

Titre : Le Métropolitain de Paris

Auteur : Biette, Louis

Mots-clés : Métros * France * Paris * 1900-1945

Description : 1 vol. (66 p.-[1 pl. dépl.]) ; 26 cm

Adresse : Paris : Librairie de l'enseignement technique Léon Eyrolles, 1922

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 8 Le 416

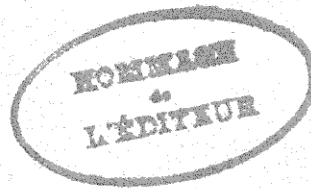
URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8LE416>

8° Le 416.

LE
MÉTROPOLITAIN
DE PARIS

PAR L. BIETTE

Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
Inspecteur général des Travaux de Paris.



PARIS
LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
LÉON EYROLLES, ÉDITEUR

3, Rue Thénard

1922

Tous droits réservés.

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

Fondateur : M. LÉON EYROLLES, C. *, O. I.

Ingénieur-Directeur de l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie.

Collection grand in-8 (16 × 25)^[1]

a) OUVRAGES PROFESSÉS A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES

Cours de construction de lignes télégraphiques et téléphoniques, par M. LORAIN, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes.

1^{re} partie. Lignes aériennes, 4^e édition, 342 pages, 281 figures et 3 planches hors texte..... *Epuisé*.

Construction de lignes souterraines, par M. PICAULT, ingénieur des Postes et Télégraphes.

1^{re} édition, 191 pages et 108 figures..... 6 fr. 50

Cours d'installations télégraphiques, par M. TONGAS, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes.

1^{re} partie. Sources d'énergie. Appareils à transmission automatique. Systèmes à transmissions multiples. 2^e édition, 480 pages, 287 figures et 19 planches hors texte..... 12 fr. 50

Cours d'exploitation postale, par M. FERRIERE, chef de bureau à l'Administration centrale des Postes et des Télégraphes.

Livre I. Principes fondamentaux. Législation. Exécution et contrôle du service, 352 pages..... 7 fr. 50

Livre II. Personnel. Service des directions. Service ambulancier. Service maritime, 480 pages..... 7 fr. 50

Cours d'installations téléphoniques, par M. MILON, ingénieur des Postes et Télégraphes.

2^e édition. — 362 pages, 205 figures et 6 planches hors texte..... 12 fr. 50

Principes généraux d'exploitation téléphonique, par M. MILON, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes.

1 vol. de 150 pages..... 6 fr.

Cours élémentaire de télégraphie sans fil, par M. VIARD, ingénieur des Postes et Télégraphes.

304 pages et 188 figures..... 12 fr. 50

Conférences de Comptabilité industrielle et commerciale, par M. C. VALENSI, ingénieur des Postes et Télégraphes.

1 vol. de 276 pages..... 12 fr.

Cours de comptabilité et de droit budgétaire, par M. FÉRET DE LONGBOIS, directeur au Ministère des Finances.

2^e édition, 286 pages..... 6 fr.

Cours de Machines, par M. SAUVAGE, inspecteur général des Mines.

1 vol. de 208 pages, 70 figures..... 8 fr.

b) OUVRAGES PROFESSÉS A L'ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS DU BATIMENT ET DE L'INDUSTRIE

BÉTON ARMÉ

Précis pour le calcul des ouvrages en béton armé, par le lieutenant-colonel ESPITALIER.

2^e édition, 240 pages, 108 figures..... 15 fr.

Cours de béton armé, par le lieutenant-colonel ESPITALIER.

Livre I. Procédés généraux de construction et calcul des ouvrages, 8^e édition, 328 pages, 162 figures, 2 planches et annexe. Instruction ministérielle du 20 octobre 1906. Prix..... 18 fr.

Livre II. Application du béton armé, 8^e édition, 448 pages, 228 figures et 2 planches hors texte.

Prix..... 22 fr.

BATIMENT

Construction des usines et des établissements industriels, par le lieutenant-colonel ESPITALIER.

5^e édition, 340 pages, 217 figures dont 5 planches hors texte..... 25 fr.

Construction et installation des bâtiments agricoles, par M. PROVOST, ingénieur du Génie rural.

2^e édition, 273 pages, 101 figures et 2 planches.. 20 fr.

1. Les ouvrages indiqués par un * sont provisoirement édités en autobiographie dans le format in-4 tellière (17×22).

LE
MÉTROPOLITAIN
DE PARIS

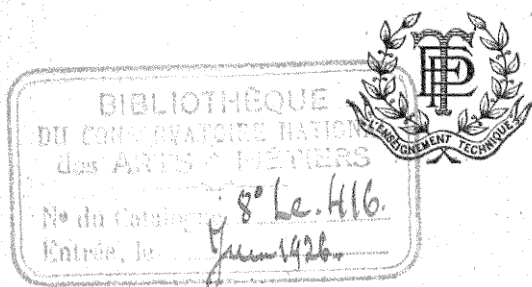
COULOMMIERS
Imprimerie PAUL BRODARD.

8° Le. 416.

LE
MÉTROPOLITAIN
DE PARIS

PAR L. BIETTE

Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
Inspecteur général des Travaux de Paris.



PARIS
LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
LÉON EYROLLES, ÉDITEUR

3, Rue Thénard

1922

Tous droits réservés.

LE MÉTROPOLITAIN DE PARIS¹

Historique du Métropolitain. — Dans la remarquable conférence qu'il vous a faite au mois d'avril dernier, M. Jayot, Directeur général de l'Inspection générale et des Transports en commun, vous rappelait que la première idée des transports en commun à la surface remontait à Pascal et que le privilège d'établir dans Paris les premiers omnibus avait été octroyé, dès 1662, par le roi Louis XIV.

Le Métropolitain de Paris possède des lettres de noblesse moins anciennes et son arbre généalogique est moins touffu. Cependant, c'est en 1855 que l'idée prit corps pour la première fois dans un projet que lancèrent Brame et Flachet, en vue de relier le centre de Paris à la périphérie et d'assurer l'approvisionnement des Halles par voie ferrée souterraine. Ce n'était là toutefois qu'une conception fragmentaire du problème et seize ans devaient s'écouler avant qu'une conception rationnelle se précisât. C'est seulement en 1872, en effet, qu'une Commission technique, nommée par le Préfet de la Seine en exécution d'une délibération du Conseil général du 10 novembre 1871, formula les données essentielles d'un véritable réseau à l'intérieur de Paris. Dans son étude, la Commission s'était visiblement inspirée du Métropolitain de Londres⁽²⁾ : c'est à l'imitation des Anglais que le nom de « Métropolitain » fut attribué aux voies ferrées parisiennes.

1. Conférence faite le 21 décembre 1921 à la Société des Ingénieurs des Travaux publics de la Ville de Paris, par M. L. Biette, inspecteur général des Ponts et Chaussées, inspecteur général des travaux de Paris.

2. Je ne parle pas des « tubes » dont l'établissement est bien postérieur à 1872, mais du « Metropolitan and District Railway » dont ceux d'entre vous qui ont visité Londres autrefois n'ont certainement pas oublié les souterrains enfumés.

Les travaux de la Commission de 1872 restèrent sans suite; les circonstances du moment n'étaient pas favorables. Mais cet échec ne rebuta pas le Conseil général qui décidait trois ans plus tard, le 22 novembre 1875, de continuer les études des chemins de fer d'intérêt local de la Seine, dans lesquels se trouvait englobé le réseau urbain. De 1875 à 1877, les ingénieurs de la Ville de Paris travaillèrent à déterminer les données fondamentales de ces chemins de fer.

Comme le projet de 1872, celui de 1877 demeura sans sanction. La loi du 11 juin 1880, qui réservait aux communes la faculté d'établir un chemin de fer d'intérêt local sur leur territoire, laissa croire un instant que la situation allait changer. Le Métropolitain passait des attributions du Conseil général dans celles du Conseil municipal qui arrêta, le 4 juin 1883, le projet d'un chemin de fer urbain d'intérêt local et demandait le vote d'une loi déclarant l'utilité publique de ce chemin de fer et en autorisant la construction. Mais le Conseil d'État affirma le caractère d'intérêt général du Métropolitain et déclara que ce réseau ne pouvait être concédé à la Ville de Paris : le Gouvernement ne crut pas devoir donner suite au projet.

Au cours des années qui suivirent, Paris se passionna véritablement pour cette question du Métropolitain. Une série d'études émanant de l'initiative privée et dont quelques-unes acquirent une certaine notoriété furent portées à la connaissance du public par la presse ou par les conférences des auteurs.

De son côté, le Gouvernement se préoccupait d'un chemin de fer d'intérêt général, et un projet portant concession à M. Christophle, gouverneur du Crédit Foncier, arriva, mais échoua à la tribune du Parlement (21 juillet 1887). Pendant dix-huit ans (de 1877 à 1895), les efforts de l'action officielle aussi bien que ceux de l'initiative privée demeurèrent stériles : c'est qu'une contradiction absolue divisait le Gouvernement et la Ville de Paris sur le caractère légal à attribuer à l'entreprise.

Pour le Gouvernement, le Métropolitain devait, en même temps qu'il desservait la circulation urbaine, être rattaché aux lignes des grandes Compagnies; on condamnait d'avance toute « entreprise exclusivement locale qui n'aurait pour objet que de relier deux points dans l'intérieur de Paris sans la traversée des fortifications et sans raccordement direct avec une grande ligne »

(lettre ministérielle du 16 juillet 1878). Cette conception ne peut se défendre. Il est essentiel que les voies d'intérêt général restent nettement séparées des voies d'intérêt local : vouloir les grouper dans un même ensemble ne peut aboutir qu'à un mauvais résultat pour les unes comme pour les autres. Et cela s'explique aisément sans qu'il soit besoin de longs développements. Pour qu'une ligne urbaine remplisse complètement son but, il faut lui faire atteindre les nœuds de circulation importants qui sont des points obligés. On doit d'ailleurs s'astreindre à se placer sous les voies publiques, sans quoi on aurait à faire face à des dépenses d'expropriation formidables tout en s'exposant à ne desservir qu'imparfaitement les courants de circulation. Les lignes urbaines doivent donc s'accommoder de tracés serrés et tourmentés, ce à quoi ne se prêtent guère les lignes d'intérêt général. D'un autre côté, pour remplir parfaitement son rôle, une ligne urbaine doit comporter des arrêts nombreux et rapprochés; ces arrêts sont non seulement inutiles mais même gênants pour des trains de grandes lignes. Les modes d'exploitation de ces deux catégories de voies ferrées sont totalement différents; prendre un moyen parti en les superposant, ne peut aboutir qu'à les troubler gravement l'un comme l'autre.

La Ville de Paris avait admirablement compris cette nécessité de séparer les deux exploitations. Sans méconnaître l'intérêt de raccorder les grandes lignes à travers la capitale, elle soutenait que ces raccordements devaient rester isolés du Métropolitain et que le seul but de celui-ci était de satisfaire aux besoins de la circulation parisienne, en gardant le caractère purement municipal. « La question du Métropolitain, écrivait le 5 juillet 1889 M. Sauton, rapporteur de la Commission du Conseil municipal, se traînera d'échec en échec, d'avortement en avortement, tant qu'on persistera à vouloir grouper dans un même ensemble l'intérêt urbain, celui de l'État et ceux du Syndicat des grandes Compagnies.... Le prolongement dans Paris d'une ligne d'intérêt général est lui-même d'intérêt général.... Les lignes dans Paris qui ne sont pas des prolongements de lignes d'intérêt général et ne relient pas celles-ci rail à rail, sont d'intérêt local. »

Remarquez qu'il ne s'agissait pas là d'une simple question de mots; car les conséquences étaient toutes différentes suivant le caractère attribué au nouveau chemin de fer. Le Métropolitain étant reconnu d'intérêt général, le soin d'en arrêter le tracé et d'en

assurer la construction rentrait dans les attributions du Gouvernement et la Ville n'avait plus que voix consultative; presque fatalement, le Métropolitain tombait aux mains des grandes Compagnies et devenait un appendice des grands réseaux. Reconnu d'intérêt local, le Métropolitain conservait son autonomie et la municipalité parisienne avait tout pouvoir pour régler les modalités de l'exécution.

La querelle se serait sans doute prolongée, si l'insuffisance chaque jour plus marquée des moyens de transport en commun dans Paris et l'aggravation qu'allait apporter à cette situation, en multipliant les déplacements, l'Exposition universelle de 1900 dont l'ouverture était prochaine, n'avaient réclamé impérieusement une solution. Ce fut le Gouvernement qui céda. Le 22 novembre 1895, le ministre des Travaux publics reconnaissait enfin à la Ville de Paris le droit d'assurer l'exécution à titre d'intérêt local, dans les conditions de la loi du 11 juin 1880, des lignes qui sont spécialement destinées à desservir les intérêts urbains. Dès le début de 1896, le Conseil municipal traçait le programme du réseau métropolitain en lui assignant le double but de suppléer à l'insuffisance des transports en commun dans Paris et de permettre la mise en valeur des quartiers éloignés et moins peuplés de la capitale. Après une instruction de deux ans, la loi du 30 mars 1898 déclarait d'utilité publique l'établissement dans Paris d'un chemin de fer urbain à traction électrique destiné au transport des voyageurs seulement et comprenant six lignes ainsi que les raccordements de ces lignes entre elles. La convention et le cahier des charges annexés à la loi de 1898 portent concession à titre ferme de ces six lignes à la Compagnie générale de traction et aussi concession, mais à titre éventuel, de trois autres lignes⁽¹⁾. De ces trois dernières lignes, celle qui devait aller de la place Valhubert au quai Conti a été définitivement abandonnée. Les deux autres étaient la ligne n° 7 du Palais-Royal à la Place du Danube et la ligne n° 8 d'Auteuil à l'Opéra par Grenelle, dont la concession a été rendue définitive par deux lois respectivement en dates des 22 avril 1902 et 6 avril 1903.

1. La concession à titre éventuel veut dire que la Ville de Paris se réserve la faculté d'exécuter les lignes qui en font l'objet, si elle le juge convenable; que, si elle use de cette faculté, le concessionnaire est tenu d'accepter la concession aux mêmes conditions que celles des autres lignes concédées à titre ferme; que la Ville ne peut concéder définitivement les lignes éventuelles à d'autres qu'à son concessionnaire.

*
*
***Développement du réseau urbain. — Plan général du réseau.**

— Lorsque au début de 1896, le Conseil municipal se préoccupait de déterminer le programme du futur réseau métropolitain, il s'en fallait de beaucoup que l'œuvre qu'on allait entreprendre rencontrât une approbation unanime. Si certains se montraient franchement optimistes, d'autres prédisaient un échec certain. D'aucuns affirmaient que la construction de 65 km. de souterrain dans Paris constituait une entreprise chimérique qu'il était pratiquement impossible de mener à bien sans dommages pour les immeubles riverains, sans entraves inadmissibles pour la circulation. D'autres soutenaient que l'œuvre ne pourrait être réalisée sans une formidable augmentation de la dépense prévue; ils pensaient que le public se montrerait indifférent et que les recettes de l'exploitation seraient impuissantes à faire face aux charges financières. Ces préoccupations avaient pénétré jusqu'au Conseil municipal; aussi, dans la convention de concession inséra-t-on une clause aux termes de laquelle la Ville ne s'engageait à construire que les trois premières lignes et se réservait la faculté, pour les lignes suivantes, de renoncer à l'exécution des fractions dont la construction ne serait pas engagée dans un délai déterminé.

Cependant, dès que la loi de 1898 avait été promulguée, les ingénieurs municipaux avaient entrepris l'étude des projets d'exécution de la première ligne ainsi que du tronçon de la ligne n° 2 compris entre la place de l'Étoile et le Trocadéro; quelques mois après, ces projets étaient dressés. Les travaux commencés à la fin de 1898 furent menés rapidement sans dommages pour les immeubles, sans entraves sérieuses pour la circulation. Le 19 juillet 1900, la ligne de la Porte de Vincennes à la Porte Maillot était ouverte au public sur toute sa longueur.

Dès l'ouverture de cette ligne, le Métropolitain conquist la faveur du public : les craintes que certains avaient eues de voir les Parisiens hésiter à descendre dans le souterrain ne se réalisèrent pas. Dès les premiers jours, malgré les à-coups tout naturels d'un nouveau mode de transport encore à ses débuts, l'affluence fut considérable; par la suite, elle ne fit que croître. En présence d'un tel succès, la Ville de Paris crut devoir rechercher les moyens de parachever l'œuvre entreprise par la construction de lignes nouvelles. Il serait

trop long de vous indiquer les divers projets qui furent étudiés dans ce but. Je me bornerai à vous rappeler qu'aux huit lignes du réseau de 1898 sont venus successivement s'ajouter :

le prolongement de la ligne n° 3 jusqu'à la Porte de Champerret (ligne n° 3 *bis* déclarée d'utilité publique par la loi du 26 février 1907);

l'embranchement de la ligne N° 7 sur la Porte de la Villette (ligne n° 7 *bis* déclarée d'utilité publique par une seconde loi du 26 février 1907);

la ligne de la Porte de Saint-Cloud au Trocadéro (déclarée d'utilité publique par la loi du 31 juillet 1909);

les neuf lignes du réseau dit complémentaire concédées à titre ferme et les cinq lignes éventuelles du même réseau (déclaré d'utilité publique par la loi du 30 mars 1910);

et enfin le chemin de fer Nord-Sud de Paris. Celui-ci a fait l'objet d'une concession distincte et a été construit par tronçons déclarés successivement d'utilité publique par diverses lois dont la première est en date du 3 avril 1905.

Vous avez sous les yeux le plan général du réseau urbain en février 1921 (planche hors texte).

