

LE

CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN

DE PARIS

Par M. R. GODFERNAUX,

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

(Pl. VII et VIII).



Dans les numéros de Septembre 1900 et d'Avril 1903 de la *Revue Générale*, nous avons donné des renseignements détaillés sur la constitution du Métropolitain de Paris et indiqué les lignes faisant partie de la première concession accordée par la loi du 30 Mars 1898. Nous avons également décrit assez longuement les deux premières lignes mises en exploitation (lignes n^{os} 1 et 2, Nord).

Dans le numéro d'Avril 1909 nous avons indiqué :

1^o Les additions apportées en 1903 et 1904 à la concession primitive du 30 Mars 1898, d'une longueur de 78,026 m. et qui sont les suivantes :

a. Ligne n ^o 3 bis de la station de l'Avenue de Villiers à la Porte de Champerret..	1.916 m.
b. Ligne n ^o 7 bis du carrefour Louis Blanc à la Porte de la Villette.....	2.737 m.
c. Ligne de la Porte de Saint-Cloud au Trocadéro.....	4.560 m.
Longueur totale.....	9.213 m.

Ce qui porte à 87.239 mètres la longueur totale des lignes aujourd'hui en exploitation ou sur le point de l'être.

2^o Les lignes concédées par le Conseil Municipal en 1907 :

a. A titre ferme, pour une longueur de.....	39.003 m.
b. A titre éventuel, pour une longueur de.....	16.040 m.

Une carte jointe au N^o d'Avril 1909 montre les différentes lignes de ce réseau.

A l'heure actuelle, la longueur totale des lignes concédées à la Compagnie du Métropolitain à titre ferme, est de 126.242 mètres et à titre éventuel de 16.040 mètres.

Finalement, la longueur totale du Métropolitain de Paris, lorsque toutes ces lignes seront achevées, sera de : 142.282 mètres.

Pour faire face à ces dépenses la ville de Paris a effectué quatre emprunts successifs dont le montant total s'élève à 490 millions, ce qui, pour une longueur de 126 kilomètres concédés à titre ferme et pour lesquels cet emprunt a été fait, représente une dépense moyenne de 3.300.000 francs par kilomètre.

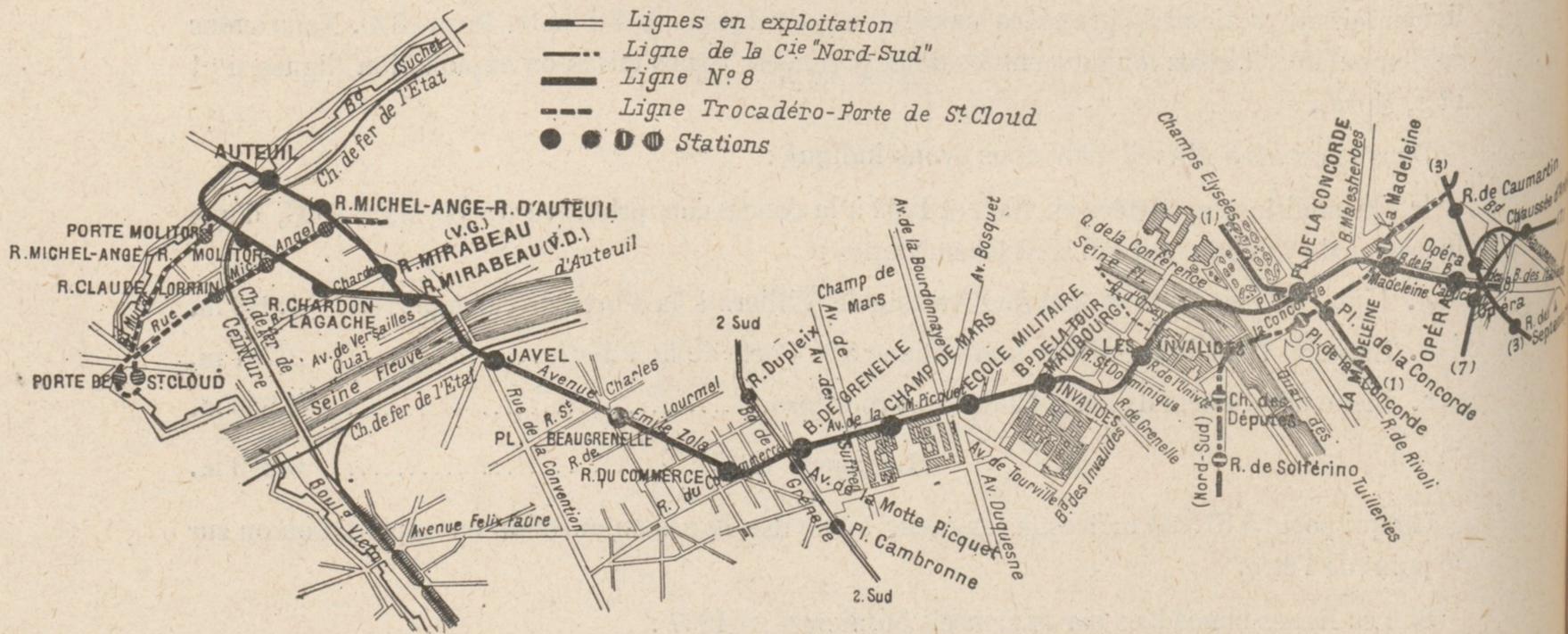
Dans ce même numéro d'Avril 1909, nous avons décrit les travaux importants et fort intéressants exécutés sur les lignes alors terminées lors de la publication de l'article.

Dans ce nouvel article, nous vous proposons de compléter ces renseignements en donnant quelques indications sur les travaux très remarquables exécutés sur les lignes 7 et 8, aujourd'hui livrées à l'exploitation ou sur le point de l'être : la première, de la Place du Danube au Palais Royal avec embranchement vers la Porte de la Villette, la seconde d'Auteuil à l'Opéra.

LIGNE N° 8. D'AUTEUIL A L'OPÉRA.

La ligne n° 8 d'Auteuil à l'Opéra d'une longueur de 8.580 mètres (Fig. 1), forme à son origine une boucle allongée, dont le sommet se trouve à la porte d'Auteuil, près de la station des

(1) Fig. 1. — PLAN DE LA LIGNE N° 8 D'AUTEUIL A L'OPÉRA.



chemins de fer de l'État. La branche Sud de cette boucle passe par la porte Molitor, suit les rues Molitor et Mirabeau, tandis que la branche Nord suit la rue d'Auteuil en s'écartant le plus

(1) Les figures de cette note ont été empruntées aux *Annales des Ponts et Chaussées*, au *Génie Civil* et aux *Nouvelles Annales de la Construction*.

possible de l'église d'Auteuil, dont les fondations sont peu profondes, pour emprunter ensuite la rue Wilhem jusqu'à son extrémité où elle rencontre la branche Sud à la station de Mirabeau (V. D.). La ligne n° 8 passe ensuite sous la Seine, en aval du pont Mirabeau, pour se développer sur la rive gauche, en empruntant l'avenue Emile Zola et la rue du Commerce. Puis, après avoir traversé le boulevard de Grenelle, elle suit l'avenue de la Motte-Picquet, l'esplanade des Invalides et la rue de Constantine jusqu'à la rue de l'Université. A partir de ce point, la ligne n° 8 passe à nouveau sous la Seine en aval du pont de la Concorde. Après avoir traversé la place de la Concorde et suivi la rue Royale, elle parvient à l'Opéra par les boulevards de la Madeleine et des Capucines où elle se termine en cul-de-sac en passant au-dessous des lignes 3 et 7, dans l'ouvrage de superposition construit sur la place de l'Opéra au moment des travaux de la ligne n° 3.

Le rayon minimum des courbes sur la ligne n° 8 est, comme pour les autres lignes, de 75 mètres, sauf pour le raccordement de service avec la ligne n° 1, où le rayon des courbes est réduit en quelques endroits à 40 mètres. Du reste, le développement total des courbes de 75 mètres de rayon ne dépasse pas 8,2 % de la longueur entière.

Les déclivités maxima de 4 % qu'il a fallu employer en certains points ne règnent que sur 1.321 mètres, c'est-à-dire sur 15 % de la longueur totale.

Les stations de la ligne n° 8 sont au nombre de dix-sept, espacées en moyenne de 534 mètres. L'intervalle maximum de 952 mètres se trouve entre les stations des Invalides et de la place de la Concorde.

Les ouvrages d'art courants n'offrent rien de particulier et sont établis suivant les types déjà décrits dans les précédents numéros de la *Revue Générale*. Nous nous attacherons donc plus spécialement, aux ouvrages des deux traversées sous-fluviales de la Seine, ainsi qu'à certains ouvrages spéciaux ayant nécessité des dispositions différentes de celles des types courants.

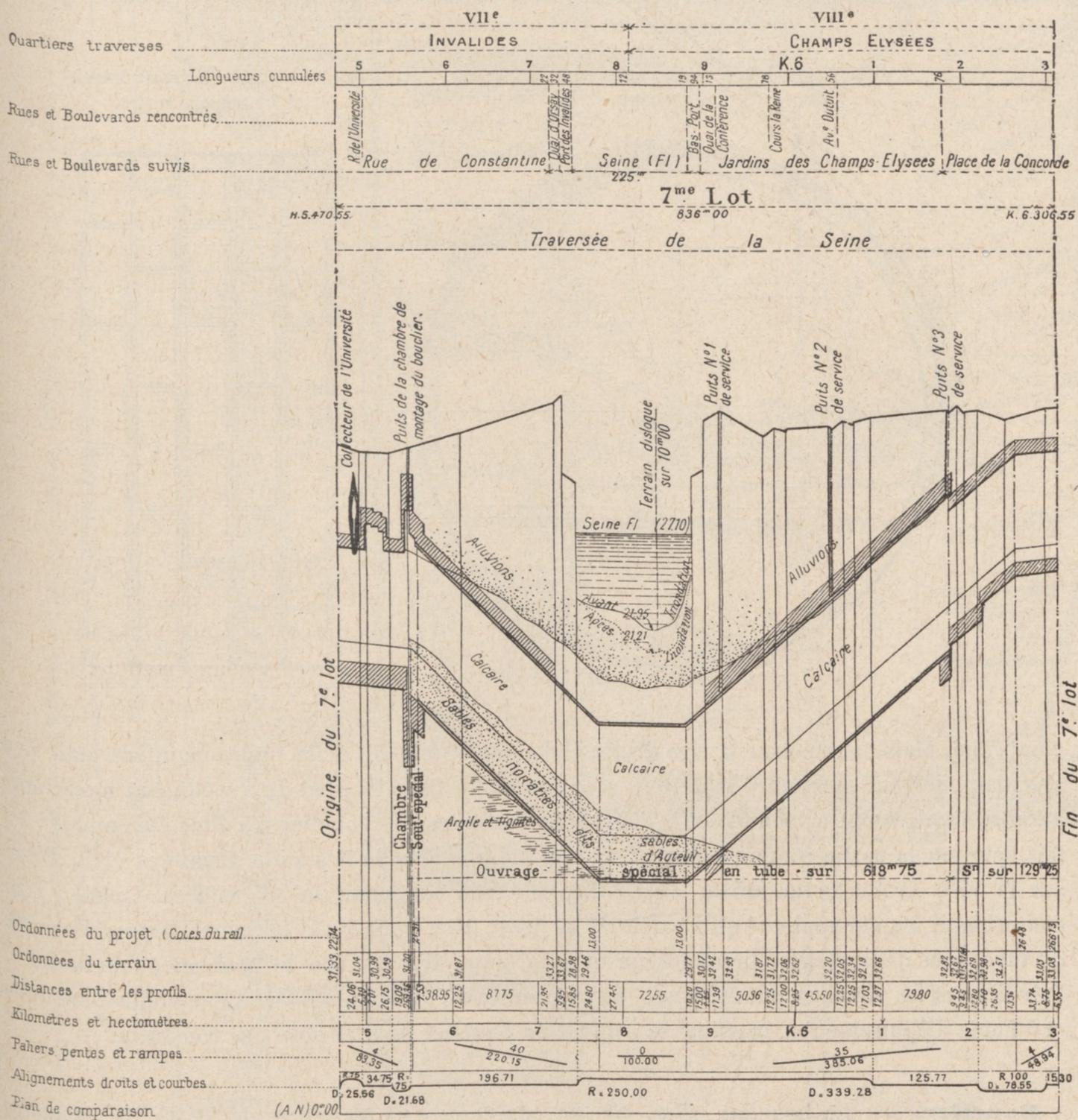
Le prix d'évaluation pour la ligne entière dont la longueur est de 8.580 mètres, est de 28.840.000 francs, soit 3.313 francs par mètre courant.

Traversée de la Seine à l'aval du Pont de la Concorde. — Comme le montre la Figure 2, le passage sous la Seine en aval du pont de la Concorde, se fait par une courbe de 250 mètres de rayon et de 339^m,28 de longueur, prolongée par des alignements droits dont l'un, sur la rive gauche, de 196^m,71 de longueur se termine près de la station « Invalides », et l'autre, sur la rive droite, de 125^m,77 de longueur, est suivi d'une courbe de 100 mètres de rayon qui vient aboutir à la station « Place de la Concorde ». Le profil en long (Fig. 3) a la forme d'une cuvette formée sur la rive gauche d'une pente de 40^{mm} par mètre, de 220^m,45 de longueur et, sur la rive droite, d'une seconde pente de 35^{mm} par mètre et de 385^m,06 de longueur, ces deux pentes étant raccordées par une partie en palier de 100 mètres de longueur.

La traversée sous-fluviale proprement dite, ainsi que les souterrains des abords sous chaque rive, le tout comportant un cuvelage en fonte, ont une longueur totale de 618^m,75. Par suite des exigences de la navigation dans la courbe très accentuée que présente la Seine à cet endroit et de la décision du Ministre des Travaux Publics s'opposant à toute solution comportant le fonçage vertical des caissons, comme on l'avait fait pour la ligne n° 4, la Commission du Métropolitain, à la suite d'un concours, fut amenée à donner la préférence au projet par cheminement horizontal présenté par MM. Dayde et Pillé. Ce projet comportait l'exécution d'un

chaux entre le cuvelage en fonte et le sol ; on obtient ainsi autour des tubes, une chape de 80^{mm} d'épaisseur en moyenne. Le joint de deux anneaux successifs sont croisés de telle sorte que le voussoir de clef se trouve placé tantôt à droite, tantôt à gauche du diamètre vertical du tube. La rigidité de celui-ci se trouve ainsi augmentée.

Fig. 3. — PROFIL EN LONG DE LA TRAVERSÉE DE LA SEINE EN AVAL DU PONT DE LA CONCORDE.



Comme on l'a vu le tracé au passage de la Seine suit une courbe de 250 mètres de rayon et de plus, en profil, il se compose de parties en pente se raccordant avec un palier situé au point bas de la traversée. Il était donc indispensable de faire emploi d'une série d'anneaux coniques spéciaux, les uns permettant au cuvelage de suivre la courbe de 250 mètres de rayon, et les

autres d'opérer le passage du palier aux déclivités ou réciproquement. Pour les premiers la longueur de l'anneau aux naissances est de 750^{mm}, à l'intérieur et de 774^{mm} à l'extérieur. Les seconds, servant à passer du palier aux déclivités, ont une longueur de 0^m,774 au radier et de 0^m,750 à la clef.

D'autres anneaux également coniques horizontaux et verticaux, mais plus coniques que les précédents, avaient été également prévus afin de corriger les écarts de direction, soit en plan, soit en profil. Le poids du mètre courant de cuvelage est de 10.540 kg.

D'après le projet, le tube sur toute sa longueur devait être exécuté avec le bouclier et l'air

Fig. 4. — COUPE TRANSVERSALE DU CUVELAGE EN FONTE.

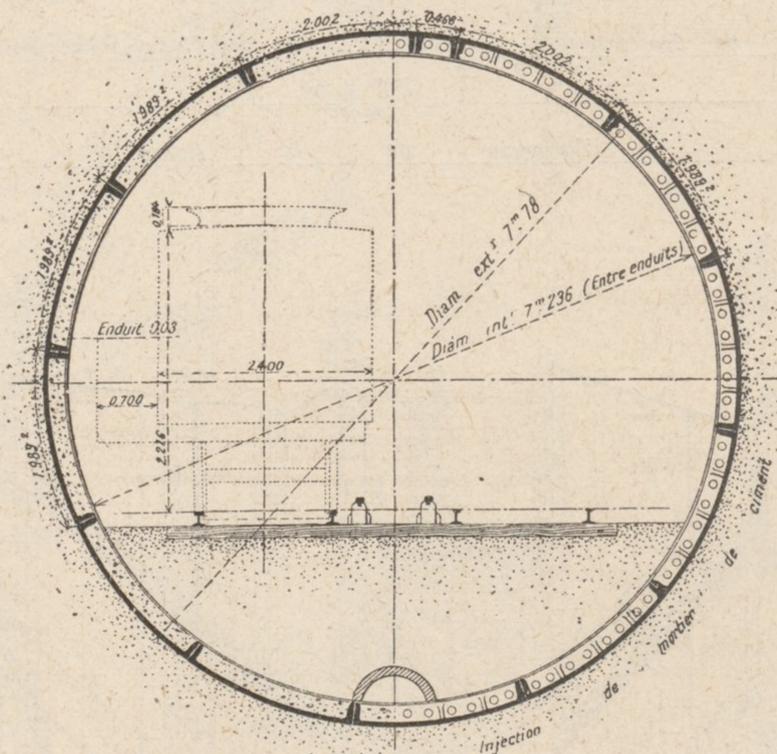
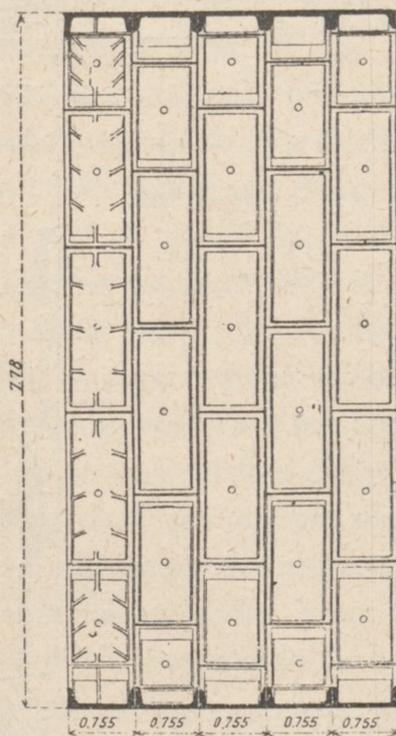


Fig. 5. — COUPE LONGITUDINALE DU CUVELAGE EN FONTE.

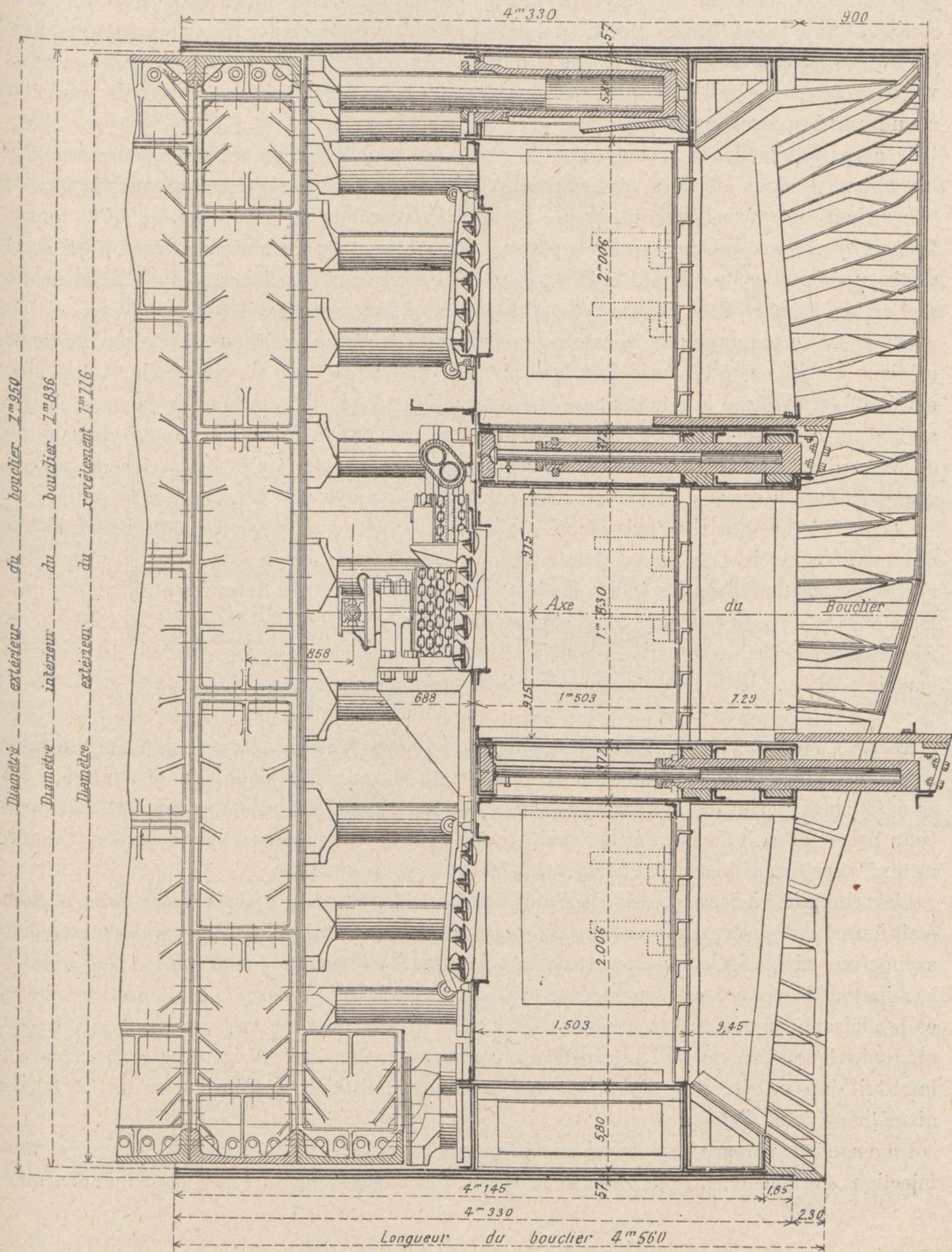


comprimé. Mais, comme sur la rive droite de la Seine, le débit de la nappe aquifère était peu abondant, les entrepreneurs tentèrent avec succès de faire la pose du revêtement métallique à l'abri d'une voûte maçonnée et à l'aide d'épuisements. Le bouclier n'a donc été employé en fait, que sur la partie comprise entre l'origine du tube près de la station Invalides et la berge sur la rive droite de la Seine, c'est-à-dire sur une longueur de 365 mètres. Quant à l'air comprimé il n'a été appliqué qu'à partir de la berge rive gauche de la Seine. Depuis l'origine du tube, près de la station Invalides, jusqu'à la berge rive gauche le bouclier a fonctionné à l'air libre et les anneaux ont été posés, comme sur la rive droite, à l'abri d'une voûte maçonnée et à l'aide d'épuisements, mais en se servant du bouclier pour la pose des voussoirs.

Bouclier. — Le bouclier (Fig. 6) se compose d'un cylindre de 7^m,95 de diamètre extérieur et de 4^m,35 de longueur formé de trois tôles d'acier superposées d'une épaisseur totale de 57^{mm}. Ce cylindre, à la partie avant, est prolongé à sa moitié inférieure sur une longueur de 0^m,23 et terminé par un couteau en acier coulé. Ce couteau à la partie supérieure du bouclier se transforme en visière de 0^m,90 de saillie soutenue par des goussets et destinée à soutenir le sol au-dessus du chantier de terrassements.

L'enveloppe cylindrique de 1^m,503 de longueur et qui forme le corps du bouclier est raidie au moyen de deux anneaux de tôles et cornières ayant 0^m,58 de hauteur, entretoisés par 27 poutrelles longitudinales formant autant de chambres dans chacune desquelles est logé un vérin hydraulique servant à la propulsion du bouclier.

Fig. 6. — COUPE VERTICALE DU BOUCLIER.



