette flotte plus importante rendra l'automatisation d'autant plus nécessaire que l'on souhaitera diminuer les coûts d'exploitation.

Nous avons ainsi évoqué rapidement les problèmes généraux des systèmes de transport nouveaux. Nous définirons ensuite les divers types de transports en commun en site propre. Nous donnerons une classification d'un certain nombre de ces systèmes. Dans une dernière partie, nous développerons les caractéristiques propres à chaque type.

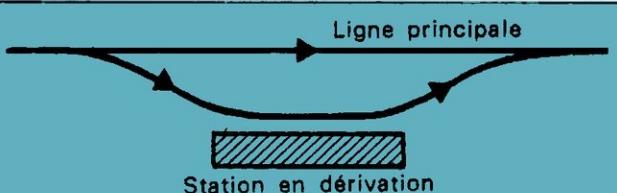
Continu et discontinu

Un système de transport en site propre se caractérise de deux façons. Par la manière dont le déplacement des passagers est assuré et par la manière dont a lieu l'embarquement de ces passagers.

Le déplacement sera continu si, en tout endroit du site propre, le véhicule ou la bande transporteuse ont un mouvement continu. C'est, par exemple, le cas du tapis roulant. Il sera dit discontinu si, avant d'être transportés d'un point A à un point B, les passagers sont groupés à l'intérieur d'unités séparées.

L'embarquement et le débarquement seront dits continus lorsqu'à tout moment, on aura un flot de passagers embarquant ou débarquant de la partie mobile du système (cabine ou bande transporteuse) sans que celle-ci soit obligatoirement en mouvement.

Embarquement et débarquement seront discontinus lorsque les passagers devront par exemple attendre un véhicule à la station.



Le service « personnalisé » des PRT, avec sélection des destinations, oblige à placer les stations en dérivation. Dans les systèmes semi-continus, les véhicules ne font que ralentir aux stations, en se resserrant (page de droite).

Au travers de ces quatre possibilités, on va être amené à définir plusieurs types de transport en site propre. Trois, en fait, car il n'est pas possible d'avoir simultanément embarquement discontinu et déplacement continu.

déplace- ment embar- quement	continu	discontinu
continu	système continu	système semi-continu
discontinu		système discontinu

Le transport semi-continu correspond donc aux cas où les passagers sont transportés par des véhicules isolés, mais où il y a toujours au moins un véhicule en station (embarquement et débarquement continus).

Une troisième caractéristique est à prendre en considération pour les systèmes de transport. Il s'agit de la *sélectivité*. Un système sera sélectif si tous les passagers peuvent se rendre directement, sans arrêts intermédiaires, de leur station d'origine à leur station de destination.

La sélectivité et ses problèmes

Les systèmes discontinus sont les plus connus. Ils correspondent à des transports classiques tels que le métro. Mais la recherche d'une qualité de service, et en particulier d'un temps de parcours minimum, oblige à aller plus loin. A faire intervenir, en particulier, la sélectivité.

Pour que toute personne puisse se rendre, sans arrêts intermédiaires, d'un point A à un point B, il faut, on le conçoit aisément, que le nombre de places par véhicule

soit faible. A la limite, il faudrait un seul passager par véhicule.

Même sans aller si loin, la sélectivité ne peut que s'accompagner d'une conduite automatisée. Un trop grand nombre de véhicules se suivant à intervalles rapprochés et à vitesse relativement élevée (puisque il convient de maintenir une certaine qualité de service du côté des temps de parcours) ne permet pas la conduite manuelle. A cela, il y a plusieurs raisons. La première, que les temps de réponse de l'homme et des systèmes mécaniques qu'il contrôlerait sont, dans un tel système, du même ordre de grandeur, ou même supérieurs, à la période d'espacement entre les véhicules (¹). En cas d'urgence, on pourrait aboutir à une catastrophe. La seconde raison porte sur les investissements trop lourds en matériel roulant, en personnel, et en coûts d'exploitation.

La notion de sélectivité influe d'ailleurs sur le mode de réalisation des stations. Si on ne s'arrête pas à toutes les stations, mais que d'autres véhicules peuvent s'y arrêter, il faudra pouvoir les « sauter ». Ce qui conduit à peu près obligatoirement à placer la station en dérivation sur le parcours général. L'espace nécessaire pour planter le système sera donc beaucoup plus grand dans le cas d'une sélectivité.

Ces remarques vont nous permettre de dégager deux types de systèmes discontinus.

Les cabines programmées ou PRT (²)

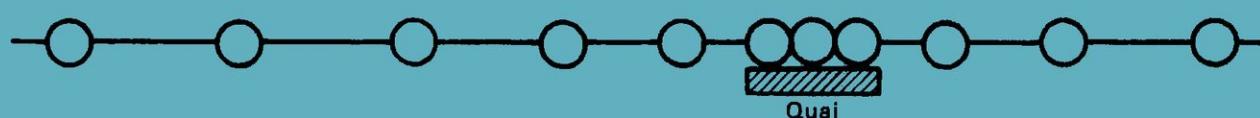
Il n'est guère possible, nous l'avons vu, d'envisager un système totalement sélectif qui conduirait à adopter des cabines monoplaces. On envisage plutôt des cabines pour 4 à 6 passagers (³). Dans cette hypo-

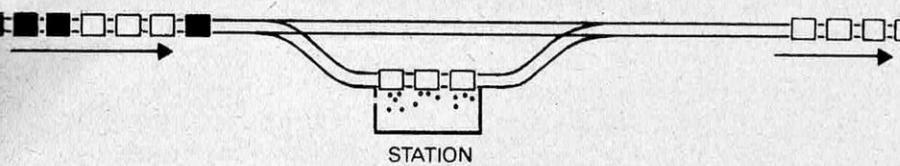
(1) Le calcul montre que dans le cas d'une ligne devant écouler 8 000 passagers à l'heure avec des cabines monoplaces, il en faudrait une tous les 22/100 de seconde...

(2) Personal Rapid Transit des Américains.

(3) On peut avoir des véhicules de plus forte capacité. Ceci permet, aux heures de pointe, d'écouler un gros trafic sans difficultés trop grandes pour le système de contrôle et de gestion des véhicules. Aux heures creuses, en contre-partie, on risque de faire circuler en nombre important des cabines à peu près vides, d'où une augmen-

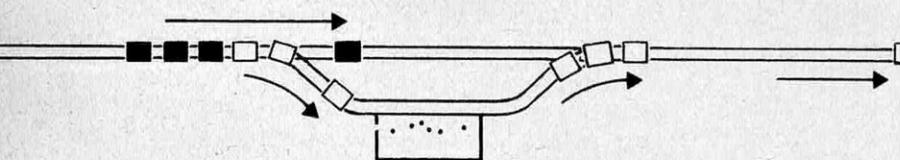
(suite page 148)



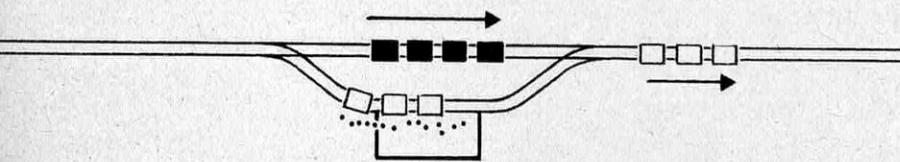
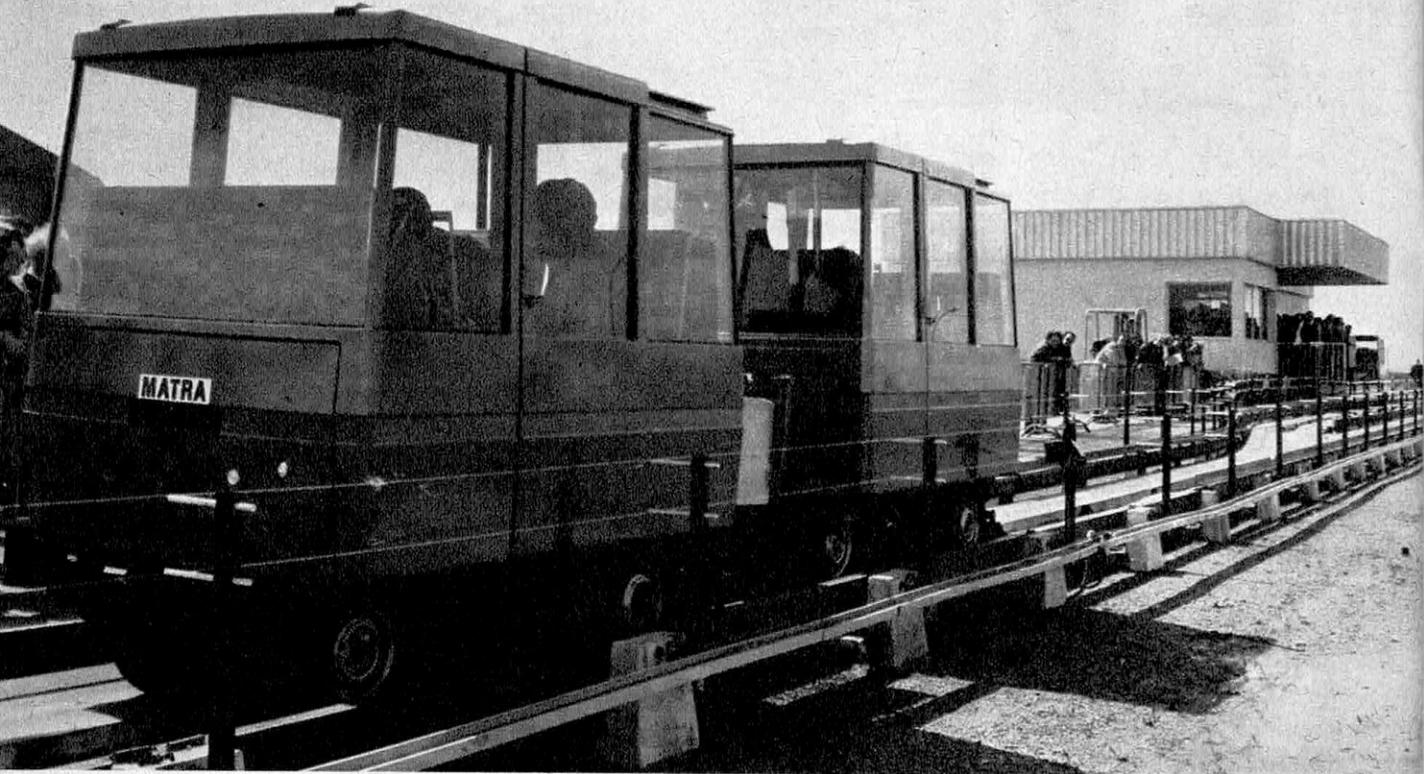


LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME ARAMIS

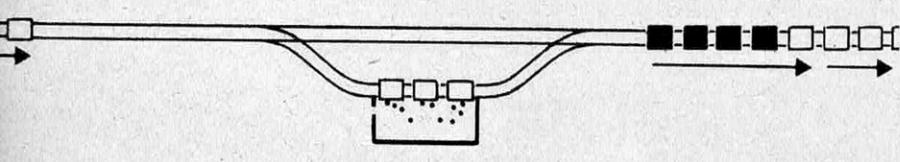
1 - Des véhicules sont arrêtés en station. Les passagers sont embarqués. En amont de la station, une rame arrive.



