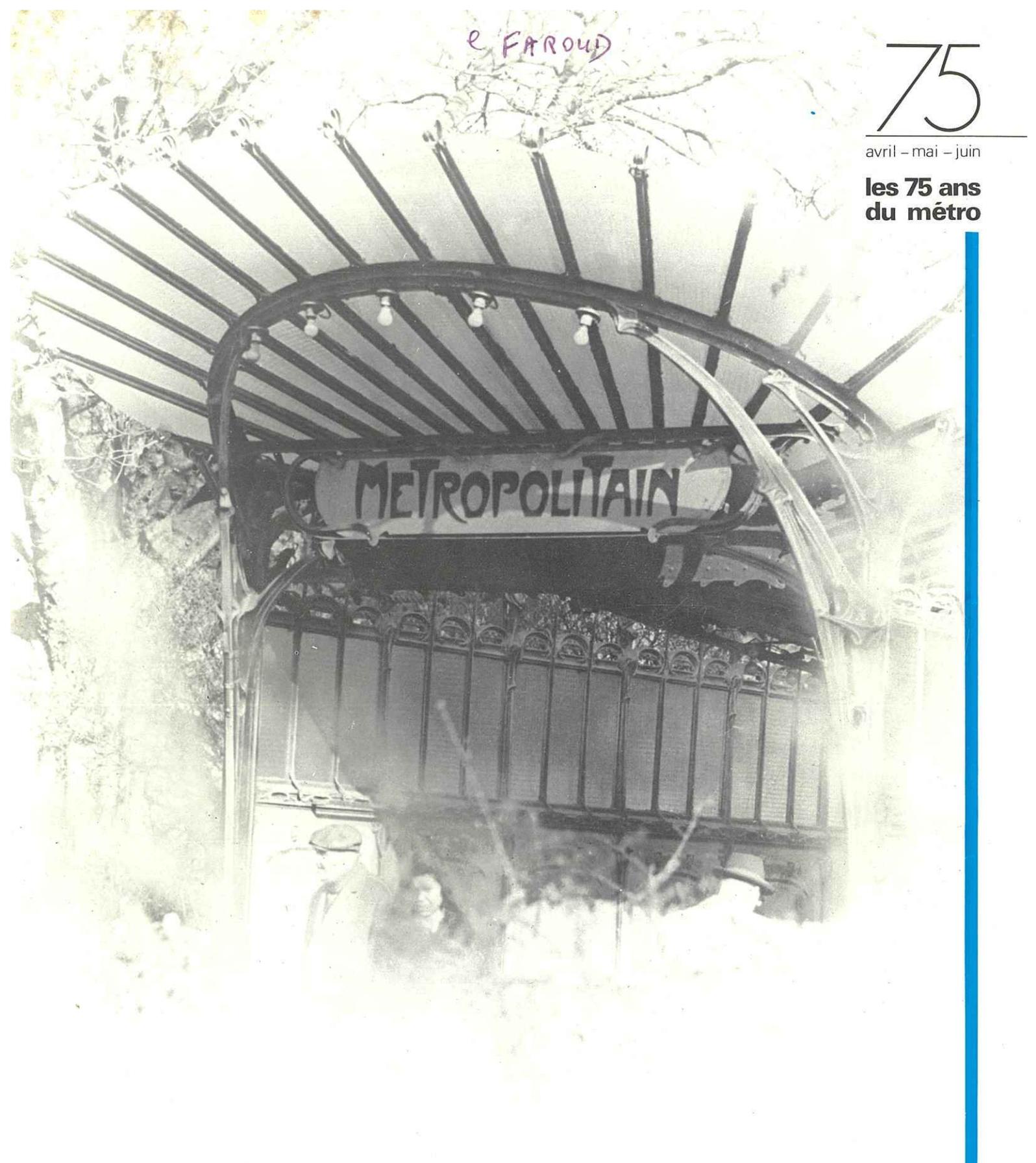


e FAROUH

75

avril - mai - juin

les 75 ans
du métro



METROPOLITAIN

RATP

DOCUMENTATION INFORMATION

REGIE
AUTONOME
DES
TRANSPORTS
PARISIENS

53 ter, quai des Grands-Augustins
75271 PARIS CEDEX 06

**Bulletin de documentation et d'information
édité par la Direction des Études générales**

sommaire

LE MÉTRO HIER

La naissance du métropolitain	7
Les méthodes de construction du métropolitain de 1900 à 1938	15
L'exploitation et les installations fixes, évolution du métro de 1900 à 1930	25
Le matériel roulant du métro: son évolution de 1900 à 1938	37

LE MÉTRO AUJOURD'HUI

Les réalisations et les méthodes d'exploitation qui ont donné au métro son visage d'aujourd'hui	49
---	----

LE MÉTRO DEMAIN

Le métro et l'avenir	61
La promotion du transport et l'avenir du métro	62
L'extension du métro	63
L'interconnexion	70
Les nouveaux matériels	74
Signalisation et pilotage automatique, développements récents et perspectives	77
L'évolution de l'alimentation électrique du métro	79

1900-1975... trois quarts du siècle où, du PARIS des fiacres au PARIS de l'automobile, le métro a pris une place grandissante dans la vie de la cité, a reçu de chaque génération d'importants perfectionnements techniques, et s'est étendu en réseau dans une agglomération toujours plus vaste...

1975-2000... un quart de siècle où nous pressentons que le rythme de changement va encore s'accélérer, que les modes de vie urbaine vont profondément évoluer, que la recherche d'une certaine qualité de la vie va s'intensifier ; et que les transports collectifs, et notamment le métro, joueront un rôle primordial dans cette évolution...

A l'occasion de son 75ème anniversaire, les responsables du métro vous proposent ce numéro spécial où sont évoqués trois quarts de siècle d'un glorieux passé, et où sont esquissées les promesses de l'avenir. En remerciant ceux qui l'ont préparé, je tiens d'abord à rendre hommage à tous nos prédécesseurs qui, depuis Fulgence Bienvenüe et la C.M.P., ont bâti le métro de PARIS, cette œuvre remarquable dont nous avons hérité. Et à tous ceux qui aujourd'hui préparent dans les difficultés quotidiennes le futur, je dis ma foi dans l'avenir, et je demande de continuer avec cœur et lucidité l'adaptation de notre métro aux nouvelles tâches qui l'attendent.

P. GIRAUDET

INTRODUCTION

par Philippe ESSIG
Directeur du réseau ferré

Le métro parisien vit, depuis dix ans, une période d'intenses transformations : création du métro régional, extensions nombreuses en banlieue, renouvellement du matériel roulant, généralisation des automatismes, nouvelles méthodes d'exploitation et de gestion... La décennie à venir ne laisse guère entrevoir de ralentissement de ce rythme d'évolution.

Mais cette accélération du changement, qui fascine ou fait peur, pourrait parfois faire oublier l'activité, le talent, le courage et le dévouement de nos anciens. Ce numéro spécial, célébrant les 75 ans du métro, vient, fort à propos, nous le rappeler.

C'est en effet, le 19 juillet 1900 qu'a lieu la mise en service de la première ligne du métropolitain Porte de Vincennes-Porte Maillot. Sous la direction de Fulgence Bienvenüe, les travaux, menés à ciel ouvert ont duré à peine 17 mois. La ligne est alors exploitée, dans des conditions difficiles, par des trains de 25 mètres qui tiennent plus du tramway que du chemin de fer. Très rapidement, devant l'afflux de voyageurs, il faut accroître la capacité et étendre le réseau. Fin 1901, les trains de la ligne n° 1 ont déjà 70 mètres et occupent toute la longueur des quais ; en 1913 le réseau mesure 87 km et transporte annuellement près de 500 millions de voyageurs. Quant aux premières motrices « Sprague Thomson » livrées en 1908, bien conçues et exceptionnellement robustes, elles n'ont disparu de notre parc de matériel roulant que récemment.

Ce rapide bilan des premières années du métro parisien doit nous inciter à la réflexion et à la modestie. On ne peut en effet qu'admirer la qualité de conception de ce qui était à l'époque un mode nouveau, conception qui, 75 ans plus tard, reste d'une étonnante actualité et permet encore de rendre à la collectivité parisienne les plus grands services. Malgré les progrès majeurs accomplis depuis lors dans l'étude des projets, les techniques de génie civil, la mécanique et l'électromécanique, pourrions-nous affirmer que nous faisons aussi bien ? Qu'en sera-t-il de nos réalisations actuelles en l'an 2050 ?

Cette interrogation ne doit pas déboucher sur une admiration passive et désabusée. Elle doit au contraire susciter l'émulation et inciter à une action ambitieuse pour améliorer la qualité de service et développer nos réseaux.

C'est ainsi qu'après une période de demi-sommeil consécutive à la 2ème guerre mondiale, le métro parisien est entré à partir de 1960 dans une nouvelle phase d'activité.

Afin de faire face à un trafic de pointe qui ne cesse d'augmenter, de nombreuses opérations d'accroissement de la capacité de transport des lignes les plus chargées sont entreprises : allongements de quais et réduction de l'intervalle minimal entre les trains. Grâce à la généralisation progressive des postes de commande centralisée, la régularité et la continuité du service offert se trouvent très améliorées. Le matériel sur pneumatiques est mis en circulation sur 4 lignes du réseau urbain. Le matériel roulant vétuste est progressivement renouvelé. Dans les stations, un gros effort est fait pour installer des escaliers mécaniques et améliorer la décoration.

D'ici 1980, le réseau urbain sera encore bien transformé. Plusieurs prolongements dans la proche banlieue parisienne, auront été mis en service, reprenant souvent, en les aménageant, des projets datant des années 1930.

A cet horizon, le matériel roulant datant d'avant-guerre aura pratiquement disparu du réseau urbain, marquant ainsi une étape déterminante dans l'amélioration du service rendu aux voyageurs.

Mais l'œuvre de notre génération restera avant tout la création du Réseau Régional et l'interconnexion de ce réseau avec les lignes SNCF. C'est peut-être là, plus encore que dans les domaines techniques, que l'on trouve l'évolution la plus significative.

Il faut, en effet, se souvenir qu'en 1895, après un débat interminable, l'État reconnaît à la ville de Paris le droit de construire un réseau ferré urbain, d'intérêt local, à gabarit réduit, donc indépendant des grandes compagnies de chemins de fer d'alors.

Aujourd'hui, en revanche, la nécessité d'une étroite collaboration entre la SNCF et la RATP est reconnue par tous. Elle permettra d'établir des liaisons ferrées entre certaines gares parisiennes aujourd'hui en cul-de-sac et de faire pénétrer les trains de banlieue plus profondément dans Paris.

En 1985, soulagé d'une partie de son trafic par le réseau régional interconnecté, et ayant retrouvé une nouvelle jeunesse grâce aux opérations de renouvellement et de modernisation, le métro parisien aura encore de belles années devant lui.

ENTRÉE

METRO

VOYAGEURS MUNIS DE BILLETS
ET VOYAGEURS DE 1^{re} CLASS

DISTRIBUTION DES BILLETS



LA NAISSANCE DU MÉTROPOLITAIN

par Jean ROBERT
Président de l'Association pour le musée des transports urbains,
interurbains et ruraux

Les premiers projets : 1845 à 1881

Dès le milieu du siècle passé sont nés des projets de chemins de fer métropolitains destinés au transport des voyageurs et des marchandises dans Paris. L'insuffisance des transports de surface et les difficultés de circulation dans le dédale des petites rues constituant la voirie parisienne firent très tôt apparaître la nécessité de créer au cœur de la ville de grands axes de pénétration parcourus par des chemins de fer dont la capacité de transport serait très supérieure à celle des omnibus à chevaux qui desservaient la ville depuis 1828.

Le premier projet de chemin de fer urbain semble remonter à 1845. A cette date, un certain M. de Kérizouet présentait une étude de chemin de fer à traction par câble reliant les « embarcadères » de Lyon et du Nord : la ligne, limitée au trafic des marchandises, avait pour but le ravitaillement des Halles de Paris.

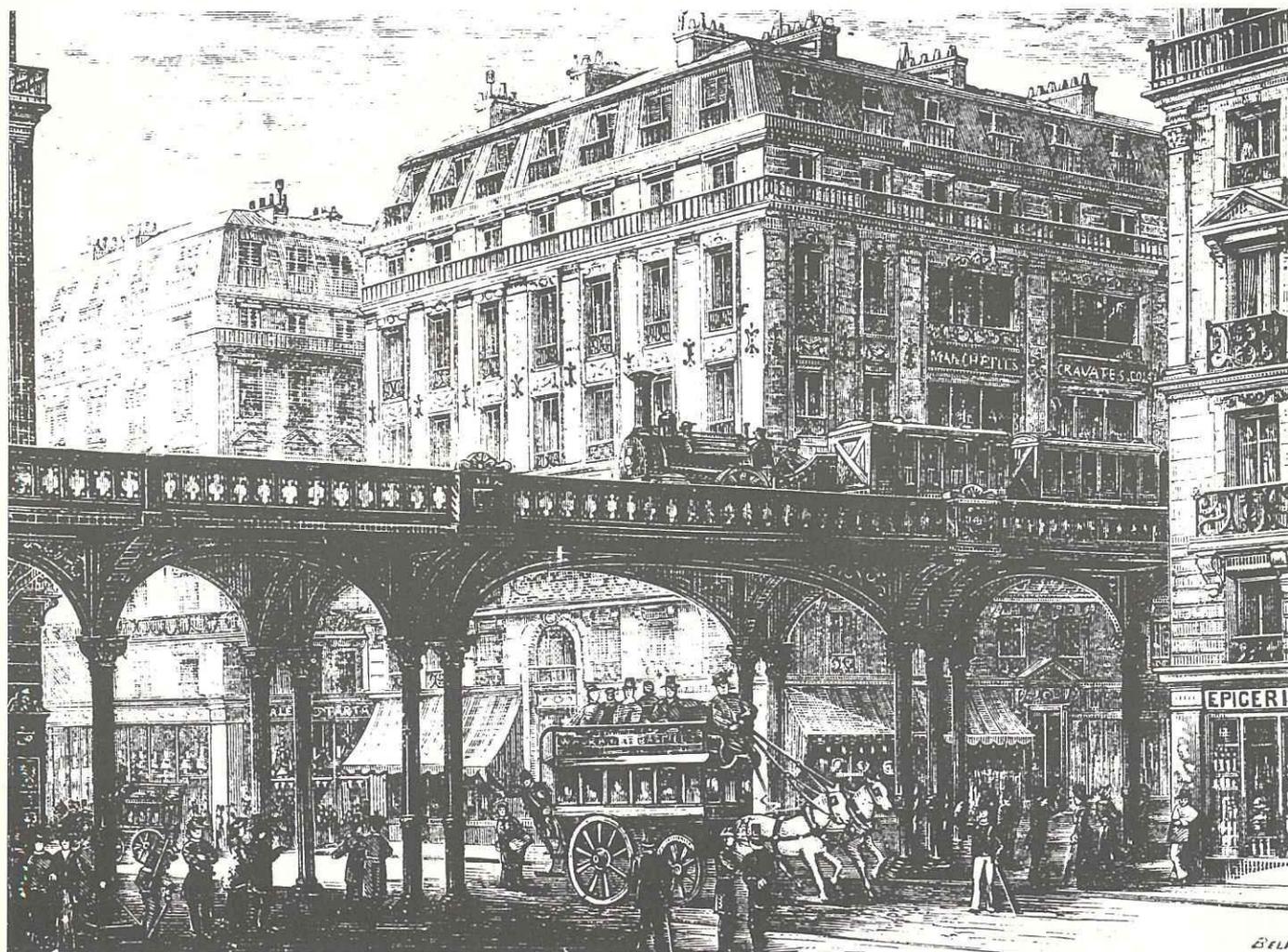
En 1856, un nouveau projet était proposé par MM. Brame et Flachat pour l'approvisionnement des Halles : il prévoyait le prolongement en souterrain des voies de la Compagnie du Nord sous les boulevards de Strasbourg et de Sébastopol et préconisait l'emploi de la traction à vapeur.

Mais les grands travaux entrepris par Haussmann et notamment la percée des grandes artères de la capitale vont faci-

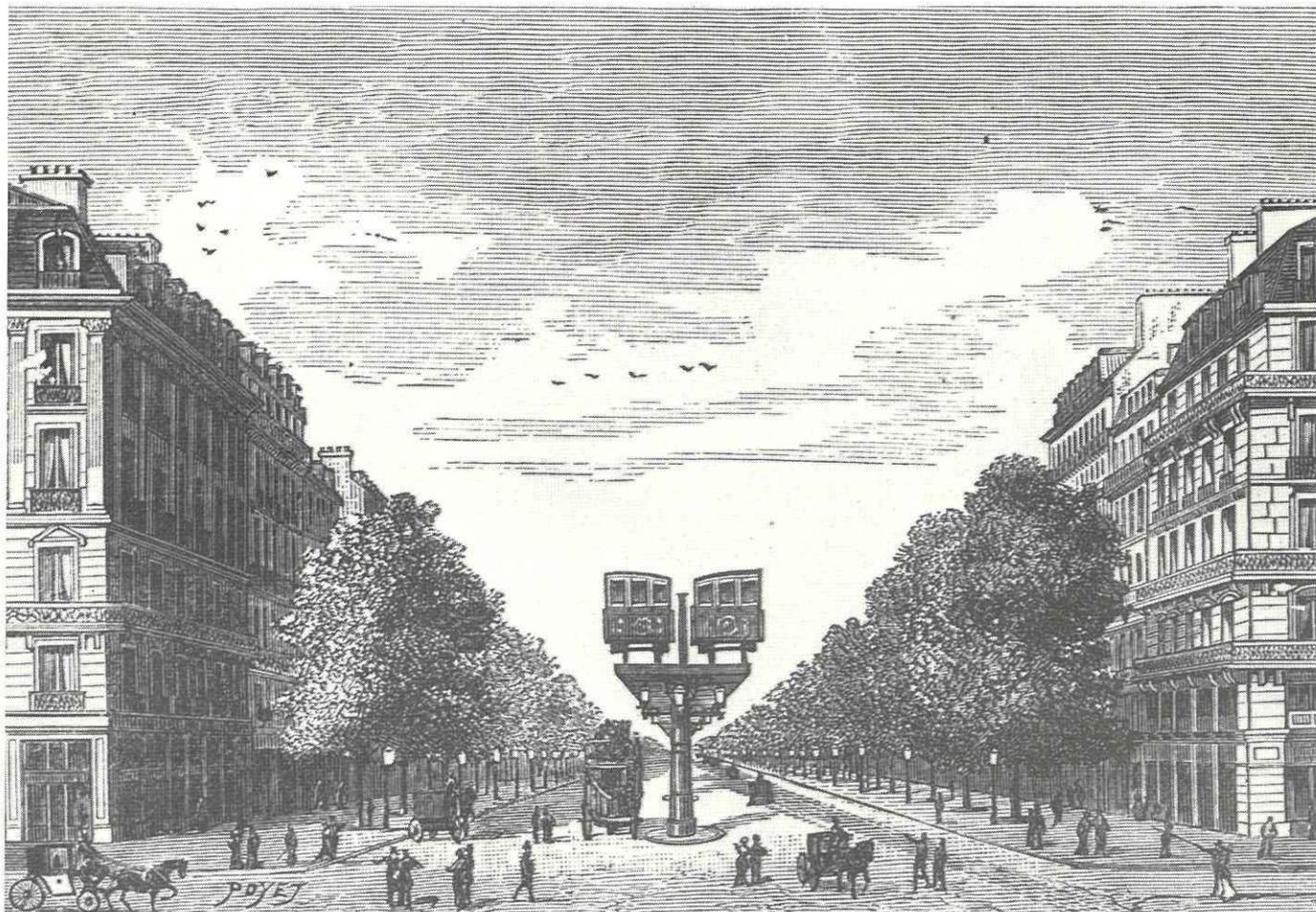
liter la circulation en surface. La Compagnie générale des omnibus qui est née en 1855 de la fusion des anciennes entreprises, peut organiser un service cohérent qui reporte pour un moment au second plan les projets de chemins de fer urbains.

Cependant, l'Exposition de 1867 montre l'insuffisance des transports dans Paris. Il apparaît que seul le rail peut assurer le transport des masses.

Mais la guerre de 1870 retarde la réorganisation des transports parisiens. Ce n'est qu'en novembre 1871 que les pouvoirs publics se penchent sur la question : le Conseil général de la Seine nomme alors une commission chargée d'étudier les bases d'un réseau d'intérêt local desservant le Département de la Seine. Cette commission présente le 11 mai 1872 un premier projet de réseau comprenant



Projet Heuzé : traversée du boulevard Poissonnière.



Projet Chrétien : coupe du viaduc sur les Boulevards.

deux lignes transversales à grand gabarit, l'une allant du Bois de Boulogne à la Bastille, l'autre de Montrouge aux Halles.

Ce projet ne rencontre guère d'échos : aucune entreprise n'accepte d'engager des capitaux dans une affaire qui paraît si peu rentable. Par contre, le développement des tramways à chevaux va rapidement transformer les transports de surface. Apparu en 1855, le tramway, alors dénommé « chemin de fer américain » n'avait encore roulé que sur une seule ligne reliant Sèvres et Boulogne à la Concorde. A partir de 1874, ce nouveau mode de transport se répand dans les grandes artères de la ville. De nouvelles entreprises créent extra muros des lignes de rabattement sur la capitale autour desquelles se développeront peu à peu les communes de banlieue. Celles-ci gardent encore de nos jours l'empreinte de ces premiers courants de circulation.

Cependant, le Conseil général poursuit ses études et, sous son impulsion,

divers projets de métropolitain voient le jour à partir de 1875. Deux d'entre eux méritent d'être cités, ceux de MM. Heuzé et Chrétien (cf. fig. 1 et 2).

Le projet de M. Heuzé, architecte, prévoyait la construction d'un chemin de fer établi en viaduc dans les artères nouvelles, spécialement percées à cette intention. Le coût excessif de cette opération d'urbanisme condamnait d'avance une telle réalisation.

Plus réaliste, M. Chrétien proposait en 1881 la création d'un réseau de lignes en viaduc empruntant les artères existantes. L'originalité du projet consistait à employer la traction électrique qui en était alors à ses débuts puisque le premier véhicule mû par l'électricité avait été expérimenté en 1879 par Siemens à l'Exposition de Berlin. Mais l'idée de construire un viaduc métallique devant les monuments prestigieux de Paris provoqua des réactions très défavorables du public et l'étude fut abandonnée.

Les projets entre 1883 et 1894 : grand gabarit ou petit gabarit ?

Entre temps, les chemins de fer d'intérêt local avaient fait l'objet en 1880 d'une nouvelle loi qui laissait aux communes la faculté de concéder les lignes devant desservir leur territoire. Le métropolitain passait dès lors des attributions du Département de la Seine à celles de la Ville de Paris ; celle-ci reprit à son compte les études du chemin de fer.

Dès 1883, le Conseil municipal de Paris adopta le projet de M. Soulié, Ingénieur des Ponts et Chaussées, qui proposait la création d'une ligne transversale nord-sud Clignancourt-Montsouris

et d'une circulaire Étoile-Saint-Lazare-République-Bastille-Montparnasse, d'où se détachaient divers embranchements vers la banlieue. Ce réseau à traction vapeur, tantôt en souterrain, tantôt en viaduc, était raccordé aux gares pour permettre la pénétration des trains de banlieue dans Paris.

Ce projet fut repoussé par le Conseil d'État qui affirma le caractère d'intérêt général du métropolitain et refusa de le concéder à la Ville de Paris.

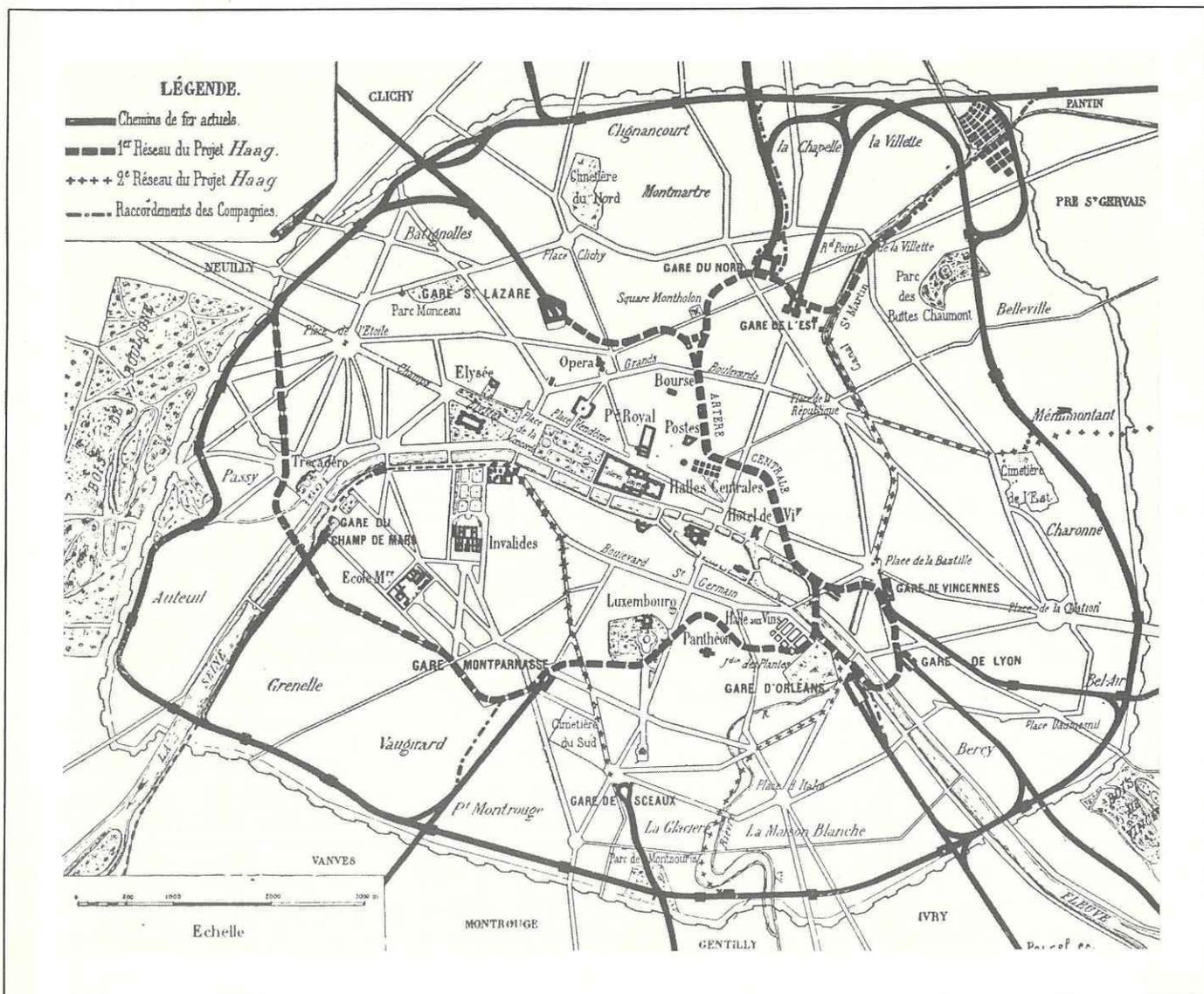
Et la discussion allait durer plus de dix ans entre l'État et la Ville. L'État voulait avant tout établir des jonctions entre les principales gares de Paris afin de faire

pénétrer dans le centre les trains de banlieue, ce qui exigeait la construction de lignes à grand gabarit; la Ville, bien au contraire, voyait le métropolitain comme un chemin de fer purement urbain à petit gabarit permettant une desserte rapide des divers quartiers de Paris. Et suivant le point de vue adopté, le financement devait être assuré par l'État et les Compagnies de chemin de fer, ou bien par la Ville seule.

Dès lors, les projets présentés tiendront compte de la prise de position de l'État et tenteront parfois un compromis entre sa conception et celle de la Ville. Les nombreuses études élaborées à cette époque mettront aux prises les partisans du

viaduc et ceux du tunnel, les premiers jugeant impossible la circulation en souterrain de trains à vapeur à grande fréquence, les autres s'élevant rigoureusement contre le caractère inesthétique du viaduc dans la ville.

Parmi les projets à tendance nettement gouvernementale, le plus important reste celui de M. Haag, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, qui prévoyait la jonction des gares par une ligne circulaire en viaduc établie dans des artères nouvelles le long desquelles la construction d'immeubles modernes devait donner, selon l'auteur, une plus value suffisante au terrain pour amortir l'opération (cf. fig. 3).



En 1886, M. BAÏHAUT, Ministre des travaux publics, tentait une synthèse des projets précédents en proposant, outre la ligne circulaire des gares, deux lignes transversales est-ouest et nord-sud. Un projet semblable mais techniquement mieux étudié quant aux possibilités de traction à vapeur sera proposé trois ans plus tard par M. Le Chatelier, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Face à ces projets gouvernementaux s'opposait M. Berlier qui fait maintenant figure de pionnier. M. Berlier avait proposé dès 1887 la construction, entre le Bois de Boulogne et de Vincennes, d'un « tramway tubulaire » à traction électrique qui aurait circulé dans un tube métallique souterrain établi suivant la

méthode du bouclier. Le tracé de cette ligne suivait de très près celui qui devait plus tard être adopté pour la ligne n° 1 du métropolitain.

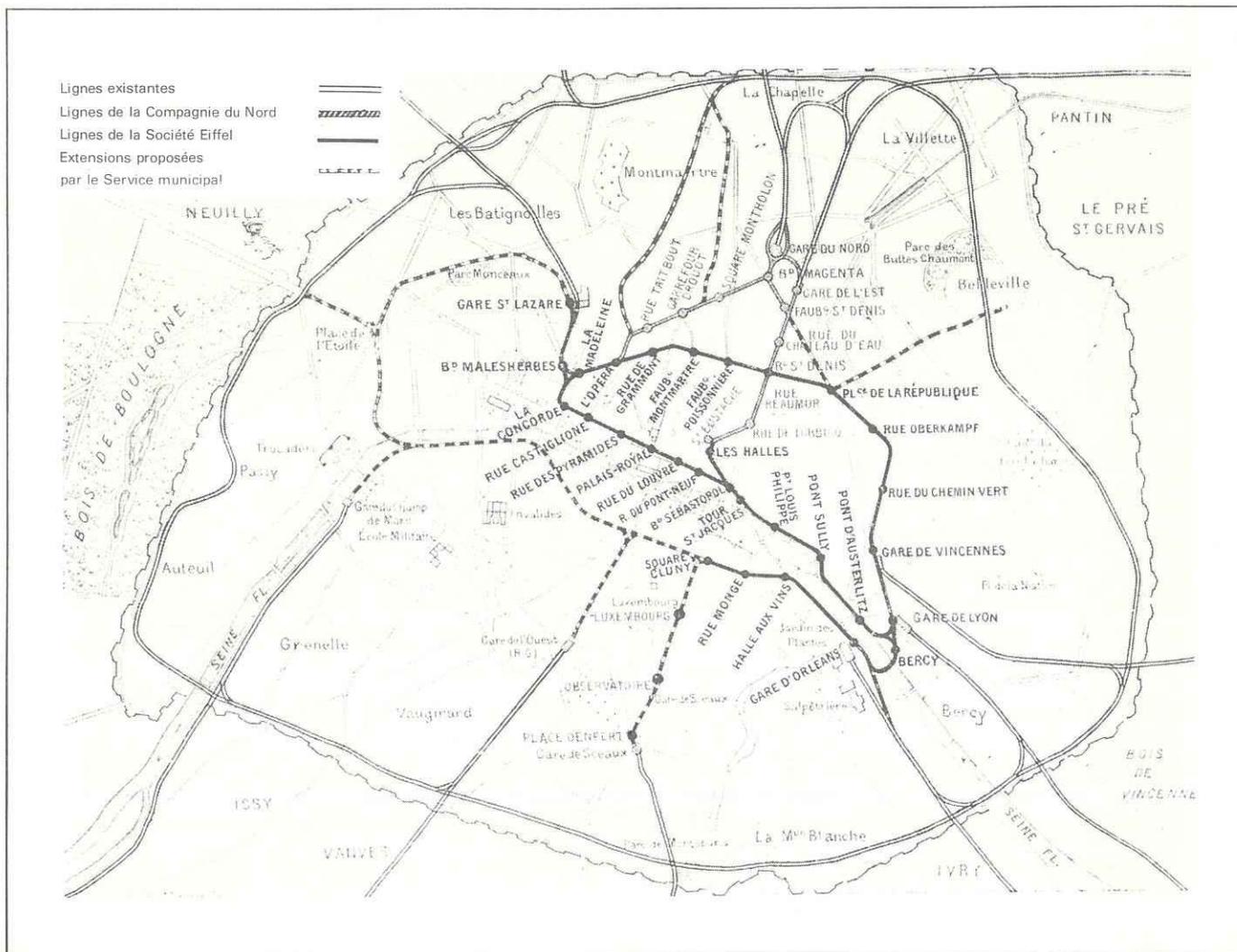
Tous ces projets devaient échouer faute de financement possible. A partir de 1890, le problème sera vu sous un angle différent par des financiers qui commenceront par s'assurer les fonds nécessaires aux travaux proposés. En 1890 sera créée une société présidée par M. Eiffel qui reprendra les études de la ligne circulaire du métropolitain (cf. fig. 4).

Au même moment, les grandes compagnies de chemins de fer, soutenues par l'Etat, commençaient leurs propres études de lignes métropolitaines. Le Nord pré-

voyait le prolongement de ses lignes en souterrain vers les Halles d'une part, l'Opéra d'autre part; de leur côté, les Compagnies d'Orléans et de l'Ouest envisageaient d'envoyer la ligne de Sceaux et la ligne des Moulineaux au Square Cluny. En 1891, la Société Eiffel faisait la synthèse de ces différents projets en proposant un nouveau réseau à grand gabarit.

La Ville restait néanmoins sur ses positions et réaffirmait sa volonté de construire un réseau d'intérêt local purement urbain, à petit gabarit, totalement indépendant des grandes lignes de chemin de fer.

L'approche de l'Exposition universelle



de 1900 rendait pourtant la situation critique. Chacun s'ingéniait à concevoir de nouveaux réseaux pour la desserte de cette grande manifestation. Les compagnies de tramways modernisaient leurs modes de traction et peu à peu les voitures à air comprimé, à vapeur, à accumulateurs remplaçaient les anciens véhicules à chevaux. Devant ce besoin croissant de transport, de nouvelles compagnies voyaient le jour et de multiples concessions étaient octroyées sans trop d'ordre dans la fièvre qui précédait la préparation de l'Exposition.

En 1894, l'Etat proposait à la Ville un nouveau réseau à grand gabarit pour la desserte de l'Exposition. Ce projet fut à nouveau rejeté par le Conseil municipal.

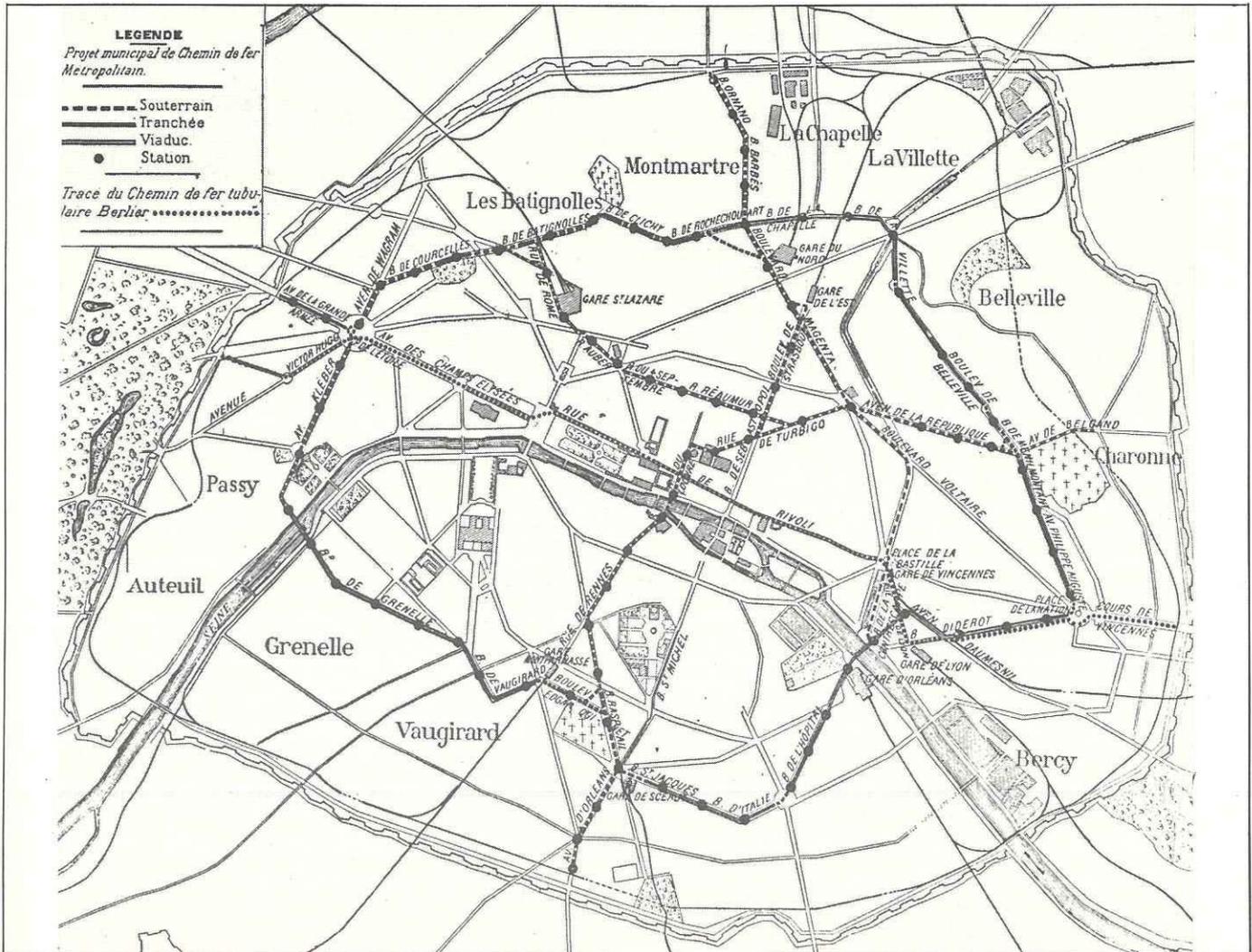
Mise au point des derniers projets : 1895 à 1898

Devant la nécessité impérieuse d'arriver à une conclusion, l'Etat finit par céder : le 22 novembre 1895, il reconnaissait à la Ville de Paris le droit d'assurer l'exécution d'un réseau métropolitain urbain suivant la loi de 1880 régissant les chemins de fer d'intérêt local.

Dès le début de 1896, une commission du Conseil municipal entreprit de dresser le programme d'exécution du métropo-

litan qui devait répondre à un double but : « suppléer à l'insuffisance des transports dans Paris et mettre en valeur les quartiers éloignés et les moins peuplés de la capitale ».

Le premier projet établi par la commission comportait une ligne circulaire correspondant sensiblement aux lignes 2 et 6 actuelles et trois lignes transversales suivant à peu près les futures lignes 3, 4 et 5 (cf. fig. 5) ; la ligne de Vincennes au Bois de Boulogne n'était retenue qu'à titre éventuel car elle correspondait au tramway tubulaire que M. Berlier envisageait encore de construire à son propre compte. Ce projet prévoyait l'emploi de trains à petit gabarit de 1,90 m, circulant en traction électrique sur voie métrique.



Projet de la Ville de Paris en 1896.

La mise à l'enquête du métropolitain s'effectua au milieu de l'indifférence générale des Parisiens qui ne s'intéressaient plus guère à un projet dont ils entendaient parler depuis quarante ans. Le programme retenu prévoyait la construction de l'infrastructure par la Ville ; l'établissement de la superstructure (voies et accès) et l'exploitation étaient confiés à un concessionnaire.

Après publication du cahier des charges, en 1897, la concession du métropolitain fut accordée à la Compagnie générale de traction, société animée par un puissant financier belge, le Baron Empain, qui donnera naissance à la Compagnie du chemin de fer métropolitain de Paris (C.M.P.).

Quelques modifications furent alors apportées au cahier des charges sur l'injonction de l'État qui imposa à la ville de Paris l'écartement normal ; en

même temps le gabarit passait à 2,40 m. La Ville, après bien des hésitations, accepta ces nouvelles normes qui permettaient fort heureusement d'accroître la capacité de transport des lignes sans attenter à leur autonomie, le gabarit encore réduit des ouvrages rendant impossible toute pénétration des grandes compagnies de chemin de fer sur le réseau urbain.

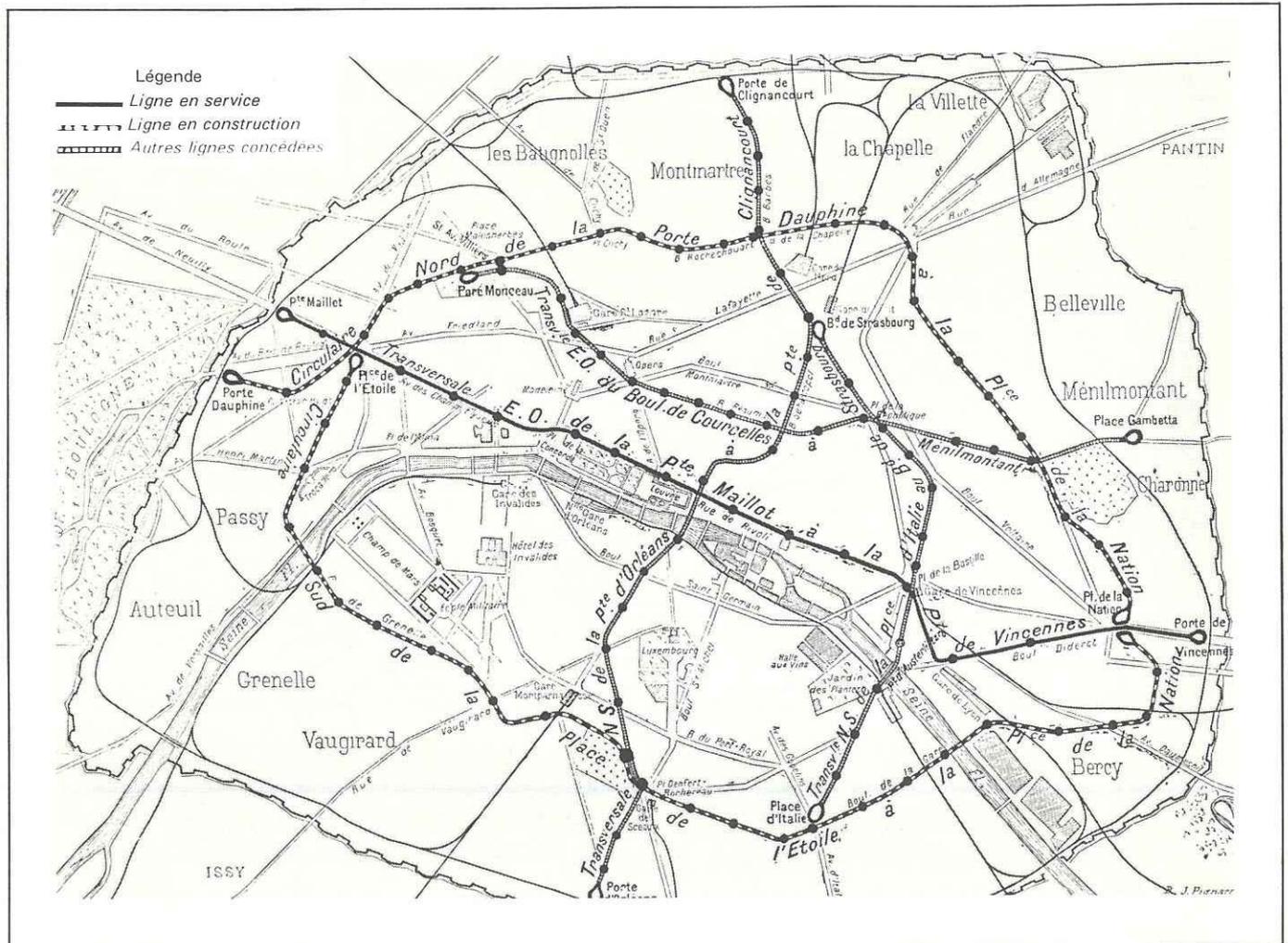
C'est dans ces conditions que la loi du 30 mars 1898 déclara d'utilité publique un « premier réseau » métropolitain comprenant les six lignes suivantes :

- A — Porte de Vincennes-Porte Dauphine (ancien tramway tubulaire dont M. Berlier avait abandonné le projet),
- B — Circulaire par les anciens boulevards extérieurs,
- C — Porte Maillot-Ménilmontant,

- D — Porte de Clignancourt-Porte d'Orléans,
- E — Boulevard de Strasbourg-Pont d'Austerlitz,
- F — Cours de Vincennes-Place d'Italie.

A cette époque, le principe de l'autonomie de chaque ligne n'était pas encore admis : on prévoyait au contraire que les trains pourraient passer d'une ligne à l'autre pour accomplir des circuits plus ou moins compliqués. C'est ainsi que, dans un premier projet, les trains de la ligne B empruntaient les voies de la ligne A entre la Gare de Lyon et la Nation et ceux de la ligne C passaient par la ligne B entre Étoile et Villiers.

La convention prévoyait la construction des trois premières lignes A, B, C dans un délai maximum de huit ans à dater de la déclaration d'utilité publique, les trois autres D, E, F devant être ter-



minées cinq ans plus tard. Le concessionnaire s'engageait à réaliser les travaux de superstructure et à mettre en service chaque section du réseau dix mois après livraison de l'infrastructure par la Ville. La durée de la concession était fixée à 35 ans.

Création et développement du métropolitain urbain

Dès le mois de novembre 1898, la Ville de Paris commença, grâce à un emprunt, la construction du nouveau chemin de fer afin que la première ligne, la ligne 1, fût prête pour l'Exposition de 1900. Quelques modifications de structure du réseau avaient permis de reporter à la Porte Maillot le terminus de la première ligne et à la Porte Dauphine celle de la partie nord de la deuxième ligne (cf fig. 6).