L'ensemble des lignes du réseau métropolitain proprement dit concédées à titre ferme présente un développement total de 136 km., auxquels viennent s'ajouter les 16 km. de lignes éventuelles du réseau complémentaire de 1910. Sur ces 136 km. de lignes métropolitaines, 84,5 km. sont en exploitation; 15,5 km. sont construits mais non encore exploités; 36 km. restent à construire.

Quant aux lignes de la concession Nord-Sud, leur ensemble présente un développement total de 19,7 km., dont 17 km. sont en exploitation.

* * *

Gabarit du Métropolitain. — La longue lutte que le Conseil municipal de Paris avait soutenue contre le Gouvernement pour s'assurer la possession exclusive du Métropolitain l'avait rendu soupçonneux à l'extrême : il craignait toujours un retour offensif des grandes Compagnies. Aussi, pour la rédaction du projet de 1896, avait-il décidé que le chemin de fer serait construit à la voie étroite d'un mètre de largeur. Cette décision, il faut bien le dire, prêtait fortement à la critique. Si elle assurait l'indépendance

absolue du réseau urbain, tout en diminuant les dépenses, elle réduisait singulièrement la capacité de transport du chemin de fer : il y avait là un danger grave pour l'avenir de l'entreprise. Un premier pas vers une solution plus rationnelle fut fait à la demande du futur concessionnaire : le Conseil décida que la largeur de la voie serait portée à 1,30 m. et celle des voitures à 2,10 m. ; avec ces données, le raccordement rail à rail avec les grands réseaux restait toujours impossible. Mais le Parlement n'adopta pas cette disposition encore trop radicale : la loi du 30 mars 1898 prescrivit, pour la voie, la largeur normale de 1,44 m. et, pour le gabarit du matériel roulant, la largeur de 2,40 m. Toutefois elle admit que les dimensions des ouvrages fussent calculées de façon à épouser ce gabarit de façon étroite en ne réservant entre les parois intérieures et les parties les plus saillantes des voitures qu'un intervalle de 0,70 m. régissant jusqu'à 2 m. de hauteur au-dessus du rail.

L'écartement normal de 1,44 m. permettrait au matériel du Métropolitain de circuler sur les voies des grandes Compagnies ; mais les dimensions des ouvrages ne permettent pas pratiquement la réciprocité, de sorte que la loi sauvegarde entièrement l'autonomie du réseau urbain. Le Parlement a d'ailleurs réservé aux grandes Compagnies la possibilité de se raccorder directement à l'intérieur de la capitale par des voies indépendantes du Métropolitain : la loi du 30 mars 1898 prescrit que la construction du Métropolitain devra laisser réalisables, au point de vue technique, cette pénétration des grandes lignes et leurs raccordements dans Paris. Cette obligation n'est pas sans compliquer parfois, de façon sensible, l'étude des lignes urbaines : l'exemple le plus récent est le tracé tourmenté qu'il a fallu adopter pour le prolongement de la ligne n° 7 sous la place et le quai de l'Hôtel-de-Ville et sous le quai des Célestins en vue de réserver la possibilité d'un raccordement éventuel Nord-P.-L.-M.

* *

Concession du Métropolitain. — La convention de 1898. — La concession du Métropolitain municipal a été accordée à la Compagnie générale de Traction qui s'est substituée, conformément aux clauses de sa convention, une Société anonyme ayant pour objet exclusif l'exploitation du chemin de fer : sous le nom de « Compagnie du

Chemin de fer Métropolitain de Paris » ; cette Société a été constituée en vertu d'un décret du 19 avril 1899.

Le mode de concession qui fut adopté en 1898 pour le Métropolitain résulte de deux données essentielles : premièrement, construction de l'infrastructure par la Ville ; exécution de la superstructure et exploitation par le concessionnaire ; — secondement, prélèvement, par la Ville, sur les recettes de l'exploitation, des sommes destinées à faire face aux charges des emprunts contractés pour l'infrastructure.

Aux termes de la convention, la Ville exécute elle-même les travaux de l'infrastructure, c'est-à-dire les travaux souterrains, tranchées, viaducs, nécessaires à l'établissement de la plate-forme ou au rétablissement des voies publiques empruntées et, en outre, les quais de voyageurs dans les stations, à l'exclusion des ouvrages y donnant accès. Toutes les autres dépenses sont à la charge du concessionnaire, notamment l'installation des voies et l'équipement électrique, l'aménagement des accès aux stations, la construction des ateliers et des usines, la fourniture du matériel roulant, etc. En un mot, la Ville construit à ses frais les ouvrages souterrains ou aériens destinés à contenir ou à supporter les voies ; la Compagnie pose ces voies, les équipe, assure l'accès aux stations, fournit le matériel roulant et les usines électriques, et exploite.

Cette combinaison présentait, en principe, des avantages indéniables : limitation du capital du concessionnaire et, par voie de conséquence, possibilité de réduire dans une proportion notable la durée de la concession ; allègement sensible des charges financières en raison de la faculté que possède la Ville de Paris de se procurer des capitaux à un taux inférieur à celui qu'aurait à payer toute société privée ; plus grande facilité pour la Ville de se procurer le capital considérable nécessaire à la réalisation de l'œuvre sans passer par une garantie d'intérêt et sans risquer sa responsabilité financière ; séparation absolue des intérêts, — parfois divergents, — du concédant et du concessionnaire, chacune des parties faisant son affaire personnelle des charges qu'elle a contractées dans l'entreprise.

La Ville de Paris fait face aux dépenses qui lui incombent au moyen de l'emprunt. Jusqu'ici, quatre emprunts successifs dont le total s'élève à 620 millions ont été autorisés par quatre lois respectivement en dates des 4 avril 1898, 26 juin 1903, 10 avril 1908 et

18 juillet 1911. Les fonds d'emprunt doivent servir exclusivement aux travaux à la charge de la Ville. Je n'ai pas besoin de vous dire que cette somme de 620 millions sera tout à fait insuffisante pour construire en entier les lignes concédées à titre définitif. En raison du renchérissement de toutes choses, il est à craindre que la somme qu'il faudra encore emprunter pour les 36 km. de lignes restant à construire n'approche de celle qui a été déjà dépensée.

De son côté, la Compagnie a constitué un capital actions fixé, au début, à 25 millions de francs, et porté successivement à 50, puis à 75 millions. A ces 75 millions d'actions sont venus s'ajouter progressivement des emprunts obligataires atteignant aujourd'hui le chiffre total de 125 millions.

Pour permettre à la Ville de Paris de faire face à ses charges financières, la convention de 1898 lui donne le droit de prélever à toute époque et pour tout billet délivré, une somme calculée à raison de 0,05 fr. par billet de deuxième classe et par billet d'aller et retour et de 0,10 fr. par billet de première classe. En outre, lorsque le nombre des voyageurs transportés par an, en toutes classes, dépasse 200 millions, le prélèvement de la Ville se trouve augmenté d'une quantité qui varie avec le nombre réel des voyageurs.

Cette conception émane directement de cette idée qu'il est légitime de gager l'emprunt relatif à un grand travail d'utilité publique au moyen d'une redevance imposée à ceux qui profiteront de ce travail. Elle n'est d'ailleurs pas nouvelle; on peut la rapprocher des droits de quai perçus dans les ports maritimes pour gager les emprunts des Chambres de commerce et aussi du péage par tête de voyageur que versent les Compagnies de chemins de fer ou de tramways dans le cas où elles empruntent les voies d'une Compagnie étrangère.

La convention de 1921. — Le mode de concession ainsi adopté en 1898 pour le Chemin de fer Métropolitain était d'une application facile et ne pouvait donner lieu à difficultés sérieuses entre le concédant et le concessionnaire. Lorsque la guerre éclata, quatorze années d'application avaient démontré tout à la fois l'excellence du système et le côté pratique de la conception. Les bénéfices de l'exploitation avaient permis à la Compagnie de distribuer à ses actionnaires des dividendes atteignant 8,25 p. 100 net pour les actions nominatives et 7,64 p. 100 net pour les titres au porteur. De son côté, la

Ville de Paris tirait de ses prélèvements des sommes largement suffisantes pour subvenir aux charges de ses emprunts, et elle pouvait mettre en réserve, notamment en vue d'amortissements anticipés, des sommes relativement importantes. A la fin de 1914, malgré le déficit d'exploitation causé cette année-là par la guerre, la réserve se chiffrait par 8 040 331,70 fr.

Malheureusement, les circonstances économiques nées de la guerre vinrent troubler gravement l'économie de la convention de 1898. Le renchérissement général de toutes les matières, les prix de plus en plus élevés du charbon, — et partant de l'énergie électrique, — la hausse continue des salaires accrurent les frais de façon formidable. Malgré le développement intense du trafic, les recettes devinrent insuffisantes pour couvrir les dépenses : le concessionnaire dut appeler à l'aide son concédant, la Ville de Paris. On essaya de parer à la situation en relevant uniformément de 0,05 fr. le prix des billets et en autorisant l'ouverture d'un compte de guerre où la Ville intervenait pour soutenir la Compagnie en tant que de besoin (décret du 11 mai 1919). Ce relèvement de 0,05 fr. devint promptement insuffisant : bientôt, il fallut augmenter à nouveau les tarifs qui furent portés de 0,25 fr. à 0,50 fr. en première classe, de 0,15 fr. à 0,30 fr. en seconde classe et de 0,20 fr. à 0,35 fr. pour le billet d'aller et retour (décret du 4 mai 1920). En même temps, on convenait d'examiner les modifications qu'il pouvait y avoir lieu d'apporter aux clauses de la concession pour assurer l'existence de l'entreprise, compte tenu de la situation générale et économique. L'étude de ces modifications où s'opposaient les intérêts divergents de la Ville et de la Compagnie fut assez laborieuse; l'avenant qui en consacre les résultats n'a été signé que le 26 mars 1921 ⁽¹⁾.

Je n'entreprendrai pas de vous faire connaître en détail les conditions de cette nouvelle convention : cela nous entraînerait trop loin. Je me bornerai à vous en tracer les grandes lignes.

Comme par le passé, la Ville exécute à ses frais l'infrastructure du Métropolitain; la Compagnie reste chargée de tous les autres travaux dans les conditions des conventions primitives, et elle continue à assurer l'exploitation. Mais, dorénavant la Compagnie exploite pour le compte de la Ville et sous son contrôle financier; pour sa gestion, elle reçoit une rémunération établie de façon à

(1) Cet avenant a été approuvé par décret du 29 décembre 1921.

l'intéresser à une bonne et sage exploitation. Il est dressé, chaque année, un compte général des recettes et des dépenses : si ce compte est bénéficiaire, le bénéfice est acquis à la Ville; s'il est déficitaire, le déficit est couvert par la Ville.

La ville de Paris continue à opérer sur les recettes d'exploitation les prélèvements autorisés par la convention de 1898 pour faire face à ses charges d'emprunt. Ces prélèvements sont portés en dépense au compte général, ainsi que la rémunération de la Compagnie. Cette rémunération résulte de trois primes : une prime au trafic calculée à raison de 0,017 fr. par billet délivré pendant l'année; une prime au produit du trafic égale à 6 p. 100 de la différence $P = R - 0,65 D$, R et D représentant respectivement les recettes et les dépenses; enfin, une prime sur les produits indirects du réseau (publicité, bibliothèque des stations, etc.). Les deux premières primes sont soumises à des abattements progressifs à mesure que s'élève le nombre des voyageurs transportés et le montant de la différence entre les recettes et les dépenses; de plus un abattement supplémentaire vient s'ajouter aux précédents lorsque la rémunération totale dépasse 13 millions de francs.

La Ville de Paris devient maîtresse absolue des tarifs; elle acquiert la liberté de disposition pour l'ordre à suivre dans la construction des lignes métropolitaines, ce que ne lui reconnaissait pas la convention de 1898 qui lui imposait, au contraire, un ordre d'exécution déterminé. Elle peut désormais obliger la Compagnie à prendre livraison et à assurer l'exploitation des lignes métropolitaines par tronçons successifs, sous certaines conditions d'ailleurs peu restrictives, ce que ne lui permettait pas non plus la convention de 1898. Enfin, à l'expiration de la concession, elle entre en possession de tous les biens mobiliers et immobiliers dépendant de la concession du Métropolitain, sans autre exception que les approvisionnements.

L'expiration de la concession est fixée au 31 décembre 1955. Je dis « fixée », parce que, dans la convention primitive, la durée de la concession restait, en fait, indéterminée. Aux termes de cette convention, le Chemin de fer Métropolitain est divisé en trois réseaux : le premier comprend les lignes nos 1, 2 et 3; le second, les lignes nos 4, 5 et 6; le troisième, toutes les autres lignes. Pour chacun de ces réseaux, la concession expire trente-cinq ans après la réception de la dernière fraction. Le concessionnaire reste d'ailleurs en possession de l'ensemble des trois réseaux jusqu'au jour de la remise du

dernier, en versant une redevance annuelle de location fixée à 45 000 fr. par kilomètre de double voie ayant fait retour à la Ville. Par application de ces dispositions la concession du premier réseau expirera le 27 mai 1941 et celle du second réseau le 7 janvier 1945. Mais pour le troisième réseau, la date de l'expiration de la concession demeurait indéterminée, car, pour le terminer, il reste encore à construire 36 km. des lignes concédées en 1910, non compris les 16 km. de lignes dont la concession est prévue à titre éventuel. Et il aurait suffi que la Ville de Paris fût déclarer d'utilité publique une ou plusieurs de ces lignes éventuelles pour que la concession fût prolongée automatiquement de trente-cinq ans après leur livraison.

Il faut voir là une conséquence de l'incertitude dans laquelle on se trouvait en 1898 de l'avenir du Métropolitain. Comme je vous l'ai dit, la Ville ne s'était engagée envers son concessionnaire que pour la livraison du premier réseau : il n'était guère possible, dans ces conditions, de fixer une durée de concession ferme. Par ailleurs, cette indétermination a eu d'utiles effets en ce sens qu'elle a permis de faire accepter à la Compagnie, sans difficulté, la concession des lignes nouvelles qui sont venues successivement s'ajouter aux six lignes envisagées tout d'abord. Mais aujourd'hui que la consistance du Métropolitain se trouve définitivement fixée, il n'y avait plus d'intérêt à maintenir l'indétermination à l'égard de la date d'expiration du contrat.

* *

Données fondamentales sur lesquelles est établi le Métropolitain. — Comme je vous le disais il y a un instant, la Commission technique qui, en 1872, formula pour la première fois, d'une façon précise, les données essentielles du réseau urbain parisien s'était visiblement inspirée de l'exemple de Londres. A cette époque, Londres possédait un chemin de fer analogue à notre chemin de fer de Ceinture, — le Metropolitan and District Railway, — avec cette différence qu'il dessert des centres beaucoup plus peuplés. Dans ces dernières années, les ingénieurs anglais ont abordé la construction d'une série de lignes électriques souterraines dites « tube railways » dont la plus ancienne est le « City and South London Railway ».

Ces tubes sont établis dans des souterrains circulaires qui reçoivent un revêtement en fonte; chaque voie a son tube séparé dont le

profil enveloppe aussi étroitement que possible le gabarit des voitures, et les souterrains sont construits à grande profondeur au-dessous du sol. Une section plus large est adoptée pour les stations auxquelles on accède par des ascenseurs installés dans des puits verticaux à revêtement métallique. Ce mode de construction est excellent lorsqu'il s'agit d'établir la voie ferrée dans des terrains mouillés, à la traversée du lit d'un fleuve, par exemple, et c'est d'ailleurs dans ces conditions qu'il a reçu sa première application en Angleterre. Mais si le terrain à traverser n'est pas mouillé et présente une cohésion suffisante — comme c'est le cas général à Londres, — la solution ne se justifie guère. Le revêtement en fonte est alors parfaitement inutile; son emploi entraîne un surcroît de dépenses qui grève sans utilité le capital de premier établissement. Les souterrains jumeaux, dans lesquels les voies et les stations sont isolées, sont une gêne constante pour l'exploitation. L'établissement des souterrains à grande profondeur donne lieu à des difficultés d'accès qui se traduisent par une perte de temps pour le public, par une dépense élevée pour l'exploitant; il peut entraîner des désordres graves dans les immeubles voisins, soit en cas d'accident pendant la construction, soit encore pendant l'exploitation, en raison de la propagation, par le terrain ambiant, des chocs et des vibrations dus au passage des trains.

Tous ces inconvénients, révélés par l'exemple de Londres, se seraient évidemment présentés à Paris si l'on avait appliqué le même système, avec cette circonstance aggravante qu'en nombre de points, le sous-sol parisien étant mouillé par des nappes souterraines, le travail à grande profondeur eût été rendu plus difficile, plus dangereux et plus onéreux. Aussi, les ingénieurs de la Ville de Paris ont-ils adopté une solution tout à fait différente qui peut se définir par les caractéristiques suivantes : proscription absolue des tubes à revêtement métallique, sauf à la traversée du lit de la Seine; adoption d'un souterrain maçonné à double voie; maintien du tracé aussi près que possible de la surface du sol.

Les avantages de cette conception, — économie dans la construction, facilité d'exploitation, commodité d'accès, — sont évidemment la contre-partie des inconvénients que je viens de signaler pour les tubes anglais. On pourrait, il est vrai, reprocher à la solution adoptée à Paris, de nécessiter le remaniement des canalisations souterraines qui se trouvent nombreuses dans le sous-sol des voies publiques;

mais dans la pratique, il a toujours été possible de rétablir ces canalisations sans difficulté sérieuse, et la dépense, bien qu'assez importante, n'est pas comparable au surcroît de frais que le tube occasionne en pure perte. Et à ce propos, je tiens à vous dire qu'on exagère souvent les frais qu'entraînent ces remaniements de canalisations. On a été jusqu'à prétendre qu'ils atteignaient 50 p. 100 de la dépense totale. En réalité, pour la ligne N° 1 qui a coûté 40 millions, les déviations de canalisations, les réfections de chaussées et de voies de tramways se sont élevées ensemble à 8 300 000 fr., soit 21 p. 100 de la dépense totale. Pour la ligne N° 4, cette proportion a atteint 23 p. 100; elle s'est abaissée à 14 p. 100 pour la ligne N° 7. Ce ne sont pas là des dépenses excessives. En tout cas, elles ne peuvent être mises en balance avec les avantages procurés.