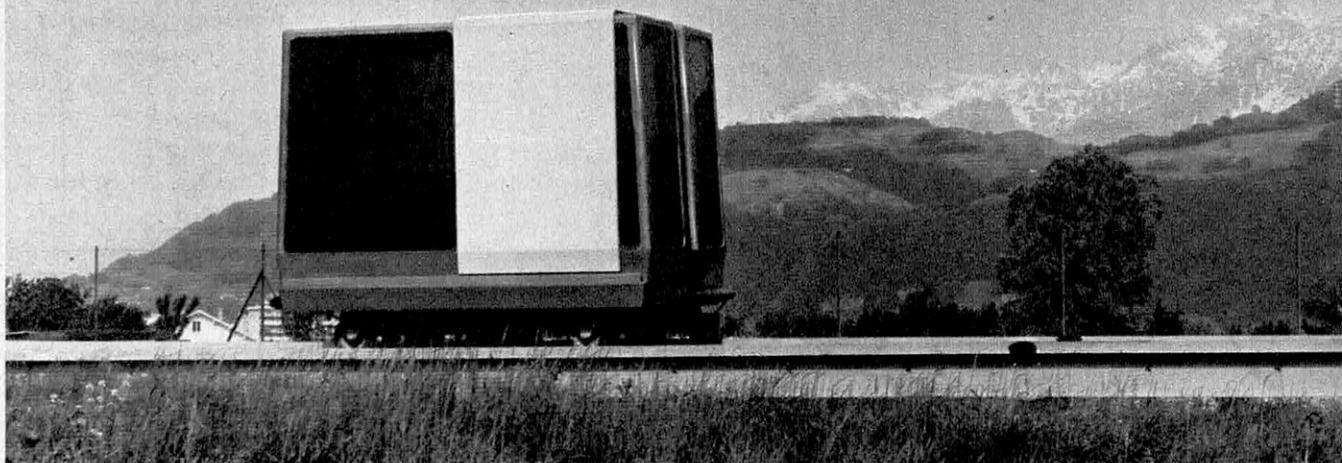
2 - Au point d'aiguillage, les véhicules programmés pour cette station empruntent la voie de dérivation. Les autres véhicules poursuivent leur trajet sur la voie principale en reformant la rame.



3 - Les véhicules sortis de station rejoignent la voie principale. Les véhicules destinés à la station se regroupent au front de cette dernière et s'arrêtent.



4 - La rame ayant court-circuité la station, rejoint les véhicules qui viennent de la quitter et reforme avec eux une nouvelle rame. Les voyageurs destinés à la station descendent, puis d'autres embarquent.



Système semi-continu développé à Grenoble, le Poma 2000 est tracté par câble.

PRT américain très « sophistiqué », le TTI-Otis circule sur coussin d'air.

TTI - OTIS



thèse, on ne peut plus assurer, dans tous les cas, un service direct ; ni, aux heures de pointe, avoir la certitude que toutes les cabines sont remplies.

En fait, la gestion du système se fait de deux manières différentes. *Aux heures de pointe*, on affecte chaque véhicule sur un trajet donné et les voyageurs devront attendre en station que celui qui leur convient se présente. On pourra, en général, admettre un arrêt intermédiaire. Les fréquences de passage étant élevées, les attentes ne devraient pas être longues. *Aux heures creuses*, un usager pourra demander une destination et voir, éventuellement, se présenter un véhicule pour lui seul.

Un tel système implique que le nombre de déplacements est, en moyenne, élevé. Il n'offre d'intérêt, d'ailleurs, que pour des réseaux *maillés* complexes, offrant de nombreuses possibilités de trajets (ou, comme on dit, de couples origine-destination) et dans lesquels la demande de transport est relativement homogène. Et les investissements correspondant à un tel réseau seront énormes du point de vue de l'infrastructure. Ils ne peuvent être envisagés que dans une perspective d'aménagement à long terme.

Il paraît donc nécessaire de trouver d'autres solutions, valables à long terme si la demande, liée à l'expansion urbaine, reste limitée, ou pouvant jouer un rôle intermédiaire dans le cas d'une expansion plus importante. Dans le cas où les déplacements s'effectuent sur un petit nombre d'axes, on peut ainsi envisager le recours aux métros automatiques légers.

Les métros automatiques légers

Dans ce cas, on a recours à un système non sélectif ou semi-sélectif et on choisit la taille des véhicules en fonction du trafic à écouler. On aboutit à un service omnibus ou semi-direct avec des engins de 20 à 100 places pouvant, le cas échéant, être couplés. Les fréquences de passage seraient inférieures à la minute, plus basses que pour les PRT mais plus élevées que dans le cas d'un transport classique. Pour réduire les coûts d'exploitation, ces systèmes seront automatiques.

Les métros automatiques légers conviennent bien dans le cas d'une ou deux lignes relativement chargées (10 000 à

tation non négligeable des coûts d'exploitation. Une solution mérite d'être explorée : celle de petits véhicules pouvant s'atteler et former des trains aux heures de pointe ou encore envisager une flotte mixte de gros et de petits véhicules.

12 000 passagers/heure). Du point de vue de l'infrastructure, les investissements seront, nous l'avons vu, moins élevés que pour un réseau PRT, l'infrastructure en question pouvant d'ailleurs servir de base au développement d'un réseau PRT. Pour les métros légers, on peut ne pas recourir à l'automatisme. On parlera alors de *mini-métro*.

Les investissements initiaux pour un métro automatique léger resteront cependant très importants et risqueraient de prohiber le développement ultérieur d'un réseau de type PRT. Il est heureusement possible de passer par une succession d'étapes moins coûteuses dans le cadre d'un plan à long terme :

- dans un premier temps, implantation d'une ligne permettant de drainer l'excès de trafic sur un axe chargé ; sur cette ligne, on ferait circuler un mini-métro, à conduite manuelle ;
- avec l'augmentation du trafic sur cette ligne, on passerait à un métro automatique léger permettant des débits plus importants ;
- si le besoin s'en fait sentir, on développerait un réseau susceptible d'accueillir, à terme, un PRT.

Cette démarche progressive permettrait d'étaler les investissements dans le temps non seulement en ce qui concerne l'infrastructure, mais aussi pour les systèmes de contrôle et l'automatisme. Elle réserveraient aussi l'avenir quant à l'adoption de matériels techniquement plus évolués et dont la mise au point peut réclamer du temps.

Le système bi-mode

Dans certains cas, on peut envisager un troisième mode de transport discontinu, fonctionnant de manière mixte. Dans un premier temps, il effectuerait un ramassage des voyageurs sur des origines lointaines comme un autobus classique. Dans un second temps, il emprunterait un site propre, avec conduite manuelle ou automatique, pour se rendre dans une zone de destination. Ce système *bi-mode* peut, dans les zones urbaines, circuler aussi sur voie banalisée lorsque la densité du trafic n'est pas trop importante.

Les systèmes semi-continus

Par opposition avec les systèmes envisagés jusqu'ici, du PRT au bi-mode, on parle cette fois de cabines non program-

mées. Ce type de transport en site propre se compose de véhicules tractés de petites dimensions, de conception proche de ceux utilisés en transport de montagne. Ils bénéficient de l'expérience de ces derniers.

Une caractéristique fonctionnelle est le nonarrêt des véhicules pour l'embarquement ou le débarquement des passagers. A la station, ces opérations s'effectuent alors que les véhicules défilent à très faible vitesse, l'un derrière l'autre.

Les cabines non programmés constituent la quatrième grande filière française en matière de recherches sur les nouveaux modes de transport. Les trois autres correspondent aux matériels évoqués plus haut : PRT, métro automatique léger, systèmes bi-mode.

Les systèmes hectométriques

Lorsqu'un flot de passagers doit s'écouler entre deux points distants de quelques centaines de mètres à 1 kilomètre, on ne peut guère envisager, pour des questions de coût, une liaison par cabines. Il existe néanmoins des solutions, dites « accélérateurs de piétons », qui peuvent prendre plusieurs formes.

Pour une large gamme de débits, de 3 000 à 15 000 passagers/heure, sur des distances courtes ou moyennes, 200 à 1 000 m, on a le choix entre le tapis roulant (vitesse maximum voisine de 6 km/h) et le tapis accéléré (environ 18 km/h). A courte distance et pour de faibles débits, on peut envisager des systèmes semi-continus dont le VEC est un exemple.

Les systèmes continus, les tapis roulants, ont un certain nombre d'inconvénients. La plupart ne peuvent franchir des rampes ou prendre des virages. Leur entretien est très coûteux et leur fonctionnement peu fiable.

Après ces quelques considérations générales, nous reviendrons plus en détail sur les différents types de systèmes proposés.

LES PRT

Nous avons vu plus haut pourquoi les PRT devaient être automatisés. Les problèmes posés par la gestion d'une flotte de véhicules sur un réseau sont cependant loin d'être simples.

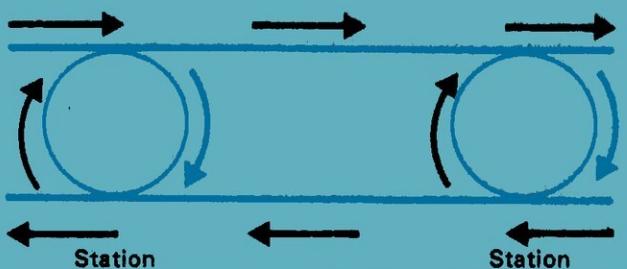
Dans les transports classiques tels que le métro, la bonne marche du système est assurée conjointement par la signalisation et par l'homme qui intègre toutes les données et les transforme — de façon subjective — en une certaine manière de conduire la rame. Cette intervention de l'homme est un inconvénient, dans la mesure où elle limite la capacité d'une ligne, mais elle présente aussi de sérieux avantages : toute situation sera analysée immédiatement, ce qui entraînera une manœuvre destinée à améliorer ou à maintenir la situation actuelle. Pour cela, un minimum d'équipements de voie est nécessaire, constitué par la signalisation.