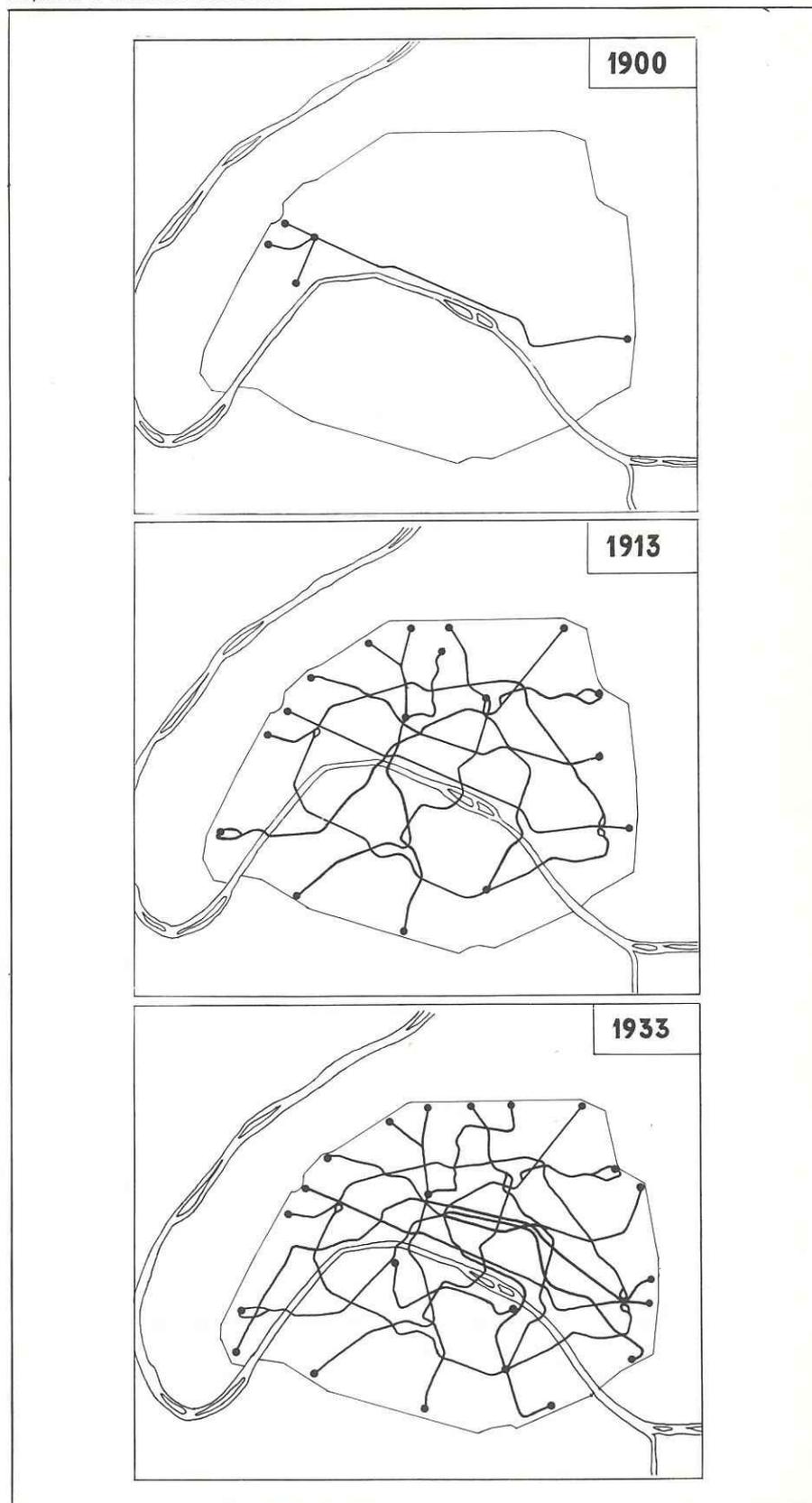
Les travaux d'infrastructure de la ligne 1, Porte de Vincennes-Porte Maillot, furent exécutés sous la direction de M. Fulgence Bienvenüe, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, chargé des travaux du métropolitain par la Ville de Paris, qui réussit à construire la ligne en 17 mois seulement : à ce titre, il sera plus tard surnommé « Le Père du Métro ».

Il faut souligner que, dès l'origine, les promoteurs du métropolitain avaient conçu le nouveau chemin de fer comme un transport de masse : les stations de 75 m de long devaient permettre dans l'avenir de constituer des trains de grande capacité, le tracé autorisait une vitesse commerciale très supérieure à celle des transports de surface, les rampes étant limitées à 40 mm/m et les courbes à 75 m de rayon, abstraction faite de certains points singuliers.

La ligne 1 fut mise en exploitation le 19 juillet 1900 ; l'exploitation à l'origine était assurée par des trains de trois voitures à essieux parallèles et caisse en bois, longs de 25 m, une motrice tirant deux remorques.

Dès les premiers mois d'exploitation, le trafic dépassa les prévisions les plus optimistes. L'intervalle des trains, à l'origine de 10 minutes, descendit à 6 minutes en septembre 1900 et à 3 minutes en janvier 1901. Aux trains de 3 voitures se

Étapes de la construction du réseau.



substitueront des trains de 4, puis 5 et finalement 8 voitures occupant dès 1902 toute la longueur disponible des stations. Les premières voitures à essieux et caisse en bois seront rapidement remplacées par des matériels à bogies et caisses métalliques. De nouveaux équipements électriques à unités doubles puis multiples permettront d'accroître la puissance des trains qui comporteront rapidement 2 puis 3 motrices. (Voir à ce sujet l'article détaillé sur le Matériel Roulant du Métro).

Et jusqu'en 1914, ce sera une véritable « course au métropolitain » ; celui-ci étendra peu à peu ses ramifications à toute la capitale. Après la ligne 1 s'ouvrira la ligne 2, section nord de la fameuse ligne circulaire, puis la ligne 2 sud (future ligne 6) et la ligne 3. L'idée d'une exploitation par « boucles » sera tout de suite abandonnée, le trafic de chaque section étant trop important pour permettre la circulation sur une même voie des trains de plusieurs lignes ; celles-ci garderont définitivement leur autonomie.

En janvier 1910, avec l'ouverture de bout en bout de la ligne 4, s'achevait la construction du « premier réseau » concédé en 1898. Mais déjà d'autres lignes étaient en chantier : la section nord de la ligne 7 allait entrer en exploitation à la fin de cette même année, la section Auteuil-Opéra de la ligne 8 devant suivre en 1913.

Cette course incessante entre les be-

soins de transports et la progression du réseau suscita très rapidement la concurrence. Dès 1901, M. Berlier, auteur du fameux projet de « tramway tubulaire » obtenait une concession pour l'établissement d'un chemin de fer électrique reliant Montmartre à Montparnasse. L'idée de M. Berlier était de construire au moyen d'un bouclier métallique une ligne à grande profondeur analogue au « tube » de Londres. Ce sera l'origine du « chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris ».

En fait, la nature du sous-sol parisien ne permettra pas l'exécution de la ligne à grande profondeur et le « Nord-Sud » sera pratiquement construit avec des caractéristiques semblables à celles du métropolitain, exception faite de la traversée sous la Seine à la Concorde qui s'effectuera avec deux tubes métalliques forés au bouclier.

Ouvert de 1910 à 1916, le Nord-Sud comprendra les lignes 12 et 13 actuelles et gardera son autonomie aux côtés du métropolitain jusqu'à sa fusion avec ce dernier qui interviendra en 1930.

Les difficultés économiques de l'après-guerre freineront un moment l'extension du réseau souterrain. Puis, l'Exposition de 1931 sera le mobile de nouvelles extensions. A partir de 1934, le Métro franchira les limites administratives de la Ville de Paris qui ne correspondent plus à la vie de la grande cité, pour desservir les communes de la proche banlieue.

Métro urbain et métro régional

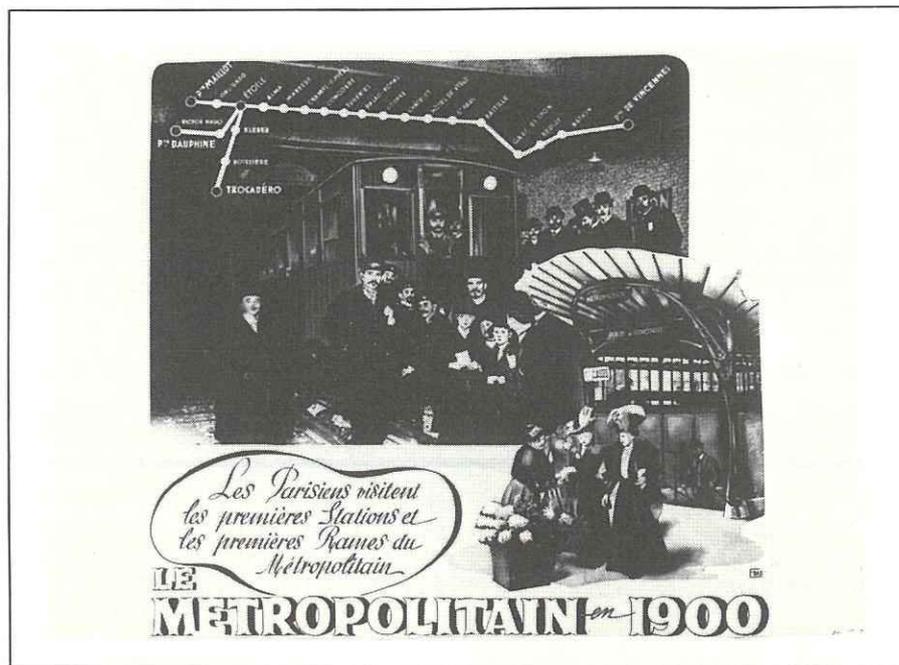
Dès 1929 avait été émise l'idée de constituer un nouveau réseau métropolitain destiné à desservir la grande banlieue de la capitale. On avait alors conçu un premier « réseau régional » constitué par les principales lignes de banlieue des grandes compagnies de chemin de fer prolongées en souterrain dans Paris et reliées diamétralement deux à deux. L'étude entreprise montrait qu'on pouvait se limiter à deux transversales, nord-sud et est-ouest, se coupant au Châtelet.

Ce projet ne faisait que reprendre sous une forme nouvelle la vieille idée du métropolitain d'intérêt général constitué par la pénétration dans Paris des chemins de fer de banlieue.

La modernisation et l'électrification de la ligne de Sceaux, reprise en 1938 par la Compagnie du Chemin de fer métropolitain, devait constituer le premier maillon de ce métro régional.

Depuis lors, la réalisation des deux branches extrêmes de la transversale est-ouest, l'engagement des travaux pour la jonction Auber-Nation et le prolongement à Châtelet de la ligne de Sceaux donnent peu à peu au métro régional la contexture qui lui permettra d'assurer la desserte rationnelle de l'agglomération parisienne en perpétuelle extension.

Ainsi sont réconciliées, un siècle plus tard, les conceptions de l'État et de la Ville de Paris, grâce à la juxtaposition de ces deux réseaux, devenus indispensables à la vie de la capitale.



LES MÉTHODES DE CONSTRUCTION DU MÉTROPOLITAIN DE 1900 A 1938

par Lucien LUPIAC
Directeur des travaux neufs

Grandes périodes de réalisation du métropolitain

Le réseau métropolitain urbain, dont la longueur totale atteint maintenant 177 km, a commencé son exploitation en 1900 et disposait déjà, à la fin de 1914, de 10 lignes totalisant 92 km (*).

Les premières lignes du métropolitain furent réalisées sous l'autorité de l'inspecteur général Fulgence Bienvenüe, justement surnommé : « le père du métropolitain », qui, après avoir préparé les premiers tracés, fixa les caractéristiques constructives du réseau, telles qu'elles ont été suivies jusqu'à nos jours.

Les lignes de la Compagnie du métropolitain comprenaient en 1914 :

- trois lignes traversant diamétralement la ville :
 - n° 1 de la Porte Maillot à la Porte de Vincennes,
 - n° 4 de la Porte d'Orléans à la Porte de Clignancourt (c'est déjà son tracé actuel),
 - n° 3 de la Porte Champerret à la Place Gambetta ;
- trois lignes constituant une circulaire dédoublée à l'Est de Paris :
 - n° 2 de la Porte Dauphine à la Nation par Barbès,
 - n° 5 de l'Étoile à la Gare du Nord par la Place d'Italie,
 - n° 6 de la Place d'Italie à la Nation ;
- deux lignes reliant l'Opéra à la périphérie :
 - n° 7, ligne en fourche, de l'Opéra à la Porte de la Villette et au Pré-Saint-Gervais (elle devait être pro-

longée au Palais-Royal en 1916),
— n° 8 de l'Opéra à la Porte d'Auteuil (l'extrémité sud-ouest de cette ligne a été modifiée en 1937).

Les lignes du Nord-Sud avaient à l'époque sensiblement les mêmes tracés que ceux existant en 1938 :

- n° 12 de Jules-Joffrin à la Porte de Versailles (elle devait être prolongée au nord jusqu'à la Porte de la Chapelle en 1916).
- n° 13, ligne en fourche, de la gare Saint-Lazare à la Porte de Clichy et la Porte de Saint-Ouen.

Ce réseau comprenait déjà les parties aériennes sur viaducs métalliques des lignes n°s 2, 5 et 6 avec les viaducs sur la Seine de Passy (actuellement Bir-Hakeim), Austerlitz et Bercy ; quatre traversées sous-fluviales existaient sur les lignes n°s 4, 8 et 12 (deux sur la ligne n° 8).

A cette époque, on envisageait de constituer au centre de Paris une « ceinture intérieure » à laquelle auraient été raccordées la ligne n° 8 et une nouvelle branche en direction du Sud-Ouest : la future ligne n° 9.

La période qui va de 1920 à 1938 a vu l'extension à 157 km d'un réseau qui devenait assez complet dans le centre de Paris et qui commençait à s'étendre en banlieue. Cette extension a compris les opérations principales suivantes :

- la réalisation des grandes lignes à tracé « parabolique », n°s 7, 8 et 9 ; les deux dernières étant superposées sous les grands boulevards sur une longueur de 1 700 m ;
- l'établissement de deux lignes courtes sur la rive gauche, les lignes n°s 10 et 14, avec un remaniement du tracé initial de la ligne n° 10, ainsi que de celui de la partie sud-ouest de la ligne n° 8 (ces lignes remaniées furent mises en service en juillet 1937) ;
- la réalisation d'une ligne radiale au nord-est de Paris : la ligne n° 11 ;
- enfin des prolongements de lignes, soit jusqu'à la limite de Paris, soit

au-delà de cette limite dans les communes de banlieue : 9 prolongements hors-Paris, totalisant plus de 16 km, furent entrepris et terminés avant ou même pendant la guerre.

Conception des tunnels et des stations

Les premières lignes du métropolitain ont été établies à faible profondeur, sous les voies publiques, ce qui a imposé en de nombreux points l'adoption de courbes de faible rayon — 75 et même 40 m. Cette solution avait été favorisée par le choix d'un gabarit de matériel plus étroit que celui du chemin de fer : 2,40 m au lieu de 3,20 m.

La solution d'un réseau peu profond, dans un sous-sol alors peu encombré, évitait pour la construction d'avoir à travailler dans la nappe aquifère ; pour l'exploitation, les accès pouvaient ne comporter que des escaliers simples, le recours à des appareils élévateurs, dont la technique était à ses débuts, n'ayant qu'un caractère exceptionnel.

Bien entendu, pour les lignes de la deuxième génération, construites après les toutes premières, il était nécessaire de prévoir leur enfoncement aux nœuds du réseau qui se constituait, mais on s'efforçait, partout où c'était possible, d'en remonter le profil près de la surface du sol.

Pour le souterrain courant à deux voies, le profil type adopté à l'origine et conservé jusqu'à nos jours est une section voûtée, en maçonnerie et béton, avec une ouverture intérieure de 7,10 m et une hauteur sous clef de 5,20 m. Les stations courantes à quais latéraux, longues de 75 m, étaient soit du type voûté, avec une ouverture intérieure de 14,14 m et une hauteur sous clef de 5,90 m, soit du type à tablier métallique lorsque la distance entre rail et chaussée était trop faible. Dans ce cas, les poutres principales prenant appui sur les piédroits supportaient des poutrelles sur lesquelles étaient assises des voûtelettes en briques. Ce dernier type de station, assez largement utilisé pour les premières lignes, n'a plus guère été employé par la suite, un modèle de plancher en béton armé étant plutôt choisi après 1920.

(*) Y compris les deux lignes de la Société du chemin de fer Nord-Sud ; société qui a été regroupée avec la Compagnie du chemin de fer métropolitain de Paris en 1930.

La construction de l'infrastructure du tunnel courant et des stations, à l'exclusion des accès de ces stations, a été, jusqu'à la création de la RATP en 1948, du ressort de la ville ou du département (à l'exception du chemin de fer Nord-Sud dont le concessionnaire avait la charge de toute l'infrastructure). C'est le concessionnaire du métropolitain qui, en plus de l'équipement des voies et des installations électriques, était responsable de l'établissement des accès, qui donnait lieu à des travaux entièrement distincts de ceux du gros œuvre principal. Cette solution serait difficilement admissible de nos jours, compte tenu de la complexité des accès, mieux étudiés pour la commodité du public, et de leur étroite imbrication avec la structure même des stations.

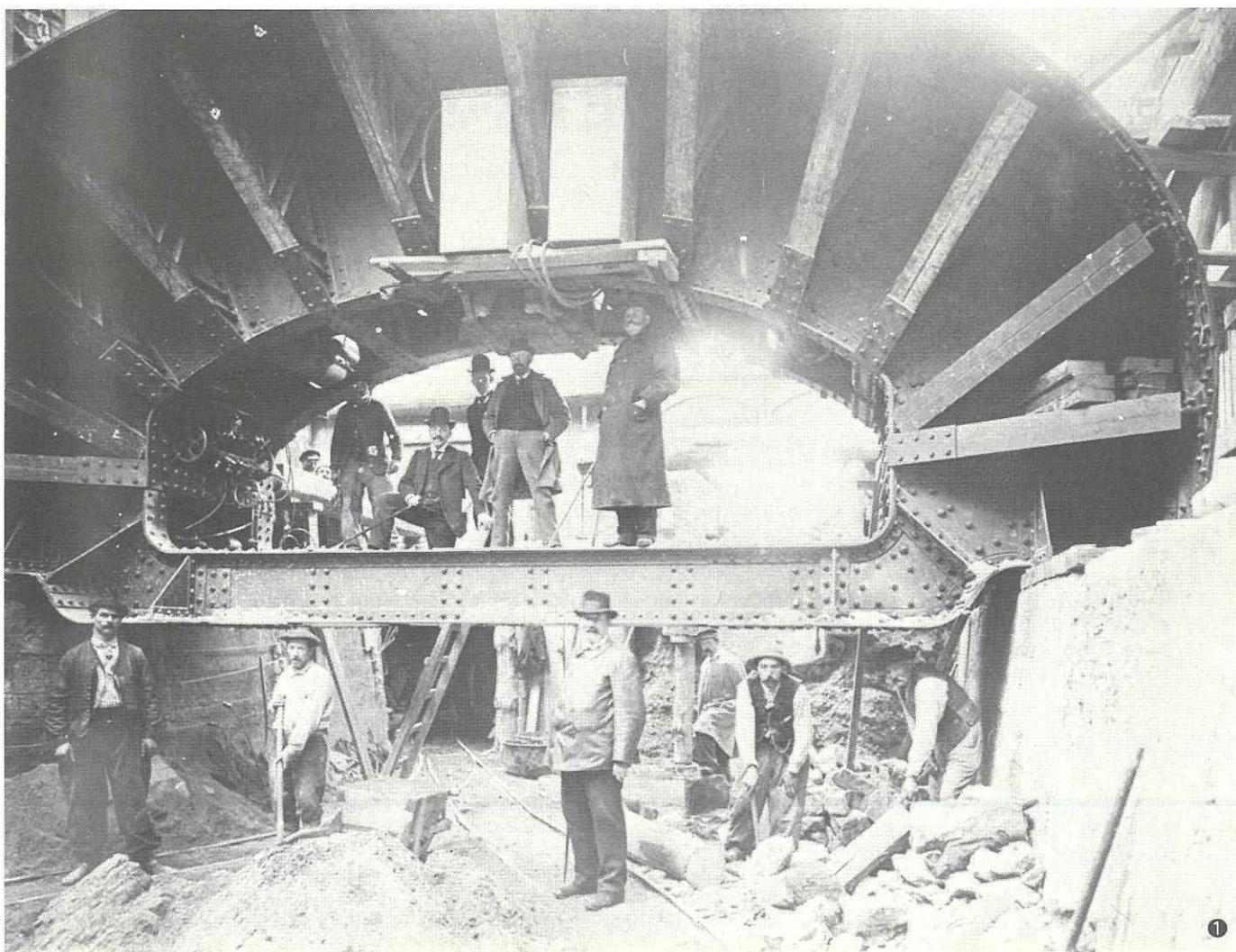
Principes généraux de construction des tunnels et des stations

La construction des ouvrages souterrains d'un réseau métropolitain fait appel à des procédés très divers, les uns conviennent pour les lots de construction courante sans difficultés spéciales, les autres sont mis en œuvre en des points particuliers des lignes où des difficultés résultent soit d'un sous-sol difficile, soit de la proximité de fondations d'immeubles ou d'autres ouvrages souterrains.

Les premières lignes entreprises en 1898 comprenaient :

- la ligne n° 1 de la Porte Maillot à la Porte de Vincennes (10,3 km avec 18 stations),
- et deux sections des lignes actuellement connues sous les numéros 2 et 6 : Étoile-Porte Dauphine (1,57 km avec 3 stations) et Étoile-Trocadéro (1,43 km avec 4 stations).

Pour la construction du tunnel courant, l'utilisation de la méthode classique des galeries boisées, sur laquelle des précisions seront données plus loin, n'avait été prévue que sur 3 des 11 lots qui constituaient ces premiers travaux. Mais sur la plus grande partie du tracé, on devait faire appel à la méthode du « bouclier »,



blindage mobile métallique à l'abri duquel se faisait le terrassement de l'ensemble de la partie supérieure de la section et la construction de la voûte, avant de terminer la réalisation de la partie inférieure de la section (fig. 1). Ce procédé devait permettre de limiter à 11 le nombre des points d'attaque le long des 14 km de lignes. Or, l'utilisation des boucliers, conçus par divers constructeurs, donna lieu à de nombreux déboires dus en particulier à la nature du sol, trop meuble ou par places trop résistant. Si certains des boucliers purent achever normalement leur travail, d'autres durent être démontés ou même abandonnés dans le terrain et on eut finalement recours à la méthode des galeries boisées. C'est ainsi que 22 points d'attaque supplémentaires durent être établis.

A la suite de cette expérience malheureuse, c'est la méthode des galeries boisées qui fut adoptée d'une façon générale, jusqu'en 1937, pour la construction du souterrain courant. Cette méthode était appliquée suivant le schéma général suivant :

- a) construction préalable de la voûte,
- b) reprise des piédroits en sous-cœuvre et enlèvement du « stross » (partie du terrain subsistant dans la moitié inférieure de la section),
- c) confection du radier.

Pour la réalisation des stations voûtées, plusieurs méthodes furent appliquées dès l'origine :

- méthode des galeries boisées pour construire en souterrain en premier lieu les culées et en second lieu la voûte, avant l'enlèvement du stross et l'établissement du radier ;
- construction à ciel ouvert avec voûte édifiée sur « cintre en terre » (fig. 2) ; dans cette méthode, les culées étaient établies dans des tranchées, puis la voûte était montée sur des cintres posés sur le terrain qui était préalablement terrassé en conséquence ; cette construction pouvait se faire en une fois ou en deux phases pour limiter la largeur de la chaussée occupée.

Pour les stations à tablier métallique, les piédroits étaient d'abord édifiés en galerie ou en tranchée, puis le tablier était monté à ciel ouvert après un terrassement de faible profondeur. La chaussée était ensuite rétablie et l'excavation pouvait être continuée sous le tablier jusqu'au radier qui était alors construit, ainsi que les quais (fig. 3).



2 - Rue Saint-Antoine : construction d'une section de tunnel à ciel ouvert sur « cintre en terre ».
3 - Gare de Lyon : mise en place du tablier métallique (travées centrale et de gauche).

Justification de ces méthodes de construction

Ces méthodes de travail, aussi bien en souterrain qu'à ciel ouvert, plus artisanales que les méthodes actuelles, résultaient de procédés mis en œuvre depuis des siècles dans l'exploitation des mines et les travaux souterrains; elles étaient encore compatibles avec les structures techniques, économiques et urbaines du premier tiers de ce siècle.

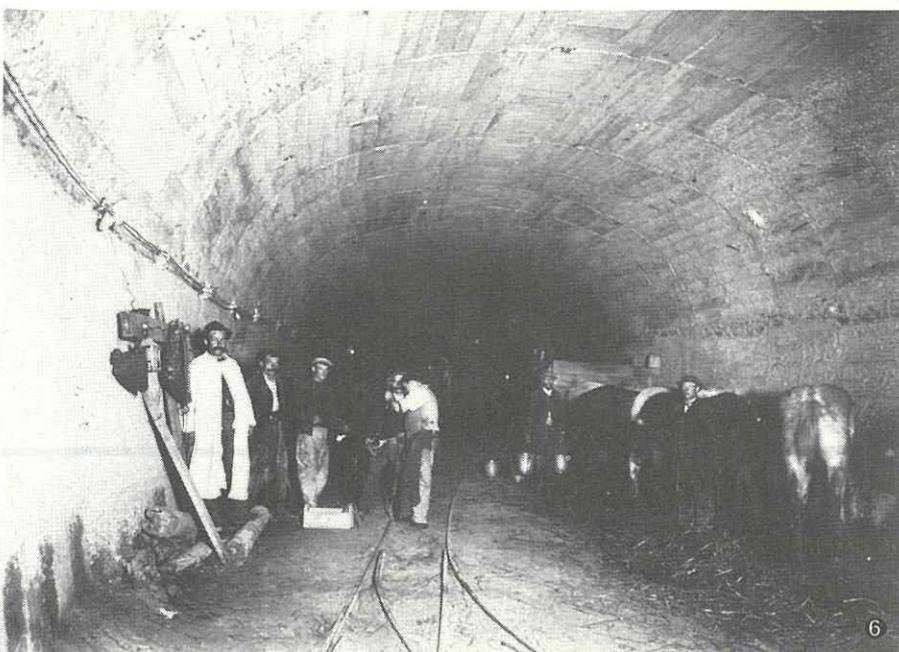
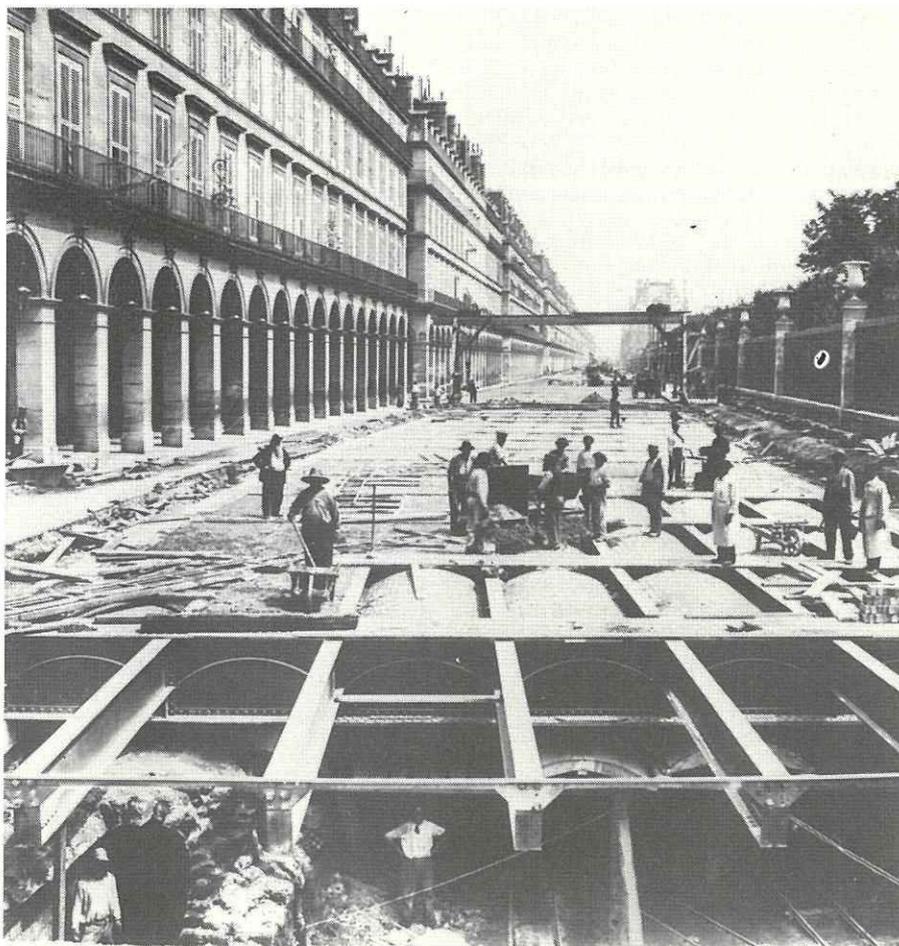
Elles faisaient tout d'abord appel à une partie spécialisée : mineurs, boiseurs, maçons, etc..., utilisant un outillage individuel simple; cette main-d'œuvre était alors abondante sur le marché du travail.

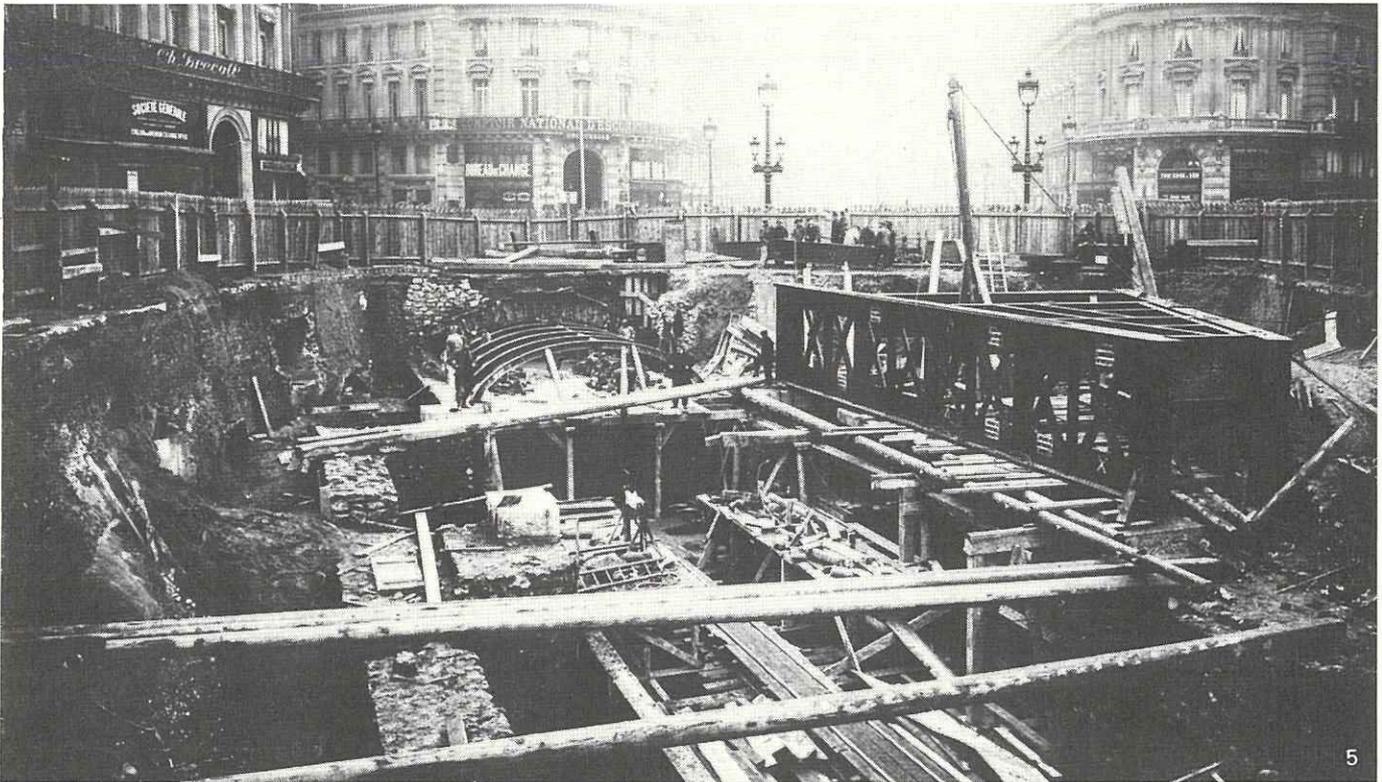
Ces méthodes nécessitaient, d'autre part, des emprises importantes sur la voie publique où la circulation était encore modérée. Pour les travaux souterrains, il s'agissait des puits d'extraction et d'introduction des matériaux, dont la distance moyenne qui était de plusieurs centaines de mètres au début du siècle s'était progressivement réduite aux alentours de 125 m avant la deuxième guerre mondiale.

Pour la construction à ciel ouvert des stations, il était en général nécessaire de libérer totalement la largeur des rues en détournant la circulation; c'est ainsi que dans les premières années du siècle de vastes chantiers interrompirent la rue de Rivoli pour la construction de cinq stations à tablier métallique dont « Hôtel de Ville » (fig. 4). La station « Gare de Lyon », qui comptait quatre voies, nécessita une emprise particulièrement large. Plus tard, la place de la Bastille, la place de l'Opéra furent occupées par de vastes chantiers dont les nuisances seraient inacceptables de nos jours (fig. 5).

Il faut noter à ce propos que le sous-sol des voies publiques était beaucoup moins occupé, à faible profondeur, qu'il ne l'est actuellement par les canalisations des multiples réseaux des services publics : égouts, eau, gaz, électricité, chauffage urbain, téléphone, etc...

C'est grâce à la possibilité d'utiliser une main-d'œuvre abondante, par de nombreux points d'attaque souterrains ou sur de vastes chantiers à ciel ouvert, que les constructeurs du métro purent, au début





4 - Rue de Rivoli : station de la Concorde - achèvement du tablier métallique.

5 - Place de l'Opéra - chantier de l'ouvrage de superposition des 3 lignes (vue intérieure vers Ménilmontant).

6 - Vue d'un souterrain réalisé par la méthode des galeries boisées (place de l'Étoile - 1899). Remarquer l'écurie des chevaux assurant la traction des wagonnets de manutention des déblais et matériaux.

7 - Puits d'attaque de la ligne n° 1 (rue de Rivoli - 1899). La grue est d'un modèle hydro-électrique.

de ce siècle, établir le réseau à un rythme supérieur à 6 km de lignes par an ; 3 000 à 4 000 ouvriers étaient employés simultanément sur les chantiers. Cependant, il ne faut pas sous-estimer l'importance des réclamations auxquelles ces travaux avaient donné lieu à l'époque du fait de la gêne apportée aux riverains.

Les facilités accordées aux constructeurs permettaient des délais d'exécution relativement courts. Ainsi, la ligne n° 1, dont le projet fut approuvé en juillet 1898, fut mise en service en juillet 1900. Sur cette ligne, le lot, long de 1 095 m, qui comprenait les trois stations « Châtelet » (voûtée), « Louvre » et « Palais-Royal » (tabliers métalliques), fut exécuté en dix mois entre fin novembre 1898 et fin septembre 1899.

L'évacuation des déblais, qui de nos jours ne pose pas de problèmes majeurs en raison de la grande capacité des camions et de leur vitesse, était alors une question particulièrement ardue. Pour la ligne n° 1, si des tombereaux à chevaux furent utilisés entre les puits du centre de Paris et les berges de la Seine, où des péniches étaient chargées, des voies ferrées établies avenue de la Grande Armée et cours de Vincennes furent installées sur les terre-pleins de ces artères (fig. 6 et fig. 7).

Méthode des galeries boisées

Principes généraux

Cette méthode s'applique aussi bien à des ouvrages continus, comme les souterrains ou les stations, qu'à des ouvrages locaux et complexes, comme les accès des stations avec leurs salles, leurs couloirs droits ou coudés et les galeries obliques de leurs escaliers. Elle peut être mise en œuvre, avec de légères variantes, aussi bien à proximité immédiate du sol (à un demi-mètre au-dessous de la chaussée par exemple), qu'à grande profondeur dans la nappe aquifère : des ouvrages ont pu être établis par cette méthode sur la ligne n° 11 sous une charge d'eau de 8,50 m.

La méthode consiste à effectuer progressivement et par parties successives l'ouverture de l'excavation des ouvrages et la construction de la voûte, des piédroits ou culées et du radier ; cette construction commence par la voûte pour obtenir le plus rapidement possible la protection définitive du chantier.

Les premières phases du travail concernent l'établissement d'une ou plusieurs galeries longitudinales d'avancement à partir desquelles on procède à des attaques transversales ou « abatages » pour arriver finalement à vider toute la partie supérieure correspondant à la voûte de l'ouvrage ; celle-ci peut alors être construite en maçonnerie, prenant appui de part et d'autre sur le terrain.

L'exécution des piédroits est ensuite entreprise soit à partir d'une cunette longitudinale, soit à partir de puits isolés, par reprise en sous-œuvre des retombées de la voûte. Le terrassement du stross et la constitution du radier terminent l'ouvrage.

Terrassement

La galerie d'avancement traditionnelle est étayée par des cadres trapézoïdaux constitués par des grumes de sapin de 0,30 m de diamètre : ces cadres supportent un blindage en planches, au ciel comme sur les côtés ; ils ont une hauteur de 2,60 m environ, hors blindage, et une largeur moyenne de 2,25 m. Leur écarte-

ment est de 1,60 m, largeur normale d'une « travée », qui correspond à la longueur des planches qui est de 2 m ; les planches ont environ 4 cm d'épaisseur (fig. 8).

Au fur et à mesure du terrassement, les planches de la travée du front de taille sont « enfilées » entre le dernier cadre et le talon des planches de la travée précédente, elles sont, par la suite, appuyées sur les cadres et serrées contre le terrain à l'aide de coins de bois. Sur le front de taille, la sécurité contre les éboulements est assurée par la pose provisoire de planches perpendiculaires à l'axe de la galerie, horizontales et verticales, et de montants supportant les planches du ciel (« gendarmes »), dès qu'elles sont enfoncées dans le terrain.

Une structure analogue, avec longrines et contrefiches en grumes supportant les planches de blindage, est utilisée pour le boitage des abatages qui sont entrepris perpendiculairement à la galerie d'avancement, sur des largeurs de 3,200 m, pour éviter les parties latérales de la voûte ; les contrefiches supportant le blindage, placées en éventail, sont sensiblement normales à l'extrados (fig. 9).

Le déroulement des opérations de terrassement et de boitage s'effectue ainsi dans un ordre rigoureux, chaque pièce, chaque opération ayant un nom caractéristique consacré par une longue expérience : le four, le gendarme, l'enfilage, le chapeau, le faux-chapeau, etc...

L'ensemble des opérations, bien normalisé, permet à tout moment d'assurer un contact parfait du blindage au terrain, d'une part, pour garantir les ouvriers contre tout risque d'éboulement et, d'autre part, pour éviter une décompression des sols qui pourrait donner lieu à des tassements, générateurs de troubles en surface ou sur les immeubles voisins.

Suivant la nature des sols, les planches des blindages verticaux peuvent être jointives ou espacées ; l'étanchéité des joints peut même être renforcée par de la paille, des chiffons ou du plâtre en cas de rencontre de terrains ébouleux.

Maçonnerie

Une grande partie des pièces de charpente qui supportent le blindage occupe l'emplacement que doit remplir la maçonnerie de la voûte ; il est nécessaire, d'une part, de monter les cintres destinés à recevoir le « couchis » de planches jointives

sur lesquelles la voûte sera construite, et d'effectuer, d'autre part, le « changement du bois » : les cintres sont butés par des contrefiches nouvelles et le blindage est calé sur les cintres par des « butons », les bois primitifs peuvent alors être retirés lorsque cela devient nécessaire (fig. 10).

La maçonnerie est établie sur le « couchis », elle est constituée par des assises successives de moellons ou de meulière hourdées au ciment de laitier. Elle est montée symétriquement en partant des naissances et ses éléments résistants sont soigneusement calés contre les planches, constituant le boitage d'extrados, qui sont en général abandonnées dans le terrain. Cette construction se termine par le « clavage » de la partie centrale, large de 80 cm environ, qui s'effectue suivant un processus consacré par l'expérience (fig. 11).

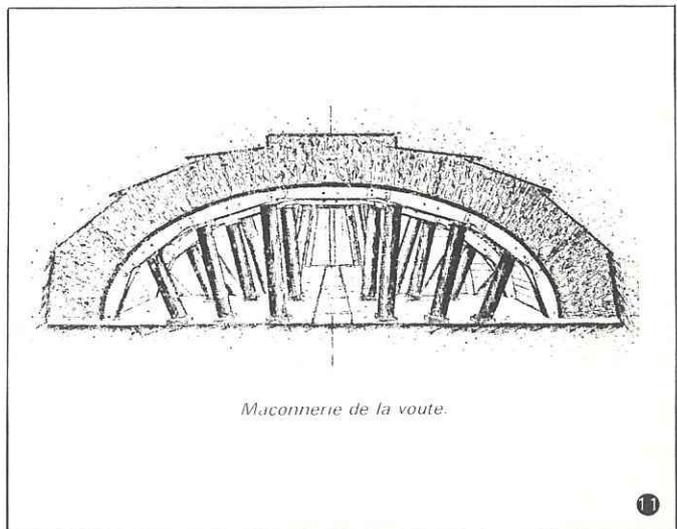
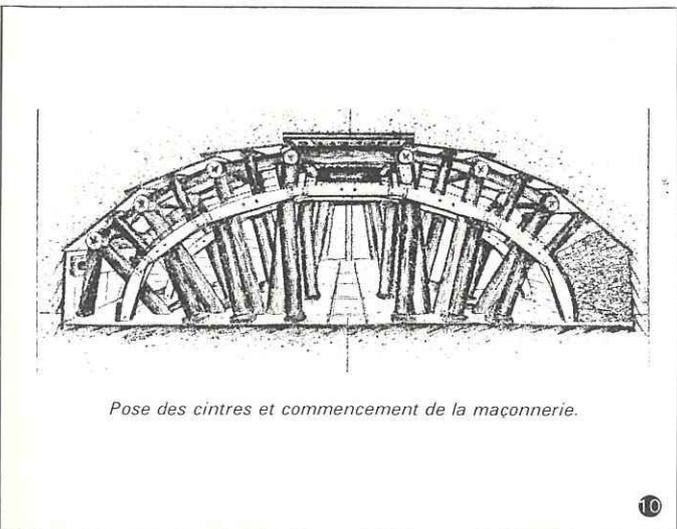
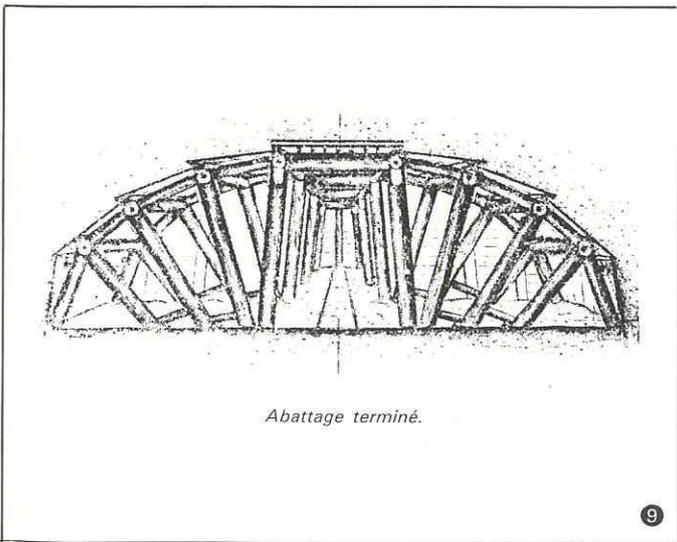
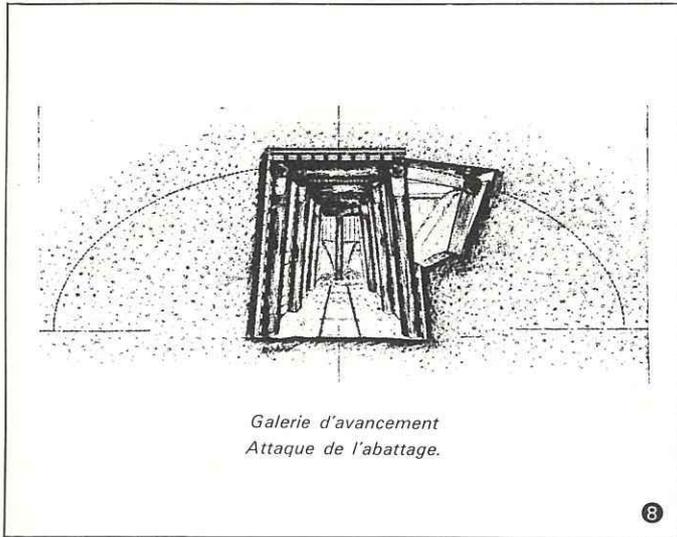
Lorsque la voûte est terminée sur une certaine longueur, on procède à des injections de coulis de ciment grâce à des drains en poterie qui ont été laissés dans la maçonnerie ; ces injections, faites à la pompe à une pression pouvant atteindre 3 kg/cm², ont pour but de combler les vides restant entre le boitage et le sol ou entre les planches du blindage elles-mêmes.

On voit que des précautions multiples sont prises pour éviter de décompresser les terrains au moment où, les bois de support étant retirés, la voûte prend seule en charge le poids des terres. Ces méthodes d'exécution, pratiquées depuis de longues années, ont été complétées depuis par des dispositions nouvelles mettant fréquemment en œuvre des vérins et utilisant d'une manière plus systématique les possibilités qu'offrent les techniques actuelles des injections.

Construction du tunnel

La construction du tunnel courant à deux voies du métropolitain par la méthode des galeries boisées, avec les processus définis ci-dessus, se décomposait alors ainsi :

- a) établissement d'une galerie d'avancement dans l'axe et en haut de la section, le bas de la galerie correspondant au niveau des naissances de la future voûte ;



- b) terrassement de la voûte par des abatages transversaux à partir de la galerie d'avancement, plusieurs abatages étant attaqués simultanément et en les décalant pour ne pas compromettre la stabilité générale du massif ;
- c et d) pose des cintres, puis maçonnerie de la voûte, enlèvement des boissages initiaux puis de ceux supportant les cintres ;
- e) exécution de la « cunette » du stross, tranchée longitudinale axiale allant jusqu'au radier (fig. 12) ;
- f) à partir de la cunette, exécution des piédroits : on procède par des saignées transversales de 3,20 m de largeur disposées en quinconce dans les parois de la cunette jusqu'à l'extrados de la voûte soutenue provisoirement ; le piédroit est construit en béton jusqu'à 0,50 m des naissances de la voûte et un clavage en maçonnerie assure le report de l'appui de la voûte sur le piédroit (fig. 13) ;
- g) exécution du radier.