Les ingénieurs spéciaux s'accordent presque unanimement aujourd'hui à donner la préférence à la solution qui a été adoptée à Paris. Les *Underground* de New-York, de Boston, et de Philadelphie sont construits à faible profondeur, comme notre Métropolitain. Un argument typique en faveur du tracé à fleur de sol peut être également tiré des dispositions finalement adoptées pour la construction dans Paris du Chemin de fer Nord-Sud concédé en 1903 à MM. Berlier et Janicot. L'avant-projet comportait un tracé à grande profondeur, sur le modèle des tubes de Londres; le premier soin de la Société chargée de la construction et de l'exploitation a été de remonter le tracé au voisinage immédiat du sol, dans les mêmes conditions que le réseau municipal. On peut donc dire que le Métropolitain de Paris est établi sur les données générales qui, à l'heure actuelle, sont considérées comme étant à la fois les plus pratiques et les plus rationnelles.

* * *

Dispositions générales des ouvrages du Métropolitain. —

Sur presque tout son parcours, le Métropolitain est souterrain; l'ensemble des parties aériennes ne représente guère que 6,8 p. 100 de la longueur totale des lignes concédées à titre ferme. Le réseau urbain est établi sur ou sous la voie publique; ce n'est que dans des cas exceptionnels, et toujours pour des parcours extrêmement limités, qu'il pénètre dans le tréfonds des immeubles riverains. En raison des sujétions de toute nature qui résultent de cette dispo-

sition, le tracé des lignes a dû se soumettre à une flexibilité beaucoup plus grande que celle des grands réseaux; aussi les déclivités atteignent-elles jusqu'à 40 mm. par mètre, alors que sur les grandes lignes elles ne dépassent guère 20 mm.; quant au rayon des courbes, il s'abaisse jusqu'à 75 m., voire même, exceptionnellement il est vrai, jusqu'à 50 m., tandis que sur les grands réseaux le rayon de courbure descend rarement au-dessous de 300 m.

Le profil normal du souterrain à deux voies est constitué (fig. 1 et 2) par une voûte elliptique de 7,10 m. d'ouverture et de 2,07 m. de montée qui repose sur deux piédroits latéraux limités par des arcs de cercle; la section est complétée par l'arc concave du radier. La hauteur totale de l'ouvrage dans œuvre est de 5,20 m.; le niveau du rail se trouve à 4,50 m. au-dessous de l'intrados à la clef et à 70 cm. au-dessus du fond du radier. La voûte a 55 cm. d'épaisseur à la clef, les piédroits ont 75 cm., le radier de 40 à 50 cm. L'application de ces dispositions suppose que la distance du rail au sol descend à 6 m. environ. Quand cette condition ne peut être réalisée, on a recours à l'emploi d'un tablier métallique porté sur piédroits en maçonnerie, véritable plancher composé de poutres en acier que réunissent des voûtelettes en briques, et combiné de façon à réserver au moins 3,50 m. de hauteur libre au-dessus du rail.

Les stations souterraines sont voûtées, lorsqu'il y a au moins 7 m. de distance entre le rail et la surface du sol; elles sont couvertes d'un tablier métallique lorsque cette hauteur n'est pas disponible. La section des stations voûtées est formée de deux demi-ellipses ayant un grand axe commun de 14,14 m. de longueur établi à 1,50 m. au-dessus du rail : l'une de ces ellipses forme la voûte, l'autre, le radier; le petit axe est de 3,70 m. pour la première et de 2,20 m. pour la seconde, ce qui porte la hauteur totale libre à 5,90 m. La voûte a 70 cm. d'épaisseur à la clef, le radier, 50 cm., les culées, 2 m. Les stations à tablier métallique ont 13,50 m. de largeur en œuvre. Le tablier repose sur des piédroits de 1,50 m. de largeur réunis à leur base par un radier concave de 50 cm. d'épaisseur. En principe, le rail est à 4,70 m. sous poutres. Celles-ci, à âmes pleines et jumelées, ont 1,02 m. de hauteur; elles sont réunies par des longerons qui forment retombées pour de petites voûtes en briques.

Chaque station comprend deux quais latéraux de 75 m. de lon-

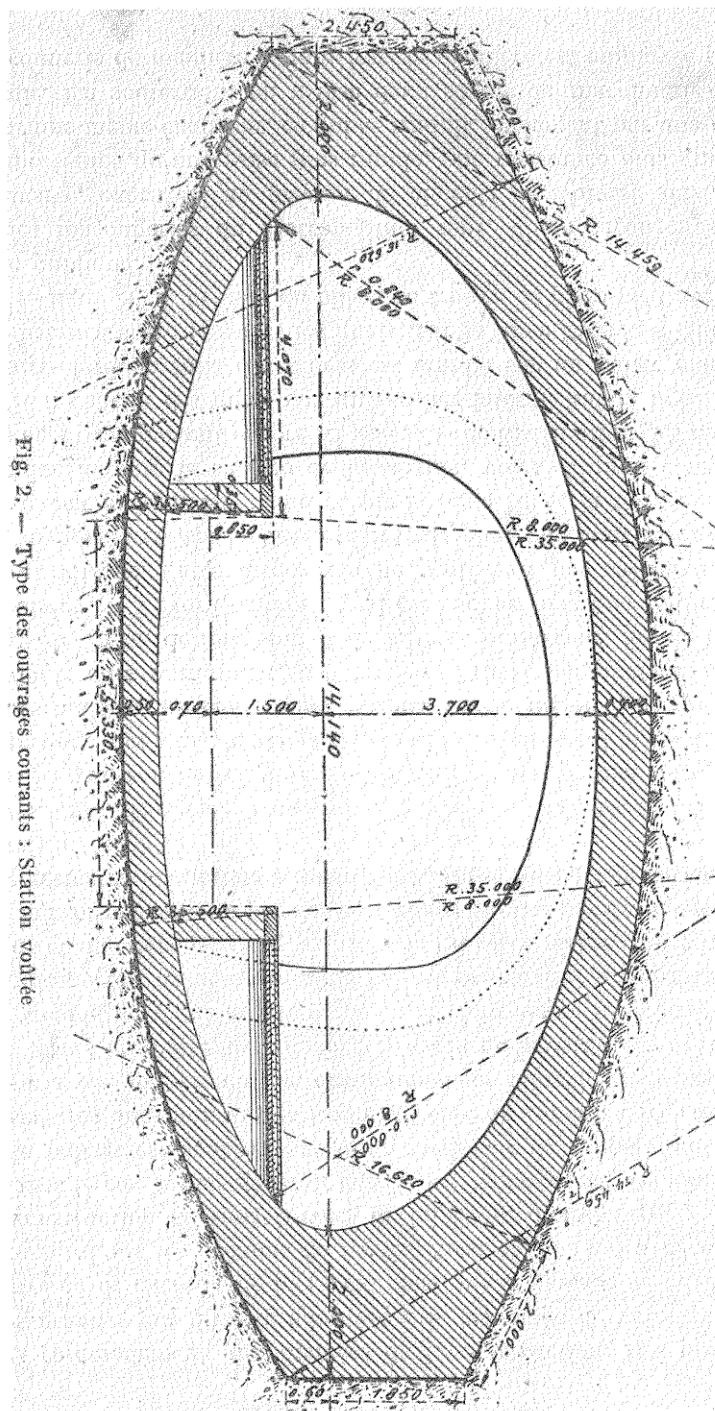


Fig. 2. — Type des ouvrages couverts : Station voûtée

plus commodément aux données de la construction. Des portées plus grandes ont dû être adoptées à la traversée de voies importantes ou de chemins de fer; c'est ainsi que le passage de la Circulaire-Nord sur les chemins de fer du Nord et de l'Est a nécessité la construction de trois travées de 75,25 m. d'ouverture.

Dans le cas le plus général, la voie est ballastée sur les viaducs, et le ballast est soutenu par des voûtelettes en briques qui réunissent les unes aux autres les entretoises du tablier. Cette disposition a été adoptée en vue de diminuer les vibrations au passage des trains et d'atténuer, dans la mesure du possible, le bruit et les trépidations qui en résultent. Toutefois, dans les viaducs de grande portée, on a supprimé le ballast pour éviter un surcroît de poids et une dépense exagérée; la voie est alors placée directement sur le tablier constitué par des entretoises réunies par des longerons que recouvre un platelage métallique. Dans les parties aériennes, le rail a été placé à 6,36 m. au moins, au-dessus des voies charretières, cette distance correspondant à une hauteur libre de 5,20 m. sous les poutres. Cette hauteur libre de 5,20 m. est suffisante pour le passage des plus hauts chargements qui circulent dans Paris.

Les stations aériennes sont conçues sur le même type que les viaducs; elles renferment, comme les stations souterraines, deux quais de 75 m. de longueur et de 4,10 m. de largeur. Sur la ligne circulaire N° 2 Nord, chaque quai est couvert par une toiture en fer et vitrage. Cette disposition ne protégeait pas suffisamment les voyageurs contre les intempéries; de plus, elle était assez coûteuse. Sur la ligne N° 2 Sud et sur la ligne N° 6, la toiture a été étendue à toute la surface de la station, voies et quais compris. Les accès comportent encore ici une salle de distribution des billets reliée à chacun des quais par un escalier latéral. Sur la ligne Circulaire-Nord, la salle des billets est établie sur un palier placé à mi-distance entre le sol et les quais; sur la ligne Circulaire-Sud et sur la ligne N° 6, la salle de billets se trouve de plain-pied avec la voie publique.

Les maçonneries du Métropolitain sont, d'une façon presque exclusive, exécutées au mortier de ciment; on obtient ainsi, en même temps qu'une prise plus rapide, une résistance plus grande pour une même épaisseur, ce qui se traduit finalement par une économie. En souterrain, on utilise deux sortes de maçonnerie : la maçonnerie de meulière et le béton; la meulière est employée pour

la confection des voûtes; le béton sert à exécuter les piédroits et les radiers.

A l'intérieur des stations, tous les parements visibles sont uniformément revêtus de carreaux blancs en grès cérame émaillé; d'autres revêtements essayés au début, comme l'opaline, ont donné

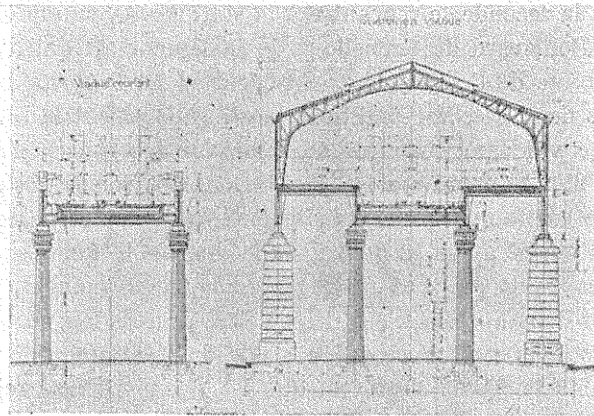


Fig. 3. — Types des ouvrages courants en viaduc.

de mauvais résultats et ont été abandonnés. Dans les autres ouvrages, les parements reçoivent un simple enduit en mortier de ciment.

Tous les ouvrages métalliques sont en acier doux laminé.

* * *

Relations entre les lignes métropolitaines. Bifurcations. —

En règle générale, les lignes métropolitaines ont leur existence propre; elles ne s'embranchent pas les unes sur les autres; aux points de contact, les voyageurs changent de voiture. Ce système donne plus de régularité à l'exploitation et permet de desservir chaque ligne d'une façon plus intense. Il supprime d'ailleurs une cause d'accidents : les collisions aux bifurcations qui sont d'autant plus à redouter que le nombre de trains est plus grand. On lui reproche d'accroître la fatigue des voyageurs et de causer une perte de temps appréciable : l'inconvénient n'est pas niable, encore qu'il ne faille pas l'exagérer. En tout cas la sécurité et la régularité de l'exploitation doivent l'emporter sur ces légères incommodités.

Dans l'étude du réseau, on s'est astreint à respecter cette autonomie des lignes métropolitaines. Seulement, il n'a pas toujours été possible de se conformer à la règle; on a dû se plier aux circonstances. Toutefois, on ne trouve jusqu'ici, sur les lignes construites, que deux dérogations au principe de l'autonomie : la première se présente à la séparation des lignes Nos 7 et 7 bis à la « Rue Louis-Blanc »; la seconde se rencontre à la station « Avenue de la Motte-Picquet-Boulevard de Grenelle » de la ligne n° 8 qui a été préparée en vue de l'embranchement éventuel sur la Porte de Sèvres. Dans les deux cas, les conditions locales imposaient la bifurcation en pleine voie; pour limiter au minimum les causes d'accident, on a établi la bifurcation dans une station. Les trains qui s'éloignent du tronc commun abordent au même quai et l'aiguille est placée immédiatement après ce quai dans le sens de la marche. Au contraire, les trains qui vont s'engager sur le tronc commun, viennent se ranger dans la station sur deux voies séparées longées par deux quais distincts : ce n'est qu'au sortir de la station (où tous les trains sont tenus de s'arrêter) que les deux voies se rejoignent. Bien entendu, aux abords de la station, les souterrains qui se croisent sont disposés en saut de mouton de façon à éviter les traversées de voie à niveau.

* * *

Terminus. — Les trains circulant à des intervalles très rapprochés, il importe de réduire au minimum les pertes de temps aux terminus. D'une façon générale, on a résolu le problème en établissant aux extrémités de la ligne une boucle d'évitement qui permet aux trains de passer directement de l'arrivée au départ. Les conditions d'installation de cette boucle varient suivant la disposition des lieux. Tantôt, comme sur la ligne N° 1 par exemple, on a établi aux terminus deux stations distinctes, l'une pour l'arrivée, l'autre pour le départ et ces stations ont été réunies par un souterrain en courbe de faible rayon. D'autres fois, comme à la place de la Nation pour les terminus des lignes Nos 2 Nord et 6, et à la place de l'Etoile pour la ligne N° 2 Sud, on a fait décrire à la voie ferrée un cercle aussi grand que possible et sur le parcours de ce cercle on a placé la station finale.

Une autre disposition, toute différente, a été réalisée au « Palais-

Royal » pour le terminus de la ligne N° 7 en attendant que soit construit le prolongement de cette ligne par les quais, et à l'« Opéra » pour le terminus de la ligne N° 8. Là, immédiatement après la station, la voie d'arrivée vient rejoindre par une bretelle la voie de départ et, au delà de l'aiguille, se trouve un tiroir suffisamment étendu pour recevoir un train. Le long de ce tiroir, un petit trottoir a été établi contre le piédroit au niveau du plancher des voitures. En utilisant ce petit trottoir, le wattmann peut passer aisément d'une extrémité à l'autre du convoi, et le stationnement ne se prolonge que quelques instants. Cette disposition avait déjà été adoptée sur le chemin de fer Nord-Sud; c'est celle qui va être appliquée en grand au terminus que l'on construit à la « Porte de Saint-Cloud » pour la ligne de la Porte de Saint-Cloud au Trocadéro.

Les lignes N°s 7 et 8 ont un de leurs terminus tracé en grande boucle avec stations sur le parcours de ces boucles (planche hors texte). La boucle de la ligne N° 7 dont la pointe est à l'extrémité du parc des Buttes-Chaumont, rue Botzaris, est jalonnée par la Place des Fêtes, la Porte du Pré-Saint-Gervais et la Place du Danube. La boucle de la ligne N° 8 se développe dans le quartier d'Auteuil, d'un côté par la rue d'Auteuil, de l'autre côté par la rue Molitor. Cette conception, qui n'a pas été uniquement inspirée par des considérations techniques, n'est pas à recommander : elle complique l'exploitation, et le public n'y trouve aucun avantage réel, s'il n'en ressent pas d'inconvénients.

* *

Aperçu sur la constitution géologique du sous-sol de Paris.

— La constitution géologique du sous-sol de Paris était connue dans ses grandes lignes avant les travaux du Métropolitain. Mais ceux-ci ont permis d'en déterminer les détails grâce à la science et au dévouement d'un savant aussi modeste qu'averti qui a apporté à cette étude une véritable passion. Je veux parler de M. Auguste Dollo, associé au Muséum, que plusieurs d'entre vous connaissent bien, et dont les avis éclairés nous ont été souvent fort utiles. Le temps me manque pour vous parler en détail des recherches de M. Dollo. Je me bornerai à vous rappeler en quelques mots

comment, au point de vue géologique, est constitué le sous-sol parisien.

Paris est bâti dans une plaine qu'encerclent les hauteurs de Passy, de Montmartre, de Belleville et de Ménilmontant, sur la rive droite, du Montparnasse et de la Montagne Sainte-Geneviève, sur la rive gauche. Les érosions de la Seine ont fait disparaître, dans la plaine, une grande partie des premiers dépôts sédimentaires pour y substituer une couche d'alluvions qui reposent directement sur les marnes du calcaire grossier. Si l'on fait abstraction de ces érosions, on peut reconstituer, sur une épaisseur totale de 135 m. environ, la succession normale des dépôts compris entre les sables de Fontainebleau, à la partie supérieure, et la craie de Meudon à la partie inférieure.

Les formations superposées au calcaire grossier ne se rencontrent que sur les hauteurs qui dominent le fleuve. Les sables de Fontainebleau, les calcaires de la Brie et les marnes vertes apparaissent au sommet des collines de Montmartre et de Belleville. Les assises du gypse, en formation puissante, règnent sur la partie nord et nord-est de la ville; elles ont été exploitées et les vestiges d'anciennes carrières que l'on rencontre à leur emplacement compliquent singulièrement les travaux souterrains.