Avec l'automatisation de la conduite, toutes les fonctions que l'homme assurait vont devoir l'être d'une autre manière. Comme le véhicule est « aveugle », des équipements de voie d'un nouveau type seront nécessaires. Comme un nombre important de véhicules circule sur le réseau, on conçoit que la masse d'informations qui devront être échangées entre les véhicules et le « central » et traitées sera considérable. Si on veut éviter une catastrophe, ces échanges devront être aussi sûrs que possible. Dans le cas où des informations fausses sont transmises, le système doit s'en apercevoir et arrêter les véhicules sans compromettre la sécurité.

De cette rapide analyse, on peut dégager les trois grands domaines de recherche concernant les PRT : gestion des véhicules (repérage, commande) ; systèmes de transmission de données ; sécurité.

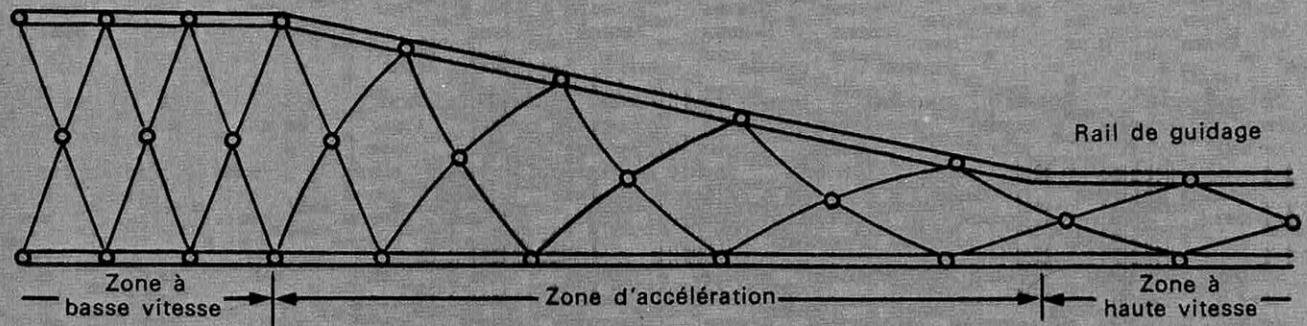
Nous examinerons comment, d'une façon générale, sont abordés les deux premiers points. Le troisième, la sécurité, dépend

Les stations sont le point faible des PRT. Elles occupent souvent un espace au sol trop important. Un cas extrême est peut-être représenté par le système de Morgantown, dont on a vu un aspect en page 143. Les engins peuvent, en effet, faire demi-tour à chaque station, comme le montre le schéma ci-contre.





Le VAL, en projet pour l'agglomération de Lille, est un métro automatique léger.



Trans 18: l'écartement des rails de guidage impose accélérations et décélérations.

essentiellement des options prises par le constructeur et nous ne le développerons pas.

La gestion des véhicules

Elle est réalisée par un ou plusieurs ordinateurs qui prennent en charge des données dont le nombre varie selon les constructeurs. En règle générale, l'ordinateur :

- enregistre les demandes de destination ;
- affecte au véhicule un itinéraire ;
- minimise les temps de parcours ;
- assure la gestion des véhicules vides ;
- contrôle la position et la vitesse de chaque véhicule d'après les positions théoriques qu'il a calculées ;
- donne les ordres de correction de vitesse ;
- donne les ordres de changement de direction (aiguillages) ;
- donne les ordres d'arrêt normal.

Selon le type de gestion choisi par le constructeur, ces tâches peuvent être réparties entre plusieurs ordinateurs. L'ordinateur central s'occupe seulement de la gestion, définissant les itinéraires et les affectations. Les ordinateurs locaux s'assurent que les itinéraires sont parcourus normalement, en respectant les conditions de sécurité dans la zone qui leur est affectée. Si un véhicule traverse plusieurs zones, il est « passé » d'un ordinateur à l'autre.

Dans tous les cas, une action ne peut être effectuée que lorsque les systèmes de sécurité ont vérifié que la manœuvre n'entraînera aucun risque.

Si le problème est très complexe, l'ordinateur a cependant l'avantage de disposer, à tout moment, d'une vue globale de l'état du réseau.

La transmission des données

Quelle que soit la qualité des programmes de gestion et la taille des ordinateurs, le fonctionnement du système réclame avant tout que la transmission des données s'effectue correctement.

Des dispositifs très évolués permettent à l'échange d'information de s'effectuer avec le minimum d'erreurs. Selon les constructeurs, la transmission s'effectue soit par contact d'un frotteur sur le rail, soit par boucle inductive et antenne. La transmission doit être soustraite aux « bruits » liés au fonctionnement des moteurs, des contacteurs, etc.

Les informations sont codées en binaire avec la possibilité de détecter, au décodage, toute erreur de transmission.

Tels sont les principaux problèmes auxquels les constructeurs doivent faire face. Nous examinerons ensuite quelques réalisations.

Le système Aramis. Les principales caractéristiques de fonctionnement du système sont données dans les légendes des illustrations de la page 146.

UNE RENAISSANCE DES TRAMWAYS ?

Actuellement, on note un regain d'intérêt pour ce mode de transport.

Cependant, aussi séduisants (du point de vue coût du matériel) soient-ils, pratiquement tous les systèmes de tramways existants en France ont été supprimés au cours de la dernière décennie (à l'exception de Marseille, Saint-Etienne et Lille).

A l'heure actuelle, remettre des tramways en service, tout du moins en France (¹) poserait plusieurs problèmes :

- *remise en état ou installation de voies :*
- *achat de matériel roulant moderne (actuellement aucun matériel de ce type n'est fabriqué en France).*

A propos du matériel, on devra tenir compte de nouveaux impératifs tels que le bruit. Et le développement de ces systèmes étant interrompu depuis longtemps, un effort important de recherche et développement devra être fait. Il ne faut pas oublier d'autre part, que dans les villes qui ont des problèmes de circulation, un réseau de tramway classique risque de les amplifier.

La mise en site propre revient :

- *soit à bloquer une file à toute circulation des voitures particulières ;*
- *soit à adopter une autre solution en site propre.*

Il faut également noter que le tramway se prête mal à une extension du réseau.

La suppression systématique du tramway lui a donné une image de marque de système démodé. D'autre part, les problèmes esthétiques d'insertion des caténaires d'alimentation sont difficiles à résoudre.

Ceci montre qu'en France l'avenir du tramway semble bien aléatoire. Seules les villes ayant encore un système en place pourront vraiment le développer dans le cadre d'une politique de transports urbains bien définie. C'est le cas de Saint-Etienne qui prévoit d'ici deux ans la réalisation d'une partie de la ligne en site propre.

(1) L'Angleterre se trouve dans une situation analogue, mais dans bien des pays d'Europe, la situation est totalement différente. Les réseaux de tramways ont constamment été améliorés en Suisse, Belgique, Hollande. En Allemagne, après une période d'abandon, on note une relance sérieuse.

Type	Filière	Nom	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES												
			Propulsion			Sustentation			Guidage longitudinal				Guidage transversal		
			Electrique		Divers	Divers	Roues pneumatiques	Coussin d'air	Au-dessous du véhicule		Au-dessus du véhicule		Lateral	Central	Divers
SYSTÈMES DISCONTINUS	CABINE PROGRAMMÉE (P.R.T.)	Aramis	Moteur rotatif	Moteur linéaire				Positif	Négat.	Pistes latér.	Monorail	Monorail	Câble		
		Cabtrack													
		Cat													
		CVS											Véhicules sur ou sous la poutre		
		Dashaveyor													
		Ford ACT													
		Jetrail													
		Monocab											Poutre creuse		
		Morgantown													
		Network Cab													
		Satellite transit system													
		Transivator													
		Tridim													
		TTI													
		Uniflow													
METRO AUTOMATIQUE LÉGER	BI-MODE	Airtrans													
		Alweg													
		Aérobus													
		Guide-o-matic													
		Minirail													
		Skybus													
		Val													
		VDS													
SEMI-CONTINU	BL-MODE	Urmobile													
		Strada-Guidata													
		Through-ways			Moteur Diesel										
		Hyrail			Moteur Diesel										
		Carlator			Bande transporteuse		Bande transporteuse								
		Carveyor													
HECTOMÉTRIQUE	BL-MODE	Telecanapé													
		Télérail			Entretien par câble										
		Poma			Entretien par câble										
		Wedway			Bande transporteuse		Bande transporteuse								
		Breda Pallet													
DIVERS	BL-MODE	Electric Walk													
		Movator													
		Speedaway													
		Speed Walk													
		Trans 18													
		Travolator													
		VEC					Roue + bande transporteuse								
		Urba											Poutre creuse		