Ce corps est partagé par trois cloisons verticales et deux cloisons horizontales qui donnent une rigidité absolue à l'ensemble de l'appareil. On délimite ainsi huit ouvertures de 1^m,10 de largeur pouvant être fermées à volonté, au moyen de volets au droit de chacune des cloisons transversales.

Deux séries de plateformes horizontales partagent en trois étages la hauteur de l'avant-bec du tablier et chaque série se compose des quatre éléments pouvant chacun être poussés en avant jusqu'au front d'attaque au moyen de deux vérins hydrauliques ; on dispose ainsi de trois ateliers, l'un à la hauteur du radier du tube et les autres installés sur les plateformes mobiles. On évacue les déblais à travers le corps du bouclier dans des wagonnets circulant sur des voies placées sur le radier du tube, soit directement à la pelle, soit au moyen de goulottes aboutissant à ces wagonnets (Fig. 7).

Le corps du bouclier se prolonge vers la queue sur une longueur suffisante pour permettre le montage de deux anneaux, tout en recouvrant une partie du troisième anneau déjà monté.

Les vingt-sept vérins de poussée qui peuvent exercer une poussée totale de 3.443 tonnes forment quatre groupes indépendants pouvant être commandés par un seul robinet, celui de la partie supérieure composé de six vérins, celui du bas et ceux des flancs composés chacun de sept vérins. De plus, dans chaque groupe chacun des vérins peut être isolé des autres.

On opère le montage des voussoirs au moyen d'une grue fixée sur la cloison verticale médiane. Cette grue est formée d'un bras pivotant autour de l'axe du souterrain et dont une extrémité (grip) forme la tête d'une presse hydraulique logée dans le bras de la grue, l'autre portant un contre-poids. Deux chaînes permettent l'orientation de cette grue. Le montage du cuvelage d'un anneau s'opère de la façon suivante : chaque voussoir est amené sur un wagonnet dans la queue du bouclier. Fixé sur le grip au moyen de broches, on le soulève en ramenant le grip en arrière, puis on oriente la grue en la plaçant en face de la position que doit occuper ce voussoir. On allonge alors le grip, et alors on place celui-ci dans la position voulue, après interposition dans les joints de lamelles de bois créosoté. Il ne reste plus alors qu'à maintenir le voussoir au moyen de boulons. Les commandes hydrauliques et la robinetterie nécessaires pour la manœuvre du bouclier sont disposées sur la cloison arrière du corps du bouclier, à la portée du mécanicien qui se tient sur la plateforme supérieure.

Usine Centrale. — La fourniture d'air comprimé et d'eau à haute pression pour la mise en action du bouclier, ainsi que celle de l'électricité pour l'éclairage et la force motrice, a été assurée par une usine établie sur l'esplanade des Invalides. L'énergie électrique nécessaire à cette usine lui était fournie par la Société le "Triphasé" d'Asnières, et par celle des "Moulineaux" sous forme de courant triphasé à 5.500 volts et 25 périodes.

L'air comprimé à basse pression qui doit équilibrer la pression hydrostatique dans le tube était fourni par quatre compresseurs actionnés chacun par courroie au moyen d'un moteur asynchrone triphasé d'une puissance de 220 chevaux fonctionnant à 5.500 volts et 360 tours à la minute. Chaque compresseur à deux cylindres marche à la vitesse de 100 tours à la minute en produisant par minute à la pression de 2 k. 80, 70 mètres cubes d'air mesuré à la pression atmosphérique. L'air refroidi à sa sortie du compresseur dans un réfrigérant par surface est introduit dans un réservoir d'où il se rend par une canalisation en tôle d'acier de 0^m,30 de diamètre au front d'attaque.

Un cinquième compresseur sert à comprimer à la pression de 7 k. 30 l'air nécessaire aux injections de ciment entre le sol et le cuvelage. Ce compresseur du type Compound fournit à

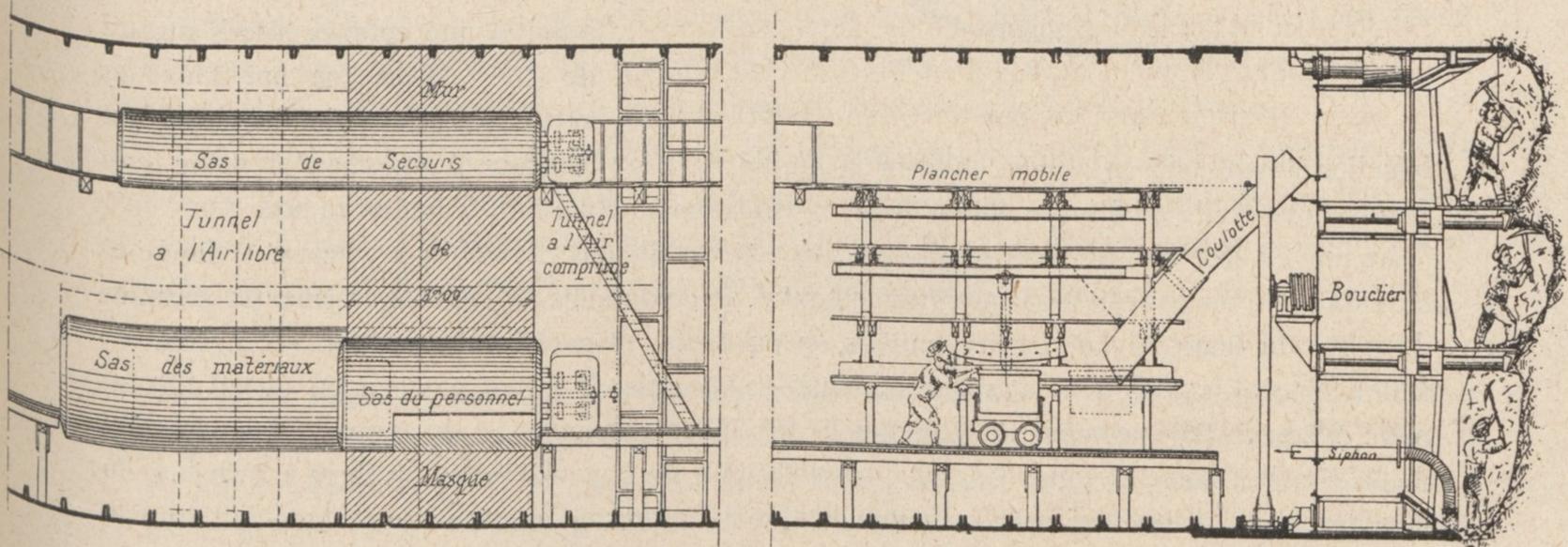
la vitesse de 150 tours à la minute et en absorbant une puissance de 80 chevaux, 15 mètres cubes d'air par minute, mesurés à la pression atmosphérique. Cet air est amené dans le tube par des tuyaux en acier de 73^{mm} de diamètre.

Deux séries de pompes à trois corps fournissent l'eau comprimée nécessaire à la manœuvre du bouclier, des plateformes de travail et de la grue de montage des voussoirs. En absorbant une puissance de 45 chevaux, chacune de ces pompes débite 40 litres d'eau par minute sous la pression de 350 k. par centimètre carré. Les tubes d'acier de 36^{mm} de diamètre intérieur et de 12^{mm} d'épaisseur amènent cette eau au lieu d'emploi. Un jeu de valve permet de réduire à 150 k. la pression de cette eau, cette dernière pression étant celle suffisante pour la manœuvre de la grue de montage.

Deux moteurs asynchrones triphasés de 190 volts, 25 périodes, marchant à 735 tours à la minute et pouvant produire chacun 100 chevaux actionnent, au moyen de transmission par courroie, les pompes et les compresseurs d'air à haute pression.

Marche du bouclier à l'air comprimé. — Ainsi que nous l'avons vu plus haut, l'air comprimé n'a été employé que lorsque le bouclier est parvenu dans le voisinage de l'aplomb de la berge rive gauche de la Seine, celui-ci, dans la partie comprise entre l'origine (station des Invalides) et ce dernier point, ayant fonctionné à l'air libre en servant à poser le cuvelage à

Fig. 7. — COUPE LONGITUDINALE DU TUNNEL MONTRANT LA MARCHÉ DES TRAVAUX.



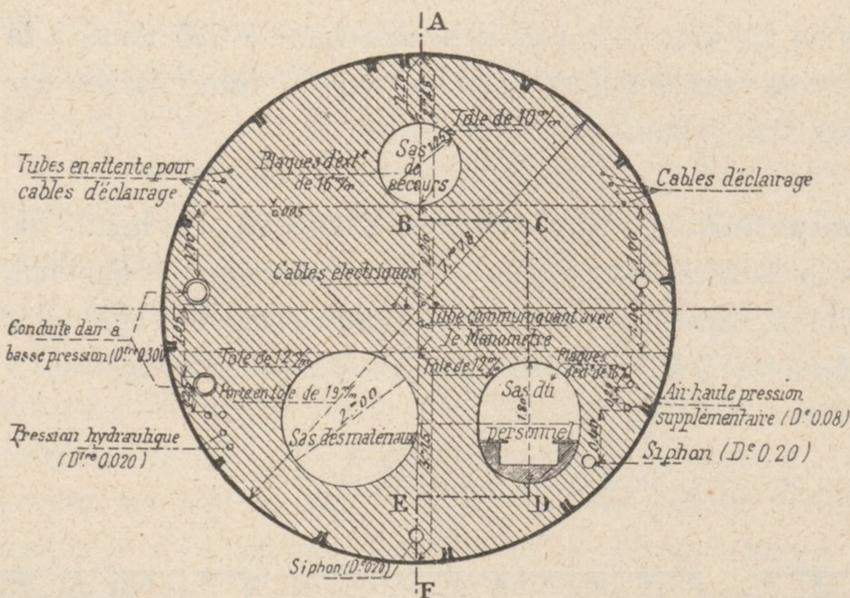
l'abri d'une voûte de protection en maçonnerie. Arrivé à ce point et afin de mettre en action l'air comprimé, on a dû tout d'abord construire un mur barrage de trois mètres d'épaisseur situé à 154^m, 60 en arrière de l'extrémité de la voûte de protection. (Fig. 7 et 8). Trois sas étaient ménagés dans ce mur ; l'un servant au passage des wagonnets, l'autre servant à l'entrée et à la sortie du personnel, tous deux à la partie inférieure du tube et le troisième placé à la partie supérieure du tube et devant servir à la sortie du personnel en cas d'envahissement du chantier par les eaux.

Nous ne pouvons nous étendre sur les difficultés rencontrées pendant le fonctionnement du bouclier avec l'air comprimé, difficultés souvent assez sérieuses provenant presque toujours d'infiltrations d'eau ou de fuites d'air qu'on est parvenu à arrêter soit par le glaisage du front

d'attaque, soit en déchargeant en Seine au-dessus de l'avancement des couches de terre, soit en pratiquant dans les fissures du sol des injections de coulis de chaux qui ont donné d'excellents résultats. On trouvera du reste, des renseignements très complets sur cette question dans le mémoire publié par M. Suquet, dans les Annales des Ponts et Chaussées (1911 — 1^{er} fasc.), mémoire dans lequel nous avons déjà puisé un certain nombre de nos renseignements. Nous nous contenterons de dire quelques mots de la marche normale du bouclier.

On exécutait simultanément (Fig. 7) les terrassements sur toute la hauteur du front

Fig. 8. — SECTION TRANSVERSALE PAR LE MILIEU DU BARRAGE.



d'attaque au moyen de trois chantiers placés sur le radier et sur les deux plateformes du bouclier. Les déblais étaient ensuite évacués vers l'arrière dans les wagonnets circulant sur les voies Decauville et remorqués jusqu'au sas par un tracteur électrique à trolley. Après avoir passé le sas ils étaient repris par un autre tracteur à trolley, qui les amenait au puits percé près de la station des Invalides d'où ils étaient montés à la surface.

La poussée du bouclier s'effectuait aussitôt que celui-ci s'était avancé de 0^m,90. Dans ce but tous les vérins de la partie inférieure du

bouclier étaient mis en action, environ la moitié de ceux latéraux et seulement deux ou trois vérins de la partie supérieure, afin d'éviter la tendance du bouclier à prendre du nez.

Au moyen de réglettes divisées, placées aux extrémités des diamètres verticaux et horizontaux du tube, on pouvait à chaque avancement d'un centimètre de celui-ci, vérifier la distance du corps du bouclier au dernier anneau de cuvelage, et rectifier la position en mettant en action du côté voulu un ou deux vérins supplémentaires. Il fallait environ un quart d'heure pour effectuer l'avancement du bouclier de 0^m,75 correspondant à un anneau. Mais par suite de la compression des joints en bois, sous l'action de la poussée, le cuvelage à l'arrière du bouclier se comprimait lui-même sur une dizaine de mètres et la largeur apparente de l'avancement du bouclier atteignait 0^m,80 à 0^m,85.

Les écarts d'alignement ont toujours été très faibles et n'ont pas dépassé 0^m,08 et ceux de nivellement 0^m,066.

Les vérins étaient rentrés aussitôt la poussée terminée et immédiatement après, on montait l'anneau de cuvelage à l'abri de la queue du bouclier en reprenant en même temps les terrassements.

Les injections en arrière du cuvelage ont été faites au moyen d'un coulis composé de 2/3 de chaux hydraulique de Belfes et de un tiers de graviers. Cette injection s'opérait en introduisant dans un récipient cylindrique en tôle de 300 litres de capacité l'eau et la chaux. Au moyen d'un arbre à palettes actionné par un petit moteur à air comprimé on opérait le malaxage. Puis en introduisant dans le récipient l'air comprimé à haute pression on envoyait le coulis en arrière du cuvelage au moyen d'un tuyau en caoutchouc vissé dans le trou d'injection

ménagé au centre de chacun des voussoirs. On commençait l'injection par le bas du tube et on la terminait par le haut.

En marche normale l'avancement du chantier a été de 0^m,75 en 24 heures. On n'a pu arriver à dépasser ce chiffre à cause de la dureté du terrain excavé qui a nécessité l'emploi fréquent de la poudre Favier.

L'exécution du souterrain à l'air comprimé, commencée le 15 Octobre 1909 a été terminée le 20 septembre 1910.

Construction du souterrain cuvelé sous la rive droite. — Comme nous l'avons dit plus haut, la pose du cuvelage sur la rive droite a été faite à l'abri d'une voûte maçonnée et sans l'aide du bouclier. Le procédé employé a consisté à exécuter par les procédés ordinaires, une voûte de protection sur le tiers supérieur de la section du tube en reprenant ensuite en sous-œuvre cette voûte, de manière à la faire reposer sur le calcaire solide. Puis, on exécuta une cuvette centrale qu'on mit ensuite à largeur pour la pose des anneaux. Afin d'éviter une trop longue exposition à l'air du terrain cette cuvette n'était ouverte que sur une longueur de 1^m,50 en avant du cuvelage et les eaux étaient épuisés par un puits creusé près du Cours la Reine. La pose des voussoirs s'est faite au moyen d'un appareil à peu près semblable à celui employé avec le bouclier et dont nous avons parlé, mais plus simple et actionné par un moteur électrique.

Un procédé analogue a été employé pour la pose du cuvelage sur la rive gauche, entre l'origine du tube et le point où l'air comprimé a dû être employé. Mais dans ce cas on faisait avancer le bouclier qui avait été construit dans une chambre près de l'origine du tube et on se servait de la grue de montage de celui-ci pour la pose des anneaux du cuvelage.

Les travaux adjugés le 22 juin 1907 ont été commencés le 1^{er} avril 1908 et terminés le 14 janvier 1911. Ils ont donc duré 32 mois et 14 jours avec une interruption de deux mois pendant la crue de la Seine 1910. Le prix d'évaluation de ce lot dont la longueur totale est de 836 mètres est de 6.530.000 francs, soit 7.820 francs le mètre courant.

Tunnel sous la Seine à l'aval du Pont Mirabeau. — Cette traversée s'effectue (Fig. 9) suivant un alignement droit intercalé entre deux courbes en sens contraire de 100 mètres de rayon. Le profil en long a la forme d'une cuvette (Fig. 9) constituée, sur la rive droite par une pente de 40^{mm} par mètre de 196^m,75 de longueur, et sur la rive gauche, par une pente de 40^{mm} par mètre sur 198^m,04, ces deux pentes étant raccordées au point bas par un palier de 75 mètres de longueur.

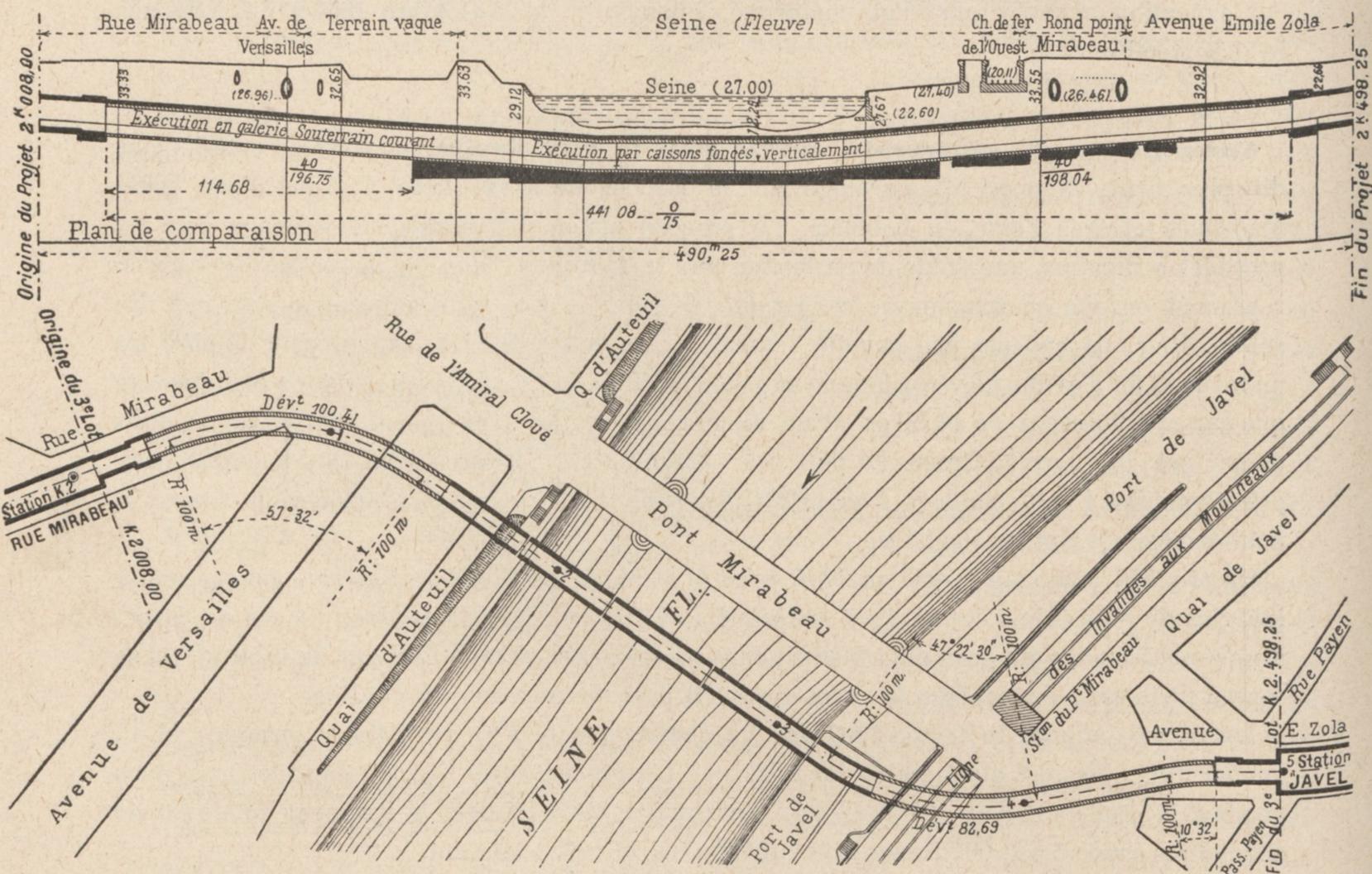
L'exécution des travaux de cette traversée fut soumise à un concours et, à la suite de ce dernier, la Commission du Métropolitain fixait son choix le 3 janvier 1907, sur le projet présenté par M. Perchot. Ce projet comportait l'emploi du fonçage vertical pour la traversée proprement dite du fleuve et du cheminement horizontal sur chacune des deux rives.

Mais en cours d'exécution en présence des terrains aquifères qu'on devait rencontrer sur la berge, rive gauche, on prit le parti de continuer tout au moins partiellement sur cette rive l'emploi des caissons avec fonçage vertical.

La longueur totale de la traversée est de 441^m,08 dont 326^m,40 ont été exécutés par fonçage vertical de caissons et 114^m,68 par cheminement horizontal. Nous ne nous étendrons pas longuement sur la disposition de ces caissons ni sur les procédés employés pour leur fonçage,

disposition et procédés qui sont les mêmes que ceux dont on s'est servi sur la ligne N° 4, au passage du grand et du petit bras de la Seine, près de la cité et décrits dans le numéro d'Avril

Fig. 9. — PLAN ET PROFIL EN LONG DU PASSAGE DE LA LIGNE N° 8 SOUS LA SEINE A L'AVANT DU PONT MIRABEAU.

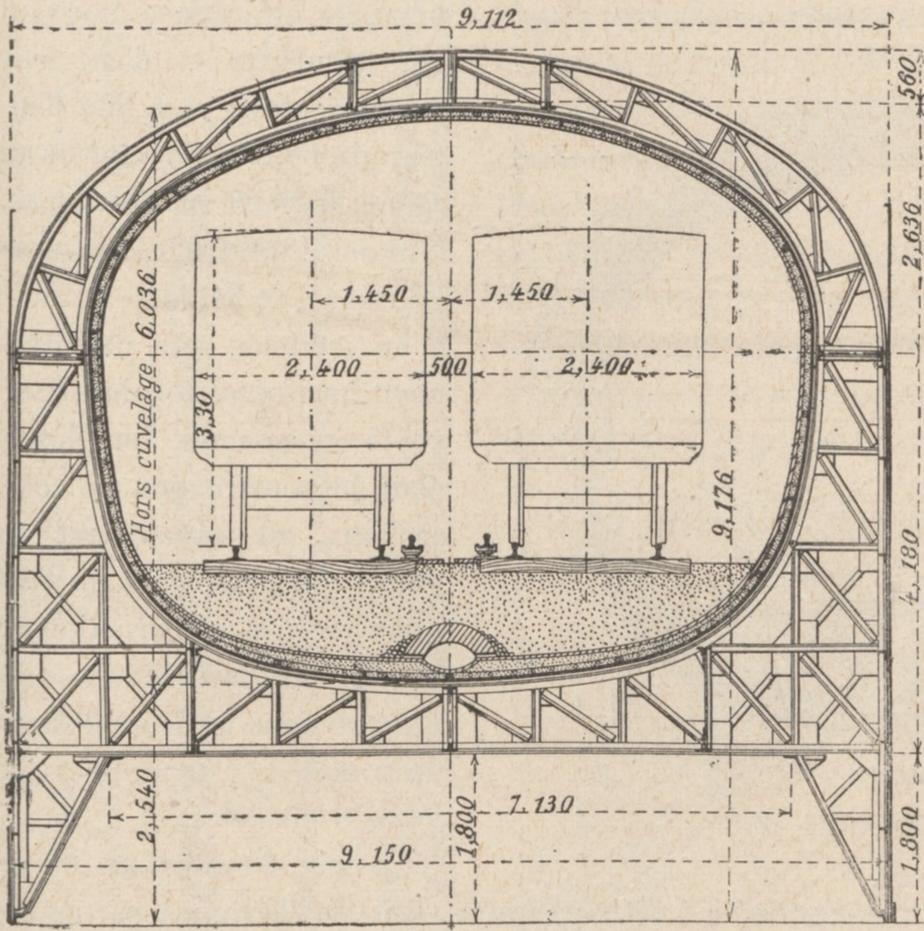


1909 de la "Revue générale". Il nous suffira d'indiquer les quelques modifications apportées et suggérées par l'expérience.