Les calcaires de Saint-Ouen et les sables de Beauchamp, placés directement au-dessous du gypse, se développent dans la région nord-ouest, et les sables se retrouvent par lambeaux au sud et au sud-est. Le calcaire grossier, sur une épaisseur de 30 à 40 m., constitue principalement le sous-sol dans les quartiers sud et sud-ouest. Comme le gypse, le calcaire a été exploité en grand; quelques-unes des anciennes carrières se trouvent dans un remarquable état de conservation, en particulier celles où sont établies les catacombes; mais un assez grand nombre, ayant subi les atteintes du temps, ont nécessité d'importants travaux de consolidation sur le parcours des lignes métropolitaines.

L'argile plastique apparaît seulement dans le quartier d'Auteuil. Quant à la craie blanche, elle n'affleure qu'en un point dans ce dernier quartier, mais on la trouve au Point du Jour à peu de profondeur au-dessous de la Seine.

Ces assises géologiques ont opposé à la construction du Métropolitain des difficultés plus ou moins grandes. Les sables de Fontainebleau en général très fins et presque toujours imprégnés d'eau,

les marnes vertes le plus souvent humides et glissantes, sont des terrains extrêmement difficiles dans lesquels la construction d'un souterrain à proximité d'immeubles constitue un véritable tour de force. Les calcaires de Saint-Ouen et les sables de Beauchamp offrent au contraire la plus grande sécurité. Il en est de même du gypse et du calcaire grossier lorsqu'ils sont en place, mais ce cas est rare à Paris; ordinairement les bancs ont été excavés et les anciennes carrières qu'il faut traverser, suivre ou côtoyer, exigent la plus grande attention et la plus grande prudence. L'argile plastique se laisse facilement pénétrer; mais son défaut de résistance rend l'établissement des galeries particulièrement délicat. Les alluvions quaternaires, dans la partie basse de Paris, sont des terrains variables, plus ou moins faciles à travailler, selon le grain du sable qui les constitue; en général, elles ne présentent pas trop de difficultés. Mais les riques apparaissent lorsque les galeries pénètrent dans cette couche de remblais de différents âges qu'ont accumulés, sous le sol des voies publiques, les transformations successives du vieux Paris. Ces remblais, dont l'épaisseur est parfois considérable (10 m. à la Bastille), sont formés de gravats coulants, fréquemment coupés par de vieilles maçonneries et le concours de ces deux circonstances complique le travail d'une façon pénible.

* * *

Indications générales sur l'exécution des travaux. — Il me reste à vous parler maintenant de l'exécution des travaux. Le projet est vaste et dépasse les limites d'une simple conférence. Je suis obligé, à mon grand regret, de me borner à un rapide aperçu.

L'exécution d'une ligne métropolitaine est toujours précédée de travaux préparatoires : déviations d'égouts, de conduites d'eau, de canalisations diverses, consolidations du sous-sol lorsqu'il est miné par d'anciennes carrières; il faut faire place nette et laisser le champ libre à la voie ferrée. Pour la construction de la ligne, on fractionne ordinairement son parcours en lots dont la longueur voisine de 1 000 m., ne dépasse guère 1 500 m. pour les parties souterraines et 900 m. pour les parties aériennes.

C'est à l'énergie électrique que l'on a recours dans tous les chantiers du Métropolitain pour la production de la force et de la lumière;

l'adoption de cette mesure a puissamment contribué à la réussite et à la rapidité de l'exécution.

La méthode suivie pour l'exécution du souterrain, est presque sans exception, la suivante : construction préalable de la voûte, reprise des piédroits en sous-œuvre, enlèvement du noyau de terre central (ou stross), établissement du radier. Pour les stations ainsi que pour les ouvrages spéciaux de grande dimension, on exécute les piédroits et les culées en premier lieu, puis on procède, soit à la construction de la voûte, soit à la pose du tablier métallique; le stross est enlevé souterrainement et l'on finit par la maçonnerie du radier.

La construction des viaducs débute par l'édification ou la mise en place des appuis; les poutres, découpées en tronçons, sont ensuite amenées sur place, montées, assemblées et rivées sur des ponts de service en charpente; on termine par l'exécution des voûtelettes en briques ou par la mise en place des platelages du tablier et par la peinture.

* * *

Exécution du souterrain au moyen du bouclier. — Au début de la construction du Métropolitain, sur la ligne N° 1, on a tenté pour l'exécution de la voûte, l'emploi d'un engin spécial appelé bouclier. Le bouclier est une invention de l'ingénieur français Brunel qui l'appliqua à la construction du tunnel entrepris par lui en 1825, sous la Tamise à Londres. Il consiste en une sorte de carapace métallique qui épouse la forme extérieure du souterrain à construire. A l'abri du « bec » du bouclier s'exécute la fouille; à l'abri de la « queue », le revêtement maçonné; dans la partie centrale, un bâti supporte des vérins qui, en prenant appui à l'arrière sur les cintres du revêtement déjà exécuté, ou sur ce revêtement lui-même permettent de déplacer progressivement l'engin selon les besoins de l'avancement, sans cesser de soutenir les terres.

Je vous dirai de suite que l'essai n'a pas réussi. L'échec est attribuable en partie à la mauvaise conception de l'engin dont on s'est servi, mais il tient aussi à ce que l'on a voulu employer le bouclier à un travail pour lequel il n'était pas fait. Si le bouclier se prête bien à l'exécution d'un souterrain dans un sol vierge, à travers des couches non disparates, ou encore lorsque le souterrain doit recevoir un

revêtement robuste comme un tubage métallique, il n'en est pas de même dans un terrain varié comme l'est le sous-sol parisien, où il est souvent nécessaire de modifier le profil ou d'augmenter l'épaisseur du revêtement maçonné. En fait, pour les lignes construites depuis 1900, sauf deux tentatives qui n'ont pas mieux réussi, l'une sur un lot de la ligne N° 6, l'autre sur un lot de la ligne N° 7, on a renoncé à cet engin, et l'on est revenu au procédé classique des galeries boisées. Ce n'est que pour les travaux de la ligne N° 8 à la traversée de la Seine, où le souterrain comporte un revêtement métallique et a été construit entièrement dans la nappe aquifère par le moyen de l'air comprimé, que l'on a dû à nouveau utiliser le bouclier.

* * *

Exécution du souterrain par la méthode des galeries boisées.

— Pour l'emploi des galeries boisées (fig. 4 et 5), on commence par percer à la partie supérieure du souterrain une galerie d'avancement en soutenant les terres au moyen de coffrages en planches que supportent de distance en distance des cadres en charpente. La section de cette galerie et les dimensions des boisages varient avec la nature et la consistance des couches traversées. En terrain moyen, l'intervalle entre les cadres est ordinairement de 1,50 m. à 1,60 m. ; la section de la galerie est un trapèze dont les dimensions usuelles sont 2 m. à 2,10 m. pour la hauteur, 2 m. pour la largeur au sol, 1,60 m. pour la largeur au ciel.

Quand la galerie d'avancement est exécutée sur une certaine longueur, on procède à la construction de la voûte par abatage ; on déblaie, on abat les terres de part et d'autre de la galerie suivant le profil extérieur de la voûte en maintenant le terrain au fur et à mesure par le moyen de planches que supportent des longrines disposées parallèlement à l'axe du souterrain et que soutiennent des contre-fiches et des butons appuyés sur le sol de la galerie élargie. Cette opération se fait ordinairement par tronçons correspondant à l'intervalle de deux cadres, c'est-à-dire sur une longueur de 3 m. à 3,20 m. Plusieurs abatages sont entrepris à la fois, mais on a soin de les espacer de façon à ne pas compromettre la stabilité du terrain supérieur. L'abatage terminé, on exécute la maçonnerie de la voûte sur cintres, à la façon ordinaire.

Lorsqu'une certaine longueur de voûte est exécutée, on entreprend la construction des piédroits par reprise en sous-œuvre. Si le terrain est solide, on commence par déblayer presque entièrement le stross, et on achève la fouille du piédroit sur une longueur de 3 à 4 m. en étrépillonnant au besoin la voûte; on procède ensuite à la confection de la maçonnerie. Dans le cas de terrains ébouleux, les

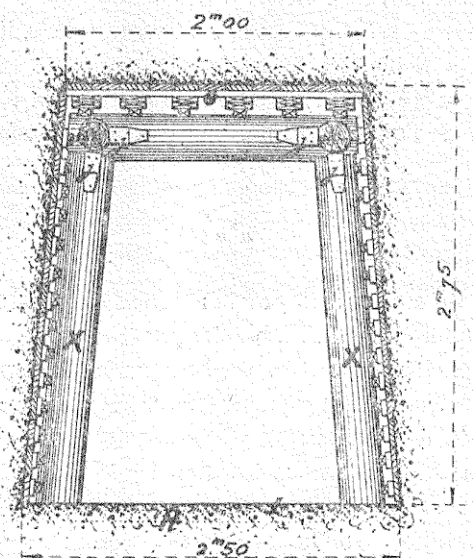
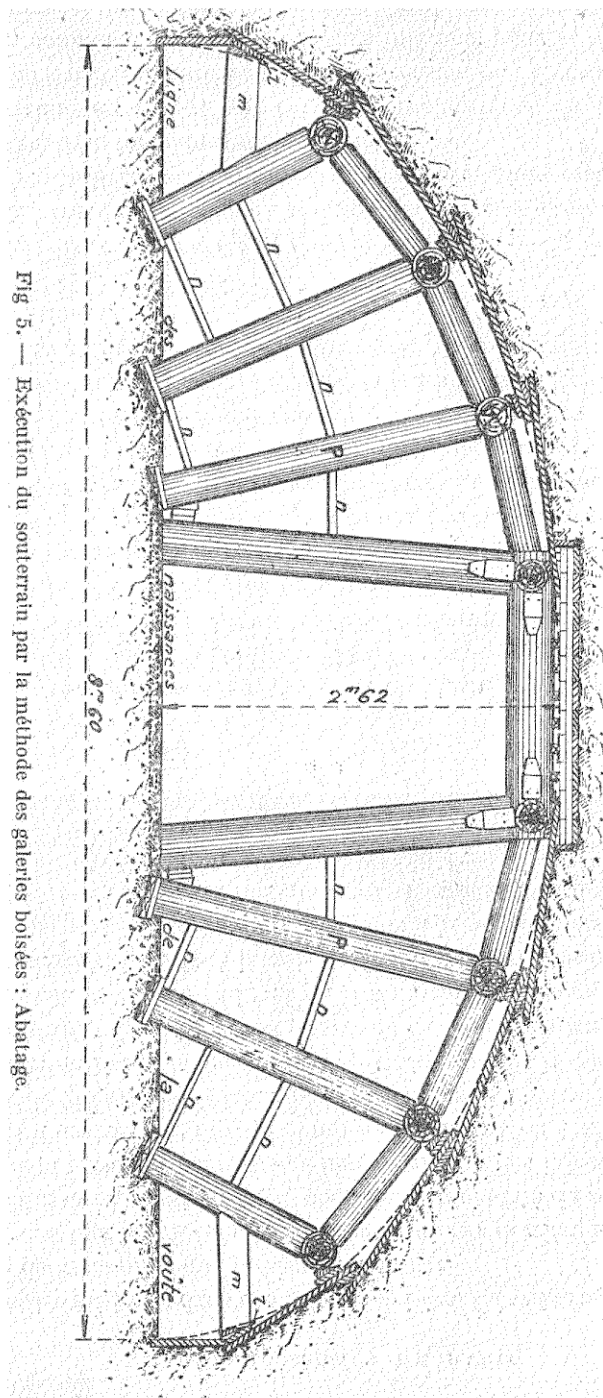


Fig. 4. — Exécution du souterrain par la méthode des galeries boisées :
Galerie d'avancement.

fouilles de piédroits limitées à une étendue de 1 m. à 1,50 m. sont pratiquées par une succession de saignées latérales, et ce n'est qu'après l'achèvement des piédroits que l'on déblaie le stross.

La construction du radier s'effectue aisément par coulage de béton dans la fouille préalablement ouverte. Les enduits se posent après régularisation du parement : ceux de voûte et de piédroits sont attaqués avant l'achèvement du revêtement du souterrain, dès que la longueur exécutée présente un développement suffisant.

Pour les stations et les grandes voûtes des ouvrages spéciaux, on opère d'une manière analogue. Seulement, d'une façon générale, afin d'éviter des reprises en sous-œuvre qui pourraient être dangereuses en raison de la portée des voûtes, on exécute d'abord les



culées et les piédroits dans des galeries boisées. La voûte se construit ensuite de la manière que je viens d'indiquer.

Pour combler les vides qui subsistent toujours derrière les maçonneries et assurer, aussi bien que possible, l'étanchéité du souterrain, on procède après l'exécution des maçonneries à des injections sous pression d'un mortier liquide composé de ciment et d'un sable fin siliceux de la nature de ceux qui appartiennent à l'étage géologique des sables de Fontainebleau. Cette opération qui est devenue réellement pratique depuis que l'on se sert de ce sable fin siliceux et que l'on emploie la pompe Buignet ou des machines analogues est des plus précieuses; il ne faut jamais oublier d'y avoir recours. En bon terrain, on peut se contenter d'injections à la voûte, mais quand le terrain est instable et surtout quand il est mouillé, on doit étendre les injections aux piédroits et même au radier.

*
* *

Difficultés rencontrées dans l'exécution des travaux. —

Il est à peine besoin de dire que l'on se ferait une idée tout à fait inexacte des conditions dans lesquelles s'exécutent les lignes métropolitaines, si l'on s'imaginait que, dans tous les cas, les choses se passent aussi simplement que je viens de l'indiquer. Les canalisations multiples que recèle le sous-sol de Paris, la Seine, les canaux, les chemins de fer constituent autant d'obstacles qu'on ne peut souvent tourner qu'au prix des plus sérieuses difficultés et qui obligent à employer des méthodes spéciales de construction. Des difficultés d'un autre ordre, et qui ne sont pas toujours les moindres, tiennent encore à la nature des terrains rencontrés. Voici quelques exemples caractéristiques.

Viaduc sur la Seine à Passy (Ligne N° 2 Sud). — La ligne circulaire N° 2 traverse la Seine en deux points, à Passy et en amont du Pont d'Austerlitz. Ces traversées, qui sont aériennes, ont nécessité la construction de viaducs monumentaux.

Le viaduc de Passy, qui occupe l'emplacement de l'ancienne passerelle à piétons, édifiée en 1878 à l'occasion de l'Exposition universelle, comporte deux étages : étage inférieur pour la circulation des voitures et des piétons, étage supérieur réservé au chemin de fer.

L'ouvrage qui traverse la Seine divisée en deux bras par l'île des Cygnes, a une longueur totale de 237 m. entre appuis sur chacune des rives (fig. 6). Trois travées, et par conséquent deux piles, sont établies dans chaque bras. Les travées comprennent chacune dix fermes; leur forme apparente est celle d'un arc; elles sont construites en réalité en cantilever, c'est-à-dire constituées par deux demi-arcs s'équilibrant sur chacune des piles en rivière, prenant appui sur les culées, et réunis au milieu de la passe centrale par une petite



Fig. 6. — Viaduc de Passy.

poutre de jonction. Cette forme a été adoptée parce qu'elle ne donne lieu qu'à des pressions verticales sur les piles, ce qui permet de réduire l'importance des fondations; cette réduction était particulièrement intéressante à réaliser à Passy, où il a fallu prendre appui sur la craie de Meudon à 15 m. en contre-bas du niveau du fleuve, après avoir traversé l'argile plastique.

L'étage inférieur du viaduc de Passy mesure 24,70 m. de largeur; il comprend un plateau central qui sépare deux chaussées, flanquées elles-mêmes d'un trottoir de rive. Au-dessus du plateau central, l'étage supérieur, qui livre passage au chemin de fer, est porté par une série de couples d'élégantes colonnettes que l'on a implantées normalement à l'axe du chemin de fer de façon à supprimer pour l'œil du passant l'impression désagréable du biais que présente l'ouvrage par rapport aux rives de la Seine.

Sur l'île des Cygnes, dans la partie médiane, les deux séries

d'arcs métalliques sont séparées par un ouvrage monumental en pierres de taille.

Les piles et les culées du viaduc ont été fondées à l'air comprimé : l'ouvrage de l'île des Cygnes est établi sur pilotis.

Le viaduc de Passy est entièrement construit en acier doux laminé; le poids total de l'acier entré dans la construction s'élève à 3 500 t. Des bas-reliefs de MM. Coutan et Injalbert ornent les deux faces du massif de l'île des Cygnes. Au-dessus de chaque pile en rivière, le tympan des arcs a reçu des groupes en fonte de deux personnages dont la statuaire a été confiée à M. Gustave Michel. Le détail d'architecture est de M. Formigé. Les travaux ont duré un peu plus de deux ans (mai 1903-juillet 1905).

Viaduc d'Austerlitz et travées hélicoïdales du bas port de Bercy (Ligne n° 2 Sud). — Le viaduc d'Austerlitz, uniquement destiné au passage des trains, franchit la Seine d'un seul jet, à 200 m. environ en amont du pont du même nom (fig. 7). Sa largeur totale entre appuis sur chacune des rives atteint 140 m., dépassant de 23 m. celle du pont Alexandre-III, qui, avant lui, détenait le record de la portée dans Paris. Il est constitué par deux arcs en acier, distants de 7,80 m., auxquels se trouve suspendu le tablier portant les voies. Ces arcs sont munis de trois articulations placées, l'une à la clef, les deux autres aux reins. Le tablier coupe le plan des arcs à la hauteur de ces dernières articulations. Le tronçon d'arc situé au-dessous du tablier et la portion correspondante de celui-ci, fortement ancrés dans les culées, constituent en réalité deux consoles sur l'extrémité desquelles viennent s'appuyer les parties centrales des deux fermes.

