
LE
CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN DE PARIS

Par M. R. GODFERNAUX,
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES.

(Pl. X.)

Dans les N^{os} de Septembre 1900 et d'Avril 1903 de la « *Revue Générale* » nous avons donné des indications détaillées sur la constitution du réseau Métropolitain de Paris, indiqué les lignes faisant partie de la 1^{re} concession et donné la description des lignes n^o 1 et n^o 2 qui ont été mises en exploitation les premières.

Depuis lors, un grand nombre de lignes nouvelles sont venues s'ajouter à la concession primitive, soit à titre définitif, soit à titre éventuel. C'est de ces lignes et des modifications et additions qui ont été apportées au programme primitif que nous allons parler aujourd'hui, en donnant la description des travaux intéressants qui ont été exécutés à l'occasion de la construction des lignes nouvelles, et nous terminerons par quelques renseignements sur les résultats d'Exploitation.

CONSTITUTION DU RÉSEAU CONCÉDÉ ET DU RÉSEAU COMPLÉMENTAIRE

Les lignes suivantes, indiquées sur la Pl. X, ont été concédées à la Compagnie du Métropolitain de Paris par la loi du 30 mars 1898.

Ligne n ^o 1. — De la Porte de Vincennes à la Porte Maillot.....	10.576 ^{km}
— 2. — Circulaire par les boulevards extérieurs.....	23.211
— 3. — De Courcelles à Ménilmontant.....	7.000
— 4. — De la Porte de Clignancourt à la Porte d'Orléans.....	11.308
— 5. — De la gare du Nord au pont d'Austerlitz et à la place d'Italie	4.695
— 6. — Du Cours de Vincennes à la place d'Italie... ..	5.097
— 7. — De la place du Danube au Palais Royal	8.953
— 8. — D'Auteuil à l'Opéra par Grenelle.....	7.186
	<hr/>
Longueur totale.....	78.026

La plus grande partie de ces lignes est actuellement en service, le reste est en construction.

En 1903, on a concédé à la Compagnie du Métropolitain :

1° La ligne n° 3 <i>bis</i> de la station de l'Avenue des Villiers à la Porte de Champerret, prolongement de la ligne n° 3 par le boulevard Malesherbes.	1.916
2° La ligne n° 7 <i>bis</i> , du carrefour Louis Blanc à la porte de la Vilette, prolongement de la ligne n° 7 par le Faubourg Saint-Martin et la rue de Flandre.....	2.737
	4.653

Ces deux lignes sont en construction.

En 1904, le Conseil municipal a ajouté aux concessions premières un embranchement sur la ligne n° 2 Sud, allant de la Porte de St-Cloud au Trocadéro, dont la longueur est de 4.560 mètres. Enfin, en décembre 1907, le Conseil municipal concédait à la Compagnie du chemin de fer Métropolitain différentes lignes qui ont été classées en deux catégories :

a) Lignes concédées à *titre ferme* :

b) — — — *titre éventuel*.

Les lignes concédées à *titre ferme* sont les suivantes :

1° Prolongement de la ligne n° 7 jusqu'à l'Hôtel de Ville et au boulevard Henri IV par les quais	3.710	»
2° Prolongement de la ligne n° 3 jusqu'à la Porte des Lilas, avec raccordement sur la ligne n° 7 par la Porte des Prés-St-Gervais.....	2.250	»
3° Prolongement de la ligne n° 4 de la Porte d'Orléans à la Porte de Gentilly....	1.400	»
4° Prolongement de la Porte de St-Cloud-Trocadéro, jusqu'à l'Opéra et éventuellement jusqu'au carrefour Drouot.....	3.995	»
5° Embranchement de la Bastille à la Porte de Picpus	4.252	»
6° Ceinture intérieure par les grands boulevards et le boulevard Saint-Germain, des Invalides aux Invalides, se confondant avec la ligne n° 8 entre les Invalides et l'Opéra, avec passage par la rue de Sèvres.....	10.273 ⁽¹⁾	»
7° Ligne de la place de la République à la Porte des Lilas	3.940	»
8° Ligne de la Porte de Choisy et de la Porte d'Italie au boulevard St-Germain avec raccordement sur la ligne n° 4 au carrefour de l'Odéon	4.528	»
9° Ligne de la Porte de Montreuil à la Place de la République.....	4.655	»
	39.003	»

(1) Non compris la partie commune avec la ligne n° 8 (longueur 2^k009 »).

Les lignes concédées à *titre éventuel* comprennent :

1° Embranchement de St-Augustin à la Porte des Ternes avec prolongement éventuel à la Porte Maillot (y compris la longueur de ce prolongement, soit 450 ^m)..	3.700	»
2° Embranchement de la ligne n° 8 sur la Porte de Sévres.....	2.240	»
3° Partie centrale de la ligne de la Porte de Choisy et de la Place d'Italie à la Place de la République	2.600	»
4° Embranchement du boulevard de la Villette à la Porte de Pantin.....	2.800	»
5° Raccordement des lignes n° 8 et n° 4 entre le pont Mirabeau et l'Eglise de Montrouge.....	4.700	»
	16.040	»
		Longueur totale.....

En résumé, à l'heure actuelle, la longueur totale des lignes concédées à *titre ferme* à la Compagnie du Métropolitain est de 126.242^m et la longueur de celles concédées à *titre éventuel* est de 16.040 mètres.

Pour faire face à ces dépenses, la ville de Paris a effectué quatre emprunts, dont le montant s'élève à 490 millions :

1° Emprunt de 165 millions, autorisé par la loi du 4 avril 1898.	
2° — 170 millions — 26 juin 1903.	
3° — 45 millions — 10 avril 1908.	
4° — 110 millions —	
Total.....	490 millions.

Ce qui, pour une longueur de 126 kilomètres concédés à titre ferme et pour lesquels cette somme a été empruntée, représente une somme d'environ 3.300.000 francs par kilomètre.

Ce capital ayant été emprunté au taux moyen de 3,70 %, l'annuité totale nécessaire au gage des quatre emprunts, monte, y compris l'amortissement, à la somme annuelle de 18.509.000 fr.

D'un autre côté, il résulte des calculs faits par l'administration et basés sur les résultats déjà obtenus sur les lignes déjà exploitées qu'il est possible de compter sur un mouvement annuel de 440 millions de voyageurs. Par suite des conventions prévues avec la Compagnie du Métropolitain, il reviendra, de ce fait, à la ville de Paris une somme de 23.150.000 fr., supérieure d'environ 4.000.000 au gage des emprunts.

OUVRAGES D'ART

Après ce rapide exposé de la situation actuelle du réseau métropolitain, nous allons donner quelques indications sur les travaux importants qui ont été exécutés dans la construction des lignes nouvelles, car nous ne reviendrons pas sur les ouvrages courants tels que : tunnels, tranchées couvertes, viaducs métalliques, stations voûtées ou en viaducs, ces différents types d'ouvrages ayant été déjà longuement décrits dans les numéros précédemment cités de la « *Revue Générale* ».

Les ouvrages exceptionnels, fort intéressants à divers points de vue, feront donc seuls l'objet de cette note.

VIADUC D'AUSTERLITZ. — (Vue d'ensemble de l'ouvrage).



PONT D'AUSTERLITZ.

La ligne n° 5 de la gare du Nord à la Place d'Italie traverse la Seine à quelques mètres en amont du pont en pierre d'Austerlitz. Pour franchir le fleuve, l'Administration avait décidé d'établir un pont métallique en arc de 140^m,00 d'ouverture dont le tablier ne devait pas se trouver à une hauteur supérieure à 12^m,00 au-dessus du niveau du fleuve, dans le but d'éviter des rampes d'accès de trop grande inclinaison.

L'avant-projet étudié par l'Administration fut mis au concours et ce fut le projet présenté par la Société de construction de Levallois-Perret qui fut définitivement adopté.

Comme le montre les Fig. 1 et 2, le pont se compose d'un arc métallique à trois articulations de 107^m,30 d'ouverture et 11^m,720 de flèche, soit un rapport de $\frac{1}{9.142}$, prenant appui aux naissances sur des encorbellements également métalliques de 16^m,40 de portée prenant appui eux-mêmes sur les culées en maçonnerie établies sur les deux rives. A cet arc est suspendu, au moyen de tirants verticaux, le tablier qui supporte les voies du Métropolitain. Cette disposition de l'arc métallique a l'avantage de permettre de réduire la hauteur de cet arc et, par suite, son poids et de donner à l'ensemble un aspect de plus grande légèreté. Mais, d'un autre côté, elle nécessite certaines dispositions spéciales.

Pour résister aux efforts du vent les deux arcs métalliques, qui sont écartés l'un de l'autre de 7^m,8 sont reliés ensemble par un contreventement. Mais ce contreventement ne peut être établi que sur la longueur M A P, un espace libre R M et P R' devant être conservé pour le passage des trains. Il résulte de cette discontinuité que les efforts dus au vent ne peuvent être transmis directement aux culées et que c'est le tablier du pont qui doit remplir cet office. Dans ce but, chacun des cadres formé par les tiges verticales de suspension, les poutres transversales du tablier et du contreventement supérieur doivent être assez résistantes pour transmettre au tablier les efforts dus au vent et agissant sur l'arc. En réalité, c'est le tablier lui-même qui reporte aux culées toutes les pressions du vent, soit sur l'arc, soit sur toutes les autres parties de l'ossature.