Cinq caissons dont la Figure 10 donne la coupe, ont servi pour franchir les 196^m,40 situés directement au-dessous de la Seine ; deux caissons de rive de 35^m,60 de longueur, un caisson central de 44^m,00 de longueur et deux caissons intermédiaires de 39^m,80. Quatre autres caissons dont la longueur varie entre 16^m.00 et 25^m,80 ont été foncés sur la rive gauche, au-dessous du chemin de fer des Invalides à Versailles, du quai de Javel et du rond-point Mirabeau. Pendant le fonçage un intervalle de 0^m,40 était ménagé entre chacun d'eux, intervalle qui doit être comblé après le fonçage des caissons afin d'obtenir le raccordement de ces derniers entre eux. Voici le procédé employé qui diffère complètement de celui dont on s'est servi sur la ligne N° 4 et que nous avons décrit. Ainsi que le montre la Fig. 11 l'extrémité d'un caisson a la forme d'un rectangle de 9^m,20 de hauteur et de 9^m,11 de largeur dont l'arête supérieure se trouve à 6^m,00 au-dessous de l'étiage. La première opération consiste à fermer latéralement l'intervalle de 0^m,40 entre les bouts rectangulaires des caissons en fonçant de chaque côté et le long des parois un tube creux de 0^m,51 de diamètre extérieur et de 0^m,40 de diamètre intérieur que l'on remplit ensuite de béton. Puis, au moyen d'une sonde, on extrait le terrain compris entre les

deux caissons et délimité latéralement par les deux tubes en fer. On coule ensuite dans cet

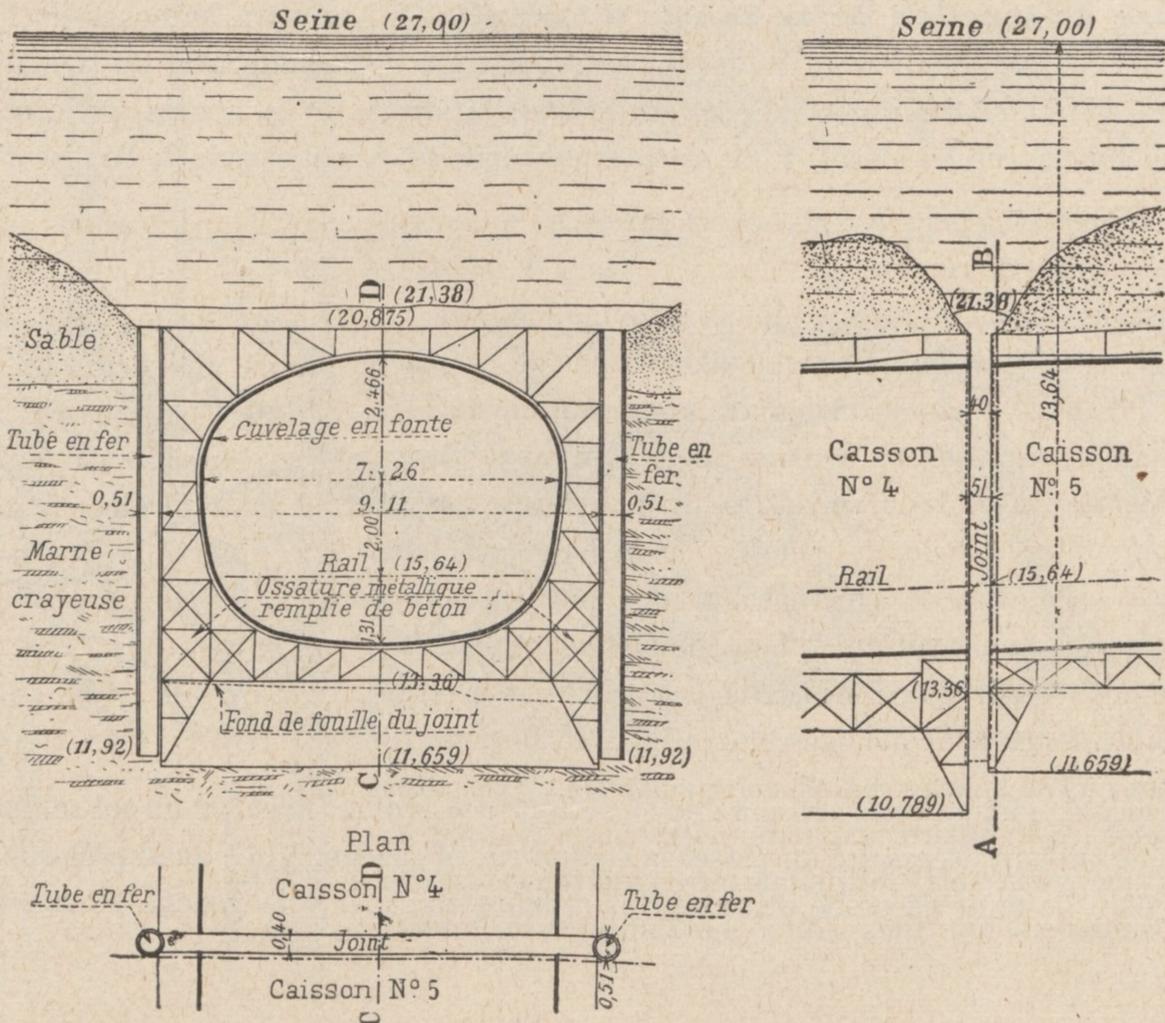
Fig. 10. — SECTION TRANSVERSALE DU SOUTERRAIN.



intervalle alors vide, un mortier de ciment de Portland dosé à raison de 1.200 k. de ciment par mètre cube de sable, mortier qu'on laisse durcir pendant un mois. Il ne reste plus alors qu'à découper ce massif de mortier très résistant pour obtenir la communication entre les deux tubes voisins. Ce procédé de raccordement des caissons a donné toute satisfaction.

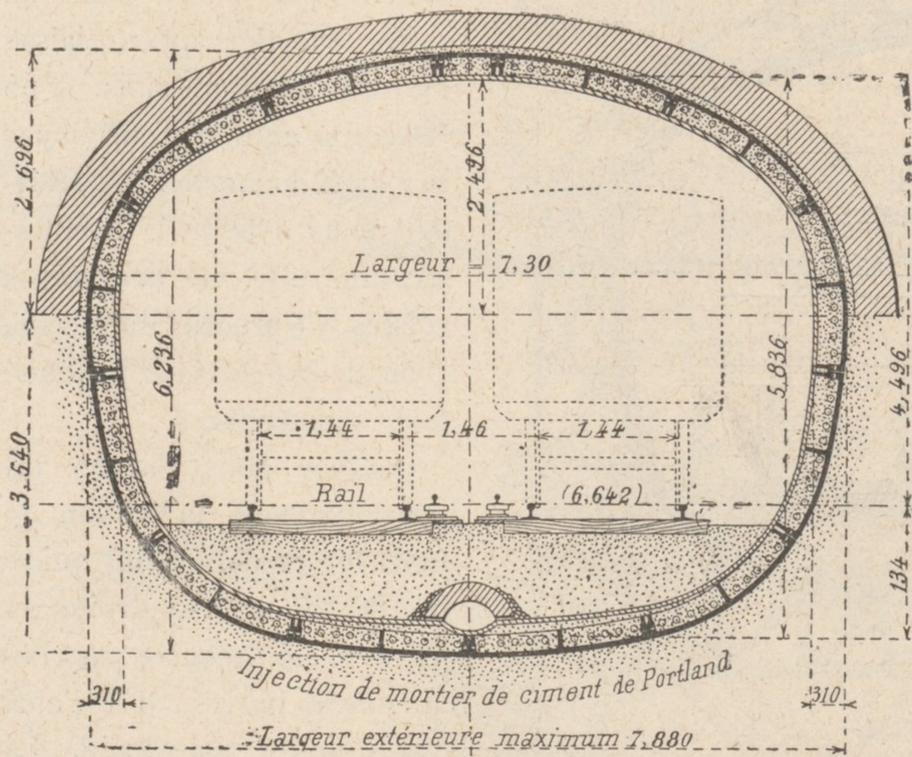
Comme nous l'avons dit précédemment, la section de la traversée de la Seine qui se trouve sur la rive droite du fleuve a été exécutée par cheminement horizontal à l'abri d'une voûte maçonnée. La partie métallique est constituée par un cuvelage en fonte

Fig. 11. — DISPOSITIF ADOPTÉ POUR LE RACCORDEMENT DES CAISSONS APRÈS LEUR FONCEMENT.



(Fig. 12) de forme ovoïde semblable à celle de la partie sous-fluviale proprement dite. La hauteur du cuvelage sous clef est de 5^m,836 et la largeur de 7^m,26. L'épaisseur des anneaux de fonte est de 40^{mm} et les nervures qui règnent sur tout leur pourtour et dans leur partie centrale ont une hauteur de 0^m,20 à la clef et au radier et 0^m,28 sur les flancs. L'intervalle entre les nervures est rempli de béton.

Fig. 12. — COUPE DU TUNNEL DANS LA SECTION CREUSÉE AVEC VOUTE DE PROTECTION.

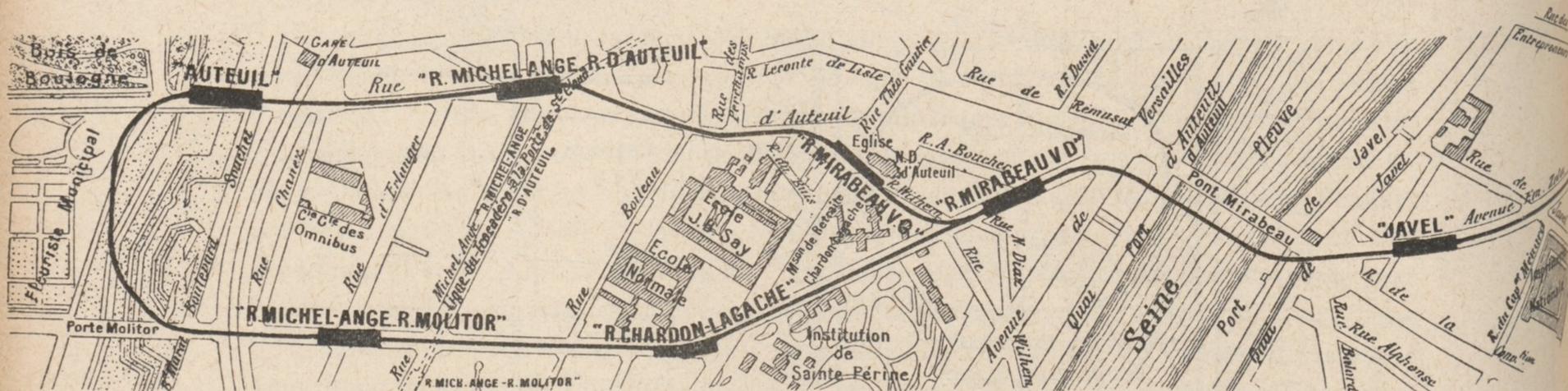


La méthode par cheminement horizontal à l'abri d'une voûte maçonnée employée pour la construction de cette section, est exactement la même que celle dont on s'est servi pour la construction de la section rive droite du passage sous la Seine à l'aval du pont de la Concorde et que nous avons décrite.

Le prix d'évaluation de ce lot dont la longueur est de 487^m,25 est évalué à 5.030.000 francs, soit 10.329 francs par mètre courant.

Ouvrage de jonction de la boucle d'Auteuil. — Les deux branches de la boucle d'Auteuil (Fig. 13) se réunissent, comme nous l'avons vu, à l'extrémité aval de la station, *rue Mirabeau, V. D.*, station qui ne dessert que la branche droite de la boucle, celle desservant la branche gauche *rue Mirabeau, V. G.* se trouvant reportée en amont près de l'église d'Auteuil.

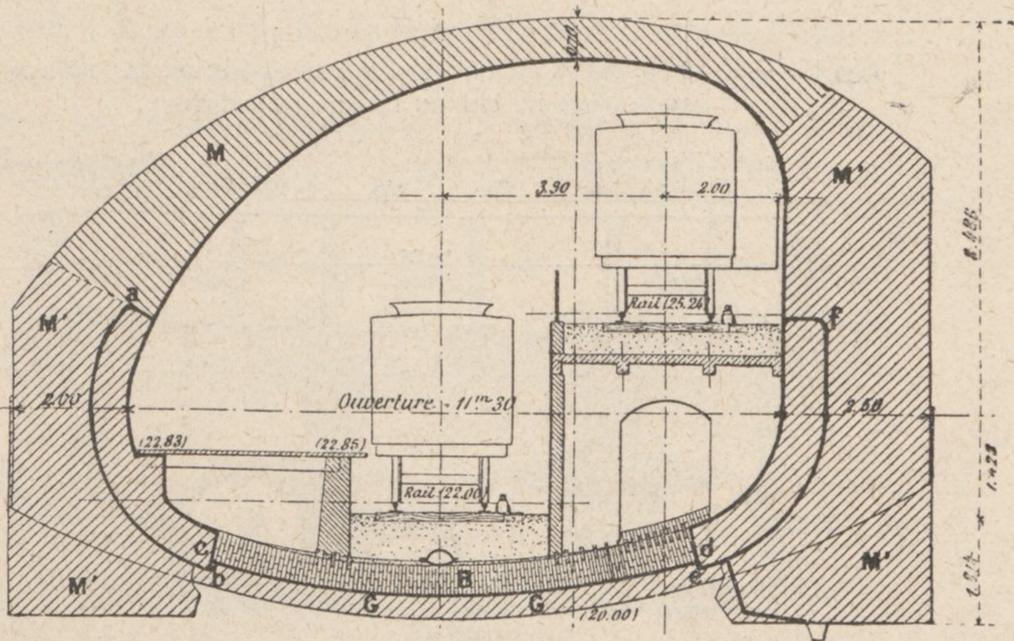
Fig. 13. — PLAN DE LA LIGNE N° 8 DANS LE QUARTIER D'AUTEUIL.



D'un autre côté, comme cette église a des fondations peu profondes et sur un sol sablonneux et que, de plus, il était nécessaire de placer la station *rue Mirabeau, V. G.* aussi près que possible du sol, il était de toute nécessité de se relever rapidement sur la voie gauche au moyen d'une

rampe de 40^{mm} par mètre, ayant son point de départ à l'extrémité aval de la station rue Mirabeau V.D., point de jonction des deux branches de la boucle. Dans ces conditions (Fig. 14) dans la station rue Mirabeau V. D. la voie droite qui est en palier est desservie par un quai, tandis que la voie gauche ne fait que la traverser au moyen d'une rampe continue de 40^{mm} par mètre ayant son point de départ à l'extrémité de la station, côté Seine. Il en résulte une différence de niveau de 3 mètres entre les deux voies à l'extrémité de la station, côté Auteuil. On eût pu construire une voûte unique du type ordinaire englobant ces deux voies à niveau variable, mais cette solution aurait entraîné un surcroît de dépenses considérable et on a pris le parti de

Fig. 15. — COUPE TRANSVERSALE DE LA STATION, RUE MIRABEAU V. D.



donner à la voûte de la station un profil dissymétrique variable. (Fig. 15).

La longueur totale de l'ouvrage est de 91^m,54 (Fig. 14) entre les pignons extrêmes de la station. Il est divisé en cinq chambres; les deux premières de 9^m,32 et 7^m,22 de longueur et les trois dernières de 25 mètres de longueur chacune. Les hauteurs variables de ces chambres sont indiquées sur la figure.

Comme nous venons de le dire la voûte dans la station a la forme d'un anse de panier dissymétrique dont les dimensions sont indiquées figure 15. Etant donné la résistance médiocre du terrain et le niveau élevé de la nappe aquifère qui se tient, en temps normal, à environ 6 mètres au-dessus du fond de la fouille, on a dû prendre des dispositions spéciales pour assurer la stabilité et l'étanchéité de l'ouvrage. Tout d'abord l'ouvrage a été assis sur la marne solide.

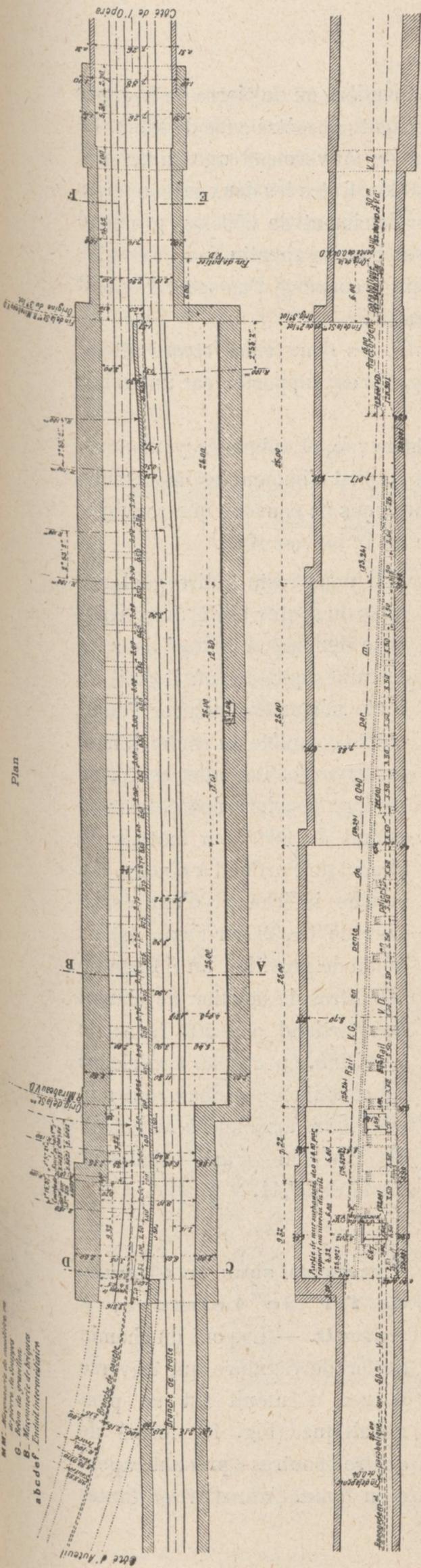


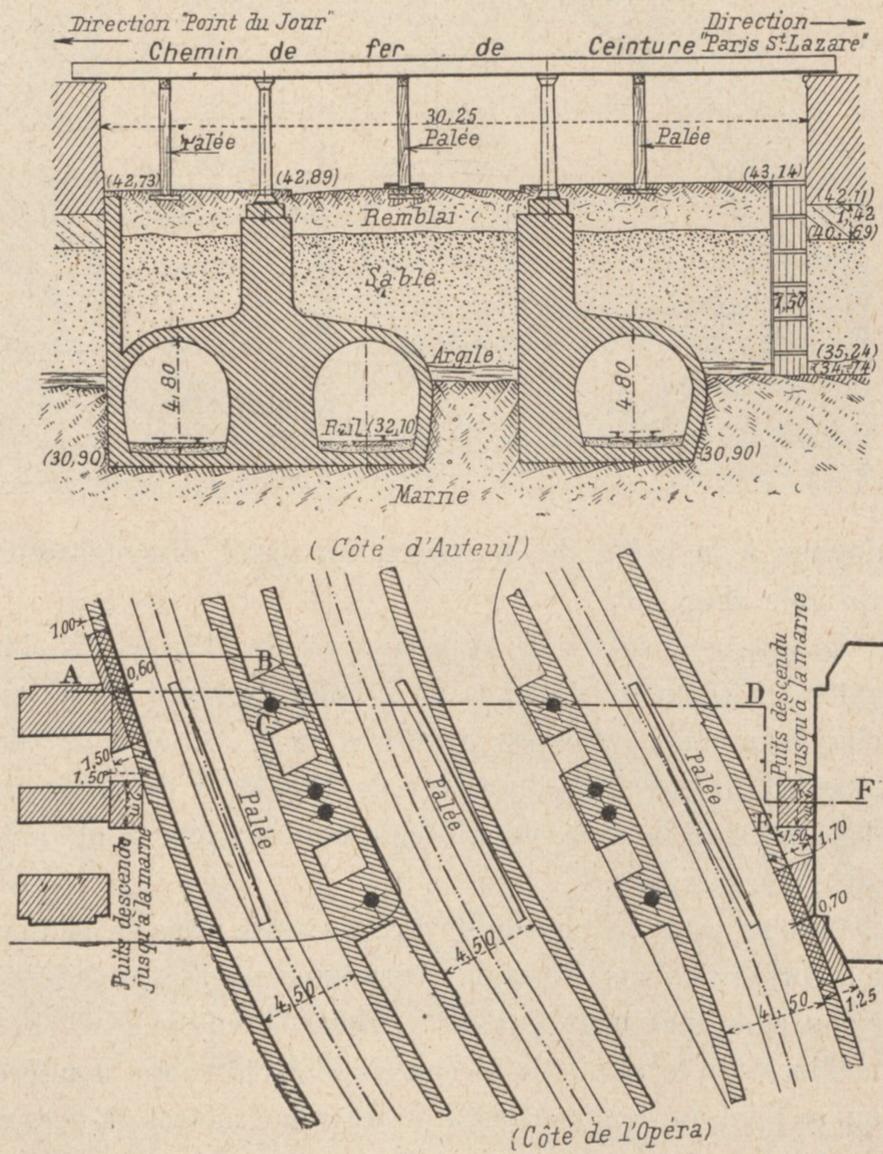
Fig. 14. — OUVRAGES DE JONCTION DES DEUX BRANCHES DE LA BOUCLE ET STATION, RUE MIRABEAU V. D.

Les voûtes et les culées ont été construites en maçonnerie de meulière ou de pierre de Souppes avec mortier de ciment de laitier au dosage de 500 kg. de ciment par mètre cube de sable. Le radier est constitué de deux couches, une inférieure en béton de gravillon et une supérieure en maçonnerie de briques au mortier de ciment de laitier à 500 kg. Entre les deux maçonneries du radier se trouve un enduit de 30^{mm}, d'épaisseur en mortier de ciment de 650 kg. prolongé dans les culées jusqu'à 3^m,50 environ au-dessus du rail. Il est ensuite rabattu sur l'extrados de la voûte. Toute la surface intérieure de l'ouvrage est ensuite recouverte d'un second enduit de 40^{mm}, d'épaisseur sur lequel on applique le revêtement émaillé.

Afin de racheter la différence progressive du niveau entre les deux voies et qui atteint 3 mètres entre les extrémités de la station, la voie gauche (Fig. 15) est supportée par un tablier en béton armé prenant appui sur des murettes transversales.

L'exécution de cet ouvrage, très intéressant à tous les points de vue, et unique croyons-nous, dans son genre, dans un terrain médiocre imprégné d'eau et au pied d'immeubles importants, n'a pas été sans présenter des difficultés sérieuses sur lesquelles nous ne pouvons que renvoyer au mémoire publié par M. Biette, dans le *Technique Moderne* du 1^{er} janvier 1912.

Fig. 16. — PLAN ET COUPE TRANSVERSALE DU PASSAGE DE LA LIGNE N° 8 AU-DESSOUS DU CHEMIN DE FER DE CEINTURE.



Il nous reste à dire quelques mots du souterrain à deux voies type renforcé, employé dans les terrains aquifères où il était de toute nécessité d'assurer l'étanchéité complète du souterrain en maçonnerie. Le radier est formé de deux couches séparées par un enduit de 30^{mm}, en mortier de ciment de Portland à 650 kg. La couche inférieure, d'une épaisseur de 0^m,53 sur l'axe, est en béton de gravillon au dosage de 500 litres de mortier de ciment de Portland par 500 litres de gravillon. La couche supérieure est constituée par deux rouleaux de briques maçonnées au ciment de Portland d'une épaisseur totale de 9^m,41.