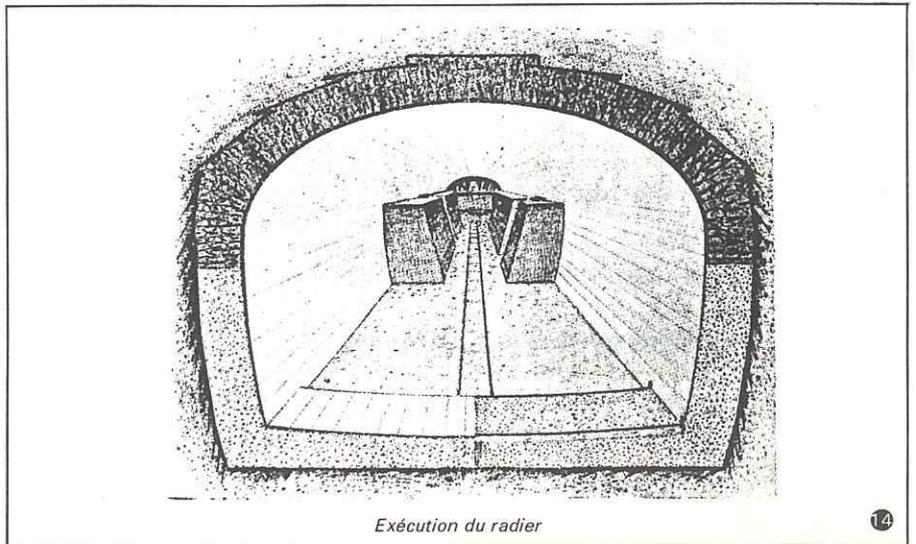
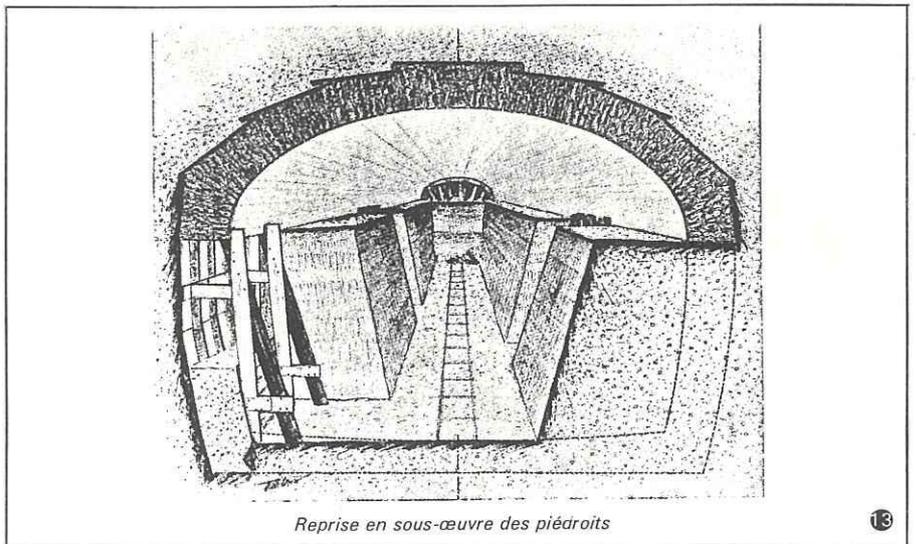
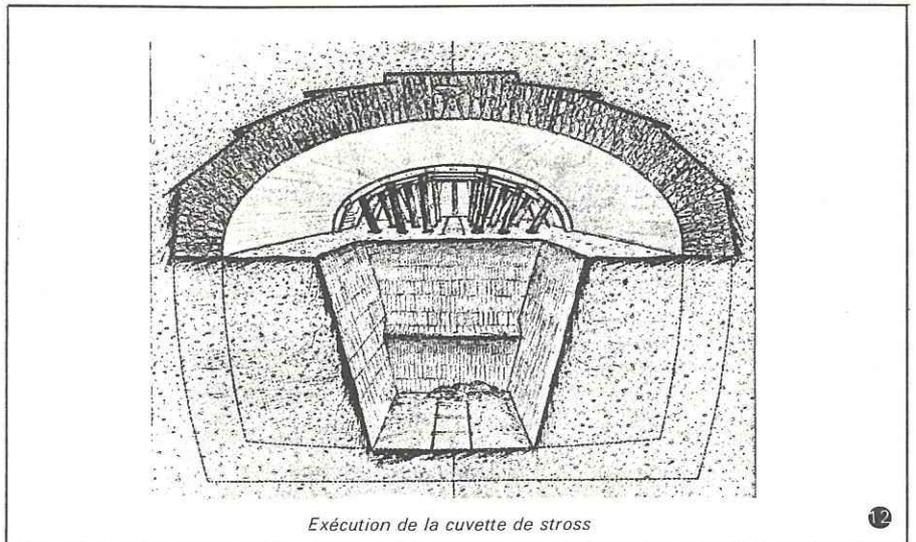
Dans certains cas, il était nécessaire d'inverser les opérations e) et f) et d'exécuter tout ou partie des piédroits en puits, à partir du niveau des naissances, avant d'entreprendre le déblaiement du stross (fig. 14).

Construction des stations en souterrain

La construction en souterrain des stations, dont les voûtes atteignaient 14,14 m de portée intérieure, était différente de celle du tunnel.

Dans la méthode la plus courante, on commençait à établir des galeries d'avancement à l'emplacement des culées de l'ouvrage et on construisait ces culées en maçonnerie. Puis, une galerie d'avancement était constituée dans l'axe et au sommet de la voûte, les abatages étaient ensuite entrepris à partir de cette galerie jusqu'aux culées ; la voûte était alors construite en prenant appui sur ces culées.

Bien entendu, pour les constructions plus complexes — stations à double



voûte, stations superposées, proximité des immeubles — la méthode des galeries boisées pouvait toujours s'appliquer en combinant des galeries d'avancement, des puits verticaux ou obliques, des abutages transversaux.

Traversées sous-fluviales

Sur les traversées sous-fluviales existant en 1938, quatre avaient été établies, avant 1914, par plusieurs méthodes dont les principes sont toujours valables.

a) Ligne n° 4

Le passage sous les deux bras de la Seine encadrant l'île de la Cité se compliquait par la présence de deux stations, l'une, « Cité », près du grand bras du fleuve, l'autre, « Saint-Michel », près du petit bras. Pour ce travail, qui dura de

1905 à décembre 1909, on eut recours au fonçage vertical de caissons métalliques, aussi bien pour la traversée des bras (trois caissons et deux caissons) que pour les deux stations. Pour chacune de ces dernières, on a mis en place un caisson central de 66 m de long, large de 16,50 m, correspondant au volume entourant la presque totalité des deux quais, et deux caissons constituant des puits cylindriques aux extrémités des quais pour les escaliers et ascenseurs d'accès (fig. 15).

Chacun des caissons sous-fluviaux était constitué par une ossature en charpente métallique supportant le cuvelage intérieur du souterrain en éléments de fonte assemblés ; un tôleage extérieur constituait avec le cuvelage un vide qui devait être rempli de béton au moment du fonçage.

La base du caisson était entourée d'une « trousse » de section triangulaire constituant une chambre de travail. Après obturation provisoire des extrémités du caisson, celui-ci était mis en place par

flottage, puis lesté et échoué sur le lit du fleuve. La chambre de travail était alors mise en pression pour permettre les opérations manuelles d'excavation assurant la descente du caisson à sa cote définitive. Celle-ci atteinte, la chambre de travail était remplie de béton et le caisson vidé d'eau et la fouille remblayée.

Un processus analogue a été utilisé pour le fonçage des caissons des stations. Si les travaux de la station « Cité », sur la place du Marché-aux-fleurs, n'étaient pas très gênants, ceux de la station « Saint-Michel », sur la place du même nom et dans la rue Danton, ont interrompu la circulation pendant de longs mois.

La construction du souterrain entre les divers caissons fit appel à différentes techniques ; il faut signaler en particulier qu'entre le petit bras et la station « Saint-Michel », sur une largeur de 64 m dans un terrain aquifère, on eut recours à la congélation du sol avant attaque par les procédés classiques.



Construction du caisson central de la station Saint-Michel.

b) Ligne n° 8 au Pont Mirabeau

Cette traversée fut exécutée entre 1907 et 1913, les travaux ayant été retardés par l'inondation de 1910. On eut également recours à cet endroit à la méthode des caissons ; cinq caissons de 35 à 44 m furent foncés dans le lit du fleuve, avec travail d'excavation à l'air comprimé.

c) Ligne n° 12 (Nord-Sud) - 1907-1909 Ligne n° 8 à la Concorde - 1908-1911 Ligne n° 7 à Sully-Morland - 1927-1930

Ces trois traversées furent réalisées par la méthode du bouclier, avec travail à l'avancement dans l'air comprimé dans les trois cas. Le bouclier permettait l'attaque sur la section complète du tunnel et avançait en prenant appui par des vérins sur le cuvelage constitué derrière lui par l'assemblage de voussoirs en fonte.

Pour la ligne du Nord-Sud, la traversée sous-fluviale fut constituée par deux tubes circulaires de 5 m de diamètre intérieur et deux boucliers furent utilisés. Au contraire, pour les lignes n°s 8 et 7, on adopta un seul tube circulaire de 7,25 m de diamètre intérieur.

Conclusion

La méthode des galeries boisées, qui a servi jusqu'en 1937 à la construction de la plus grande partie des souterrains du métropolitain urbain actuel, reste encore utilisée pour des ouvrages ponctuels, tels que couloirs ou ouvrages spéciaux, particulièrement lorsqu'il s'agit de travaux délicats à effectuer au contact d'ouvrages du réseau existant.

En revanche, pour l'exécution de sections plus importantes de souterrain, comme le tunnel courant des lignes ou les stations, des méthodes plus industrielles, permettant un travail à grand rendement avec un personnel réduit, à partir de puits d'attaque très espacés, ont été mises au point depuis 1960. L'implantation de ces puits pose en effet de difficiles problèmes dans les quartiers centraux de nos villes où des entraves à la circulation automobile sont difficilement admises.

Les nouvelles méthodes de travail souterrain font souvent appel à la régénération des sols par des injections pour en améliorer la tenue avant les travaux d'ex-

cavation. Elles sont caractérisées en général :

- par le travail à pleine section, du moins dans la partie supérieure des ouvrages,
- par l'emploi de soutènements métalliques, allégés et démontables, dégageant largement le front de taille,
- par l'utilisation d'engins mécaniques pour les opérations de terrassement,
- par des moyens puissants de recompression des sols mettant en œuvre des vérins.

Au sommet de cette gamme très variée de procédés se situent les machines à forer qui peuvent assurer des forages souterrains longs de plusieurs kilomètres à partir d'un seul puits d'attaque.

Lorsque la construction des ouvrages à ciel ouvert peut être envisagée, des processus modernes facilitent le blindage des fouilles et limitent la durée de l'occupation de la surface.

C'est cette grande variété des méthodes qui permet aux constructeurs du métropolitain actuel de résoudre les multiples problèmes posés par l'extension ou la création des lignes souterraines dans une ville aussi complexe que Paris par la nature de son terrain, l'encombrement de son sous-sol et l'occupation de sa surface.

Malgré l'apport de procédés modernes de construction, les travaux souterrains, surtout dans les terrains variés de la région parisienne, restent toujours difficiles et font appel, à tout moment, à la compétence et à la vigilance d'un personnel de qualité.

Certes, comme le disait déjà si bien Fulgence Bienvenüe, « le propre des constructions souterraines... c'est d'être parfaitement ingrates à l'égard de leurs auteurs ; il est rigoureusement vrai de dire que si la difficulté y a été réellement et complètement vaincue, l'ouvrage ne doit plus en porter la trace et les hommes qui l'ont surmontée n'ont que la ressource d'être crus sur parole ».

L'EXPLOITATION ET LES INSTALLATIONS FIXES ÉVOLUTION DU MÉTRO DE 1900 A 1930

par André RONSIN
Ingénieur en chef adjoint à la Direction du réseau ferré

Avant-propos

Bien avant sa naissance (le 19 juillet 1900), les Ingénieurs de la Compagnie du Métropolitain de Paris (C.M.P.) avaient déjà axé leurs études sur 2 principes : la **sécurité** et la **régularité** du transport des voyageurs sur le réseau. Ils n'ont fait ensuite qu'intensifier leurs efforts dans ces deux directions.

Pour apprécier ceux-ci à leur juste valeur, il faut que l'on connaisse bien l'échelle des problèmes mis en jeu, concernant la croissance du métropolitain :

- de 14 km en 1900, il passe à 87 km à la veille de la guerre 1914 et à 126 km en 1931.

La progression du trafic est encore plus significative :

- de 55 millions de voyageurs en 1901 (une année d'exploitation), il passe à :

428	d°	1911
637	d°	1921
929	d°	1931

La densité du trafic de 7,5 millions de voyageurs par km de ligne dépasse de beaucoup les réseaux de transport du monde entier.

Dans ses dix premières années le métro a acquis sa constitution qu'il maintiendra pendant plus de 50 ans, sa technique est sûre ; tout ce qui touche le métro se traduit par des chiffres impressionnants :

- plus de 3 millions de voyageurs par jour,
- plus de 500 000 km de parcours journalier pour les matériels,
- plus de 1 600 000 fonctionnements quotidiens de signaux.

On se rend compte des difficultés d'une telle exploitation effectuée avec une **régularité** de chronomètre, difficultés surmontées en si peu de temps grâce à un personnel remarquablement instruit et à des techniciens soucieux de la **perfectibilité** des installations.

Nous devons, à ce titre, souligner la **prudence** des ingénieurs qui savaient se tenir « ... dans les limites normales de la complication des installations et les ris-

ques de dérangement qui peuvent en découler sous peine... d'aboutir à un système qui fonctionne sur le papier et en laboratoire, mais qui, sur le terrain, ne peut donner que des déboires... ».

C'est ainsi que, quelques années après sa mise en service, les principes de réalisation des équipements étaient ce qu'ils sont encore à l'heure actuelle et que la signalisation était réalisée pour « assurer la couverture des trains » par 2 signaux au rouge ; elle exigeait, toutefois, pour la réalisation d'intervalles de temps prévus entre trains de 1 minute 30 secondes, la présence de signaux spéciaux à certaines entrées en stations (stationnement supérieur à 40 secondes).

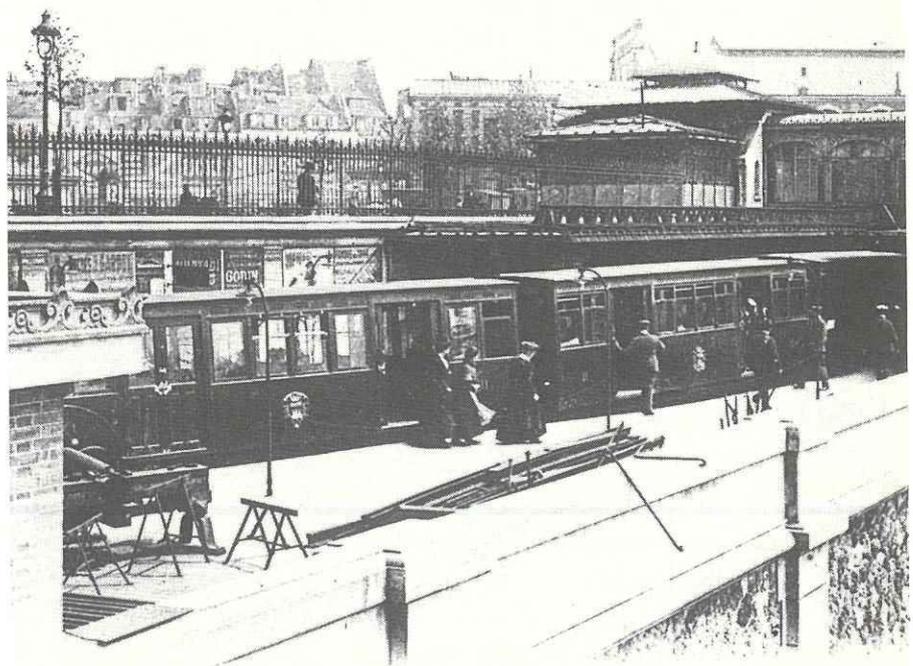
C'est grâce à ces techniques éprouvées par la pratique et à ces soucis d'économie que le métro de Paris a garanti ses succès futurs et n'a pas craint d'envisager, dès sa naissance, de longs projets d'avenir et d'extension à peine concevables à cette époque.

Formation et circulation des trains

Lorsque le 19 juillet 1900 la « Compagnie du Chemin de fer Métropolitain de Paris » fit circuler ses premières rames sur la ligne n° 1, de la Porte de Vincennes à la Porte Maillot, celles-ci étaient formées de 3 voitures à essieux parallèles dont une motrice à deux moteurs et deux remorques. La longueur des voitures était d'environ 8 mètres ; elles comportaient alors deux portes à un seul vantail. Les trains dont la longueur était de 25 mètres desservaient des stations dont les quais mesuraient 75 mètres.

Le succès fut tel que très rapidement une quatrième voiture doit être ajoutée aux trains.

Dès 1903, de nouvelles voitures apparaissent. Les nouvelles motrices permettent de former des trains de 8 voitures en utilisant deux trains de quatre voitures que l'on attelle dos à dos de manière à placer les deux motrices aux extrémités



Vue des quais de la station Bastille.

du train. La ligne n° 2 est exploitée de Nation à Dauphine avec des trains qui ont alternativement quatre et huit voitures ; la longueur des trains de 8 voitures atteint 70 mètres, ce qui justifie, dès 1903, la longueur de 75 mètres des quais. L'exploitation par des trains de longueurs si différentes dut être rapidement abandonnée car elle donna lieu à de nombreuses difficultés (manœuvres pénibles de formation des trains de 8 voitures, mauvaise répartition des voyageurs sur les quais en fonction de la longueur du train attendu, temps de stationnement excessif des trains courts dû au déplacement des voyageurs sur les quais qui attendaient un train long).

On adopte alors des voitures à bogies de 11 à 13 mètres environ de longueur, formant des trains de 5 voitures dont deux motrices à deux moteurs.

La vitesse maximale des trains, fixée initialement à 36 km/h par les autorités administratives, fut portée à 45 km/h en

1906. Cette vitesse n'est pas aussi contraignante que nous pouvons l'imaginer actuellement car les courbes et le profil de la voie ainsi que les longueurs des interstations s'opposent à la réalisation de vitesses maximales élevées, compte tenu des performances modestes du matériel roulant. La vitesse maximale fut portée à 60 km/h en 1933 et à 70 km/h en 1957.

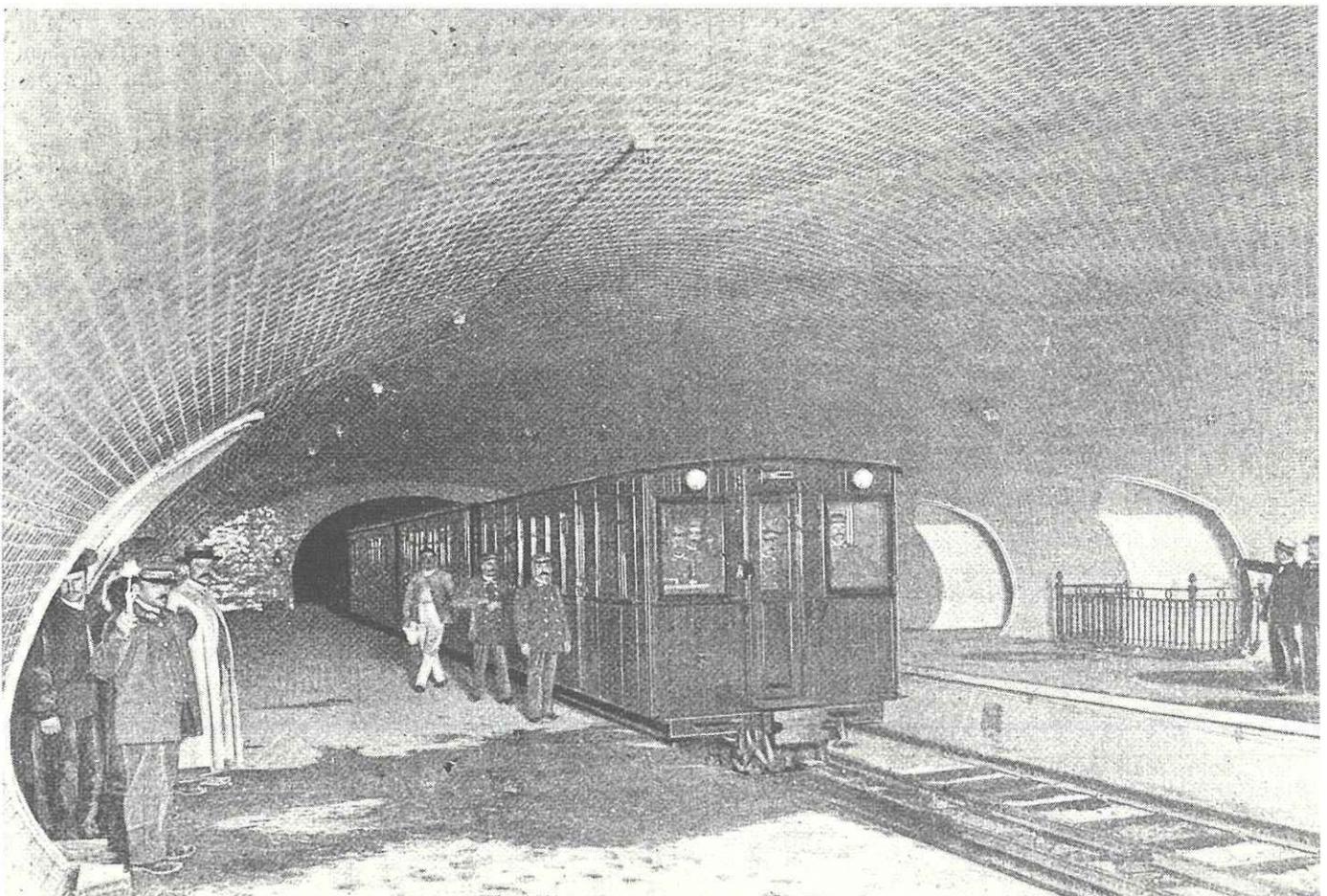
La signalisation d'espacement est automatique mais les signaux intermédiaires sont peu nombreux. Chaque quai est précédé d'un signal dit « d'entrée » et suivi d'un signal dit de « sortie ». Cet équipement simple et les performances du matériel roulant ne permettent pas de réaliser des intervalles faibles. Les manœuvres de garage et de dégarage sont commandées manuellement, dans les terminus, tant en ce qui concerne les aiguilles que les signaux ; cet équipement interdit les faibles intervalles.

Les premiers terminus ont été construits en boucle. Le terminus en boucle était pratiquement imposé, à l'origine,

par l'utilisation de trains n'ayant qu'une seule motrice alors que celle-ci n'avait qu'un seul poste de conduite. Les boucles permettaient de réaliser les manœuvres de garage, dégarage et surtout de changement de voie principale avec une signalisation très simple. Les extensions successives des lignes firent préférer les terminus en tiroir dès que les trains purent être formés avec une motrice à chaque extrémité.

Les boucles initialement construites devinrent, pour la plupart, mal utilisées ou même inutilisées à la suite des extensions successives.

Les rampes de 40 mm/m, existant sur les lignes, étaient franchies sans trop de difficulté lorsque tous les moteurs d'un train étaient actifs ; malheureusement l'inactivité d'un groupe de deux moteurs imposait pour le train une marche sans voyageur et parfois la détresse, qui nécessitait le poussage par le train suivant, créait une interruption de service de l'ordre de vingt-cinq minutes dans les



cas les plus favorables. Cette situation durera jusqu'à l'introduction du matériel à unités multiples, en 1904, permettant de former des trains ayant trois motrices, celles-ci n'ayant toujours que deux moteurs.

Le 5 novembre 1910, la Compagnie du Chemin de fer Nord-Sud met en service la ligne A (devenue ligne n° 12 de la RATP) entre Porte de Versailles et Notre-Dame-de-Lorette. Le matériel roulant marque un progrès énorme. Les motrices, conçues pour fonctionner en unités multiples, ont 4 moteurs de traction et chaque train est encadré par deux motrices ; toutes les voitures sont métalliques. La fermeture des portes est commandée pneumatiquement par le personnel d'accompagnement du train. Sur ces trains, une avarie à un groupe de deux moteurs permet de ne pas interrompre le service des voyageurs. Tout ceci constitue un avantage considérable pour la clientèle qui trouve un service « plus disponible » et une meilleure sécurité.

Ce n'est qu'en 1928, après que seront pansées les blessures de la guerre 1914/1918, que la Compagnie du Chemin de fer Métropolitain mettra en service des motrices à 4 moteurs ayant d'abord 3 portes de 1,20 mètre de largeur puis 4 portes de 1 mètre. Dès lors, les trains de 5 voitures, construits à cette époque, auront une longueur de 74,75 mètres ; ils seront formés de 2 motrices et 3 remorques. Cependant, les prévisions de trafic pour l'Exposition Coloniale de 1931 laissent prévoir une demande de transport qui ne pourra être satisfaite que par des trains de 7 voitures ; ceci explique qu'en 1930, le prolongement de la ligne n° 8 entre Richelieu-Drouot et Porte de Charenton soit réalisé avec des quais de 105 mètres, capables de recevoir des trains de 7 voitures. Durant toute la période de l'exposition, chaque train a été formé de 2 motrices à 4 moteurs, une motrice à 2 moteurs et 4 remorques dont une de 1ère classe, située au milieu du train ; deux voitures de chaque train circulaient sans voyageur avec leurs portes verrouillées, sur la partie de ligne comportant des stations de 75 mètres.

Personnel des stations

Le personnel d'une station comprenait, dès l'ouverture de la ligne n° 1, durant toute la durée du service, un chef sur-

veillant, une receveuse et un surveillant par quai ; des receveuses et des surveillants renforçaient le service de base chaque fois que le trafic le nécessitait.

Le chef surveillant avait autorité sur tout le personnel de la station, y compris le personnel des trains immobilisés dans la station. Il se tenait normalement dans le bureau situé sur l'un des quais et devait répondre aux appels téléphoniques.

La receveuse assurait la vente des titres de transport.

Les surveillants se tenaient à l'entrée des quais. Ils contrôlaient les titres de transport et interdisaient l'accès au quai dès qu'un train entrerait en station, en fermant les portillons manuels dont ils avaient la charge.

Le chef surveillant avait une fonction « station » et une fonction « train » ; il intervenait pour tout incident survenu dans la station (recette, contrôle, accident de voyageurs ou d'agents) et pour certaines déficiences de la signalisation, de l'alimentation en courant de traction ou de l'éclairage. Il intervenait également en cas de retard des trains et assurait la transmission des informations entre les gradés et le personnel des trains (dans les deux sens).

Dans certaines stations, lorsque la disposition des accès et la faible importance du trafic le permettait, les postes de surveillant, normalement placés sur cha-

que quai, étaient regroupés à un niveau supérieur. L'installation de portillons automatiques dont le fonctionnement était commandé par les trains se développa à partir de 1921. Elle permit de développer le système dit du « contrôle unique » parce qu'il était commun aux deux quais d'une station ; il devenait, en effet, possible d'interdire par les portillons automatiques l'accès au quai, qui était précédemment assuré par le personnel de contrôle.

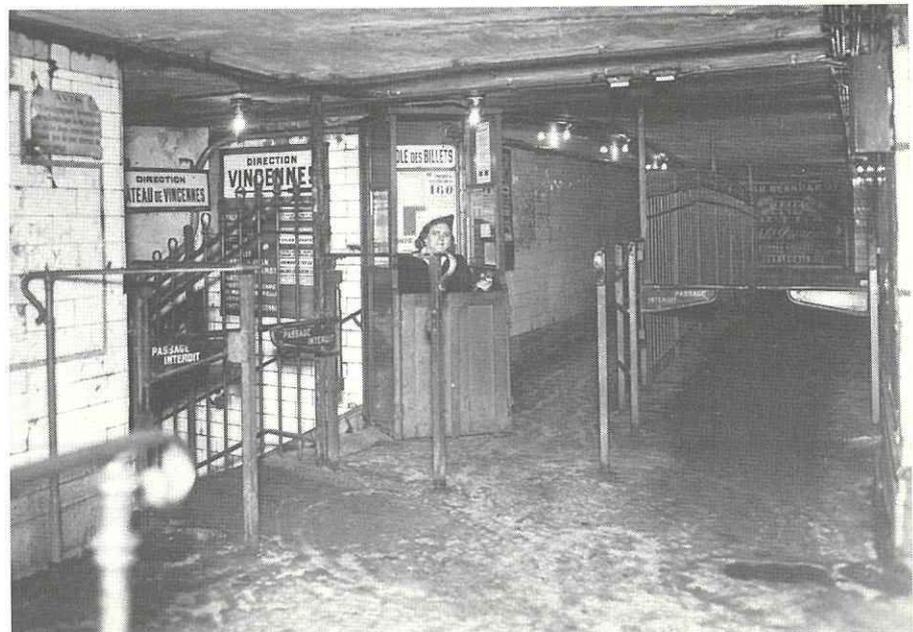


Photo du haut : poste de contrôle. Ci-dessous : accès et contrôle des billets en 1947.

Personnel des trains

A l'ouverture de la ligne n° 1, l'équipe d'un train était formée par un conducteur et un garde par voiture. Le garde, placé dans la motrice de conduite, était « chef de train » ; il avait autorité sur tout le personnel du train. En station, il était placé sous l'autorité du chef surveillant.

Dès 1903, le personnel d'un train de 4 voitures comportait un conducteur et 3 gardes. Il en résultait que certains gardes fermaient à la main non seulement les deux portes de leur voiture, mais aussi une porte d'une voiture voisine. A la même date, le personnel d'un train de 8 voitures comportait un conducteur et 6 gardes.

L'introduction progressive de la fermeture électropneumatique des portes

permettra de limiter le personnel d'un train de 5 voitures à quatre agents, dont un conducteur, un chef de train, un garde dans la voiture de première classe assurant le contrôle des titres de transport, un garde-arrière se tenant dans la dernière voiture. L'effectif du personnel par train était le même à la Compagnie Nord-Sud.

A noter qu'en 1931, lorsque la ligne n° 8 fut exploitée de Porte d'Auteuil à Porte de Charenton par trains de sept voitures, chaque train était servi par un conducteur, un chef de train, un garde dans la voiture de première classe et un garde-barrière ; de plus, entre Richelieu-Drouot et Porte d'Auteuil et retour, un garde supplémentaire prenait place à la dernière porte de la cinquième voiture. Il assurait alors sur ce parcours la commande de fermeture automatique des portes des 4^{ème} et 5^{ème} voitures que ne pouvait pas assurer le garde de la dernière voiture par manque de visibilité puisque les deux dernières voitures restaient dans le tunnel.



Loge de conduite sur ancien matériel.

Encadrement du personnel d'exploitation

Service du Mouvement

Les agents des stations et les agents d'accompagnement des trains appartenaient au Service du Mouvement.

Les agents des stations étaient placés sous l'autorité des « contrôleurs ». Les chefs surveillants pouvaient rapidement entrer en liaison avec les contrôleurs par les liaisons téléphoniques existantes ; cette situation facilitait l'action des chefs surveillants dans les incidents délicats.

Les contrôleurs avaient également autorité sur les agents des trains en dehors des terminus.

Dans les terminus, le personnel du Service du Mouvement (gardes, surveillants, receveuses) était placé sous l'autorité des sous-chefs de gare. Ce personnel comprenait, en outre, un « chef de départ » qui assurait l'expédition des trains en ligne aux heures voulues et des agents de manœuvre chargés d'organiser et d'exécuter les manœuvres à l'intérieur du terminus.

L'activité des sous-chefs de gare d'un terminus était coordonnée par un chef de gare.

Les contrôleurs étaient placés sous l'autorité d'un inspecteur du Service du Mouvement. Les chefs de gare, initialement indépendants de l'inspecteur, furent par la suite placés sous les ordres de celui-ci.

L'effectif de personnel placé sous les ordres de l'inspecteur était important et les nombreuses tâches administratives (gestion du personnel, enquêtes relatives aux incidents d'exploitation, enquêtes relatives aux plaintes, répartition des congés...) laissaient peu de temps pour entretenir l'instruction des gradés et des chefs surveillants.

Les inspecteurs de ligne du Service du Mouvement étaient placés sous l'autorité d'un chef de service et de son état-major.

Service du personnel de conduite des trains

À l'ouverture de la première ligne, les conducteurs dépendaient du Service « Matériel et Traction », responsable de l'entretien du matériel roulant, disposition commune à de nombreuses entreprises de chemin de fer. Il est rapidement apparu que sur un réseau métropolitain le personnel de conduite n'avait pas de relation privilégiée avec celui des ateliers et qu'un service de la Traction, totalement autonome, devait être créé. Sa fonction essentielle devait être la « sécurité » : sécurité de circulation des trains et sécurité particulière imposée par la concentration des installations en souterrain.

Créés en 1903, les gradés des terminus du Service de la Traction dits « chefs de secteur », outre leur rôle de chef des conducteurs du terminus, étaient responsables de la sécurité et de la marche des trains dans un secteur correspondant généralement à une moitié de ligne. Ils intervenaient en cas d'incident en se rendant sur le train avarié qui, pour certaines avaries graves, devait attendre leur arrivée pour reprendre la marche.

Le maintien des connaissances acquises par les conducteurs était une des préoccupations constantes des chefs de secteur.

Les conducteurs et chefs de secteur d'une ligne étaient placés sous l'autorité d'un inspecteur du Service de la Traction.

L'inspecteur coordonnait l'action des chefs de secteur, procédait aux enquêtes consécutives aux incidents et retards, participait activement à l'instruction du personnel (conducteurs et gradés) placé sous son autorité.

Il résultait de cette dernière tâche que l'inspecteur connaissait chacun de ses subordonnés et sa valeur professionnelle.

Les conducteurs ne pouvaient compter que sur leurs connaissances professionnelles pour prendre, sur leur train, en toutes circonstances, les mesures de sécurité appropriées et, en cas d'avaries peu graves, pour traiter celles-ci et reprendre la marche avec le retard minimal.

Cette situation était imposée par l'absence de relation téléphonique directe entre le conducteur d'un train et les gra-

dés du service de la Traction. Ceci explique et justifie pleinement l'importance que donnait le service de la Traction à l'instruction professionnelle.

Les inspecteurs de ligne du service de la Traction étaient placés sous l'autorité d'un chef de service et de son état-major.

Particularité du Chemin de fer Nord-Sud

Ce petit réseau comportait la ligne Porte de Versailles - Porte de la Chapelle et la ligne Saint-Lazare - Porte de Saint-Ouen - Porte de Clichy. Le remplacement des gradés posait donc un problème particulier dû au faible effectif de ceux-ci. Pour réunir le nombre de gradés de réserve, les nouveaux promus étaient instruits de manière à pouvoir remplacer aussi bien les contrôleurs et sous-chefs de gare que les chefs de secteur.



Affluence sur le quai de la station Louis-Blanc en 1934.

Complémentarité des entreprises « Métro » et « Nord-Sud »

La Compagnie du chemin de fer métropolitain de Paris et la Compagnie du chemin de fer Nord-Sud ont toujours entretenu des relations étroites de coopération active. Celle-ci s'est manifestée pour les voyageurs dès l'ouverture du Nord-Sud par la mise en service de couloirs de correspondance entre les quais des lignes qui se croisaient, même si elles appartenaient à des entreprises différentes. De ce fait, les Parisiens ont disposé d'un « réseau » unique à tarification uniforme, la seule contrainte imposée étant d'entrer sur un réseau en présentant un titre de transport vendu par ce réseau.

Les deux entreprises fusionnèrent en 1930 et peu à peu les interpénétrations de personnel s'organisèrent et les règlements s'unifièrent. Des rames du Métro circulaient alors sur les voies Nord-Sud, mais les voitures du Nord-Sud ne purent pratiquement pas circuler sur les voies du Métro du fait de leur hauteur légèrement supérieure.

Moyens techniques mis à la disposition de l'exploitation

Voie

Atelier de la Voie :

Initialement le dépôt de la voie est situé dans les ateliers du Matériel roulant de Saint-Fargeau.

Dans ce dépôt étaient entreposées les pièces de rechange et fabriqués les appareils de voie.

Pour subvenir aux besoins toujours croissants de matériel de voie, en 1932, les ateliers de la Villette, primitivement affectés au Matériel roulant, sont aménagés spécialement pour les fabrications du service de la Voie.

Voie :

Dès l'origine, la voie était constituée de rails lourds, type Vignole de 52 kg/m, d'abord de 15 m de longueur, puis de 18 m, alors que les chemins de fer, à la même époque, n'utilisaient que du rail n'excédant pas 36 kg/m.

Le Nord-Sud était équipé de rails double-champignon, également de 52 kg/m.

Il est intéressant de noter que lors de la transformation de la ligne n° 1, en mise sur pneumatiques en 1963, des rails de 15 m étaient encore en service.

Du fait des courbes de faibles rayons, de la circulation identique de toutes les rames, le « Métro » a été le premier à lutter contre l'usure ondulatoire des rails. Deux trains meuleurs, à patins abrasifs circulaient, chaque nuit, pour pallier cet inconvénient.

Aération du souterrain :

Dès l'ouverture des lignes, l'aération du souterrain est assurée en des points convenablement choisis, compte tenu du mouvement des voyageurs, de la profondeur et des possibilités d'émergence. C'est ainsi qu'en 1930, il y a 225 ouvrages spéciaux nettoyés et entretenus mensuellement.

Pour améliorer l'aération du tunnel, la nuit, les stations sont fermées par des grilles qui permettent la libre circulation de l'air dans les accès et le tunnel.

Le degré de pollution de l'air est suivi par le laboratoire municipal qui effectue des comparaisons en teneur de CO₂ entre les souterrains du métro et d'autres lieux, tels que la tour Eiffel et certains lieux publics.

Nettoyage du souterrain :

Les parois du souterrain sont dépoussiérées et lavées sur toute leur surface avec du lait de chaux. Ce lavage est effectué de nuit par des truck-chauffeurs circulant à 6 km/h sur un parcours moyen de 1 800 mètres par nuit.

Le ballast est arrosé à l'aide des mêmes trucks le soir, entre 21 h 30 et 23 heures ; chaque ligne est ainsi arrosée 5 jours consécutifs par mois.

Les stations sont nettoyées de nuit ; outre le nettoyage journalier, elles sont lavées à la brosse et à grande eau deux fois par mois.

Alimentation en énergie électrique

L'étude précédant la construction du chemin de fer métropolitain prévoyait une autonomie totale en matière de production d'énergie électrique.

Dès 1898, la construction d'une usine thermique, alimentée au charbon, était entreprise rue de Bercy ; malheureusement, d'importants retards dans la construction du matériel électrique, qui lui était destiné, obligèrent en 1900 la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris à la mise en service du tronçon « Vincennes - Porte Maillot » de la ligne n° 1 à avoir recours, d'une part, à la Compagnie de l'Air comprimé pour fournir du courant continu sous 600 volts, tension adoptée pour la traction du matériel roulant, d'autre part, à la Société Le Triphasé d'Asnières pour fournir du courant alternatif 5 000 volts 25 périodes, destiné à être transformé en courant continu par des commutatrices installées dans les différentes sous-stations.

L'usine de Bercy, terminée en 1901, est mise en service. Quatre groupes électriques fournissaient du courant 5 000 volts alternatif. Une batterie d'accumulateurs de 250 éléments assurait l'alimentation des services auxiliaires de l'usine et l'éclairage du tunnel et des stations.

Un réseau de câble triphasé, placé sous la voie publique, reliait l'usine aux sous-stations souterraines Louvre et Étoile où des commutatrices de 750 kW produisaient le courant nécessaire à la traction des trains.

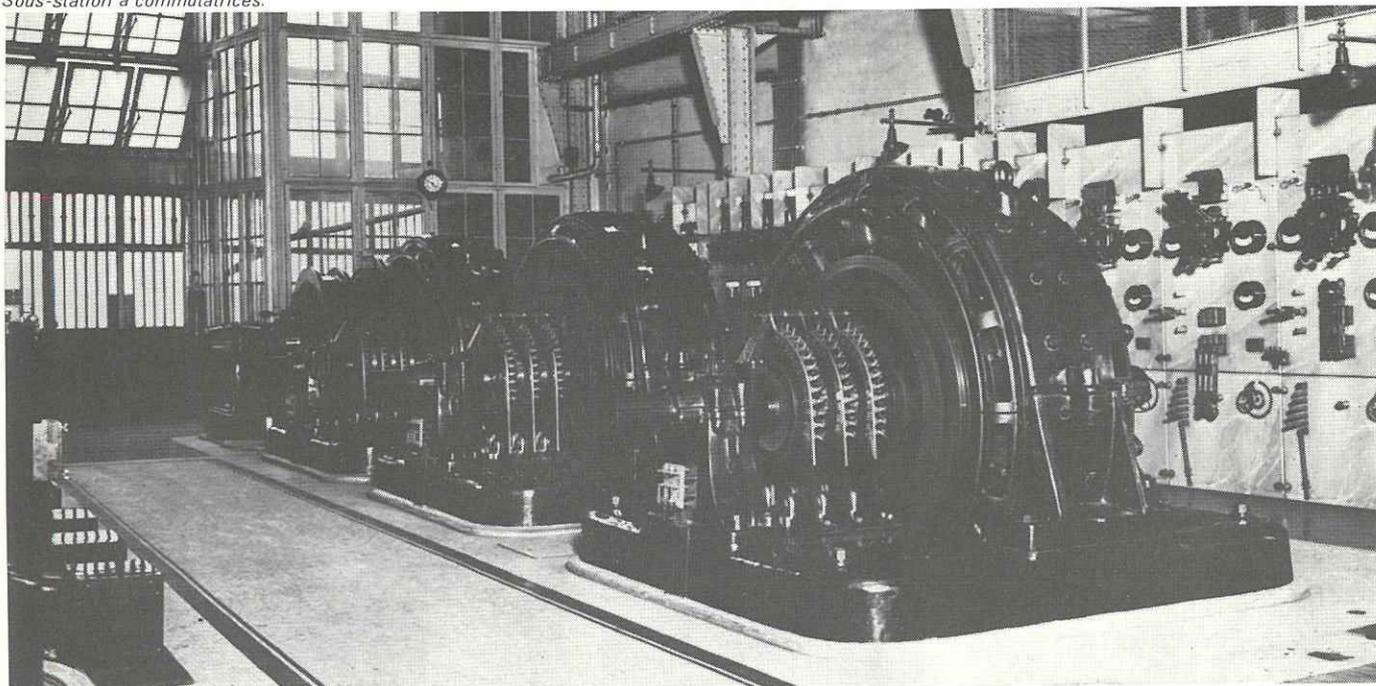
Dès 1904, 30 km de ligne sont exploités ; les sous-stations Opéra et Nation sont mises en service.

Initialement l'alimentation du 3^e rail, dit « rail de traction », est assurée d'une manière continue, d'une extrémité à l'autre de la ligne.

Pour des raisons de sécurité d'exploitation, les lignes furent coupées en « sections », chacune de celle-ci possédant un circuit de sécurité assurant une liaison électrique simple entre les disjoncteurs alimentant une section (1).

(1) C'est après l'accident survenu le 10 août 1903, à la station Couronnes, provoquant la mort de 84 personnes par empoisonnement du sang causé par l'oxyde de carbone, que la sécurité devient le problème primordial. C'est à la suite de cet accident qu'apparaissent notamment les « sections » d'alimentation en courant de traction, les « avertisseurs d'alarme » et les circuits « d'éclairage protégé ».

Sous-station à commutatrices.



Cette ligne de sécurité, appelée « circuit d'avertisseur d'alarme » (A.A.), assurait par sa rupture de courant électrique l'ouverture des disjoncteurs.

Dès 1906, l'augmentation de trafic, l'allongement des lignes, malgré l'augmentation de puissance effectuée à l'usine de Bercy, conduisit la Compagnie du Métropolitain à passer un contrat de fourniture d'énergie avec la Société d'Electricité de Paris qui, par son usine thermique de Saint-Denis, était à même de délivrer un courant triphasé 10 000 V, à la fréquence de 25 Hz. L'unification de fréquence, en France, qui avait été envisagée, en 1918, par une circulaire du Ministre des Travaux Publics, laissait persister de nombreuses fréquences sur la France, 16 2/3, 25, 41 2/3, 50, 50 1/2 Hz.

Les différentes fréquences et tensions, reçues par les sous-stations, entraînaient des difficultés d'exploitation très importantes.

L'évolution de la technique en matière de construction électrique permit d'entreprendre l'unification des installations, en utilisant la fréquence 50.

L'importante inondation de la région parisienne, en 1910, mettant à l'arrêt l'usine de Bercy, amène d'importantes reprises des équipements portant, notamment, sur le renforcement des groupes d'épuisement et le remplacement du réseau téléphonique.

A la même époque, un nouveau concessionnaire de la ville de Paris, le Chemin de fer Nord-Sud, met en service un chemin de fer souterrain. L'alimentation en courant de traction s'effectue par un fil trolley, alimenté en courant continu à + 600 volts, situé au-dessus de la voie et un rail de traction alimenté en courant continu à - 600 V.

La motrice avant des trains capte le courant par un archet, tandis que la motrice arrière capte le courant par des frotteurs, la rame assurant elle-même, par l'intermédiaire des rails de roulement, le point milieu de distribution.

En 1930, ce mode de distribution fut abandonné par soucis d'unification des installations avec celles de la Compagnie du Métropolitain.

La longueur du réseau augmentait; en 1922, 17 sous-stations sont en service.

La sujétion apportée par l'entretien d'un matériel tournant délicat, amène les ingénieurs, chargés de la distribution de l'énergie, à mettre en essais deux groupes redresseurs hexamodiques à vapeur de mercure, refroidis par circulation d'eau.

Cet appareillage statique, utilisant une technique de pointe, est progressivement étendu dans les différentes sous-stations.

En 1926, sous la tension de 10 000 volts et à la fréquence de 50 Hz, les usines ther-

miques de Saint-Denis et d'Ivry ainsi que les postes d'Issy-les-Moulineaux et Arcueil assurent totalement la fourniture du courant nécessaire à la Compagnie du Métropolitain.

L'usine de Bercy est mise à l'arrêt définitif en 1927.

Un fait particulier est à signaler : la Compagnie du Métropolitain obtint que, contractuellement, les différents fournisseurs, assurant son alimentation, alignent le prix du kWh fourni sur la base du prix de revient du kWh de l'usine du C.M.P./Bercy.

En 1930, sont en service dans les différentes sous-stations :

- 33 commutatrices,
- 18 groupes redresseurs.

Éclairage

Dès l'ouverture de la ligne n° 1, deux circuits d'éclairage distincts sont réalisés, ce qui est absolument nécessaire, compte tenu qu'il est impensable de laisser les voyageurs dans l'obscurité, même accidentellement.