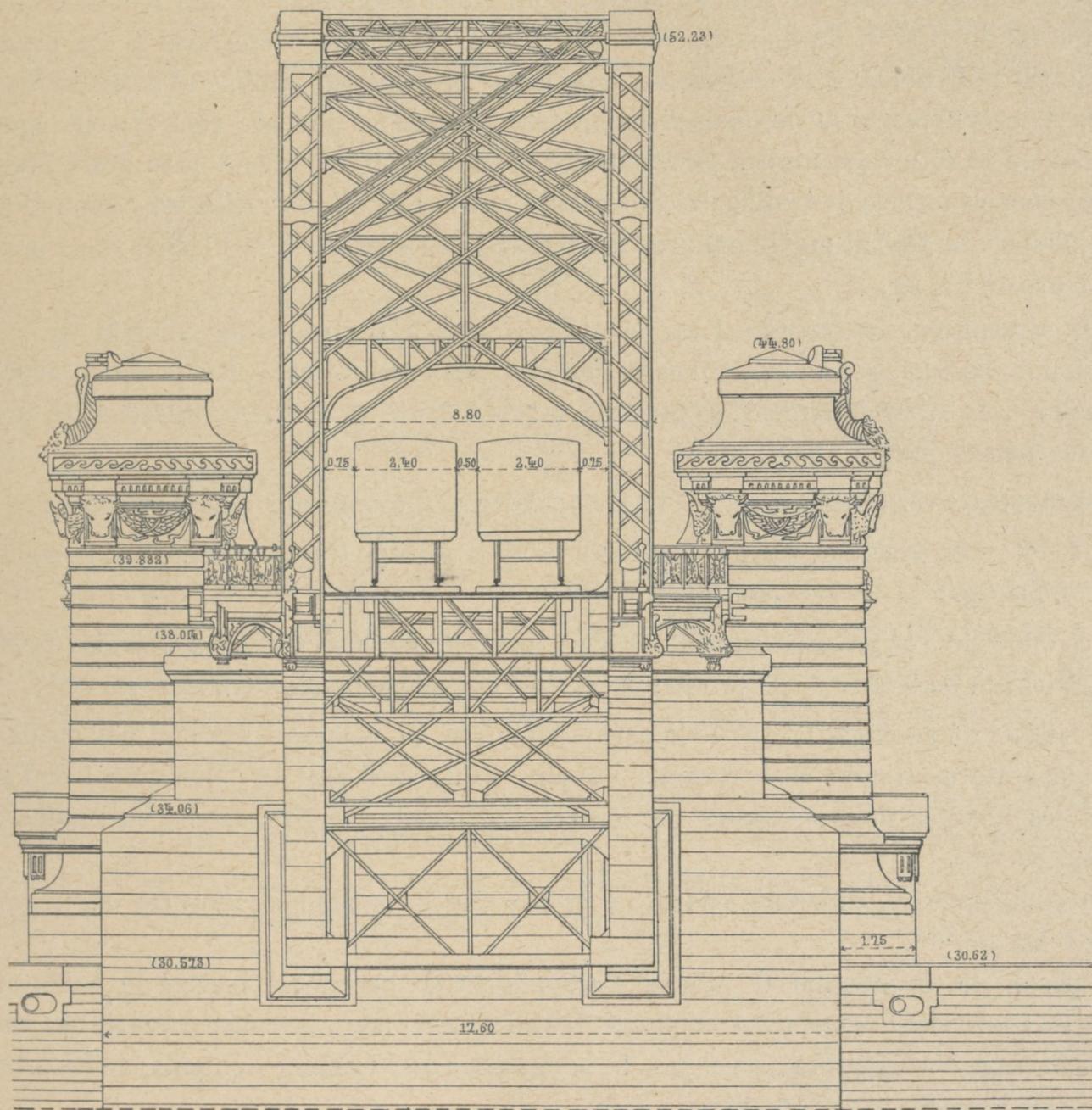
Une seconde disposition spéciale a dû être adoptée dans le but de tenir compte des changements de température. Le tablier s'allonge ou se raccourcit sous l'action de la température et produit sur les montants verticaux qui le relient à l'arc, des moments de flexion qui sont d'autant plus grands que la distance entre la position primitive du montant et celle due au changement de température est elle-même plus grande. C'est donc cette distance qu'il faut rendre aussi petite que possible. Dans le but de diminuer ces moments de flexion qui auraient nécessité pour les montants verticaux des sections par trop considérables, on a adopté la disposition suivante qui consiste à rendre fixe le milieu du tablier, de telle sorte que ce point milieu occupe constamment le milieu de l'ouverture de la travée. Les variations de position des extrémités inférieures des montants verticaux résultant de l'allongement ou du raccourcissement du tablier, se trouvent ainsi réduites à celles dues à l'allongement de la demi-corde, au lieu de la corde entière, et les efforts de flexion se trouvent ainsi notablement réduits. Pour maintenir le milieu du tablier d'une manière permanente au centre de l'ouverture de la travée, deux tiges métalliques sont fixées, à une de leurs extrémités, aux retombées de l'arc métallique, et à l'autre extrémité, à un balancier dont l'axe est fixé au plancher au milieu

de l'ouverture. C'est une disposition semblable à celle déjà antérieurement adoptée pour le pont de Passy, construit par la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

Le tablier doit remplir une dernière condition. L'articulation du sommet de l'arc s'élève ou s'abaisse sous l'influence de la température. Lorsque, par suite d'une élévation de température, l'articulation s'élève, le tablier qui est relié à l'arc par des montants verticaux suit ce mouvement d'ascension et il se produit en son milieu un moment de flexion considérable.

Fig. 2. — COUPE TRANSVERSALE DU PONT D'AUSTERLITZ.

Coupe AB.



On aurait pu couper le tablier en son milieu et y établir une articulation, mais on a préféré donner aux poutres extérieures du tablier un moment d'inertie suffisant pour résister à cet effort de flexion supplémentaire.

L'arc, comme nous l'avons dit, se compose d'une partie centrale à trois articulations de 107^m,20 d'ouverture et de 11^m,72 de flèche, supportée aux naissances par des encorbellements prenant appui sur les culées. Les deux demi-fermes de l'arc à trois articulations ont la forme

d'un croissant. Les arcs ont une section en forme de caisson dont les semelles supérieures et inférieures formées de platebandes et de fers cornières sont reliées par un treillis, sauf près des articulations où des plaques en tôle remplacent le treillis.

Ces arcs ont à supporter : le poids de la partie métallique du pont qui est de 5.000 kg par mètre courant de pont, soit 2.500 kg. par mètre courant d'arc ; le poids des trains et, enfin, les efforts dus au vent.

Les sections à donner aux arcs ont été calculées en combinant les différents efforts dus à ces différentes charges, de telle sorte que le travail maximum dans la semelle supérieure de l'arc est de 9,3 kg. par millimètre carré et, dans la semelle inférieure, de 9.45 kg. Dans le treillis ce travail est de 6.7 kg.

L'articulation de l'arc au sommet supporte un effort maximum de 585 tonnes qui, réparti sur un axe de 150 mm de diamètre et d'une largeur de 1^m,00, correspond à une pression de 3.9 kg. par millimètre. Aux naissances, cette même pression par millimètre carré est de 4.2 kg.

Les encorbellements sur lesquels reposent les articulations de l'arc central sont également une section en forme de caisson. Leur hauteur va en croissant et atteint près des culées 3^m,80 et leur âme est formée de treillis, sauf aux deux extrémités où ce treillis est remplacé par des tôles pleines. Le travail maximum dans la semelle supérieure est de 9.4 kg. et dans la semelle inférieure de 9.2 kg.

Aux retombées, les pressions sur les culées, sont à l'extrados de 585.800 kg. soit une pression de 39.5 kg. par centimètre carré sur la maçonnerie. Quant à l'articulation de 80 mm de diamètre et de 1.000 de largeur, sa pression est de 7.3 kg. par mm². A l'intrados les pressions sont les mêmes que les précédentes.

Les montants verticaux qui relient l'arc au tablier sont soumis aux efforts suivants :

1° L'effort de traction dû au poids du tablier et des trains circulant sur ce tablier, soit 27.504 kg. ;

2° L'effort dû à la pression du vent sur l'arc que ces montants verticaux doivent transmettre intégralement au tablier et qui produisent un effort supplémentaire de 3.8 kg. par mm² ;

3° L'effort dû au déplacement de la partie inférieure du montant résultant des changements de température, comme nous l'avons vu plus haut, ainsi que du déplacement de l'arc par suite des charges dissymétriques de celui-ci. Cet effort supplémentaire maximum est de 3.7 kg. par mm².

En combinant ces différents efforts, on trouve que le montant 6 supporte un travail total de 9.4 kg. par mm².

A partir de ce montant 6 jusqu'à l'articulation de naissance, malgré le faible moment d'inertie transversal donné à ces montants, le travail total par millimètre carré de ces montants devenait trop considérable ; on a pris le parti, pour ces derniers montants, de les articuler à leur point d'attache avec le tablier.

Le plancher qui supporte les rails de la voie sert également à reporter vers les culées toutes les pressions dues au vent. Il doit donc avoir une résistance suffisante pour résister aux moments de flexion et aux efforts tranchants dus à ces pressions.

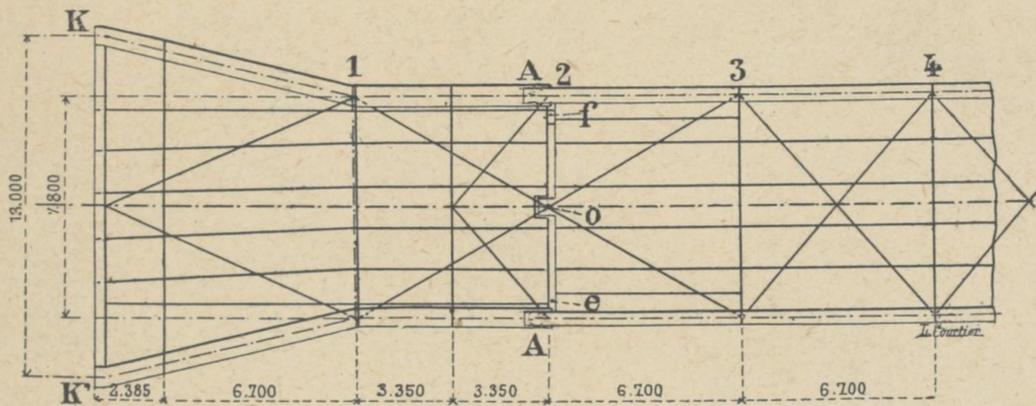
Dans ce but, il a reçu la forme d'une poutre horizontale ayant ses deux semelles extérieures formées d'une poutre en forme de caisson de 0^m,60 de hauteur (Fig. 2). Ces poutres traversent la partie inférieure des montants verticaux auxquels elles sont fixées et, d'un autre côté, sont reliées l'une avec l'autre par les poutres transversales du plancher de 1^m,50 de hauteur qui supportent

la voie et qui, comme les montants verticaux, sont espacées de 6^m,70. Des longerons de 0^m,60 de hauteur relient ces pièces de pont et supportent les rails. Des plaques de tôle formant le plancher ainsi qu'un contreventement composé de montants et de diagonales, placé au-dessous des longerons, relient les poutres extérieures en forme de caisson, et complètent la poutre horizontale.

Les poutres extérieures du plancher sont fixées à l'intrados et à l'extrados de l'arc métallique et se continuent jusqu'aux culées auxquelles elles sont ancrées. Mais, dans le but de s'opposer à ce que ces poutres extérieures forment tirant de l'arc et ne viennent à produire des efforts supplémentaires dans celui-ci, celles-ci sont coupées près de l'intrados de l'arc en A. Elles peuvent alors glisser longitudinalement l'une dans l'autre sous l'influence des changements de température.