Cette disposition a permis de réduire à 107 m. la portée effective des arcs et de diminuer en conséquence leur montée, au grand avantage de l'élégance; sans pour cela augmenter d'une façon notable la poussée sur les massifs de fondation.

Les culées ont été descendues au moyen de l'air comprimé, sur le calcaire grossier que l'on trouve à 10 m. environ en contre-bas de la Seine; elles sont fort importantes, et chacune d'elles, avec le pylône qui la surmonte, a absorbé un cube de pierres qui ne mesure pas moins de 1 900 m³. La partie métallique pèse 1 000 t. en nombre rond. L'architecture et les motifs décoratifs sont de M. Formigé. Les travaux ont duré un an (novembre 1903-décembre 1904).

A la sortie du viaduc, sur la rive droite, la ligne traverse le bas

port de Bercy suivant une courbe de 75 m. de rayon, en pente continue de 40 mm. par mètre. Dans la majeure partie de ce dévelop-

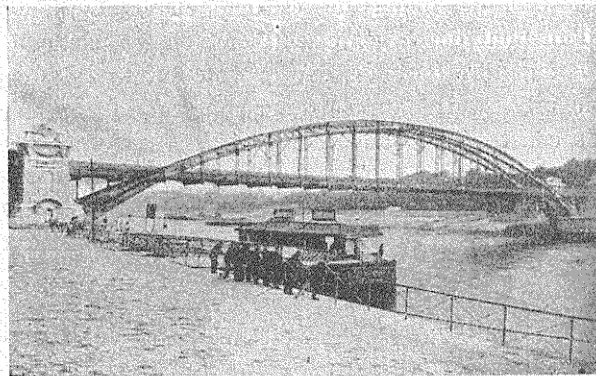


Fig. 7. — Viaduc d'Austerlitz.

pement, la voie est portée par deux travées métalliques dont les dispositions sont entièrement nouvelles. Jusqu'ici, pour le passage d'une voie en courbe sur un viaduc métallique, on plaçait les poutres de rive suivant un contour polygonal qui suivait d'aussi près que



Fig. 8. — Travées hélicoïdales du quai de la Râpée.

possible les positions successives que vient occuper le matériel roulant : cette solution ne conduit pas toujours à une disposition très élégante. A Bercy (fig. 8), on a imaginé un développement

courbe, parallèle à l'enveloppe du matériel roulant, de telle sorte que les poutres de rives sont établies suivant une surface hélicoïdale qui rappelle celle des limons des escaliers en vis. C'est le premier exemple d'un pont de ce genre, et l'effet en est particulièrement heureux. Il faut dire toutefois que ce type entraîne des complications considérables qui n'ont pu être surmontées que grâce à l'extrême habileté du constructeur qui l'a imaginé.

Viaduc de Bercy (Ligne N° 6). — La ligne N° 6 traverse également la Seine en viaduc (fig. 9). L'ouvrage se trouve superposé au pont

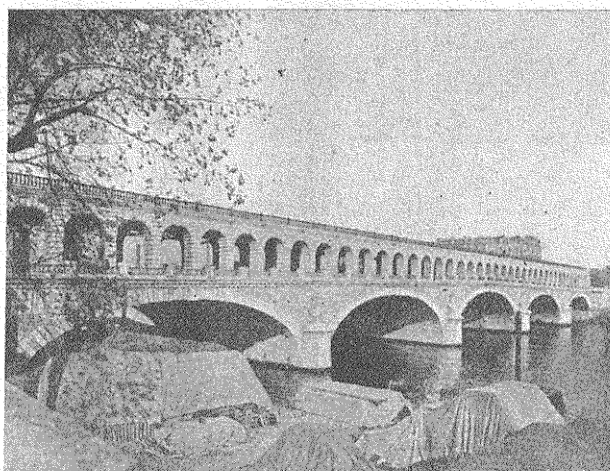


Fig. 9. — Viaduc de Bercy.

de Bercy que l'on avait préalablement élargi à l'amont. Il est constitué par deux murs en pierres de taille percés d'arcades et réunis à leur partie supérieure par un tablier métallique qui supporte les voies. L'ensemble rappelle la disposition réalisée au viaduc du Point du Jour.

Deux autres lignes métropolitaines traversent encore la Seine : la ligne N° 4, Porte de Clignancourt-Porte d'Orléans, à la Cité; la ligne N° 8, Auteuil-Opéra, une première fois à l'aval du Pont Mirabeau, une seconde fois entre le Pont de la Concorde et le Pont des Invalides. Mais ici, les traversées sont souterraines; le passage s'effectue sous le lit du fleuve.

La ligne n° 4 à la traversée de la Seine, à la Cité (Méthode de fonçage vertical). — La ligne N° 4 pénètre dans la nappe aquifère au carrefour de la rue des Halles et de la rue Saint-Denis; elle y demeure jusqu'au carrefour de la rue Danton et du boulevard Saint-Germain. Outre les traversées souterraines des deux bras du fleuve, le tracé comporte un passage sous la ligne métropolitaine n° 1 à la rue de Rivoli et un passage sous les voies ferrées de l'Orléans, à l'amont du pont Saint-Michel. Deux stations à grande profondeur sont établies, l'une au Marché aux Fleurs, l'autre à la place Saint-Michel.

L'ensemble de ces ouvrages offre un développement de près de 1 100 m. sur lequel les difficultés surgissaient pour ainsi dire à chaque pas. Aussi, avant d'arrêter les bases d'exécution, la Ville de Paris avait-elle invité les constructeurs à étudier, de concert avec ses services et conseils techniques, la solution de ce problème ardu. A la suite de cette consultation, il avait été décidé : que tous les souterrains, y compris les stations, recevraient un revêtement en fonte, que la double traversée du fleuve, dans les deux bras, s'opérerait par fonçage vertical, comme les piles de pont; qu'il en serait de même des stations; que partout ailleurs, le souterrain serait exécuté par cheminement horizontal au moyen du bouclier. Il avait été reconnu possible de maintenir les deux voies dans une galerie unique dont le profil ne s'écartait pas du type usuel, sauf pour les stations. La jonction entre le souterrain et les stations devait s'opérer par le moyen de puits verticaux à section elliptique utilisés ultérieurement pour les escaliers et les ascenseurs permettant l'accès aux quais. Enfin, au passage sous les voies de l'Orléans, préalablement consolidées, on avait décidé d'effectuer, pour plus de sûreté, la congélation préalable du terrain. Comme vous allez le voir, ce programme n'a pas été complètement suivi.

Pour le fonçage vertical, le procédé très simple en théorie, consiste à bâtir un tronçon de souterrain sur une chambre de travail, et à l'enfoncer progressivement dans le lit du fleuve, ou dans le sous-sol par le moyen de l'air comprimé (fig. 10). Dans le lit même de la Seine, on ne pouvait exécuter la traversée au moyen d'un caisson unique. Pour le grand bras (fig. 11), on a employé trois caissons de 9,60 m. de largeur et 9,05 m. de hauteur, dont les longueurs atteignaient respectivement 36 m., 38,40 m. et 43,20 m.;

pour le petit bras, il a suffi de deux caissons de 19,80 m. de longueur.

Ces caissons n'ont pas été foncés jointifs; la chose aurait été impossible; en fait, ils se trouvaient séparés par un intervalle

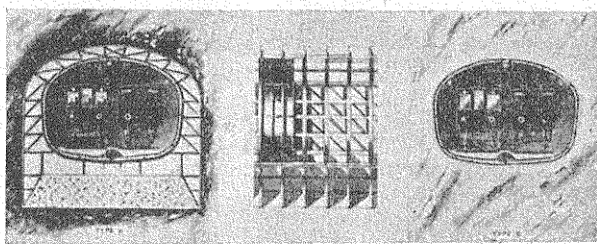


Fig. 10. — Ligne n° 4. Traversée de la Seine. Types de souterrains exécutés par cheminement horizontal et par fonçage vertical.

d'environ 1,50 m. Leur jonction a été opérée au moyen de caissons amovibles (fig. 12). On a commencé à construire de cette manière,

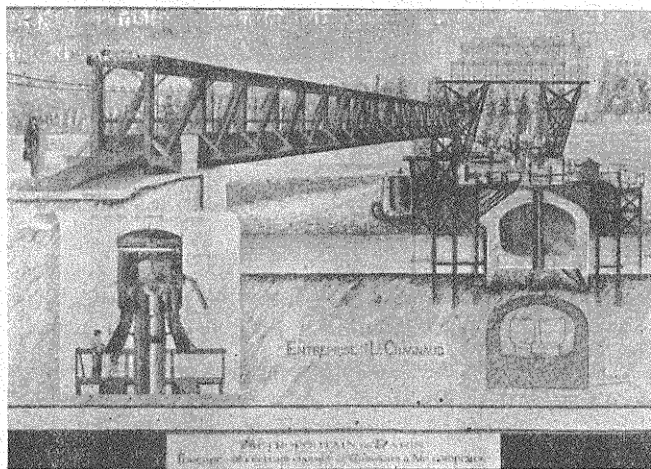


Fig. 11. — Ligne n° 4. Traversée de la Seine. Fonçage d'un caisson en Seine.

sur les flancs de deux caissons consécutifs, deux murs jointifs en béton, allant de l'un à l'autre, à l'extérieur; ces murs ont été arasés au niveau d'une plate-forme qui surmontait, sur une faible longueur, les extrémités des caissons. On a obtenu de la sorte une surface

d'appui, en forme de rectangle évidé, sur laquelle on est venu appliquer un troisième caisson amovible, et c'est à l'abri de ce dernier que la partie du souterrain correspondant au joint a été exécutée et la continuité rétablie.

Le cuvelage en fonte employé pour le revêtement du souterrain est constitué par une série d'anneaux de 4 cm. d'épaisseur avec des nervures de 12 cm. de hauteur (fig. 13). Dans les parties foncées verticalement, la carcasse qui supporte ce revêtement se compose

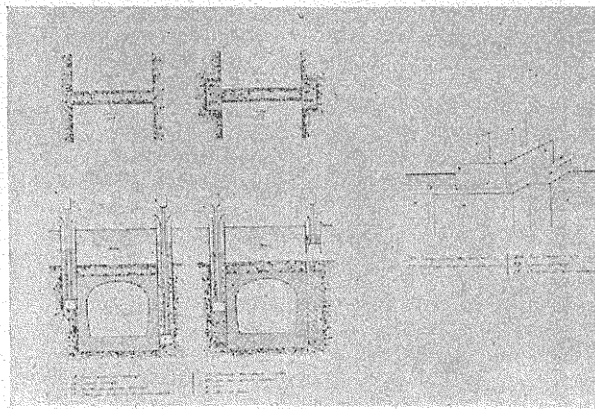


Fig. 12. — Ligne n° 4. Traversée de la Seine. Raccordement des caissons.

de fermes espacées de 1,20 m. et reliées par des poutrelles longitudinales; le tout est noyé dans du béton dont l'épaisseur atteint 71 cm. à la clef et 96 cm. aux naissances.

Je vous ai dit que, en dehors du lit du fleuve, le souterrain devait être exécuté par cheminement horizontal au moyen du bouclier. Un premier bouclier avait été monté, à cet effet, à l'extrémité de la rue Danton pour la partie du souterrain comprise entre le boulevard Saint-Germain et le petit bras de la Seine. Suivant les idées qui prévalaient à cette époque, ce bouclier, qui avait été aménagé en vue de l'emploi de l'air comprimé, ne correspondait qu'à la voûte de l'ouvrage; cette voûte avait été tracée sur un profil voisin de celui qui est employé pour le souterrain maçonné du type ordinaire. Pas plus que ses congénères de 1900, cet engin n'a donné de bons résultats; on a été obligé d'y renoncer et de poursuivre le travail par le procédé des galeries boisées avec épu-

sements. D'une façon générale, pendant leur déplacement, les boucliers ont tendance à tourner de gauche à droite autour de leur axe longitudinal, sans qu'on ait pu trouver une explication vraiment satisfaisante de ce mouvement anormal. Ce défaut, qui est sans grand inconvénient pour un profil circulaire, devient gênant quand le profil est elliptique. Le bouclier de la rue Danton y échappa à peu près parce qu'on avait pris soin de le munir à sa

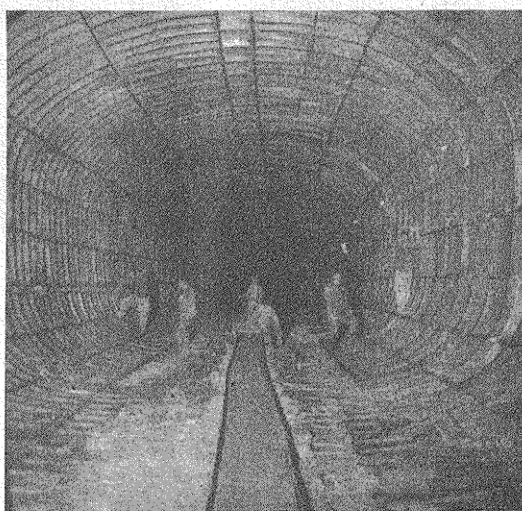


Fig. 13. — Ligne n° 4. Traversée de la Seine. Souterrain cuvelé au débouché de la rue des Halles.

partie inférieure d'un guide robuste qui suivait un rail préalablement établi dans une galerie pilote. Mais les dislocations du terrain à l'avant de l'engin, et du revêtement en fonte à l'arrière furent considérables. On essaya, sans succès, d'y remédier en consolidant le sous-sol au moyen d'injections de ciment : rien n'y fit. Il fallut abandonner et recourir aux galeries boisées ; on fut même obligé de reprendre et de remettre en place le revêtement en fonte qui avait déjà été posé au bouclier sur une longueur appréciable.

Bien entendu, on renonça également au bouclier pour les autres parties du souterrain à construire par cheminement horizontal : on procéda par galerie boisée avec épuisements.

La congélation du terrain dont l'emploi avait été décidé pour le

passage sous le chemin de fer d'Orléans donna également lieu à quelques mécomptes. Vous savez en quoi consiste ce procédé qui est employé avec succès pour le forage des puits de mine. On entoure le sol à percer d'un anneau de terrain congelé d'une épaisseur suffisante pour que, à l'abri de cette sorte de batardeau annulaire, on puisse aisément exécuter le déblai et poser le revêtement. La congélation s'obtient en faisant circuler dans des tubes placés dans

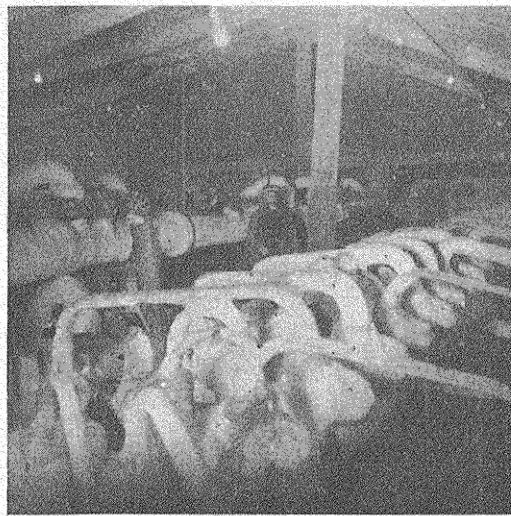


Fig. 14. — Ligne n° 4. Traversée de la Seine. Usine de congélation sur le bas port de la rive gauche.

des forages une saumure de chlorure de calcium refroidie à -20° . Si les tubes sont suffisamment rapprochés, les manchons de terrain gelé qui se forment autour de chacun d'eux se recoupent et établissent l'anneau continu solide. En général, ce procédé n'est utilisé que pour exécuter des puits verticaux. Il s'agissait de l'appliquer ici horizontalement, — si je puis dire, — pour l'exécution d'un souterrain.

Sur le tronçon de souterrain de 60 m. de longueur à construire de cette manière, la congélation devait être obtenue au moyen de vingt-quatre tubes répartis sur le périmètre extérieur du futur cuvelage. Le forage de ces tubes réussit assez bien sur les 20 pre-

miers mètres où l'on traversait des bancs de marne et de calcaire, mais, au delà de ces 20 m., la sonde pénétra dans les alluvions. L'avancement tomba jusqu'à 1,50 m. par jour : les débris de silex venaient se coincer entre la couronne et le guidage, dessertissant les diamants de la perforatrice et mettant l'outil hors d'usage. On était pressé par le temps et les réparations étaient coûteuses : force fut d'abandonner le forage horizontal et de construire sur bois après épuisement jusqu'à la traversée du bas port après le passage sous le chemin de fer d'Orléans. Ce ne fut que pour le tronçon à construire sous le lit même de la Seine entre le bas port et le premier caisson en rivière que l'on reprit le procédé de la congélation, mais cette fois au moyen de quarante-huit tubes verticaux (fig. 14). Au bout d'un mois, le sol était suffisamment congelé pour que l'on put reprendre l'avancement et terminer le souterrain.

La ligne N° 8 à la traversée de la Seine en aval du pont de la Concorde (Méthode du cheminement horizontal à l'aide du bouclier).

— Je ne m'arrêterai pas aux travaux de la première traversée de la ligne N° 8 à l'aval du pont Mirabeau : le mode d'exécution a été analogue à celui de la ligne N° 4. La traversée du pont de la Concorde a été exécutée par une méthode entièrement différente : là, on a cheminé horizontalement en utilisant un bouclier et en recourant à l'air comprimé.

L'origine de la traversée est à l'Esplanade des Invalides, au carrefour de la rue de Constantine et de la rue de l'Université; après un parcours de 836 m., elle se termine à la place de la Concorde, au droit des Champs-Élysées. La traversée du fleuve s'effectue en courbe de 250 m. de rayon. Sur ce parcours, le souterrain est tubé sur une longueur de 619 m.; en tête sur 90 m., et à l'extrémité sur 127 m., le souterrain a reçu un revêtement maçonné dont le profil ne diffère du profil courant que par un renforcement des maçonneries.