guillage		Performances		Etat d'avancement				Constructeur	Remarques
A bord du véhicule	Divers	Capacité	Vitesse max. en ligne km/h	Débit par ligne et par sens pass/h	Opérationnel	Prototype	Modèle d'étude	Divers	
		6	50	15 000				MATRA	Rames avec attelage « électronique ».
		4	50	6 000			Projet	Royal AIRCRAFT EST	
		2	36	4 000			Projet	DEMAG	Véhicules sur ou sous la poutre
		2 à 4	80	inconnu			Maquette d'un réseau		Une maquette au 1/20 existe, avec réseaux express et local
		6 à 24	130	15 000				DASHAVEYOR Co	Système roue-rail
		24	50	15 000				FORD	
		6	30	11 000				STANROY Corporation	Problème d'aiguillage
		6	36	6 000				VARO Inc	Problème d'aiguillage
		20	48	7 500				BOEING-BENDIX	Opérationnel en 1975
		4	30	9 500			Projet	GENERAL MOTORS	Aiguillage électromagnétique.
Aucun		100	27	5 000				WESTINGHOUSE	Pas d'aiguillage en ligne. Aéroport de Seattle.
		12	25	8 600				SKY CAR Corporation	Aiguillage pas facile à réaliser.
		50 à 100	80	2 000 à 12 000				Sté AEROTRAIN	Peut fonctionner comme un métro automatique. Propulsion par crémaillère.
		32	50	10 000				TRANSPORTATION TECHNOLOGY Inc	Accostage latéral dans les stations dégageant la voie en dérivation.
		8	95	4 000				UNIFLOW SYSTEM Co	Propulsion par air comprimé.
		40	25	9 600				L.T.V.	Opérationnel depuis janvier 1974. Problèmes de contrôle encore mal résolus.
		130	90	25 000				ALWEG	
		100	90	18 000				MULLER	
		28	14	1 200				BARRET	Guidage par câble à induction enterré.
		4	18	5 400				HABEGGER AK G	
		28	80	20 000				WESTINGHOUSE	
		53	80	6 000				MATRA	
		25	inconnue	inconnu			Projet	WESTINGHOUSE	
		4	100	6 000				CORNELL AERON Lab.	
		248	80	20 000				Societa PAR LA STRADA GUIDATA	
Aucun		60	80	15 000				THROUGHWAYS Transportation	Guidage par bras articulé prenant appui dans une rainure.
		50	80	3 000				FAIRMOUNT RAILWAYS MOTORS	Bogies rétractables permettant de circuler sur voie ferrée.
Aucun		2	12	3 000				NIPPON CONVEYOR Co	
		4 à 25	24	22 000				TRANSPORT SYSTEM	
		12	12	8 400				HABEGGER	Système roue/rail.
Aucun		8	25	4 000				NEYRPIC	Développement abandonné.
		20	32	7 000				POMA 2000	
			22	inconnu				WED ENTREPRISES	Porté par une bande transportuese. Embarquement et débarquement à partir d'un quai tournant.
			2,5 à 4	7 000				N.V. Maschinen-Fabrik	Propulsion par chaîne.
			2,5 à 4	5 000				WESTINGHOUSE	
			2,5 à 4	7 000				SANDVICK STEEL	Bandé d'acier recouverte de caoutchouc.
			15 à 20	20 000				DUNLOP - INSTITUT BATTELLE	Tapis accéléré.
			2 à 3	7 200				GOODYEAR	Bandé flexible supportée par petits rouleaux latéraux.
			25	20 000				P. COLOMBO	
			2,5	7 000				OTIS	Longueur maxi 200 m. Bande formée de plaques identiques à celles des escalators.
			2	36				CYTEC	Guidage roue diabolo/tube.
			30	72	10 000			BARTHALON	Aiguillage très couteux. Système non automatique. Pas de développement notable.

- Les véhicules se suivent à environ 30 cm de distance à l'aide d'un « attelage électronique ».
- Le véhicule tête de rame seul s'asservit sur une vitesse de consigne qui lui est donnée par les équipements de voie.
- Si le véhicule n'est pas en tête de rame, il s'asservit en distance sur le véhicule qui le précède.

LES PROBLÈMES DE TRANSPORT DANS LES AÉROPORTS

Aujourd'hui le trafic aérien a pris une telle importance que les aéroports sont devenus de grands centres de transit. Beaucoup de passagers y prennent leur « correspondance ». Il est bien évident que cela implique un mouvement au sol qui peut être considérable. Afin d'éviter de longues marches aux passagers (qui souvent ont des bagages) des systèmes de transports propres aux aéroports sont nés. Ainsi à Orly, il existe un service d'autocars qui relie les deux aérogares Ouest et Sud.

Cependant ce trafic passagers ne représente qu'un des volets des problèmes de l'aéroport. De nombreux services doivent être assurés par les compagnies aériennes (messageries intercontinentale, intérieure, transport de bagages), qui nécessitent également des moyens au point de vue transport. Si, d'autre part, on tient compte des employés qui, c'est bien évident, doivent effectuer des déplacements dans l'aéroport, on commence à se rendre compte de l'importance du problème.

Dans de nombreux cas, le moyen recherché est totalement orienté vers les besoins des passagers. Il en est ainsi dans beaucoup d'aéroports relativement anciens.

Dans les réalisations récentes, le système de transport est inclus en tant que sous-système, réalisant toutes les fonctions de circulation de passagers, des bagages, de messagerie, de ravitaillement, d'enlèvement d'ordures et de transport des employés sur leur lieu de travail. Afin d'être affranchis de toutes contraintes, les systèmes choisis sont en général en site propre. Un exemple de réalisation est le système Airtrans à l'aéroport de Dallas-Fort Worth, Texas. Ce système a été mis en place par L.T.V. (Ling-Temco-Vought) et est ouvert au public depuis janvier 1974.

Le système remplit des fonctions multiples : transport de passagers et du personnel de l'aéroport, transport des bagages, des messageries et des déchets. C'est un système en site propre, entièrement automatique. Contrairement à l'idée répandue, ce n'est pas un P.R.T. En effet, sur un parcours donné, tous les véhicules de la même ligne (1) s'arrêtent dans toutes les stations. Il s'agit plutôt d'un mini-métro automatique.

(1) Certains parcours ont des tronçons communs.

Actuellement, trois véhicules prototypes fonctionnent en rame sur une piste d'essai implantée à Orly. L'étape suivante prévoit la fabrication de véhicules de présérie et la poursuite des essais de fonctionnement.

Le système TTI. La plupart des P.R.T utilisent, pour la propulsion et la sustentation, des moyens classiques (moteur électrique rotatif entraînant des roues). Le système Otis-TTI allie, au niveau des véhicules, des techniques de pointe. La sustentation est assurée par des coussins d'air à faible hauteur de vol (type manutention), la puissance requise étant relativement faible (3 kW/tonne). La propulsion est assurée par moteurs linéaires asynchrones.

Les véhicules et leurs composants sont testés depuis plusieurs années à Denver (Colorado). On va, sous peu, commencer la construction d'une boucle afin de tester les systèmes de contrôle et de communication.

Le système de Morgantown. Cette petite ville est logée dans une vallée très encadrée de l'Etat de Virginie de l'Ouest. Les bâtiments de l'Université y sont répartis en quatre points distants de plusieurs kilomètres. La circulation dans la ville n'étant



Le Cat, un P.R.T en cours de mise au point en Alle-

guère facile, surtout en fonction de son implantation géographique, les temps minima de parcours d'une partie de l'université à l'autre sont de l'ordre de 20 minutes. D'où l'intérêt d'un système de transport en commun en site propre.

Le système de Morgantown est actuellement le plus connu et celui dont le développement est le plus avancé.

Une des particularités du système est l'allure des stations dans lesquelles les rebroussements sont possibles. En contrepartie, l'emprise des stations est énorme.

Le climat très froid de la région a conduit à adopter un système de réchauffage de la voie par circulation de vapeur surchauffée dans des tubes. Le guidage transversal s'effectue en prenant appui sur un rail unique latéral, le véhicule étant maintenu en appui par une marche « en crabe ».

LES MÉTROS AUTOMATIQUES LÉGERS

Ce que nous avons dit concernant les PRT : contrôle et gestion des véhicules, transmission de données, problèmes de sé-

curité, reste valable pour les métros automatiques légers. Seule la masse d'informations à échanger sera plus faible en raison du plus faible nombre de véhicules circulant sur le réseau.

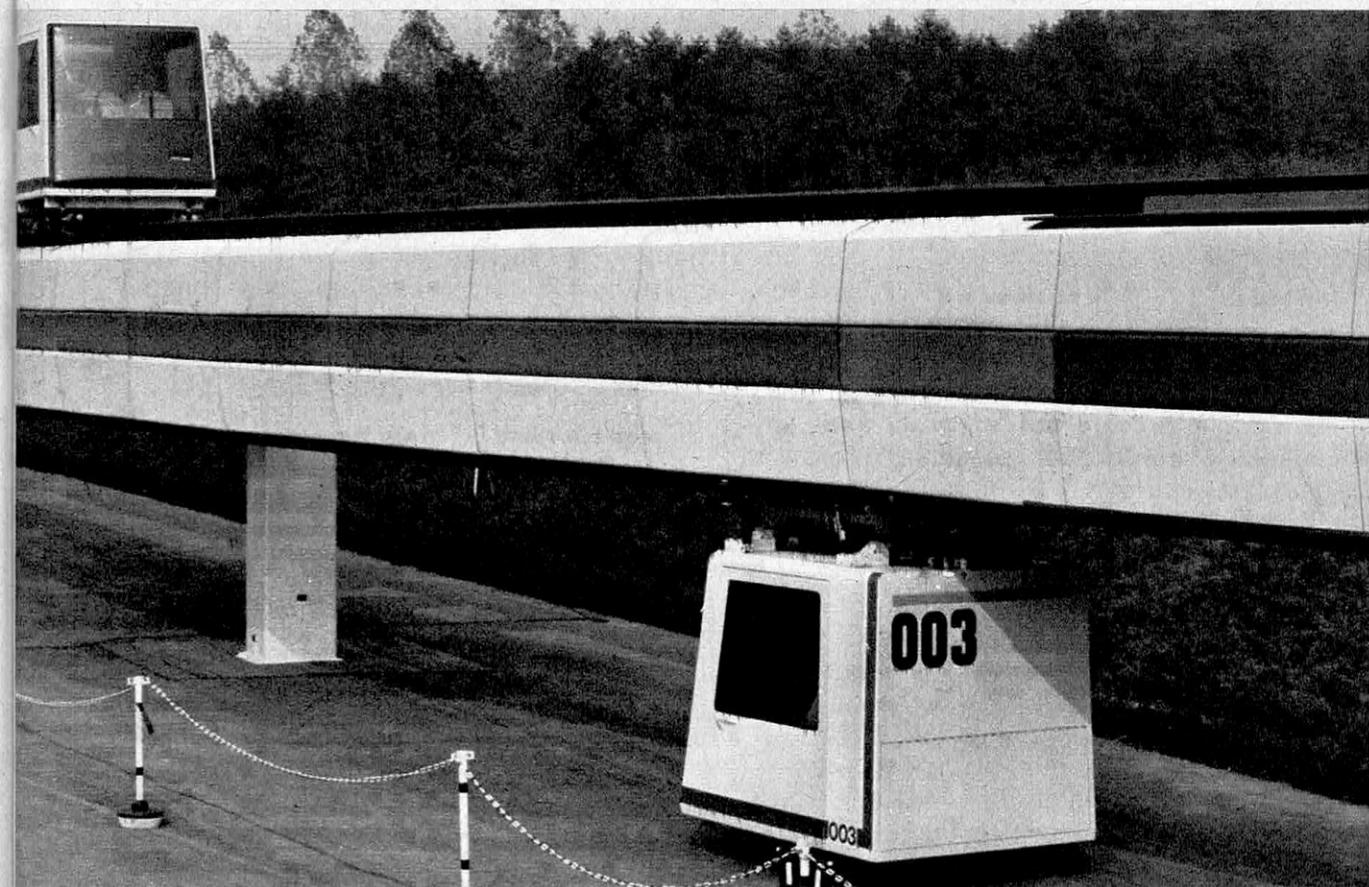
Actuellement, aucun système français n'est en service. On doit cependant signaler le prototype VAL, qui circule sur un site expérimental à Lille.