D'un autre côté, le plancher formant la partie centrale de l'arc est relié directement, au moyen des diagonales du contreventement, à un point 0 (Fig. 3) qui occupe le milieu de la

Fig. 3. — PLAN DU DEMI-TABLIER.



poutre de pont *e f*, faisant partie de l'encorbellement. Ce point 0 est disposé en forme de glissière permettant le mouvement longitudinal du tablier central, mais s'opposant à tout mouvement transversal. Par suite de cette disposition, le contreventement de l'arc central est complètement indépendant de celui qui constitue la partie inférieure du plancher de la section en encorbellement du pont.

Cette glissière sert de liaison entre les deux contreventements et, par la pression latérale sur ses parois résultant du vent agissant sur l'arc central, les transmet, par l'intermédiaire des poutres extérieures et du contreventement du plancher de la partie en encorbellement, aux ancrages K, K' ménagés dans la maçonnerie des culées.

LE VIADUC HÉLICOÏDAL D'AUSTERLITZ

Sur la rive droite de la Seine le viaduc d'Austerlitz qui franchit ce fleuve est prolongé (Fig. 4 et 5) par des travées métalliques d'accès traversant les quais au moyen d'une courbe formant presque un angle droit et ayant 75 mètres de rayon. Les travées eussent pu être construites au moyen de poutres principales droites indépendantes, prenant appui sur la pile intermédiaire, en augmentant l'écartement de ces poutres de manière à permettre l'inscription de la voie curviligne dans le contour polygonal du tablier. Mais cette disposition déjà adoptée

Fig. 4. — PLAN ET ÉLÉVATION DU VIADUC HÉLICOÏDAL.

Élévation générale développée

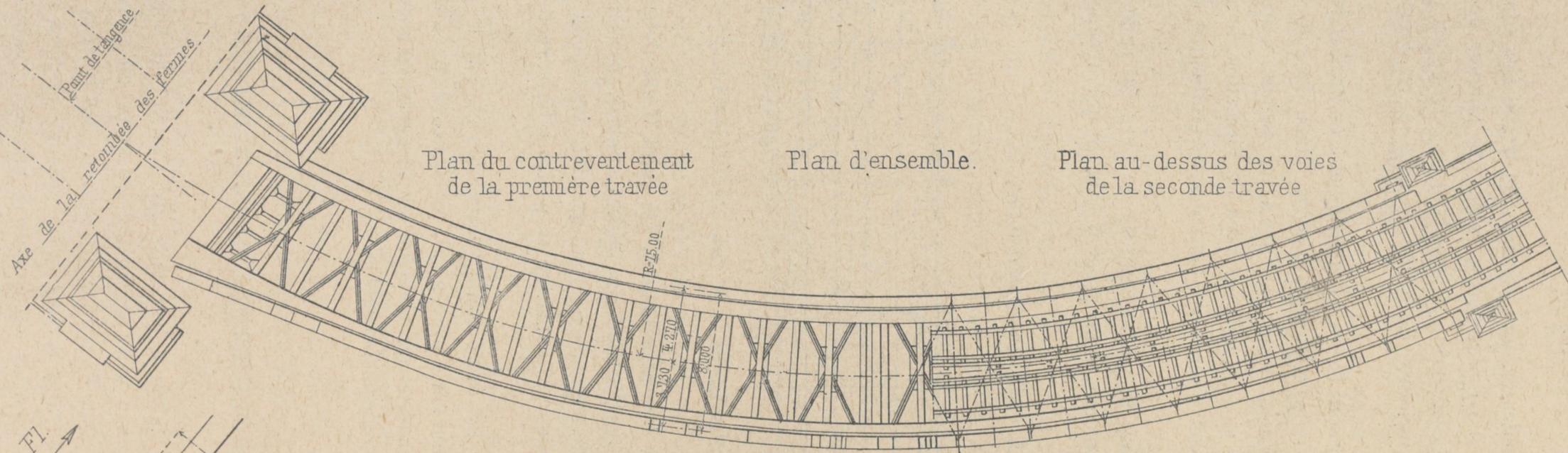
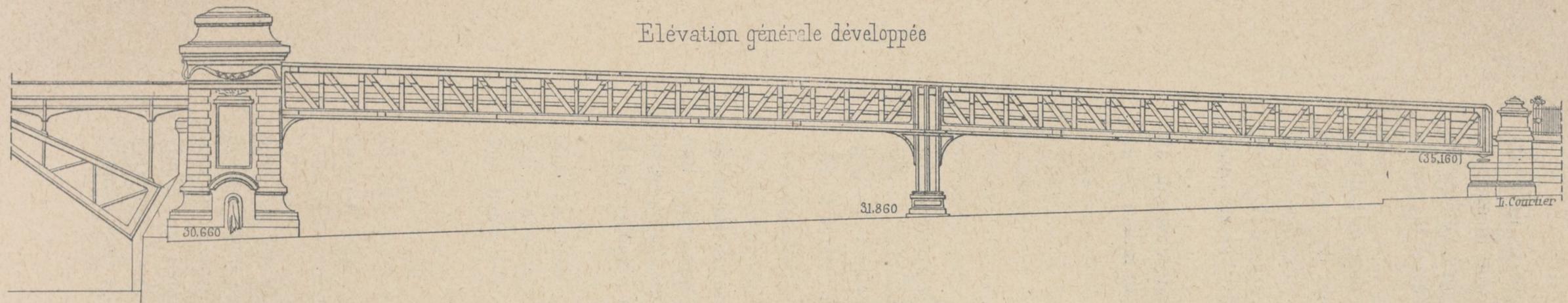
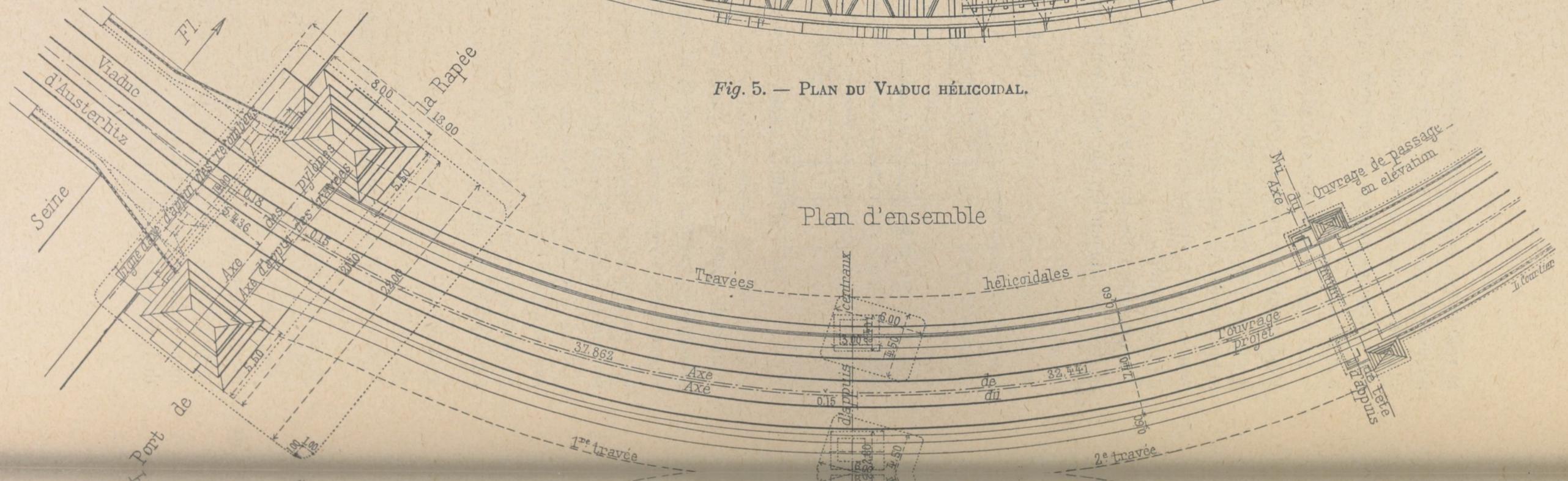
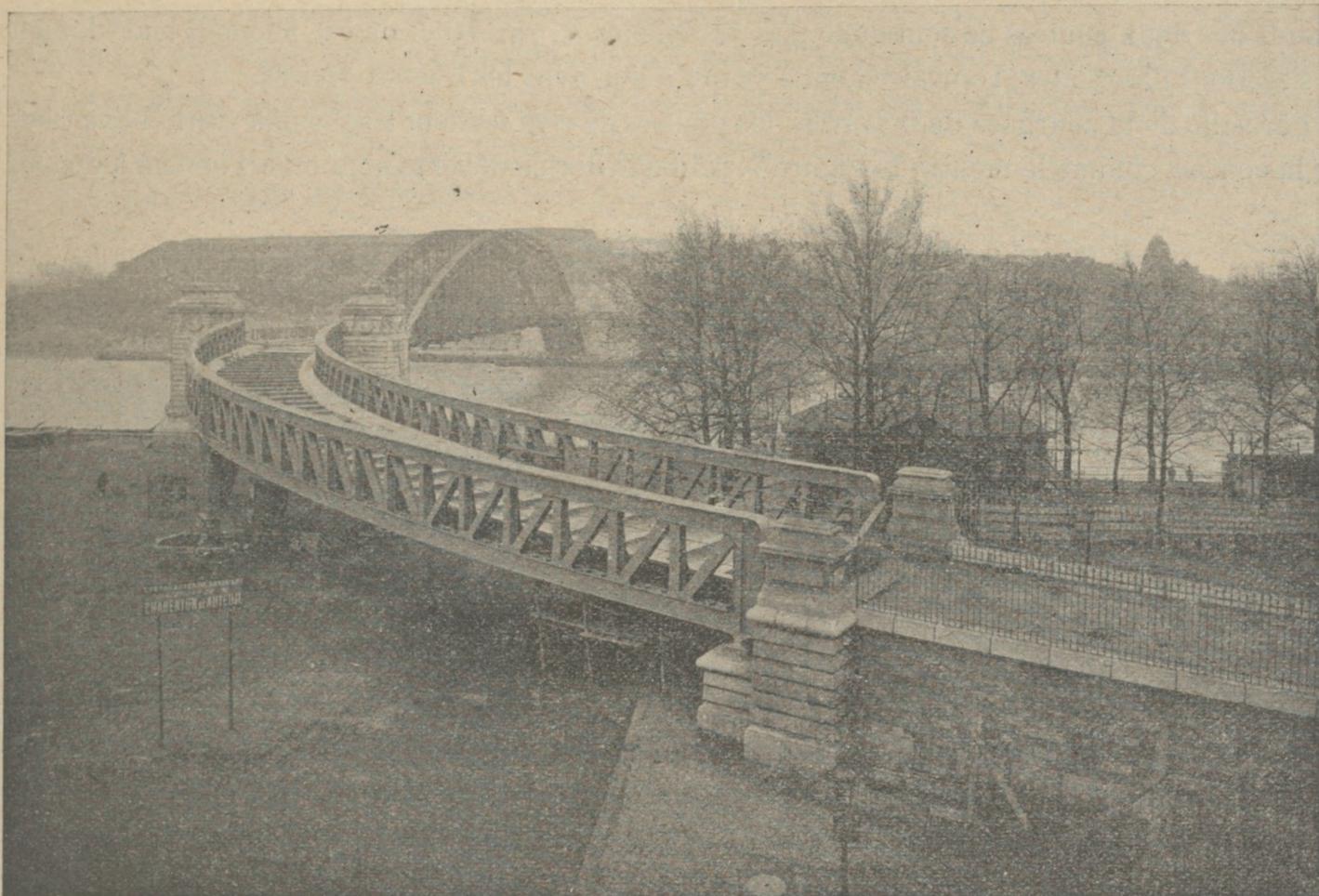


Fig. 5. — PLAN DU VIADUC HÉLICOÏDAL.