Les deux circuits étaient assez semblables, normalement alimentés par les commutatrices fournissant le courant de

traction ; des batteries montées en tampon permettaient un maintien de l'éclairage en cas d'arrêt des commutatrices.

Chaque circuit alimentait sensiblement la moitié de l'éclairage des stations et des interstations.

Initialement, les deux circuits étaient distribués par des feeders fixés à la voûte du tunnel. Par la suite, il est apparu qu'il était préférable d'écarter les circuits. Un circuit dit « éclairage normal » fut conservé à la voûte ; l'autre circuit dit « éclairage protégé », constitué par des câbles isolés et armés, fut installé en caniveaux de béton, disposés le long de la voie 1 de chaque ligne, toutes précautions étant prises pour limiter au strict minimum le nombre d'appareillages de coupure entre la sous-station d'alimentation et les stations.

Postes d'épuisement des eaux

Quels que soient les soins apportés à la construction à l'origine, les maçonneries des tunnels ont subi avec le temps les effets des contraintes mécaniques exercées par les sols environnants et les agressions chimiques de la nappe aquifère.

Pour recueillir les eaux d'infiltration, résultant de cette moindre étanchéité, des puisards à fonctionnement automatique

Salle des billets à la station Saint-Lazare.



Arrivée d'un train à la station Bourse en 1905.



ont été installés aux points bas des interstations, afin de rejeter ces apports vers les égouts voisins.

110 postes d'épuisement étaient ainsi en service en 1930.

Appareils élévateurs

En raison des dénivellations parfois importantes entre les cotes des quais et des accès au sol, des conventions avaient été conclues dès les premières années d'exploitation entre les sociétés exploitantes et l'autorité concédante :

- en 1904 pour la Compagnie du Nord-Sud,
- en 1906, puis en 1909 pour la Compagnie du Chemin de fer Métropolitain

prescrivant l'installation d'appareils élévateurs (ascenseurs ou escaliers mécaniques).

Ascenseurs :

Les premiers ont été établis, en 1911, dans les stations Saint-Michel, Cité, Lamarck-Caulaincourt et Abbesses.

38 cabines, à commande électrique ou hydraulique, étaient en service en 1930.

Escaliers mécaniques :

Le premier escalier, installé en 1909, à la station Père-Lachaise, constituait un des prototypes du genre.

15 appareils étaient en exploitation en 1930 ; aucun ne comportait encore les paliers de marches horizontaux au départ et à l'arrivée, dont les premiers exemples n'apparaîtront sur le réseau que dans les toutes dernières semaines de cette même année.

Liaisons téléphoniques

A l'origine, un standard manuel permettait d'établir des liaisons téléphoniques entre les stations du réseau, le commandement, les sous-stations. Chaque station était, en outre, reliée directement à chacune des stations encadrantes et, éventuellement, à la station en correspondance. Les terminus d'une ligne étaient reliés directement entre eux.

Toutes ces liaisons n'avaient pas masqué le besoin d'une installation téléphonique permettant à une station d'émettre une information destinée à toutes les stations de la ligne. Durant les premières années d'exploitation, la technique ne permit d'assurer cette fonction que pour un nombre limité de stations. Ainsi, en 1903, pour la ligne n° 2, les stations reliées à cet « appel général » étaient : Nation, Père-Lachaise, Jaurès, Barbès, Anvers, Clichy, Villiers, Étoile, Dauphine, soit 9 stations reliées, sur un total de 25 stations.

Il est évident que le raccordement de toutes les stations à l'« appel général », lorsqu'il fut techniquement possible, améliora la sécurité et les commodités de l'exploitation.

A l'origine, des téléphones fixes furent installés dans le tunnel pour permettre au personnel d'un train immobilisé en interstation de pouvoir aviser la station située en amont. Ces téléphones furent placés notamment près des signaux et près des aiguilles d'accès aux voies d'évitement et de raccordement.

Lorsque la signalisation par circuits de voie se généralisa, le resserrement des trains, imposé par la demande de trafic, nécessita une augmentation importante du nombre des signaux intermédiaires ; il devint nécessaire d'améliorer les liaisons téléphoniques mises à la disposition du personnel des trains. Le nouveau système était constitué par une ligne téléphonique en fils nus longeant le piédroit du tunnel, sur laquelle le personnel d'un train immobilisé en interstation branchait, au moyen de deux pinces, le téléphone placé dans la loge de conduite.

Ce système, qui permettait à l'équipe d'un train de téléphoner à la station située en amont, présentait encore quelques inconvénients. En particulier, si le chef de station s'absentait de son bureau, la liaison n'était plus assurée. De plus, le conducteur ne pouvait pas entrer en relation directe avec ses chefs ; il devait obligatoirement passer par l'intermédiaire du chef surveillant qui, malgré toute sa bonne volonté mais ne comprenant pas toujours les mots techniques, était amené malgré lui à ne transmettre les messages qu'avec une fidélité relative.

Signalisation

Dès la mise en service de la ligne n° 1, la signalisation d'espacement est automatique, commandée par pédale type Hall.

Pour prévenir le non fonctionnement d'une pédale, les trains sont couverts par deux signaux à l'arrêt. La « section tampon » ainsi créée existe encore aujourd'hui malgré les évolutions successives du système de signalisation et les contraintes que cette signalisation impose en matière de débit.

Le principe de fonctionnement est le suivant :

Les deux lampes rouge et blanche d'un signal sont alimentées en permanence par un dispositif à piles. La commutation des feux est assurée par un disque monté à l'extrémité d'un balancier qui vient occulter la lampe blanche ou la lampe rouge suivant l'état d'occupation de la voie. Toute panne dans l'alimentation du dispositif de commutation des feux se traduit par la mise à l'arrêt du signal.

En l'absence de train, les signaux sont normalement à voie libre.

La signalisation était complétée par l'emploi d'avertisseurs sonores prévenant les stations d'un franchissement de signal à l'arrêt. Cette surveillance indirecte de l'attention des conducteurs formait une des caractéristiques particulières du système ; ce dispositif avait pour but de renforcer les conducteurs dans l'idée de leur propre responsabilité en cas de défaillance de leur part.

A partir de 1906, la signalisation type Hall est progressivement abandonnée au profit de la signalisation type Métro, dans laquelle la détection de présence des trains se fait par alimentation sous 600 volts de barres de contact par les frotteurs des motrices.

Ces barres de contact ne sont, en fait, que des coupons de 3e rail installés côté piédroit du tunnel.

Ce mode de détection de la présence des trains est appliqué sur la ligne n° 1 à partir de 1916, les logiques de commutation et les signaux restant ceux d'origine. Il constitue les bloc « Hall-Métro ».

A partir de 1924, la signalisation de la ligne n° 1 est progressivement remplacée par un système de circuit de voie double rail alimenté par un courant alternatif 25 Hz basse tension. Cette transformation s'accompagne d'une modification qui permet une exploitation à voie normalement fermée plus susceptible, semble-t-il, de frapper l'attention des conducteurs. En 1930, à l'occasion de l'adaptation du système de signalisation par circuit de voie, alimenté par un courant alternatif 50 Hz,

il est décidé de revenir au système à voie normalement ouverte.

Lorsqu'elle apparaît, la signalisation de manœuvre des gares est commandée par des clés ou commutateurs actionnés en temps utile par l'agent responsable des manœuvres ; les aiguilles sont manœuvrées à la main.

En 1909, l'appareil de voie desservant l'entrée des trains au terminus Nation de la ligne n° 2, qui permettait leur réception tantôt sur la voie de droite, tantôt sur la voie de gauche du quai central, fut muni du premier moteur électrique d'aiguille ; une petite table d'enclenchement permettait la commande à distance de l'appareil.

La commande d'aiguille par moteur électrique avec conjugaison des signaux de manœuvre se développa avec prudence (gares d'Auteuil, de Porte de Versailles, de Saint-Cloud) puis, en 1911, l'aiguille située à l'entrée de la station Louis-Blanc est équipée pour permettre aux trains venant de Château-Landon d'être dirigés alternativement sur les deux branches de la ligne, vers la Porte de la Villette et vers Pré-Saint-Gervais.

Dès les premières années du Métro, les ingénieurs voulurent réaliser une signalisation permettant aux trains de se suivre à l'intervalle de 2 minutes. Vers 1930, l'intervalle minimal de 1 mn 40 s. (intervalle théorique 1 mn 30 s.) fut le nouvel objectif avec des stationnements de 30 secondes au plus dans les stations les plus chargées. Cet intervalle ne put être tenu à cause des temps de stationnement qui, sur toutes les lignes à fort trafic, dépassèrent notablement, dans quelques stations particulièrement chargées, les 30 secondes prévues.

Circulation des trains - Incidents

Circulation normale des trains

Dans une exploitation où les rames se suivent à faible intervalle et suffisent tout juste à satisfaire la demande de trafic, il est essentiel d'égaliser les charges des trains successifs. Pour obtenir ce résultat, il est nécessaire que les trains circulent à intervalle régulier, ce qui suppose

que ces trains partent régulièrement du terminus et que leurs marches soient ensuite semblables.

Les chefs de départ, chargés de donner à chaque train le signal de départ du terminus, devaient apporter une attention constante à la « pendule », dont ils disposaient, pour ne pas créer d'intervalle excessif entre deux trains par l'expédition retardée d'un train.

Les conducteurs devaient ensuite respecter la « marche-type », c'est-à-dire respecter les temps de parcours comptés à partir de l'instant du départ du terminus. Pour contrôler ces temps, chaque conducteur observait sa montre, qu'il avait eu soin de régler sur la pendule d'un terminus. Les gradés du service de la Traction surveillaient en ligne le respect de la marche-type.

Ce système était insuffisant pour assurer la régularité des trains lorsque l'intervalle minimal était de l'ordre de 2 minutes et moins. En effet, les pendules des deux terminus d'une ligne avaient couramment des écarts de 10 à 15 secondes et même parfois 20 secondes. Bien entendu, les conducteurs réglaient leur montre sur l'une ou l'autre des pendules et avec un inévitable écart involontaire. Cette situation, bien que fâcheuse, ne pourra être redressée progressivement qu'à partir de 1967, lorsque la technique permettra de synchroniser les pendules des terminus et de ne plus astreindre chaque conducteur à consulter sa montre.

Retards inférieurs à 10 minutes

Les incidents de faible importance, donnant lieu à des retards inférieurs à cinq minutes, étaient traités par la retenue des trains qui précédaient le train retardé de manière à tenter d'égaliser les charges des trains successifs et d'éviter la surcharge du train retardé. Simple dans son principe, l'application était difficile vu la précarité des moyens de transmission. Ainsi, par exemple, lorsque le personnel d'un train signalait à un chef surveillant un retard de deux minutes, il fallait que, sans retard, le chef surveillant transmette l'information à l'ensemble de la ligne par la liaison téléphonique « appel général ».

Le chef de départ du terminus amont, en consultant la liste des heures de départ du terminus et compte tenu de l'horaire, déterminait la station où il pouvait rete-

nir la rame précédente et il donnait l'ordre au chef surveillant de la station concernée de retenir cette rame pendant, par exemple, 1 mn 30 s. Les rames qui précédaient pouvaient être, respectivement, retenues de la même manière de 1 mn à 30 secondes.

Une telle intervention, pour se passer au mieux, nécessitait que les chefs surveillants répondent rapidement au téléphone, que les temps nécessaires à la transmission téléphonique des informations et des ordres soient aussi courts que possible et, aussi, que le retard initial soit correctement annoncé par le train retardé ; ainsi, annoncer 2 mn de retard alors que le retard réel était de 2 mn 45 s ne peut être reproché au personnel du train ; cependant la retenue de 1 mn 30 s du train qui précède a pour résultat d'augmenter l'intervalle du train retardé de 30 s si le retard réel est de 2 mn et de 1 mn 15 s, si le retard réel est de 2 mn 45 s. Cet exemple montre la précarité de la méthode lorsque les intervalles entre trains sont faibles (de l'ordre de 2 minutes et moins). Il ne faut donc pas être surpris si les retenues ainsi effectuées en période d'affluence n'avaient pas toujours l'efficacité souhaitée.

Lorsque les retards dépassaient cinq minutes, les mêmes principes étaient appliqués, sauf si la nature signalée de l'incident permettait d'estimer que le retard réel dépasserait dix minutes.

Retards supérieurs à 10 minutes

Dès que les trains comportèrent un poste de conduite à chacune de leurs extrémités, il fut possible de faire organiser par les gradés des « services provisoires » chaque fois que le retard semblait devoir dépasser dix minutes. Pour illustrer ce principe, supposons une rame longuement immobilisée à Palais-Royal sur la ligne n° 1 ; les gradés du Service du Mouvement allaient s'efforcer d'utiliser les appareils de voie qui existent à Châtelet et Concorde pour maintenir une circulation des trains, dans les deux sens, d'une part, entre Porte de Vincennes et Châtelet, d'autre part, entre Porte Maillot et Concorde. Ces appareils de voie étaient manœuvrés à la main ; la signalisation de protection des manœuvres était assurée par des lanternes mises en place et manœuvrées par du personnel envoyé en renfort. La coordination locale des actions était assurée par un gradé dépêché sur place. On conçoit aisément que, dans ces conditions, la décision d'exécution d'un service provisoire ne

Accès à la station Champs-Élysées.



Place de la Nation.

pouvait être suivie d'effet qu'après un délai non négligeable. C'est la Permanence du Service du Mouvement qui dépêchait dans les stations concernées le personnel nécessaire, fréquemment en le faisant venir d'une autre ligne ; ainsi, pour établir un service provisoire sur la ligne n° 1, à Châtelet, il était fréquent de faire intervenir le contrôleur de la ligne n° 4.

Interruption du courant de traction

Lorsqu'une coupure inopinée du courant de traction immobilisait les trains en ligne, le premier devoir des gradés du Service du Mouvement, contrôleur aidé des chefs de départ, consistait à rechercher la position des trains en ligne de manière à connaître les trains immo-

bilisés en interstation dont les voyageurs devraient être évacués et dirigés vers la station la plus proche si l'interruption persistait. Cette recherche permettait, ensuite, en cas d'évacuation commandée ou spontanée d'une rame, de donner rapidement l'ordre au personnel des autres trains immobilisés en interstation de faire évacuer les voyageurs ; les évacuations successives étaient ainsi évitées. Bien que simple en apparence, cette mesure était d'application particulièrement pénible car, en plus de la localisation des trains et dans le même temps, il fallait traiter l'incident qui avait motivé la coupure du courant de traction (suicide, incident à un train, incident à la voie...). Il s'ensuivait un grand nombre de communications téléphoniques et les équipements ne permettaient pas d'écouler les nombreux appels dans des délais raisonnables.

Établissement d'un service provisoire avec rétablissement du courant de traction sur une partie de section

Lorsque le courant de traction était interrompu dans une section et qu'il devenait souhaitable d'organiser un service provisoire, il était souvent nécessaire de rétablir l'alimentation d'une partie de voie privée de courant par l'incident. Cette situation imposait la mise hors service de l'appareillage de sécurité constitué par les avertisseurs d'alarme ; de ce fait, il est arrivé que des évacuations de voyageurs commencent spontanément alors que la procédure de remise de courant était en cours. Il fallait alors demander d'urgence par téléphone la coupure du courant à la sous-station. Si cette procédure ne créa jamais d'accident, il faut bien admettre que la sécurité se trouvait très notablement diminuée durant deux à trois minutes, au cours de la période de rétablissement du courant.

Remarques concernant les incidents

Dès cette époque, la nécessité d'avoir un « chef d'incident », disposant de moyens d'information rapides et sûrs, fut ressentie comme étant indispensable pour augmenter la sécurité et diminuer l'importance des retards.

Il faudra attendre le développement de l'électronique pour voir réaliser en 1967, sur la ligne n° 1, sous la forme du « poste de contrôle et de commande centralisés » (P.C.C.), des installations techniques visualisant la position des trains en ligne et permettant une liaison téléphonique permanente entre le personnel des trains et un gradé se tenant à un poste fixe de commandement ; ce gradé pourra alors prendre les décisions les plus opportunes propres aux circonstances du moment.

Conclusion

Pour les voyageurs, l'évolution des trente premières années du Métro fut essentiellement caractérisée par un développement qui permit de passer d'une ligne de 18 stations ayant 10,5 km de longueur, en 1900, à un réseau de 117 km, en 1930, comportant 254 stations (voir détail en annexe).

Ordre chronologique d'ouverture des lignes

Dates	Lignes	Tronçons	Longueur
19 juillet 1900	1	Vincennes - Maillot	10,328 km
2 octobre 1900	5	Etoile - Trocadéro	1,427 km
13 décembre 1900	2	Etoile - Dauphine	1,574 km
7 octobre 1902	2	Etoile - Anvers	4,005 km
31 janvier 1903	2	Anvers - Bagnolet	5,577 km
2 avril 1903	2	Bagnolet - Nation	1,165 km
6 novembre 1903	5	Trocadéro - Passy	0,740 km
19 octobre 1904	3	Villiers - Père-Lachaise	6,034 km
25 janvier 1905	3	Père-Lachaise - Gambetta	0,968 km
2 juin 1906	5	Place d'Italie - Gare d'Orléans	1,555 km
14 juillet 1906	5	Gare d'Orléans - Rapée - Gare de Lyon	1,154 km
24 novembre 1906	5	Passy - Place d'Italie	6,852 km
17 décembre 1906	5	Rapée - Lancry (J. Bonsergent)	3,837 km
15 novembre 1907	5	Lancry - Gare du Nord	1,187 km
21 avril 1908	4	Clignancourt - Châtelet	5,014 km
1er mars 1909	6	Nation - Place d'Italie	4,831 km
30 octobre 1909	4	Porte d'Orléans - Raspail	1,741 km
9 janvier 1910	4	Raspail - Châtelet	3,880 km
23 mai 1910	3	Villiers - Péreire	1,287 km
5 novembre 1910	12	Porte de Versailles - N.-D. de Lorette	7,959 km
5 novembre 1910	7	Porte de la Villette - Opéra	5,452 km
18 janvier 1911	7	Louis-Blanc - Pré-Saint-Gervais	3,059 km
15 février 1911	3	Péreire - Porte Champerret	0,487 km
26 février 1911	13	Saint-Lazare - Porte de Saint-Ouen	2,483 km
9 avril 1911	12	N.-D. de Lorette - Pigalle	0,886 km
20 janvier 1912	13	La Fourche - Porte Clichy	1,284 km
31 octobre 1912	12	Pigalle - Jules-Joffrin	1,510 km
13 juillet 1913	8	Opéra - Beaugrenelle (Charles-Michels)	4,660 km
30 septembre 1913	8	Beaugrenelle - Auteuil	2,130 km
1er juillet 1916	7	Opéra - Palais-Royal	0,813 km
23 août 1916	12	Jules Joffrin - Porte de la Chapelle	1,916 km
27 novembre 1921	3	Gambetta - Porte des Lilas	1,366 km
27 novembre 1921	Navette	Porte des Lilas - Pré-Saint-Gervais	0,767 km
8 novembre 1922	9	Exelmans - Trocadéro	3,480 km
27 mai 1923	9	Trocadéro - Saint-Augustin	3,310 km
19 juin 1923	9	Saint-Augustin - Chaussée d'Antin	0,884 km
29 septembre 1923	9	Exelmans - Porte de Saint-Cloud	0,519 km
30 décembre 1923	10	Invalides - Croix-Rouge	2,850 km
10 mars 1925	10	Croix-Rouge - Mabillon	0,585 km
14 février 1926	10	Mabillon - Odéon	0,502 km
16 avril 1926	7	Palais-Royal - Pont-Marie	1,915 km
30 juin 1928	8	Opéra - Richelieu-Drouot	0,535 km
30 juin 1928	9	Chaussée d'Antin - Richelieu-Drouot	0,357 km
15 février 1930	10	Odéon - Place d'Italie	2,793 km
7 mars 1930	10	Place d'Italie - Porte de Choisy	1,850 km
3 juin 1930	7	Pont-Marie - Pont-Sully	0,496 km

A la fin de l'année 1930, le réseau a une longueur de 117 km.

Pour l'entreprise, cette extension s'accompagna d'une augmentation importante du nombre de voyageurs transportés. Rapporté au nombre de kilomètres de ligne exploités, les chiffres suivants sont particulièrement significatifs :

- au cours des 6 premiers mois d'exploitation en 1900 : 1,4 million de voyageurs/kilomètre ;
- au cours de l'année 1901 : 3,6 mil-

lions de voyageurs/kilomètre ;

- au cours de l'année 1917 : 5 millions de voyageurs/kilomètre ;
- au cours de l'année 1930 : 6 millions de voyageurs/kilomètres.

Les progrès techniques permirent d'augmenter la capacité de transport des trains et des lignes, d'améliorer la régularité de marche des trains et d'élever de façon continue le niveau de la sécurité.

LE MATÉRIEL ROULANT DU MÉTRO : SON ÉVOLUTION DE 1900 A 1938

par Claude LEVY
Ingénieur général honoraire

Si beaucoup de stations actuelles du métropolitain urbain, avec leur carrelage émaillé blanc, ne diffèrent pas sensiblement des stations ouvertes en 1900; les trains modernes, qui circulent maintenant sur la moitié des lignes du réseau n'ont rien de commun avec le matériel mis en service par la Compagnie du chemin de fer métropolitain de Paris (CMP) au début du siècle, ni par les dimensions, ni par la structure, ni par les équipements mécaniques, pneumatiques ou électriques.

Déjà, avant la dernière guerre, les motrices de 1900, dont les caisses en bois n'avaient que 8 mètres de long, avec leurs deux essieux et leur équipement de traction du type tramway, n'étaient plus que les ancêtres lointains des motrices construites de 1930 à 1937, entièrement métalliques, longues de 14,200 m avec leurs deux bogies à deux moteurs et leur équipement Sprague-Thomson à unités multiples.

Évolution générale

L'évolution entre les matériels adoptés pour l'ouverture des premières lignes, en 1900, et ceux mis au point au cours des années 30 a été très progressive; elle a été orientée ou déterminée par un certain nombre de facteurs, d'événements ou de recherches dont les plus importants sont les suivants :

- caractéristiques géométriques des lignes, surtout des premières lignes construites, avec des points difficiles dus aux rampes et aux courbes dont certaines, très prononcées, intéressaient même les stations,
- transformation rapide des techniques au début de ce siècle, particulièrement dans le domaine de la traction électrique,
- accroissement du nombre des voyageurs, supérieur à toutes les prévisions, exigeant des trains de plus en plus longs et puissants,
- recherche de la sécurité des voyageurs, après le terrible accident de la station « Couronnes », qui fit en 1903 de nombreuses victimes, à la suite de l'incendie d'une motrice,
- recherche d'une exploitation régulière, en réduisant autant que possible les incidents résultant de fonctionnements defectueux des équipements électriques.

L'évolution du matériel s'est poursuivie au cours des années, non seulement à l'occasion des commandes successives de voitures, correspondant au développement du réseau — dont la longueur des lignes est passée de 5 km en 1900 à 158 km en 1938 — mais aussi, grâce à des transformations de séries de motrices considérées comme insuffisantes et qui devaient être unifiées avec les séries de construction plus récente. Ces transformations ont porté sur la structure des voitures, leur longueur ou leur équipement de traction, en 1904-1905 et 1910-1912; celles effectuées en 1930-1937 ont constitué de véritables reconstructions, quelques éléments constructifs étant seuls réutilisés pour obtenir des voitures à peu près neuves.

L'histoire du matériel de la Compagnie du Chemin de fer Métropolitain jusqu'en 1938 peut alors se décomposer en trois grandes périodes (en tenant compte des dates de construction des voitures) :

- 1899-1906 : ces sept années corres-

pondent à l'évolution la plus marquée à partir des conceptions d'origine; c'est le passage de la voiture en bois à essieux parallèles à la voiture métallique à bogies, la naissance de la traction à unités multiples et particulièrement de l'équipement Sprague-Thomson. Les motrices de cette époque (près de 400), certaines après une ou deux modernisations, ont été maintenues en service jusqu'à la grande transformation unificatrice de 1930-1937.

- 1906-1926 : pendant ces vingt années plus de 500 motrices à bogies à deux moteurs de caractéristiques assez voisines, ont été réalisées : construction métallique, longueur de 13,35 ou 13,60 mètres, équipement Sprague-Thomson. Plus de 300 remorques ont été construites pendant la même période (longueur 12,450 et 13,600 m). Ces matériels sont restés en service pour la plus grande partie jusqu'à nos jours.
- 1926-1938 : c'est la période des motrices de 14,200 m à quatre moteurs, dont 650 ont été obtenues par construction neuve ou par transformation de voitures anciennes; 900 remorques de même longueur ont été construites en même temps.

Ce bref tableau ne tient pas compte du matériel du chemin de fer Nord-Sud, conçu en 1907, comprenant des voitures métalliques à bogies, à 4 moteurs par motrice, avec un équipement de traction Sprague-Thomson différent du type métro. Un paragraphe est consacré à ce matériel à la fin de cet article.

Évolution détaillée des éléments constitutifs du matériel

Examinons plus en détail les caractéristiques du matériel roulant du chemin de fer métropolitain qui ont fait l'objet des changements les plus importants au cours de son évolution.

Voitures à essieux parallèles et voitures à bogies

Les voitures à essieux parallèles, construites en 1899 et 1902 pour les premières

lignes — 129 motrices et 340 remorques — avaient des caisses en bois d'une longueur allant de 7,40 à 8,45 m (cf. fig. 1 et 2). Les motrices étaient constituées par un « truck » ou châssis porteur métallique, réunissant les essieux, leur suspension, le frein et les deux moteurs de 125 CV, et supportant, par l'intermédiaire d'une suspension secondaire, le châssis métallique secondaire sur lequel était assemblée la caisse. L'empattement des essieux des motrices était de 3 m environ, celui des remorques de 3,750 m.

Rapidement, les exploitants se rendirent compte que les voitures à essieux parallèles, de longueur limitée à 8 m, s'inscrivaient difficilement, avec de fortes résistances à l'avancement, dans les courbes de 40 m de rayon existant sur les lignes et ne convenaient pas pour constituer des trains occupant toute la longueur des stations ; de tels trains étaient devenus nécessaires, surtout sur la ligne n° 1, en raison du succès inattendu du nouveau mode de transport.

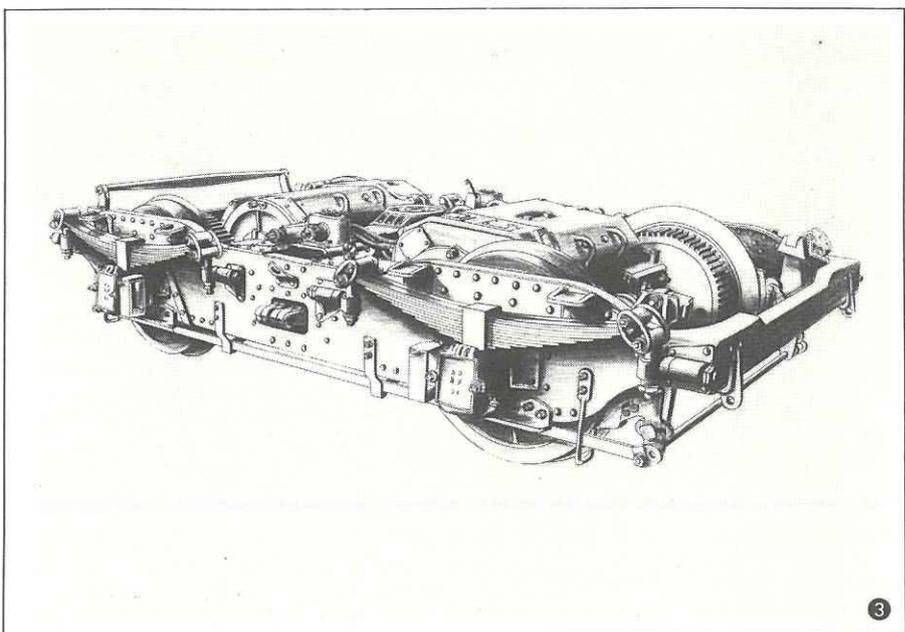
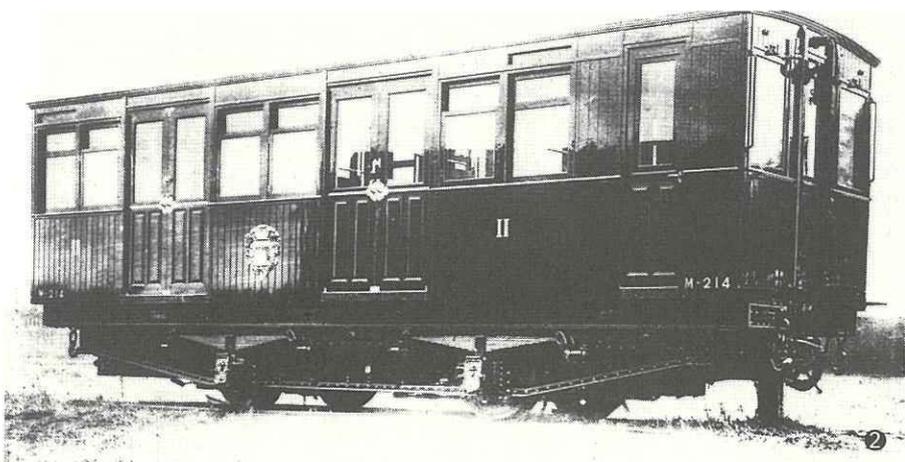
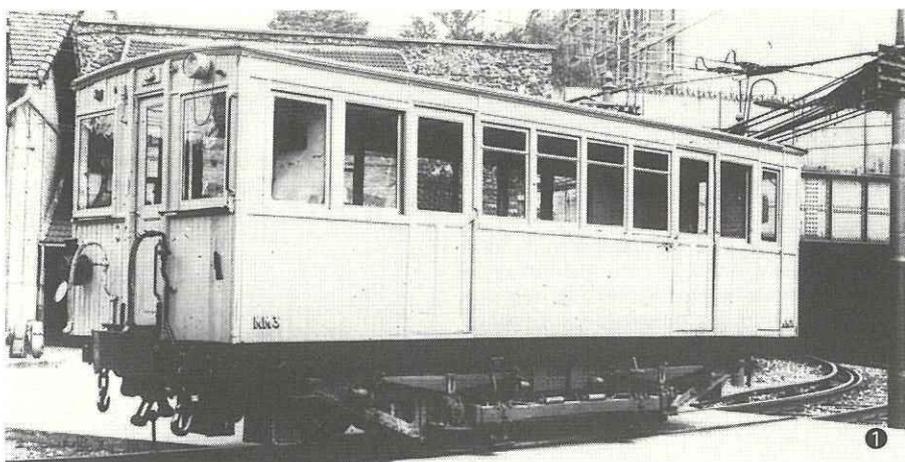
Aussi, dès 1902, deux voitures prototypes à bogies étaient mises à l'essai et, en décembre 1903, les premières voitures à bogies, longues de 10,85 m, étaient mises en construction.

Les bogies construits de 1903 à 1908, et d'ailleurs conservés sur les matériels transformés en 1930-1937, avaient une suspension simple, par ressorts à lames s'appuyant sur les boîtes d'essieux. Les moteurs (125 CV, puis 175 CV) prenaient appui sur les essieux et sur le châssis (suspension par le nez). A partir de 1911 une amélioration fut apportée par l'adoption d'une « traverse danseuse » portant le pivot de caisse et reposant dans le châssis par l'intermédiaire d'une suspension secondaire.

Les diamètres des roues étaient de 0,850 m (motrices et remorques), l'empattement étant de 2,250 m pour les bogies moteurs et 1,80 m pour les bogies porteurs. Les caractéristiques de ces bogies ont été conservées jusqu'en 1938, une série de remorques allégées ayant toutefois été construites en 1936-1937 avec des roues de 0,750 m et un empattement de 1,500 m (cf. fig. 3).

Longueur et construction des caisses

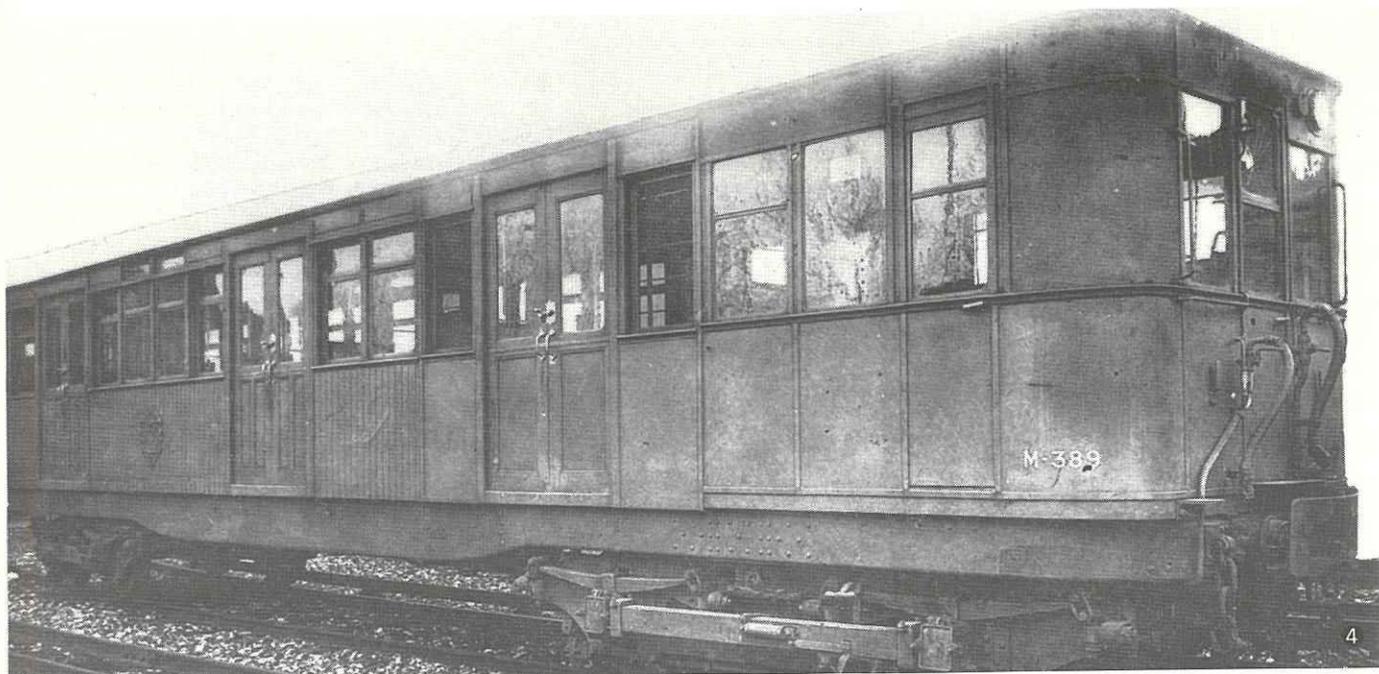
a) Les voitures d'origine à caisse en bois d'environ 8 m ont été utilisées pour constituer des trains de 4 voitures (dont une



1 - Motrice 1899 de 7,68 m, à deux loges (unité simple).

2 - Motrice 1902 de 8,45 m (unités doubles).

3 - Bogie moteur à traverse danseuse (la poutre support des frotteurs est démontée).



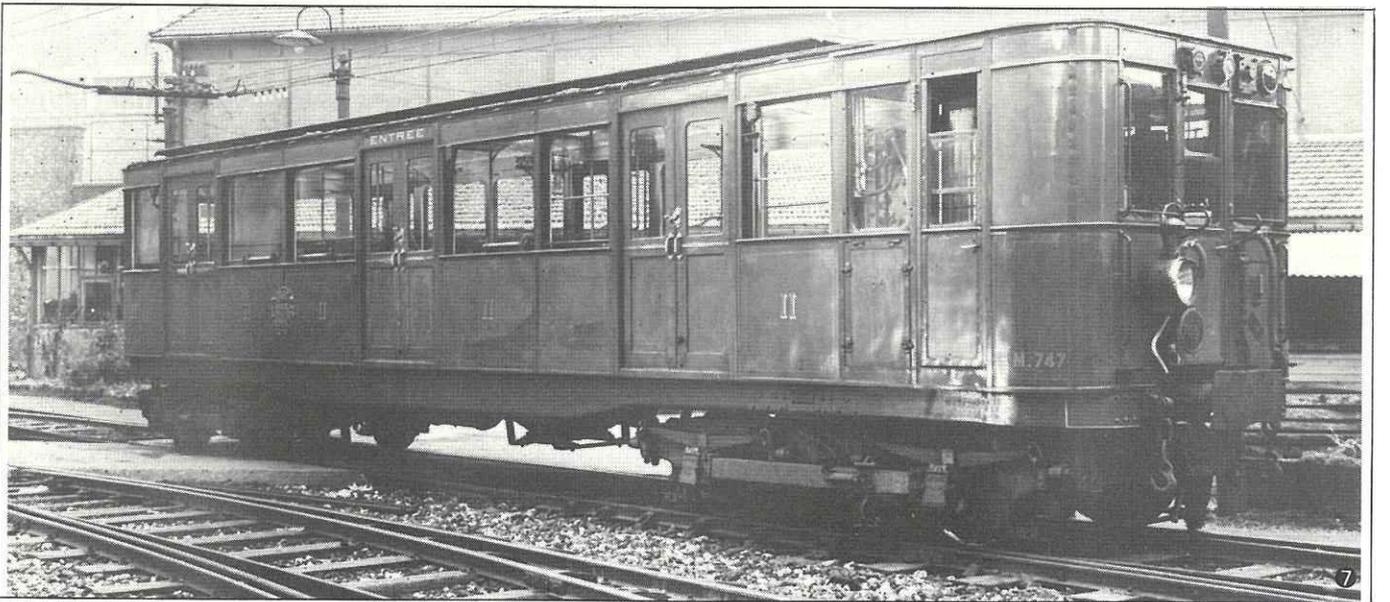
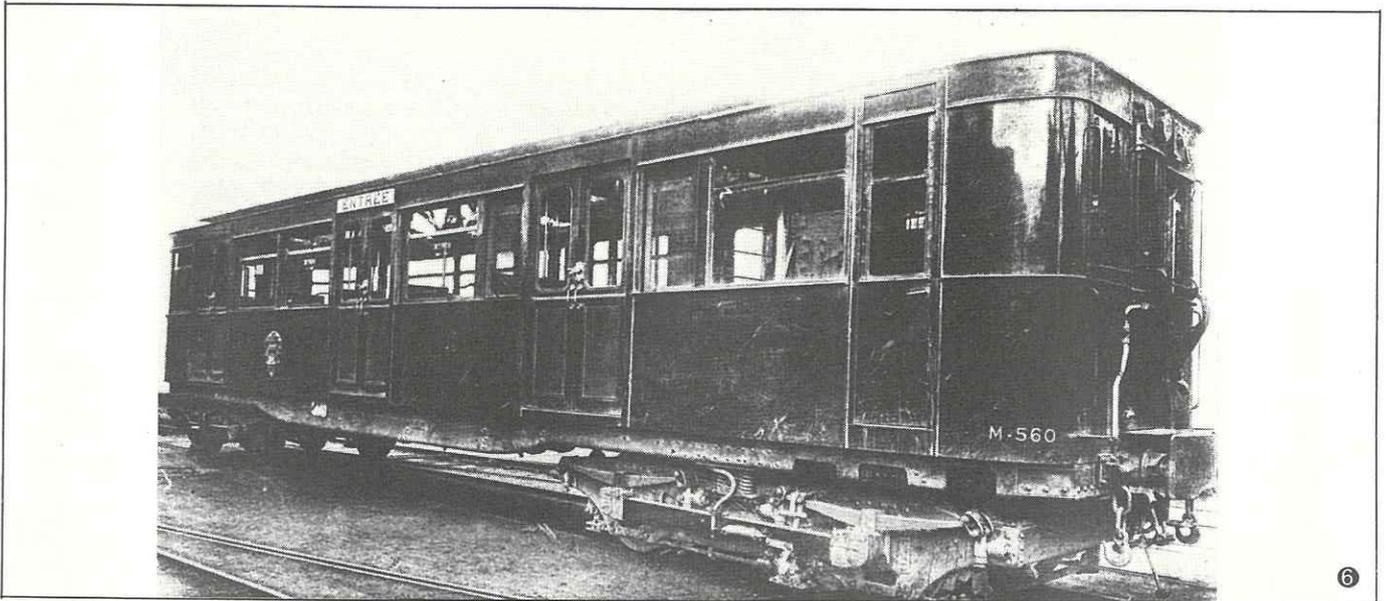
motrice) d'une longueur de 36 m environ (en tenant compte de la saillie des tampons sur la caisse); mais, dès 1903, des trains de 8 voitures, à deux motrices, étaient en service sur la ligne n° 1.

b) L'accident de « Couronnes » sur la ligne n° 2, en 1903, a eu pour origine un début d'incendie dans une loge de conduite, par des appareils parcourus par le même courant que les moteurs de traction. Aussi les matériels moteurs construits par la suite ont-ils été dotés d'une loge métallique, le compartiment des voyageurs restant constitué par une caisse en bois séparée de la loge. Cette caisse était revêtue extérieurement de lattes de bois verni jusqu'en 1905, puis ce revêtement a été constitué par de la tôle d'acier peinte. Ce n'est qu'à partir de 1906 que la construction métallique complète des caisses a été adoptée.

c) Les motrices ainsi construites de 1903 à 1906, à bogies, étaient longues, soit d'environ 11 m (10,85 et 10,92 m) (cf. fig. 4 et 5), soit de 13,35 m; les remorques correspondantes étaient de 11,140 m ou de 12,450 m. Les voitures les plus longues étaient destinées aux lignes nouvelles, pour former des trains de 5 voitures d'environ 68 m. Quant aux voitures courtes, de 11 m, cette longueur avait été déterminée pour donner une inscription convenable, sans emmarchements trop importants, en face des quais de deux stations en courbes très fortes des lignes n° 1 et 2 : « Bastille » et « Victor-Hugo ».



4 - Motrice 1904, allongée à 13,35 m en 1910.
5 - Motrice 1904 de 10,85 m (unités multiples).



6 - Motrice 1906-8 de 13,35 m (construction métallique, grande loge - UM Sp-Th).

7 - Motrice 1911 de 13,35 m.

La station « Bastille » était également le point le plus difficile du réseau ; construite à l'air libre, au-dessus du canal St-Martin, elle était précédée à l'ouest d'une rampe de 40 mm p.m avec une courbe de 40 m de rayon suivie d'une contre-courbe.

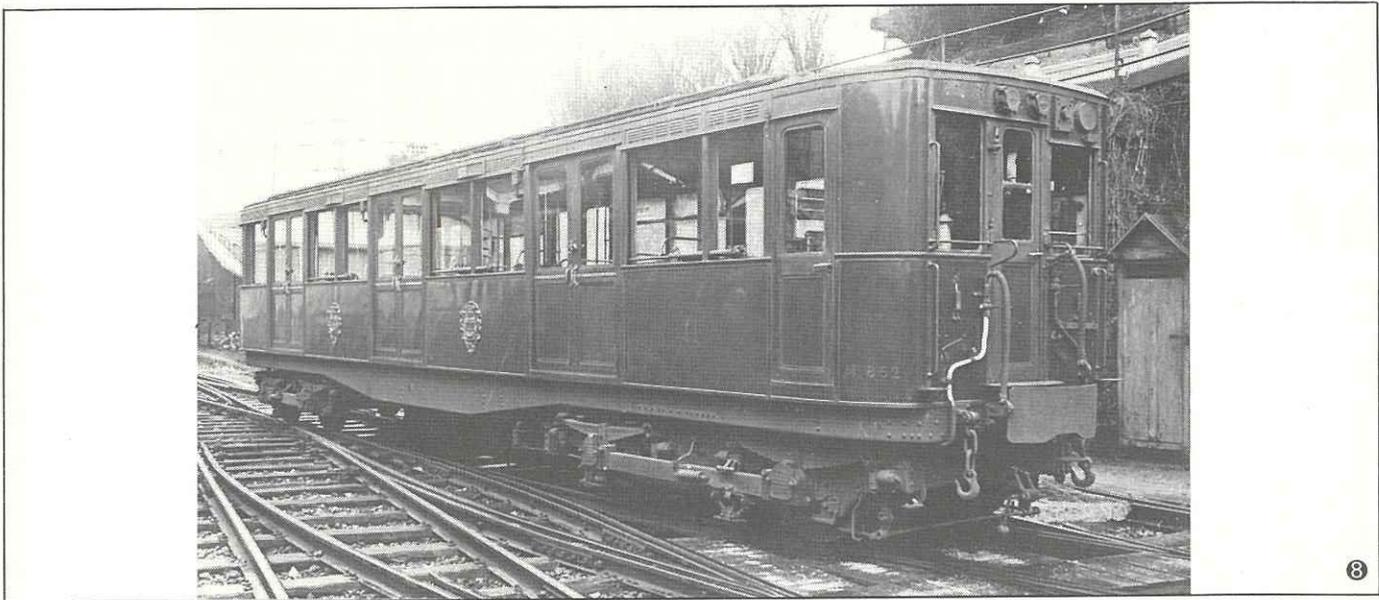
Les inconvénients des voitures à essieux parallèles étaient tels qu'en 1904-1905, dès que les livraisons de matériel neuf le permirent, la plupart de ces voitures, au nombre de 114, furent allongées à 10,85 m, leur caisse en bois étant montée sur un châssis à bogies derrière une loge

métallique ; les autres (12) furent retirées du service des voyageurs.