Aux USA, le système Skybus fonctionne à Pittsburgh. D'autres systèmes sont en service dans divers aéroports (voir encart).

Le peu d'informations que nous possédons sur ces systèmes ne nous permet pas d'en faire une présentation détaillée.

LES SYSTÈMES SEMI-CONTINUS

Il y a dans ce cas défilément continu des véhicules. En ligne, le défilément se fait à vitesse constante, avec espacement régulier. A l'arrivée en station, la vitesse décroît et les véhicules se resserrent. Devant le quai, les véhicules sont jointifs et défilent à faible vitesse. Passée la station, ils accélèrent et s'écartent les uns des autres.



magne fédérale. Sa particularité réside dans ses deux solutions de guidage.

Pour augmenter le débit, on a proposé d'utiliser un tapis roulant en station, ce qui permettrait aux passagers d'embarquer ou de débarquer avec des véhicules à vitesse plus élevée. Toutefois le temps de transport n'est pas sensiblement amélioré et l'encombrement de station devient trop important.

La solution n'est donc pas retenue pour le moment.

On a proposé aussi de placer les stations en dérivation, ce qui permet soit de doubler les débits, soit d'introduire une certaine sélectivité (une partie des véhicules seulement ralentit en station, l'autre passe au large à vitesse normale).

Dans une première étape, jusqu'en 1972, on a pu montrer que le transport semi-continu était techniquement réalisable. Dans un tel système, les véhicules sont passifs. La propulsion, le guidage et le contrôle se font à partir de la voie. Accélérations, décélérations et maintien d'une vitesse faible au niveau des stations sont assurés de la même manière. En France, deux systèmes concurrents ont prouvé la faisabilité du principe. Il s'agit du Poma 2000 et du Télérail.

Poma 2000. Développé à Grenoble par la Sté Pomagalsky, cet engin a d'abord circulé sur une voie de 200 m de long, entraîné par un câble à la vitesse de 9 m/s et en va-et-vient. Un système de tourets pneumatiques accélérerait et ralentissait alternativement la cabine.

Aux stations, le long du quai, la vitesse était de 0,18 m/s.

Dans une seconde phase, sur une boucle de 565 m, circulaient trois véhicules.

Une troisième phase, en cours, a pour objectif la mise au point d'une régulation de la circulation applicable par la suite à un réseau complet comportant de nombreuses stations sur une même ligne et la convergence de deux lignes sur un tronçon commun.

Télérail. Egalement étudié à Grenoble, c'est un dérivé des télécabines, avec entraînement en ligne assuré par un câble. Le dispositif d'entraînement à vitesse variable est constitué par un cylindre solidaire de la voie et des galets orientables fixés aux véhicules. L'angle de contact des galets avec le cylindre définit la vitesse des véhicules.

Le développement du Télérail a cependant été arrêté.

TRANSPORTS HECTOMÉTRIQUES

Une multitude de systèmes, continus ou discontinus, sont, à l'heure actuelle proposés. Certains font appel à des techniques éprouvées (tapis roulant, par exemple) ; d'autres à de nouvelles techniques (comme le tapis accéléré).

Le *Trans 18* peut servir d'exemple de transport hectométrique continu. Il s'agit d'un trottoir roulant accéléré. L'entraînement de la bande est réalisé à l'aide de chaînes à taquet dans les zones à vitesse constante. L'armature du *Trans 18* est constituée de barres métalliques souples articulées entre elles et dessinant un ensemble de losanges. Le réseau de barres est guidé latéralement par deux rails, dont l'écartement impose une modification de la géométrie du système articulé et une accélération ou une décélération de la vitesse d'avancement de chaque losange.

L'accès sur le tapis se fait à 3 km/h. Accélération et décélération, dans les zones intéressées, ne dépassent pas 0,6 m/s/s. La vitesse en ligne est de 18 km/h. Le débit atteint par le *Trans 18* est de l'ordre de 15 000 personnes à l'heure pour chaque sens pour un tapis de 0,60 m de large dans la zone à grande vitesse.

Les études et les essais sont poursuivis par la société Matra en liaison avec l'ANVAR. Des essais à l'échelle 1/5 ont montré la faisabilité du système. Des essais complémentaires en cours portent sur le comportement du *Trans 18* sur des pentes de 3 à 6 % et sur l'aptitude à prendre des courbes.

Le système *VEC* illustrera pour nous les transports hectométriques semi-continus. Il se compose de véhicules de trois à six places. L'engin prototype est constitué d'une banquette à trois places reposant sur un châssis trois roues, la banquette étant disposée dans le sens de la marche. La motorisation est assurée par la voie.

En ligne, le véhicule est propulsé, par l'intermédiaire d'un convoyeur, par des moteurs électriques linéaires disposés de place en place. La décélération est assurée par la roue de freinage qui soulève le véhicule du convoyeur et repose sur une piste de décélération. Un frein mécanique assure le ralentissement de la roue et du véhicule.

En station, la roue, continuellement freinée, repose sur une courroie basse vitesse.

Au total, les véhicules sont passifs, mis à part le frein qui est mis en œuvre automatiquement à l'approche des stations.

Dans sa conception actuelle, avec une vitesse de défilement en station de 0,35 m/s, le débit maximum est de 1 800 passagers/heure par sens. Pour des stations espacées de 300 m, la vitesse commerciale est de 8 à 10 km/h.

Bien adapté à certaines liaisons (parking-centre commercial par exemple), le système VEC est entièrement électrique et très peu bruyant. Circulant en galerie, il nécessiterait toutefois le chauffage de celle-ci dans les régions froides.

Après l'expérimentation menée à La Défense à la fin 1972, où une ligne longue de 130 m entre deux stations avait été ouverte au public, plusieurs projets sont actuellement à l'étude.

Le développement des villes s'était réalisé sans qu'on tienne compte des transports en tant que système intégré aux structures urbaines. Aujourd'hui, la congestion des villes met en lumière la nécessité de transports en commun évolués et cette nécessité s'est encore accentuée

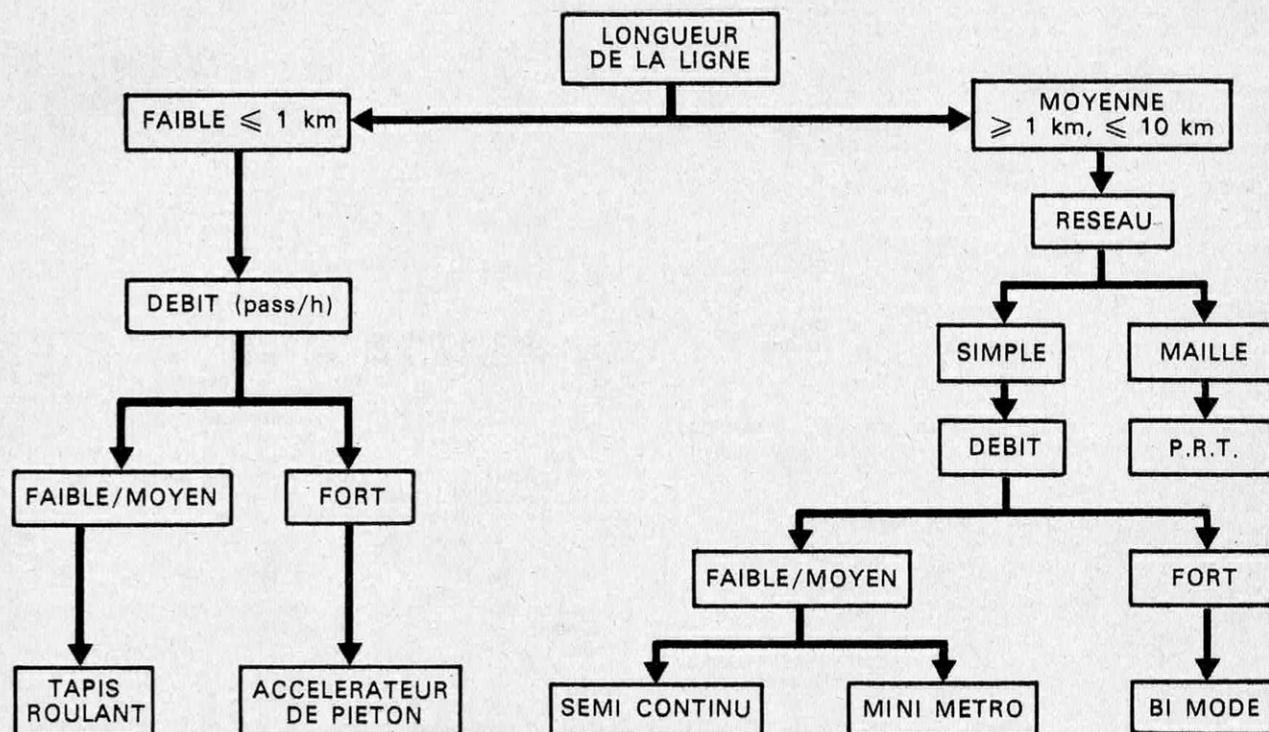
avec la crise de l'énergie. L'imprévoyance dans la conception des ensembles urbains entraîne toutefois un certain nombre de problèmes tant technologiques que sociaux ou financiers dès qu'il s'agit de mettre en place un système efficace.

Les solutions diverses, toutes attrayantes, qui sont proposées, tentent de répondre à ces problèmes. La plus spectaculaire est sans aucun doute le PRT. Dans certaines projections, on n'hésite pas à lui conférer tous les avantages de l'automobile (on peut aller n'importe où, en partant du pas de sa porte et sans aucune attente ni changement...) sans en avoir les inconvénients (embarras, pollution...). C'est faire fi de nombreux problèmes que de présenter les choses ainsi.

Les autres solutions, moins spectaculaires, visent elles aussi à l'efficacité. Elles n'en recèlent pas moins des problèmes épiniers.

Dans tous les cas, les problèmes sociaux et financiers sont prépondérants et risquent de ralentir une évolution qui s'avère chaque jour plus nécessaire. Les responsables locaux auront des choix fort pénibles à faire si on veut éviter à plus ou moins longue échéance une paralysie de la ville.

Daniel Dunoyer



De nombreux paramètres interviennent dans le choix d'une solution technique.