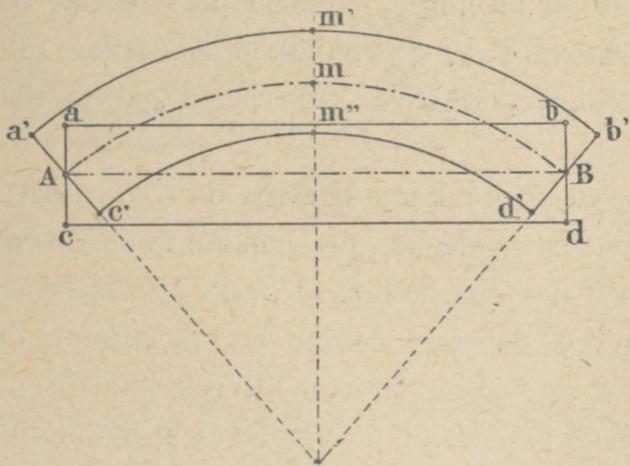
sur la ligne n° 2 au rond-point de la Villette présentait certains inconvénients techniques et, au point de vue esthétique laissait beaucoup à désirer. On a donc préféré employer des poutres de rive courbes entièrement parallèles aux rails de la voie. C'est, du reste, la première

VIADUC D'AUSTERLITZ. — (Travées hélicoïdales de la rive droite).



application d'une pareille disposition tant en France qu'à l'étranger, disposition agréable à l'œil et dont le seul inconvénient est d'entraîner une dépense plus considérable résultant des frais d'usinage plus grands qu'avec une poutre droite.

Fig. 6.



L'espace dont nous pouvons disposer dans cet article ne nous permet pas de développer complètement la théorie des poutres courbes. Toutefois, nous résumerons succinctement ce qui différencie la poutre courbe de la poutre droite, en indiquant les efforts supplémentaires auxquels elle est soumise.

Lorsqu'une travée droite AB (Fig. 6) composée de deux poutres de rive ab et cd est chargée d'un poids uniformément réparti sur toute la partie AB, chacune des deux poutres de rive est soumise aux mêmes mouvements fléchissants et aux mêmes efforts tranchants. Les efforts

qu'elles ont à supporter sont donc égaux et, par suite, ces deux poutres de rive sont identiques comme section à leur donner.

Lorsque, pour franchir la partie A B, on remplace la travée droite par une travée courbe dont les poutres de rive, également courbes, sont parallèles à l'axe de la voie A m B et que cette travée est chargée d'un poids uniformément réparti sur toute la longueur, celle-ci, par suite de sa courbure, subit un effort de torsion tendant à faire tourner la travée autour de son axe longitudinal A m B, en surchargeant la poutre extérieure $a' m' b'$ et en déchargeant la poutre intérieure $c' m'' d'$ comme le montre la Figure 7. Les moments fléchissants et les efforts tranchants des deux poutres ne sont donc plus les mêmes et, par suite, on est amené à leur donner des sections différentes, contrairement à ce qui a lieu avec les travées droites.

Par suite de la courbure de la travée, les poutres de rive tendent à se voiler vers l'extérieur de la courbe, comme le montre la Figure 7. Afin d'éviter ce déversement on est amené à donner

Fig. 7.

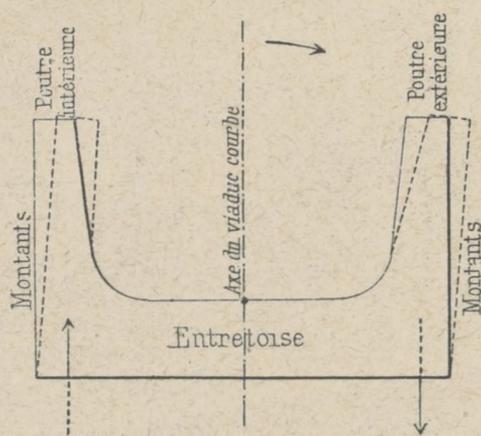
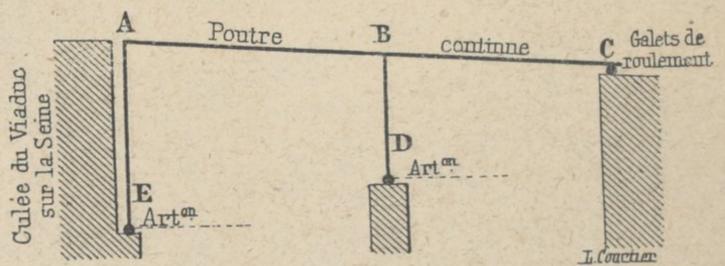


Fig. 8.



aux montants des poutres de rive et aux entretoises qui les relient et qui supportent la voie des sections suffisantes et on assemble ces pièces entre elles de manière à former un tout très rigide et capable de supporter les efforts de déversement et d'éviter toute déformation dans le sens transversal.

Lorsque, comme à Austerlitz, les poutres courbes, au lieu de ne franchir qu'une travée, en franchissent deux, et sont continues sur toute la longueur du viaduc et, de plus, sont encastées avec les piles métalliques de supports, les efforts supplémentaires dus à la courbure des poutres se retrouvent ; mais il y a lieu dans le calcul de faire entrer, de plus, en ligne de compte, cette continuité des poutres, ainsi que leur encastrement sur les piles (Fig. 8).

Le viaduc hélicoïdal d'Austerlitz (Fig. 4 et 5) en pente de 40^{mm} par mètre vers le quai, se compose de deux travées courbes de 75^{m} de rayon dont la première, celle la plus voisine du viaduc sur la Seine, a une portée de $37^{\text{m}},86$ mesurée suivant l'axe du viaduc, et la seconde une portée de $32^{\text{m}},44$. La longueur totale de la partie métallique est donc de : $70^{\text{m}},30$ d'axe en axe des points d'appui.

Le tablier sur lequel reposent les deux voies est supporté par deux poutres de rive courbes espacées d'axe en axe de 8 mètres. Chacune de ces poutres de rive A e est, comme nous l'avons dit (Fig. 8), continue d'un bout à l'autre du viaduc et, de plus, solidaire de la pile intermédiaire B D et d'une seconde pile également métallique A E adossée contre la maçonnerie de la culée du viaduc sur la Seine. A l'autre extrémité c du viaduc hélicoïdal, ces poutres de rive prennent appui, au moyen de rouleaux, sur la partie supérieure d'une pile en maçonnerie. De plus, les deux piles métalliques de support reposent à leur base sur des rotules dont les sabots prennent appui, pour la pile métallique A E sur les maçonneries de culée du viaduc sur la Seine et, pour la pile intermédiaire B D, sur un massif de maçonnerie fondé à l'air comprimé

à la profondeur de 14^m au-dessous du sol. Les Fig. 9 à 12 donnent les différentes coupes transversales du viaduc.

Les poutres de rive courbes, d'une hauteur de 3^m, sont en forme de caisson dont les semelles supérieures et inférieures sont reliées par un système de montants verticaux et de diagonales. Chacun des montants verticaux est renforcé de manière à résister aux efforts transversaux dus à la courbure de la poutre et qui tendent à voiler ces poutres.

Comme nous l'avons indiqué plus haut les deux poutres de rive sont dissemblables, quoique de même hauteur et de même largeur, et les sections données aux différentes parties qui les

Fig. 9. — COUPE SUR L'APPUI AVANT.