Passage sous le Chemin de fer de Ceinture, à Auteuil. — Le pont du chemin de fer de Ceinture qui traverse la rue d'Auteuil est un pont métallique (Fig. 16) formé de quatre poutres prenant appui

sur 2 culées distantes de 30^m,25 et sur deux files de colonnes en fonte. Afin d'éviter toutes

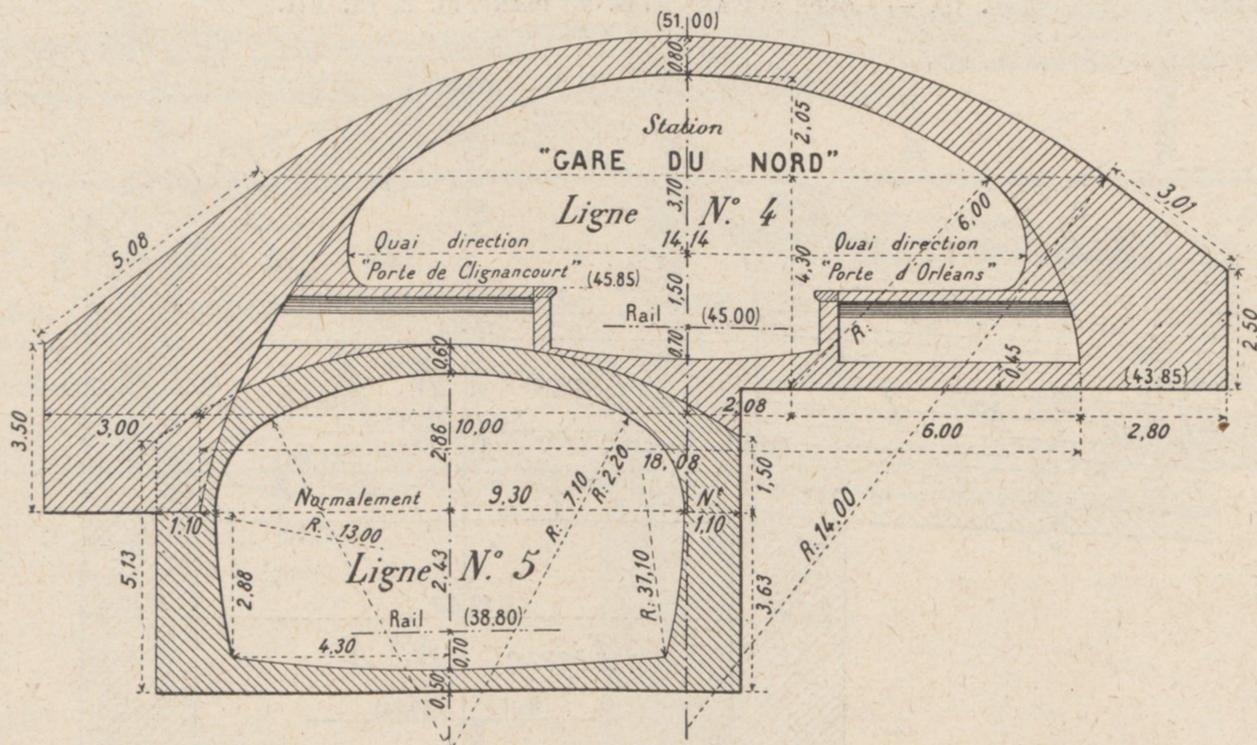
modifications à la disposition de ce pont, et par conséquent éviter des dépenses considérables, on a disposé les voies du Métropolitain en respectant les dispositions des colonnes. Dans ce but les trois voies du Métropolitain ont été disposées dans trois souterrains à voie unique percés dans l'intervalle entre les colonnes et les culées. Mais avant le percement de ces galeries on a dû descendre les fondations de ces colonnes jusqu'au niveau des radiers des souterrains, c'est-à-dire à 12 mètres en contrebas du sol. Pour cela on a déplacé temporairement les colonnes par groupes de deux dans chaque file, au moyen d'un pylône en charpente pouvant se mouvoir sur des galets, et après avoir calé les poutres du pont sur des paliers provisoires.

**CROISEMENT DES LIGNES 4, 5 ET 7 A LA GARE DE L'EST
ET DES LIGNES 4 ET 5 A LA GARE DU NORD.**

La ligne (Pl. VII, Fig. 1) N° 7 croise à la gare de l'Est la ligne N° 4 de la Porte de Clignancourt à la Porte d'Orléans et la ligne N° 5 de la gare du Nord à la Place d'Italie. Ces croisements, qui n'ont pas été sans présenter certaines difficultés ont nécessité la construction d'ouvrages, sinon d'un type nouveau, tout au moins offrant certaines dispositions souvent assez complexes et intéressantes.

Comme le montrent les Fig. 1 et 2 de la Pl. VII, la ligne N° 5 dont la station terminus est située sous le boulevard Denain passe en courbe de 55^m, de rayon au-dessous de la station "Gare du Nord" de la ligne N° 4. Cette dernière station (Fig. 17 et 18) est du type ordinaire,

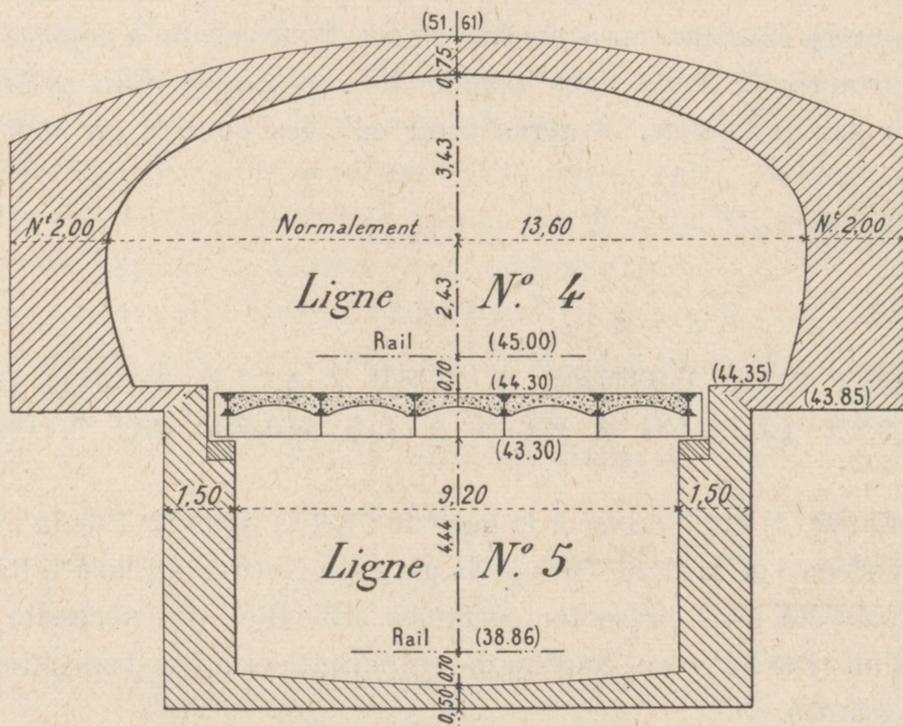
Fig. 17. — COUPE SUIVANT E. F. DU PLAN FIG. 2, PL. VII.



mais celle de la ligne N° 5 est à quai central en béton armé de 5^m, 35 de largeur; elle est munie de fosses de visite (Fig. 20).

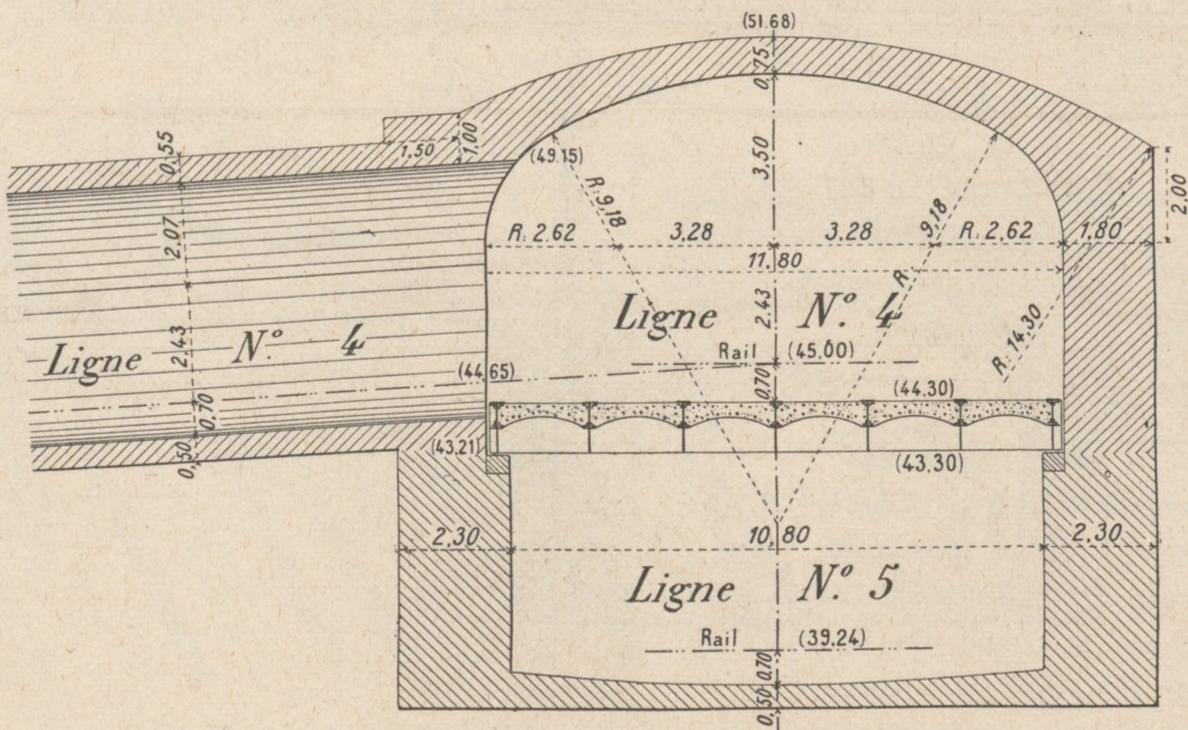
Les Fig. 17 à 19 donnent en plan et en coupe les dispositions adoptées pour ces superpositions.

Fig. 18. — COUPE SUIVANT C. D. DU PLAN FIG. 2, PL. VII.



La ligne N° 7, après avoir quitté la rue de Chabrol, passe au-dessous de la ligne N° 5 à la traversée du boulevard Magenta. Puis après s'être relevée rapidement, elle vient se juxtaposer

Fig. 19. — COUPE SUIVANT A. B. DU PLAN FIG. 2, PL. VII.



cette dernière sous la rue de Strasbourg dans un souterrain recouvert d'un tablier métallique.

Les deux lignes passent ensuite au-dessus de la station de la ligne N° 4, qui vient de la rue d'Alsace, pour se séparer ensuite, chacune dans sa direction.

Fig. 20. — COUPE SUIVANT I. J. DU PLAN FIG. 2, PL. VII.

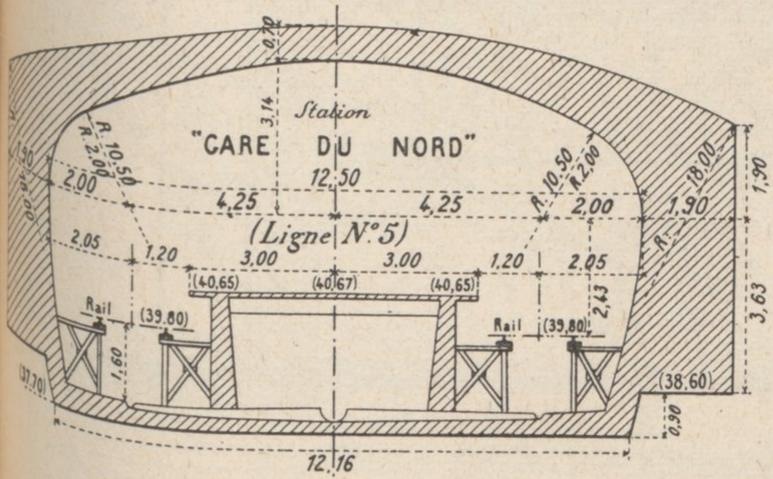


Fig. 21. — COUPE SUIVANT K. L. DE LA FIG. 1, PL. VIII.

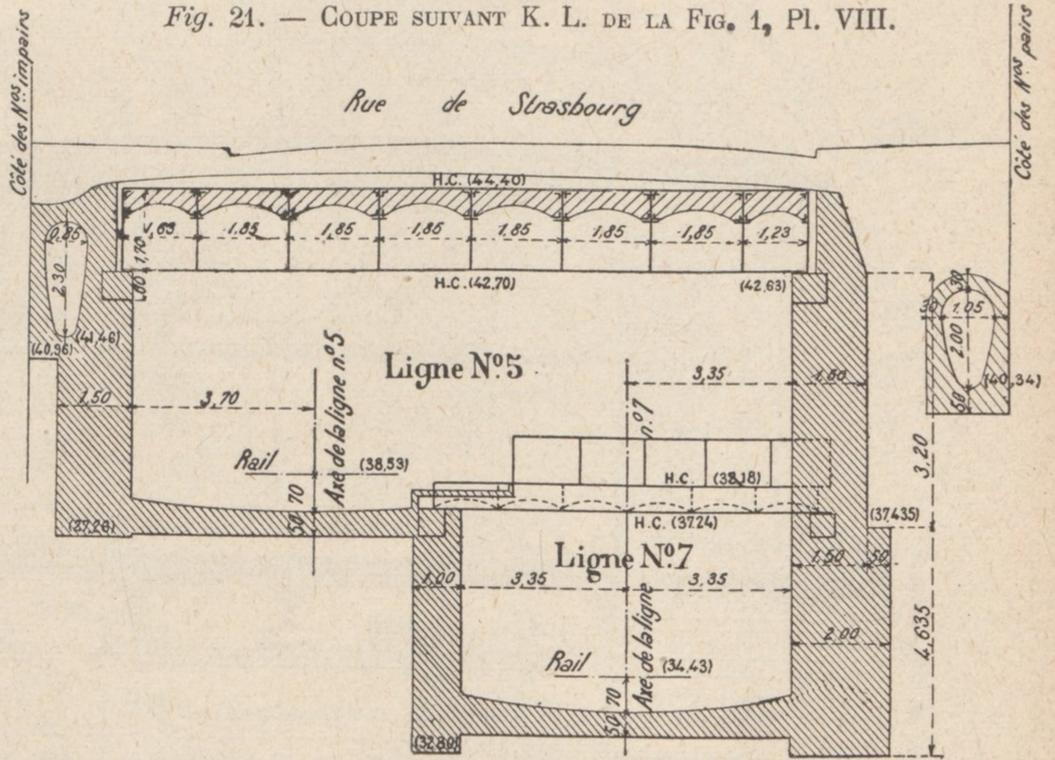


Fig. 22. — COUPE SUIVANT X. Y. DU PLAN FIG. 2, PL. VIII.

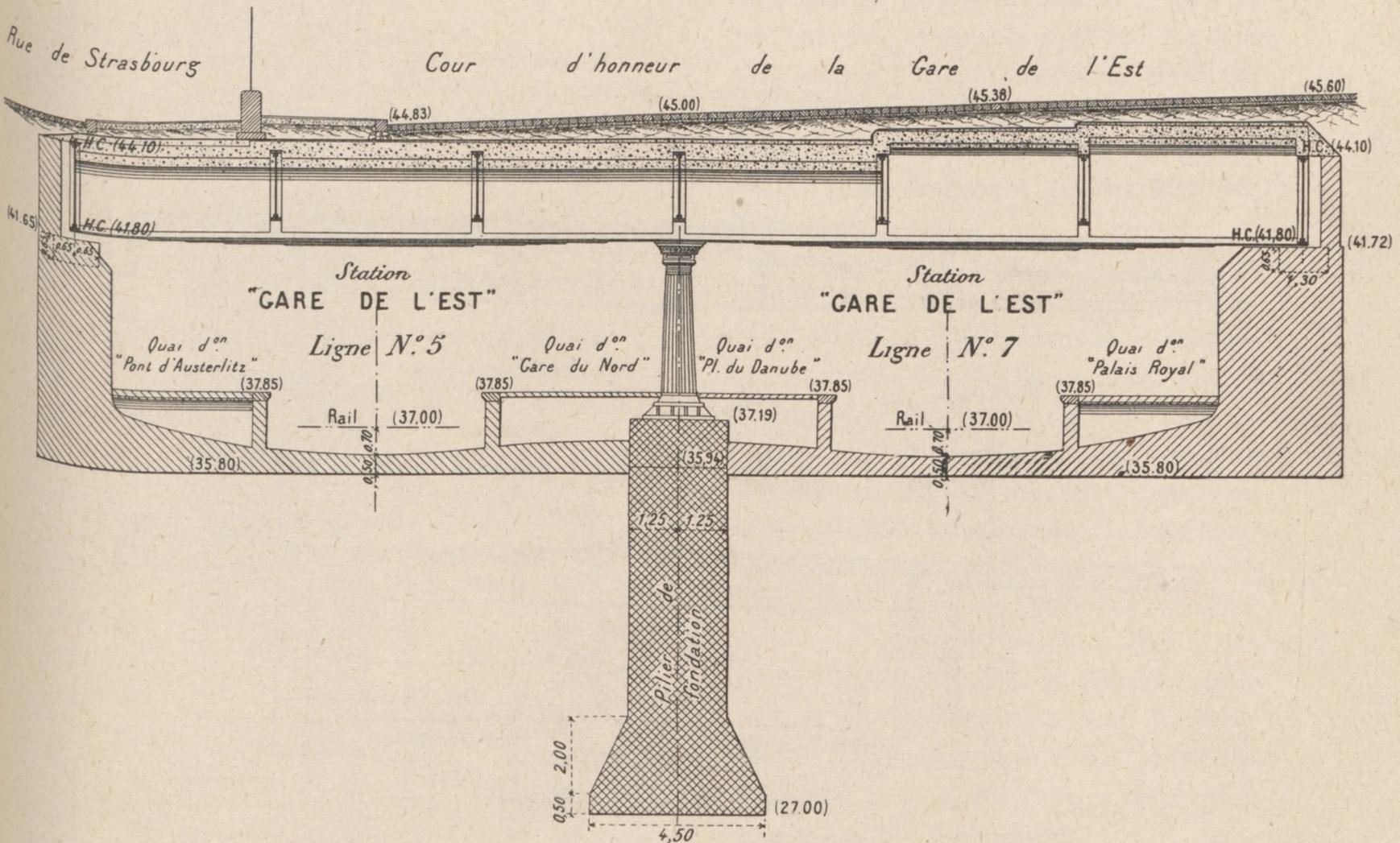


Fig. 25. — PLAN DE LA LIGNE N° 7 SOUS LE PASSAGE DES BUTTES-CHAUMONT ET DU QUARTIER DES CARRIÈRES D'AMÉRIQUE.

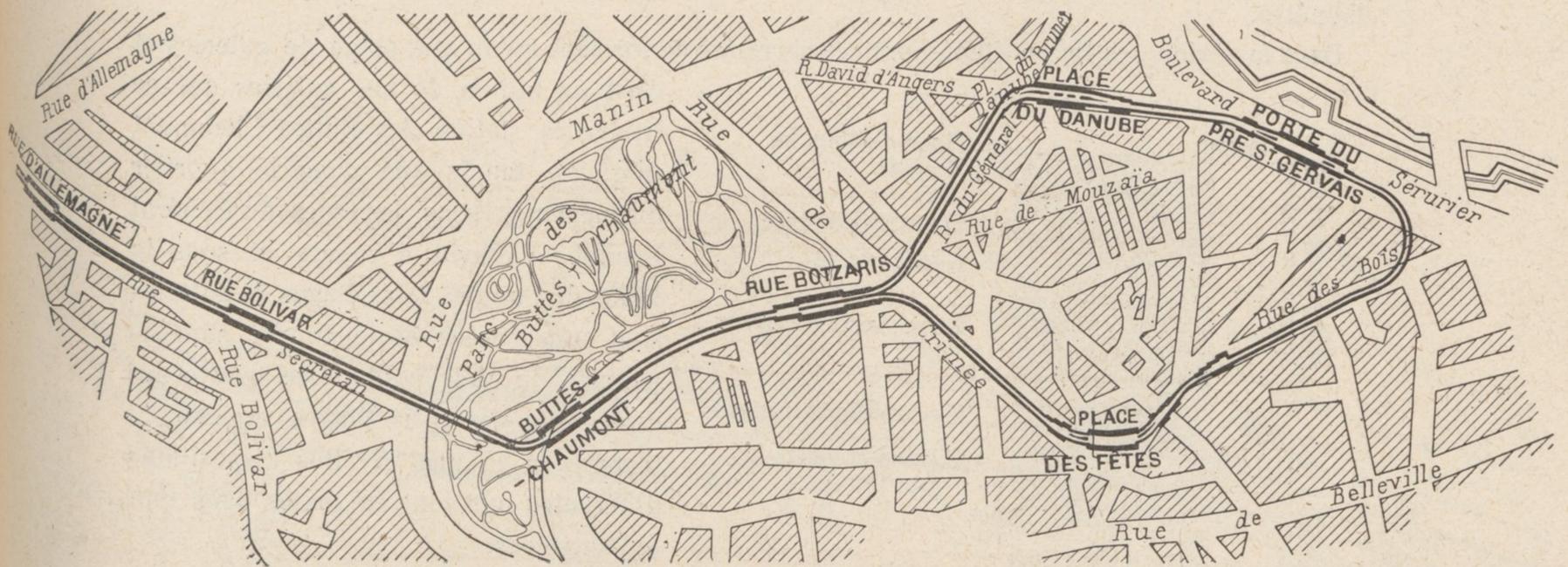
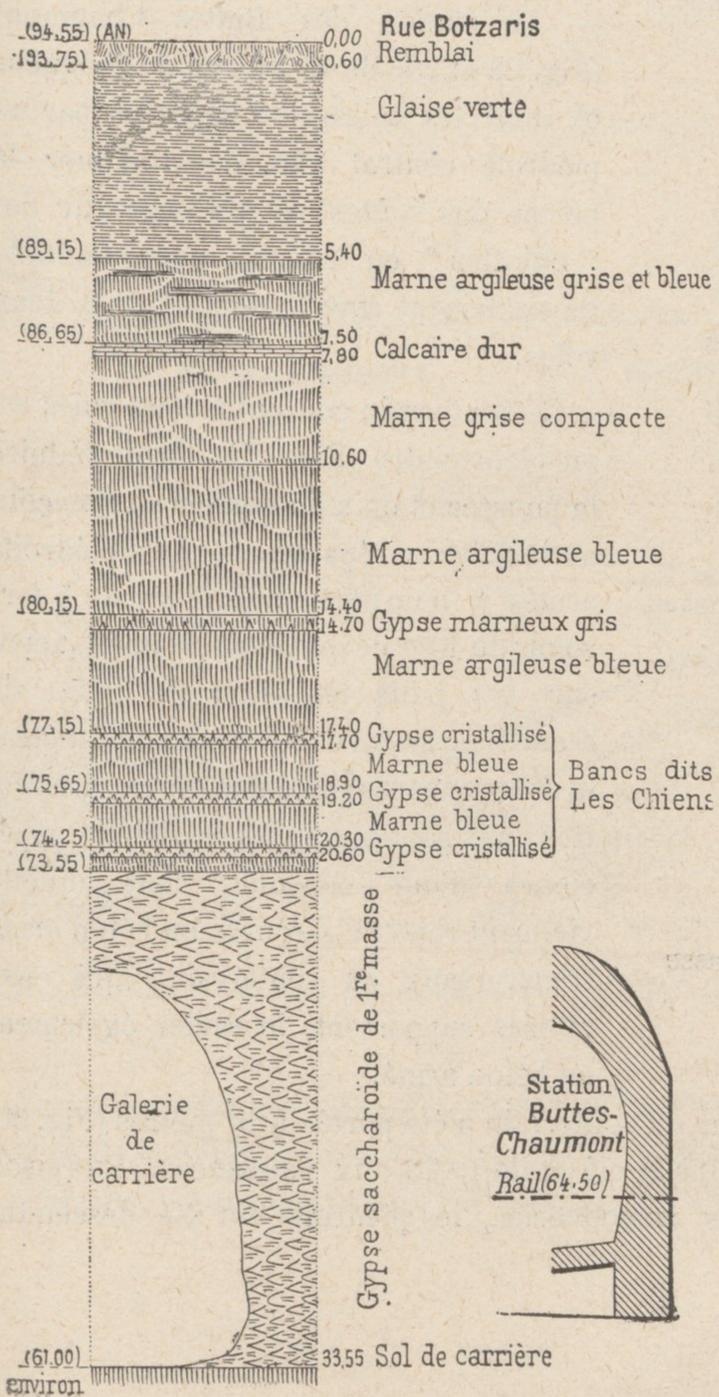


Fig. 26. — COUPE GÉOLOGIQUE A LA STATION DES BUTTES-CHAUMONT.