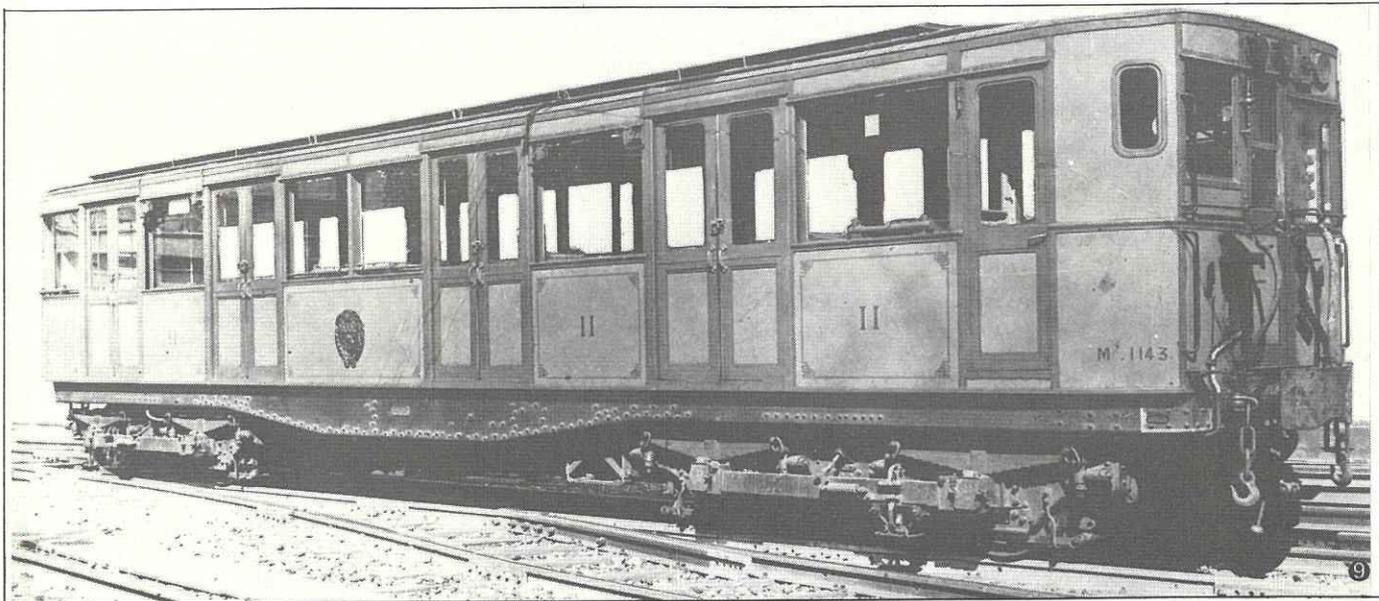
La restriction apportée par la station « Bastille » à l'allongement des voitures fut considérée comme si gênante que, après des essais infructueux de trains de 6 voitures, il fut décidé de modifier cette station par l'allongement de ses quais vers l'est, terminé en 1908. A partir de ce moment les voitures courtes ont été uniquement réservées à la ligne n° 2 jusqu'en 1931, date à laquelle la station « Victor-Hugo » a été reconstruite. Aussi en 1910-1912, environ 200 voitures de 11 m furent

allongées à 13,35 m, par modification du châssis et adjonction d'un compartiment pour voyageurs debout entre le compartiment existant et la loge de conduite ; ce nouveau compartiment avait initialement été prévu pour les fumeurs (cf. fig. 6).

d) Les dernières voitures de 13,350 m, construites en 1911-1912 (au nombre de 70) ont constitué une transition (cf. fig. 7). La loge de conduite qui, précédemment, avait une longueur de 2,50 m, était réduite à 1,90 m grâce au report d'une partie de l'appareillage sous la caisse (le compres-



8



9

8 - Motrice 1922 de 13,60 m à deux moteurs (petite loge).

9 - Motrice 1926 de 14,20 m à quatre moteurs (4 portes).

seur en particulier) le compartiment des voyageurs s'en trouvait agrandi d'autant. Les revêtements de la caisse, à l'intérieur comme à l'extérieur étaient en tôle vitrifiée, ce type de revêtement devant être appliqué à tout le matériel construit jusqu'en 1938.

e) Après la première guerre mondiale, un nouveau progrès fut fait pour augmenter la capacité des voitures ; en reportant sous la caisse la plus grande partie de l'appareillage électrique, la longueur de la loge put être réduite à 1,08 m, celle de la caisse étant portée à 13,600 m

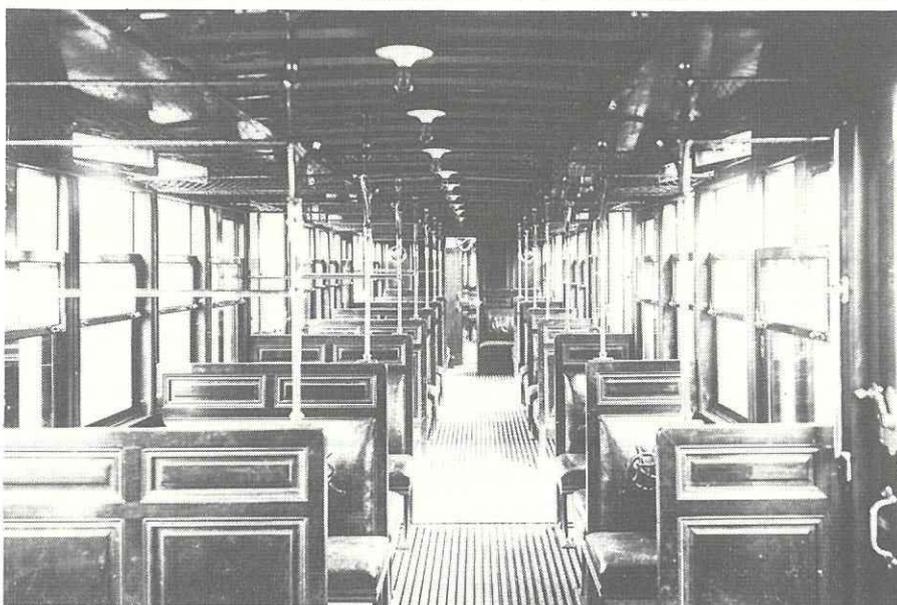
(cf. fig. 8). Les remorques furent construites à la même longueur, ce qui donnait des trains de 71 m atteignant presque la longueur maximale autorisée par l'administration : 72 m.

Ces voitures, à 3 portes, avaient une capacité de 104 places (dont 26 assises) pour les motrices, et 110 places (dont 38 assises) pour les remorques.

f) Enfin à partir de 1926, la Compagnie du Chemin de fer métropolitain fut autorisée à former des trains atteignant la longueur des stations, 75 m. Les voitures

— motrices et remorques — construites à partir de cette date avaient 14,200 m de long. Les motrices, à quatre moteurs comme il sera dit ci-après, avaient des loges de 1,300 m (cf. fig. 9). Toutes ces voitures, d'abord à 3 portes, en comportaient 4 à partir de 1929 ; la capacité était de 107 places (dont 31 assises) pour les motrices et 116 places (dont 40 assises) pour les remorques.

Dans les années 30, où les besoins en matériels puissants étaient grands en raison du développement des lignes, il fut décidé de transformer en motrices de



Ci-dessus : intérieur d'une voiture de 1re classe (1900).
Photo du haut : intérieur d'une voiture de 2e classe (1930).

14,200 m à 4 moteurs près de 300 motrices à deux moteurs de longueurs diverses, à caisses en bois, construites avant 1906. Comme il a été dit, ces transformations étaient de véritables reconstructions, les bogies et les portes étant seuls souvent récupérés.

g) Couleur extérieure des caisses — La couleur brune des voitures à revêtement en bois vernis fut conservée lorsque la tôle peinte constitua, à partir de 1905, le revêtement extérieur. Ce n'est qu'en 1911 que le vert foncé fut choisi pour les tôles vitrifiées extérieures, les voitures de première classe étant rouges. C'est un vert plus clair qui fut adopté en 1930 pour les voitures de 14,200 m, une coloration gris bleuté étant réservée, à partir de 1934, pour la ligne n° 1, la plus importante du réseau.

h) Sièges — Sur tous les matériels construits entre 1899 et 1938 les sièges des compartiments de seconde classe étaient en bois, seuls les sièges des premières classes étaient rembourrés. Ce n'est que dans les constructions ultérieures que le rembourrage a été généralisé à tous les sièges.

Portes

La disposition et le fonctionnement des portes des voitures présentent une importance particulière pour un chemin de fer à stations rapprochées ; l'évolution des portes du matériel du métropolitain est à cet égard particulièrement significative.

a) Dimensions et nombre — Les premières voitures de 1899, longues de 8 m, étaient munies, sur chaque face, près de ses extrémités, de deux portes à un seul vantail coulissant, s'ouvrant d'environ 0,70 m.

Cette largeur fut reconnue insuffisante dès les premiers mois de l'exploitation, et on adopta en 1901 le système de la porte à deux vantaux conjugués, s'ouvrant de 1 m ; les voitures d'origine furent même modifiées de cette façon.

La disposition de trois portes par face fut utilisée sur les remorques de 12,450 m et sur les motrices à partir de 13,350 m de longueur totale. Théoriquement, l'entrée des voyageurs devait se faire par la porte centrale et la sortie par les extrémités, mais malgré les inscriptions portées sur les caisses et sur les glaces de certaines séries, jamais cette méthode n'a été appliquée.

La largeur d'ouverture des vantaux a été portée à 1,20 m sur les voitures de 13,600 m construites dans les années 20, mais cette disposition, favorable en principe à un échange plus rapide des voyageurs en station, n'a pas été heureuse, car ces portes étaient trop lourdes à manœuvrer par les voyageurs (cette cote fut reprise sur le matériel articulé en 1952).

Les voitures de 14,200 m construites à partir de 1926 avaient, au début, trois portes de 1,200 m, mais, à partir de 1929, c'est la disposition à quatre portes, larges de 1 m qui a été définitivement adoptée ; on avait alors reconnu que des portes nombreuses, bien réparties le long des trains, favorisaient les mouvements des voyageurs et permettaient de réduire les temps de stationnement.

b) Commande des portes — A l'origine toutes les portes étaient fermées par des agents des trains ; ainsi, en 1914, un train de 5 voitures était accompagné par six agents (conducteur, chef de train, garde arrière et trois gardes intermédiaires). Sur certaines voitures — à 3 portes — les deux portes extérieures étaient actionnées par des tringles extérieures dont les poignées étaient facilement atteintes par l'agent se tenant à la porte centrale.

En 1915, pour permettre une réduction des effectifs, le CMP fut autorisé à équiper les portes de poussoirs pneumatiques de fermeture, commandés par électrovalves : les deux premières voitures d'un train de 5 étaient commandées par le chef de train, les deux dernières par le garde arrière, la voiture centrale, de première classe, comportait un garde qui contrôlait les billets et fermait les portes.

Vers 1921, à la suite d'un accident mortel survenu à un voyageur coincé entre les deux vantaux d'une porte, les poussoirs initiaux furent remplacés par des poussoirs plus complexes assurant, théoriquement, une fermeture en deux temps, le second étant très ralenti. Simultanément les vantaux furent équipés de bandes de caoutchouc.

Plus tard, le garde en première classe se trouvant remplacé par un contrôleur itinérant, les portes de la voiture de première classe furent également commandées à distance ; mais la Compagnie de Chemin de fer métropolitain ne fut autorisée à supprimer le garde arrière qu'en 1929 sur les trains de 3 voitures, en 1938 sur les trains de 4 voitures et en 1943 sur ceux de 5 voitures.

Entre temps, l'équipement de com-

mande des portes était complété par des contacts permettant le fonctionnement d'un signal de départ seulement après fermeture (presque complète) de toutes les portes. En outre, un interrupteur était installé en tête des trains pour assurer le blocage permanent des portes situées à contre-voie, qui étaient antérieurement verrouillées à la main : cette disposition évitait d'avoir un personnel nombreux dans certains terminus et dans certaines stations où le service s'effectuait par le côté gauche des trains.

Équipement électrique de traction

L'équipement de traction d'une motrice assure au démarrage le maintien d'un courant constant dans l'induit des moteurs, malgré l'augmentation de la vitesse : a) par l'élimination de résistance, b) par le passage d'un couplage des moteurs en série à un couplage en parallèle, c) éventuellement, par le shuntage des inducteurs.

a) Les premières motrices construites en 1899 (au nombre de 52) étaient d'un type à « unité simple » utilisé sur les tramways ; les différentes connexions nécessaires pour assurer le démarrage étaient faites directement à la main par un combinateur — ou controller — comportant des contacts multiples s'ouvrant ou se fermant suivant la position de la manette. Une motrice ne pouvait remorquer, suivant les lignes, que 3 ou 4 voitures d'attelage ; en outre les rames se trouvaient « orientées » et les terminus comportaient des boucles. Sur les 52 premières motrices, 12 avaient deux loges leur permettant de circuler isolément sur des embranchements sans boucles.

b) Pour pouvoir constituer des trains plus longs et obtenir des trains réversibles, la Compagnie du Chemin de fer métropolitain fit construire en 1902 des motrices à équipements à « unités doubles » avec lesquels le « controller » d'une loge, très volumineux, contrôlait à la fois les deux moteurs de la motrice de tête et ceux d'une deuxième motrice du train ; un gros câble, supportant l'intensité des moteurs, réunissait les deux voitures disposées aux extrémités du train, en traversant toutes les remorques.

L'équipement à unités doubles a été installé en 1902 sur 77 motrices à essieux parallèles — transformées

plus tard en voitures à bogies —, puis en 1903-1904 sur 26 voitures à bogies de 11 m, les moteurs étant montés sur le bogie voisin de la loge de conduite.

Les équipements à unités doubles donnaient lieu à des courts-circuits assez fréquents dans le « controller » ; un tel incident réduisait de moitié l'effort de traction du train et il fallait, pour le franchissement des rampes, faire appel au poussage par le train suivant (c'est un incident de cette sorte qui est à l'origine de la catastrophe de « Couronnes »).

Par la suite, les motrices à bogies à unités doubles ont été accouplées directement et placées en tête des trains ; elles ont été utilisées jusqu'en 1932 sur la ligne n° 2.

c) C'est vers 1900 que sont apparus, en Amérique, les équipements à « unités multiples » avec lesquels chaque motrice dispose d'un circuit de traction autonome, télécommandé par le manipulateur de la loge de tête, par l'intermédiaire d'une « ligne de train », tous deux à faible courant. L'unité multiple permettait ainsi d'avoir des trains réversibles comprenant plusieurs motrices, cette formule devant être essentielle pour le développement des métros et des chemins de fer de banlieue.

La Compagnie du Chemin de fer métropolitain décida d'utiliser des trains de 5 voitures comprenant trois motrices (à 2 moteurs). En 1904-1905, elle commanda des matériels équipés de trois systèmes à unités multiples différents, en vue de les comparer : les systèmes Sprague, Thomson et Westinghouse :

1 — Le système « Sprague multiple » comprenait un « controller » mu par un servo-moteur, et un inverseur actionné par électro-aimants, ces deux appareils étant commandés par des relais locaux et par une ligne de trains à 5 fils à la tension du courant de traction, soit 600 V. Ce système n'équipa, en 1903 et 1905, que 23 motrices qui furent transformées en 1912.

2 — Le système « Thomson multiple » comprenait, outre l'inverseur, des contacts électromagnétiques à contacts auxiliaires, avec une ligne de trains de 9 fils (à la tension de la ligne) et un manipulateur assez complexe comptant autant de touches que de crans de traction. Ce système fut utilisé sur 271 motrices de 1904 à 1907, les équipements en furent conservés jusqu'en 1930-1936.

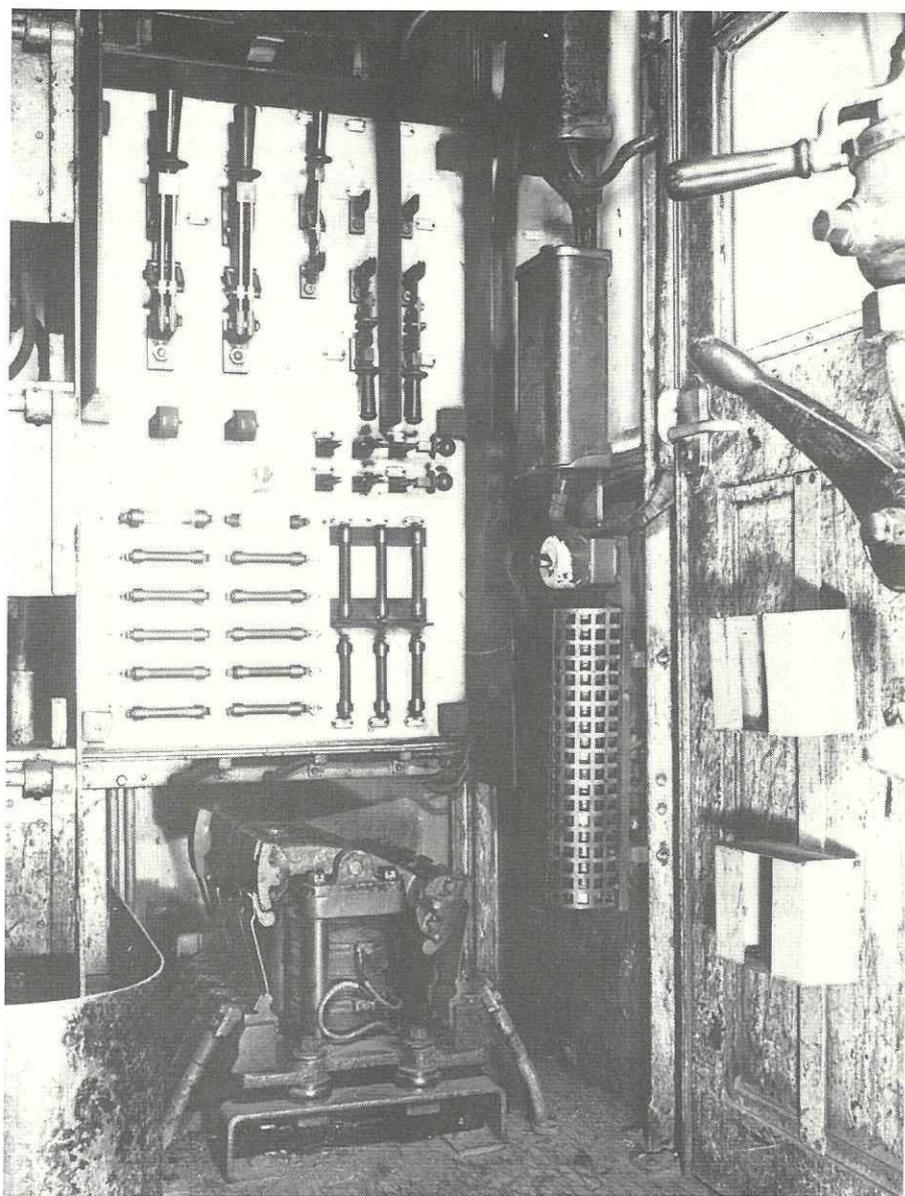
3 — Le système Westinghouse, très différent des précédents, utilisait l'air comprimé pour la commande de l'inverseur et des contacteurs individuels; l'air comprimé était admis par des électrovalves commandées à basse tension (14 volts) par une ligne de trains à 7 fils et un manipulateur très simple. Les contacteurs, au nombre de 13, étaient groupés dans une « tourelle » cylindrique assez encombrante. Ce type d'équipement fut monté en 1904 sur une centaine de voitures; il donnait de nombreux incidents dus à l'utilisation de l'air comprimé et d'un courant de commande à trop basse tension; il fut conservé jusqu'en 1929.

d) Les premiers équipements à unités multiples, systèmes de télécommande complexes pour l'époque, donnaient lieu à des incidents en ligne assez fréquents, et à des réglages délicats; ce problème parut avoir une solution en 1908 avec l'apparition de l'équipement Sprague-Thomson qui combinait les contacteurs électromagnétiques du Thomson avec le manipulateur assez simple du Sprague. Un relais d'accélération assurait sur chaque équipement le passage automatique convenable d'un cran à l'autre, grâce aux multiples contacts auxiliaires dont étaient munis les contacteurs. La ligne de trains, à 5 fils, était à la tension de la ligne (600 V). Le démarrage s'effectuait en 13 crans dont deux avec shuntage des inducteurs.

Après mise au point, ce système d'équipement s'avéra suffisamment fiable malgré le réglage délicat des contacts auxiliaires des contacteurs; après un essai malheureux de contacts sur tambour, on généralisa les contacts à plateaux utilisés dès l'origine. Ce système était tellement supérieur aux systèmes antérieurs qu'il fut généralisé sur tout le matériel en 1933-36, toutes les motrices du réseau devenant ainsi accouplables.

e) Jusqu'en 1926, toutes les voitures avaient deux moteurs de traction, du type fermé, dont la puissance était de 125 CV depuis d'origine jusqu'en 1907 et de 175 CV après cette date. Sur les voitures à bogies, ces moteurs étaient montés sur le bogie voisin de la loge de conduite où tout l'équipement de traction était installé.

A partir de 1921, il apparut possible d'installer une partie des contacteurs de l'équipement de traction dans des coffres disposés sous le châssis, les méthodes d'interventions à l'atelier d'entretien se trouvant ainsi modifiées.



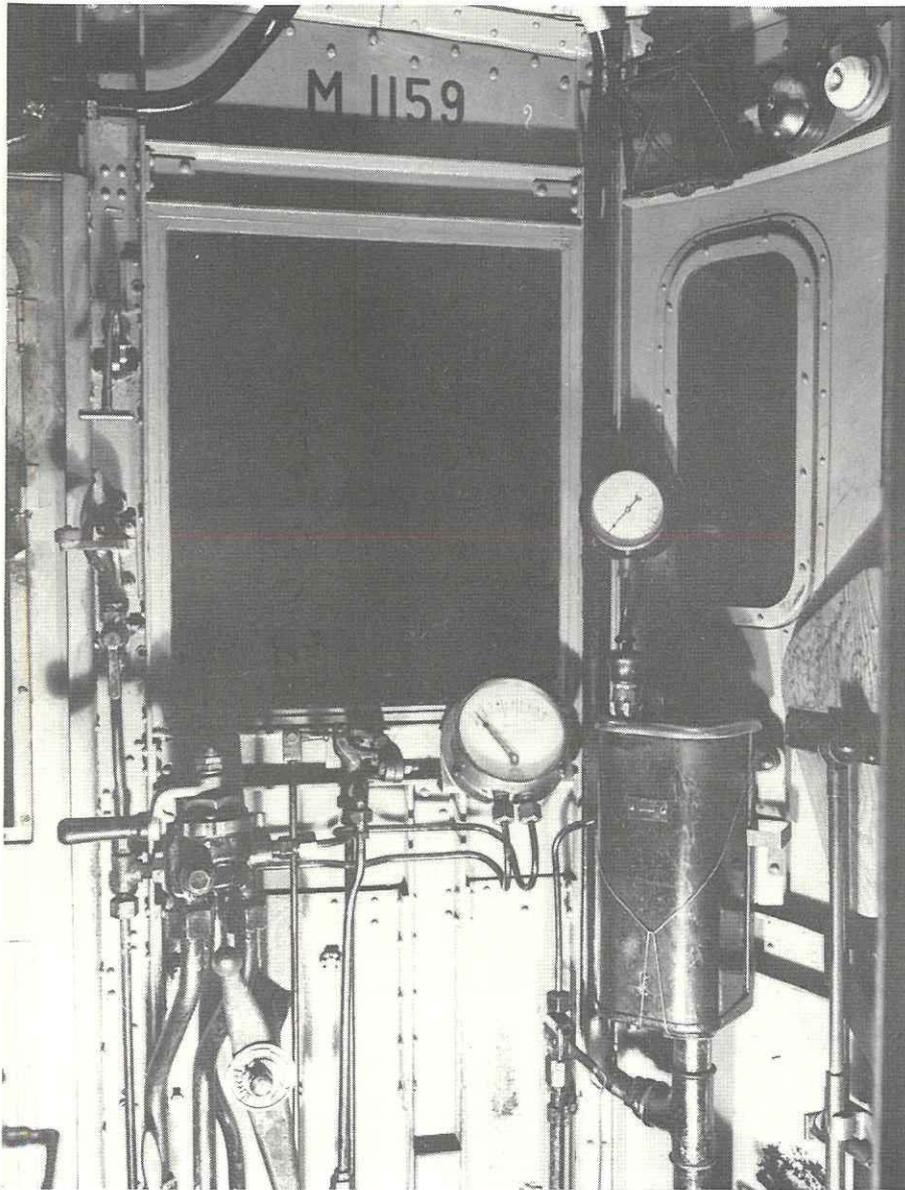
Intérieur d'une loge de conduite (1930).

f) Enfin vers 1926, la Compagnie du Chemin de fer métropolitain désira accroître la puissance des trains (de 5 voitures de 14,200 m) en y prévoyant 8 moteurs; il s'agissait, d'une part d'augmenter la vitesse commerciale, et d'autre part de supprimer les difficultés de franchissement des rampes importantes (en particulier Bastille et les rampes extérieures où l'adhérence se trouvait diminuée au moment de la chute des feuilles). On étudia alors des motrices à quatre moteurs, mais sur lesquelles deux équipements de traction distincts contrôlaient les deux

moteurs de chaque bogie. Un incident sur un moteur ou un équipement ne provoquait par conséquent qu'une réduction de 25% de l'effort de traction du train.

Le dessous du châssis se trouva tellement encombré qu'il fallut laisser dans la loge (longue de 1,30 m), outre l'inverseur, quelques-uns des contacteurs de traction.

C'est ce type de motrice de 14,200 m à 4 moteurs qui fut construit à 650 exemplaires entre 1926 et 1938.



Intérieur d'une loge de conduite (1930).

g) Au cours de cette dernière période, un nouveau type d'équipement, d'invention française, fut proposé par la Société Jeumont, constructeur des équipements Sprague-Thomson. C'est l'équipement JH (Jeumont Heidmann) dans lequel inverseur et contacteurs sont actionnés par un seul arbre à cames mu, cran par cran, par un servomoteur électrique; cet équipement, contrôlé par divers relais, était commandé par une ligne de train à 600 V.

L'équipement JH, monté à titre expérimental sur 21 motrices du métro ur-

bain, n'y fut pas étendu jusqu'à la guerre, mais il fut adopté, avec une commande à basse tension, sur tous les matériels conçus depuis cette époque.

Équipement électrique général

L'équipement électrique général est resté à peu près constant depuis les premières voitures à bogies :

- captation du courant 600 V par frotteurs montés sur les bogies moteurs, avec fusible immédiatement en série
- tableau en marbre monté dans la loge, avec interrupteurs à couteau : interrupteur de traction, ultérieurement interrupteurs des groupes de deux moteurs, interrupteurs auxiliaires divers et fusibles
- éclairage par 2 ou 3 séries de 5 lampes par voiture, alimentées en courant de traction, depuis la loge de conduite, avec possibilité d'alimentation de secours par une perche
- compresseur alimenté localement par un contacteur (appelé conjoncteur) piloté par un régulateur de pression
- ligne de train « auxiliaires » à 600 V parallèle à la ligne de train « traction ».

Ce n'est qu'avec le matériel articulé, construit en 1952, que tous les appareils à 600 V ont été supprimés dans la loge, les appareils à 600 V (plus tard 750), montés en totalité dans des coffres sous le châssis, étant télécommandés par des circuits à basse tension.

Freinage

Le système de freinage utilisé à l'origine a été conservé jusqu'en 1938, ce qui permettait d'accoupler les trains de formations différentes pouvant circuler sur les lignes. Il s'agit d'un frein Westinghouse pneumatique, continu et automatique, à triple valve n° 3, avec un robinet de commande très simple. Ce frein, modérable seulement au serrage, est apparu suffisant pour les trains courts du métro. Des systèmes plus perfectionnés ont été adoptés sur les matériels construits par la suite pour le métro et les lignes régionales.

La timonerie, avec un cylindre de frein par voiture, comportait, suivant les séries, un ou deux sabots par roue; les sabots étaient en fonte à l'origine, mais, dans les années 20, ces sabots furent remplacés par des sabots en bois huilé, sauf sur les lignes à parcours extérieur, cette solution étant économique et évitant la production de poussière métallique.

Le matériel Nord-Sud

La Société du Nord-Sud concurrente de la Compagnie du Chemin de fer métropolitain exploita, à partir de 1910,

deux lignes qui sont actuellement désignées sous les n^{os} 12 et 13 ; ces lignes furent en effet rattachées en 1930 à la Compagnie du chemin de fer métropolitain.

Le matériel, commandé en 1907, tenait compte de l'expérience du réseau créé en 1899. Les voitures avaient déjà 13,600 m de longueur de caisse, constituant des trains de 72 m. La construction, entièrement métallique, comportait des bogies à double suspension ; les sièges étaient plus confortables que ceux du métropolitain, les couleurs claires. Les portes, au nombre de 3 par face et de 1 m d'ouverture, étaient télécommandées à la fermeture par des poussoirs pneumatiques.

Les motrices, en tête et en queue du train, avaient déjà 4 moteurs (de 125 CV), l'équipement de traction étant du type Sprague-Thomson, légèrement différent de celui du métropolitain ; les moteurs étaient séparés en deux groupes pouvant être isolés en cas d'avarie.

Le système d'alimentation des trains en courant de traction était particulier : dans un but de sécurité cette alimentation était double, par câble aérien à la tension + 600 V par rapport aux rails de roulement, et par troisième rail, à la tension - 600 V ; la motrice de tête prenait du courant à + 600 V par pantographe, et la motrice de queue du courant à - 600 V par frotteurs.

Ce matériel, qui totalisa 114 motrices et 151 remorques, avait pour inconvénients la faible puissance de ses moteurs et le fait que chaque équipement de traction commandait 4 moteurs ; il a circulé jusqu'en 1972.

Conclusion

On a pu constater, dans ce qui précède, la progressivité continue de l'évolution du matériel roulant du métropolitain de 1900 à 1938 sans aucune modernisation radicale entre temps.

En effet, les ingénieurs du réseau ont dû surmonter pendant 25 ans, en utilisant toutes les possibilités nouvelles de la technique, les difficultés de la mise au point d'un système de transport constitué, dès son origine, par un réseau à traction électrique presque entièrement souterrain.

Au cours des années 30, les dirigeants responsables du matériel roulant, qui avaient vécu, comme jeunes ingénieurs, tous les tâtonnements et les déboires de ces débuts difficiles, avaient comme préoccupation essentielle la généralisation du matériel puissant et fiable auquel ils avaient abouti, et l'élimination, par leur transformation, des matériels disparates, générateurs d'incidents en ligne, datant des douze premières années du siècle.

De 1926 à 1938, des commandes de matériel devaient être passées chaque année pour suivre le développement du réseau qui s'étendait à la fois dans Paris et en banlieue : ces commandes ont porté sur des constructions presque identiques. Les possibilités d'études du service du matériel étaient d'ailleurs réservées, à ce moment, à la création d'un matériel nouveau à grand gabarit destiné à la ligne de Sceaux, qui devait être rattachée au métropolitain en 1938.

Ce n'est qu'immédiatement après la guerre qu'il a été décidé de passer pour le métro à un matériel entièrement moderne, le matériel articulé, qui fut malheureusement conçu pour une exploitation, que l'on croyait prochaine, de stations longues de 110 m, solution qui n'a pas été retenue par la suite.

Le matériel articulé était totalement différent du matériel de 1938, sa construction limitée à 40 éléments à 3 caisses, ne fut pas continuée, mais ce modèle inspira quelque peu la conception des matériels modernes dont la généralisation sur les lignes est en cours ; le matériel sur pneumatiques, créé en 1955 et le matériel sur fer conçu en 1967.

(NB — Les lecteurs désireux de trouver des renseignements plus approfondis sur l'histoire du matériel roulant du métropolitain pourront se reporter à l'intéressant ouvrage de M. Jean Robert : « NOUVEAU MÉTRO »).

EVOLUTION DES MOTRICES DU METROPOLITAIN DE PARIS JUSQU'EN 1938
(Matériel Nord-Sud excepté)

CARACTERISTIQUES	CONSTRUCTIONS					TRANSFORMATIONS											
	EQUIP. TRACTION	LONG.	DATE COM Mde	NUMEROS	NOM-BRE	CARACTERISTIQUES NOUVELLES	DATE COM Mde	NUMEROS	NOM-BRE	CARACT. NOUV.	DATE COM Mde	NUMEROS	NOM-BRE	CARACTERISTIQUES NOUVELLES	DATE COM Mde	NUMEROS	NOM-BRE
ESSIEUX PARALLELES	UNITE SIMPLE	7,68	1899	MM 1-12	12	◁1906											
		8,15	1899	1-34 51-56	40	BOGIES LOGE METAL UM WESTING long. 10,85	1904	1-34 51-56	40	Long. 13,35	1910	1-34 51-56	40 *	4 MOTEURS	1929 1936	1-32-34 51-56	39
CAISSE BOIS	UNITES DOUBLES	8,45	1902	101-144	44*	BOGIES LOGE METAL (Un. doubles) long. 10,85	1905	101-138 140-144	43					UM Sp.-Th.	1930	101-138 140-144	43
			1902	201-233	33*		1905	201 203-232	31	Long. 13,35	1911	201 203-209 211-226	24	Long. 14,20	1930	201 203-232	31
BOGIES LOGE METALLIQUE	UNITES DOUBLES	11,15	1902	301-302	2	◁1931											
		10,85	1903-4	307-316 320-329	24*	----- (b) ----- (7 réformées en 1922 et 1931)											
COMPARTIMENT VOYAGEURS EN BOIS	UM Sprague	10,85	1904	317-319	3	----- (b) ----- UM Sp.-Th. 1912 317-319 3 4 MOTEURS											
	UM Thomson et Westing.	10,85	1904	330-389	60	----- Long. 13,35 1910 330-389 60 UM Sp.-Th. 1929 1936 330-389 60											
	2 MOTEURS	13,35	1904	401-490	90	----- Long. 14,20 1931-2 401-490 90											
		UM Thomson	10,92	1906	245-280	36	----- Long. 13,35 1912 245-280 36 1931-2 245-280 36										
BOGIES CONSTRUCTION METALLIQUE	UM Thomson	10,92	1906	57-80	24	----- 290-300(b) Sp.-Th. en 1912 Long. 13,35 UM Sp.-Th. 1912 281-289 9 1931-2 281-300 20 339											
	UM Sprague	10,85	1905	281-700	20	----- Long. 13,35 1912 57-80 24 * UM Sp.-Th. (2 Mot.) (13,35) 1930 60-80 21											
3 PORTES 4 MOTEURS (Bogies, Constr. Métallique)	UM Sp.-Th.	13,35	1900-8	491-697 718-738	128	-----											
	UM Thomson	13,35	1908	598-717	120	----- UM Sp.-Th. (2 Mot.) (13,35) 1936 598-717 120											
	UM Sp.-Th.	13,35	1911	739-808	70	-----											
	UM Sp.-Th.	13,60	1922-6	812-1036	225	-----											
4 PORTES	UM Sp.-Th.	14,20	1926	1037-1098	62	-----											
	UM Sp.-Th.	14,20	1929-32	1099-1132 1154-1355	236	-----											
	UM JH	14,20	1929	1133-1153	21	-----											

◁ Retirées du service voyageur en ...
 ➔ En service, sans transformation, en 1938

* Une ou plusieurs voitures réformées avant la transformation suivante

(a) En 1929 la construction en bois d'origine a été conservée pour une partie de la caisse ; en 1936, la totalité de la caisse a été rendue métallique

(b) Voitures conservées jusqu'en 1932 avec leur longueur de 10,85 m pour la ligne n° 2

UM = Unités multiples



Les réalisations et les méthodes d'exploitation qui ont donné au métro son visage d'aujourd'hui

par Robert CRONIER
Ingénieur général

Adjoint au Directeur du Réseau ferré Chef du Service de l'Exploitation

A Paris, comme dans de nombreuses grandes villes du monde, les transports urbains posent des problèmes difficiles.

Depuis la dernière guerre, compte tenu de l'évolution sociale générale – réduction du temps de travail groupé en cinq journées continues, développement de la voiture particulière et de la télévision – le nombre global des voyageurs empruntant les transports en commun avait tendance à diminuer alors qu'inversement les personnes utilisant le métro aux heures de pointe étaient de plus en plus nombreuses. Cette situation s'est légèrement modifiée avec l'apparition de la crise de l'énergie : le trafic global a tendance à s'accroître tout particulièrement pour les autobus, mais l'augmentation de l'affluence des heures de pointe risque de poser, à terme, des problèmes de plus en plus délicats. A une telle situation, s'ajoute une exigence croissante des voyageurs en qualité de service et en confort. Ces contraintes, compte tenu du développement de l'urbanisme vont aller en s'accroissant.

Il faut donc adapter le réseau en le modernisant et prévoir dès aujourd'hui les transports de demain.

Tout cela nécessite des investissements de grande ampleur qui ne pourraient être financés sans le secours de l'État et du district parisien.

Cela nécessite un effort de la Régie sur elle-même pour transformer radicalement ses méthodes d'exploitation et ses conceptions de direction et de gestion.

évolution des structures du réseau ferré, du matériel roulant et aménagements des installations

Évolution de la structure du Réseau ferré

De 1930 à 1945, le développement du réseau ferré s'est poursuivi activement, portant sa longueur de 117 km à 184 km (ligne de Sceaux comprise). Pendant le même temps, le trafic augmente considérablement et particulièrement aux heures d'affluence.

Ce développement s'est considérablement ralenti immédiatement après la guerre et nous n'enregistrons que deux prolongements de 1945 à 1969 (Porte d'Ivry, Mairie d'Ivry en 1946 et Porte de Saint-Ouen - Carrefour Pleyel en 1952).

Un nouvel élan devait intervenir à partir de l'année 1969 et, depuis, de très grandes réalisations ont été faites notamment la mise en service du métro régional à l'est et à l'ouest de Paris :

- Nation - Boissy-Saint-Léger (14-12-1969),
- La Défense - Charles de Gaulle-Etoile (21-2-1970),
- Auber - Charles de Gaulle-Etoile (23-11-1971),
- La Défense - Saint-Germain-en-Laye (1-10-1972),
- Gambetta - Gallieni et débranchement de la ligne 3 bis (2-4-1971),
- Charenton-Ecoles - Maisons-Alfort-Stade (19-9-1970),
- Maisons-Alfort-Stade - Maisons-Alfort-Juilliottes (27-4-1972),
- Maisons-Alfort-les-Juilliottes - Créteil l'Echat (26-9-1973),
- Créteil l'Echat - Créteil Préfecture (10-9-1974),
- Saint-Lazare - Miromesnil (27-6-1973) et Miromesnil - Champs-Élysées-Clemenceau (18-2-1975).

le métro aujourd'hui

Aujourd'hui, le métro urbain, long de 177 km, comprend 16 lignes et 347 stations.

Les jours ouvrables, il transporte 3,7 millions de voyageurs, soit plus d'un milliard par an, ce qui le situe aux tout premiers rangs dans le monde après New York.

Le métro régional, au gabarit unifié des chemins de fer (alors que les voitures du métro urbain ont un gabarit de 2,40 m seulement), a été conçu comme un transport de grande capacité pour desservir des banlieues distantes de 25 à 30 km du centre de la capitale. À air libre à la périphérie, ces lignes régionales pénètrent en souterrain jusqu'au cœur du noyau central de l'agglomération et n'ont, à l'intérieur de la ville, qu'un nombre réduit de stations en correspondance avec le métro urbain.

Le métro régional s'étend actuellement sur 75 km et comporte 52 stations. Il assure le transport de 460 000 voyageurs par jour ouvrable (136,7 millions en 1974). Il comprend 3 lignes : la ligne de Sceaux au sud qui, dès 1938, amorçait par son équipement et son type d'exploitation le schéma du métro régional et deux lignes récemment aménagées, la ligne de Boissy-Saint-Léger à l'est et la ligne de Saint-Germain-en-Laye à l'ouest.

Renouvellement du matériel roulant

Le Réseau urbain dispose de 3 400 voitures qui composent aux heures de pointe 550 trains se succédant à des intervalles variant selon les lignes de 95 à 140 secondes.

Dès 1952, le matériel articulé mis en service sur la ligne 13, équipé d'une commande basse tension, préfigurait la nouvelle génération de matériel urbain.

Le renouvellement du matériel ancien par du matériel moderne se poursuit activement et sera complètement terminé vers 1980-1981.

Le premier matériel sur pneumatique a été mis en service sur la ligne 11 en



RATP-CARRIER



RATP-THIBAUT

1 - Le matériel articulé.
2 - Matériel fer moderne MF67.



RATP-THIBAUT



RATP-BARINET



RATP-THIBAUT

3-4 - Matériel sur pneumatiques.
5 - Le matériel du réseau régional.

1956. Ce type de matériel modernisé équipe maintenant les lignes 1, 4, 6 et 11.

D'autre part, le nouveau matériel à roulement sur fer circule sur les lignes nos 3 et 7. L'équipement de la ligne 3 est commencé. Ce renouvellement sera poursuivi progressivement sur les lignes 8, 13/14, 5 et 12 à partir de 1976. Le matériel des lignes 5, 8 et 12 sera équipé d'un dispositif de récupération de courant. Les lignes 3 bis et 7 bis seront exploitées également avec du matériel fer moderne.

L'affectation du nouveau matériel aux diverses lignes est faite en fonction des critères ci-après :

- priorité est donnée aux lignes où existe un déficit de personnel, la mise en service de matériel moderne étant accompagnée de l'équipement de la ligne en pilotage automatique, qui permet l'exploitation des trains avec un seul agent à bord,
- mise en service le plus rapidement possible du matériel moderne sur les lignes faisant l'objet de prolongements en banlieue ou à Paris,

— réemploi du matériel articulé de la ligne 13 sur la ligne 10 et transformation de ce matériel pour son exploitation avec un seul agent sans pilotage automatique (équipement avec le dispositif de veille automatique notamment).

Il faut souligner, par ailleurs, que la mise en service de nouvelles voitures correspond à une augmentation de la capacité de transport d'environ 8%.

Si le matériel roulant du métro régional en exploitation sur les lignes de Boissy-Saint-Léger et de Saint-Germain-en-Laye est neuf, celui de la ligne de Sceaux, en revanche, a été mis en service par étapes entre 1938 et 1962. Depuis 1967, le parc a été augmenté d'un tiers par du matériel identique à celui des deux autres lignes du réseau régional et comprenait 470 voitures en 1974.

D'une façon générale, en ce qui concerne le matériel roulant, des études et des essais sont faits pour un aménagement compatible avec une politique de promotion des transports (silence du roulement, confort, esthétique, éventuellement climatisation, etc.) et pour l'utilisation de matériaux réduisant considérablement les risques d'incendie.

Aménagement des installations

La transformation des stations de métro urbain pour améliorer les conditions de séjour et le déplacement des voyageurs fait l'objet d'un effort soutenu. Les salles, couloirs et escaliers sont adaptés, au prix de difficiles travaux souterrains, aux besoins toujours croissants du trafic. Le nombre des escaliers mécaniques est passé de 87 en 1965 à 198 en janvier 1975.

L'équipement va se poursuivre à un rythme accéléré. Des trottoirs roulants sont aménagés dans les couloirs de correspondance les plus longs : Châtelet (2 trottoirs de 132 m chacun) en 1964, Montparnasse (3 trottoirs de 185 m chacun) en 1968, Opéra-Auber (4 trottoirs de 80 m de long chacun) en 1971.



RATP-THIBAUT



6 - Escaliers mécaniques débouchant à l'extérieur.

7 - Escaliers mécaniques de la station Charles de Gaulle-Étoile.



RATP-DE GUYENRO



RATP-THIBAUT

8 - Trottoir roulant.

9 - Une station moderne : Gallieni.

10. - Une station moderne : Nanterre-Préfecture.

L'éclairage est amélioré ainsi que la ventilation sur les lignes les plus chaudes et les plus chargées. **Sept stations**, trois sur la ligne n° 1 et quatre sur la ligne n° 4, sont dotées d'appareils de réfrigération. Depuis 1965, 57 installations de ventilation mécanique ont été mises en service et le débit des installations existantes a été augmenté. Le nombre total de ces installations est de 152.

Plusieurs stations de la ligne de Sceaux du métro régional ont été rénovées; les autres le seront progressivement.

Les installations de la ligne de Boissy-Saint-Léger et de la ligne de Saint-Germain-en-Laye ont fait l'objet d'un soin particulier. L'architecture intérieure de chacune des grandes stations souterraines a été traitée par des architectes de renom : Wogensky pour Auber, Pierre Dufau pour Charles de Gaulle-Etoile, Vicariot pour La Défense, Arsac pour Nanterre-Préfecture, Blanchet pour Saint-Germain-en-Laye, Bourbonnais pour Nation. Sur ces deux lignes, le nombre des escaliers mécaniques est de 196 dans 10 stations.

Par ailleurs, la Régie généralise l'installation de dispositifs de sonorisation pour l'information des voyageurs. 180 stations sont déjà équipées sur le réseau urbain et 40 stations sur

le métro régional. A partir de mars 1975, l'équipement des stations non encore aménagées sera poursuivi au rythme de 15 par mois.

modernisation des méthodes d'exploitation

L'exploitation des années « 60 »

Avant la mise en service de la première commande centralisée, l'exploitation du réseau, très chargé et dont les moyens techniques avaient peu évolué, était devenue très difficile.

Aux heures d'affluence, sur toutes les lignes importantes, le retard journalier sur l'horaire était considérable et cela correspondait en fait à une très importante perte de la capacité de transport (plus de 15% sur certaines lignes). Dans toutes les stations à fort trafic, et particulièrement dans les stations de correspondance, les temps d'attente dans les accès et sur les quais étaient alarmants.

Enfin, des incidents sans gravité provoquaient des perturbations considérables et engendraient des situations pénibles pour les voyageurs, notamment de très fréquentes évacuations sous tunnel.

La médiocrité du service offert et l'insécurité croissante qui résultaient des méthodes d'exploitation pratiquées avaient attiré l'attention des pouvoirs publics et de la presse et provoquaient parfois la colère des voyageurs et le mécontentement du personnel.

Comment peut-on expliquer cette situation ?

Nous avons retenu quatre causes essentielles :

a) des moyens de communication insuffisants et parfois inexistants

Aucune liaison directe ne permettait

aux gradés d'une ligne ou de la permanence d'entrer en contact avec les agents d'un train. Toutes les informations en provenance ou à destination des trains devaient transiter par les chefs de station, leurs bureaux étant reliés à l'interstation aval par la ligne téléphonique du tunnel. De ce fait, les informations et les ordres devaient être transmis sous forme de dépêches au moyen de l'appel général.

En conséquence, les informations et les ordres étaient :

- tardifs,
- incomplets ou déformés,
- souvent mal interprétés, donc mal exécutés.

La direction d'un incident était un acte de commandement particulièrement difficile ; il était notamment impossible d'avoir une vue globale des événements (par exemple, connaître rapidement la position exacte de tous les trains après une coupure de courant). Les liaisons téléphoniques déjà insuffisantes étaient rapidement saturées en cas d'incident, ce qui contribuait à augmenter les délais de transmission des ordres.

Chaque conducteur devait régler la marche de son train en consultant une marche-type pratique et, sur l'ancien matériel, appliquer le tableau indicatif d'emploi de courant sans pouvoir contrôler sa vitesse. Chaque agent agissait ainsi isolément sans avoir d'information sur ce qui se passait en ligne. Le conducteur devait annoncer son retard, minute par minute ; ce retard était communiqué aux gradés de la ligne par appel général émis par un chef de station. Les gradés et notamment les chefs de départ des terminus devaient ainsi régulariser l'horaire des trains.

Compte tenu du caractère aléatoire du temps de stationnement des trains dans les stations (le règlement précisait que le départ ne pouvait avoir lieu que lorsque le service « voyageurs » était effectivement terminé) et de la qualité inégale de la conduite des différents conducteurs, le retard cumulé sur l'horaire aux heures d'affluence était considérable et les intervalles réels étaient très irréguliers.