Le tube a ici une forme circulaire avec un diamètre extérieur de 7,776 m. et un diamètre intérieur de 7,236 m. (fig. 15) : c'est, je crois, la plus grande section réalisée jusqu'ici pour un souterrain livrant passage à une voie ferrée. Par son diamètre extérieur, il se rapproche des derniers tunnels percés par les ingénieurs anglais sous la Tamise à Londres, en vue d'assurer la circulation ordinaire entre les deux rives du fleuve, notamment du tunnel de Blackwall

exécuté en 1896 avec un diamètre de 8,23 m. et du tunnel de Rotherhite établi en 1908 avec un diamètre de 9,15 m.

Le revêtement est constitué par une série d'anneaux de fonte de 0,750 m. de largeur comprenant chacun treize voussoirs dont dix voussoirs courants et trois voussoirs de clef. Les voussoirs ont 0,04 m. d'épaisseur; ils sont renforcés sur leur pourtour par une nervure de 0,20 m. de hauteur qui forme bride pour l'assemblage : cet assemblage est obtenu au moyen de boulons en acier

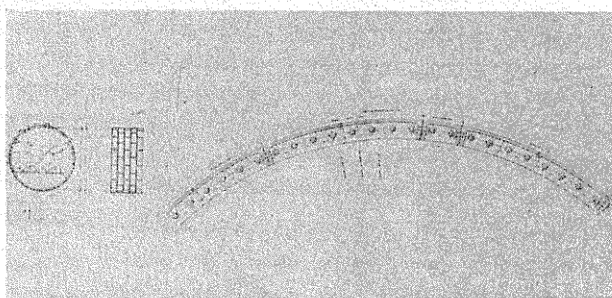


Fig. 15. — Ligne n° 8. Traversée de la Seine à la Concorde.
Cuvelage métallique.

de 0,035 m. de diamètre. L'obturation des joints, aussi bien entre voussoirs qu'entre anneaux, est assurée par des lamelles de bois créosoté. A l'intérieur du tube, l'intervalle entre les nervures des voussoirs a été comblé par un remplissage en béton de gravillon avec enduit superficiel lissé, en ciment de Portland, de 0,03 m. d'épaisseur.

Sur la rive gauche de la Seine, le débit relativement faible de la nappe aquifère a permis de poser le revêtement métallique à l'abri d'une voûte maçonnée construite sur bois à l'aide d'épuisement. Sur le reste du parcours, on a eu recours au bouclier.

La longueur du bouclier était de 4,33 m. (fig. 16). Le corps de l'engin, limité par deux cloisons distantes de 1,50 m., était renforcé au pourtour par un caisson annulaire divisé en vingt-sept alvéoles abritant chacune un des vérins hydrauliques destinés à assurer la propulsion de l'engin. L'ossature du corps du bouclier était complétée par trois diaphragmes verticaux et par deux planchers horizontaux déterminant douze cellules : huit de ces cellules étaient verticales et étaient utilisées pour l'extraction des déblais :

les quatre autres donnaient passage aux canalisations des appareils de manœuvre.

Sur le pourtour du bouclier, l'avant-bec était muni d'un couteau en acier coulé de 0,23 m. de longueur. Ce couteau, fait de pièces démontables, pouvait être remplacé en terrain ordinaire par une visière s'étendant sur une largeur de 0,900 m. et qui permettait d'augmenter notablement la capacité de la chambre de travail.

La queue du bouclier était suffisamment longue pour couvrir, lorsque les tiges des vérins étaient rentrées à fond, deux anneaux

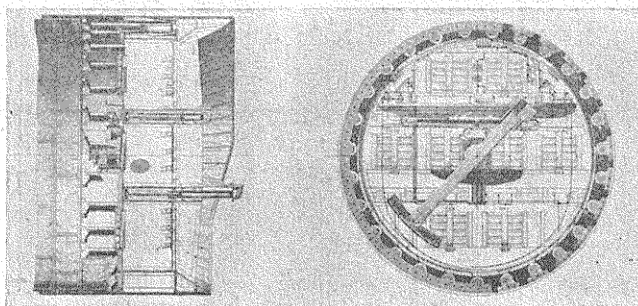


Fig. 16. — Ligne n° 8. Traversée de la Seine à la Concorde.
Bouclier.

complets du cuvelage et le cinquième environ de l'anneau suivant. Quand les vérins étaient à bout de course (ce qui équivalait à un avancement du bouclier de 0,75 m.), la queue protégeait encore un anneau et le cinquième de l'anneau suivant (soit 0,895 m. de longueur de revêtement).

Lorsque le bouclier s'est trouvé à environ 25 m. du mur du quai d'Orsay, on a appliqué l'air comprimé. A cet effet, un masque en maçonnerie de 3 m. d'épaisseur a été établi dans le souterrain, à 20 m. environ au delà du prolongement de la face Nord de la gare des Invalides. Ce masque a été muni de trois sas : les deux sas inférieurs servaient, l'un au passage du personnel, l'autre à l'éclusage des déblais et des matériaux; le troisième sas, à la partie supérieure du masque, était un sas de secours; il était relié au bouclier par une passerelle en charpente que l'on allongeait au fur et à mesure de l'avancement.

L'usine pour la production de l'air comprimé et de l'eau sous pression était installée sur l'Esplanade près de la rue de l'Université. Elle comprenait quatre compresseurs à basse pression, un compresseur pour l'air à haute pression destiné aux injections et deux compresseurs à eau pour les vérins du bouclier et la manœuvre de la grue de montage des voussoirs. Toutes ces machines étaient actionnées électriquement. Les quatre compresseurs pouvaient

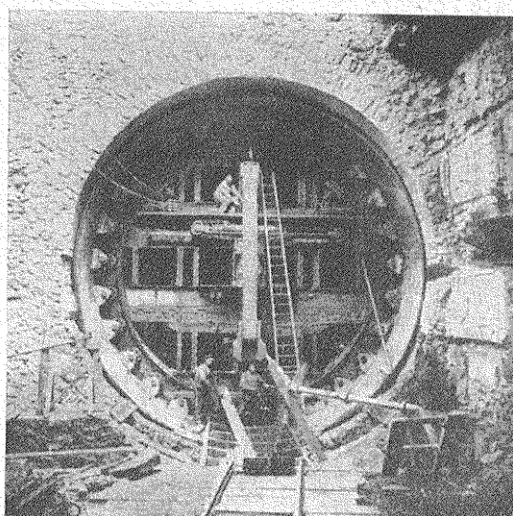


Fig. 17. — Ligne n° 8. Traversée de la Seine à la Concorde.
Face arrière du bouclier.

fournir par heure 16,800 m³ d'air à 2,800 kg., ce qui représentait 338 m³ d'air par mètre carré du front d'attaque du bouclier.

Commencé le 15 octobre 1909, le travail du bouclier a été interrompu pendant deux mois, à partir du 20 janvier 1910, par la crue de la Seine. Repris le 23 mars 1910, il a été arrêté le 20 septembre suivant sous le Cours la Reine, après avoir donné lieu à quelques incidents sans gravité.

Sur la rive droite, le cuvelage a été posé à l'abri d'une voûte maçonnée comme sur la rive gauche.

Traversée du hall de la Gare d'Austerlitz (Ligne N° 2 Sud). —
Sur le boulevard de l'Hôpital, la ligne circulaire N° 2 Sud, s'inflé-

chissant à partir de la Salpêtrière, pénètre en viaduc sur les dépendances de la gare d'Austerlitz et traverse le grand hall de cette gare pour parvenir à la Seine. Une station métropolitaine, établie à l'intérieur du hall, est constituée par une double travée de 52,55 m. de portée et de 17,10 m. de largeur qui franchit d'un seul jet les voies de l'Orléans et repose à chacune de ses extrémités sur une file de trois piliers composés chacun d'un caisson en acier laminé rempli de béton. La construction de la ligne métropolitaine a nécessité l'éventrement sur une largeur de 20 m., des murs de façade de la gare, et la démolition des piliers qui supportaient, sur cette longueur, les fermes de la couverture du hall dont la portée dépasse 52 m.

De sérieuses difficultés, venant tant de la nature du sous-sol, que de la proximité des fondations de la gare, ont compliqué le travail. La charge des piliers de la station métropolitaine pouvant atteindre 800 t., il a fallu descendre les fondations sur le calcaire grossier à 12 m. environ au-dessous du niveau des quais de la gare. Cette opération, contrariée par d'abondantes infiltrations, a nécessité l'installation de cinq pompes centrifuges actionnées par deux locomobiles de 30 chevaux. Elle a pu néanmoins être menée à bien sans autre dégât que quelques fissures et quelques tassements sans importance dans les bâtiments de la Compagnie d'Orléans.

Ouvrage de superposition des lignes N° 3, 7 et 8 à la place de l'Opéra. — La ligne N° 3 se superpose à la place de l'Opéra, à deux autres lignes métropolitaines : la ligne N° 7, Palais-Royal. — Place du Danube, et la ligne N° 8, Auteuil-Opéra. La ligne N° 3 devant être construite la première, il était nécessaire d'exécuter en même temps les ouvrages des deux autres lignes, au point de croisement, afin d'éviter plus tard des reprises dangereuses en sous-œuvre. Le rail de la ligne N° 7 se trouvant à 11 m. au-dessous du sol, et celui de la ligne N° 8 à plus de 16 m., les maçonneries communes aux ouvrages des trois lignes ont dû être descendues à 20 m. de profondeur et plonger de 9 m. dans la nappe aquifère. Il a fallu recourir à l'air comprimé pour la fondation de l'ouvrage. Les points d'appui ont été formés par trois caissons. Le premier dont l'emplacement est situé sous la place de l'Opéra, supporte les piédroits des lignes N°s 3 et 7 à leur premier point de rencontre; les deux derniers, placés parallèlement à l'axe du boulevard des Capucines,

encadrent le souterrain de la ligne N° 8 et supportent les ouvrages des lignes N°s 3 et 7. Les travaux, qui ont duré neuf mois, ont présenté quelques difficultés en raison de leur emplacement à un carrefour où la circulation, des plus intenses, devait être maintenue à tout prix.

La ligne N° 2 Sud à la traversée des fontis du boulevard de Vaugirard et du boulevard Raspail. — Les difficultés occasionnées par la nature

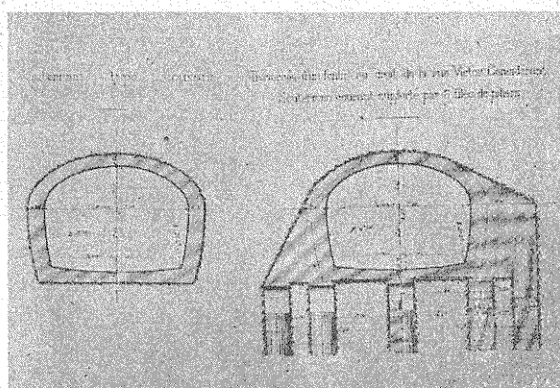


Fig. 18. — Ligne n° 2 Sud. Souterrain renforcé à la traversée d'un fontis rue Victor-Considérant.

du sous-sol sont multiples : voici quelques exemples caractéristiques.

La ligne N° 2 Sud, qui pénètre dans l'étage du calcaire grossier au boulevard Pasteur, traverse, sur le tiers de son étendue, la zone des carrières qui comporte deux et même trois étages de galerie. Lorsque les ciels de carrière ont été trouvés en bon état, on s'est borné à les soutenir par des piliers en maçonnerie. Mais sur des longueurs assez grandes, les recherches ont fait découvrir des dislocations dans les couches situées au-dessus des anciennes excavations; le ciel de carrière s'était affaissé, et, l'éboulement se propageant, avait donné naissance à ces cavités en forme de cloches, que l'on désigne communément sous le nom de « fontis ». Une de ces cloches, au boulevard de Vaugirard, près de l'avenue du Maine, avait une section de 70 m², à la base, et sa hauteur dépassait 13 m., ce qui correspond à un volume de 660 m³.

Je m'empresse de vous dire que des fontis de cette importance sont, heureusement, tout à fait exceptionnels. Lorsque l'effondrement ne dépassait pas une dizaine de mètres carrés, on s'est borné à le circonscire en l'entourant d'un mur maçonné, et, pour les ouvrages du Métropolitain, à renforcer le profil. Pour un affaissement plus accentué, on a fait reposer les ouvrages sur un véritable viaduc souterrain, dont les piles sont constituées par des puits de 1,20 m. de diamètre remplis de béton, et qui prennent appui sur le sol de carrière. Enfin, lorsque les dislocations étaient plus considérables et qu'il y avait lieu de craindre pour la stabilité du souterrain, on renforçait le profil et on soutenait les parois de place en place par des contreforts prenant appui sur des colonnes de béton reposant elles-mêmes sur le sol de carrière.

Ce dernier cas s'est présenté sous le boulevard Raspail, au carrefour de la rue Victor-Considérant. Sur 27 m. de longueur, le souterrain est constitué par un gigantesque tube en maçonnerie supporté par cinq files de colonnes (fig. 18). Un pareil travail n'a pu être exécuté, sans accident, qu'au prix de l'attention la plus soutenue.

La ligne N° 7 à la traversée des carrières d'Amérique. — Des difficultés de même ordre ont été rencontrées sur le parcours de la ligne N° 7, qui traverse, entre la rue Secrétan et la place du Danube, la zone des anciennes carrières d'Amérique. Dans le parc des Buttes-Chaumont, en particulier, le tracé coupait en diagonale le quadrillage des anciennes carrières de gypse, dont la hauteur atteint environ 8 m. Il a fallu détruire, de place en place, les piliers ménagés autrefois pour supporter les ciels de carrière, de telle sorte que la voûte du Métropolitain supporte, non seulement les 25 m. de terre qui la surmontent, mais encore toute la charge supplémentaire des terres dont le poids se répartissait auparavant sur les piliers ruinés. D'un autre côté, la voûte ne pouvait prendre appui, en certains points, que sur les remblais argileux qui ont servi à combler les carrières. Dans ces conditions, on a été obligé de recourir à un profil tout à fait différent du type ordinaire; ce profil est en plein cintre et les épaisseurs de maçonnerie ont été considérablement augmentées (fig. 19). Malgré cela, il a fallu contrebuter de place en place la voûte par des contreforts venant s'appuyer au loin sur les piliers de gypse restés en place.

Plus haut, vers la place du Danube, le tracé se tient au-dessus des

carrières, dans un remblai peu consistant. Là, il a fallu non seulement renforcer les maçonneries, mais même les armer, de façon à éviter toute réaction horizontale sur le terrain ambiant; en même

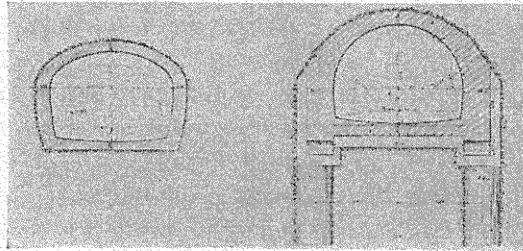


Fig. 19. — Ligne n° 7. Souterrain renforcé à la traversée des carrières d'Amérique.

temps, on a dû soutenir les piédroits par des piliers en béton. Ces piliers, qui, par places, avaient à traverser trois masses de gypse entièrement excavées, descendent jusqu'à 25 m. de profondeur.

Les travaux de la ligne N° 3 aux abords de la place Gambetta. — Sous l'avenue Gambetta et sous la rue Belgrand, au delà de la place Martin-Nadaud, la nature du terrain a grandement contrarié les travaux du terminus de la ligne N° 3. En cet endroit de Paris, le gypse entraîné par les eaux souterraines se trouve remplacé par un mélange de toutes les couches voisines, dans lequel domine par places le sable de Fontainebleau : c'est dans ce terrain qu'il a fallu établir les stations, la boucle d'évitement et les garages du terminus de la ligne N° 3. Les marnes, plus ou moins corrodées à la surface, forment le fond d'une cuvette qui est remplie, soit de terre argileuse, soit de sable fin, le tout imprégné d'eau; les argiles dominent sous l'avenue Gambetta, les sables sous la rue Belgrand.

Pour venir à bout de semblables terrains, il fallait d'abord assécher les sables bouillants. On y est parvenu en fonçant de proche en proche, à l'emplacement des piédroits des souterrains, des puits très nombreux que l'on a pourvus de moyens d'épuisement permanents. Ces puits ont été descendus à travers toute l'épaisseur du sable jusqu'aux marnes sous-jacentes où l'on a pu s'enraciner avec une sécurité suffisante; leur action progressive a permis de transformer le sable fluide en une masse assez solide pour permettre

la construction des ouvrages. Pour constituer les piédroits, il a d'ailleurs suffi de remplir de béton les puits d'assèchement; mais, à la partie inférieure, on a eu soin de disposer un drain longitudinal qui conduit les eaux à un puisard d'extrémité foncé à l'air comprimé; là, elles sont recueillies et rejetées à l'égout public. On est ainsi parvenu, aux prix de mille difficultés aggravées par le voisinage des immeubles dont les fondations n'avaient pas été préparées en vue de cette éventualité, à dessécher suffisamment le terrain pour que la voûte et le radier aient pu ensuite être aisément exécutés.