LIGNE N° 7.

Construction de la Ligne dans les anciennes carrières des Buttes Chaumont et d'Amérique. — La ligne N° 7 part de la Bastille, passe à l'Hôtel de Ville, au Palais Royal, suit l'avenue de l'Opéra, la rue Lafayette, passe à la gare de l'Est et se termine à la Porte du Pré Saint-Gervais par une boucle sur chacune des branches de laquelle se trouve une station (Fig. 25). Station Place du Danube, Station Place des Fêtes.

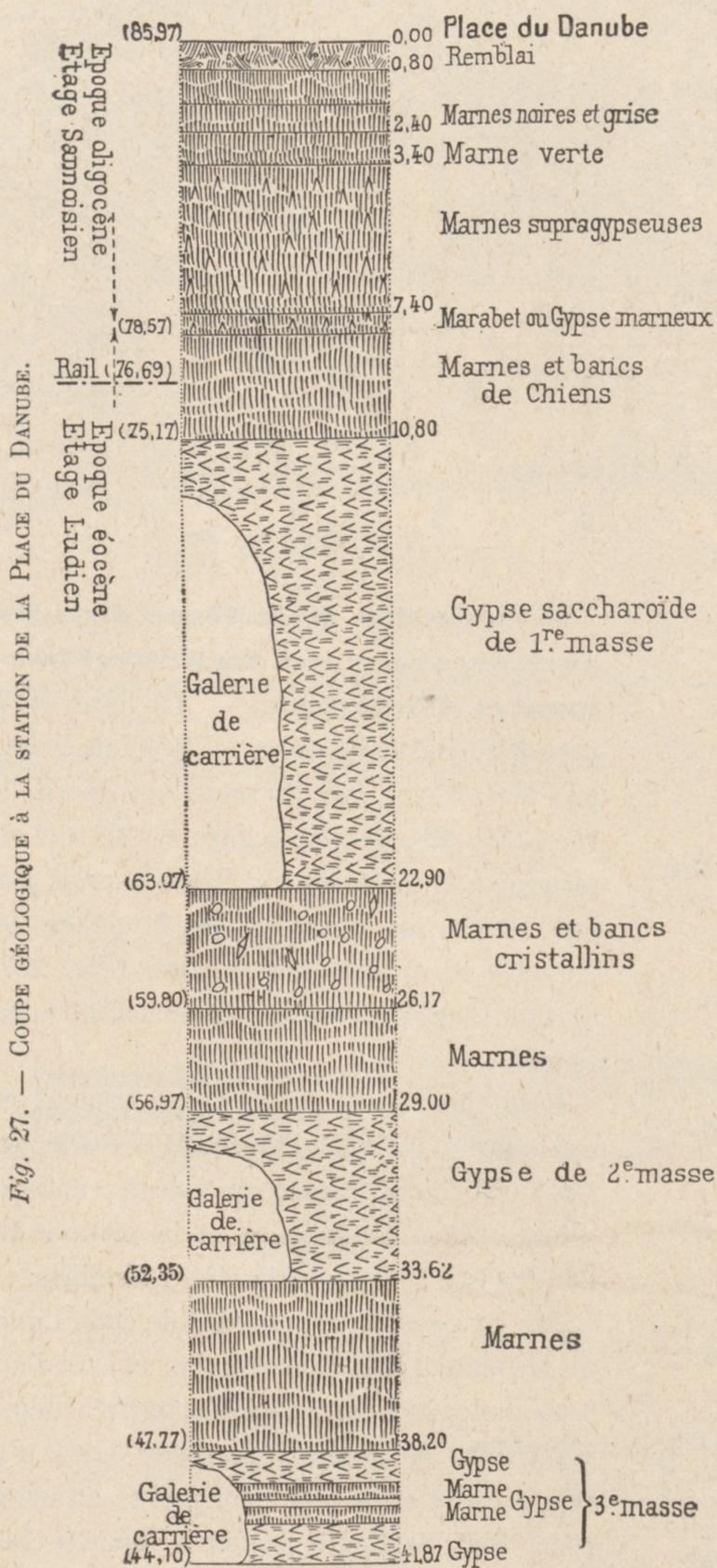
Cette ligne N° 7 n'est pour le moment en exploitation qu'entre l'Opéra et la Porte du Pré Saint-Gervais, les travaux de la première section entre la Bastille et la station de l'Opéra étant encore loin d'être terminés.

Les ouvrages d'art courant de cette ligne ne présentent rien de particulier et sont d'un type analogue à ceux déjà décrits précédemment dans la *Revue Générale*; nous n'y reviendrons donc pas. Nous nous attachons tout particulièrement à décrire les travaux importants et d'une difficulté réelle qu'il a fallu entreprendre pour traverser les anciennes carrières de gypse qui s'étendent sous le parc des Buttes Chaumont et sous le quartier d'Amérique.

Ces anciennes carrières sont formées d'un vaste réseau de galeries d'une dizaine de mètres de largeur et de même hauteur dont le ciel est soutenu par des piliers de 7 à 8 mètres de diamètre.

Dans la région des Buttes Chaumont ces carrières ne forment qu'un seul étage de galeries et

c'est au milieu de ces galeries que se trouve la station des Buttes Chaumont (Fig. 26) tandis que dans le quartier d'Amérique, sous les rues du Général Brunet et David d'Angers et sous la Place du Danube, trois étages de galeries sont superposées et le tunnel pour le passage du Métropolitain se trouve au-dessus de ces trois étages comme le montre la Figure 27. Des dispositions différentes ont donc été prises dans l'un et l'autre cas.



Station des Buttes Chaumont.

— La station des Buttes Chaumont (Fig. 28 et 29) de 75 mètres de longueur et dont les voies sont séparées par un piédroit central afin de diminuer la portée des voûtes se prolonge par des "culottes" en courbe permettant le raccordement avec le souterrain à deux voies.

Ce souterrain courant à deux voies est en plein cintre (Fig. 31) afin de réduire la poussée et on a dû donner aux maçonneries des surépaisseurs. Les piédroits armés à leur partie inférieure de 5 fers ronds de 40^{mm} de diamètre prennent appui sur des puits en béton de 1^m,50 de diamètre espacés d'axe en axe de 6 mètres et descendus jusqu'au sol de la carrière. Ces puits sont munis à leur partie supérieure d'une console, sur laquelle viennent reposer des arcs en béton armé transversaux au souterrain, qui eux-mêmes supportent, le radier également en béton armé.

Dans les culottes de raccordement la largeur du souterrain a été portée à 10 mètres (Fig. 30) et on a donné à la voûte une épaisseur de 1^m,10 à la clé et de 1^m,75 aux naissances. En raison des charges considérables supportées par les maçonneries, les piédroits ont été descendus

jusqu'au sol de la carrière et pour la même raison, dans la culotte côté " Place du Danube ", on a été amené, à la suite de la dislocation produite dans la voûte, à soutenir celle-ci au moyen

Fig. 28. — PLAN DU SOUTERRAIN SOUS LES BUTTES-CHAUMONT.

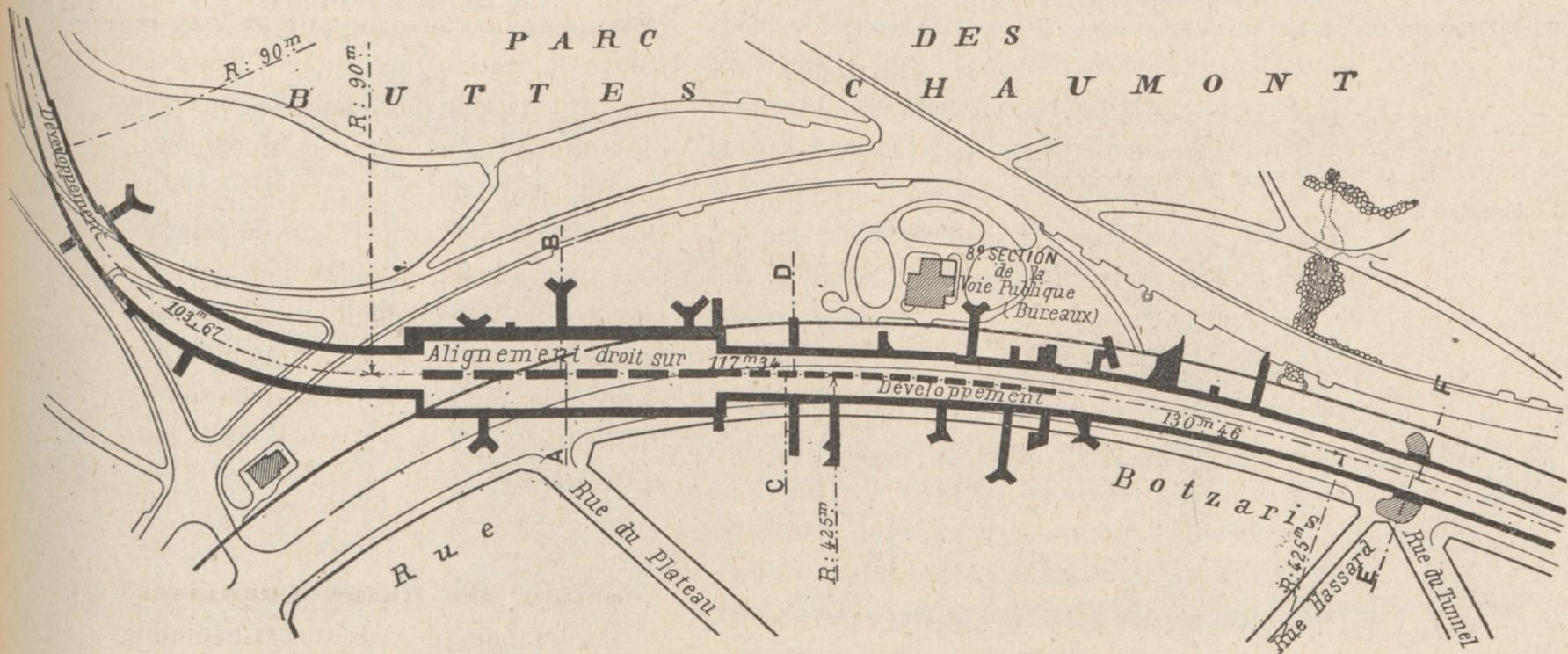
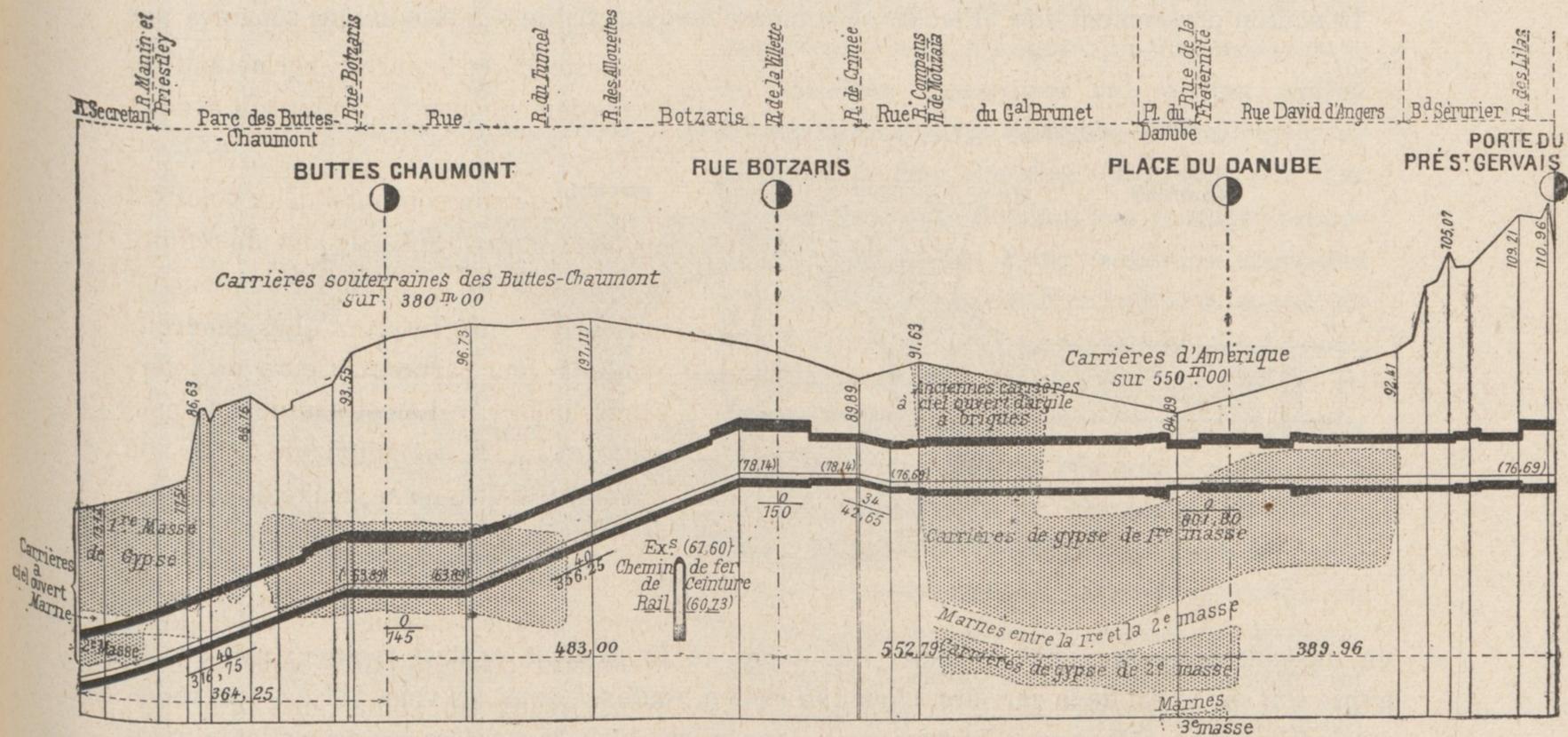


Fig. 29. — PROFIL EN LONG DE L'EXTRÉMITÉ DE LA LIGNE N° 7.



d'un pilier central en constituant ainsi deux souterrains juxtaposés de forme ogivale. Les fondations de ce pilier central sont descendues jusqu'au sol de la carrière. De plus, comme les piédroits, manquant de points d'appui latéral, étaient, malgré leur épaisseur, encore insuffisants

en certains endroits pour résister à la poussée de la voûte fortement surchargée, on a dû les contrebuter au moyen d'éperons en maçonnerie indiqués (Fig. 30 et 32), et construits dans deux

Fig. 30. — COUPE SUIVANT C. D.
DU SOUTERRAIN AUX ABORDS DE LA STATION DES BUTTES-CHAUMONT.

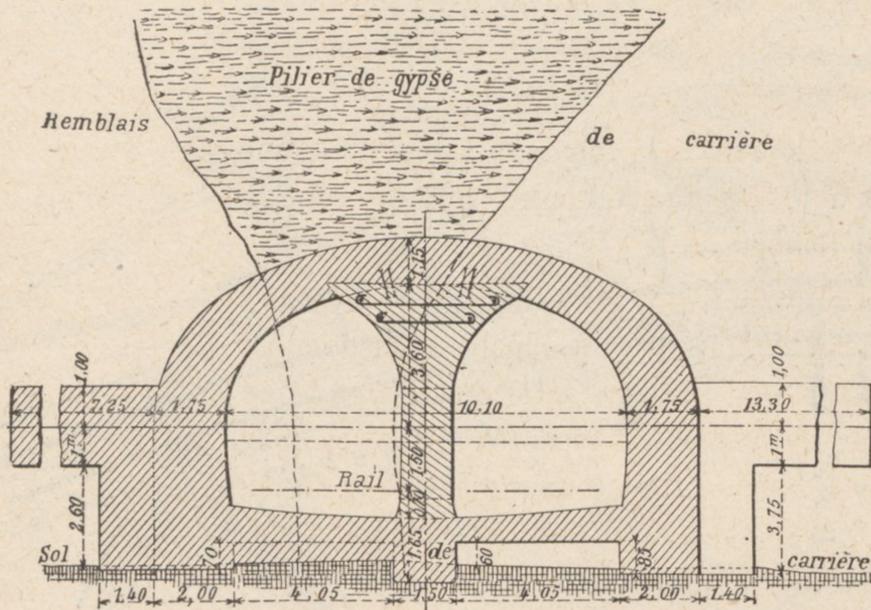
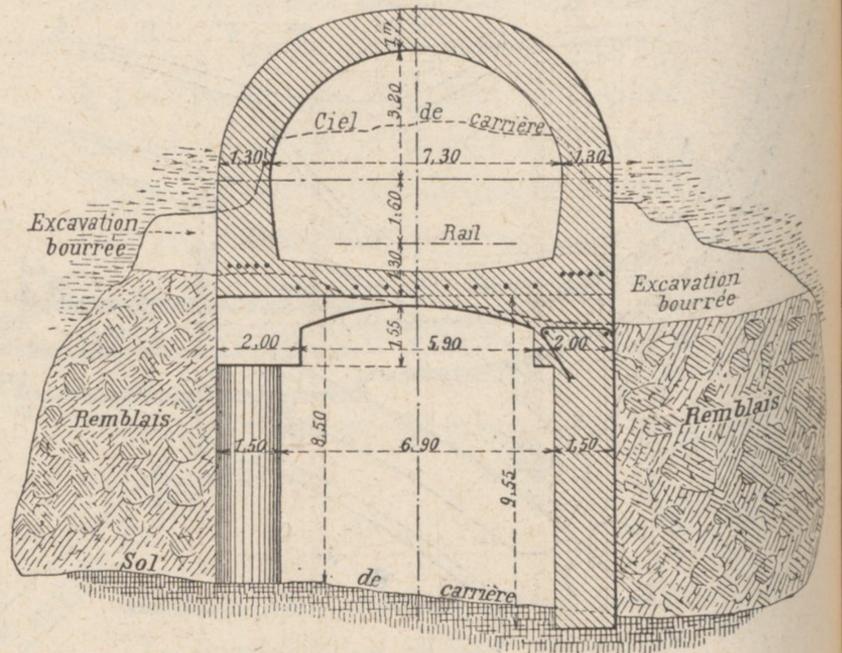


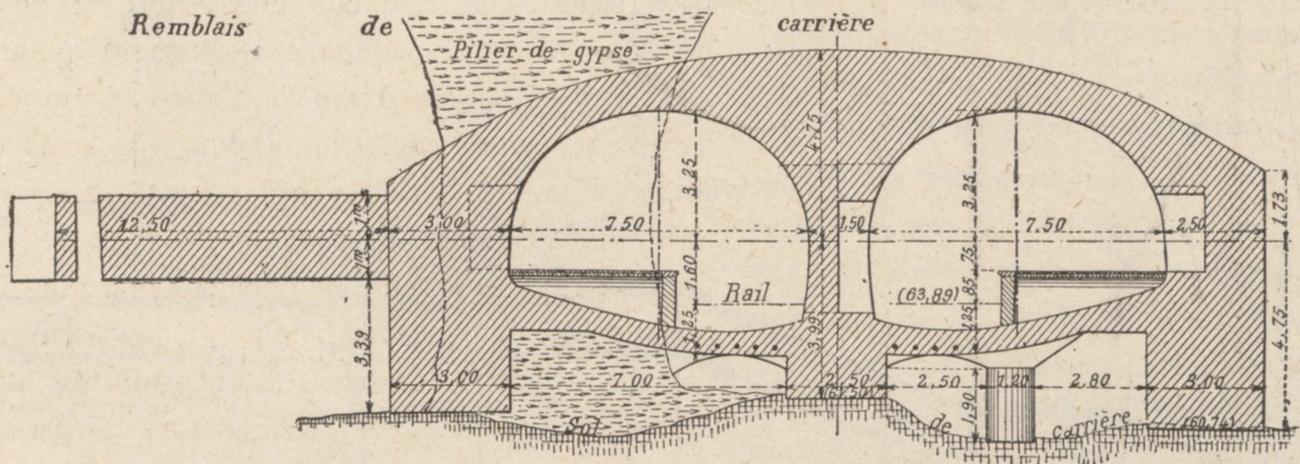
Fig. 31. — COUPE SUIVANT E. F.
DU SOUTERRAIN AUX ABORDS DE LA STATION DES BUTTES-CHAUMONT.



des galeries horizontales percées dans les remblais de carrières jusqu'à la rencontre des anciens piliers de gypse autant qu'il a été possible.

La station proprement dite, (Fig. 32) se compose de deux stations à voie unique séparées par

Fig. 32. — COUPE TRANSVERSALE SUIVANT A B DE LA STATION DES BUTTES-CHAUMONT.



un piédroit commun percé de baies. Les culées et le piédroit central reposent soit sur le gypse soit sur le sol de la carrière. Quant au radier, renforcé sous les voies par des fers ronds noyés à sa partie inférieure, il prend appui dans les remblais de carrière sur des puits de 1^m,20 de diamètre espacés de 4^m,20 d'axe en axe. Dans les sections où le radier repose partiellement sur les anciens piliers de gypse aucun renforcement n'est établi (côté gauche de la Figure). Des éperons en maçonnerie servent, comme pour les culottes, à contrebuter la poussée des voûtes.

Ouvrages dans les carrières d'Amérique. — Ainsi que nous l'avons dit et comme le

Fig. 33. — COUPE TRANSVERSALE DU SOUTERRAIN
SOUS LA RUE DU GÉNÉRAL BRUNET.

montre la Fig. 27, le souterrain pour le passage du Métropolitain se trouvant au-dessus des trois étages des galeries de carrière à la traversée du quartier d'Amérique, il a fallu pour atteindre le sol de cette carrière descendre les fondations des ouvrages à 35 mètres en moyenne au-dessous du niveau des rails dans un terrain sans consistance et rempli de remblais de carrières.

Nous indiquerons la méthode suivie dans une des sections les plus difficiles sous la rue du général Brunet.

Les voûtes en plein cintre de 7^m,34 d'ouverture et dont les dimensions principales sont données Fig. 33 reposent sur une série de piles en béton de 2^m,10 de diamètre espacées d'axe en axe de 6^m,00. Dans le sens longitudinal ces piles au nombre total de 220 ont été descendues à des profondeurs variant entre 30 et 42 mètres.

Chacun de ces puits se compose de deux parties : celle supérieure qui descend jusqu'à un mètre au-dessous du radier a une longueur de 2^m,40 et une largeur de 2^m,70 dans le sens transversal ; celle inférieure qui constitue le puits de fondation proprement dit, a une section circulaire de 2^m,10 de diamètre. Comme ces puits traversaient des remblais dégageant des gaz délétères on a dû, pendant leur fonçage, renouveler l'air au moyen d'une ventilation énergique assurée par une canalisation établie à la surface du sol, alimentée par des ventilateurs électriques, avec branchements descendant au fond de la fouille. Aussitôt le fonçage de ce puits terminé et avant d'en commencer le bétonnage on s'assurait par des sondages de la résistance du sol de fondation. Dans la partie rectangulaire du puits, c'est-à-dire au-dessus du radier de la voûte, on disposait dans le bétonnage un coffrage épousant exactement la forme de la surface intérieure du piédroit de cette voûte, en ménageant également l'emplacement des sommiers pour sa retombée. On montait ensuite le béton jusqu'à 2 mètres au-dessous du sol, en formant ainsi un mur de garde

destiné à protéger les immeubles voisins contre les tassements du sol pendant les travaux.