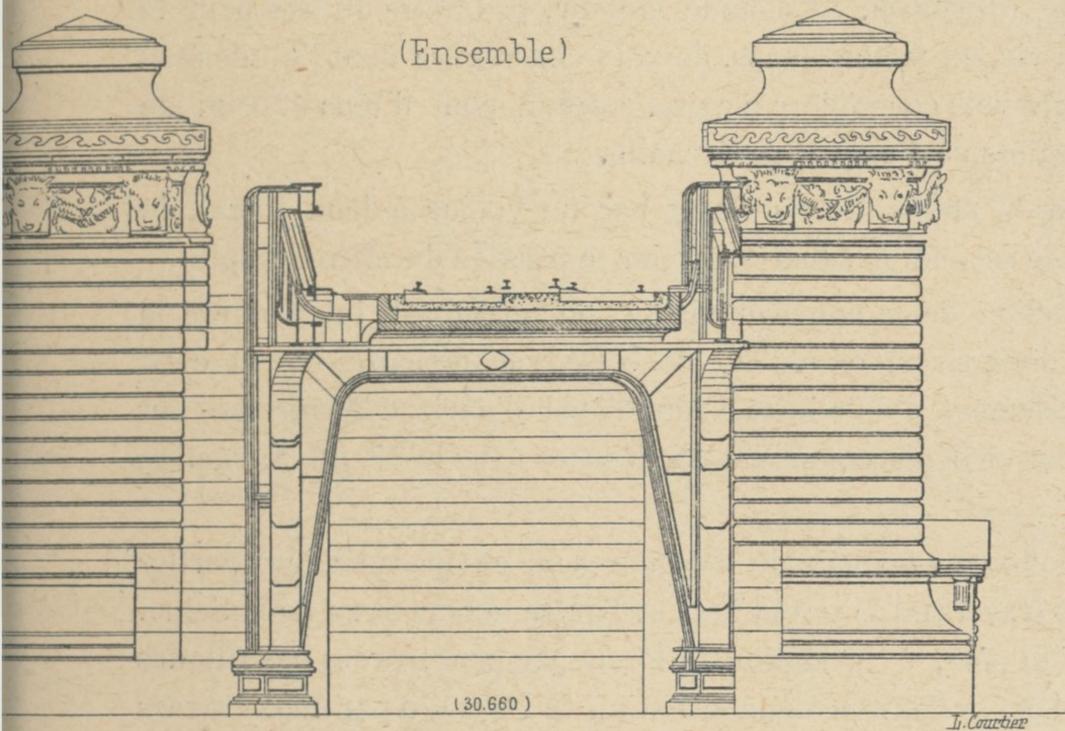


Fig. 10. — COUPE SUR L'APPUI INTERMÉDIAIRE

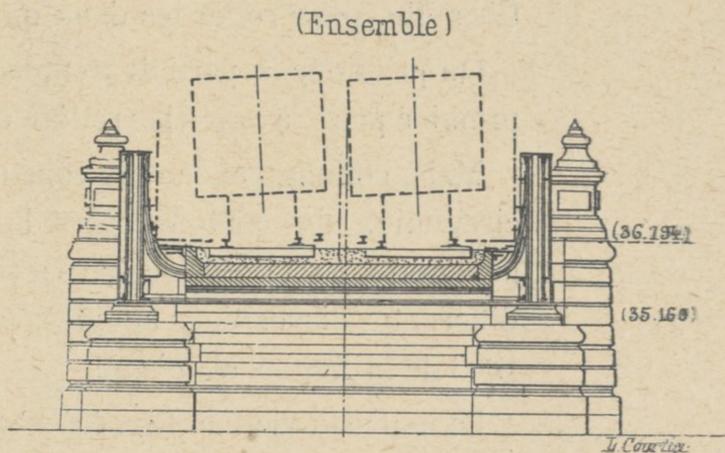


Fig. 11. — COUPE TRANSVERSALE COURANTE

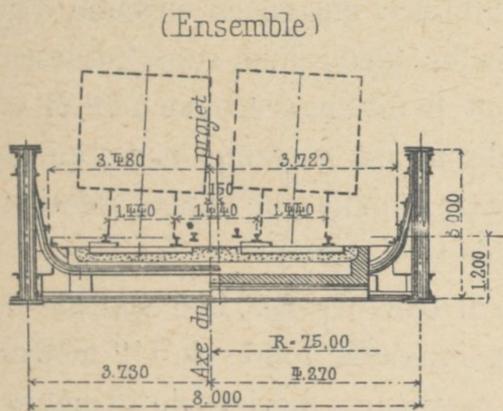
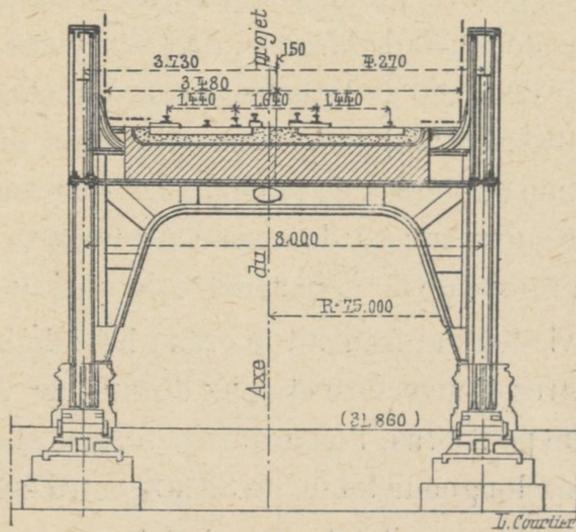


Fig. 12. — COUPE SUR L'APPUI AVAL (Ensemble)



constituent ont été calculées de telle sorte que l'effort maximum ne dépasse pas 10 kg, par ^m/_m² en tenant compte du poids mort, des divers cas de surcharge dus au passage des trains, des suppléments d'efforts dus à la courbure de la poutre, des efforts résultant du vent, des effets de la dilatation et de ceux dus au freinage.

Le tablier se compose d'entretoises reliées solidement, au moyen de goussets, aux montants

verticaux des poutres de rive afin de résister aux voilements de ces poutres. Ces entretoises sont réunies entre elles par des voûtes en briques servant de support au ballast de la voie.

Le viaduc hélicoïdal d'Austerlitz a été étudié dans tous ses détails et construit par MM. Daydé et Pillé.

VIADUC DE PASSY.

La ligne Sud du Métropolitain franchit la Seine à la sortie de la station de Passy, à l'emplacement même de l'ancienne passerelle de Passy. Cette passerelle, destinée seulement aux piétons, n'était suffisante, ni comme résistance, ni comme largeur, pour être utilisée pour le passage du Métropolitain et pour servir, en même temps, de voie charretière dont l'utilité était d'autant plus grande qu'aucune autre voie charretière n'existe entre le pont d'Iéna et celui de Grenelle, pour relier les deux quartiers de Passy et de Grenelle.

On prit donc le parti de remplacer la passerelle de Passy par un viaduc à deux étages, le premier pour la voie charretière et le second, le supérieur, pour le passage du Métropolitain.

Mais, comme pendant la construction de ce nouveau viaduc, on ne pouvait interrompre la circulation des piétons entre les deux rives, on résolut de conserver temporairement cette passerelle en la déplaçant parallèlement à elle-même vers l'aval d'environ 30 mètres. Les différentes dispositions adoptées pour ce déplacement ont été décrites dans le N° de Novembre 1903 de la *Revue Générale*.

Le nouveau viaduc (Fig. 13) d'une longueur totale de 400 mètres, se compose de deux parties séparées par l'île des Cygnes : l'une traversant le grand bras et l'autre le petit bras de la Seine. Ces deux parties sont reliées, d'un côté, à la station de Passy par sept travées métalliques établies dans l'axe de la rue Alboni et, de l'autre côté, à la station de Grenelle par deux travées métalliques dont l'une de 55^m,28 d'ouverture franchit la ligne des Invalides à Versailles.

Les deux viaducs qui franchissent les deux bras de la Seine sont, comme nous l'avons dit, à deux étages. Le premier de 24^m,70 de largeur entre parapets, se compose d'un trottoir pour piétons de 8^m,70 de largeur, de deux voies charretières de 6^m,00 accompagnées chacune d'un trottoir de 2^m,00 de largeur. Le second étage est formé d'un viaduc métallique, situé au-dessus du trottoir central, supportant les rails du Métropolitain dont le niveau se trouve à 7^m,21 en moyenne au-dessus de la chaussée du premier étage. Nous disons en moyenne parce que le viaduc supérieur est de niveau sur toute la longueur de l'ouvrage, tandis que le pont inférieur est en rampe de 5 ^m/_m par mètre du quai de Passy vers le quai de Grenelle.

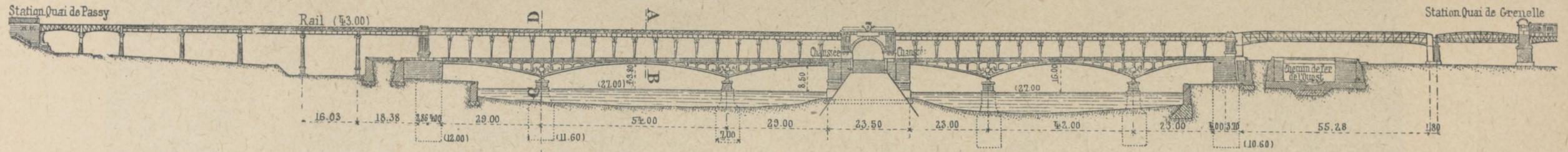
Le viaduc qui franchit le grand bras de la Seine se compose de trois travées, une centrale de 54 mètres d'ouverture et deux de rive de 29 mètres, soit une longueur totale de 112 mètres. Pour le petit bras, l'ouverture centrale est de 42 mètres et les ouvertures de rives de 23 mètres, soit une longueur totale de 88^m,00 entre culées. Le viaduc est biais suivant un angle de 75°.

Les culées ont été fondées à l'air comprimé au moyen de caissons descendus sur le sol solide à une profondeur moyenne de 15^m,70 au-dessous de l'étiage. Les piles ont été également fondées à l'air comprimé pour les deux bras. Les caissons ont été descendus à une profondeur moyenne de 16^m,30 au-dessous de l'étiage.

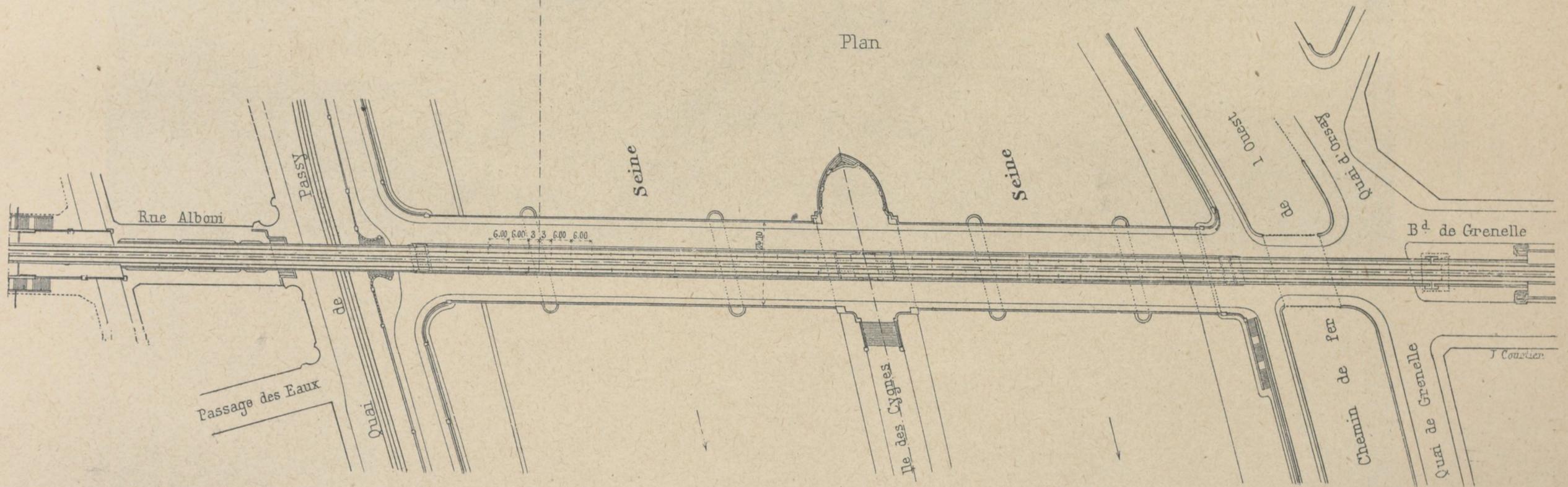
La superstructure de l'étage inférieur de chacun des ponts se compose (Fig. 14 et 15) de dix fermes longitudinales dont la membrane supérieure est horizontale et la membrane inférieure

Fig. 13 — PLAN ET ÉLÉVATION DU VIADUC DE PASSY.