Les travaux de la ligne Porte de Saint-Cloud-Trocadéro-Opéra à la traversée de la place de l'Alma. — De très grosses difficultés du même genre ont été rencontrées dans la construction, sous la place de l'Alma, du prolongement jusqu'à l'Opéra, de la ligne de la Porte de Saint-Cloud au Trocadéro. Le sous-sol de la place de l'Alma est constitué par un magma d'alluvions anciennes et modernes qui sont venues se déposer au confluent de l'ancien contrefossé d'écoulement au nord de la vallée de la Seine. Les sables et limons qui composent ces alluvions sont particulièrement instables et cette instabilité se trouve encore aggravée par l'effet d'une abondante nappe souterraine puissamment soutenue par le fleuve. C'est dans ce terrain, l'un des plus abominables que nous ayons rencontré dans le sous-sol parisien, qu'il s'agissait d'établir un souterrain à deux voies dont le rail se plaçait, au point le plus bas, à la cote 20,03, soit à 6,45 m. au-dessous du niveau d'étiage de la Seine et à plus de 14 m. en contre-bas du niveau de la place de l'Alma. Cette grande profondeur était commandée par la présence du collecteur Marceau qui, partant de la rive gauche, traverse la place après avoir franchi la Seine en siphon. Il était impossible de dévier ce collecteur et, au-dessus de lui, on ne disposait pas de la hauteur nécessaire pour le souterrain du Métropolitain.

En raison de la nature du sous-sol, on avait adopté pour ce souterrain un profil plus robuste que le type ordinaire tant au point de vue des dimensions que de la composition des maçonneries. On avait d'ailleurs pris soin, avant de passer à l'exécution, de consolider le collecteur Marceau au droit de la traversée, en substituant au radier de l'émissaire et à celui du bassin de dessablement qui lui est accolé, une bache en béton armé prenant appui sur les deux piédroits du Métropolitain construits au préalable au moyen de

puits partant du sol. Pour mener à bien la construction du souterrain, il fallait aller vite : il convenait, en effet, de ne pas prolonger les épuisements dans un terrain d'aussi mauvaise tenue que celui dans lequel on opérait. Le travail était en bonne voie au mois d'août 1914; mais la guerre désorganisa le chantier et ce ne fut qu'au mois de novembre 1915 qu'on put terminer la voûte et la plus grande partie des piédroits jusqu'au collecteur. On attaqua la reprise du radier

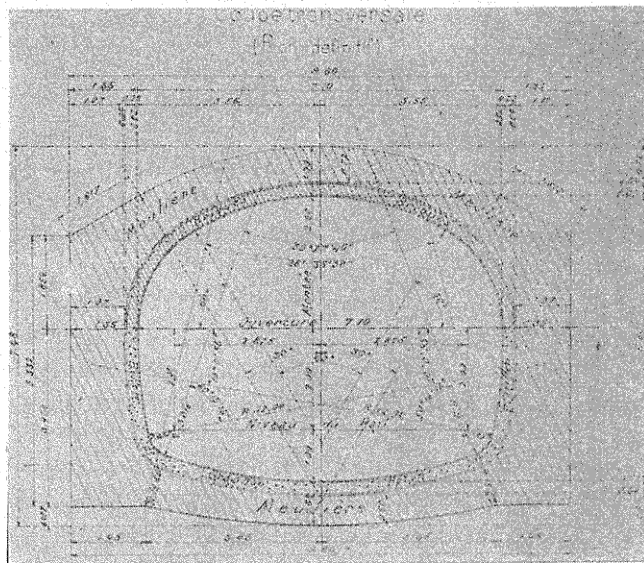


Fig. 20. — Ligne du Trocadéro à l'Opéra. Souterrain renforcé sous la place de l'Alma.

lorsque, le 8 novembre 1915, le terrain se mit à refluer dans l'une des fouilles ouvertes pour cette reprise; en même temps, les piédroits se rapprochaient par leur base et la voûte, n'étant plus soutenue, s'abaissait en se déformant et se disloquant sur 38,50 m. de longueur occasionnant au niveau du sol de la place de l'Alma une excavation de 12 m. de largeur atteignant jusqu'à 1,60 m. de profondeur. Heureusement, le collecteur Marceau renforcé ne bougea pas et localisa l'accident. Il fallut remettre sur bois la voûte disloquée et reconstruire patiemment et péniblement le souterrain par anneaux successifs de 1 m. de largeur : le travail ne fut terminé que le 13 octobre 1916.

Pour cette reconstruction, on modifia la section du souterrain comme le montre la photographie que vous avez sous les yeux (fig. 20). En vue de diminuer la poussée, la montée de la voûte fut portée de 2,07 m. à 2,60 m.; d'autre part, on augmenta de 0,20 m. l'épaisseur de la voûte à la clef et de 0,35 m. celle des piédroits aux naissances.

Cette photographie comporte d'ailleurs un enseignement d'ordre général. Elle vous précise comment est combinée la section du souterrain du Métropolitain quand ce souterrain doit être établi à profondeur dans un terrain baigné par une nappe aquifère. Vous voyez que la section comporte deux anneaux : un anneau extérieur construit ici en maçonnerie de meulière et revêtu intérieurement d'une chape en mortier de ciment de Portland lissé de 0,04 m. d'épaisseur; un anneau intérieur, de moindre épaisseur que le premier, s'appuyant sur la chape dont il vient d'être question, et revêtu d'un enduit également lissé de 0,02 m. d'épaisseur. Dans le cas présent, cet anneau devait être exécuté en briques spéciales de très faible porosité; mais, pendant la guerre on ne put se procurer la quantité de briques nécessaire : on remplaça ces briques, le long des piédroits et sur le radier, par du mortier de gravillon à très fort dosage.

Le double anneau avec chape lissée intermédiaire et chape superficielle à l'intérieur du souterrain fait obstacle au passage de l'eau et, par conséquent, supprime les infiltrations à l'intérieur du souterrain. A la place de l'Alma, où cette disposition a été réalisée avec beaucoup de soin, elle a donné les meilleurs résultats.

Les travaux de prolongement de la ligne N° 7 entre la Palais-Royal et l'Hôtel de Ville. — Je termine cette revue un peu hâtive des travaux par un sujet d'actualité, le Prolongement de la ligne N° 7 par les quais, du Palais-Royal à l'Hôtel de Ville et à la Bastille, dont la partie qui s'étend de Saint-Germain l'Auxerrois aux abords du pont Louis-Philippe est, en ce moment, en pleine voie d'exécution.

Le Prolongement continue, rail à rail, à partir de la place du Palais-Royal, la ligne N° 7 qui, venant de la place du Danube et de la Porte de la Villette, se termine à cette place, après avoir touché la Gare de l'Est et l'Opéra. Il emprunte la rue Saint-Honoré jusqu'à la rue de Marengo, passe successivement sous l'annexe des magasins du Louvre, sous le temple de l'Oratoire, sous l'immeuble situé à

l'angle de la rue de l'Oratoire et de la rue de Rivoli, traverse cette dernière rue au-dessous de la station « Louvre » de la ligne N° 1 puis se développe sous les jardins de la Colonnade et sous la rue du Louvre pour gagner la ligne des quais de rive droite (Voir planche hors texte). Dans le plan primitif, le prolongement parvenu au boulevard Henri-IV, empruntait les rues de Sully et Mornay passait sous la ligne N° 5 et sous le bassin de l'Arsenal et, par le boulevard de la Bastille, atteignait la place de la Bastille pour venir se souder à l'embranchement sur la porte de Picpus. Il est plus que probable que ce tracé sera modifié au delà du quai des Célestins; en ce point, il franchirait la Seine en souterrain pour venir se raccorder, dans les parages de la rue Jussieu, à la ligne de la porte de Choisy et de la porte d'Italie au boulevard Saint-Germain. Les formalités de la loi du 31 juillet 1913 sont en cours pour obtenir la déclaration d'utilité publique de ce nouveau tracé.

Avant la guerre, on avait établi la voûte du souterrain sous l'annexe des Magasins du Louvre, pendant que l'on bâtissait cette annexe. En même temps, on avait attaqué la partie du prolongement qui emprunte la rue Saint-Honoré entre le Palais-Royal et la rue de Marengo. Au moment où ce travail s'achevait, au mois de juin 1915, la Commission du Métropolitain jugea qu'il convenait de profiter des installations de chantier et aussi du ralentissement général de la circulation causé par la guerre, pour pousser la construction du souterrain jusqu'à la rue du Louvre. L'exécution de ce tronçon présentait de grosses difficultés techniques; dans les circonstances du moment, elle constituait un véritable tour de force. Heureusement, la masse du calcaire grossier se rencontrait à une altitude assez élevée (cote 25,40) et on put profiter de cette condition avantageuse pour ménager au-dessus des fouilles, en abaissant le profil en long du tracé, un toit de protection qui devait mettre les immeubles à l'abri des tassements. Cela ne veut pas dire que toute difficulté fut écartée de ce chef; ce ne fut que grâce au choix de méthodes ingénieuses pour les abatages et la construction de la voûte, à la direction intelligente et active du travail que l'opération put être menée à bien. Le souterrain fut construit sans le moindre dommage pour les immeubles, sans le moindre tassement et sans la moindre lézarde.

Le prolongement de la ligne N° 7 intéresse directement les populations des deux rives de la Seine depuis le Pont-Neuf jusqu'à

l'Hôtel-de-Ville et aussi l'île Saint-Louis; il permettra, en outre, de décharger la ligne N° 1 : son importance ne saurait être mise en doute. Aussi, lorsque le marché des travaux publics se fut un peu stabilisé, le Conseil municipal demanda-t-il que l'on poursuivît l'exécution du prolongement dans la limite où la modification de tracé dont je viens de vous parler le permettait, c'est-à-dire jusqu'aux abords du pont Louis-Philippe. L'adjudication des travaux eut lieu le 13 novembre 1920 : ils sont, en ce moment, en pleine exécution.

Dans ce tronçon du prolongement, les difficultés de construction viennent de la proximité immédiate de la Seine et aussi de la présence, dans le sous-sol, de l'ancien collecteur des quais et de vieilles maçonneries : vous n'oublierez pas que l'on se trouve ici en plein cœur du vieux Paris et que, dans le cours des temps, les rives de la Seine, ont subi des modifications profondes.

Je n'entreprendrai pas de vous décrire ces travaux par le menu : je me bornerai à retenir particulièrement votre attention sur les stations, surtout sur la station « Pont Notre-Dame » qui est établie sous le quai de Gesvres entre le pont au Change et le pont Notre-Dame, le long du Théâtre Sarah-Bernhardt.

Pour l'étude du projet, on avait cherché à se procurer des renseignements sur les murs de quai contre lesquels s'accotent les stations. Malheureusement, on ne put rien obtenir de précis : tout ce qu'il fut possible de savoir, c'est que le mur du quai voisin du Pont-Neuf était fort ancien et ne présentait qu'une stabilité médiocre, que le mur du quai de Gesvres était plus récent mais qu'il convenait de limiter au minimum les poussées que la voûte de la station « Pont Notre-Dame » pouvait lui transmettre. D'autre part, les renseignements géologiques indiquaient que l'on devait trouver le calcaire grossier vers la cote 24,50 à 3,50 m. environ en contre-bas du rail au quai de Gesvres. Dans ces conditions, la solution toute indiquée pour les deux stations était le type à plancher métallique qui n'exerce aucune poussée latérale; mais cette solution impliquait la suppression des arbres de la plantation d'alignement du quai, ce à quoi on ne pouvait songer. On prit donc le parti de surhausser la voûte de façon à diminuer la poussée et de soutenir le radier en son milieu par une file de piliers en béton descendus jusqu'au calcaire grossier à travers les alluvions. C'est dans ces conditions que fut dressé le projet. Mais lorsqu'on passa à l'exécution, on reconnut vite que ces dispositions seraient insuffisantes. L'état des murs de

quai était tel qu'il devenait essentiel de supprimer radicalement toute poussée sous peine de s'exposer à des accidents graves. En outre, la surface du calcaire grossier était constituée par des parties marneuses tendres sur lesquelles il était prudent de réduire la pression au minimum. On reprit donc l'étude des stations et on arriva au type dont vous avez sous les yeux un schéma suffisamment précis (fig. 21). Ce type peut se définir en quelques mots : il comporte un radier et des culées puissamment armés de façon à constituer un

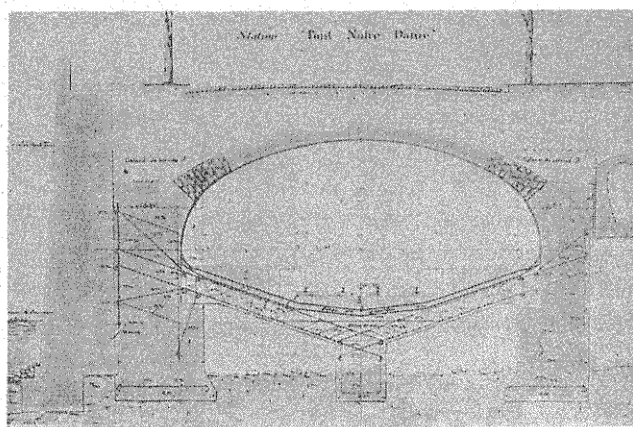


Fig. 21. — Prolongement de la ligne n° 7. Station « Pont Notre-Dame ».

ensemble rigide sur lequel vient se briser la poussée de la voûte. De cette façon, la station reste complètement isolée du mur de quai sur lequel elle n'exerce plus aucun effort. D'un autre côté, les appuis sur le sol, des culées et de la file centrale de piliers du radier ont été déterminés de façon à ne développer sur le terrain qu'une pression très faible. La station « Pont-Neuf » est exécutée sur le même type.

Les travaux du prolongement de la ligne N° 7 ont mis à jour plusieurs vestiges du Paris d'autrefois. La Commission du Vieux Paris a examiné ces vestiges avec toute la science et tout le soin dont elle est coutumière. Grâce à l'aimable obligeance de M. Grimault, chargé de l'inspection des fouilles, je suis en mesure de vous faire connaître quelques-uns des résultats curieux au point de vue archéologique auxquels ont abouti les recherches de la Commission.

Sous le jardin de la Colonnade du Louvre, à 7 m. de profondeur, la galerie a rencontré les fondations d'un mur en pierres de taille.

On a reconnu dans ces fondations les restes de la « grande salle » de l'Hôtel des Ducs de Bourbon construit vers 1390 et rasé en partie en 1527 après la trahison du Connétable. C'est dans cette salle que se tinrent les Etats Généraux de 1614 sous Louis XIII. L'Hôtel fut complètement démoli en 1758 pour permettre le dégagement de la Colonnade. Les fouilles ont permis également de reconstituer les deux alignements de l'ancienne rue des Poulies sur laquelle l'Hôtel du Connétable prenait façade.

Deux anciens murs ont été retrouvés sous le quai du Louvre qui portait autrefois le nom de quai des Ecoles. Le plus ancien date probablement de la fin du xvi^e siècle : il avait été « dressé, élargi et pavé », — autrement dit réfectionné, — en 1529, sous le règne de François I^{er}. Il se continuait, au delà du Pont Neuf actuel, jusqu'à la rue Saint-Leufroy qui conduisait au Grand Châtelet et qui débouchait près du Pont aux Meuniers. Le plus récent des deux murs, à 5 m. environ en arrière du mur actuel, avait été construit sous Louis XV en vertu de lettres patentes datées du 25 mars 1719. Derrière la culée du Pont-Neuf, qui a été construit en 1578, on a retrouvé une descente à la rivière percée dans le mur du quai de 1529.

Après la traversée de la place du Châtelet, le souterrain du Métropolitain chemine sous le quai de Gesvres. Autrefois, et de temps immémorial, il n'existait en cet endroit, entre le pont aux Changeurs et le pont Notre-Dame, ni quai, ni rue parallèle à la Seine, mais seulement la Grève qui était abandonnée aux « Maîtres de la Grande Boucherie ». C'est là qu'on abattait, écorchait et vidait les animaux de boucherie, qu'on fondait les suifs, etc. Je vous laisse à deviner quelles émanations « plus mais non mieux sentant que roses » s'échappaient de ce cloaque; vos camarades du Service du Métropolitain ont pu constater en 1921 qu'elles ne s'étaient pas encore complètement dissipées!

Pendant qu'on construisait le pont aux Changeurs en 1641, on se décida, à la demande du marquis de Gesvres, capitaine des gardes du roi, à dissimuler l'abominable grève. Des lettres patentes du roi Louis XIII, datées de Lyon, février 1642, donnaient et octroyaient « à messire Louis Potier, marquis de Gesvres, les places sises entre le pont Notre-Dame et le pont aux Changeurs sur la longueur comprise entre les culées desdits ponts et la première pile, à condition de faire construire un quai de niveau avec les deux têtes de

pont, porté sur des arcades pour ne pas rétrécir le lit de la rivière, et d'y ouvrir deux rues... ».

Ce quai consistait en une galerie formée de cinq voûtures établies dans le lit même du fleuve qui s'y engouffrait pendant les crues, les piétons y circulaient quand les eaux étaient basses (fig. 22). C'était un ouvrage remarquable construit en pierre de taille, véritable chef-d'œuvre de trait et d'assemblage, qui provoqua l'admira-

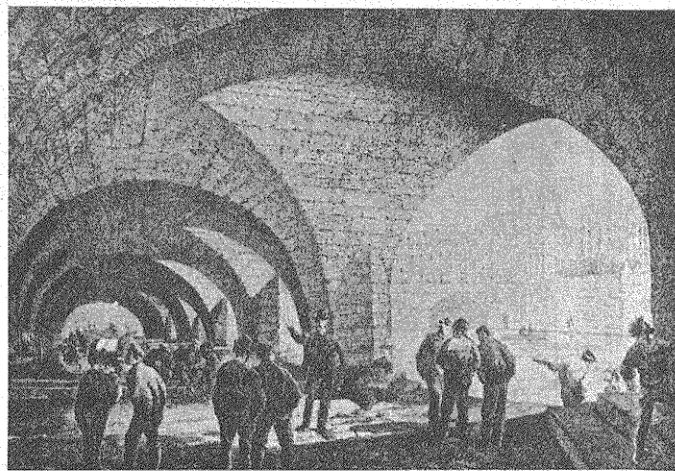


Fig. 22. — Ancien canal des Cagnards sous le quai de Gesvres.

tion des hommes de l'art de l'époque. Mais trois ou quatre sombres passages, fermés par de lourdes grilles, débouchaient dans la galerie, venant des ruelles de l'écorcherie, et ne contribuaient pas à en assainir l'atmosphère si l'on en juge par ce passage d'un écrit de 1780 : « La galerie formait un cloaque affreux où quatre égouts versaient la fange, où aboutissait le sang des tueries, où les latrines répandaient leurs immondices. La rivière, pendant huit mois de l'année, n'arrosait point les arches. » Cette caverne grandiose, complètement isolée au cœur même de Paris, servait de promenade aux flâneurs pendant le jour, de repaire aux malfaiteurs pendant la nuit. Un arrêt du Conseil d'Etat en date du 8 mars 1727 ordonna que le passage fût fermé par des grilles pendant la nuit et qu'on le dotât d'un portier chargé de prévenir les vols et d'empêcher les assassinats. Ce poste n'était vraiment pas très enviable; je n'ose pas dire, cependant, qu'il n'ait pas été envié!