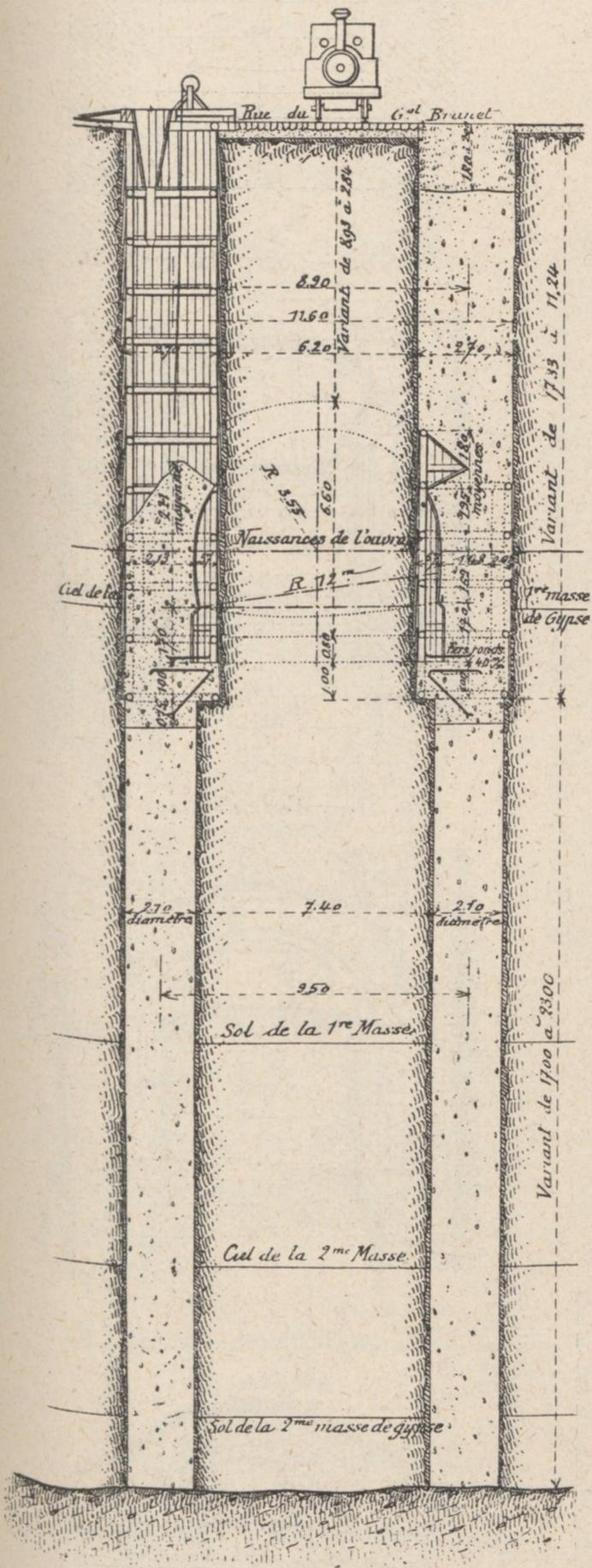


Fig. 34. -- COUPE LONGITUDINALE MONTRANT L'AVANCEMENT SOUS LA RUE DU GÉNÉRAL BRUNET.

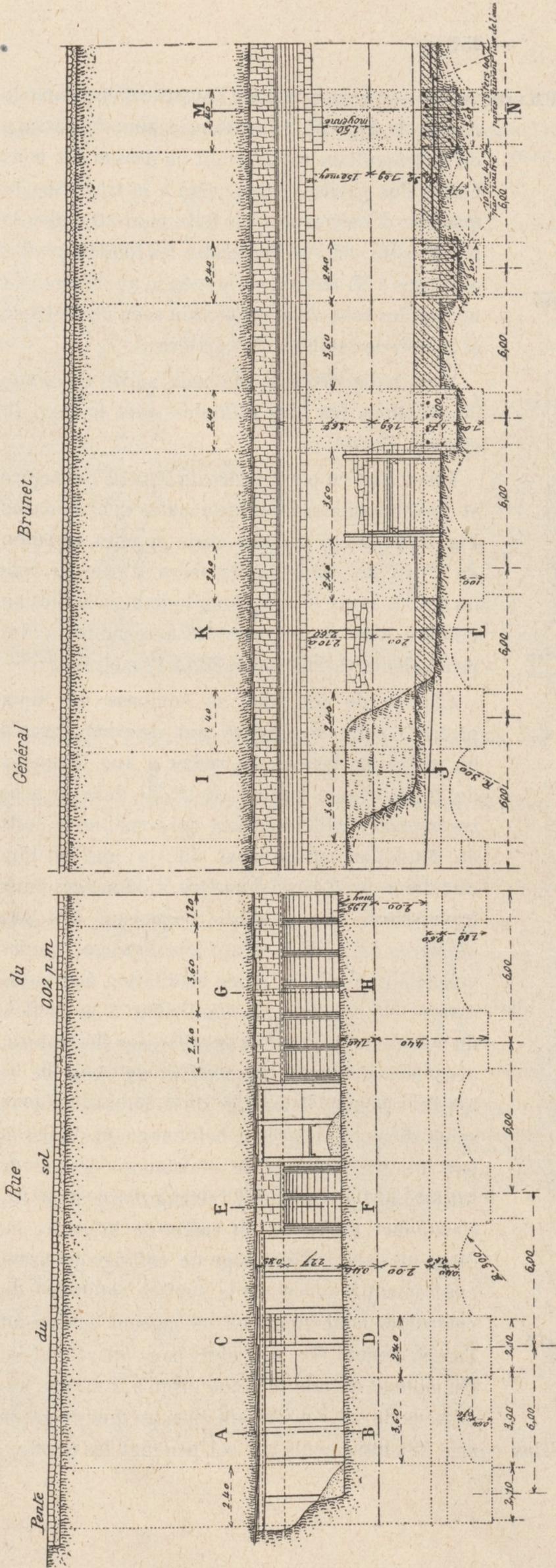


Fig. 35. -- COUPE SUIVANT A. B.

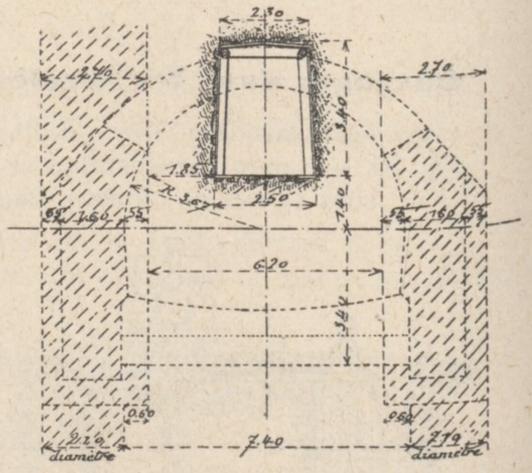


Fig. 36. -- COUPE SUIVANT C. D.

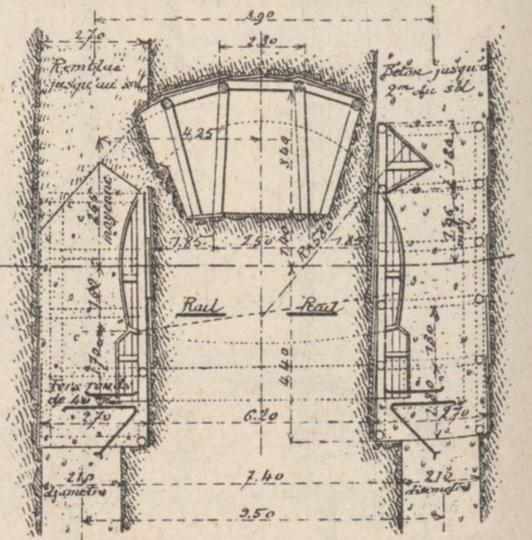


Fig. 37. -- COUPE SUIVANT E. F.

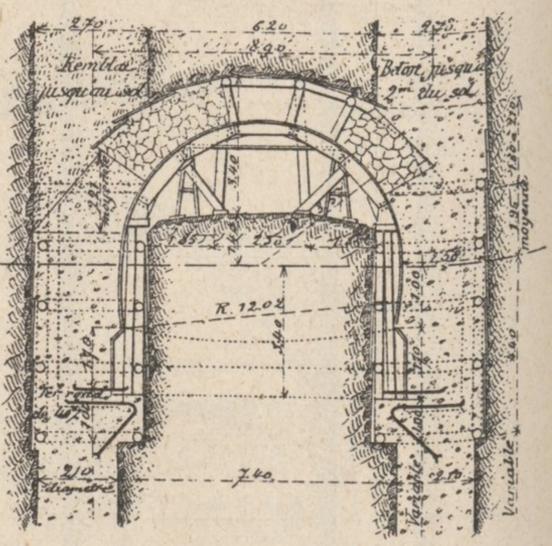
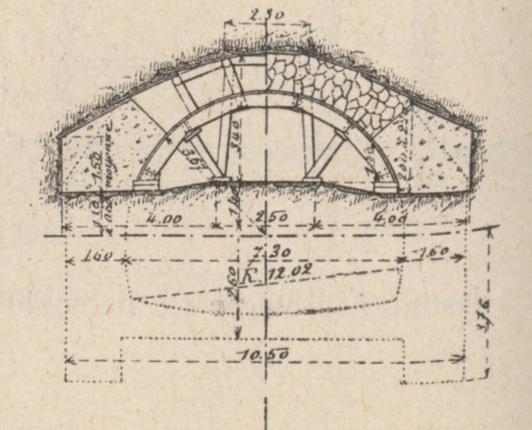


Fig. 38. -- COUPE SUIVANT G. H.



On commençait (Fig. 34 à 41) la construction de la voûte en perçant tout d'abord dans l'axe du souterrain et au sommet de la voûte une galerie d'avancement. On procédait ensuite aux

Fig. 39. — COUPE SUIVANT I. J.

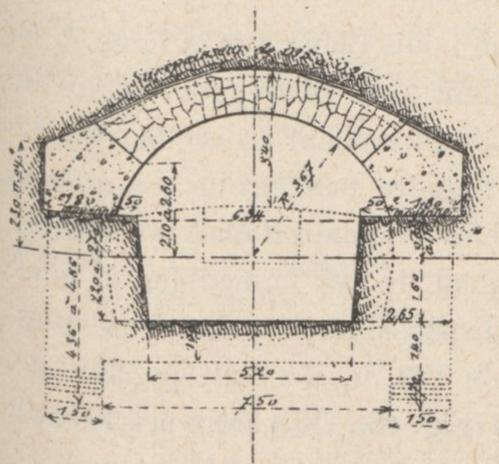


Fig. 40. — COUPE SUIVANT K. L.

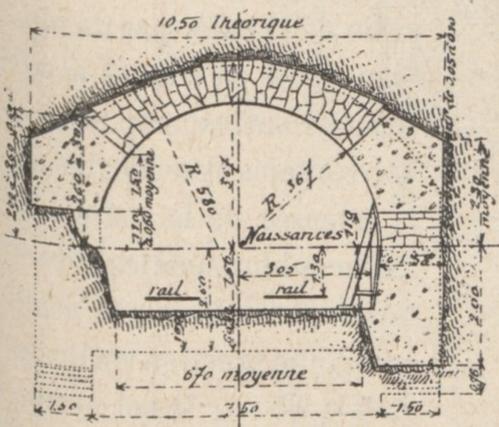


Fig. 41. — COUPE SUIVANT M. N.

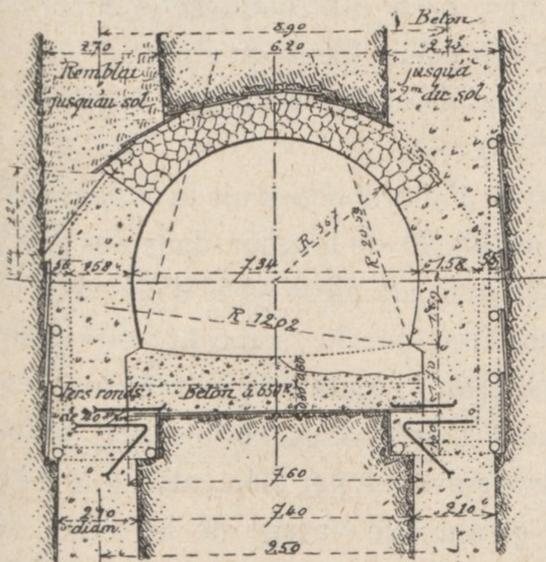
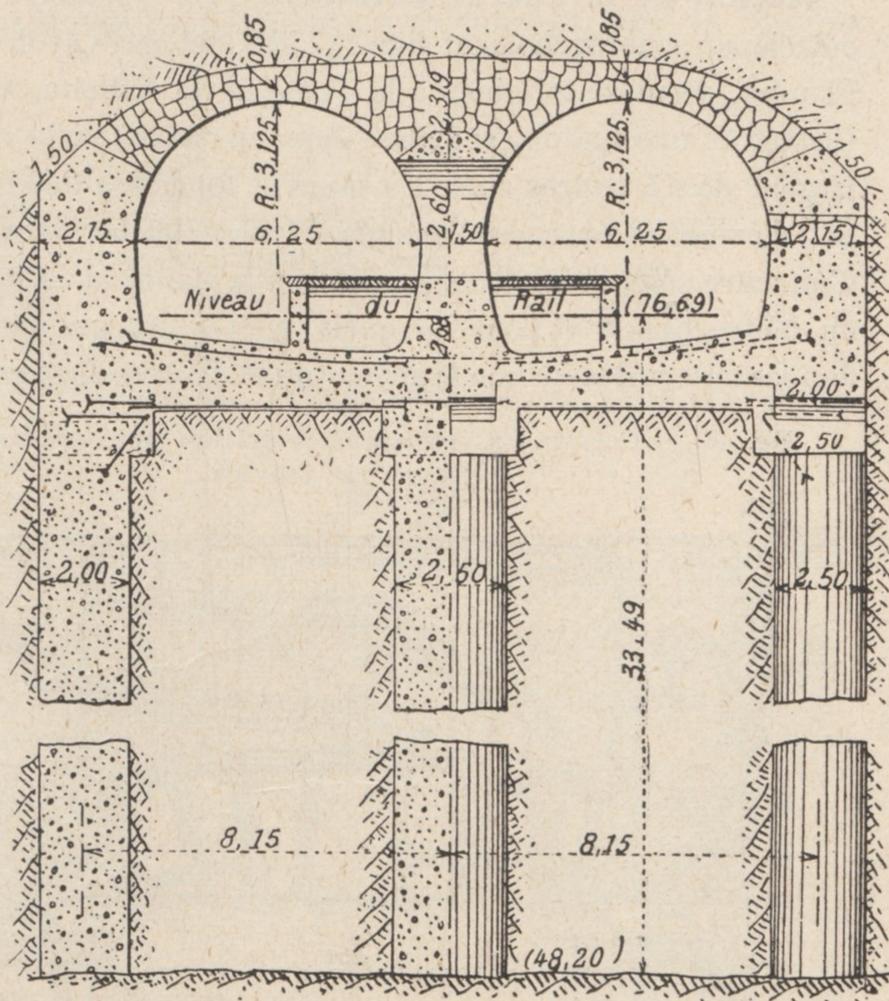


Fig. 42. — COUPE TRANSVERSALE DE LA STATION DE LA PLACE DU DANUBE.



abatages sur une longueur de 2^m,40, correspondant à la longueur des puits, puis à la construction de la voûte sur cette même longueur. On commençait ensuite les abatages et la maçonnerie de la voûte sur la longueur intermédiaire de 3^m,60 restant entre les axes des puits en faisant reposer la voûte par un sommier en béton, sur le sol de l'abatage à 1^m,50 au-dessus des naissances, ce qui complétait alors la voûte entre les puits.

On pouvait alors entreprendre l'enlèvement du stross dont les déblais étaient enlevés au moyen de trains avec tracteurs électriques et trolleys. Puis on reprenait en sous-œuvre la construction des piédroits sur la longueur de 3^m,60 comprise entre les parties exécutées en puits. Il ne restait plus qu'à compléter le

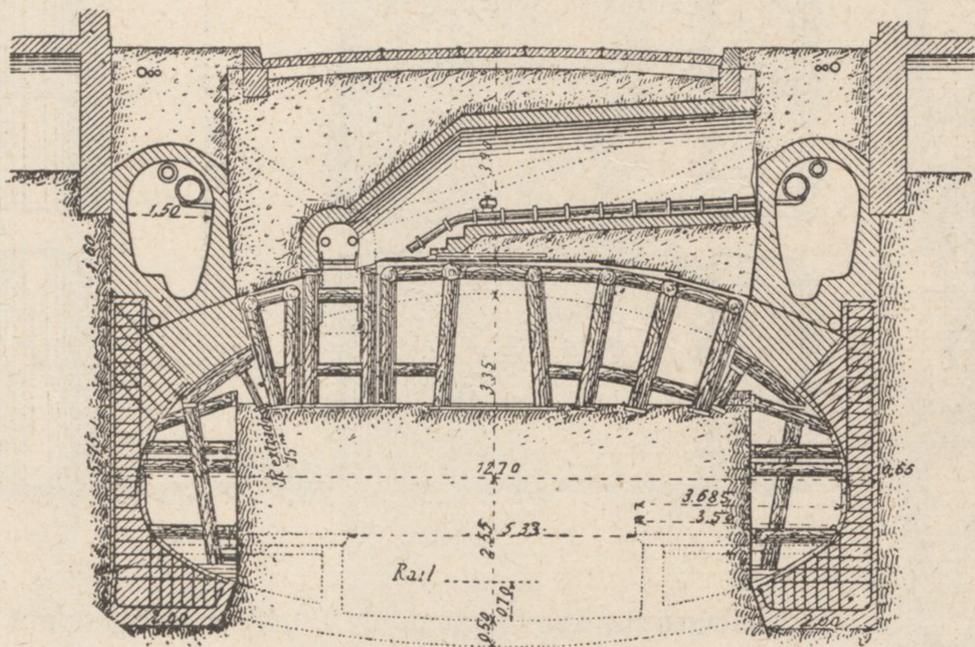
terrassément du radier et des poutres armées transversales et à exécuter leur bétonnage.

Des injections de coulis de ciment ont été faites dans les maçonneries de la voûte afin de les rendre étanches et les mettre à l'abri de l'action des eaux séléniteuses très abondantes dans cette section.

Les mêmes procédés ont été employés pour la construction de la station (Place du Danube), dont la Fig. 42 donne la coupe transversale.

Station de la rue de Crimée. — De la station de la rue Louis Blanc, sur la ligne 7, se détache un embranchement ligne (7 bis), qui après avoir suivi dans toute sa longueur la rue de Flandre, vient se terminer à la Porte de la Villette. Cet embranchement croise la rue de Crimée où une station est établie dans un endroit où la rue de Flandre très étroite n'a qu'une largeur de 14 mètres entre les murs de fondation des immeubles. Comme il était nécessaire, afin d'éviter les expropriations, de ne pas empiéter dans le tréfond de ces immeubles et que, d'un autre côté, il fallait conserver dans la station la largeur indispensable pour les deux voies du Métropolitain et pour les quais, c'est-à-dire une largeur de 12^m,70, il n'était possible de donner aux culées qu'une épaisseur de 0^m,65 carrelage compris (Fig. 43). On a alors pris le parti

Fig. 43. — COUPE TRANSVERSALE DE LA STATION DE LA RUE DE CRIMÉE PENDANT LES TRAVAUX.



de constituer les retombées de la voûte, les culées et une partie du radier formant patin de la culée par un plateau rigide en ciment armé répartissant les composantes horizontales et verticales de la poussée de la voûte sur les faces horizontales et verticales du déblai. On avait admis une pression verticale de 5 k. 85 sur le sol et une pression horizontale maxima de 2 k. 74 par centimètre carré. Comme la partie supérieure de cette culée s'arrête

à 1^m,50 au-dessous des fondations des immeubles riverains, on a contrebuté celle-ci (Fig. 43) au moyen des égouts superposés aux culées et construits en même temps qu'elles.

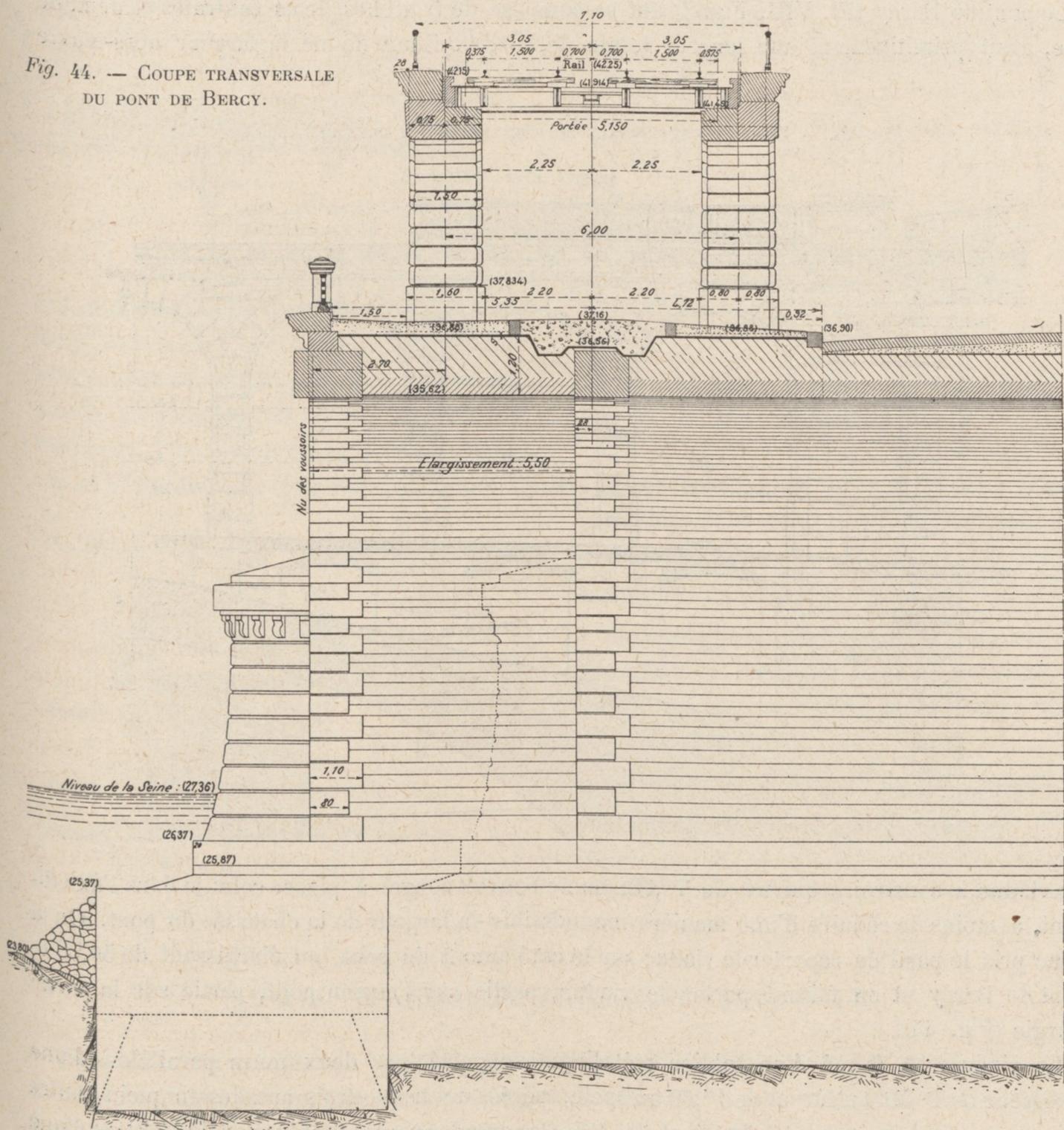
La voûte est en maçonnerie hourdée au mortier de ciment de laitier avec une épaisseur de 0^m,70 à la clef. Elle supporte une hauteur de terre de 3^m,70.

Les travaux ont été exécutés dans l'ordre suivant. On a d'abord construit la culée droite, ainsi que l'égout superposé par éléments discontinus de 3^m,20 de largeur dans des fouilles blindées descendues contre la face des immeubles. Lorsqu'une première série d'éléments était terminée on continuait par une deuxième, une troisième série, par le même procédé jusqu'à achèvement complet de la culée droite. Celle-ci terminée, on exécutait de la même façon la culée gauche. Puis une galerie d'avancement solidement boisée était percée sur toute la longueur de la station à sa partie supérieure. Les abatages suivaient par éléments de 3 mètres de longueur en ayant soin de ne commencer un abatage qu'après le clavage de la voûte, dans l'abatage voisin. Il ne restait plus qu'à enlever le stross et à exécuter le radier dans les conditions ordinaires.