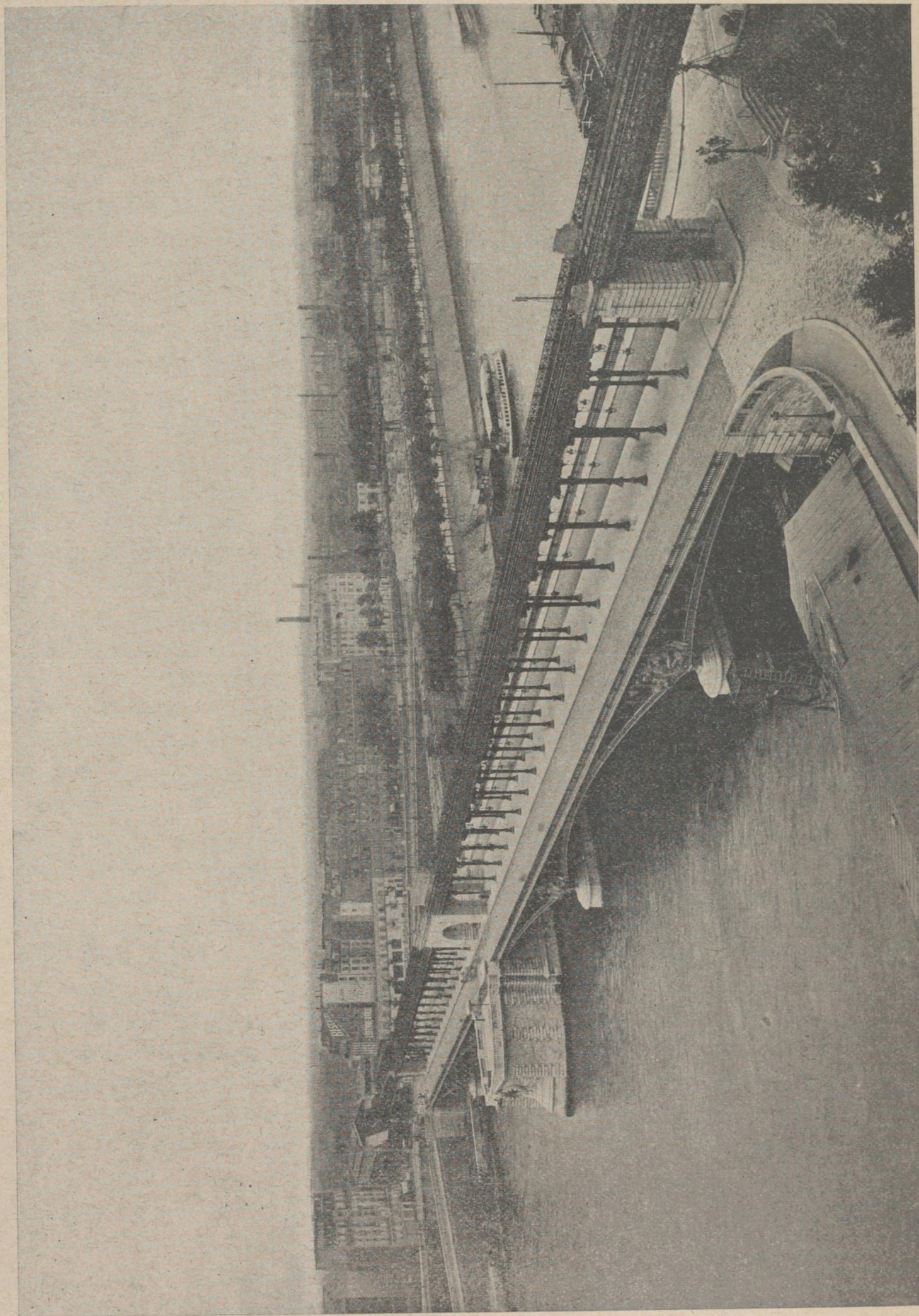
Elevation



Plan

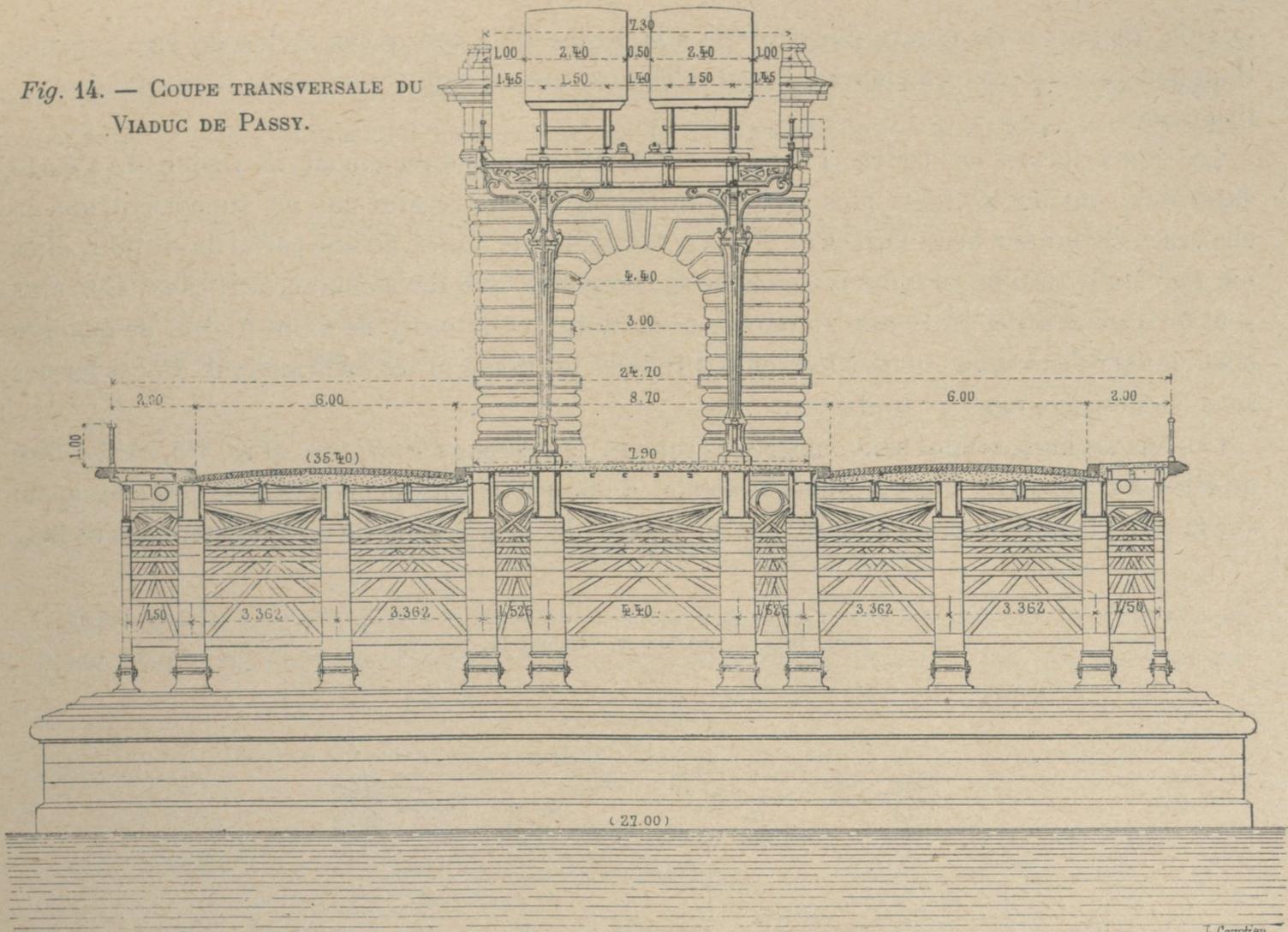


VIADUC DE PASSY. — (Vue d'ensemble prise de la rive droite vers l'aval).



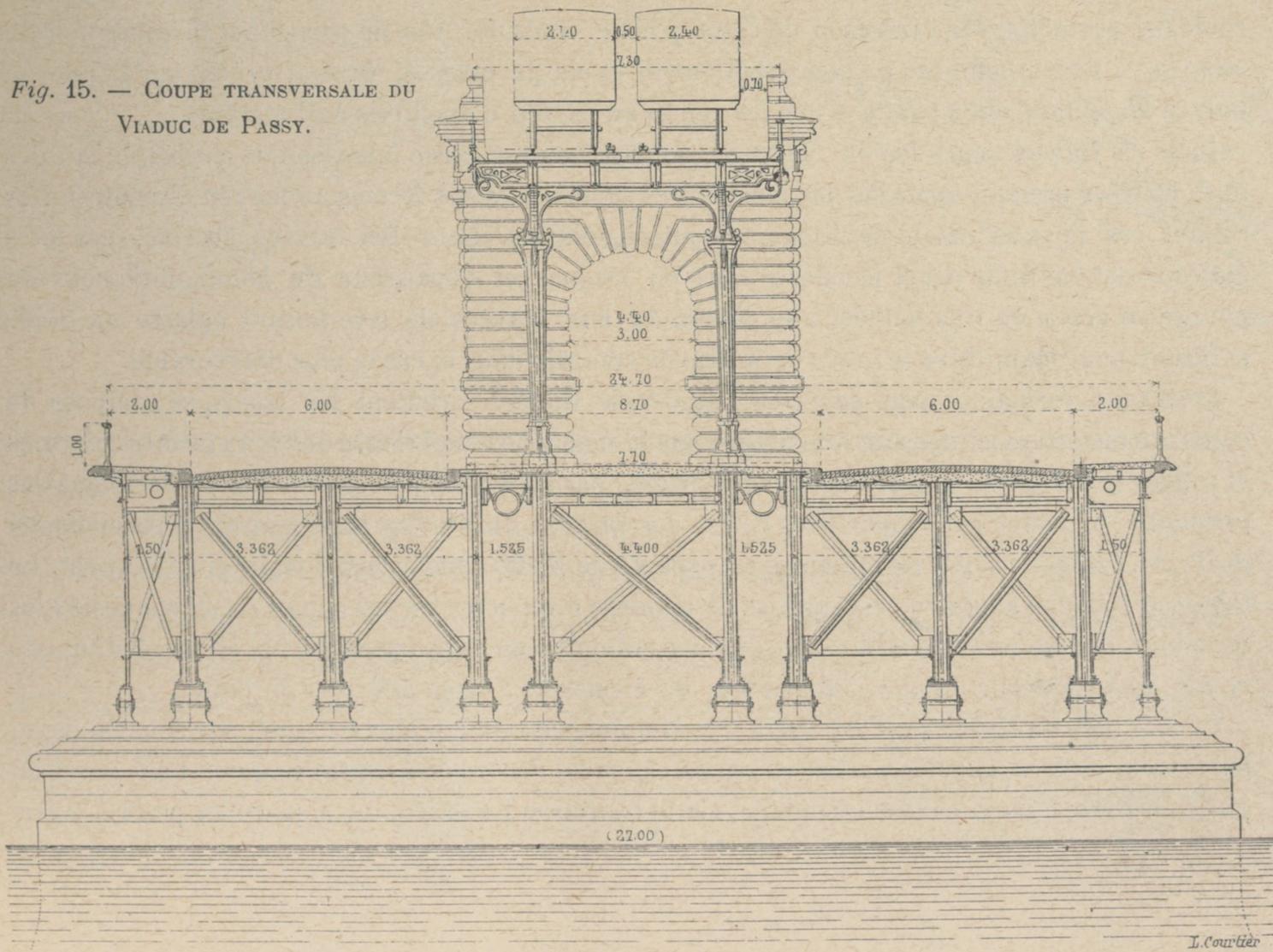
Coupe transversale AB

Fig. 14. — COUPE TRANSVERSALE DU VIADUC DE PASSY.