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, Rue Chauchat, Paris 9^e - Tél. 824 72 86
C.C.P. 4192-26 Paris

CHEMINS DE FER ET DIVERS

CHEMINS DE FER

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 commerciale de la S.N.C.F. Conclusion. Index alphabétique et table des illustrations. 446 p. 16,5 × 25, 40 pl. hors-texte, 3^e édit., 1955 F 30,00

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 × 25, 98 fig., 9 pl. hors-texte, 2^e édit., 1951 F 14,65

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 génératrices 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. Évaluation des dépenses d'exploitation. Équipement des dépôts et ateliers. Autorails. 440 p. 16 × 25, 254 fig., 33 planches photos hors-texte, 1960 F 47,90

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 × 25, 173 fig., 59 pl., 2^e édit., 1954 F 23,00

LA LOCOMOTIVE A VAPEUR ET LES GRANDES VITESSES. Vilain L.-M. — Les très grandes vitesses actuellement pratiquées en traction électrique sur certains parcours conduisent naturellement à se demander ce qu'il serait advenu sans changement de mode de traction. — C'est pour faciliter une réponse à cette question que l'auteur a voulu fournir une documentation aussi complète que possible sur les grandes vitesses atteintes par les locomotives à vapeur, depuis l'origine à nos jours. — Depuis la Fusée de Stephenson en 1829, les principaux records de vitesse accomplis ou en essais: Des origines (1829) à 1885. De 1886 à 1909. De 1910 à 1929. De 1930 à nos jours. Locomotives d'essais. Projets divers non réalisés. 204 p. 15,5 × 24. 128 fig. et photos. 21 planches hors-texte, 1972 F 48,00

LE MATÉRIEL MOTEUR ET ROULANT DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT DU PARIS-SAINT-GERMAIN (1837) AU RACHAT DE L'OUEST (1909) ET A LA S.N.C.F. L. M. Vilain. — Historique et formation du réseau des Chemins de Fer de l'Ouest. Évolution du matériel locomoteur

à vapeur (1837-1909). Locomotives à voyageurs et à grande vitesse. Locomotives mixtes (voyageurs et marchandises). Locomotives à marchandises. Locomotives-tenders (1^e de route) (2^e de manœuvre). Matériels divers, projets matériels à voie étroite et spéciaux. Traction électrique. Voitures à voyageurs. Le réseau des Chemins de Fer de l'Etat-Historique, formation, contexture, trafic. Évolution générale des locomotives à vapeur. Locomotives à grande vitesse. Locomotives mixtes (voyageurs et marchandises). Locomotives-tenders (1^e de route) (2^e de manœuvres). Matériel d'autres origines. Automotrices à vapeur, matériel des lignes à voie étroite. Projets divers. Traction électrique. Voitures à voyageurs. Évolution de la Compagnie des Charentes (1867) à nos jours. État de matériel et renseignements divers. Bibliographie. 630 p. 16 × 24, 420 photos, fig. et tabl. 1973 F 99,00

UN SIÈCLE DE MATÉRIEL ET TRACTION SUR LE RÉSEAU D'ORLÉANS, DES ORIGINES (1840) A LA FUSION P.-O.-MIDI (1934) ET A LA S.N.C.F. (1938). Vilain L. M. — Formation, contexture et trafic du réseau d'Orléans. Évolution générale des locomotives à vapeur. Locomotives à grande vitesse. Locomotives voyageurs-marchandises. Locomotives à marchandises. Locomotives-tenders. Automotrices et projets non réalisés. Matériels spéciaux (lignes de Sceaux et à voie étroite). Traction électrique: à 600 V; à 1 500 V. Matériel à voyageurs: matériel primitif, ordinaire, à couloir, semi-métallique à essieux, à bogies, métallique, métallisé, de banlieue métallique, d'autres origines, lignes de Sceaux et à voie étroite. Fusion P.-O.-Midi. Principaux types de locomotives à vapeur et électriques. États de matériels et renseignements divers. 490 p. 15,5 × 23,5. 360 fig. et photos. 2^e édit. mise à jour 1970 F 72,00

L'ÉVOLUTION DU MATÉRIEL MOTEUR ET ROULANT DE LA CIE PARIS-LYON-MÉDiterranée (PLM), DES ORIGINES (1857) A LA S.N.C.F. (1938). Vilain L. — Historique, formation, contexture et trafic du réseau PLM de 1857 à 1940. Locomotives à voyageurs et à grandes vitesses. Locomotives mixtes (voyageurs et marchandises). Locomotives à marchandises. Locomotives-tenders: de route, de manœuvres. Locomotives à vapeur S.N.C.F. dérivant plus ou moins de types PLM. (141 P - 241 P). Traction électrique. Voitures à voyageurs. Renseignements divers. 576 p., 17 × 24, 460 fig., photos et schémas. 2^e édition 1973 et mise à jour ... F 108,00

LES LOCOMOTIVES ARTICULÉES DU SYSTÈME MALLETT DANS LE MONDE. Vilain L. M. — Généralités: locomotives d'Allen, du Semmering, Meyer, Fairlie, Péchot, du Bousquet, Garratt, Mallet. Evolution générale des machines Mallet. Locomotives Mallet de construction américaine (compound). Locomotives Mallet de construction américaine (à simple expansion). Locomotives Mallet de construction américaine (destinées à des services secondaires). Locomotives Mallet de construction américaine destinées à d'autres pays. Renseignements divers Postface de M. A. Chapelon. 286 p. 15,5 × 24, 229 fig. et photos, 1969 F 50,00

STEAM VAPEUR DAMPF, petites et grandes échelles. Porter J.-C. — Au-delà des modèles électriques bien connus comment construire des bateaux, locomobiles, locomotives fonctionnant réellement à la vapeur. Cet ouvrage y répond en donnant des renseignements sur les normes existantes ainsi que sur la manière de faire une vraie chaudière aussi bien pour locos que pour bateaux. Ensuite il indique comment sont faits en réduction, en restant accessible à tous bricoleurs sérieux, les pièces essentielles, soupapes, sifflet, souffleur, distribution. Enfin, un guide des bonnes adresses utiles complète le tout qui se présente sous format 13,5 × 21. 156 p., abondamment illustré, 1973 F 30,00

LES MEILLEURS LIVRES 1974

CONNAISSANCE DE LA FORÊT. Huchon H. — Le lecteur y trouvera des indications précieuses sur la forme et la structure des arbres, les caractères particuliers du milieu forestier, les principales essences forestières, les grandes règles de la sylviculture et le choix judicieux des essences de reboisement. Différentes parties de l'arbre : tige, feuille, racine, fleur, fruit. Structure de l'arbre : bois, écorce. Milieu forestier : atmosphère, sol, êtres vivants. Principales essences forestières : résineuses, feuillues. Tableaux de détermination : arbres et arbustes à l'état feuillé, défeuillé, résineux communs. Produits et bienfaits de la forêt. Culture des forêts : divers modes de traitement, aménagement, coupes, repeuplement. La forêt, l'homme et la protection de la nature. 160 p. 13 × 21, 70 dessins, 1 carte, 42 photos en noir, 1 planche, hors-texte avec 54 photos en couleurs d'écorces. Relié sous couverture cartonnée. 1973 F 21,00

CONSTRUIRE UNE VOITURE DE COURSE. Gironnet Bernard. — Donne aux amateurs de voitures de course la possibilité de participer activement à la construction de leur « bolid » ou de le perfectionner. La partie relative aux châssis est abondamment illustrée et montre au lecteur comment les meilleurs constructeurs ont résolu leurs problèmes technologiques. Cinématique et dynamique des suspensions. Direction : Généralités. Cinématique des suspensions. Dynamique. Etude de la direction. Épure de Jeantaud. Conception d'une voiture de course : Documentation générale. Détermination des dimensions principales de la voiture. Avant-projet du véhicule. Projet du véhicule. Réalisation et exemples. Annexe : Moment quadratique d'une surface. Moment d'une force F par rapport à un axe. Mouvement plan sur plan. Étude aérodynamique d'une maquette. Renseignements divers. Bibliographie 160 p. 16 × 25, 153 fig. photos et tableaux. 1973 F 38,00

LE GONFLAGE DES MOTEURS, moto, auto 2 et 4 temps. Meloua L. — La philosophie du gonflage et de la préparation. Le cycle à 4 temps. Le cycle à 2 temps. Mécanique des fluides et phénomène pulsatoires. Puissance et couple. Différents facteurs influant sur la puissance. La culasse. Cylindre et carter. L'équipage alternatif. Le système d'admission et d'échappement. Les auxiliaires : allumage, refroidissement, graissage. Formulaire et applications pratiques. Le réglage des carburateurs. Comment aborder le problème du gonflage. Les préparateurs. 200 p. 15,5 × 21,5. 47 fig. 1974 F 46,00

L'ASTRONOMIE. (Collection « les dictionnaires du savoir moderne »). — Cet ouvrage, réalisé sous la direction de Roland Guillemand, fait le point des connaissances actuelles dans toutes les branches de l'Astronomie. Il comprend huit chapitres principaux. 500 mots et définitions accompagnées de nombreux croquis complètent cet ensemble qui donne de l'Astronomie une vue large, précise et pourtant très accessible. Historique. L'observation astronomique. Les mouvements des corps célestes. Le système solaire. L'évolution stellaire. L'univers. L'Astronautique. 543 p. 18 × 23, nbr. fig., 1973 F 56,85

ÉLÉMENTS DE CALCUL NUMÉRIQUE. Démidovitch et Maron. — (Traduit du Russe). Nombres approchés. Généralités sur la théorie des fractions continues. Calcul des valeurs des fonctions. Résolution approchée des équations algébriques et transcendentales. Procédés spéciaux de résolution approchée des équations algébriques. Amélioration de la convergence des séries. Algèbre des matrices. Systèmes d'équations linéaires. Convergence des processus itératifs des systèmes d'équations linéaires. Généralités sur la théorie des espaces vectoriels. Suppléments sur la convergence des processus itératifs des systèmes d'équations linéaires. Calcul des valeurs propres et des vecteurs propres d'une matrice. Résolution approchée des systèmes d'équations non linéaires; interpolation des fonctions. Dérivation approchée. Intégration approchée des fonctions. Méthode de Monte-Carlo. Index. 680 p. 15 × 22. . . F 25,00

THÉORIE DES PROBABILITÉS. Ventsel H. — (Traduit du Russe). Introduction. Notions fondamentales de la théorie des probabilités. Théorèmes fondamentaux de la théorie des probabilités. Expériences répétées. Variables aléatoires et lois de répartition. Loi normale. Détermination des lois de répartition des variables aléatoires à partir des données expérimentales. Systèmes de variables aléatoires. Loi de répartition normale d'un système de variables aléatoires. Caractéristiques numériques des fonctions de variables aléatoires. Linéarisation des fonctions. Lois de répartition des fonctions des arguments aléa-

toires. Théorèmes limites de la théorie des probabilités. Traitement des résultats des expériences. Notions de base de la théorie des fonctions aléatoires. Développement canoniques des fonctions aléatoires. Fonctions aléatoires stationnaires. Notions de base de la théorie de l'information. Éléments de la théorie des phénomènes d'attente. Annexes. 568 p. 15 × 22 . . . F 27,00