Les gradés s'efforçaient de corriger ces irrégularités en retardant certains trains, en compensant les heures d'expédition de certains autres et en limitant l'accès des voyageurs aux quais de certaines stations par fermeture anticipée et prolongée des portillons automatiques. L'absence momentanée d'un chef de station de son bureau ou le fonctionnement défectueux d'un téléphone pouvaient entraîner des conséquences sérieuses.

Dans ces conditions, il était pratiquement impossible d'assurer pendant les heures d'affluence une capacité de transport convenable, la capacité pratique étant souvent nettement inférieure à la capacité théorique. Cette situation avait pour conséquences de très longues attentes dans les accès derrière les portillons automatiques fermés ; en l'absence d'incident notable, il n'était pas rare d'attendre 6 à 10 minutes dans certains accès. Les temps de trajet étaient augmentés par suite des retards cumulés de tous les trains et la charge de certains trains était excessive car l'intervalle pratiqué était souvent très supérieur à l'intervalle théorique.

Ainsi, en décembre 1966, le retard de l'ensemble des trains de la ligne n° 1 sur leur horaire atteignait en fin de période de pointe, 22 minutes en moyenne. Ces « retards » n'étaient certes pas ressentis comme tels par les voyageurs, mais ils se traduisaient par une baisse de capacité engendrant l'encombrement des trains et des accès : sur la ligne n° 1 où l'intervalle théorique était de 1 mn 50 s, il n'était pas rare d'exploiter à 2 mn voire à 2 mn 10 s.

b) des équipements vétustes dont les moyens de contrôle et de commande ne correspondaient plus aux besoins de l'exploitation

A l'exception de certains appareils de voie situés dans les terminus, les autres devaient être commandés à pied d'œuvre ce qui rendait les services provisoires souvent inefficaces. Il fallait en effet attendre l'arrivée in situ d'un gradé qui avait parfois été acheminé sur les lieux en taxi à travers Paris aux heures de pointe. En règle générale, ces manœuvres étaient effectuées trop tard.

Les moyens de commande de l'alimentation en courant de traction ne permettaient pas de résoudre rapidement les problèmes posés et l'absence de contrôle entraînait des situations parfois dangereuses.

C'est ainsi que la coupure du courant nécessitait l'actionnement du rupteur d'alarme le plus proche et que le circuit des alarmes ne permettait pas d'exploiter en toute sécurité un service provisoire lorsqu'il y avait lieu de rétablir partiellement le courant sans avertisseurs.

Très souvent, des voyageurs ont évacué des trains dans des zones restées alimentées et pour lesquelles il fallait demander d'urgence, par téléphone, la coupure du courant à la sous-station.

Les manœuvres de rétablissement du courant de traction après un incident ayant nécessité la coupure s'effectuaient après un échange de dépêches entre les gradés de la ligne et ceux des sous-stations dans des conditions d'insécurité totale, car le gradé qui demandait le rétablissement du courant ignorait bien souvent ce qui se passait exactement en ligne (début d'évacuation par exemple).

c) une structure de l'encadrement d'exploitation complètement inadaptée

Il y avait deux services d'exploitation : le service de la TRACTION dont le rôle essentiel était d'assurer la conduite et le dépannage des trains et le service du MOUVEMENT qui était chargé, dans le domaine de la circulation des trains, de la régulation.

De ce fait, sur une même ligne, deux hiérarchies différentes coexistaient avec des préoccupations distinctes et parfois contradictoires.

Cette dualité du commandement avait pour conséquences :

- une sous utilisation du personnel d'encadrement,
- des rivalités nuisibles à l'entreprise, voire des situations conflictuelles,
- un manque total de coordination malgré la bonne volonté des uns et des autres.

d) des règlements d'exploitation désuets

Les règlements et notamment le règlement général, approuvé par décision préfectorale de 1911, n'avaient été que très partiellement modifiés par des arrêtés ultérieurs. Ils ne correspondaient plus aux besoins de l'exploitation. Citons par exemple, l'obligation d'évacuer les voyageurs d'un train après 15 minutes de stationnement sous tunnel, l'arrêt obligatoire et immédiat en cas de court-circuit instantané et l'interdiction de marche rétrograde en l'absence d'un gradé sur place. A eux seuls, ces trois articles du règlement ont coûté au métro des retards considérables.

Les difficultés auxquelles les exploitants étaient confrontés devenaient insurmontables et certains incidents restés tristement célèbres ont largement contribué, à cette époque, à détériorer sérieusement l'image de l'entreprise.

Évolutions des conceptions dans le domaine de la gestion des trains

D'une façon générale, la gestion des trains doit répondre aux impératifs ci-après :

- la rapidité d'action compte tenu d'une part de la nécessité d'assurer la sécurité et d'autre part de l'importance croissante des capacités de transport à mettre en jeu,
- l'optimisation de la capacité de transport pratique qui est liée à la régularité du mouvement des trains,
- la minimisation des coûts d'exploitation.

Pour toutes ces raisons, après un long cheminement de la pensée et compte tenu de l'évolution de la technologie, les orientations qui ont été retenues sont :

- la **centralisation**, parce qu'une ligne forme un tout et que la marche d'un train est liée à celle des autres; chaque action doit être pensée en fonction de l'ensemble;

– l'**automatisation**, parce qu'elle :

- augmente la sécurité (notamment l'automatisation des commandes),
- augmente les performances (notamment aux heures d'affluence),
- minimise les coûts d'exploitation.

Ces deux orientations sont indissociables; toutes deux ont déterminé l'évolution de la doctrine de la R.A.T.P. en matière de méthodes d'exploitation.

a) Premières recherches

Depuis longtemps, des ingénieurs de la Régie avaient imaginé ce que pourrait être une régulation susceptible d'améliorer en priorité la capacité de transport pratique.

Une première tentative fut faite sur la ligne n° 13 en 1953 avec le poste de commande de Saint-Lazare. Les agents des trains pouvaient, en utilisant la ligne téléphonique du tunnel ou les postes fixes des points d'arrêt, entrer en relation directe avec le chef de régulation.

Mais la recherche des objectifs de disponibilité, de sécurité, de maintien de la qualité de service conduiront à la nécessité d'une centralisation rationnelle des contrôles et des commandes.

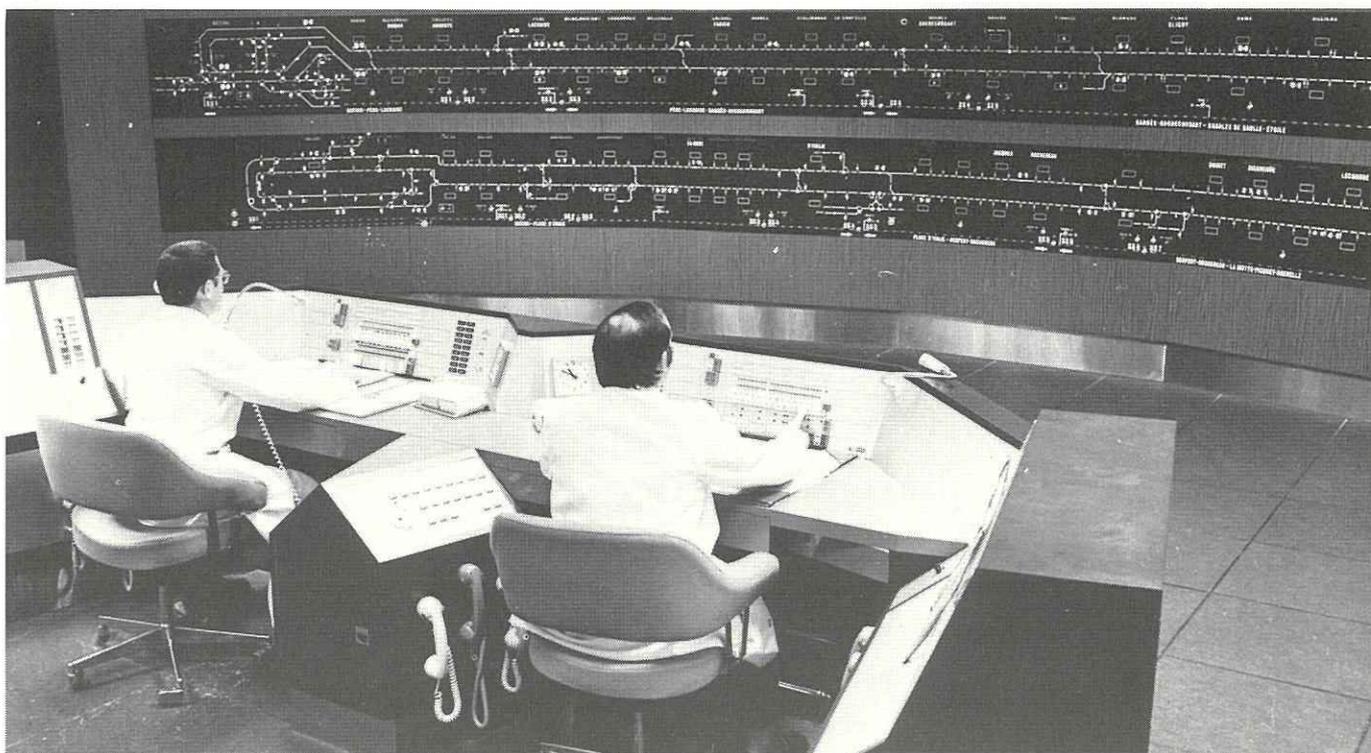
En effet, il est apparu que seule une telle centralisation pouvait permettre :

- une vision globale et instantanée des événements, grâce au rassemblement en un même lieu des informations,
- une décision immédiate et judicieuse par la présence permanente de personnel, en petit nombre, mais hautement qualifié,
- une exécution rapide des mesures prises grâce à la télécommande directe de certains équipements et à un réseau complet de télécommunications, offrant des liaisons rapides aux exploitants et aux techniciens.

b) La commande centralisée

Le développement de l'électronique et notamment les logiques câblées et les télétransmissions codées ont permis la conception et la réalisation du poste de commande et de contrôle centralisés (P.C.C.) de la ligne n° 1 en juin 1967.

Le poste de commande centralisé.



RAIP-ROY

La gestion des trains est désormais basée sur deux niveaux de surveillance :

- un premier niveau constitué par l'agent des trains qui est chargé de contrôler le bon fonctionnement du matériel roulant et des équipements. Il doit être capable de remédier aux avaries les plus simples et les plus courantes et, dans certains cas, de mettre en œuvre les modes de conduite dégradés prévus. Il est aidé dans cette tâche par le chef de régulation du P.C.C. avec lequel il est en liaison constante au moyen du téléphone H.F.
- le deuxième niveau de surveillance, constitué par le P.C.C., véritable cerveau des opérations permettant de :
 - tout savoir,
 - tout entendre,
 - tout voir,et donc, de tout commander pour ce qui concerne le mouvement des trains.

Bien entendu, le personnel à pied d'œuvre doit conserver son entière responsabilité et la mise en œuvre d'une stratégie rationnelle d'exploitation ne peut résulter que d'échanges harmonieux entre le personnel du P.C.C. et le personnel de ligne, qui doivent, de ce

fait, tous deux être parfaitement qualifiés si l'on veut obtenir une bonne qualité de service.

La commande centralisée permet de gérer :

- la fonction parcours des trains (commande de contrôle des itinéraires),
- la fonction régulation par action sur les horaires et les allures des trains,
- la fonction alimentation en courant de traction réalisée par action sur des organes de distribution d'énergie; à ce sujet, le métro de Paris est le premier et l'un des seuls à confier la gestion de cette fonction aux exploitants. L'alimentation des lignes est ainsi dissociée de la « production » et de la distribution qui sont confiées aux services techniques.

Pour gérer ces fonctions, la commande centralisée fait appel à des équipements divers : tableaux de contrôle optiques avec identification des trains, visualisation de l'état de certains équipements, télécontrôle et télécommande de certains itinéraires et de l'alimentation en courant de traction, pupitre de commande avec moyens de télécommunication.

L'adjonction à la commande centralisée de la liaison directe par téléphonie à courants porteurs assurant le contact direct entre le chef de régulation et les trains devait se révéler l'instrument capital qui allait animer le P.C.C. et lui donner sa pleine efficacité.

Le P.C.C. de la ligne n° 1, prototype complexe et complet a servi de champ d'expérimentation aux techniciens et aux exploitants. Ces derniers, en particulier, réalisèrent très vite les extraordinaires possibilités d'un tel outil de travail. On découvrit par exemple les mérites et l'efficacité de la régulation manuelle avant la mise en service de la régulation automatique. Les idées se clarifièrent et des expériences, jugées audacieuses à l'époque, furent tentées et réussies.

En fait, la mise en service de la commande centralisée de la ligne n° 1, le 15 juin 1967, fut une réussite complète dont les conséquences furent incalculables.

En premier lieu, la qualité du service fut considérablement améliorée sur la ligne n° 1 :

- le retard moyen journalier est passé

de 22 mn (décembre 1966) à 2 mn 30 (décembre 1967). Pour la première fois on réalisait enfin pratiquement la capacité de transport théorique,

- les incidents d'exploitation furent traités beaucoup plus rapidement et avec beaucoup plus de sécurité; en particulier, le nombre d'évacuations sous tunnel fut considérablement réduit.

D'autre part, certaines réformes indispensables, qui n'étaient pas possibles sans la commande centralisée, ont pu être menées à leur terme :

- la réforme complète de la réglementation. L'efficacité de la commande centralisée, notamment dans le domaine de la sécurité a permis d'obtenir rapidement l'accord des pouvoirs publics,
- la réorganisation de l'encadrement de l'exploitation commencée en juin 1966 au niveau de l'Etat major, a été étendue aux cadres et aux agents de maîtrise, apportant à tous les niveaux l'unité de commandement.

Après la ligne n° 1, et compte tenu de l'évolution de la technologie (logiques programmées par exemple), la conception fut modifiée et simplifiée.

La généralisation s'est effectuée très rapidement dans des conditions assez remarquables et l'équipement de l'ensemble du réseau urbain a été achevé à la fin de 1974, avec centralisation des moyens de commande et de contrôle dans l'immeuble du boulevard Bourdon.

Cela a permis d'augmenter la capacité de transport des heures de pointe d'environ 10%.

La commande centralisée a été, est, et restera un préalable indispensable à toutes les opérations de changement concernant non seulement le mouvement des trains, mais aussi les méthodes d'exploitation des stations.

En ce qui concerne le métro régional, la commande centralisée de la ligne de Boissy-Saint-Léger avec le P.C.C. de Vincennes fut réalisée entre 1969 et 1971 de façon très différente, car elle devait tenir compte de l'exploitation très particulière de cette ligne et, notam-

ment, des missions commerciales des trains, des postes de manœuvre locaux avec leur télécommande depuis des pupitres d'aiguilleurs incorporés au P.C.C., de l'alimentation en courant de traction avec la commande des disjoncteurs et les postes de commande traction (P.C.T.).

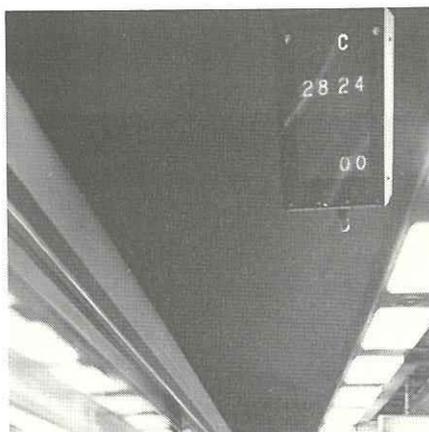
La commande centralisée devait également trouver une interface avec le système de commande automatique des trains (S.C.A.) qui assure la commande des itinéraires.

Enfin, pour la ligne de Sceaux, en attendant l'installation d'un P.C.C. définitif de conception analogue à celui de Vincennes, un P.C.C. provisoire miniaturisé a été installé dans l'immeuble du boulevard Bourdon, en janvier 1972.

c) Les départs programmés

Jusqu'à ces dernières années, les intervalles minimaux pratiqués à l'heure d'affluence n'étaient pas inférieurs à 1 mn 50. Afin de réduire l'intervalle minimal qui conditionne la capacité de transport, la Régie a élaboré, après une longue étude théorique et de nombreuses simulations sur ordinateurs, un système d'exploitation dit « départs programmés » associé à une régulation automatique.

Ce système a pour objet de maintenir le temps de stationnement des trains à une valeur constante dans toutes les stations et d'en réduire l'importance dans les stations à fort trafic. Par conséquent, on peut ainsi réduire l'intervalle minimal pratique, maintenir cet intervalle grâce à la régulation et au P.C.C., ce qui



RATP THIBAUT



Photo du haut : les départs programmés.
Ci-dessus : surveillance des grandes stations par télévision.

permet de mettre en service un plus grand nombre de trains et d'augmenter ainsi la capacité de 10 à 15% avec la signalisation classique. Ce système, qui est appliqué sur 7 lignes sera généralisé. Dans l'état actuel des choses, il est possible de réaliser un intervalle pratique de 90 secondes aux heures d'affluence et, en l'absence d'incident notable, de maintenir, même dans les stations à fort trafic, les portillons d'accès aux quais ouverts en permanence ce qui représente un notable progrès pour la clientèle car il fait disparaître pratiquement les files d'attente.

Notons que, sur la ligne de Sceaux, la commande centralisée et les départs programmés ont permis de faire passer la rafale de 3 trains de 9 à 8 minutes en octobre 1972, après les travaux d'aménagement d'une zone de dépassement au voisinage de la station Laplace.

d) L'augmentation de la capacité par allongement des trains

En dehors de la création de lignes nouvelles, l'un des moyens permettant l'augmentation de la capacité de transport est l'allongement des trains.

Cela a été fait progressivement au cours des quinze dernières années, soit en donnant aux trains toute la longueur permise par la dimension des stations (cas des lignes n^{os} 2, 5, 6, 10, 11 et 14) soit en allongeant les quais des stations pour permettre d'y faire circuler des trains plus longs (lignes n^{os} 1 et 4). Mais cette dernière solution entraîne de très importants travaux de génie civil. Elle ne peut donc être utilisée qu'en dernier ressort.

e) Le pilotage automatique

Il est, aux heures d'affluence, un équipement indispensable pour maintenir la régularité du service. Il correspond, d'autre part, à une opération de productivité importante, les trains n'étant accompagnés que par un seul agent.

Cette technique, qui est appliquée présentement sur les lignes 1, 3, 4, 6 et 11, sera généralisée à toutes les lignes du réseau urbain d'ici 1980 sauf sur les lignes 3 bis, 7 bis et 10 où le matériel sera simplement aménagé.

Un poste de manœuvre.



f) La signalisation

Tous les dispositifs décrits ci-dessus permettent donc de réaliser et de maintenir un intervalle minimal de 90 secondes. On pourra vraisemblablement réduire cette valeur sur certaines lignes à 85 secondes, lorsque la structure des terminus le permettra, en aménageant quelque peu la signalisation classique.

Pour diminuer encore l'intervalle minimal et atteindre 80 secondes, voire 70 secondes, il faut mettre en œuvre une signalisation plus performante. La Régie procède depuis quelques années à des études théoriques et à des simulations qui ont abouti à la conception d'une signalisation sans section tampon adaptée au pilotage automatique (S.S.T.A.). Des essais très encourageants sont en cours à l'aide d'installations prototypes.

Automatisation de la vente et du contrôle des titres de transports

En 1967, un ticket commun au métro (2^e classe) et aux autobus a été créé afin de faciliter l'achat des titres de transport. Les carnets de tickets sont vendus dans toutes les stations de métro, dans les terminus gardés du réseau routier et chez près de 2 200 commerçants répartis dans l'agglomération parisienne. De plus, des distributeurs automatiques sont mis en

place dans certaines stations du métro urbain ainsi que dans les terminus d'autobus et dans quelques grands magasins.

Dès 1969, sur les lignes de Boissy-Saint-Léger et de Saint-Germain-en-Laye du métro régional, la vente et le contrôle des titres de transport sont entièrement automatisés. La vente est assurée par des distributeurs automatiques capables d'imprimer les billets magnétiques, de délivrer plusieurs sortes de titres de transport, d'indiquer la somme à verser et de rendre la monnaie.

Le contrôle à l'entrée et à la sortie est effectuée par des portillons automatiques ayant la forme soit de tourniquets à trois branches, soit de barrières à passage normalement ouvert dans lesquelles la fermeture des battants n'est provoquée qu'en cas de tentative de franchissement frauduleux; les logiques de ces portillons sont contrôlées par des calculateurs locaux situés dans les stations. Ces calculateurs, ainsi que les logiques des distributeurs, sont reliés par l'intermédiaire d'une télétransmission à un ordinateur central situé au poste de contrôle de la ligne, auquel ils transmettent les résultats quotidiens concernant les recettes et le nombre de voyageurs contrôlés. Ce système de concentration de données sera lui-même relié ultérieurement avec d'autres systèmes informatiques de gestion.

Après sa réussite sur le métro régional ce système particulièrement ren-

Automatisation de la vente et du contrôle des billets.

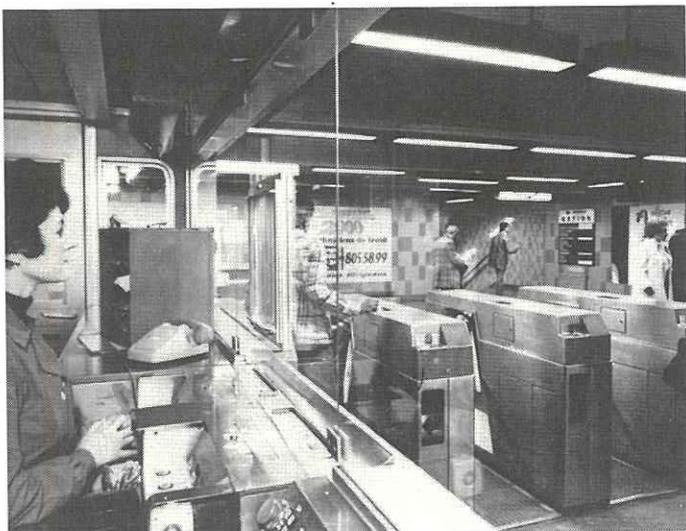


table du fait de l'économie de personnel qu'il permet de réaliser, a été généralisé sur l'ensemble du réseau urbain en juillet 1974.

Les postes de péage sont gérés à distance par 12 ordinateurs installés dans un très important centre de calcul situé dans l'immeuble du boulevard Bourdon et dit « poste de concentration de données » (P.C.D.). Deux calculateurs supplémentaires connectés aux ordinateurs précédents, traitent l'ensemble des informations recueillies et fournissent des statistiques.

Les bureaux de recette de station sont progressivement équipés d'un appareil permettant à un agent de délivrer automatiquement des billets magnétiques, fabriqués et codés par cet appareil. Lorsque l'opération sera achevée, 350 appareils seront en service. Ils seront connectés au P.C.D.

On aboutira, au stade définitif, à un système informatique intégré assurant toutes les fonctions se rattachant à la perception du prix du transport : distribution des billets, contrôle à l'entrée, et éventuellement à la sortie pour les prolongements de banlieue; contrôle des recettes, statistiques de trafic, statistiques des incidents.

La partie urbaine de la ligne de Sceaux sera équipée de cette façon très prochainement.

conclusions

Après le succès de la mise en service de la commande centralisée de la ligne 1 en 1967, l'objectif n°1 était d'améliorer la capacité de transport sur l'ensemble du réseau en généralisant cet équipement.

Cet objectif est atteint et nous disposons d'un ensemble technique de premier ordre.

Grâce à l'automatisation du péage et des trains ainsi qu'à la mise en œuvre de la commande centralisée avec tous les moyens d'information les plus modernes, les tâches incombant aux agents des stations sont réduites. Il sera possible, dans ces conditions, à certaines heures et dans certaines stations, de confier à un seul agent les fonctions actuellement exercées par le chef de station et la receveuse. Cette opération survenant après la suppression des agents chargés du contrôle et des agents d'accompagnement des trains améliorera la gestion de l'entreprise. Dans ces conditions, le personnel déchargé de certaines interventions ferroviaires sera plus disponible pour des missions d'accueil de la clientèle. (Opération T.A.M.E. : Transformation et aménagement des méthodes d'exploitation).

Maintenant, compte tenu des nou-

veaux objectifs du plan d'entreprise, nous devons profiter des renouvellements d'équipements pour repenser ou améliorer certaines conceptions.

C'est ainsi qu'il paraît indispensable de réaliser une commande centralisée, spécifique pour les stations, afin de mieux traiter l'information des voyageurs.

Il sera nécessaire de trouver, en accord avec les Ingénieurs de la S.N.C.F., des solutions originales pour exploiter l'interconnexion de façon satisfaisante.

Dans le domaine humain, des efforts restent à faire pour l'adaptation réciproque des hommes et des postes de travail, et notamment pour régler certaines difficultés d'adaptation à l'automatisme.

Un grand programme de formation sera poursuivi pour permettre aux agents de s'adapter aux techniques et aux méthodes modernes.

De nouvelles études et de nouveaux changements nous attendent, mais, quoi qu'il arrive désormais, pour tous ceux qui comme nous ont connu l'exploitation des années 50 et 60, la modernisation des dix dernières années aura été une extraordinaire aventure technique et humaine marquant le début d'une ère nouvelle pour le métro.



Le métro et l'avenir

par Yves BAUDIFFIER
Inspecteur principal à la Direction du réseau ferré

Modernisation, automatisation, expansion ont marqué et marqueront encore l'évolution du métro, laquelle pose des problèmes d'adaptation et revêt des aspects humains que la Régie se doit d'envisager avec soin.

Organiser l'avenir

L'avenir du métro, c'est un ensemble de travaux difficiles, d'installations complexes, de méthodes d'exploitation nouvelles qu'il faut prévoir, organiser, coordonner. Pour préparer cet avenir, la Régie s'est dotée d'un outil, le *plan d'entreprise*, dont l'objectif est de définir les orientations et les actions possibles de l'entreprise dans tous ses domaines d'activité et de les proposer aux Pouvoirs publics en un ensemble cohérent.

Lancé fin 1972, le plan en est actuellement à la préparation de sa quatrième itération qui concernera les années 1977 à 1981. Ce plan n'est pas seulement un outil technique, c'est aussi, et peut-être d'abord, un instrument de réflexion qui force l'entreprise à s'interroger sur la nécessité et sur les implications de toutes les orientations qu'elle retient.

La modernisation et l'automatisation nécessaires

La modernisation est pour le métro une nécessité. L'obsolescence encore importante de ses installations et de ses matériels n'est plus compatible avec les aspirations d'un public sensible à la rapide évolution de l'environnement à l'intérieur duquel il a pris coutume d'évoluer, chez lui, dans son travail, dans les modes de transports concurrents. Pour une grande part, modernisation est synonyme d'amélioration du confort. Améliorer le confort c'est diminuer la fatigue des déplacements, rendre l'ambiance du métro plus agréable, donner plus d'espace aux voyageurs. En ce sens, modernisation implique accroissement de capacité, partant automatisation.

L'automatisation est en effet pour le métro plus qu'une simple marque de modernisme : elle accroît, et elle seule peut le faire, son efficacité. Il faut d'ailleurs convenir que les disciplines qu'elle utilise (électronique, traitement et transmission de l'information, électrotechnique) et les processus auxquels elle s'applique (à caractère répétitif, continu, de sécurité) la rendent particulièrement adaptée au domaine d'activité du métro.

Les applications de la cybernétique au métro sont nombreuses, et dans certains cas fort anciennes. Citons au hasard :

- la signalisation de bloc automatique,
- la télécommande des appareils divers,
- les postes de commande et de contrôle centralisés,
- la conduite automatique des trains,
- les techniques de régulation,
- la commande des moteurs de traction par des dispositifs à hacheurs de courant,
- l'automatisation du contrôle et de la distribution des titres de transports,
- la surveillance par télévision du mouvement des voyageurs,
- les alarmes techniques...

Mais la cybernétique est bien plus qu'une simple évolution technique. Elle modifie sensiblement les relations entre l'homme et son travail, celles du public avec l'entreprise.

En particulier, la mise en œuvre d'automatismes réclame une qualification de plus en plus grande du personnel qui correspond à une véritable promotion ; mais, en contrepartie, elle enlève aux hommes une part de responsabilité et d'initiative qui, si on n'y prenait garde, pourrait rendre certaines tâches parfaitement ennuyeuses et robotisées. Il est donc essentiel de mesurer parfaitement les incidences des actions entreprises et de conserver aux fonctions leur caractère humain, quitte à rester parfois volontairement en deçà des possibilités permises par la technique.

A cet égard, le métro s'applique à concilier le changement avec les aspirations de ceux qui auront à le vivre, ses clients et son personnel. C'est là l'un des objectifs que cherche à atteindre le plan d'entreprise à travers deux de ses chapitres essentiels, le plan de promotion du transport et le plan de personnel.

L'expansion est une nécessité

Longtemps Paris s'est identifié à la zone urbaine desservie par le métro. Il n'en est plus ainsi. L'extraordinaire croissance de l'agglomération depuis le début du siècle, l'évolution des secteurs d'activité et d'habitat, l'absence presque totale d'investissements qui a marqué la vie de la RATP au cours des vingt dernières années qui ont suivi la guerre, font que, sinon en son centre et dans quelques-unes de ses parties privilégiées, la ville, cet ensemble de populations vivant en symbiose, ne dispose plus d'un réseau cohérent et pratique de transports collectifs.

L'un des principaux objectifs du plan est de redonner au métro dans toute la partie dense de l'agglomération le rôle primordial qu'il jouait naguère dans Paris intra-muros. Mais, là encore, une réflexion vigilante doit fixer les directions à suivre.

Les investissements nécessaires pour étendre le métro à la mesure de l'agglomération sont considérables et ne doivent être engagés qu'à bon escient, compte tenu des possibilités et des mérites propres aux autres modes de transport. Surtout, leurs effets, dans la mesure où la construction de lignes nouvelles intéresse d'autres zones que celles qui font déjà l'objet d'une urbanisation très dense, sont tels qu'ils figent les structures de la ville future pour de nombreuses années. Les projets d'extension du métro qu'étudie la Régie doivent donc s'inscrire dans une perspective urbanistique réfléchie dont la définition et la mise en œuvre dépassent largement la compétence de la Régie, mais auxquelles elle contribue.

*
* *

Face aux changements complexes qui marquent son environnement et

La promotion du transport et l'avenir du métro

par Jacques BANASZUK
Chef de division, chargé de mission « Promotion du Transport »

son être, le métro prépare son avenir en le planifiant. Mais les avantages techniques et économiques ne sont pas les seuls facteurs pris en compte. Une large place est faite aux aspects humains, psychologiques et sociaux dans la définition du changement. Prenant en compte les aspects humains et sociaux aussi bien que les facteurs techniques et économiques, le plan doit permettre de mener à bien les grands projets qu'il préconise, dont certains sont développés dans les pages qui suivent.

Les réflexions conduites depuis plusieurs années par la Préfecture de Région et le Service Régional de l'Équipement, de même que les travaux réalisés plus récemment pour le plan stratégique de la Régie, ainsi que la survie et le développement équilibré du système urbain de l'agglomération parisienne supposaient un développement des transports en commun. Encore faut-il que ce développement ne se limite pas à une simple augmentation des emprises physiques des réseaux et de leurs moyens techniques, mais qu'il donne satisfaction aux habitants de l'agglomération et qu'il s'accompagne d'un développement important de leur fréquentation : pour cela, il faut qu'à terme, les transports en commun fournissent le mode de déplacement qu'on souhaite et qu'on choisit, pour une part croissante des habitants, et pour les divers types de déplacement.

La connaissance que nous avons à l'heure actuelle des besoins et des désirs du public permet de penser que cette évolution se produira dans la mesure où l'offre de transport pour l'ensemble des moyens mis en œuvre en région parisienne sera perçue comme émanant d'un réseau intégré, dans lequel des modes de transport complémentaires quantitativement et qualitativement sont reliés par des interfaces qui atténuent au maximum les désagréments des ruptures de charge. Cette offre doit être d'une qualité élevée et constamment disponible : ainsi sera réalisée une réelle prise en charge des habitants de la région parisienne pour leurs déplacements par le réseau des transports publics.

La **prise en charge** s'exprime de deux façons :

Elle doit être **organisatrice** : c'est-à-dire que l'offre de transport doit être telle qu'elle n'oblige pas le voyageur à explorer un espace mal connu, mais qu'elle lui aménage un espace familier, signalisé et un déplacement objectivement sûr.

Elle doit être **affective** : c'est-à-dire que le voyageur doit se trouver à l'aise pendant son déplacement, qu'il doit y trouver non seulement un degré suffisant de confort, mais aussi une ambiance sympathique, non agressive, autorisant une occupation agréable du temps.

Le métro peut — et doit — être l'une des composantes de cette offre inté-

grée si dans ses dimensions actuelles et ses extensions futures :

- non seulement la dégradation des prestations réelles (fréquence, capacité) est évitée, mais encore si les disparités de ces prestations dans le temps et l'espace sont réduites
- l'adaptation des moyens techniques aux besoins des usagers est assurée
- l'ambiance est améliorée
- l'ensemble de ces prestations nouvelles est porté à la connaissance du public dans un esprit d'amélioration de l'image et de communication confiante aussi bien que d'information.

Pour atteindre ces divers objectifs, les actions suivantes, déjà largement amorcées, devront être menées à bien.

- Sur l'ensemble du réseau les capacités devront être augmentées pour faire face au trafic d'heures de pointe, cependant que les fréquences en heures creuses devront être aménagées pour assurer un service minimum garanti.
- Les procédures d'accès au réseau devront être simplifiées. Cette action concerne la tarification et les méthodes de perception, mais aussi la facilité de relation avec les autres modes de transports collectifs ou individuels.
- **Les matériels roulants** devront être modernisés de manière à répondre aux aspirations du public en matière de confort, d'ambiance, bref d'agrément du déplacement : action qui portera sur la définition des nouveaux matériels (MF 77 et matériel interconnexion) dont la livraison doit permettre de réformer tous les matériels anciens, et, si le besoin s'en fait sentir, sur la rénovation de matériels récemment mis en service.
- **Les stations** seront rénovées dans un même esprit aussi bien au niveau des quais que dans la salle des recettes.
- **Une nouvelle signalétique** sera étudiée, puis mise en place : la signalétique est un ensemble de règles qui ont pour but de gérer la conception et la réalisation de la communication entre les voyageurs en s'appuyant sur un point précis : l'accès et l'orientation à l'intérieur du réseau. Pour le métro, où le guidage de voyageurs est assuré, il y a lieu d'une part de renforcer l'unité

L'extension du métro

par Michel BARBIER

Ingénieur en Chef adjoint à la Direction des études générales

du réseau et d'autre part d'en améliorer l'ambiance en faisant de cette signalétique l'élément le plus présent de l'environnement.

- **Les actions d'animation** devront être développées : on regroupe sous ce terme l'ensemble des opérations qui concernent les aspects non strictement fonctionnels du transport et qui sont susceptibles de valoriser le temps de transport. A côté de l'animation commerciale déjà existante, l'animation prendra essentiellement deux formes. D'une façon temporaire, il y a lieu de créer régulièrement des événements dans le métro sous forme, par exemple, d'expositions temporaires comme celles qui sont réalisées à Gare de Lyon, Saint-Augustin, Auber, Porte Maillot... D'une façon permanente, il s'agit de mettre les stations en relation avec leur environnement urbain ; Louvre constitue l'exemple type de ces réalisations, Saint-Denis Basilique et Rambuteau (Centre Beaubourg) seront prochainement traitées dans un esprit analogue.

- **Le personnel doit être formé à l'accueil** : dans le processus de communication qui doit s'instaurer le personnel a un rôle important à jouer. Il s'agit non seulement d'informer mais véritablement d'accueillir le voyageur. A cet effet, une formation adéquate sera donnée au personnel d'exploitation qui est en contact avec le public, et les moyens matériels nécessaires lui seront fournis.

L'évolution future du métro qui vient d'être esquissée est fondée sur la volonté d'accroître la satisfaction des voyageurs actuels et de répondre aux besoins de transport des utilisateurs potentiels. A cet effet toutes les actions de changement privilégieront la demande par rapport à l'offre. C'est là l'esprit de la promotion du transport au service du public.

Dès 1929 a été établi un premier plan global d'extension en banlieue des chemins de fer électriques souterrains métropolitains, qui prévoyait quinze prolongements en banlieue.

Un nouveau « plan ferroviaire » était inclus dans le « Projet d'aménagement de la Région Parisienne 1932-1939 ».

Avant la guerre 7 prolongements, totalisant 18 km, étaient réalisés.

Deux autres prolongements étaient mis en service en 1942 : ligne 5 à Église de Pantin et ligne 8 à Charenton-Écoles, puis deux dans l'immédiat après guerre : ligne 7 à Mairie d'Ivry (1946), ligne 13 à Carrefour Pleyel (1952).

En 1965, le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Parisienne relançait l'idée d'une extension du réseau ferroviaire, mais en mettant l'accent uniquement sur le projet de création d'un « réseau express régional » dont la principale fonction serait de relier les villes nouvelles à Paris. L'extension du métro urbain en proche banlieue était notablement passée sous silence. Devant le développement rapide de l'automobile, ce schéma proposait, par contre, la réalisation d'un réseau autoroutier d'environ 900 km de longueur.

Dans le cadre du Ve Plan national, puis du VIe, la Régie reprenait et précisait néanmoins la plupart des anciens projets.

Mais l'objectif essentiel des pouvoirs publics était la réalisation du réseau express régional, et la desserte des villes nouvelles, si bien que la politique d'extension en banlieue était seulement réamorcée.

C'est ainsi qu'outre la réalisation de la ligne de métro régional Est-Ouest étaient seulement décidés, au Ve Plan, le prolongement de la ligne 3 à Galliéni, lié à la réalisation de l'autoroute de Bagnole, première autoroute urbaine, permettant de desservir une gare routière et un important parc de stationnement, et le prolongement de la ligne 8 vers la ville nouvelle de Créteil.

Au début du VIe Plan, était décidée la liaison entre les lignes 13-14, et leur prolongement en banlieue, substitué à une ligne express régionale Nord-Sud dont le coût était apparu trop élevé.

Dans cette période, les projets auto-

routiers du SDAU de 1965 étaient rapidement mis en œuvre, la priorité étant donnée aux autoroutes de dégagement radiales les plus souhaitées sur le plan du développement économique et de l'aménagement du territoire : autoroute de l'Ouest vers la basse Seine, du Sud vers Lyon et Marseille, du Nord vers Lille et l'Europe du Nord. Pour accueillir le trafic provenant de ces autoroutes et faciliter la circulation intra-muros était construit le boulevard périphérique de Paris.

Mais on s'aperçut bientôt que le boulevard périphérique était saturé au fur et à mesure de sa construction et que jamais Paris ne pourrait recevoir l'afflux des flots de circulation amenés par les 14 autoroutes prévues au Schéma Directeur de 1965. L'on commença alors à envisager de réduire le nombre d'autoroutes radiales, de limiter certaines d'entre elles à la rocade A 86 et de donner une priorité plus marquée, à l'intérieur de cette rocade, aux transports en commun, notamment par une extension systématique du métro urbain dans cette zone. Cette nouvelle orientation était confortée par la prise de conscience de l'importance de l'impact de la construction des autoroutes sur le tissu urbain.

Cette reconnaissance des contraintes et des limites physiques à l'expansion de l'usage de l'automobile en Région Parisienne constitue la justification fondamentale d'une extension importante des réseaux ferroviaires.

C'est pourquoi, dans son Plan d'Entreprise 1975-1980, la Régie a défini un important programme d'extension du métro.

Les objectifs principaux du plan d'extension du métro

L'extension du métro doit évidemment d'une part répondre aux besoins d'amélioration des conditions de transport dans les secteurs actuellement urbanisés, d'autre part organiser la desserte des zones d'urbanisation nouvelles.

Après le rapide développement qu'elle a connu, la croissance de la Région Parisienne s'est maintenant fortement ralentie. La population de la Région Parisienne dépasse aujourd'hui 10 200 000 habitants. On prévoit aujourd'hui qu'elle atteindra 11 millions 450 000 en 1985 et 12,5 millions vers la fin du siècle. La population de Paris et de la banlieue dense doit rester stable, tandis que l'essentiel de la croissance portera sur la banlieue plus lointaine, la moitié étant localisée dans les villes nouvelles.

Il est donc logique de concevoir les extensions du métro urbain en cherchant d'abord à améliorer la desserte des zones existantes, puis en infléchissant ou complétant ces extensions, de manière à prendre en compte les projets d'urbanisme. Les extensions du métro régional pourront au contraire être conçues en fonction des besoins des urbanisations futures.

Les transports en commun assurent actuellement 55 % des déplacements dans Paris, et 60 % des déplacements entre Paris et la banlieue. Ils n'assurent par contre que 15 % des déplacements de banlieue à banlieue.

Les déplacements internes à Paris

Pour les déplacements internes à Paris, le métro permet d'aller aisément et rapidement de tout point en tout point de la capitale, en ayant la certitude de son temps de trajet. Il constitue le réseau ferroviaire le plus dense du monde. Il est, de plus, complété par le réseau d'autobus, également très maillé, qui assure notamment certaines liaisons importantes nécessitant plus d'une correspondance sur le métro.

Il n'apparaît donc utile de compléter ce réseau que pour améliorer localement sa structure ou pour l'étendre à des secteurs tels que Bercy ou le 13^e arrondissement où de vastes opérations d'urbanismes remplacent des entrepôts et qui, n'étant pas jusqu'à présent très habités, n'étaient pas desservis par le métro.

Les déplacements entre Paris et la banlieue

Les déplacements en transport en commun entre Paris et la banlieue sont assurés d'une part par un certain nombre de prolongements de métro courts, d'environ 2 km, réalisés en application du plan de 1929, auxquels il faut ajouter le prolongement plus long de la ligne n° 8 à Créteil, d'autre part par les trois lignes de métro régional de Sceaux, Boissy-Saint-Léger, Saint-Germain-en-Laye, et par les lignes SNCF de banlieue. Ce réseau ferroviaire est naturellement complété par le réseau d'autobus, qui pour l'essentiel assure des rabattements sur les stations de métro et du chemin de fer en banlieue ainsi qu'aux portes de Paris.

Le service offert aux voyageurs peut être caractérisé d'abord par les temps d'accès à Paris. Si l'on considère, par exemple le temps moyen d'accès à la zone active de la capitale, comprise dans le périmètre constitué par les deux lignes de métro 2 et 6, et les grandes gares SNCF, on observe qu'actuellement ce temps atteint 20 minutes pour les zones desservies par le réseau de métro à 3 km de Paris. Par contre, à la même distance, il faut environ 30 minutes, et parfois plus, pour des zones desservies uniquement par autobus.

Le métro régional, et les lignes SNCF permettent, grâce à des distances entre stations plus importantes, et à des dessertes directes ou semi-directes, des vitesses commerciales nettement plus élevées. C'est ainsi que le temps d'accès à la zone active de Paris n'est également que de 20 minutes autour des gares de Saint-Denis, Bondy, Cachan, Nanterre-Université, par exemple. Mais, contrairement à la desserte offerte par le métro, qui assure des conditions d'accès homogènes tout le long de la ligne, grâce à ses interstations courtes, celle offerte par les lignes express ou les lignes SNCF est beaucoup plus discontinue. Cette discontinuité dans l'espace s'accompagne d'une discontinuité dans le temps, puisque la fréquence du métro est ressentie par les voyageurs comme un service permanent, tandis qu'ils doivent s'adapter aux horaires des lignes SNCF.

On voit donc l'importance de l'amélioration de service que peut procurer aux voyageurs les prolongements de métro. On en voit aussi les limites physiques puisque la faible longueur d'interstation ne permet pas d'atteindre une vitesse commerciale élevée.

Des études ont été effectuées pour rechercher quelle distance entre stations il convenait d'adopter pour les prolongements. Elles ont montré qu'une distance moyenne légèrement supérieure à 1 km permettait un bon équilibre entre vitesse commerciale en ligne et temps d'accès aux stations, et assurait ainsi une bonne continuité et homogénéité spatiale de service, tout en optimisant les temps de trajet. La vitesse commerciale en ligne atteint alors 30 km/h environ.

La vitesse commerciale des autobus, et leur régularité sont évidemment décroissantes quand on s'approche de Paris : ainsi sur l'axe de la RN 2 au Nord de Paris, la vitesse des autobus passe-t-elle de 11,5 km/h sur le premier km, à 13,5 sur le deuxième, pour atteindre plus de 22 km/h au-delà.

La densité moyenne des communes de banlieue actuellement desservies par le métro dépasse 100 habitants à l'hectare et atteint parfois plus de 200 (Levallois, Neuilly). Parmi les communes proches de Paris non desservies, Clichy atteint 171, Asnières 166, Malakoff 174, Aubervilliers 135, le Kremlin-Bicêtre 145, Villejuif 106, Montrouge 215. Ces densités sont comparables à celles des quartiers périphériques de Paris.

Quant à la circulation automobile, c'est dans cette proche banlieue dense qu'elle est la plus difficile, la surface de voirie étant nettement plus limitée qu'à Paris.

Aussi, pour faire face à des besoins analogues, apparaît-il normal de chercher à donner à la banlieue dense une desserte d'une qualité comparable à celle des arrondissements périphériques de Paris. La considération de ces trois éléments : vitesse commerciale du métro, vitesse commerciale et régularité des autobus, densité de population, conduit à proposer des prolongements courts, de l'ordre de 3 à 5 km.

Ces prolongements doivent naturellement compléter la desserte ferroviaire existante, c'est-à-dire que leur tracé s'inscrira dans les vides de cette

desserte et que dans ces vides, leur objectif principal sera de desservir les zones où la densité de population et d'emploi est la plus forte et où la circulation des autobus s'effectue de la façon la plus malaisée.

Mais au-delà de ce premier objectif, l'extension du métro urbain en proche banlieue permet également, en traversant la « croûte dense », d'atteindre des points où il est plus facile d'organiser des rabattements en autobus en ménageant une correspondance aisée : on améliore ainsi considérablement la desserte d'une deuxième couronne concentrique de la banlieue, aux densités plus faibles, où il est plus aisé d'établir — si nécessaire — des voies réservées pour autobus. Les voyageurs y bénéficieront de parcours plus rapides et réguliers, en autobus puis en métro, et d'une bonne correspondance.

Au-delà, la desserte de la banlieue plus lointaine doit s'appuyer sur le réseau express régional et les lignes SNCF de banlieue. La faiblesse des densités ne justifierait pas de renforcer le maillage existant, sauf en ce qui concerne la desserte des villes nouvelles, où doit se localiser la moitié des populations nouvelles, et où l'urbanisation peut s'organiser autour des lignes nouvelles.