Coupe transversale CD.

Fig. 15. — COUPE TRANSVERSALE DU VIADUC DE PASSY.

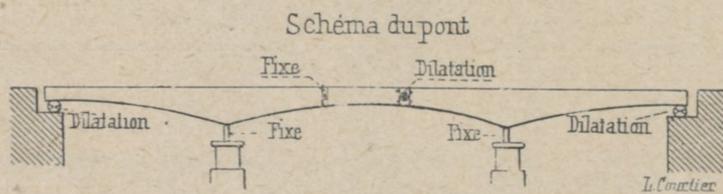


courbe, de telle sorte que l'arche centrale a la forme d'un arc et les arches de rive la forme d'un demi-arc. Ces deux membranes sont reliées par une triangulation fermée de montants et de diagonales.

Les deux fermes centrales (Fig. 14 et 15), supportant directement le viaduc de l'étage supérieur, ont des sections plus fortes que les six autres fermes qui ne supportent que la chaussée. Quant aux deux fermes de rive sur lesquelles ne repose qu'une partie du trottoir, elles ont une faible section et leurs tympans ne se composent que de montants verticaux. Ces arcs sont fortement reliés entre eux au moyen d'entretoises et de croix de Saint-André, de manière à solidariser l'ensemble des dix fermes et à réduire le travail et les déformations de ces fermes sous l'action des charges roulantes.

Ces fermes horizontales sont construites suivant le système *Cantilever* (Fig. 16), c'est-à-dire qu'elles se composent, dans la travée centrale, d'une partie en encorbellement prenant appui sur la pile et équilibrée, à l'arrière, par la travée de rive à laquelle on a donné, dans ce but,

Fig. 16. — SCHEMA DU VIADUC DE PASSY.



un poids suffisant. Les deux parties en encorbellement de la partie centrale qui se font face sont reliées par une poutre intermédiaire fixée, d'un côté, au moyen d'une rotule, à l'extrémité d'un des encorbellements et reposant, de l'autre côté, sur le second encorbellement au moyen de rouleaux permettant la dilatation de cette poutre centrale. Afin de permettre la dilatation du reste de la ferme composé de l'encorbellement et de la culasse, le tout repose sur la pile au moyen d'appuis fixés à rotule et sur les culées au moyen d'appareils à dilatation.

Dans les travées centrales la chaussée en bois repose, avec interposition de béton, sur des tôles cintrées prenant appui sur les membrures supérieures des fermes au moyen des entretoises reliant ces membrures et de longerons intermédiaires. Dans les travées de rive, ces tôles cintrées ont été remplacées par des voûtes en briques et l'épaisseur du béton au-dessous du pavage en bois a été augmentée, afin de donner aux travées de rive faisant culasse un poids suffisant pour équilibrer le poids de la travée centrale dans le cas le plus défavorable.

Le viaduc, formant l'étage supérieur au-dessus duquel circulent les trains, se compose de colonnes métalliques reposant à leur base sur la membrure supérieure des deux fermes centrales et reliées entre elles, à leur partie supérieure, par un système d'entretoises et de longerons formant le plancher qui supporte les voies. La largeur du viaduc supérieur entre parapets est de 7^m,30. Chaque rangée de colonnes est espacée de 6^m,00 dans le sens longitudinal du pont. Le tablier du viaduc supérieur est disposé de manière à reporter sur les culées en maçonnerie tous les efforts dus au vent, de telle sorte que les colonnes ne supportant aucun effort résultant de ce fait, ne produisent aucune déformation des fermes de l'étage inférieur du pont.

Le montage de l'ouvrage s'est opéré très simplement. On a d'abord monté, sur échaffaudage, les travées de rive, puis les parties en encorbellement des travées centrales qui ont été mises en place en porte à faux, sans échaffaudage. Cette opération terminée, on a placé les poutres inter-

médiales de liaison entre les encorbellements de la travée centrale. Le tablier du viaduc inférieur étant ensuite mis en place, on a pu, facilement, opérer le montage du viaduc supérieur.

Le poids du métal entrant dans la construction du viaduc de Passy est de 3.600.000 kg. dont 3.100.000 kg. pour la traversée de la Seine.

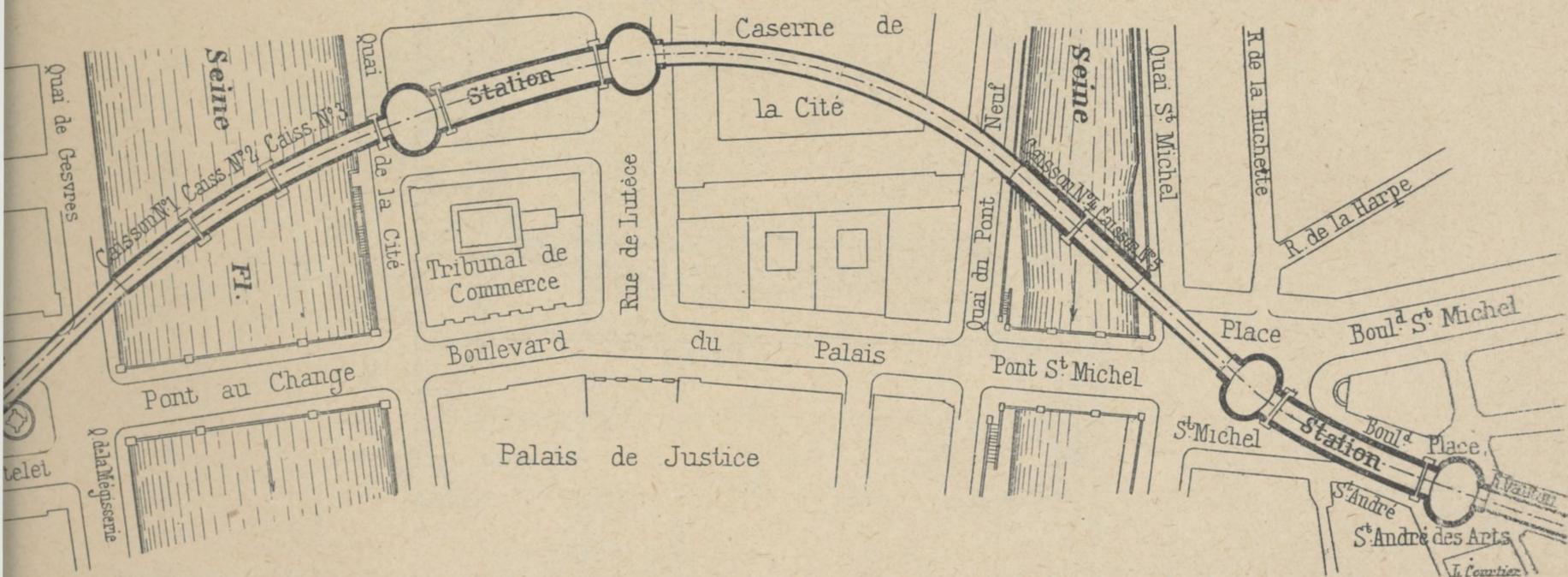
Les dépenses se sont élevées à 5.500.000 francs, réparties comme suit :

Travaux de fondation et maçonneries	3.300.000 fr.
Structure métallique.....	2.000.000 fr.
Travaux de viabilité, d'éclairage, conduite d'eau, égouts....	200.000 fr,
Total.....	<u>5.500.000 fr.</u>

PASSAGE SOUS LA SEINE

La ligne n° 4 de Clignancourt à la Porte d'Orléans (Fig. 17), entre les stations du Châtelet et la place St-Michel, traverse, d'abord, le grand bras de la Seine, puis la Cité, où une station

Fig. 17. — PLAN DU MÉTROPOLITAIN ENTRE LA PLACE DU CHATELET ET LA PLACE SAINT-MICHEL.



doit être établie, et enfin le petit bras de la Seine, pour passer ensuite au-dessous du chemin de fer d'Orléans, avant d'atteindre la station de la place St-Michel.

Trois procédés ont été employés pour ce travail :

- 1° Le bouclier entre la station de la Cité et le petit bras de la Seine.
- 2° Le fonçage par caissons à air comprimé, sous le lit de la Seine, pour le petit et grand bras, aussi que pour les deux stations de la Cité et de la place St-Michel.
- 3° Le procédé de la congélation entre le petit bras de la Seine et la place St-Michel, pour le passage du chemin de fer d'Orléans.

Nous ne parlerons ici que du fonçage à air comprimé des caissons destinés au passage au-dessous de la Seine et pour les stations, les seuls travaux aujourd'hui complètement terminés.