AIDE MÉMOIRE DE MATHÉMATIQUES SUPÉRIEURES, Vygodski M. — Cet ouvrage présente un double intérêt: d'une part donner des indications concrètes: les définitions, les formules, les règles et les théorèmes accompagnés d'exemples et d'indications pratiques peuvent être rapidement consultées, d'autre part, servir à une première prise de connaissance de la matière: les notions fondamentales y sont expliquées en détails et toutes les règles illustrées par un grand nombre d'exemples. Géométrie analytique à deux dimensions. Géométrie analytique à trois dimensions. Notions fondamentales de l'analyse. Calcul différentiel. Calcul intégral. Notions fondamentales sur les courbes planes et gauches. Séries. Dérivation et intégration des fonctions de plusieurs variables. Équations différentielles. Quelques courbes remarquables. Tables. Index des noms. Index des matières. 861 p. 12 × 17. 512 fig. 1973 .. F 44,00

LES COQUILLAGES, chefs-d'œuvre de la vie sous-marine. Hugh et Marguerit Stix et Tucker Abbott. — Cent trente-cinq planches photographiques présentant les plus beaux coquillages du monde, dont 70 en couleurs. Des notices succinctes décrivent, avec toute la précision scientifique souhaitable, les 135 coquillages reproduits. Un véritable ouvrage d'art par la beauté des sujets de l'inspiration du photographe. 168 p. 17 × 24. Relié pleine toile sous jaquette couleurs. 1973 F 39,00

PIERRES ET MINÉRAUX. Schumann W. — Minéraux : Couleur et trait, éclat et transparence, clivage et cassure, dureté, densité, autres propriétés. Minéraux des roches magmatiques. Minéraux des roches sédimentaires. Minéraux des roches métamorphiques. Gemmes et pierres précieuses : propriétés, description, désignations commerciales, modes de taille et polissage. Roches : roches de profondeur (plutonites). Roches filonniennes. Roches d'épanchement (roches volcaniques). Roches détritiques. Roches néoformées. Roches carbonneuses. Roches métamorphiques. Minerais : des métaux précieux, de fer, des métaux utilisés dans la métallurgie de l'acier, des métaux lourds non ferreux d'usage courant, de soufre, autres minerais. Fossiles : échelle stratigraphique, fossiles antétriasiques, fossiles du Trias, fossiles du Jurassique, fossiles du Crétacé, fossiles des tertiaires. Conseils pour les collectionneurs. Tableaux de détermination des minéraux. Bibliographie sommaire. Index alphabétique. Comment déterminer les échantillons. 227 p. 12,5 × 19. 69 planches couleurs. Plus de 300 photos couleurs. 1974 F 45,00

GUIDE PRATIQUE DE LA HI-FI. Darteville Ch. — Les tables de lectures. Les solutions mécaniques. Les solutions électroniques. Les bras de lecture. Les pivots. La poussée latérale. L'équilibrage dynamique. Perpendicularité de la pointe lectrice. Le phonocapteur. Technique de la gravure. Technique de la lecture. L'électronique de commande. Le préamplificateur-correcteur. L'amplificateur de puissance. Le Tuner. Le magnétophone. Le mécanisme d'entraînement. Technique de l'enregistrement et de la lecture. Haut-parleurs et enceintes acoustiques. Les haut-parleurs. Les enceintes acoustiques classiques. Les enceintes asservies. Lexique des termes Hi-Fi. 160 p. 16 × 24. 138 fig. 1974 F 27,00

Rappel du même auteur :

Les magétoscopes F 17,90
Techniques Hi-Fi F 47,80

GUIDE DE LA HAUTE FIDÉLITÉ. Poirier G. — Qu'est-ce que le son ? L'oreille. La haute fidélité. La stéréophonie. Les éléments qui composent la chaîne stéréophonique. Les casques d'écoute. Les récepteurs AM et FM. Le magnétophone. Les meubles séparés ou les combinés. L'entretien des platines. L'entretien du magnétophone. Le montage du ruban. Les problèmes usuels de la chaîne stéréophonique. La prise de son. Le disque. La téraphonie. 312 p. 13,5 × 20, très nbr. fig., schémas et photos. 1974 F 26,00

J'INSTALLE MON ÉQUIPEMENT STÉRÉO. Doré J. M. — Des idées pour ranger, aménager les appareils stéréophoniques dans votre maison.

Volume 1 : Meubles d'appoint. Initiation à la stéréophonie. Les salles d'écoute. Agencement des appareils stéréophoniques. Le complexe stéréophonique. Meubles et ensembles. Le centre stéréophonique. 93 p. 21,5 × 28, très nbr. fig., photos, plans inédits cotés F 19,50

Volume 2 : Complexes et murs. Emplacement des appareils. Discothèques. Console stéréophonique. Éléments muraux ajustables. Meubles-éléments. Meuble à usages multiples. 95 p. 21,5 x 28, très nbr. fig. photos, plans inédits cotés 1974 F 19,50

ENCEINTES ACOUSTIQUES HI-FI à construire soi-même facilement. Chauvigny P. — La réalisation pratique des enceintes acoustiques hi-fi. L'enceinte acoustique. Les haut-parleurs. Le baffle. Raccordements électriques. La soudure. La menuiserie. Exemples d'adaptations. Les Kits. Pratique et théorie des enceintes acoustiques Hi-Fi. Groupement d'enceintes acoustiques. Adaptation d'impédance. La quadriphonie. Le haut-parleur. Fonctionnement des enceintes acoustiques. Les filtres. Adaptation d'impédance pour haut-parleurs. Un peu d'acoustique. 110 p. 14 x 20. 95 fig. 1974 F 18,00

ABRÉGÉ DE MÉDECINE DU SPORT. Guillet R. et Genéty J. — Technologie du sport. Physiologie des activités physiques. Psychophysiologie et psychologie du sport. Le contrôle médico-sportif. Les tests d'aptitude et de contrôle. Traumatologie du sport. Notions pratiques de diététique sportive. Le doping et la préparation biologique des athlètes. Notions pratiques de cardiologie sportive. Problèmes médicaux du sport féminin. O.R.L. et sport. Ophtalmologie et sport. Pneumologie et sport. Appareil digestif et sport. Diabète et sport. Art dentaire et sport. Dermatologie du sportif. Microbiologie et sport. Les maladies animales transmises à l'homme au cours de la pratique sportive. Les examens biologiques du sportif. Les thérapeutiques en médecine du sport. La plongée sous-marine. Réanimation des noyés. La montagne. La boxe. La spéléologie. Sport et handicap physique. Sport et troisième âge. Problèmes médico-légaux du sport. 396 p. 13,5 x 21. 10 fig. et 13 tabl. 1973 F 40,00

JEUNE ET BELLE PAR LA CULTURE PHYSIQUE. Faurobert L. — Enfin, une culture physique possible. Souplesse. Musculation idéale. Souffle. Relaxation. Les muscles de votre beauté. Grandir n'est plus une chimère. Ne devenez pas l'esclave du centimètre. Le miroir de votre santé. Rajeunir non plus n'est pas un mythe. Votre sport prioritaire : la natation. Pas d'hygiène en contreplaqué. Ce que vous coûtent... Ce que vous apportent... Une gaine, pourquoi pas ? Vous désirez un joli cou et de belles épaules, une belle poitrine, une taille fine, un ventre plat. Vous désirez grandir. Votre culture physique « non stop ». Observations personnelles. 128 p. 16 x 24. 205 fig. 1974 F 23,70

Rappel dans la même collection :

Gymnastique féminine. Piard F 30,75
Gymnastique moderne. Jacquot F 18,90

J'APPRENDS LE YOGA. Van Lysebeth A. — Préface. Mots Liminaires. L'homme moderne et le yoga. L'esprit du Hatha Yoga. Respirer, c'est vivre. La respiration yogique complète. Adieu les rhumes. Le Dhauti de la langue. OM. La relaxation. La relaxation-conditions préalables. Approfondissant la relaxation. La prise de conscience. Le secret de la souplesse. Où se concentrer pendant les asanas. Dans quel ordre pratiquer les poses. Asanas. Sarvagāsana, la chandelle. Halāsana, le poisson. Pashimotanāsana, la pince. Bhujangāsana, le cobra. Shalabāsana, l'arc. Ardha-Matsyendrāsana, la torsion. Shirshāsana, la pose sur la tête. Shirshāsana. Uddiyana bandha. Perfectionnez vos asanas. Suryanamaskar, une salutation au soleil. Vous êtes ce que vous mangez. Carnivore ou végétarien. Adaptez votre régime. Le déjeuner Kollath. Pour conclure. 327 p. 15 x 21, très nbr. fig. et photos. 1974 F 36,00

LA PRÉPARATION DU FOOTBALLEUR. Garel F. — Les qualités des joueurs. Buts de la préparation. Plans d'entraînement. L'école de football. Les séances d'entraînement: Pupilles-poussins. Minimes. Cadets. Juniors. Le perfectionnement. Séances mixtes. Séances spécialisées. Séances spécifiques. Les circuits-training. L'intervall-training. Le power-training. L'entraînement individualisé. Le footing. L'isométrie. Les jeux dérivés. La préparation invisible. 292 p. 16 x 24. 250 fig. Nbr. tableaux. 1974 F 33,00

Rappel dans la même collection :

Basket-Ball. Barrais F 15,80
Football. Garel F 20,90
Hand-Ball. Firan F 30,90
Volley-Ball. Sotir F 13,35

JUDO SPORTIF. Masnières J.-L. — Généralités sur les projections. — Principes fondamentaux. Situation en début de combat. — Attaques à la volée. La garde. Les techniques de base. L'enchaînement au sol. Les contreprises. Techniques par groupes d'attaques. La préparation physique. Appendices. Progression des grades et de l'enseignement, formules de compétition, où pratiquer le judo en France. Vocabulaire d'arbitrage. Lexique. 216 p. 16 x 24. 165 photos, 54 fig. 18 planches hors texte. 1974 F 33,00

Rappel dans la même collection :

Boxe, Petit F 20,90
Karaté Do, Habersetzer F 38,10
Sports de combat (boxe, lutte) F 20,90

ORGUES ELECTRONIQUES à transistors et circuits intégrés. Besson R. — Rappels d'acoustique. La musique. Les instruments de musique. La conception des instruments de musique électronique. Les oscillateurs ou générateurs. Les diviseurs de fréquence. Les circuits de distribution. Les circuits de traitement des signaux. L'amplification basse fréquence et l'alimentation. Les enceintes acoustiques. Quelques montages simples ou de complément. 210 p. 15,5 x 24. 164 fig. 1974 .. F 30,00