Parallèlement à l'effort entrepris par la SNCF, l'objectif de la Régie est donc de tirer le meilleur parti du métro régional, grâce à trois actions combinées :

- l'extension en banlieue : réalisation de la branche « Marne-la-Vallée » de la ligne Est-Ouest au fur et à mesure du développement de la ville nouvelle ;
- la jonction dans Paris des trois lignes existantes, permettant de diminuer considérablement les temps terminaux des voyageurs, et de réduire le nombre de ruptures de charges en créant un véritable réseau régional ;
- l'interconnexion avec la SNCF, offrant les mêmes avantages aux lignes interconnectées, et permettant d'établir des liaisons nouvelles, importantes au niveau régional : liaison entre les aéroports (Orly - Roissy), desserte de la ville nouvelle de Cergy-Pontoise.

Les déplacements de banlieue à banlieue

Si le nombre de déplacements en transport en commun entre communes de banlieue est faible, c'est que l'usage de la voiture particulière y est plus aisé.

Mais malgré la forte motorisation des ménages, près d'un travailleur sur deux ne peut disposer d'une automobile pour ses trajets quotidiens. Et s'il dispose d'une voiture et l'utilise, ce seront les autres membres du ménage qui devront utiliser les transports en commun ou s'abstenir de tout déplacement autre qu'à pied. C'est pourquoi les difficultés de déplacement en transport en commun en banlieue sont fortement ressenties.

Mais les destinations de déplacement sont extrêmement dispersées, et les trafics susceptibles de se concentrer dans une direction déterminée sont souvent relativement faibles.

Lorsque ces trafics ont une orientation radiale qui les combine avec les trafics vers Paris, ils bénéficieront, dans la proche couronne où, nous l'avons souligné, les difficultés de circulation en voiture et en autobus sont les plus fortes, des extensions du métro.

Au contraire, lorsqu'ils s'effectuent en rocade, ce sont les liaisons en autobus qu'il conviendra de réaliser, sans exclure la possibilité de quelques réalisations en site propre.

Le réseau ferroviaire facilitera, par ailleurs, certaines liaisons de banlieue à banlieue transitant par Paris, parmi lesquelles on mentionnera évidemment les liaisons vers le pôle d'emploi de la Défense.

Les autres conséquences de l'extension du métro

Nous avons souligné l'importance des gains de temps que permettrait l'extension du métro :

- grâce à la desserte directe des communes denses de proche banlieue ;
- grâce à l'amélioration des rabattements en autobus ou en voiture particulière des communes de moyenne banlieue ;
- grâce à la réduction des temps de diffusion dans Paris pour les zones desservies par le métro régional.

Ces gains de temps sensibles bénéficieront bien sûr aux voyageurs qui se trouvent obligés d'utiliser les transports en commun. Mais ils permettront également à d'autres voyageurs, utilisant aujourd'hui l'automobile, de l'abandonner — même si, pour ces transferts, les gains de temps sont plus limités, ils permettront de décongestionner la voirie. Ainsi, les personnes qui continueront à se déplacer en automobile gagneront-elles également du temps.

Ce report d'une partie du trafic automobile sur les transports en commun permettra d'atteindre un meilleur équilibre, ayant en outre des conséquences économiques et sociales supplémentaires non négligeables : diminution des pertes en vies humaines et blessés et des dommages matériels causés par les accidents de la route, réduction de la consommation d'espace et du coût causés par les besoins en stationnement, réduction de la pollution atmosphérique et des nuisances phoniques dues à la circulation automobile, réduction des dépenses d'énergie.

L'ensemble de ces conséquences confèrera aux opérations envisagées des taux de rentabilité économique élevés, si du moins les conditions de réalisation ne sont pas trop coûteuses. C'est ainsi que le taux de rentabilité interne du prolongement de la ligne 13 bis à Gennevilliers atteint 25 %.

En outre, la jonction des lignes du métro régional dans Paris, et l'interconnexion du nouveau réseau ainsi

créé avec le réseau SNCF permettront de décharger considérablement les tronçons centraux de la plupart des lignes de métro urbain (en particulier les lignes 4 - 7 - 5 - 8 - 9), et donc d'atteindre les objectifs de confort fixés (4 voyageurs debout/m²) sans nécessiter de nouveaux investissements de capacité sur le métro urbain.

Le choix des tracés

Ces avantages, le coût de réalisation des infrastructures, et donc la rentabilité économique des projets peuvent varier considérablement selon le tracé exact de la ligne, et l'emplacement des stations choisies.

C'est pourquoi des études locales fines sont effectuées pour comparer systématiquement les différentes possibilités d'extension du métro. Le meilleur tracé sera celui qui réalisera un bon équilibre entre la desserte des zones de population et d'emploi plus denses, le meilleur aménagement du réseau d'autobus, et une réalisation de l'infrastructure dans de bonnes conditions (percée suffisamment large, possibilité de réalisation en tranchée couverte ou en aérien, peu de déviations de réseaux, peu d'ouvrages spéciaux), tout en préservant l'environnement et réduisant au maximum les nuisances.

Les projets d'extension

Le métro urbain

Dix projets d'extension du métro urbain en banlieue sont actuellement étudiés que l'on caractérisera rapidement ci-dessous :

— le prolongement de la ligne 13 bis à Asnières-Gennevilliers dessert une zone très dense en population et emplois et où la circulation était particulièrement difficile. En outre, après la traversée de la Seine, le tracé se combine avec la réalisation d'une voie intercommunale à deux chaussées séparées, ce qui

confère au projet une exceptionnelle facilité d'insertion dans le site. Les travaux concernant la première étape ont du reste commencé ;

— le prolongement de la ligne 7 aux Quatre-Routes de la Courneuve dessert également une zone très dense. La RN 2, qu'il suit, supporte un trafic très important notamment d'autobus et de poids lourds. Le prolongement permettra d'améliorer considérablement la desserte d'une vaste zone rabattue en autobus, sur les trois stations prévues, Quatre-Chemins, Fort-d'Aubervilliers ou Quatre-Routes ;

— le prolongement de la ligne 7 à Villejuif s'inscrit dans l'axe du plus vaste secteur compris entre deux lignes ferrées (ligne de Sceaux et ligne d'Austerlitz). Il dessert des zones actuellement moins denses, mais suivant la RN 7 très chargée, permet des gains de temps très importants. Le secteur pouvant être rabattu en autobus sur la station terminale, Villejuif III, est très important ;

— le prolongement de la ligne 10 dans Boulogne permettra de couvrir totalement la plus importante commune de la Région Parisienne, en complétant la desserte de la ligne 9 ;

— le prolongement de la ligne 4 à Montrouge concerne la commune la plus dense non desservie actuellement, et où la circulation dans des rues étroites est difficile ;

— la desserte de Bobigny doit permettre de relier à Paris le centre du département de la Seine-Saint-Denis, siège d'une importante opération d'urbanisme (logements, centre commercial, bureaux). La zone d'action des lignes d'autobus pouvant être rabattues sur la station Bobigny Préfecture est considérable ;

— le prolongement de la ligne 11 à Romainville permettra de desservir une commune encore assez dense et où la circulation est difficile ;

— les prolongements des lignes 13 vers Stains au-delà de la Basilique de Saint-Denis, 9 vers Rosny-sous-Bois, 8 à Créteil — Parc régional sont liés — au moins partiellement à des opérations d'urbanisme importantes. Leur tracé et leur pro-

grammation devront donc en tenir compte. Lorsque la 2^{ème} tranche de la ZUP de Créteil sera engagée, le prolongement de la ligne 8 bénéficiera des mêmes conditions favorables de réalisation que la partie déjà réalisée dans la nouvelle ville de Créteil, puisqu'il suffira d'aménager la plate-forme centrale du Boulevard Intercommunal ;

— le prolongement de la ligne 14 est en cours jusqu'au quartier sud de Châtillon, où doit se réaliser un centre intercommunal. Au-delà, le prolongement permettrait de desservir les zones importantes de Meudon-la-Forêt et Vélizy-Villacoublay. La liaison entre ces zones et le futur centre intercommunal de Châtillon est en outre considérée comme importante pour l'organisation du département des Hauts-de-Seine.

— Il faut ajouter à ces dix opérations le prolongement de la ligne n° 1 à la Défense, qui augmentera la capacité de transport en commun nécessaire pour le fonctionnement de ce pôle qui doit regrouper rapidement 100 000 emplois.

Dans Paris, les opérations suivantes paraissent les plus importantes :

● Le prolongement de la ligne 10 dans le 13^{ème} arrondissement permettra de desservir les importantes opérations de rénovation situées entre la Seine et la ligne 7.

● La réalisation de la ligne 8 bis pour desservir Bercy sera liée au développement de ce pôle.

● La déviation de la ligne 5 par la Gare de Lyon complètera la desserte de cette gare, et réalisera une liaison entre les 4 gares d'Austerlitz, de Lyon, de l'Est et du Nord.

Le métro régional

La réalisation de la branche Marne-la-Vallée de la ligne régionale Est-Ouest sera poursuivie au fur et à mesure de la réalisation de la ville nouvelle, dont elle constituera l'ossature principale. On sait en effet que cette ville nouvelle est conçue comme un chapelet d'unités urbaines centrées autour des stations du RER.

— Dans Paris, seront réalisées successivement la jonction Auber-Nation (fin 1977), et Luxembourg-Châtelet (1978). Les trois lignes régionales formeront alors un réseau.

— Puis la ligne de Sceaux sera poursuivie jusqu'à Gare du Nord et interconnectée avec des lignes SNCF. Cette première interconnexion permettra en plus la mise en place d'une desserte entre les aéroports d'Orly et Roissy.

L'interconnexion sera ensuite étendue à Gare de Lyon, aux lignes SNCF desservant la banlieue Sud-Est.

— Enfin, la ligne Est-Ouest sera interconnectée avec les lignes SNCF à Nanterre. Les trains du métro régional pourront alors desservir la ville nouvelle de Cergy-Pontoise.

*
* *

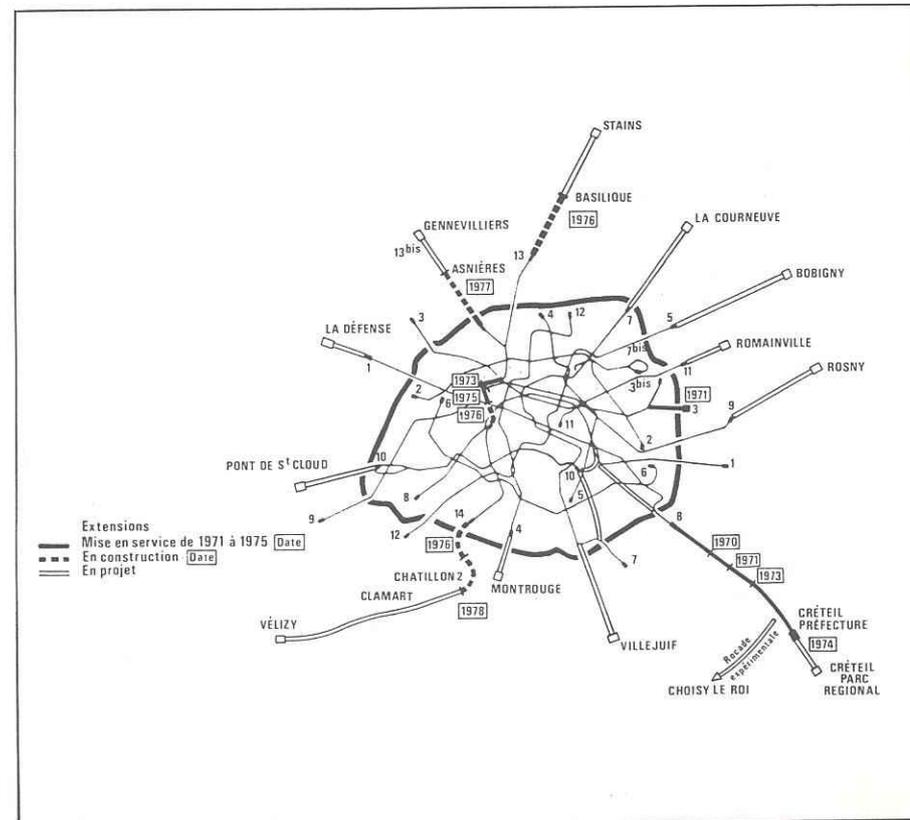
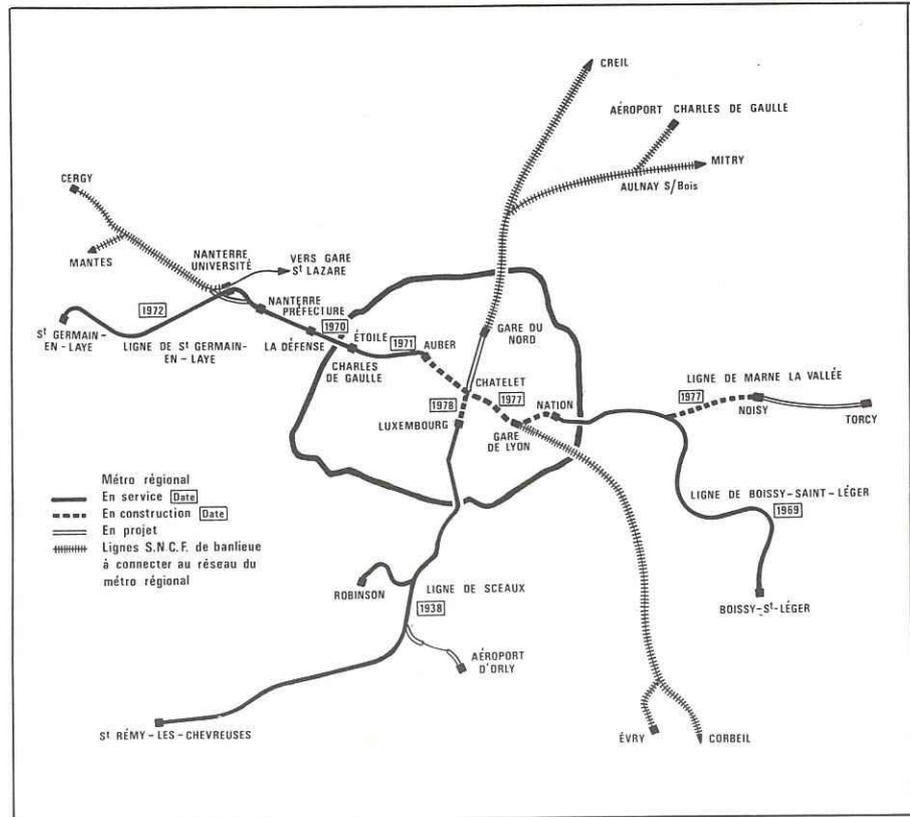
L'ensemble de ces opérations d'extension du métro urbain et du métro régional transformeront les conditions de transport des usagers.

La qualité du service offert par le métro urbain dans Paris se trouvera étendue à toute la couronne dense d'environ 4 km de largeur l'enserrant.

C'est ainsi que l'extension du métro urbain en proche banlieue fera passer le taux de couverture géographique de celle-ci par le réseau ferré de 54 % actuellement à 75 %. Encore, les zones qui resteront à l'écart d'une desserte ferroviaire sont-elles de plus faible densité si bien que plus de 85 % de la population sera desservie.

Les extensions nouvelles desserviront plus de 700 000 personnes, qui bénéficieront ainsi d'un niveau d'accessibilité garanti à Paris et à la proche banlieue.

Le programme d'extension du réseau ferré de la Régie, complémentaire de l'effort parallèle entrepris par la SNCF, concerne ainsi l'ensemble des liaisons entre la banlieue agglomérée et la zone dense centrale de l'agglomération.



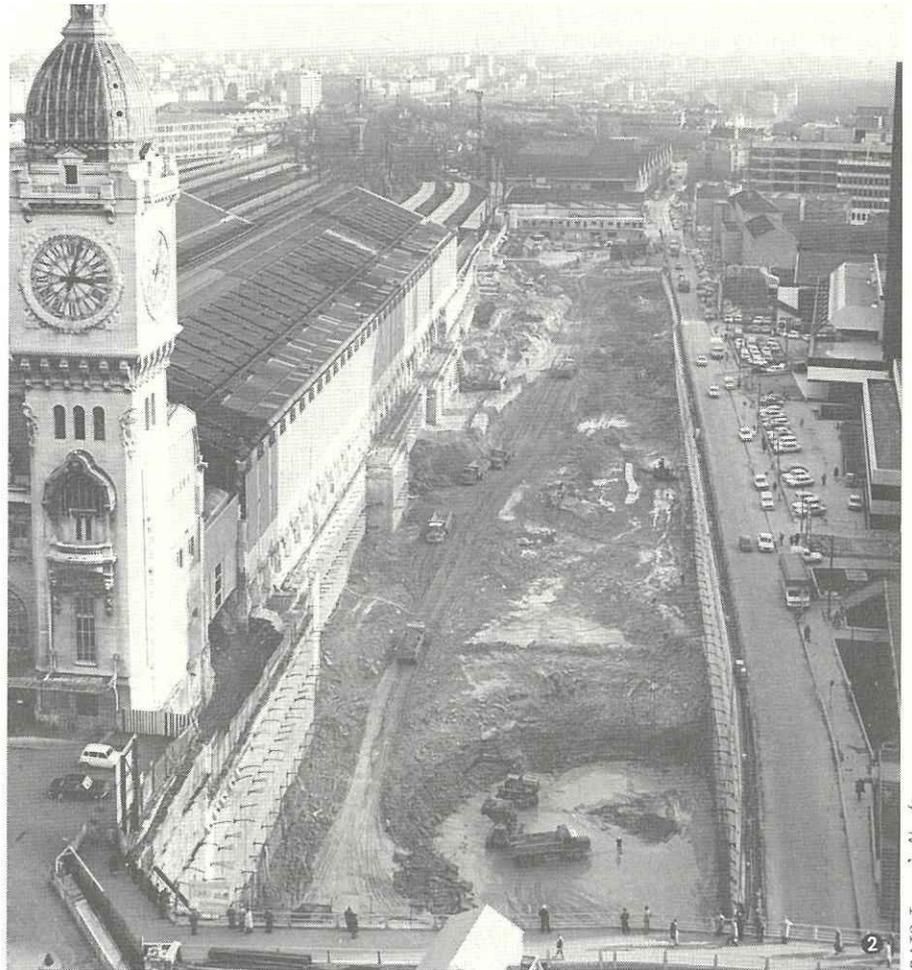
Quelques réalisations en cours

- 1 - La jonction Auber-Nation du métro régional.
- 2 - La station Gare de Lyon du métro régional.
- 3 - La station Châtelet-Les Halles du métro régional.
- 4 - Le prolongement de la ligne n° 13 à Saint-Denis.



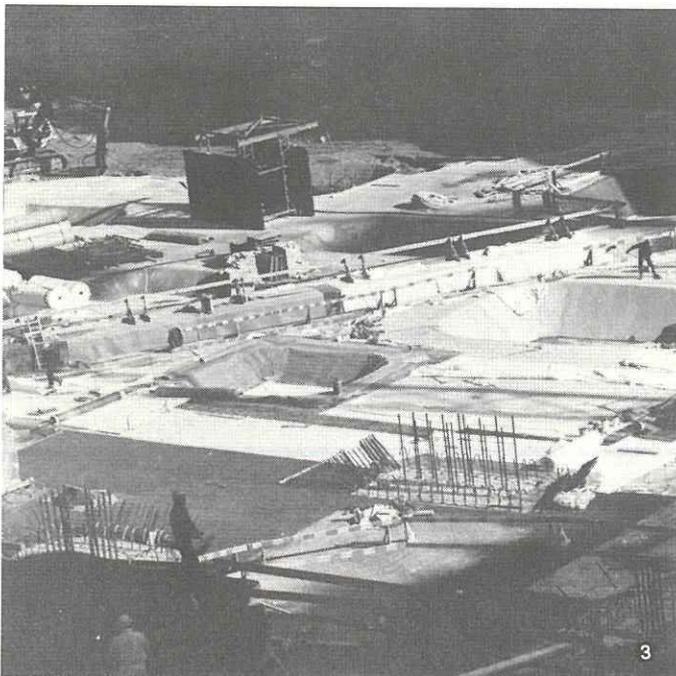
RATP-Travaux-Neufs

1



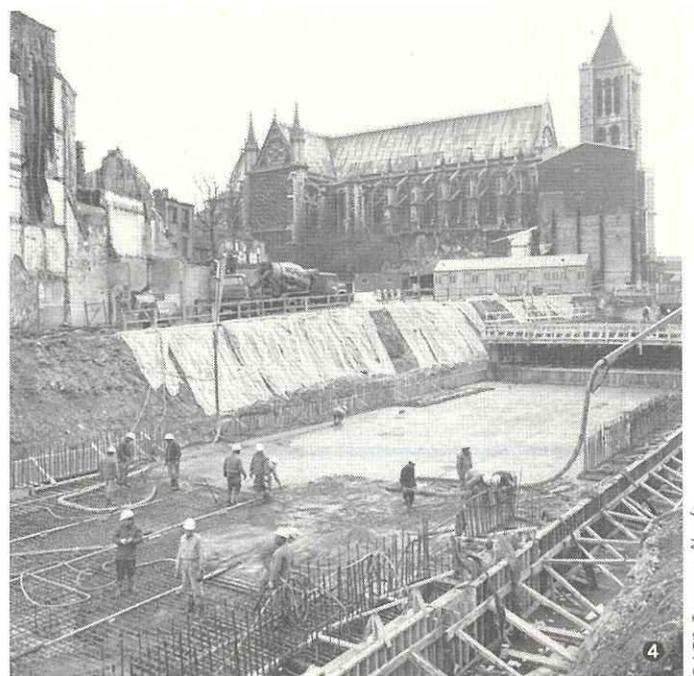
RATP-Travaux-Neufs

2



RATP-CARRIER

3



RATP-Travaux-Neufs

4

Quelques réalisations récentes

1 - Le prolongement de la ligne n° 13 à Champs-Élysées-Clemenceau.

2 - Le prolongement de la ligne n° 8 à Créteil.

3 - La station Nation du métro régional.



L'interconnexion

par Jean-Claude DETCHART
Inspecteur à la Direction du réseau ferré

Objectifs

Actuellement les liaisons de la banlieue parisienne desservies par la SNCF débouchent dans huit gares en cul-de-sac situées à la périphérie du centre des affaires de Paris. Il en résulte une mauvaise diffusion des voyageurs dans Paris et des ruptures de charge rendues particulièrement difficiles par la concentration des trafics aux points de correspondance avec le métro urbain.

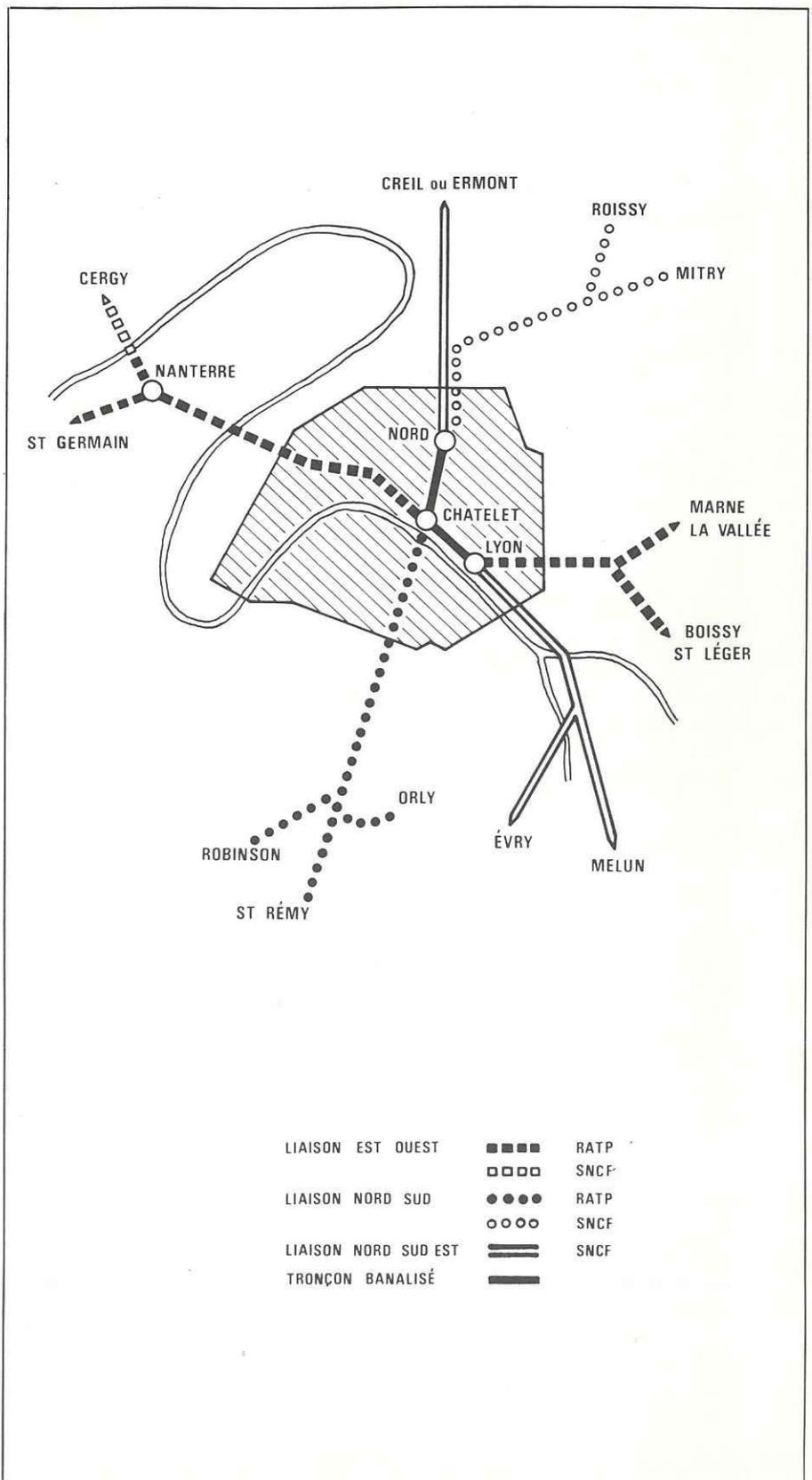
Une première amélioration à cette situation peut être recherchée par la création de lignes transversales. Ainsi les ruptures de charge sont supprimées pour une partie des voyageurs et les points de correspondance avec le métro multipliés pour les autres. La réalisation de la ligne régionale Est-Ouest est une application de ce principe.

Toutefois le coût des tunnels dans Paris a conduit à rechercher d'autres solutions propres à satisfaire les mêmes objectifs. Il est alors apparu que les infrastructures du RER seraient puissamment valorisées si les tunnels entre Gare de Lyon et Châtelet et Châtelet et Gare du Nord étaient parcourus à la fois par des trains des réseaux RATP et SNCF qui seront ainsi interconnectés.

Réseau interconnecté

A partir de 1971 l'idée s'est développée d'une utilisation banalisée des tunnels du centre de Paris : les gabarits des trains sont en effet semblables et deux gares SNCF (Gare du Nord et Gare de Lyon) seront reliées par le réseau express régional au terme de son extension (c'est-à-dire après jonction des lignes Est et Ouest et prolongement de la ligne de Sceaux à Châtelet puis à Gare du Nord). Ainsi on pourrait exploiter un certain nombre d'axes de circulation :

— Est-Ouest : ligne régionale RATP plus, éventuellement, une branche SNCF vers le Nord-Ouest desservant en particulier la ville nouvelle de Cergy-Pontoise ;



— Sud-Nord : ligne de Sceaux avec une antenne vers Orly aboutée à la ligne d'Aulnay-Mitry et à son antenne vers Roissy. Cette ligne permettrait la desserte de la liaison Orly-Roissy ;

— Sud-Est-Nord : lignes SNCF d'Evry et Melun au Sud et de Creil (ou Ermont) au Nord.

On voit ainsi apparaître deux degrés dans l'interconnexion.

Au premier degré la jonction pure et simple de lignes de banlieue ayant un terminus commun (gare du Nord, Nanterre) nécessite de résoudre des problèmes de compatibilité entre des lignes de nature technique différente (nature du courant de traction, hauteur des quais) et surtout des problèmes

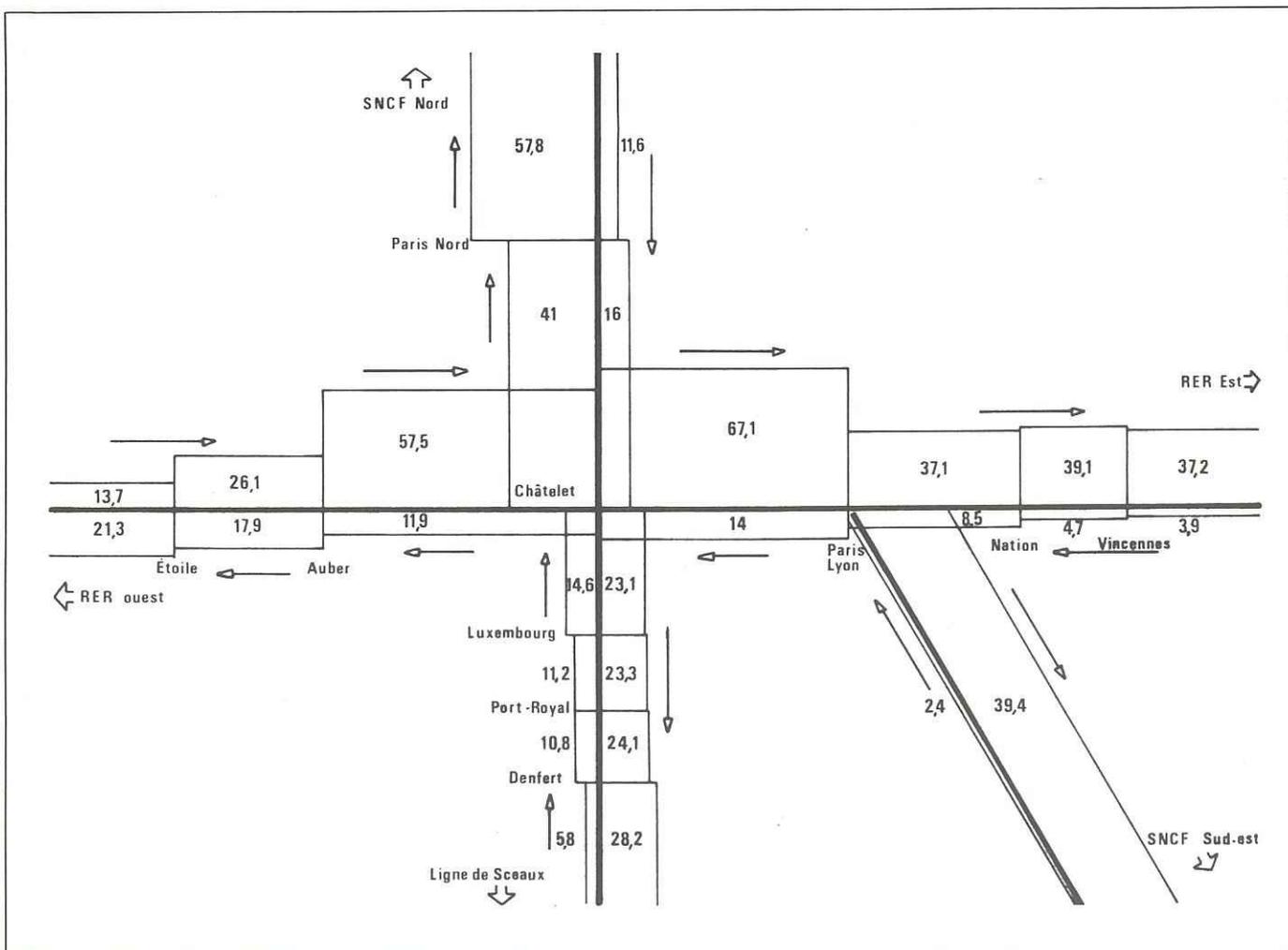
humains (régulation de lignes jusqu'alors totalement indépendantes — responsabilité et commandement — pénétration d'agents d'une entreprise dans le domaine de l'autre) mais ne fait appel qu'à des méthodes d'exploitation classiques les intervalles entre les trains restant supérieurs ou égaux à deux minutes.

Au deuxième degré les courants N-S et E-O sont concernés par l'introduction de circulations supplémentaires sur les tronçons Gare de Lyon-Châtelet et Châtelet-Gare du Nord au-delà de leurs capacités normales. C'est du fait de cette introduction que naît le problème technique original de l'interconnexion avec la nécessité de définir des conditions d'exploitation nouvelles et des installations adaptées à cette exploitation.

Intérêt du projet

Les terminus SNCF de Paris, points d'échange obligés pour un grand nombre de migrants, constituent des points noirs dans le dispositif général des transports collectifs du fait des flux considérables qui y transitent à l'heure de pointe, et des inconvénients qui en résultent à la fois pour les voyageurs et pour les exploitants.

L'interconnexion en permettant la pénétration des trains SNCF plus profondément dans Paris, constitue le moyen le plus puissant dont on disposera d'ici quelques années pour mettre fin à cette situation.



Elle apportera aux voyageurs des lignes SNCF qui en bénéficieront un avantage considérable en leur offrant de bien meilleures possibilités de diffusion dans Paris et elle permettra d'améliorer par contrecoup le fonctionnement du métro urbain en répartissant mieux sur le réseau les flux en provenance de la SNCF.

Au premier degré le nombre de trains traversant Paris à l'heure de pointe en provenance de l'ensemble de la banlieue sera de 96 au total — 48 pour la ligne Est-Ouest, soit 24 de chaque côté, et 48 pour la ligne Sud-Nord, soit également 24 de chaque côté — et la population de banlieue bénéficiant de cette desserte de grande qualité sera de l'ordre de 2,8 millions d'habitants à l'horizon 1985.

Au deuxième degré la liaison Nord-Sud-Est (Melun, Evry et Creil ou Ermont) sera desservie par 18 trains dans chaque sens à l'heure de pointe

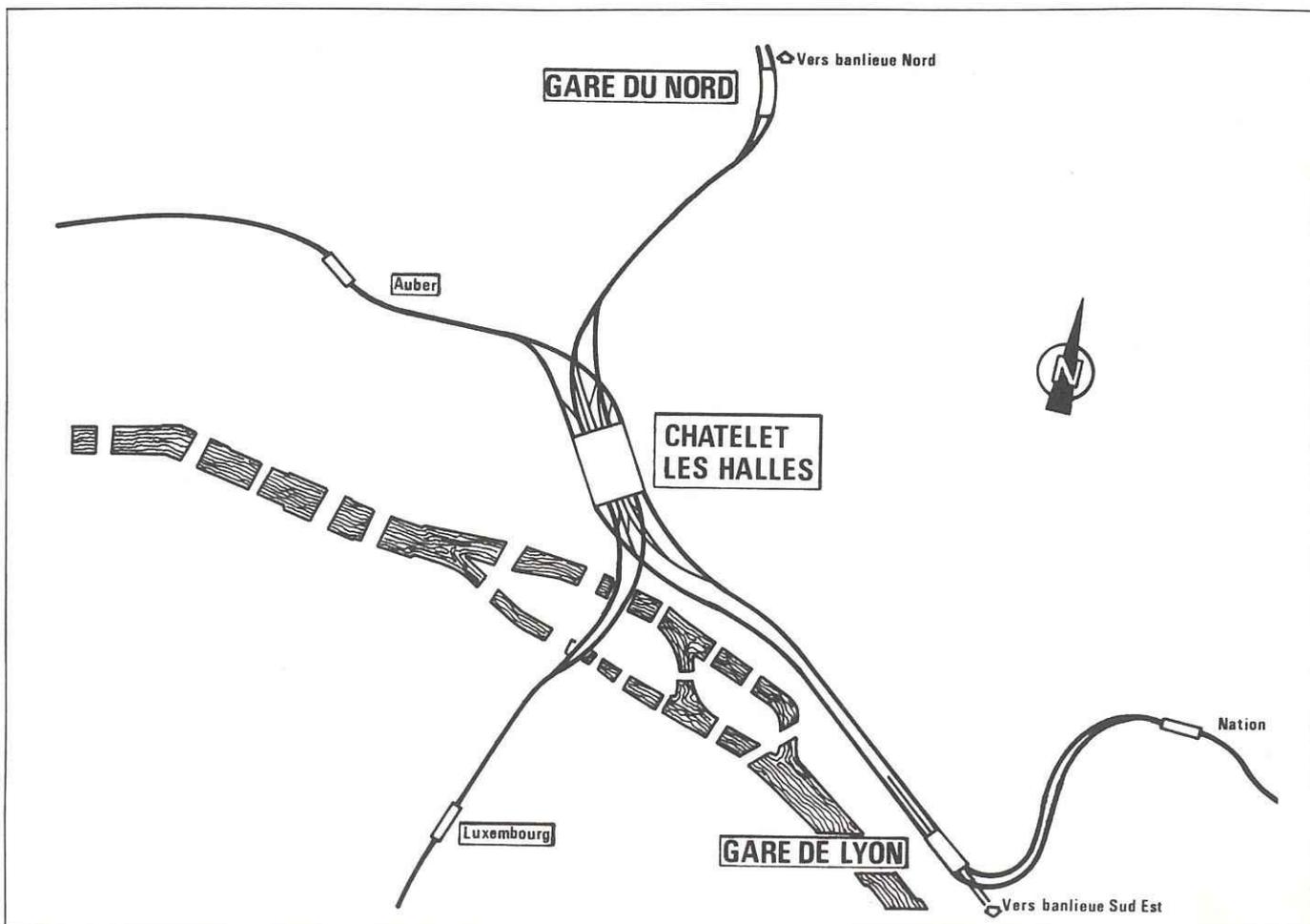
portant la capacité totale à 132 trains. La population totale bénéficiaire de l'interconnexion sera alors de 3,9 millions (si la ligne de Creil est choisie).

Chaque jour, près de 300 000 personnes, soit les 3/4 des migrants banlieue Paris qui utilisent les chemins de fer, bénéficieront de l'interconnexion, il en sera de même, en outre, pour 20% des migrants banlieue-banlieue. Les trois-quarts des dessertes actuelles de la banlieue parisienne seront transformées en liaisons transversales. La pénétration dans Paris, à cadence élevée, de nombreuses lignes de banlieue entraînera pour le métro express, des gains de temps et, pour le métro urbain, une augmentation de capacité. Les liaisons avec les villes nouvelles, (quatre d'entre elles sont concernées : Cergy-Pontoise, Evry, Melun Sénart, Marne-la-Vallée) seront grandement facilitées. Pour les déplacements de Paris à Paris, le projet entraînera une augmentation de capa-

cité de près de 75% sur les secteurs les plus chargés du métro régional (Châtelet-Gare de Lyon et Châtelet-Gare du Nord). Deux liaisons entre pôles d'activité seront privilégiées : Gare du Nord-Opéra-Saint-Lazare et Gare de Lyon-Bercy. Le réseau projeté double six des lignes les plus chargées du métro, ce qui conduira à une amélioration très sensible des conditions de transport, notamment vers Strasbourg-Saint-Denis, Châtelet, République et Bastille, Chaussée d'Antin et Opéra.

Exploitation de l'interconnexion

Avec des réseaux interconnectés, les exploitations seront évidemment complexes. Les infrastructures et les équipements des réseaux de la SNCF



et de la RATP continueront à être gérés séparément ; tous les trains circulant sur un réseau seront pris en charge par les systèmes de commande propres à ce réseau. La commande centralisée de la RATP sera apte à assurer le transit des trains SNCF et à pallier les perturbations de faible amplitude. En revanche, l'éventualité de perturbations importantes impose que les gares de banlieue soient en mesure de reprendre leur exploitation autonome par retournement.

En ce qui concerne les trains des matériels bi-tension et adaptés à deux hauteurs de quais seront nécessaires.

Afin d'éviter de répercuter une perturbation d'un réseau sur un autre, il est nécessaire de rendre les réseaux interconnectés le plus indépendants possible. La solution retenue consiste à affecter à chaque entreprise un certain nombre de sillons par heure (1 heure comporte 60 sillons, 1 par minute). Les sillons non garnis donnent un minimum de souplesse au système.

Pour l'espacement des trains, le mode d'exploitation envisagé conduit à deux contraintes spéciales :

- la première est liée à l'intervalle d'une minute entre les trains qui doit être pratiqué entre Gare de Lyon et Châtelet d'une part et Châtelet et Gare du Nord d'autre part ;
- la deuxième est liée à l'intervalle de 2 minutes entre les trains se présentant à un même quai.

Ce mode d'exploitation nécessitera :

- la conduite en pilotage automatique au moins dans le tronçon commun ;
- la mise en œuvre d'un système de signalisation très performant ;
- l'adaptation de la vitesse des trains ;
- la limitation des temps de stationnement à 50 s au maximum ;
- la mise en place d'un système de régulation très précis.

- les ouvrages spéciaux entre Gare de Lyon et Châtelet dont la construction se fera sans interrompre l'exploitation du métro régional car des mesures conservatoires ont été prises en temps utile. Ce sont les ouvrages situés à l'ouest de la Gare de Lyon, et au Sud-Est de la station Châtelet-Les Halles pour permettre le transit des trains de la SNCF ;
- les aménagements de la station Châtelet-Les Halles qui seront nécessaires pour y accueillir les trains SNCF ;
- les équipements spéciaux de commande centralisée et de signalisation ;
- la section de séparation 1 500 V/25 000 V. La RATP pour le métro régional, et la SNCF sur la banlieue Sud-Est, utilisent en effet une alimentation en courant continu 1 500 V alors que le réseau de la banlieue Nord est alimenté en courant alternatif de 25 000 V. Des sections de séparation seront placées à l'entrée et à la sortie de chacune des 4 voies de Gare du Nord avec possibilité de commutation manuelle de l'alimentation.

La faisabilité du projet a été établie au terme d'études approfondies, conduites par un groupe de travail commun RATP-SNCF dont le rapport a été soumis aux administrations intéressées.

Actuellement, et bien que la décision de réaliser l'interconnexion ne soit pas encore définitivement prise par les pouvoirs publics, les deux entreprises ont mis en place une équipe importante chargée de promouvoir les études techniques et d'exploitation. Cette organisation pilotée par la Direction des transports pour la SNCF et la Direction du réseau ferré pour la RATP prend également à sa charge les aspects administratifs, juridiques, commerciaux et financiers du projet.

Ces études montrent la possibilité de mettre en place le premier degré de l'interconnexion en 1981 (liaison Nord-Sud) et le second degré vers 1984 (liaison Nord-Sud-Est).

Réalisation

La plupart des travaux permettant l'interconnexion sont liés à d'autres opérations. Les ouvrages spécifiques à l'interconnexion comprennent :

Les nouveaux matériels

par Emile ANSEL
Ingénieur en chef adjoint à la Direction du réseau ferré

Le matériel de l'interconnexion

A la suite d'études poursuivies en commun, la RATP et la SNCF sont convenues de commander pour les lignes intéressées par l'interconnexion, des matériels roulants identiques pour les deux entreprises et répondant aux conditions d'utilisation requises par leurs réseaux respectifs.

Ce matériel, conçu selon les techniques les plus récentes, se présentera sous la forme d'éléments constitués de deux motrices à quatre moteurs encadrant deux remorques dont une sera mixte, 1re/2e classe, permettant la formation de trains de 104 m de long (1 élément) ou de 208 m (2 éléments), voire de 312 mètres (3 éléments) pour les trains SNCF empruntant les tunnels de la RATP entre la gare du Nord et la gare de Lyon.

Il sera susceptible d'être alimenté en courant électrique sous deux formes différentes : soit en courant continu 1 500 V, sur les lignes du métro régional de la RATP et les lignes SNCF de la banlieue sud-est, soit en courant alternatif monophasé 25 000 V, sur les lignes SNCF desservant la banlieue nord.

En vue de réserver la quasi-totalité du plancher pour les compartiments de voyageurs, une partie notable des équipements sera installée sous le plancher des remorques : transformateurs, selfs, etc...

Le dispositif de commande des moteurs de traction sera du type à hacheur de courant permettant d'assurer le réglage continu de la tension des moteurs. Là où le service sera le plus dense, le freinage par récupération sera utilisé, ce qui limitera l'échauffement du tunnel. Ailleurs, (réseau SNCF 25 000 V en particulier) le freinage sera rhéostatique. Le frein à air agira seul sur les remorques et complètera sur les motrices le frein électrique.

Les conditions de circulation des trains sur le tronçon commun (trains se succédant à une minute d'intervalle) ont exigé l'adoption de dispositions appropriées : pilotage automatique, commande de frein ayant des caractéristiques de temps de réponse voisines de celles du matériel MS 61 en

service sur le métro régional, tout en répondant aux règles que la SNCF doit impérativement respecter sur son réseau.

Bien entendu les équipements des cabines de conduite seront conçus pour permettre la circulation des trains avec un seul agent à bord. Des dispositifs de veille automatique sont prévus ainsi que des liaisons très fiables entre les trains et les postes de commande centralisés.

Un effort exceptionnel a été fait pour adapter ce matériel aux besoins et aux goûts du public. En particulier, des équipes multidisciplinaires ont été constituées pour définir le diagramme du matériel, les dispositions générales de son aménagement et ses caractéristiques esthétiques ; le « design » des voitures et l'aménagement des compartiments de voyageurs ont été définis à la suite d'un concours ouvert auprès de plusieurs cabinets d'esthétique industrielle.

Chaque voiture comportera, par face, quatre portes de 1,30 m de large, à ouverture et fermeture automatiques. Des banquettes confortables seront disposées transversalement de part et d'autre du couloir.

L'isolement thermique et phonique des caisses sera particulièrement soigné. Les bogies, à suspension pneumatique, éviteront la transmission des bruits et des vibrations.

La ventilation sera assurée par air pulsé. Un système de réfrigération agissant sur la température de l'air de ventilation est envisagé.

Pour faciliter les échanges de voyageurs, l'embranchement comportera une marche intermédiaire fixe utilisée pour la desserte des quais des lignes SNCF (quai de 0,60 et de 0,80 m de hauteur) ; une palette rabattable située au niveau du plancher (1,19 m) sera relevée automatiquement sur les parties des lignes SNCF ou RATP équipées de quais hauts.

*
* *

Un appel d'offres sur les bases définies ci-dessus vient d'être lancé conjointement par la RATP et la SNCF en vue de la construction de deux éléments prototypes dont la commande

devrait intervenir vers la fin de l'année 1975.

La SNCF et la RATP envisagent de commander 250 éléments de ce type dans les prochaines années. En ce qui la concerne, la RATP prévoit de passer commande, dès 1977, d'une première série de voitures de type interconnexion en vue de les mettre en service, dans le courant de 1978, sur la ligne de Sceaux qui aura entre temps été prolongée au Châtelet et dont le tunnel progressera vers la gare du Nord.