LIGNE N° 6.

La ligne N° 6 qui relie la station de la "Place d'Italie" avec celle de "la Nation" a une longueur totale de 5.161 mètres. En partant de la place d'Italie le tracé suit le boulevard de la Gare, franchit la Seine sur le pont de Bercy, puis emprunte les boulevards de Bercy, de Reuilly et de Picpus, l'avenue de Saint-Mandé jusqu'à l'avenue du Bel-Air, pour se terminer

Fig. 44. — COUPE TRANSVERSALE DU PONT DE BERCY.



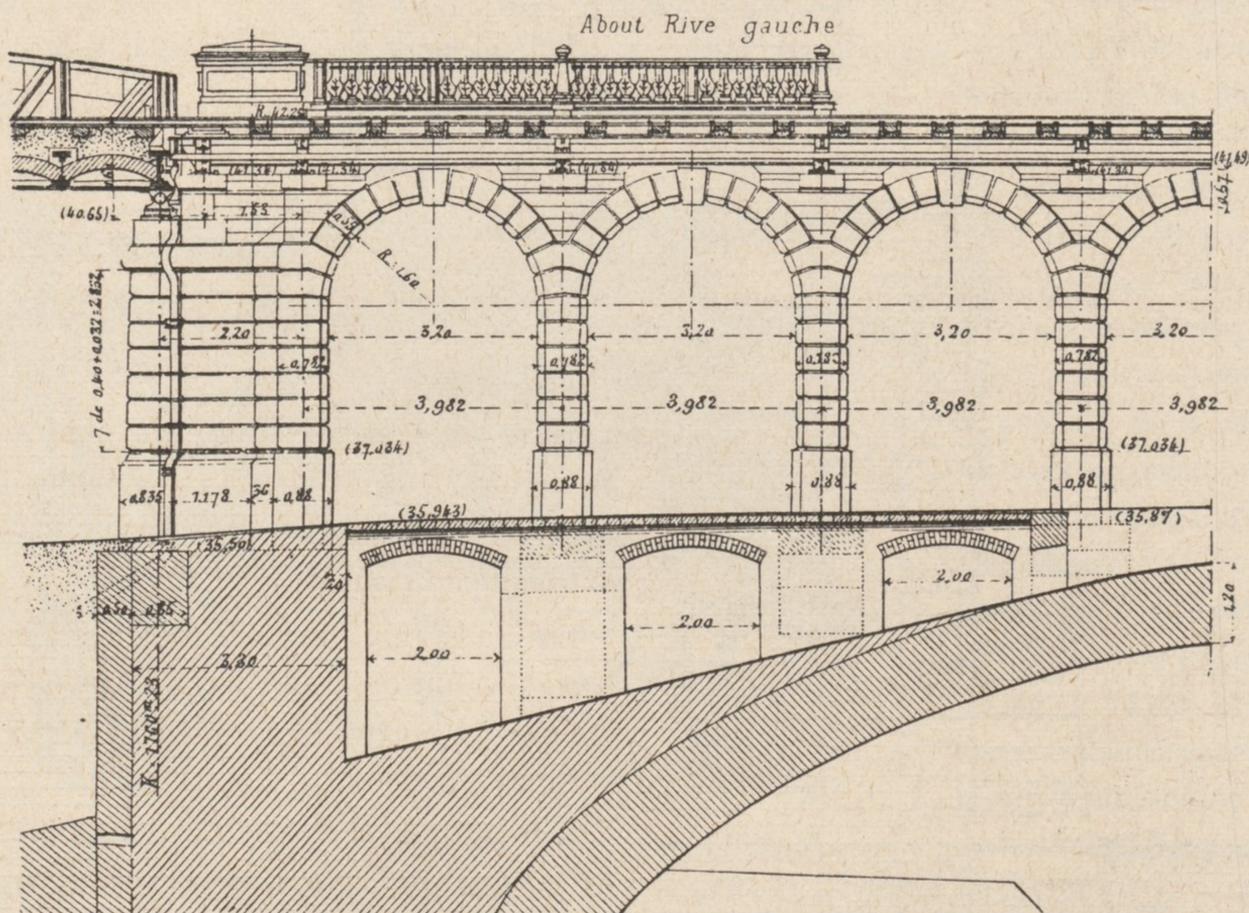
par une boucle au sommet de laquelle il se juxtapose à la station de la "Place de la Nation" à la ligne N° 1, Porte Maillot-Porte de Vincennes.

Cette ligne est aérienne sur la rive gauche de la Seine et souterraine sur la rive droite, sauf à la station de Bel-Air, où elle redevient aérienne, sur une faible longueur, afin de passer au-dessus du chemin de fer de Vincennes.

Les types adoptés pour le souterrain de la rive droite et pour le viaduc de la rive gauche sont absolument identiques à ceux des lignes précédemment construites et que nous avons décrits dans les numéros précédents de la *Revue*. Nous n'y reviendrons donc pas. Nous nous attacherons plus spécialement aux dispositions intéressantes, adoptées pour le passage de la Seine, et qui ont consisté à construire un viaduc d'un type spécial, qu'on a superposé au pont de Bercy déjà existant mais qui a dû être élargi.

Le pont de Bercy (Pl. VIII, Fig. 2) qui se compose de 5 arches, trois centrales et deux de rive, avait primitivement une largeur totale de 20^m,00. Etant donné la largeur hors-œuvre

Fig. 45. — COUPE LONGITUDINALE DU PONT DE BERCY PRÈS DES CULÉES.



du viaduc à construire qui est de 7^m,60, on ne pouvait songer à placer celui-ci dans l'axe du pont, à moins de réduire d'une manière inadmissible la largeur de la chaussée du pont. On a donc pris le parti de reporter le viaduc sur le côté amont du pont, en élargissant de 5^m,50 le pont de Bercy et en faisant porter le viaduc, partie sur l'ancien pont, partie sur la partie élargie (Fig. 44).

Le viaduc est formé d'un tablier métallique supporté par deux murs parallèles d'une épaisseur de 1^m,50 au fût et de 1^m,60 au socle, percés de trente-trois arcades en plein cintre d'une ouverture variant entre 3^m,20 et 3^m,343. Ces arcades sont séparées par des piliers d'une largeur de 0^m,782 avec socles de 0^m,88 reposant sur les voûtes du pont au moyen de massifs en maçonnerie placés sur l'extrados de celles-ci. Ces massifs sont (Fig. 45), de leur côté, réunis par une série de voûtelettes longitudinales et transversales, afin d'alléger le poids. On a pu

ainsi former une série de galeries, dans lesquelles on peut installer des conduites d'eau ou de gaz.

Le tablier métallique se compose de poutres transversales de 5^m,15 de portée, disposées

Fig. 46. — FIXATION DES TRAVERSES SUR LE TABLIER MÉTALLIQUE.

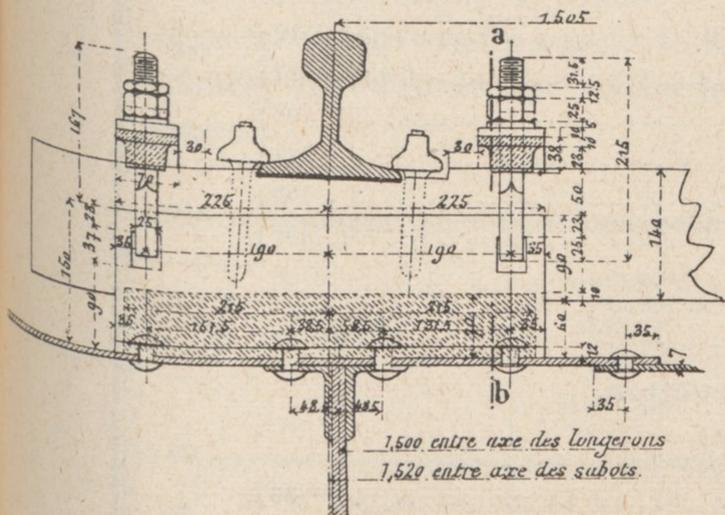
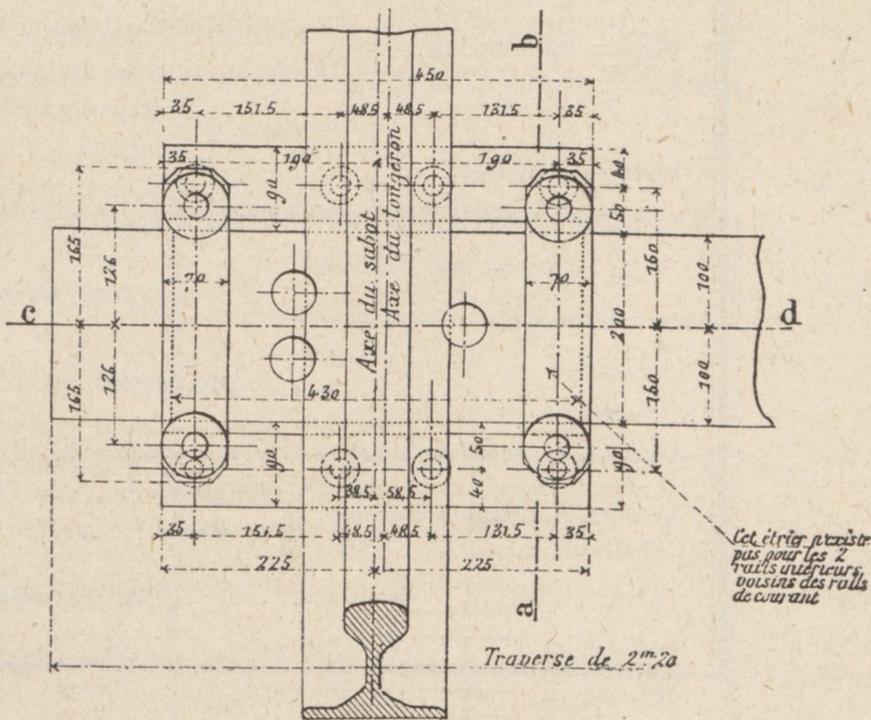


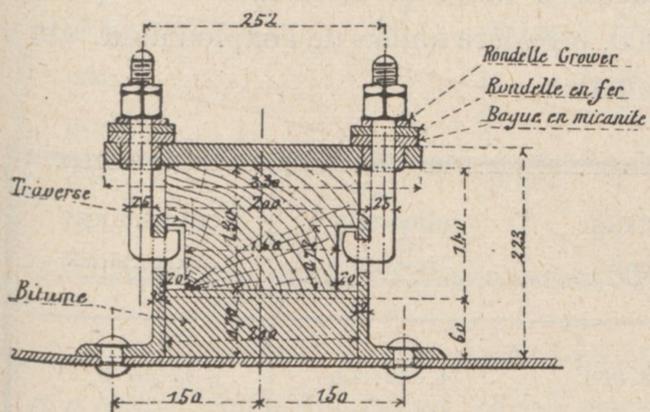
Fig. 47. — PLAN MONTRANT LA FIXATION DES TRAVERSES SUR LE TABLIER MÉTALLIQUE.



chacune, au droit de deux piliers correspondants, et reposant sur ceux-ci. Ces poutres sont reliées par quatre cours de longerons placés au-dessous des rails. Le tout est recouvert d'un platelage en tôle qui, dans son axe longitudinal, est muni d'une fente laissant passer les eaux de surface qui sont ensuite

recueillies dans un chéneau longitudinal placé au-dessous, qui sert à les évacuer à chaque extrémité du viaduc.

Fig. 48. — FIXATION DES TRAVERSES SUR LE TABLIER.



Les rails (Fig. 46 à 48) sont posés sur des traverses qui reposent sur le platelage du tablier, au moyen de sabots en bitume, fixés entre les cornières.

L'élargissement du pont de Bercy ayant été exécuté par le Service de la navigation de la Seine, le Service du Métropolitain n'a eu à construire que le viaduc qui lui est superposé.

VOIE, MATÉRIEL ROULANT, SIGNAUX.

Dans les divers articles sur le Métropolitain parus précédemment dans la *Revue Générale*, nous avons donné des renseignements complets sur la voie et ses accessoires, sur le matériel roulant, ainsi que sur les signaux automatiques.

Rien n'ayant été modifié aux dispositifs décrits, nous n'y reviendrons donc pas. Toutefois nous croyons intéressant de publier le tableau ci-dessous qui montre l'importance du matériel roulant en service et en construction à la fin de l'année 1911.

SITUATION DU MATÉRIEL ROULANT AU 31 DÉCEMBRE 1911.

Matériel en Service.					
Voitures automotrices...	}	à essieux parallèles.....	12	} 633	
		à bogies.....	621		
Voitures d'attelage.....	}	1 ^{re} classe..	à essieux parallèles.....	108	} 232
			à bogies.....	124	
	}	2 ^e classe..	à essieux parallèles.....	158	} 310
			à bogies.....	152	
Total des voitures en service.....			1.175		
Matériel en Construction.					
Voitures automotrices à bogies.....			70		
Voitures d'attelage à bogies....	}	1 ^{re} classe.....	36	} 66	
		2 ^e classe.....	30		
Total des voitures en construction.....			136		

RÉSULTATS DE L'EXPLOITATION.

Le tableau ci-dessous indique l'accroissement successif des recettes brutes ainsi que des dépenses totales du Métropolitain depuis l'année 1900, première année de l'exploitation. On y donne également les variations du coefficient d'exploitation.

ANNÉES	RECETTES BRUTES	DÉPENSES TOTALES	COEFFICIENT D'EXPLOITATION
1901.....	8.348.000	4.032.000	47,15 %
1902.....	10.762.000	4.561.000	41,52 %
1903.....	17.291.000	7.577.000	42,09 %
1904.....	20.348.000	8.780.000	42,49 %
1905.....	25.705.000	11.353.000	43,34 %
1906.....	29.396.000	12.562.000	42,73 %
1907.....	34.681.000	14.955.000	43,12 %
1908.....	40.663.000	17.087.000	42,02 %
1909.....	44.837.000	18.880.000	42,11 %
1910.....	44.735.751	19.162.610	42,83 %
1911.....	54.268.216	22.799.100	42,01 %

En 1911, les recettes brutes d'exploitation, y compris les produits divers, ont atteint le chiffre de 54.268.215 fr. 78, et les dépenses totales celui de 22.799.099 fr. 10, ce qui donne un coefficient d'exploitation de 42,01 %.

Si on déduit des recettes brutes la somme versée à la ville de Paris en vertu de l'article 19 de l'acte de concession, on obtient le produit net annuel dont le tableau suivant donne les valeurs pour chaque année à partir de 1900. Ce même tableau donne également les longueurs exploitées dans l'année, le nombre de voyageurs transportés ainsi que le produit net par kilomètre.

ANNÉES	LONGUEUR MOYENNE exploitée dans l'année	NOMBRE de VOYAGEURS	PRODUIT NET ANNUEL	
			TOTAL	par KILOMÈTRE
1900.....	5.135	»	738.086 33	143.741 29
1901.....	13.329	48.478.116	1.740.504 33	130.580 26
1902.....	14.272	62.122.728	2.848.246 40	199.568 83
1903.....	23.442	100.107.631	4.355.967 21	185.818 93
1904.....	26.037	117.550.521	5.210.111 06	200.104 12
1905.....	31.754	148.700.821	6.443.747 70	202.927 11
1906.....	38.136	165.319.216	7.433.922 88	194.931 89
1907.....	44.338	194.823.282	8.500.384 48	191.717 81
1908.....	48.543	229.700.519	10.306.534 67	212.317 63
1909.....	54.414	254.445.992	11.278.778 38	207.277 14
1910.....	62.067	251.701.253	11.050.094 69	178.034 94
1911.....	70.601	305.311.995	13.644.704 »	193.265 02

Pour l'année 1911, la part versée à la ville de Paris ayant été de 17.824.412 fr. 68, le produit net a été de 13.644.704 francs, ce qui, pour une longueur de 70 kil. 601, représente un produit kilométrique de 193.265 fr. 02.

On remarquera sur ce tableau l'abaissement du nombre de voyageurs ainsi que du produit net annuel kilométrique pour l'année 1910. Cet abaissement notable est dû aux inondations de Janvier 1910 qui ont causé un sérieux préjudice à la Compagnie du Métropolitain. Le trafic en effet qui s'est trouvé complètement interrompu sur la moitié du parcours, n'a pu être repris qu'au bout de deux mois, c'est-à-dire au commencement d'avril. Les pertes subies par les lignes métropolitaines et provenant des inondations de 1910 peuvent être estimées à 5 millions de francs en chiffres ronds, dont 3.300.000 francs résultant des travaux de défense contre l'envahissement des eaux, épuisement de ces eaux, remise en état du souterrain, des usines électriques, du salaire du personnel inoccupé et de 1.700.000 francs provenant de la privation de bénéfice due à l'interruption du trafic.

Le tableau suivant donne le pourcentage des produits par catégorie de voyageurs :

ÉLÉMENTS du TRAFIC	PROPORTION % DES BILLETS DÉLIVRÉS						PROPORTION % DES RECETTES					
	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1906	1907	1908	1909	1910	1911
	Billets de 1 ^{re} classe	11,94	12,22	11,44	10,68	10,66	10,91	17,16	17,49	16,45	15,39	15,34
Billets de 2 ^e classe.....	66,31	65,01	65,59	65,60	65,19	64,72	57,19	55,81	56,59	56,75	56,30	55,77
Billets d'aller et retour.....	21,73	22,75	22,95	23,70	24,13	24,35	24,99	26,05	26,40	27,34	27,78	27,98
Billets collectifs.....	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	»	»	»	»	»	»
Perceptions supplémentaires.	»	»	»	»	»	»	0,66	0,65	0,56	0,52	0,58	0,57
	100, »	100, »	100, »	100, »	100, »	100, »	100, »	100, »	100, »	100, »	100, »	100, »

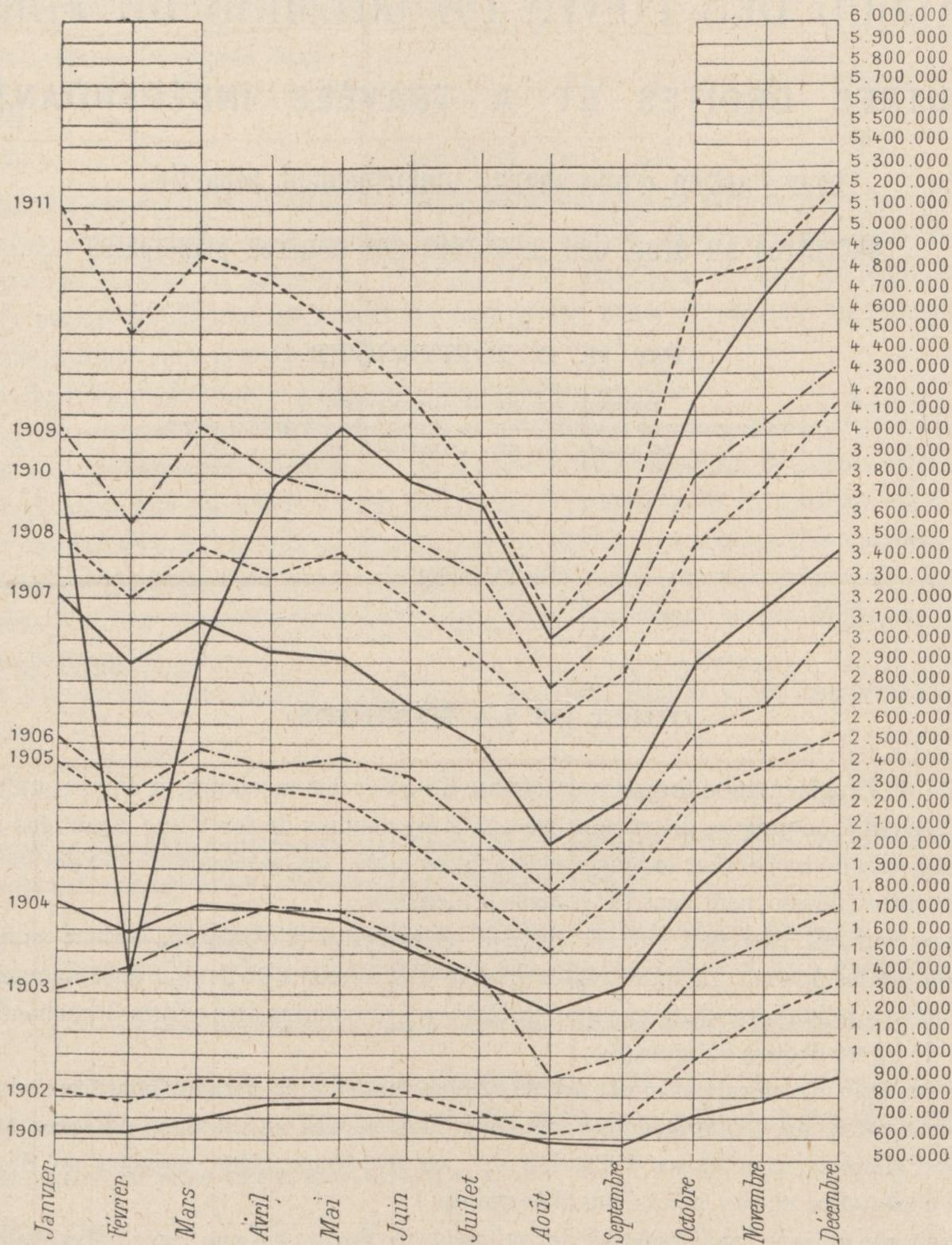
Quant à la répartition des dépenses d'exploitation, elle est indiquée dans le tableau ci-dessous :

SERVICE DÉPENSIER	En 1906		En 1907		En 1908		En 1909		En 1910		En 1911	
	SOMMES	PROPORTION %										
Administration centrale	254.788 59	2,03	247.872 86	1,66	277.992 38	1,62	339.687 94	1,80	326.261 47	1,70	359.557 69	1,58
Service général de l'Exploitation.....	2.424.472 70	19,30	2.706.157 58	18,15	3.018.902 19	17,67	3.395.668 06	17,98	3.607.664 97	18,83	4.254.253 67	18,66
Mouvement.....	3.227.247 81	25,69	3.767.345 40	25,19	4.293.638 65	25,13	4.725.971 58	25,03	4.891.021 80	25,52	6.158.006 97	27,01
Matériel roulant et Traction.....	5.586.156 62	44,47	6.803.612 99	45,44	7.958.003 13	46,57	8.635.371 16	45,74	8.349.998 58	43,58	9.388.185 09	41,18
Voie, accès et Matériel fixe électrique.....	1.070.107 97	8,51	1.430.503 46	9,56	1.539.227 69	9,01	1.784.150 32	9,45	1.987.664 75	10,37	2.639.095 68	11,57
TOTAUX.....	12.562.773 69	100, »	14.955.492 29	100, »	17.087.764 04	100, »	18.880.849 06	100, »	19.162.611 57	100, »	22.799.099 10	100, »

Comme nous l'avons dit plus haut, les recettes nettes pour l'année 1911 ont été de 13.644.704 francs. Si de cette somme nous défalquons les charges d'emprunt et autres dépenses, il reste un bénéfice de 8.961.782 fr. 71, qui a permis de donner un dividende de 21 francs par action.

Avant de terminer ce rapide exposé du résultat de l'exploitation du Métropolitain, nous croyons intéressant de reproduire le graphique ci-dessous :

Fig. 49. — GRAPHIQUE DES RECETTES MENSUELLES.



qui indique les variations mensuelles du trafic pendant les différentes années qui ont suivi la mise en exploitation du Métropolitain de Paris. On remarquera l'influence très nette de la période des vacances (Août), sur le nombre de voyageurs transportés, ainsi que l'abaissement dont nous parlions tout à l'heure du nombre de ces voyageurs en Janvier 1910 par suite des inondations (1.400.000 voyageurs au lieu de 3.600.000 en Janvier 1909).