La galerie reçut le nom de « canal des Cagnards ». D'après Littré, le mot « cagnard » est un terme du langage familier dont la signification exacte est : « qui a la fainéantise du chien ». Je crains que le bon Littré n'ait quelque peu calomnié le fidèle ami de l'homme.

Le canal des Cagnards subit certaines modifications vers 1853 lors de la reconstruction du pont Notre-Dame; on le démolit et on le remblaya presque entièrement en 1860-1861, quand on construisit le mur de quai actuel. Mais il en reste un vestige intéressant derrière la culée du pont Notre-Dame (fig. 23). Pour répondre au désir

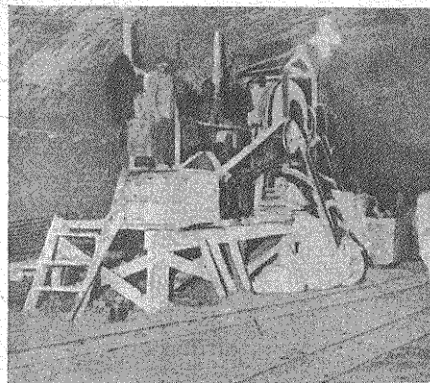


Fig. 23. — Prolongement de la ligne n° 7. Vestiges de l'ancien canal des Cagnards.

exprimé par la Commission du Vieux Paris, on va conserver ce vestige : les trains du Métropolitain passeront entre ces vieux murs du xvii^e siècle.

Au cours du fonçage du puits de service ouvert sur la place de l'Hôtel-de-Ville, on a repéré successivement trois anciennes chaussées dont la plus basse, pavée en gros matériaux, se trouvait à l'altitude 27,21. C'était le niveau de la place de Grève à l'époque où Etienne Marcel acheta la célèbre « Maison aux Piliers » qui devint le premier Hôtel de Ville.

Sous le jardin de M. le Préfet de la Seine et, en particulier, sous la statue d'Etienne Marcel, d'anciennes fondations d'immeubles rencontrées à grande profondeur ont permis de rétablir les alignements de la place de Grève et des anciennes rues des Haudriettes et Pernelle. Trois puits d'eau avec leur rouet en bois bien conservé

ont été retrouvés dans ces fondations. A l'angle de l'ancienne rue Pernelle et du quai de la Grève, on a mis à jour la première pierre de l'immeuble : elle porte le millésime de 1621 en fort beaux caractères.

Sous le quai de l'Hôtel-de-Ville on a dû démolir un escalier monumental qui descendait à la Seine. On y a retrouvé d'anciennes fondations d'immeubles et, près de la rue des Barres, deux énormes meules de moulin couchées sur le sable.

* * *

Vues sur l'avenir du Métropolitain. — *Prolongements en banlieue.* — Messieurs, le Chemin de fer Métropolitain a rendu et rend encore chaque jour les plus précieux services à la population parisienne. On se demande ce qu'aurait pu être la vie à Paris pendant a guerre, alors que les transports à la surface se trouvaient paralysés, si les Parisiens n'avaient pas eu le « Métro » à leur disposition. Ces services ne pourront évidemment que croître au fur et à mesure que l'on ouvrira les lignes restant à équiper ou à construire. Vous n'êtes pas sans savoir avec quelle insistance les habitants des quartiers desservis par les lignes dont l'infrastructure a été terminée pendant la guerre en réclament la mise en exploitation.

Cependant, lorsque l'ensemble des lignes concédées, soit à titre ferme, soit à titre éventuel sera achevé, Paris disposera d'environ 172 km. de lignes urbaines. Si vous voulez bien vous reporter au plan général de ce réseau (Voir planche hors texte), vous vous convaincrez aisément que les mailles, à l'intérieur de la capitale, seront assez serrées pour qu'il n'y ait guère lieu de prévoir qu'elles puissent prêter beaucoup au développement de lignes intercalées.

Au contraire, l'accroissement presque continu des agglomérations suburbaines qu'accélérera sans doute le démantèlement des fortifications, la soudure inévitable de ces agglomérations qui, tôt ou tard, amènera la formation d'un plus grand Paris, appelleront forcément l'extension du Métropolitain dans la banlieue. Les prolongements en banlieue apparaissent donc pour le Métropolitain comme la promesse de l'avenir.

On peut avoir deux conceptions de ces prolongements hors barrières; ou bien diriger les lignes nouvelles vers les centres de

population existants de façon à améliorer les relations entre ces centres et la capitale; ou bien tracer ces lignes de manière à favoriser en des points choisis la création de noyaux d'attraction où la population trouvera à meilleur compte l'habitation saine et confortable. Les deux conceptions peuvent se confronter si l'on fait abstraction des sacrifices nécessaires. Seulement, il est un point qu'il ne faut pas perdre de vue : c'est que dans l'état actuel des groupements de la banlieue, même en se bornant à desservir ceux de ces groupements qui sont les plus peuplés, les résultats à attendre de l'exploitation, eu égard à la densité de la population, seraient bien loin d'équilibrer les charges d'intérêt et d'amortissement du capital engagé. Il convient donc d'être prudent, de ne pas voir trop grand, de ne pas trop entreprendre à la fois et de se borner au début à la construction de quelques lignes essentielles si l'on ne veut pas risquer d'imposer pendant de longues années un lourd fardeau au département de la Seine.

Le plan Molinié. — La perspective de cette extension en dehors de Paris a déjà donné lieu à des mouvements d'opinion; et le Conseil général de la Seine a mis la question au premier rang de ses préoccupations. Dans sa séance du 25 juin 1919 notamment, le Conseil général renvoyait à l'Administration une proposition de M. Molinié et de plusieurs de ses collègues portant invitation à l'Administration d'introduire dans les projets de réorganisation des transports en commun de la région parisienne un projet d'extension du Métropolitain dans la banlieue et donnant la nomenclature de 12 lignes qui constitueraient une première étape.

Premières lignes à construire en banlieue. — Une étude générale sommaire a été produite par le Service technique du Métropolitain en octobre 1919 suivant cet ordre d'idées. Elle donnait le tracé de douze lignes s'écartant peu du plan Molinié et formant un total de 37,5 km. Il ne saurait évidemment être question, dans l'état actuel du marché des travaux publics, d'entreprendre immédiatement la construction de ces douze lignes nouvelles. Il semble qu'on pourrait, pour une première tranche, s'en tenir aux quatre suivantes :

De la porte de Saint-Cloud à Boulogne (pont de Saint-Cloud), prolongée par Saint-Cloud et Ville d'Avray jusqu'à Versailles;

De la porte de Montreuil à Montreuil et à Vincennes;

De la porte de la Chapelle à Saint-Denis ;

De la Porte de Clichy à Clichy, prolongée ultérieurement jusqu'à Gennevilliers de façon à desservir le grand port fluvial projeté dans la presqu'île.

Bien entendu, il ne s'agit pas là d'un programme limitatif. Des circonstances spéciales pourront motiver l'exécution immédiate d'autres lignes de banlieue. Le cas se présente actuellement, en particulier, pour la desserte de la partie de l'Exposition coloniale de 1925 qui se tiendra au bois de Vincennes. On a envisagé dans ce but le prolongement, jusqu'au lac de Minimes, de la ligne métropolitaine N° 1. Ce prolongement pourrait être poussé ultérieurement, soit dans la direction de Fontenay-sous-Bois et de Neuilly-Plaisance, soit dans la direction de Nogent-sur-Seine ou de Joinville-le-Pont.

A ces opérations, viendrait s'en joindre une autre fort intéressante qui consisterait à rattacher au réseau métropolitain la ligne de Paris (Porte Maillot) et Nanterre vers la forêt de Saint-Germain dont la concession vient d'être rachetée par le département de la Seine. On pourrait, à la Porte Maillot, souder cette ligne à l'embranchement de Saint-Augustin à la porte des Ternes concédé à titre éventuel à la Compagnie du Métropolitain. Cet embranchement prolongé par la rue de la Pépinière, serait soudé lui-même à la ligne B du Nord-Sud prolongée sur Clichy et Gennevilliers. On réaliserait de cette façon une grande transversale allant de Saint-Germain (forêt) à Gennevilliers (port de Paris) en traversant Paris de la Porte Maillot à la Porte de Clichy avec contact central à la gare Saint-Lazare.

De même, le prolongement de la porte de Saint-Cloud à Boulogne, Saint-Cloud et Versailles continué dans Paris par la ligne Porte de Saint-Cloud-Trocadéro-Opéra pourrait, après l'achèvement du boulevard Haussmann, gagner la place de la République par une ligne juxtaposée à la Ceinture intérieure sous les grands boulevards et se souder là avec la ligne de la Place de la République à la porte de Montreuil et à Vincennes. Ce serait la réalisation d'une grande ligne de transport rapide allant du Palais de Versailles au donjon de Vincennes en traversant Paris dans ses centres les plus vivants de l'extrême Sud-Est au Sud-Ouest.

Une opinion sur les conditions d'établissement des lignes métropolitaines en banlieue. — Comment devront être conçues et exploitées

ces lignes de banlieue? La question est importante et demande à être examinée de près en raison des répercussions qu'elle aura forcément sur les dépenses d'établissement. Voici quelques indications générales, que je vous donne à titre tout à fait personnel.

Il me paraît essentiel que les lignes de banlieue se raccordent rail à rail avec les lignes purement urbaines : il faut éviter, autant que possible, les transbordements qui, dans l'espèce, ne seraient pas justifiés par une question de sécurité d'exploitation, et qui occasionneraient, sans utilité, des pertes de temps. Sans doute, il n'y aura pas intérêt à envoyer systématiquement hors barrières tous les trains qui circulent actuellement à l'intérieur des fortifications, mais il faut que les voyageurs qui s'embarqueront dans Paris pour la banlieue puissent gagner leur destination sans changer de train. Cette condition nécessitera peut-être la transformation de quelques-uns des terminus actuels.

On peut se demander, en second lieu, s'il ne conviendrait pas de construire immédiatement les lignes de banlieue à quatre voies de façon à les desservir à la fois par des trains omnibus et des trains express. Actuellement, la vitesse commerciale des trains urbains ne dépasse guère 22 km. à l'heure; cette vitesse est suffisante à l'intérieur de l'agglomération parisienne; elle ne le serait pas pour des parcours plus étendus. Mais rien n'empêche d'atteindre, avec le matériel dont disposent aujourd'hui les Compagnies, des vitesses de marche beaucoup plus grandes, de sorte qu'en espaçant davantage les stations, on peut réaliser des vitesses commerciales sensiblement plus élevées. Or, au début du moins, les stations sur les lignes de banlieue seront beaucoup plus écartées qu'à l'intérieur de Paris. Par exemple, dans l'étude qui a été faite de la ligne Porte de Saint-Cloud-Versailles par Saint-Cloud, Sèvres et Ville d'Avray, l'espacement moyen des 13 stations prévues est de 1 000 m. et on y trouve des distances de station à station de 1 300, 1 400 et même 1 700 m. En portant la vitesse commerciale à 30 km. à l'heure, ce que l'on pourra faire étant donné l'espacement des stations, on franchira la distance qui sépare Versailles de la porte de Saint-Cloud (12,200 k.) en vingt-quatre minutes environ, ce qui est acceptable. Il paraît donc possible, même sur ces lignes à grand parcours, de se contenter de deux voies, pour le moment du moins, sauf à se réserver la possibilité d'en établir quatre pour le cas où le développement des agglomérations viendrait à exiger un plus grand nombre de stations.

Quelles dispositions y a-t-il lieu d'adopter pour la plate-forme de ces lignes suburbaines? On ne peut vraiment songer à les établir sur route à la surface du sol comme les tramways. Pour éviter les passages à niveau, il faudrait plonger à la rencontre de chaque voie transversale, — et elles sont nombreuses aux environs de Paris —; on serait donc conduit à adopter un profil en long extrêmement tourmenté, nuisible à une bonne exploitation. En outre, et c'est là le point capital, il serait véritablement inacceptable de lancer sur les routes des trains de 72 m. de long marchant à 36 km. à l'heure.

La disposition en tranchée ouverte qui peut séduire au premier abord en raison de son prix de revient moins élevé me paraît difficilement défendable, hormis quelques cas particuliers comme celui de l'avenue de Neuilly par exemple, pour la direction de Saint-Germain : on ne voit pas bien, en effet, les routes des environs immédiats de Paris bordées d'une tranchée de 7 m. de largeur.

Il me paraît donc qu'il faudra, de toute nécessité, recourir soit au souterrain comme à l'intérieur de Paris, soit tout au moins à la tranchée couverte qui n'est d'ailleurs, à tout prendre, qu'une variante du souterrain.

Je n'insiste pas davantage sur cette question. Elle mérite d'être examinée très attentivement : je la livre à vos méditations.

* * *

Conclusion. — J'ai terminé, Messieurs. Il me reste à m'excuser d'avoir retenu si longtemps votre attention et à vous remercier de m'avoir écouté si patiemment.

Le Métropolitain de Paris est une œuvre grandiose, tant en soi, par sa portée économique et sociale, que par les travaux considérables qu'il a nécessités. J'ai fait de mon mieux pour vous en donner un aperçu, mais j'ai dû laisser dans l'ombre un certain nombre de questions comme celles de l'équipement des lignes, du matériel roulant, de l'exploitation qui cependant auraient mérité d'être mises en lumière : le sujet est trop vaste.

Dans la préface qu'il a écrite pour l'ouvrage du regretté Jules Hervieu, *Le Chemin de fer Métropolitain municipal de Paris*, M. l'Inspecteur général Bienvenüe écrivait : « L'artiste imprime à son œuvre un sceau de personnalité. L'ingénieur est amené souvent

à se considérer comme l'artisan d'une œuvre impersonnelle : car, si dans l'ordre technique, l'idée précise et concrète est bien le fruit de la méditation individuelle, la forme qu'elle revêt résulte de la synthèse d'un grand nombre d'efforts différents. Ce caractère impersonnel se rencontre au plus haut degré dans le Métropolitain de Paris. »

L'idée est juste mais elle demande à être complétée. C'est que pour coordonner le faisceau de ces efforts différents, pour rendre leur résultante efficace, il fallait à la tête une volonté intelligente, perspicace et ferme. La Ville de Paris en a la bonne fortune de trouver en M. l'Inspecteur général Bienvenüe cette direction éclairée et toujours en éveil sans laquelle le Métropolitain de Paris n'aurait pu se dégager des multiples difficultés qu'il a fallu surmonter.

Ces efforts individuels, vous en avez donné sans compter, Messieurs ; vous n'avez ménagé ni votre temps, ni votre peine. Vous pouvez revendiquer légitimement d'avoir contribué pour une bonne part à la réussite de l'œuvre : ce n'est que justice de le reconnaître.

21 Décembre 1921.

TABLE DES MATIÈRES

Historique du Métropolitain.	5
Développement du réseau urbain. Plan général du réseau.	9
Gabarit du Métropolitain.	10
Concession du Métropolitain. La convention de 1898.	11
Concession du Métropolitain. La convention de 1921.	13
Données fondamentales sur lesquelles est établi le Métropolitain.	16
Dispositions générales des ouvrages du Métropolitain.	18
Relations entre les lignes métropolitaines. Bifurcations	23
Terminus	24
Aperçu sur la constitution géologique du sous-sol de Paris.	25
Indications générales sur l'exécution des travaux.	27
Exécution du souterrain au moyen du bouclier.	28
Exécution du souterrain par la méthode des galeries boisées.	29
Difficultés rencontrées dans l'exécution des travaux	32
Viaduc sur la Seine à Passy.	32
Viaduc d'Austerlitz et travées hélicoïdales du bas port de Bercy. . .	34
Viaduc de Bercy.	36
La ligne N° 4 à la traversée de la Seine, à la Cité.	37
La ligne N° 8 à la traversée de la Seine en aval du pont de la Concorde	42
Traversée du hall de la gare d'Austerlitz	45
Ouvrages de superposition des lignes N°s 3, 7 et 8 à la place de l'Opéra.	46
La ligne N° 2 (sud) à la traversée des fontis du boulevard de Vaugi- rard et du boulevard Raspail	47
La ligne N° 7 à la traversée des carrières d'Amérique.	48
Les travaux de la ligne N° 3 aux abords de la place Gambetta. . .	49
Les travaux de la ligne Porte de Saint-Cloud-Trocadéro-Opéra à la traversée de la place de l'Alma.	50
Les travaux de prolongement de la ligne N° 7 entre le Palais-Royal et l'Hôtel de Ville.	52

Vues sur l'avenir du Métropolitain :

Prolongements en banlieue.	59
Le plan Molinié.	60
Premières lignes à construire en banlieue.	60
Une opinion sur les conditions d'établissement des lignes métropolitaines en banlieue.	61
Conclusions.	63