Le matériel MF 77

La RATP va engager la construction d'un programme d'environ mille voitures nouvelles de métro qui fera l'objet d'un premier marché dès l'été 1975. Ce matériel, dénommé matériel fer de 2ème génération ou matériel « MF 77 » sera doté de tous les perfectionnements qui ont pu être mis au point depuis qu'en 1967 la ligne n° 3 Levallois-Bagnolet a reçu les premières rames du matériel moderne (MF 67) à roues d'acier. Ces voitures MF 77 sont destinées à équiper en priorité la ligne n° 8 Place Balard-Créteil et la future ligne 13/14 Saint-Denis-Châtillon après l'achèvement des travaux de liaison entre les stations Champs-Élysées-Clemenceau et Invalides. La livraison s'échelonnera de juillet 1977 à juillet 1981. Ce matériel se substituera ainsi aux dernières voitures construites avant la guerre et encore en service actuellement.

Les voitures seront de trois types différents :

- motrices avec une cabine de conduite (M) ;
- motrices sans cabine (N ou NA) ;
- remorques (B ou AB) ;

ce qui permettra de réaliser des compositions de capacité différente dont la puissance massique en charge sera à peu près constante.

Il est prévu des rames de cinq voitures composées de deux motrices avec cabine encadrant deux remorques et une motrice sans cabine. Au cas où les quais des lignes sur lesquelles ce matériel sera mis en service

seraient allongés, des compositions de six ou sept voitures pourront être réalisées, celle de sept voitures comportant deux motrices avec cabine encadrant trois remorques et deux motrices sans cabine.

Les longueurs des voitures hors tôle seront les mêmes quel que soit le type de véhicules, c'est-à-dire 15,100 m ; leur largeur sera de 2,470 m ; ce matériel pourra atteindre une vitesse maximale de 100 km/h.

Pour le choix des formes extérieures, des dispositions générales, des peintures extérieures et de l'aménagement intérieur, il a été fait appel aux conseils de cabinets d'esthétique spécialisés et il a été tenu compte le plus possible des aspirations des voyageurs que diverses enquêtes ont permis de préciser.

De chaque côté de la caisse, trois portes louvoyantes-coulissantes, à deux vantaux, offriront de larges accès (1,600 m). L'adoption de portes louvoyantes qui coulissent à l'extérieur de la voiture, et qui une fois fermées, viennent s'encastrent dans le plan des faces a permis de supprimer le caisson dans lequel coulissaient les portes classiques, ce qui a autorisé un gain de largeur disponible intérieure de 70 mm.

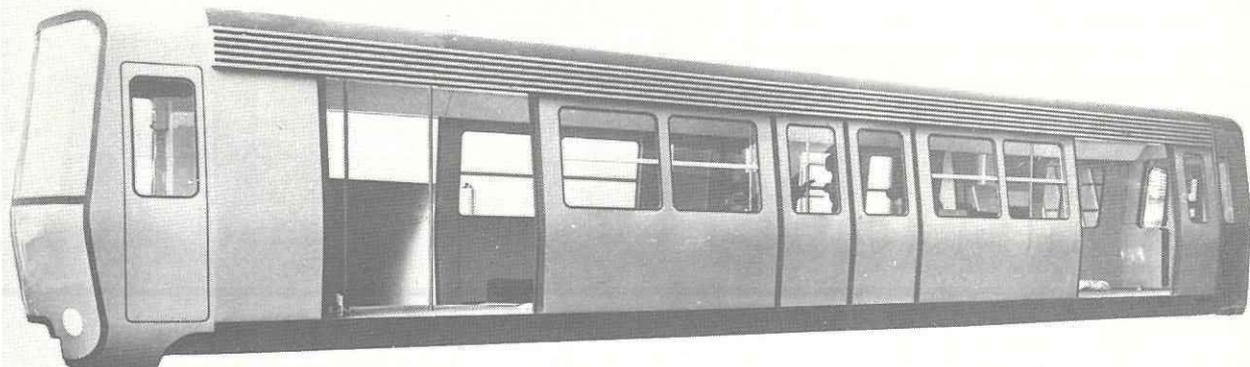
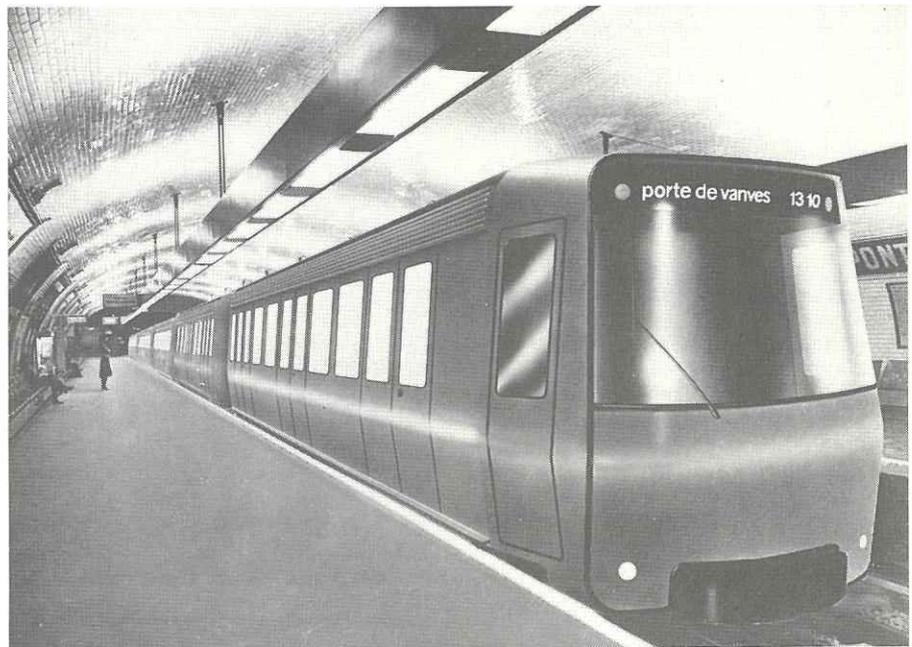
D'autre part, les faces présenteront un aspect galbé, la plus grande largeur de la voiture se trouvant à la ceinture de caisse, c'est-à-dire pratiquement au niveau des épaules des passagers assis. Cette disposition a permis un gain supplémentaire de largeur de 70 mm à ce niveau.

Ces améliorations ont autorisé l'étude de sièges plus larges et plus confortables, qui ont été conçus avec les

conseils de spécialistes en ergonomie, après un concours entre fournisseurs.

Les structures classiques de caisses de voitures sont en acier. Pour le matériel type MF 77, il est envisagé, sans que la décision définitive soit prise, d'utiliser l'aluminium.

La lutte simultanée contre le bruit et les déperditions de chaleur et les pré-



cautions à prendre contre l'incendie ont conduit à la recherche de matériaux assurant à la fois une bonne isolation thermique et acoustique, en même temps qu'une efficace protection contre le feu.

Ce matériel devant circuler sur des lignes extérieures est naturellement prévu avec tous les aménagements correspondants. L'aération des voitures s'effectuera en évitant tout courant d'air violent ; la ventilation mécanique sera assurée par des appareils soufflants aux filets d'air bien répartis. Les équipements de chauffage sont prévus pour assurer un appoint de chaleur lors des parcours aériens durant les périodes hivernales. (En option, il est prévu une ventilation réfrigérée).

Le matériel MF 77 sera caractérisé par de nombreuses innovations techniques.

- un équipement de commande à hacheurs à thyristors (Késar : commutateur électronique séquentiel d'alimentation et de régénération) des moteurs de traction permettant une plus grande souplesse de conduite, une réduction de l'énergie consommée lors des démarrages et la possibilité en freinant de récupérer sur la ligne l'énergie fournie par les moteurs fonctionnant alors comme génératrices ;
- une commande permettant d'assurer la variabilité de l'effort en traction et en freinage d'une manière continue en conduite manuelle ou en pilotage automatique ;
- un dispositif de correction continue de charge qui adapte le freinage aux conditions de charge ;
- une commande d'anti-enrayage ;
- un dispositif assurant une liaison phonique bilatérale « voyageurs-conducteur » lors de l'actionnement d'un signal d'alarme.

Les bogies seront à suspension pneumatique ; les bogies moteurs seront équipés d'un seul moteur de traction disposé longitudinalement dans l'axe du bogie.

Ainsi, avec la mise en service d'un millier de voitures de type MF 77, Paris se retrouvera parmi les grandes capitales, à la pointe de la technique dans le domaine du matériel roulant de transport en commun.



RATP-CARRIER



RATP-CARRIER

Signalisation et pilotage automatique

Développements récents et perspectives

par Jean-Paul PERRIN
Ingénieur en chef adjoint à la Direction des Services techniques

Depuis les premières installations de signalisation basées sur l'utilisation de circuits de voie vers 1924 (voir article d'A. Ronsin ci-dessus), on a assisté à une lente évolution qui a suivi les progrès technologiques. Plus récemment, de nouveaux besoins se sont manifestés en raison de la recherche d'un débit accru des lignes de métro pour augmenter le nombre de places offertes et satisfaire des objectifs de confort : ces besoins, venant à un moment où l'électronique et l'informatique prenaient leur essor, ont conduit à l'étude et au développement de nombreux dispositifs, dont le pilotage automatique, qui ont permis de réaliser une modernisation du réseau et une automatisation en plein essor actuellement. Dans les lignes qui suivent nous nous proposons d'évoquer les développements récents et les perspectives offertes dans le domaine de la signalisation et du pilotage automatique qui sont de plus en plus intimement associés, tant sur le plan des principes que sur celui de la réalisation technique.

Évolution technique des installations de signalisation

C'est en 1969 que les premiers circuits de voie sans joints ont été essayés à la RATP. Ils équipent maintenant cinq lignes du réseau urbain sur lesquelles ils ont remplacé des installations vétustes. Ces dispositifs présentent un certain nombre d'avantages qui les ont fait préférer aux circuits de voie utilisés jusqu'alors :

- suppression des joints de rails dont l'usure conduit à des nuisances acoustiques et qui risquent d'être court-circuités par des paillettes métalliques ;
- élimination des dispositifs de connexion à la voie encombrant et mal adaptés aux intensités élevées appelées par des matériels modernes ;
- encombrement réduit et possibilité de concentration des équipements en station favorisée.

L'évolution technique a atteint un palier avec la réalisation en 1974, d'installations entièrement électroniques : les relais électro-magnétiques ont laissé place aux circuits logiques électroniques offrant la même sécurité de fonctionnement. Au fur et à mesure du renouvellement des installations existantes et des remaniements de signalisation, les circuits de voie sans joints seront généralisés. Les études pourraient porter maintenant sur l'uti-

lisation des circuits de voie sans joints pour transmettre des informations directement au pilotage automatique de la même façon que, sur le métro régional, des circuits de voie à joints transmettent des informations de signalisation en cabine.

En matière de signalisation de manœuvre, des recherches ont été menées pour construire des postes plus économiques et plus fonctionnels. Une première solution a été mise en œuvre en 1969 et appliquée à six postes de manœuvre, mais les avantages obtenus ont été moins importants que ce qui était escompté ; les études se poursuivent, en particulier pour trouver des qu'étaient escompté ; les études se poursuivent, en particulier pour trouver des formules plus souples et mieux adaptables aux modifications de plus en plus fréquentes nécessitées, en particulier, par les prolongements successifs des lignes.

Dans un avenir non encore défini, l'informatique, qui n'intervient actuellement que dans les étages de gestion de l'édifice automatisé, s'introduira peut-être pour résoudre les problèmes de logique de commutation, mais la notion de sécurité constitue un barrage difficile à franchir même si la redondance (à vrai dire coûteuse) peut constituer une solution.

Évolution du pilotage automatique

Depuis 1967, le pilotage automatique s'est développé tant par sa tech-

nique que par ses applications : en

1975, six lignes du réseau urbain sont exploitées en pilotage automatique et l'équipement de la plupart des autres lignes est prévu avant 1978. Le principe du programme de marche « inscrit » dans la voie a été conservé car il permet de bien moduler la vitesse sur les lignes tourmentées du métro.

Par étapes, on en est arrivé à un système à niveau de sécurité élevé qui permet d'assurer des fonctions annexes (déclenchement de la séquence de départ, dans le cadre d'une régulation impérative ; autorisation de freinage par récupération). Le produit obtenu après 7 années d'études répond bien aux besoins, c'est pourquoi il sera généralisé sous sa forme actuelle, autorisant ainsi la circulation de trains en pilotage automatique indifféremment sur plusieurs lignes. Une adaptation sera nécessaire à partir de 1978 pour permettre au système de commander les équipements à hâcheurs de courant des nouveaux matériels.

C'est sans doute dans le cadre de l'interconnexion RATP-SNCF que se construira le pilote automatique de la génération future, l'un des objectifs envisageables étant l'allègement des installations dans la voie (utilisation des rails pour la transmission des informations, par exemple).

Principes de signalisation — Évolution et perspectives —

Les aménagements qui ont été apportés à la signalisation classique au cours des années passées ne permettent pas d'envisager des intervalles entre trains inférieurs à 95 ou 90 secondes avec les temps de stationnement importants qui sont nécessaires dans certaines stations, et encore faut-il, pour que l'intervalle soit stable, pratiquer une politique de régulation assez stricte dans laquelle on limite autoritairement les temps de stationnement, selon la méthode dite des « départs programmés ». Pour obtenir des intervalles plus faibles, de l'ordre de 80 secondes, il est nécessaire de faire appel à un découpage de la voie

en circuits de voie courts dont l'occupation et la libération rendent compte de façon plus fine de l'avancement des trains.

A la limite on obtient le « canton mobile déformable » dont la réalisation à l'état pur paraît encore trop ambitieuse. De nombreuses études, à l'aide de modèles de simulation en particulier, ont permis de concevoir ce que pourraient être des signalisations permettant d'approcher cette limite, en mettant en œuvre une exploitation en pilotage automatique pour approcher des performances optimales. La « signalisation sans action tampon adaptée à l'intervalle » (SSTA) a été imaginée par la RATP à la suite de certaines de ces études ; elle met en œuvre un agencement judicieux des dispositifs connus et éprouvés : circuits de voie et programmes de pilotage automatique. On obtient le même degré de sécurité qu'avec les découpages classiques pourvu que les capacités de freinage des trains en urgence soient garanties de la même façon. Les études de principe sont suffisamment avancées pour que l'on puisse envisager des applications dans les années à venir.

Une autre solution consiste à effectuer un découpage systématique de la voie en « mini-cantons » ; les performances atteintes sont du même ordre que pour la « SSTA », mais sur le plan technique de nouveaux dispositifs sont nécessaires pour les installations dans la voie. Cette deuxième solution a été également étudiée et pourrait faire l'objet prochainement de nouvelles recherches en vue d'une application aux circulations de l'interconnexion qui doivent, à l'horizon 1984, s'effectuer à débit élevé.

Enfin, la RATP a cherché à développer la signalisation en cabine ; en effet, les automatismes du pilote automatique permettent de s'affranchir d'une signalisation optique latérale, mais, à Paris, il est nécessaire de conserver une telle signalisation en secours pour les trains qui ne sont pas équipés et qui doivent transiter par les lignes automatisées ; la signalisation en cabine ne présente donc pas d'intérêt pour l'instant sur le métro urbain ; dans le cadre d'un débit élevé, se pose néanmoins le problème de la cohérence entre les informations perçues visuellement par le conducteur et le comportement automatique du train. Ce problème difficile a trouvé une solution dans les études récentes qui pourra être appliquée aux projets d'exploitation à faible intervalle.



Ci-dessus : l'ordinateur gère déjà le mouvement des trains.
Photo du haut : le pilotage automatique.

L'évolution de l'alimentation électrique du métro

par Daniel SUTTON,
Ingénieur en chef à la direction des services techniques

Conclusion

A la lumière des développements récents on s'aperçoit que les équipements de signalisation et de pilotage automatique actuels donnent satisfaction et qu'ils ont atteint un degré de modernisation suffisant pour que l'on effectue une normalisation profitable à la maintenance. Cette pause, toute relative, dans l'évolution, va permettre de concentrer les efforts sur la définition d'une génération future de signalisation ou de pilotage automatique qui pourrait voir ses premières réalisations à partir de 1980, et être appliquée en particulier sur les tronçons du métro régional qui seront ouverts à l'interconnexion des réseaux SNCF et RATP.

Depuis l'ouverture au public de la première ligne, la structure de l'alimentation électrique du métro a subi plusieurs mutations profondes grâce auxquelles les besoins croissants en énergie ont été satisfaits. A chacune de ces mutations ont été mises en œuvre les techniques les plus avancées pour l'époque, passant des groupes électrogènes de 1 500 kW Schneider, dont l'énergie provenait des 30 chaudières à charbon de l'usine électrique de Bercy, en 1900, aux postes haute tension à 63 et 220 kV et aux groupes redresseurs secs à diodes actuels.

Évolution des besoins

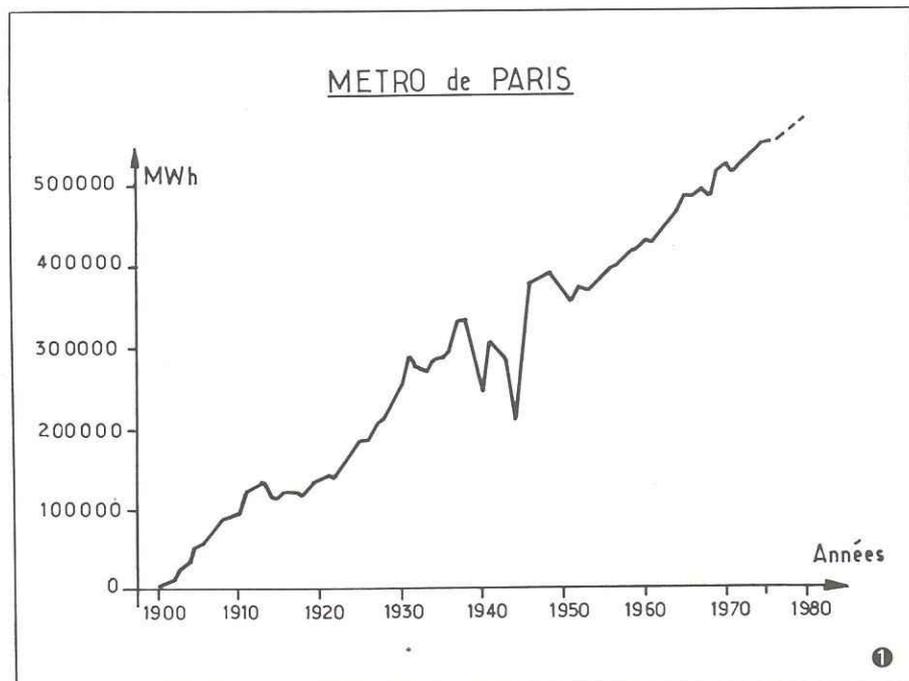
Au fur et à mesure du développement du métro la consommation annuelle a crû comme le fait apparaître la figure 1.

Cet accroissement est dû principalement à l'ouverture de nouvelles lignes et à l'extension des lignes existantes, ainsi qu'à l'augmentation du parc des matériels roulants et du trafic. Mais

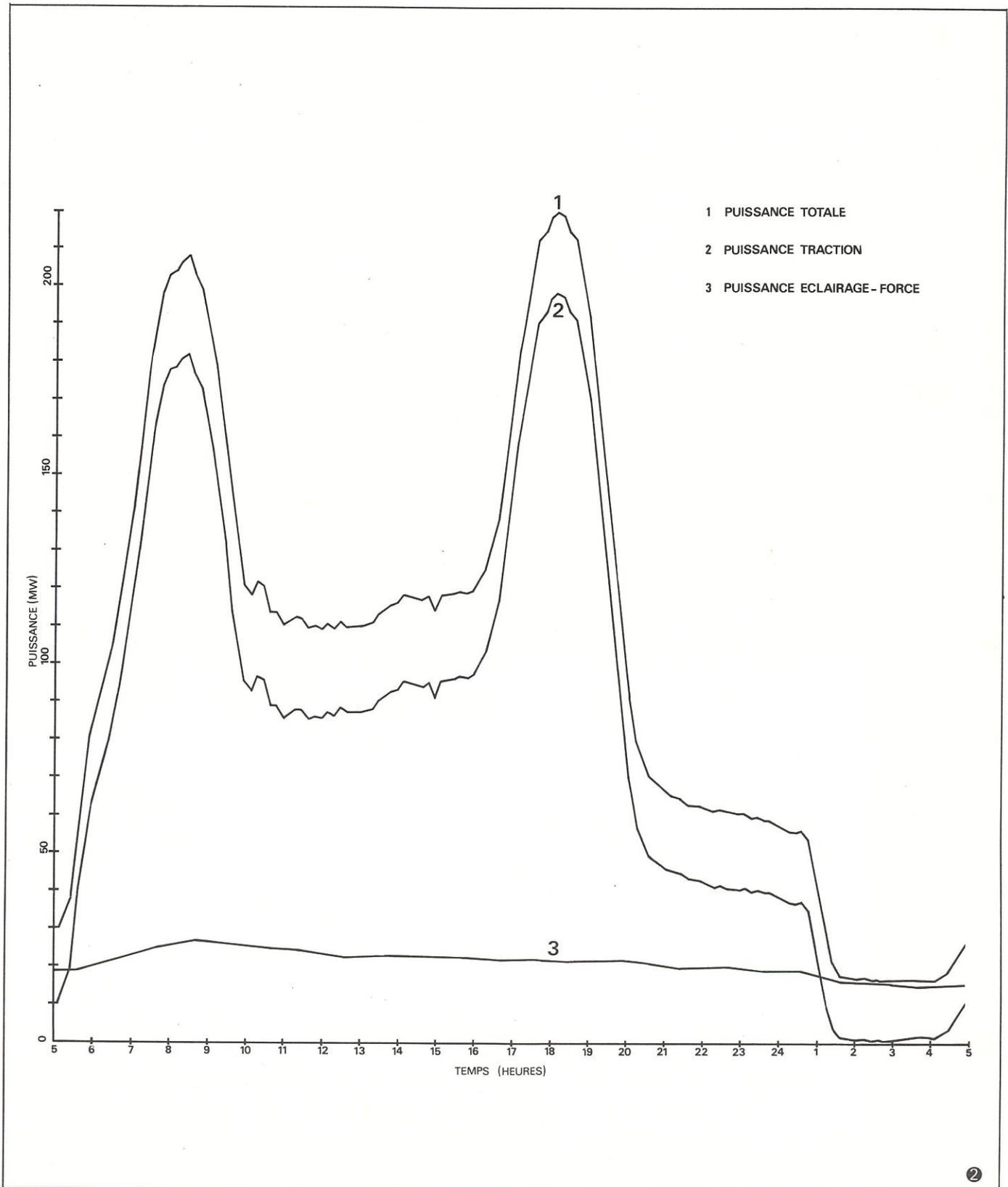
d'autres facteurs contribuent à cette augmentation : la mise en service de trains plus performants, dont l'effort de traction et la vitesse maximale sont augmentés pour obtenir une capacité de transport plus grande, l'amélioration de l'éclairage, la mise en service d'un nombre important de ventilateurs puissants et d'escaliers mécaniques, etc., destinés à accroître la qualité de service et le confort des voyageurs.

Quelques chiffres font saisir l'importance de cette évolution :

De 10,3 km en juillet 1900 pour la ligne « Vincennes-Maillot » la longueur



1 - Variation de la consommation annuelle de 1900 à 1975.



du réseau est passée à 178,4 km en 1939, ligne de Sceaux incluse, de Luxembourg à Massy-Palaiseau, et à 250,13 km en 1974, avec l'ensemble du métro urbain et du métro régional. La longueur totale des lignes sera de 297 km en 1980.

De 160 voitures de 8 à 9 m de longueur sur la ligne 1 en 1900, le nombre total de voitures de métro est passé à 3 321 en 1939 et à 3 716 en 1974, dont 3 247 voitures de 15 m environ pour le métro urbain et 469 voitures de 25 m pour le métro régional.

Le nombre total de voitures modernes sera de 4 212 en 1980.

L'appel d'intensité au démarrage des trains est passé de 2 120 A pour les matériels Sprague à 5 voitures, en voie de disparition, à 2 600 A pour les matériels modernes à roulement fer MF 67 à 7 voitures, à 3 560 A pour les trains sur pneumatiques à 6 voitures et à 4 500 A pour les trains MS 61 du métro régional (3 éléments, soit 9 voitures).

Les ventilateurs, peu nombreux, 30 en 1939, de débit faible, 9 m³/s, sont progressivement remplacés par des ventilateurs de débit 60 m³/s dont 107 sont déjà en service, et dont le nombre total sera de 202 à la fin de la période d'exécution du plan d'entreprise de 1975 à 1980. A ces chiffres donnés pour le métro urbain s'ajoutent 17 ventilateurs du métro régional, pour un total de 1 250 m³/s, et 5 centrales de climatisation de puissance totale 8 200 kVA.

Parallèlement le nombre d'escaliers mécaniques est passé de 85 en 1966 à 1 98 en 1970 et à 390 en 1975 et il sera de 615 à la fin de 1980.

Les normes d'éclairage, pour leur part, sont passées de 5 à 10 lux pour les couloirs mal éclairés à 80 lux et à 200 lux sur les quais de stations.

Tous ces besoins réunis se traduisent par la courbe caractéristique de la figure 2 sur laquelle sont superposées la consommation journalière, en semaine, en énergie de traction et la consommation en énergie d'éclairage et de force pour les divers équipements électromécaniques. La première est prépondérante, notamment aux heures de pointe du matin et du soir.

Le réseau de transformation et de distribution de l'énergie électrique doit

être constitué pour répondre correctement à cet appel de consommation ; il doit être surdimensionné à cause des pointes de consommation d'énergie de traction pour assurer une bonne disponibilité en cas de défaillance d'une des sources et il doit être maillé pour assurer la permanence des fonctions vitales telles que l'éclairage et l'épuisement des eaux.

Pour toutes ces raisons la puissance totale installée pour fournir au métro l'énergie électrique dont il a besoin est passée de 6 MW en 1900, à 184 MW en 1939, à 202 MW en 1966 et à 260 MW en 1975. Il est prévu de la porter à 380 MW en 1980.

Avec cette puissance installée et sa consommation annuelle de 784 millions de kWh, la RATP est le plus gros client d'Électricité de France dans la région parisienne.

Évolution de la structure du réseau

Dès l'origine la Compagnie du Métro a choisi la traction électrique à courant continu pour bénéficier des avantages du moteur série : fort couplage au démarrage, souplesse, etc. La tension retenue était de 600 V ; les circuits d'éclairage étaient également alimentés par la distribution à 600 V. Le Chemin de fer Nord-Sud avait, pour sa part, mis en œuvre une solution originale avec une distribution à deux ponts : un caténaire à + 600 V et un rail de retour à - 600 V ; mais, à la fusion du Nord-Sud avec la compagnie du métro la solution avec rail de courant à + 600 V et avec retour par les rails de roulement fut normalisée pour l'ensemble du réseau.

La Compagnie du Métro eut d'abord son usine électrique de Bercy, construite entre 1898 et 1901, mais elle dut, par suite de retard dans la mise en service des groupes électrogènes, faire appel à des sociétés indépendantes pour la livraison du courant à l'ouverture de la première ligne (Compagnie de l'air comprimé, Société du

triphase d'Asnières). Par la suite, jusqu'en 1927, la politique des sources primaires d'énergie ne semble pas avoir été très clairement définie, le métro faisant appel simultanément à son usine de Bercy, renforcée au cours du temps, et à des livraisons extérieures. En 1927 l'usine de Bercy fut fermée et le métro fit alors exclusivement appel à des fournisseurs extérieurs et multiples jusqu'à la création d'EDF.

De là, et de l'évolution constante des techniques vers une élévation des tensions, résulte une assez grande disparité des modes de production et de livraison de l'énergie électrique : groupes électrogènes 1 500 kW Schneider, dont l'un à 600 V continu, commutateur Gauz de 750 kW, livraisons en 5 000 volts triphasés à 25 Hz, 10 250 V triphasé fournis par les usines de Saint-Denis et d'Ivry, cette dernière livraison ne devant cesser qu'en 1970, et enfin dans la situation actuelle, livraison par EDF de toute la puissance sous une tension triphasée alternative à 63 kV dans 4 postes à haute tension et à 220 kV dans la plus récente tranche du poste Père Lachaise et dans les prochains postes René Coty et Ney.

Faisant contraste avec cette disparité des sources, la Compagnie du Métro a très rapidement mis en place un réseau de distribution et de transformation de l'énergie dont l'organisation et l'efficacité ont fait leurs preuves jusqu'à nos jours. Le principe général consistait à créer, aux nœuds du réseau, des sous-stations importantes — il y en eut 32 pour une puissance installée de 190 MW — dans lesquelles étaient installés les commutatrices et les groupes redresseurs à vapeur de mercure avec leurs tableaux de commande et de contrôle.

A partir de ces sous-stations étaient alimentés, sous 600 V, le troisième rail et le fil de distribution de l'éclairage normal. Puis, à la suite du grave incendie de la station Couronnes, en 1903, fut constitué le circuit d'éclairage de secours à partir d'une batterie à 600 V et par un câble isolé.

Ces installations font progressivement place aux équipements modernes : la dernière commutatrice a été retirée du service en 1970, le dernier groupe redresseur à vapeur de mercure, en 1969 ; une partie des circuits d'éclairage à 600 V subsiste encore ; ils ne disparaîtront complètement que vers 1980.

La structure actuelle, comme le font apparaître les figures 3, 4 et 5, est très nettement différente. Les équipements de base qui entrent dans la composition de ce réseau sont :

— Les postes haute tension (PHT) qui font la transformation 63 kV/15 kV ou, pour le plus récent, 220 kV/15 kV, avec des transformateurs de puissance 25 ou 30 MVA pour les appareils à 63 kV, et 40 MVA pour les appareils à 220 kV.

Les circuits d'entrée des postes sont protégés par des disjoncteurs, dont les plus récents sont du modèle à hexafluorure de soufre, les départs traction et les départs éclairage sont équipés de disjoncteurs.

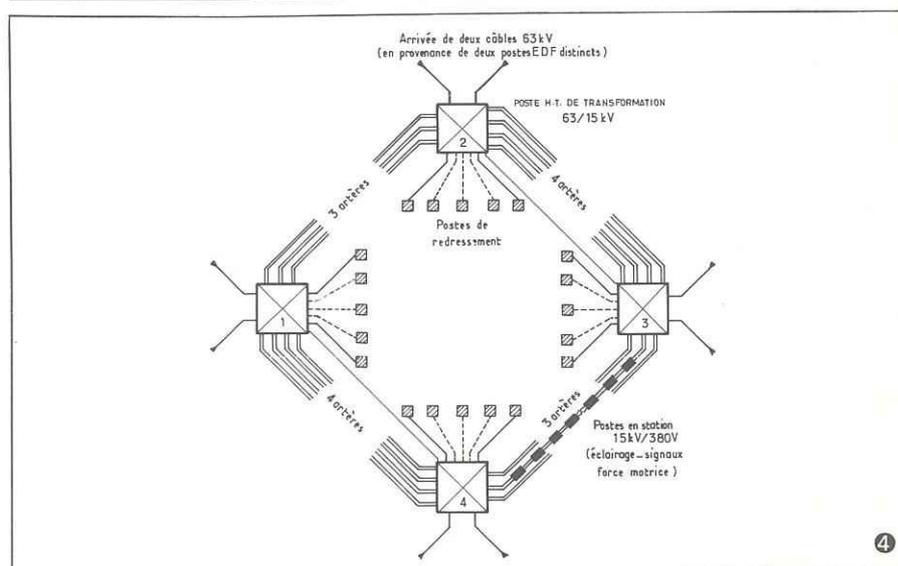
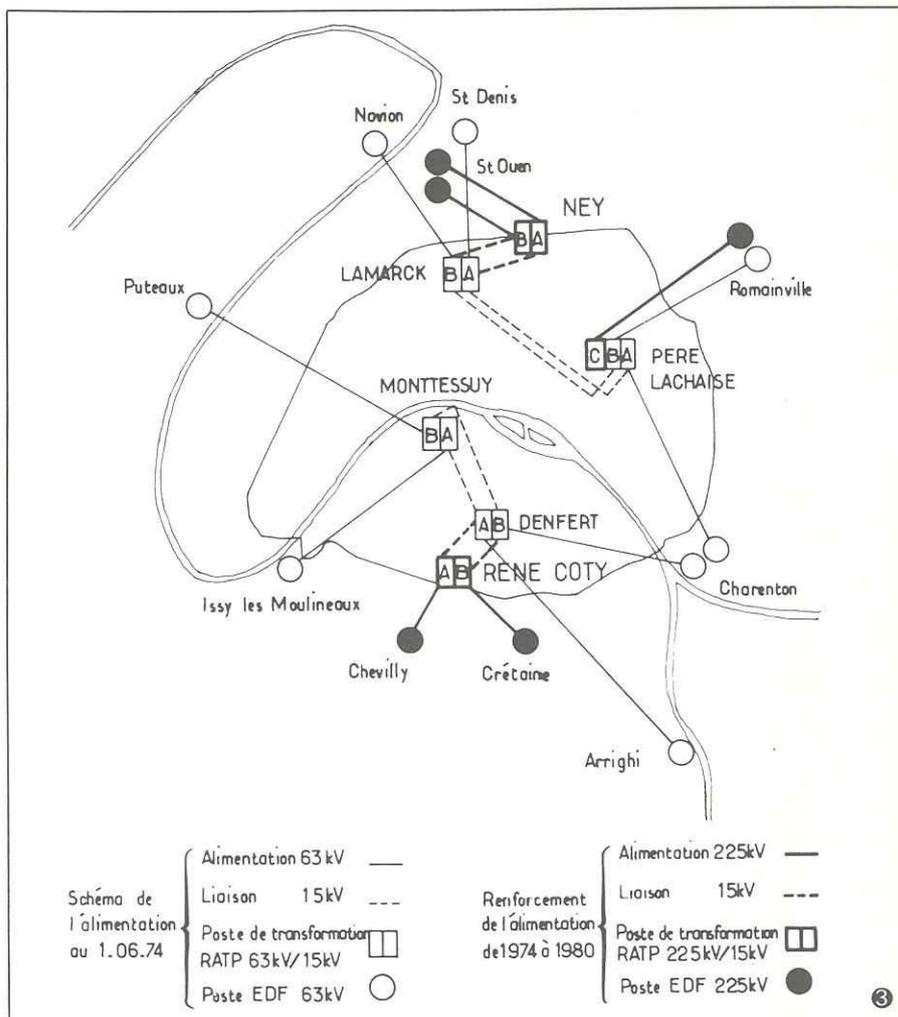
Tous les appareils moyenne tension, les auxiliaires alternatifs et les relayages sont du type débrouvable ; une salle de commande regroupe tous les moyens de contrôle et de commande du poste.

— Les postes de redressement (PR) qui sont constitués d'un bloc sectionneur, d'un bloc transformateur et d'un bloc redresseur, les deux derniers étant ventilés, comme le montre la figure 6. La puissance nominale de ces postes de redressement est de 1 750 kW, 2 300 kW, 2 800 kW, et 4 000 kW pour les plus récents, avec une capacité de surcharge de 50 % pendant deux heures.

La tension nominale délivrée par ces redresseurs est de 725 V à vide ; la tension 750 V en charge ne pourra être atteinte sur l'ensemble du réseau qu'après la disparition complète des matériels roulants anciens et de tous les équipements électromagnétiques à 600 V qui ont déjà dû être adaptés.

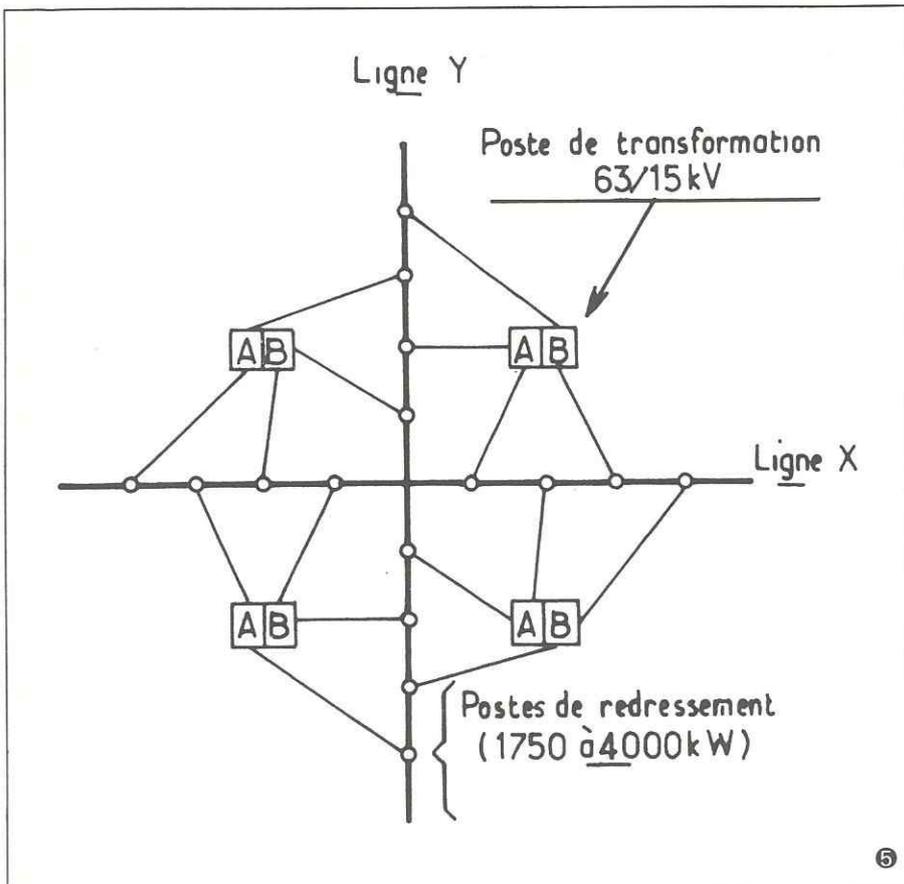
— Les postes éclairage force (PEF) qui transforment la tension dans le rapport 15 kV/380 V triphasé entre phase. Dans la conception parisienne du métro tous les départs, avec leur disjoncteur moyenne tension, étant réunis dans les PHT, les PEF, comme les PR, sont équipés de sectionneurs ou d'interrupteurs d'isolement ; les protections au secondaire à 380 V sont placées dans des armoires basse tension spécifiques des installations, éclairage, ventilateurs, appareils élévateurs, etc.

A partir de ces trois éléments de base, PHT - PR - PEF, le réseau de distribution est constitué de manière à



3 - Alimentation de la RATP en énergie électrique haute tension.

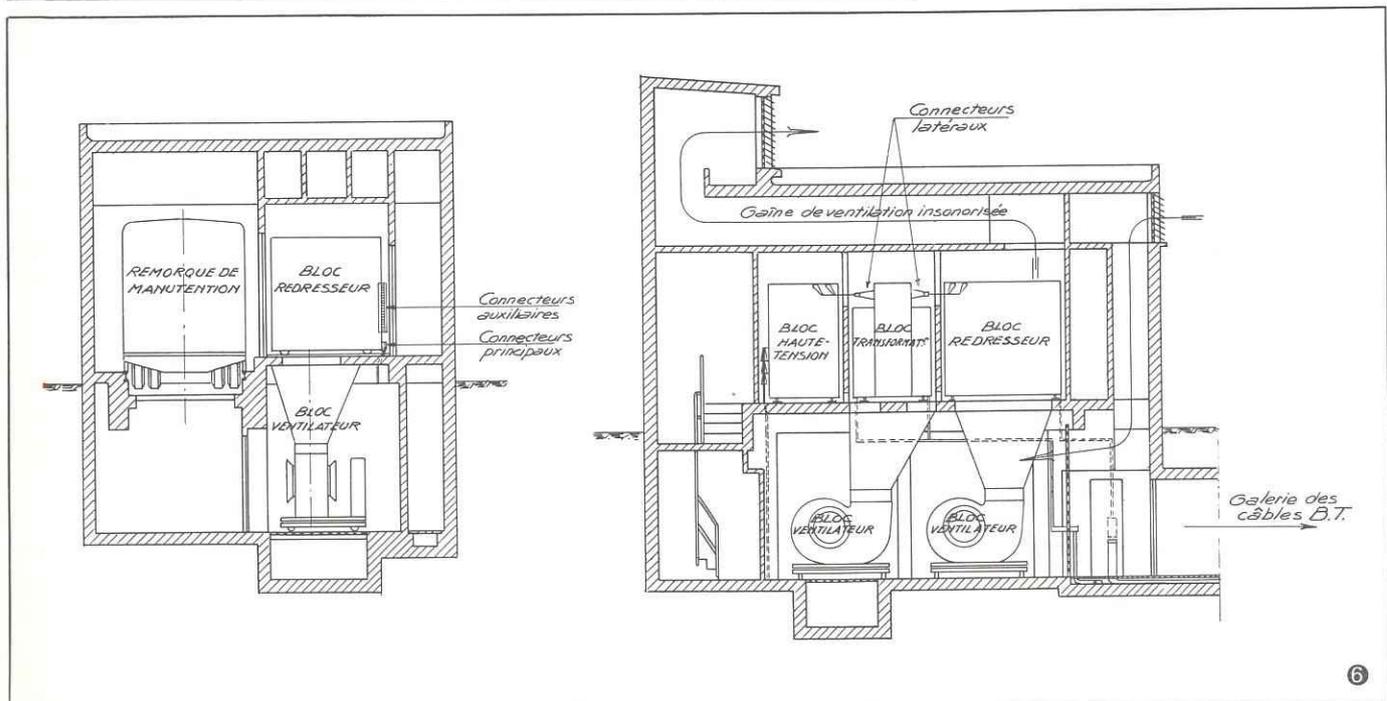
4 - Alimentation des lignes en énergie électrique, principe général de l'alimentation.



assurer une très bonne disponibilité d'ensemble.

Pour les PR la distribution est faite en étoile à partir des PHT, constitués chacun de deux, voire de trois, tranches indépendantes de 25 à 40 MVA chacune. Bénéficiant de la mise en parallèle au niveau du courant continu sur les lignes, un quinconçage, schématisé sur la figure 5, permet de continuer sans altération l'exploitation de chaque ligne de métro en cas de défaillance d'un PR ou d'une tranche de PHT. La densité des PR sur chaque ligne est en effet calculée pour obtenir ce résultat compte tenu de la capacité de surcharge de chacun d'eux.

Pour les PEF le maillage est fait au niveau des artères à 15 kV qui réunissent les PHT deux à deux, comme le représente la figure 4. Chaque artère est double, chaque PEF est lui-même constitué de deux chaînes indépendantes de transformation 15 kV/380 V raccordées respectivement sur chaque câble de l'artère. En cas d'incident sur les câbles il est facile de déplacer la section neutre d'une artère afin d'isoler le câble en défaut, les PEF étant alimentés par les PHT de part et d'autre. En attendant cette manœuvre, qui peut être longue car pour le



5 - Principe de distribution de l'énergie moyenne tension 15 kV aux postes de redressement.

6 - Coupe longitudinale et transversale d'un poste de redressement.

moment elle est manuelle, il est procédé à un délestage partiel de l'éclairage et des équipements électromécaniques de chaque station. Dans le cadre de la mise en œuvre du poste de commande de la distribution de l'énergie électrique (PCE) il est prévu de motoriser les interrupteurs des PEF, de les télécontrôler et de télécommander leur manœuvre.

Les PR ne sont pas, en général, implantés dans les stations, mais au contraire, en surface, le long des lignes. Le métro urbain comporte 105 PR, le métro régional en comporte 26 ; ces derniers délivrent une tension de 1 500 volts continu. Les PEF sont le plus souvent installés dans des stations, mais toutes les stations n'en sont pas pourvues, les petites stations étant satellisées en basse tension sur les plus importantes. Le métro comporte en tout 196 PEF.

Enfin il convient de signaler un schéma un peu différent pour les prolongements éloignés des lignes en banlieue. Dans leur cas les artères d'éclairage force sont parfois en antennes et certains secours par EDF sont admis, soit en basse tension, soit par l'intermédiaire de postes de transformation moyenne tension 20 kV/380 V. 13 PR sont également alimentés par EDF sous 20 kV.

Perspectives d'avenir

Les principes, brièvement énoncés ci-dessus, seront maintenus, pour l'essentiel, au cours des prochaines décennies. L'évolution se fera dans le sens de la suppression des exceptions qui subsistent par rapport au nouveau schéma (éclairage à 600 V continu, moteurs à 600 V continu) et d'une extension des moyens mis en œuvre pour suivre l'augmentation des besoins. C'est ainsi qu'entre 1975 et 1980 seront mis en service : 2 nouveaux PHT, Ney et René Coty, soit une augmentation de 120 MVA de la puissance installée, 32 PR dont 17 pour le métro régional, 46 PEF dont 11 pour le métro régional.

L'innovation attendue se situe d'ailleurs dans le domaine de la gestion des mouvements d'énergie, grâce à des moyens puissants de télésupervision,

de télécommande et d'aide à la décision, concentrés dans le poste de commande de la distribution d'énergie électrique (PCE), en construction depuis 1972 dans l'ensemble « Bourdon-Crillon ».

Le processus de concentration de l'information et des commandes est déjà très fortement engagé puisque, avant la fin de 1975, les quatre PHT existants et tous les PR seront télécontrôlés et télécommandés. Le télécontrôle et la télécommande des PEF sont déjà programmés ; ils devraient être opérationnels dans un délai de 2 à 3 ans.

Dès la fin de 1975 il n'y aura plus aucun personnel de quart dans les PHT, de même qu'il n'y en a pas dans les PR et les PEF. Tous les contrôles et les commandes parviennent dans un réseau assez complexe de télétransmission, entre PR et PHT d'une part, entre PHT et PCE, ainsi qu'entre PEF et PCE, d'autre part.

La télésupervision des PHT est particulièrement lourde puisque, pour

chacun d'eux, on ne compte pas moins de 1 200 contrôles, 70 télémessures et 600 commandes. Celle des PR et des PEF est plus légère, à raison d'une à deux dizaines de contrôles et de commandes pour chacun.

Toutes les informations sont ou seront transmises soit directement à un tableau de contrôle optique et, pour les commandes à partir d'un pupitre de commande dans le PCE (voir la figure 7), soit par l'intermédiaire d'un ordinateur T 1600 dans chaque PHT et d'un ordinateur T 1600 au poste central, quand ces informations doivent être élaborées avant d'être présentées au chef de quart du PCE. Dans une phase ultérieure le calculateur effectuera un tri des informations et quelques statistiques ; il sera à même de proposer des reconfigurations du réseau en cas d'indisponibilité d'une des sources ou d'un des éléments du réseau. Mais ce projet ambitieux nécessitera encore quelques années de mise au point et d'expérience des nouvelles procédures avant d'être complètement opérationnel.



Poste de commande de la distribution d'énergie. vue générale de la salle de commande.