CINE TRUCAGES ET EFFETS SPÉCIAUX, 8 / Super 8 / 16. Monier. — Effets et procédés à la portée de tous. Supports de caméras et d'accessoires. Le travelling ou la caméra mobile. Volets, fondus enchaînés et surimpression. Les multiples ressources de l'optique. Emploi des caches et doubles impressions. Par le jeu des miroirs et des prismes. L'éclairage et ses sortilèges. Intempéries et cataclysmes à la demande. Titrage sur le « terrain de laboratoire ». 144 p. 16 x 21. 215 ill. 1974 F 24,00

LE JEU DE GO. Laurent C. M. — Le matériel de jeu. Schéma de jeu. La notation. Handicap et premiers pas. Le jeu. Résumé de la règle. Découverte du go. Aperçus de stratégie et de tactique. Exercices et problèmes. Parties commentées. Les compétitions. Les associations de go. Mini-lexique. 95 p. 13 x 18. 48 fig. 1974 F 13,00

LA PÉTANQUE, tactique et technique. R. A. P. — La pétanque jeu conquérant. Tactique de la pétanque. Techniques de la pétanque. Évolution chiffrée des résultats des opérations tactiques. Conduite du jeu. Illustration de la conduite du jeu. Conclusion. La pétanque en chambre. 63 p. 13,5 x 18. 1973 F 7,00

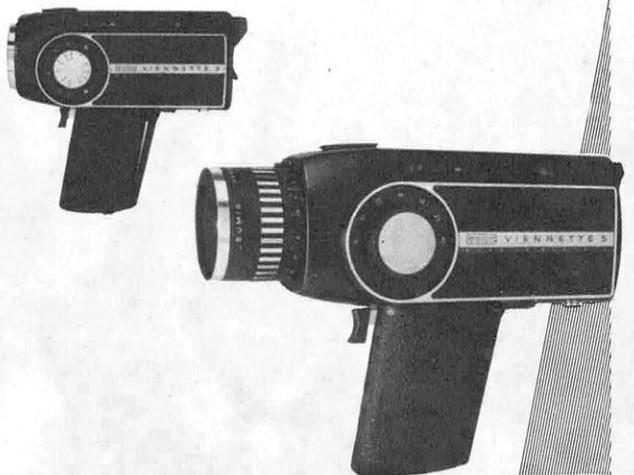
COMMANDES PAR CORRESPONDANCE

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 et d'emballage : Taxe fixe forfaitaire F 2,00 plus 5% du montant total de la commande — Frais de recommandation : France : F 1,50, Étranger : F 3,00. Sans frais d'expédition toute commande supérieure à 100 F.

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 au lundi 14 heures.



3 caméras qui "marquent" leur époque



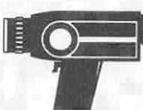
Publi-
Cité
Phot



VIENNETTE 3

"Caméra pour tous"

- ZOOM 1: 1,9 - 9/27 mm (x 3)
- Mise au point entièrement automatique par SERVO-FOCUS



VIENNETTE 5

"Possibilités accrues"

- ZOOM 1: 1,8 - 8/40 mm (x 5)
- Mise au point stigmométrique de 1 m 20 à l'infini.



VIENNETTE 8

"Performances supérieures"

- MACRO-ZOOM 1: 1,8-7/56 mm (x 8)
- Mise au point stigmométrique de 0 à l'infini.
- Fondu optique à la mise au point.

Pour ces 3 modèles, réglage automatique par cellule CdS,
complément optique MACRO et réglage automatique
de toutes les fonctions - Vitesses 18/24 im/sec.

filmer "facile" ...

filmez

eumi^g

CHEZ TOUS LES CONCESSIONNAIRES AGRÉÉS



Projecteur Sonore
MARK S 810 D

Pour rompre avec le quotidien, revivez l'aventure prodigieuse des

GRANDS CONQUÉRANTS

ces chefs de guerre légendaires qui, à eux seuls, ont bâti des empires, anéanti des civilisations et empli le monde du fracas de leurs armes.

Tout ce que l'on n'apprend pas à l'école sur ces personnages fabuleux.

**4 volumes reliés dos
CUIR VÉRITABLE
pour
29 F 80
seulement
les
QUATRE**

**SANS INSCRIPTION À UN CLUB
SANS RIEN D'AUTRE A ACHETER**

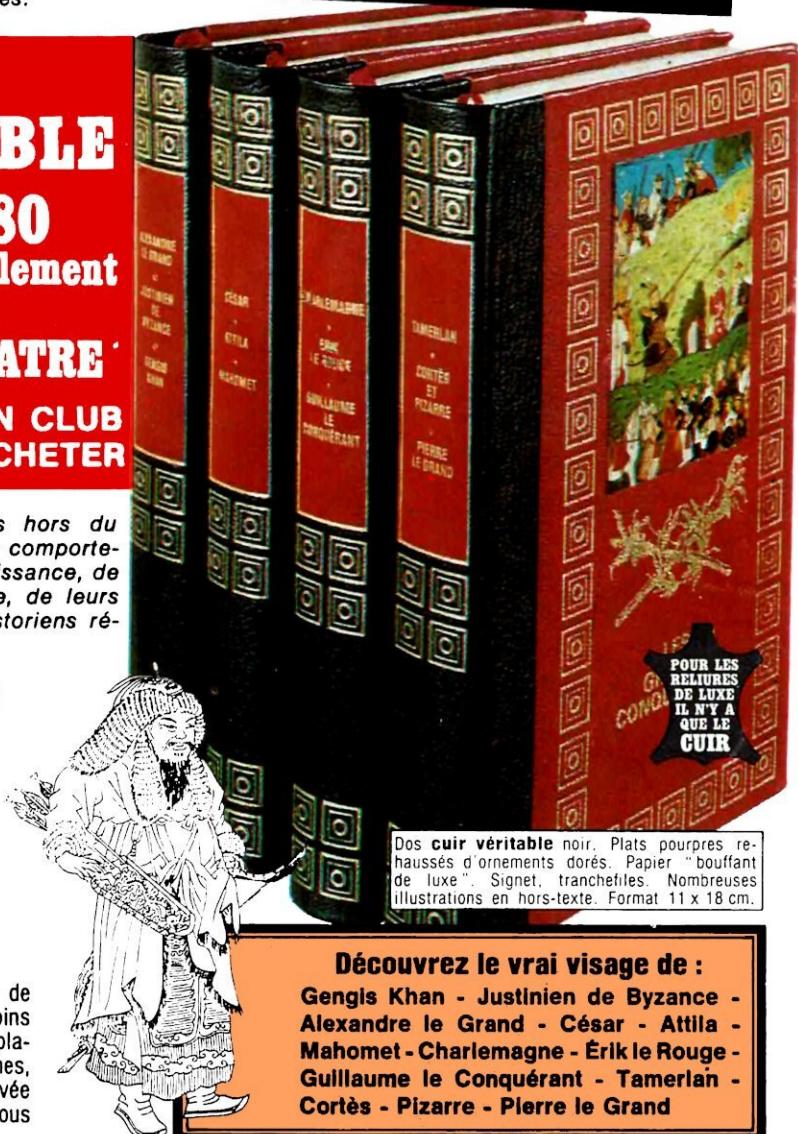
Quels furent réellement ces hommes hors du commun ? Que sait-on d'eux, de leur comportement, de leur formidable appétit de puissance, de domination ? De leur vie tumultueuse, de leurs exploits et de leurs défaites ? Des historiens répondent.

Des barbares ou des bâtisseurs d'empires ?

Attila, Gengis Khan, Érik le Rouge et ses Vikings étaient-ils vraiment ces démons déchaînés qui, tels des vautours, s'abattaient sur des populations innocentes ? La vérité est plus nuancée. D'ailleurs Charlemagne par exemple, le bon Empereur à la barbe fleurie, n'a-t-il pas, lui aussi, fait couler des flots de sang ?

Le repos du guerrier...

Si l'histoire ne parle, le plus souvent, que de leurs hauts faits de guerre, il n'en est pas moins vrai que ces éternels nomades, qui ne se déplaçaient guère sans leurs trésors, leurs femmes, enfants et concubines, eurent aussi une vie privée parfois surprenante qui n'a pas fini de vous étonner.



Dos cuir véritable noir. Plats pourpres rehaussés d'ornements dorés. Papier "bouffant de luxe". Signet, tranchesfilles. Nombreuses illustrations en hors-texte. Format 11 x 18 cm.

Découvrez le vrai visage de :

Gengis Khan - Justinien de Byzance - Alexandre le Grand - César - Attila - Mahomet - Charlemagne - Érik le Rouge - Guillaume le Conquérant - Tamerlan - Cortès - Pizarre - Pierre le Grand

DES LIVRES DE LUXE AU PRIX DES SÉRIES DE POCHE

BON DE LECTURE GRATUITE

à renvoyer à FRANÇOIS BEAUVAL, éditeur, B.P. 70, 83509 LA SEYNE SUR MER. Adressez-moi vos 4 volumes reliés dos cuir véritable. Je pourrai les examiner sans engagement pendant 5 jours. Si je désire les garder, je vous les réglerai au prix spécial de 29,80 F + 3,80 F de frais d'envoi ; sinon, je vous les retournerai. Je ne m'engage à rien d'autre, ni à aucun achat ultérieur.

CQR X14SV

NOM _____
(en majuscules)
INITIALES
Prénom _____
ADRESSE _____

CODE POSTAL _____ VILLE (en majuscules) _____

SIGNATURE : _____

POURQUOI CE PRIX INCROYABLE ?

Si nous vous offrons ces 4 volumes reliés dos cuir véritable à un prix aussi bas, c'est uniquement pour vous permettre d'apprécier sans aucun risque la haute qualité de nos éditions. En profitant de ce véritable cadeau, vous ne vous engagez donc à rien. Vous serez tenu au courant de nos activités et c'est tout (aucune obligation d'achat). Comme cette offre va susciter de nombreuses demandes, renvoyez tout de suite le bon à découper afin d'être servi rapidement.

François Beauval ÉDITEUR

83509 LA SEYNE SUR MER : allée Jean-Giono (F. 29,80 + 3,80) • 1060 BRUXELLES : 368, chaussée de Waterloo (F.B. 290 + 32) • VENTE EN MAGASIN : 14, rue Descartes, 75005 Paris, tél. 633.58.08 et 6, place de la Pte-Champerret, 75017 Paris.