Fig. 1. — PLAN MONTRANT LE CROISEMENT DES LIGNES N^{os} 4, 5 ET 7
A LA GARE DE L'EST ET LA GARE TERMINUS-NORD DE LA LIGNE N^o 5.

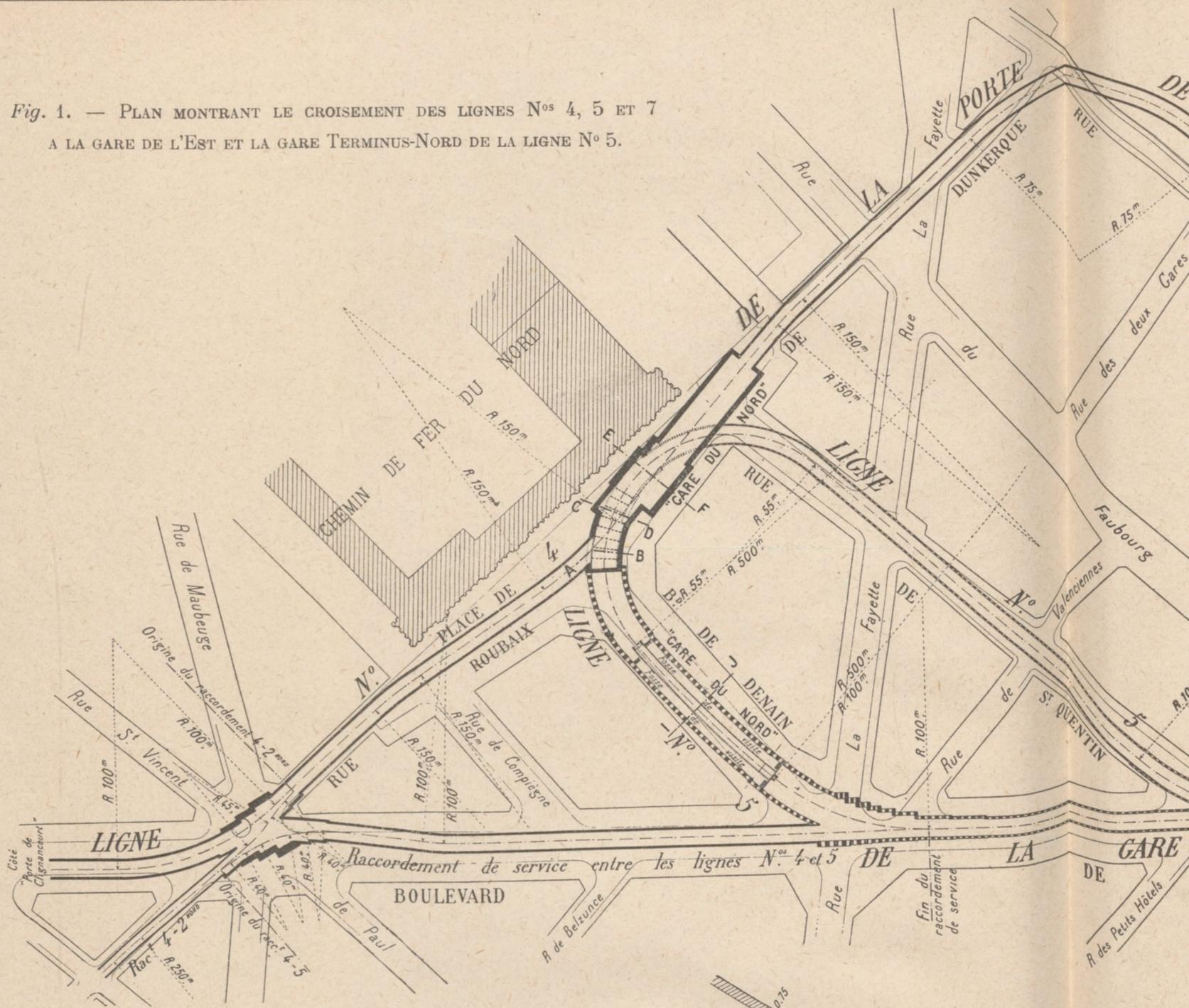
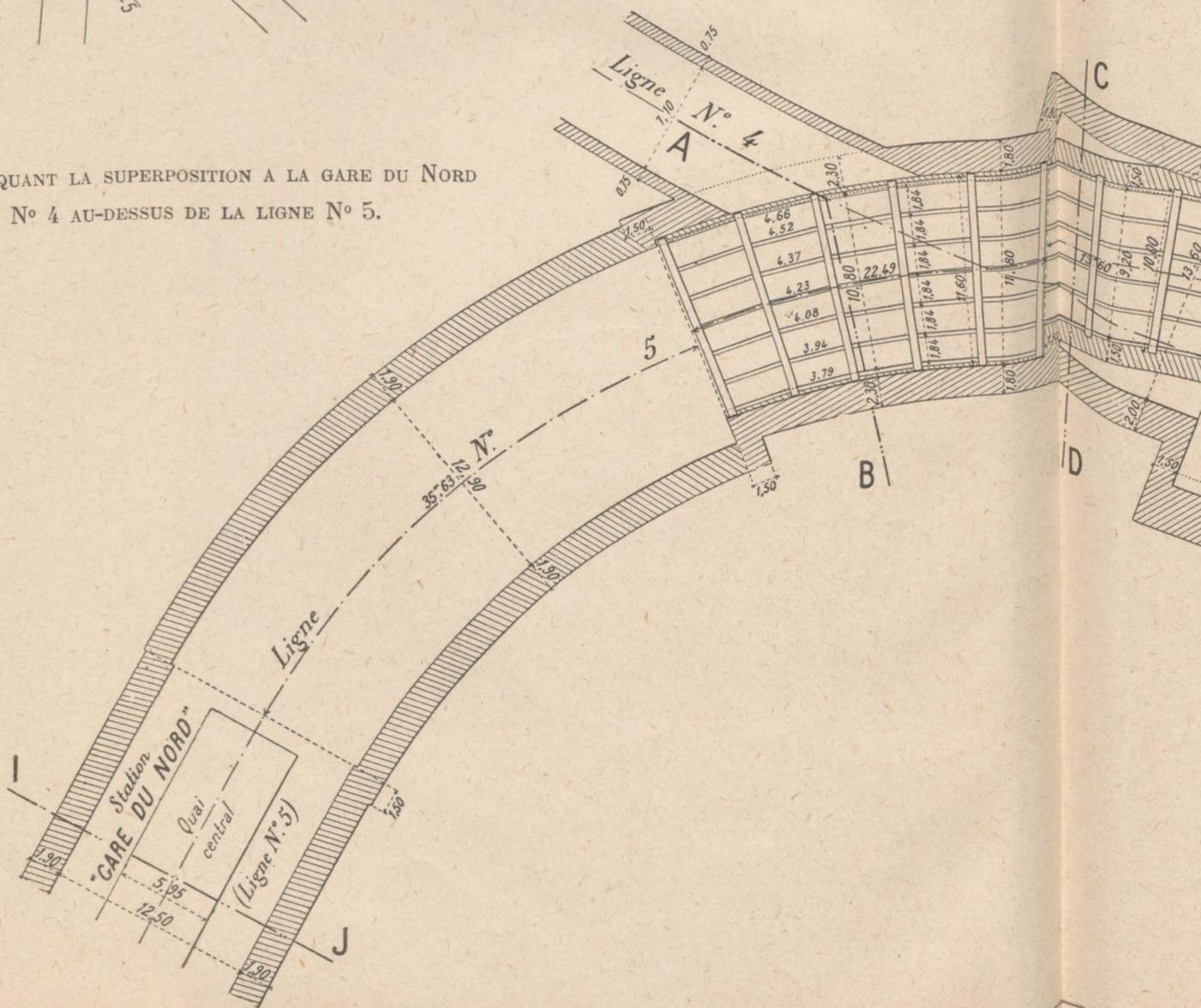
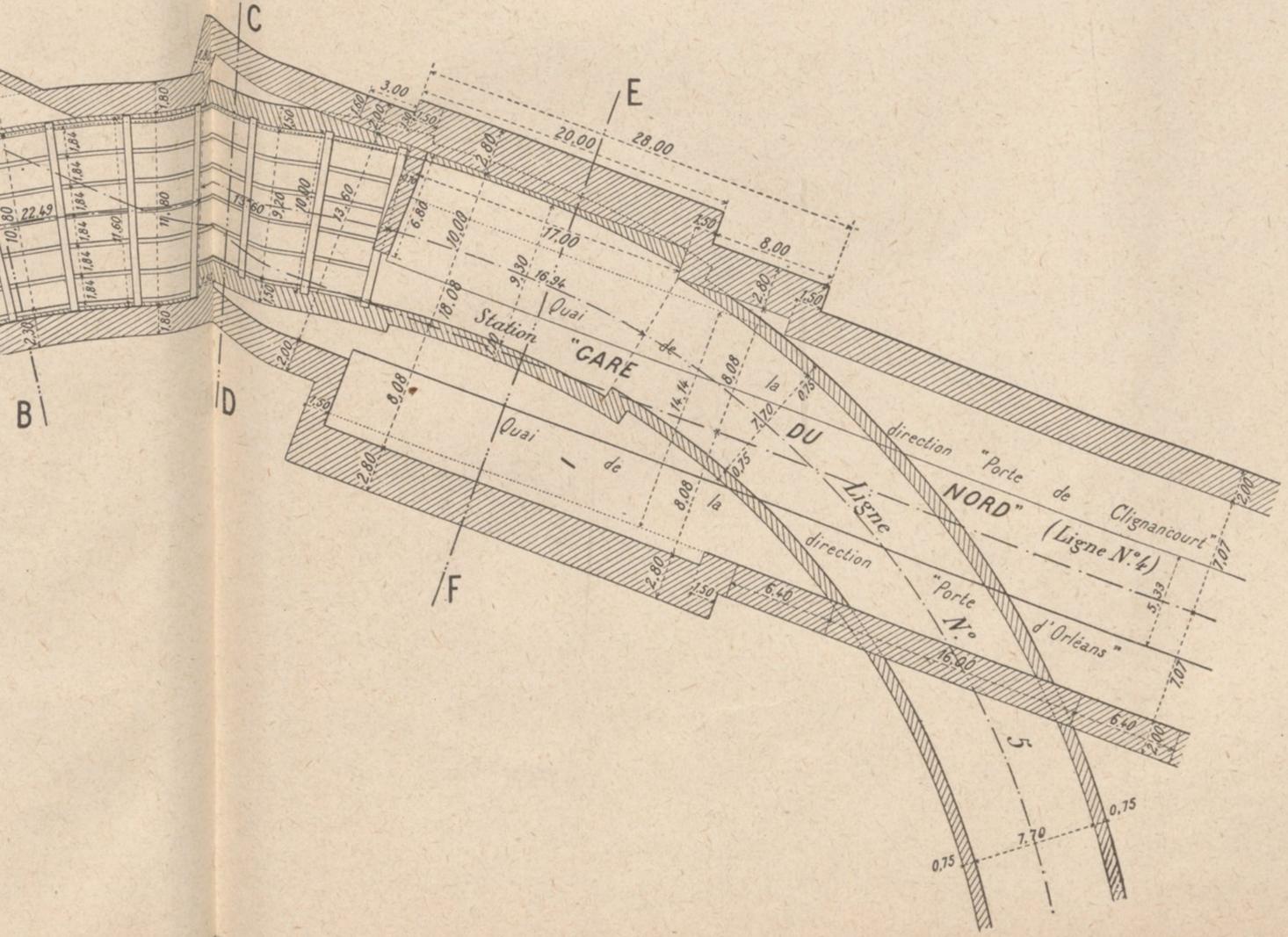
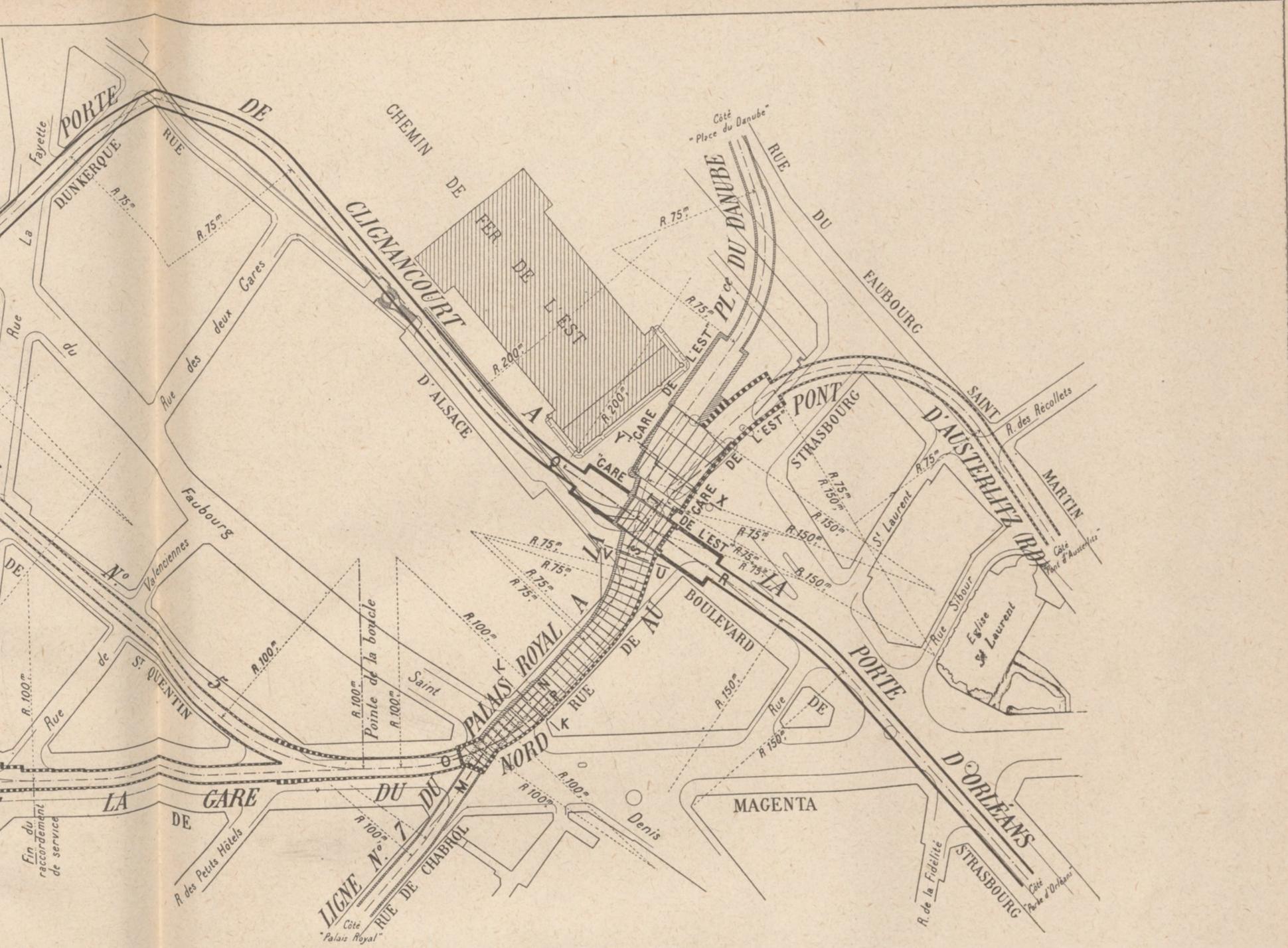


Fig. 2. — PLAN INDIQUANT LA SUPERPOSITION A LA GARE DU NORD
DE LA LIGNE N^o 4 AU-DESSUS DE LA LIGNE N^o 5.





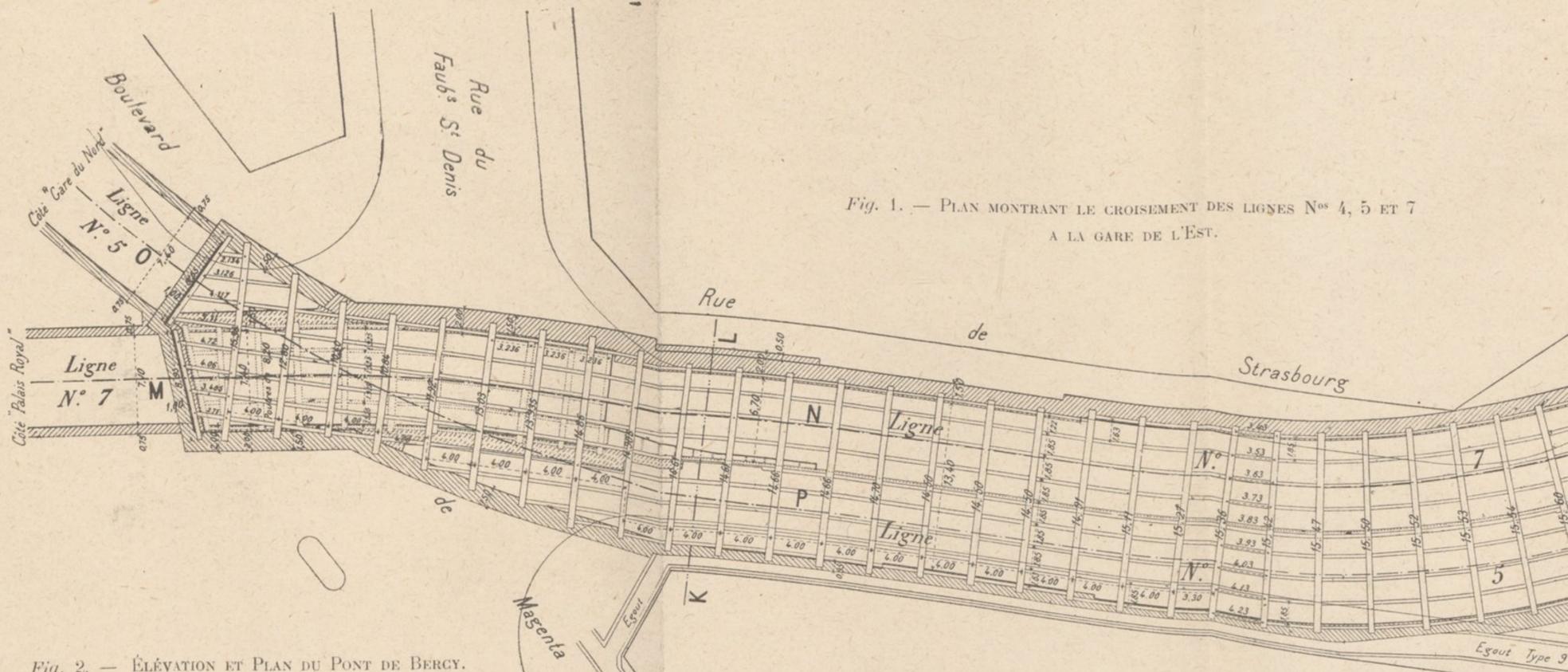


Fig. 1. — PLAN MONTRANT LE CROISEMENT DES LIGNES N°s 4, 5 ET 7 A LA GARE DE L'EST.

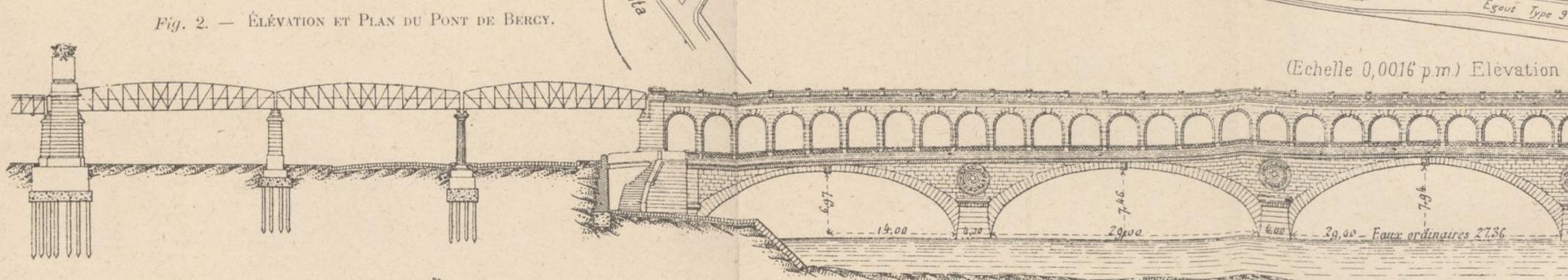
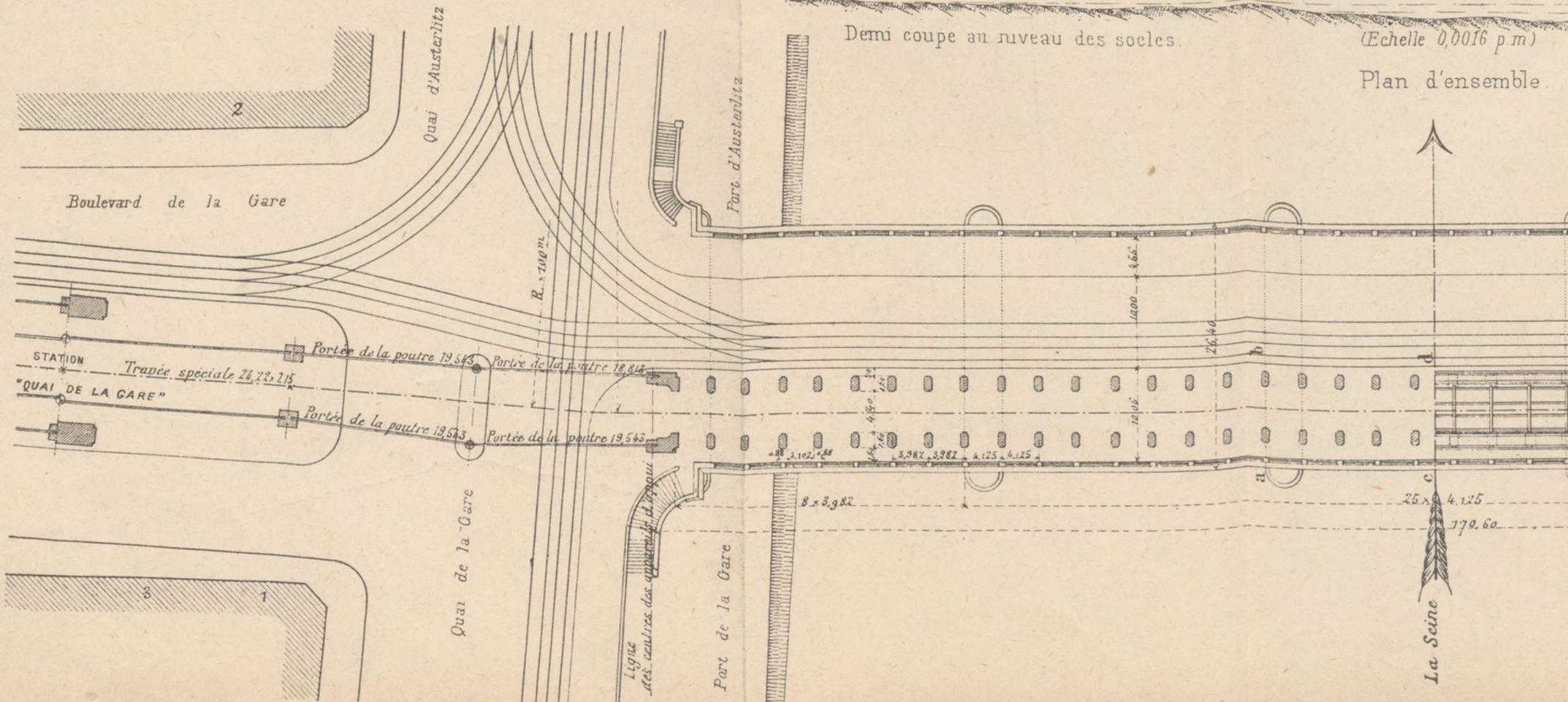


Fig. 2. — ÉLÉVATION ET PLAN DU PONT DE BERGY.



Demi coupe au niveau des soeles. (Echelle 0,0016 p.m.) Plan d'ensemble.