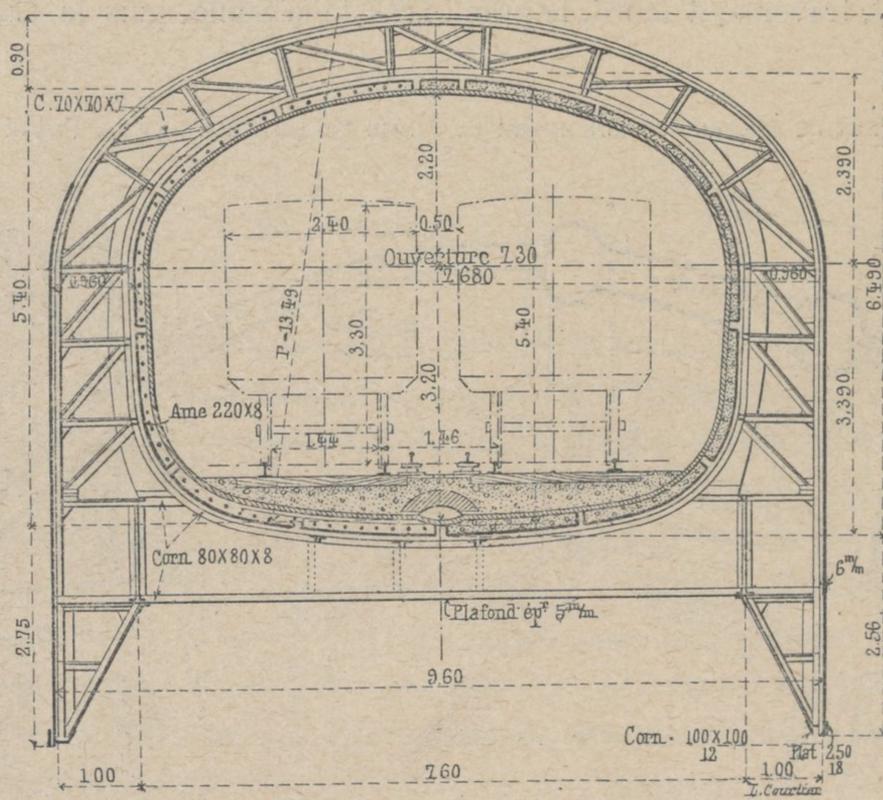
La figure 18 représente l'ossature métallique du souterrain sous la Seine. Les parois de ce souterrain sont formées d'un cuvelage en fonte composé d'anneaux de 0^m60 de longueur, partagés en voussoirs de 40^{mm} d'épaisseur avec nervures de 160^{mm} de hauteur permettant le boulonnage de ces voussoirs. Des plaques en bois créosoté assurent l'étanchéité de ces joints. Ce tube est entouré d'une carcasse métallique constituant le caisson qui permet sa mise en place par fonçage vertical.

Le souterrain ainsi constitué s'appuie sur le plancher de la chambre de travail et est entouré d'armatures en tôles formées par des fermes espacées de 1^m,20 et reliées entre elles au moyen de poutres longitudinales.

La hauteur de la chambre de travail est de 1^m,80 et celle de la carcasse jusqu'au couteau de 9^m,05.

Des tôles extérieures, fixées sur les armatures, règnent jusqu'au niveau des naissances de la voûte et établissent ainsi une caisse étanche permettant au caisson d'être transporté [par

Fig. 18. — COUPE MONTRANT L'OSSATURE MÉTALLIQUE DU SOUTERRAIN.



flottaison. On remplit de béton de ciment tout l'espace compris entre les parois du caisson et le cuvelage du souterrain.

Trois caissons (Fig. 17) de 36^m,00, 38^m,40 et 43^m,20 disposés suivant une courbe de 350 mètres de rayon servent au passage sous le grand bras.

Pour le petit bras, il a suffi de deux caissons disposés en ligne droite de 19^m,80 de longueur chacun.

Chacun de ces caissons est provisoirement fermé, à chacune de ses extrémités, par une paroi métallique devant être enlevée après le jonctionnement des caissons entre eux, afin d'établir la continuité du souterrain.

Ces caissons construits sur la berge de la Seine, près du pont de Solférino, ont été mis à l'eau par lancement latéral, puis amenés par flottaison aux points où ils devaient être définitivement échoués, et, ensuite foncés par les procédés ordinaires de l'air comprimé. Pour cela, on

a, tout d'abord, mis en place le cuvelage en fonte du souterrain, coulé le béton entre ce cuvelage et l'enveloppe extérieure jusqu'au moment où le caisson est venu reposer sur le lit de la Seine. C'est à partir de ce moment que le fonçage à l'air comprimé a été employé.

Les figures 19 et 20 montrent les estacades destinées à l'immersion d'un caisson, ainsi que les différentes phases du fonçage.

Fig. 19. — ESTACADES SERVANT A L'IMMERSION DU CAISSON.

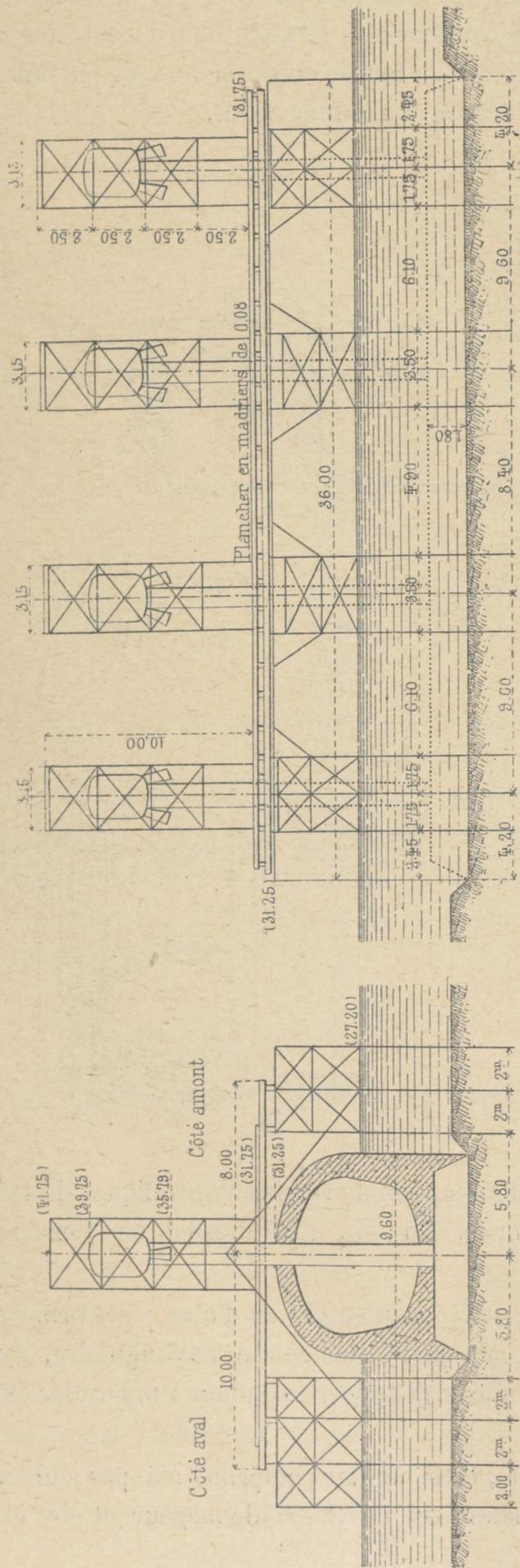
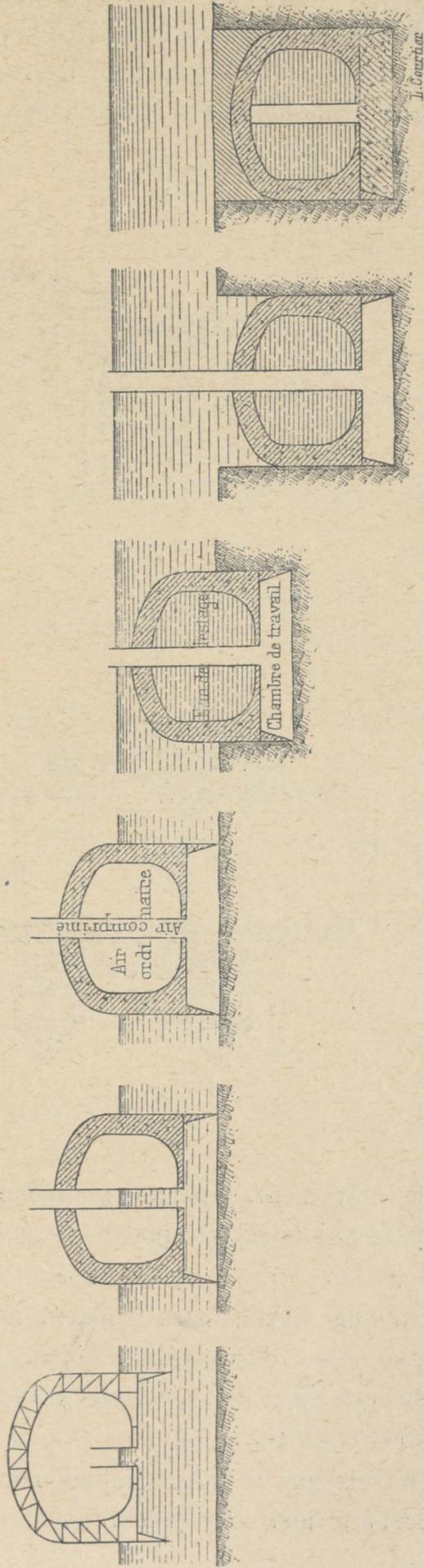


Fig. 20. — DIVERSES PHASES DU FONÇAGE.



J. Courcier

Comme un intervalle de 1^m,50 avait été laissé entre les extrémités des caissons, il fallait opérer leur jonctionnement, afin de permettre la continuité du souterrain. Voici le procédé employé :

On a d'abord construit (Fig. 21 et 22) devant chacun des intervalles de 1^m,50, à l'amont et à l'aval, un mur accolé aux caissons. Le mur qui devait descendre à la cote 12^m,53, c'est-à-dire à travers une épaisseur de terre de 10^m,00 et une hauteur d'eau de 14^m,70, a été établi au moyen d'un caisson amovible (Fig. 23) de 4^m,00 de longueur et de 1^m,75 de largeur. Après avoir été tout d'abord enfoncé à la profondeur voulue (cote 12^m,53), il a ensuite été remonté progressivement en ayant soin de remplir de béton la fouille ainsi obtenue et en enlevant les hausses démontables et la surcharge qui avait servi à son enfoncement.

Fig. 21.

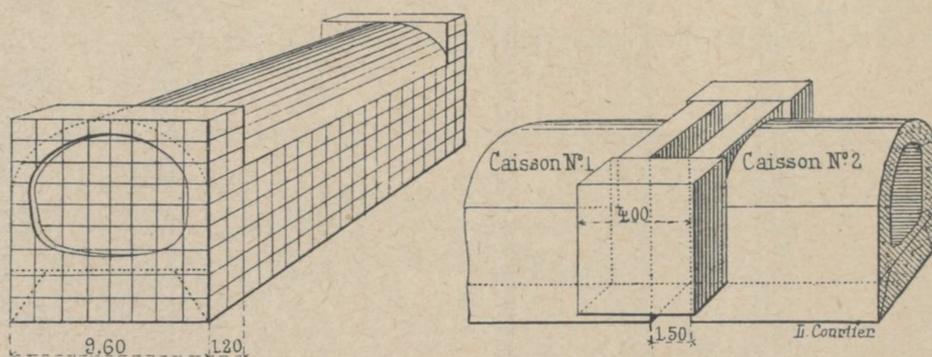


Fig. 22.

Plan

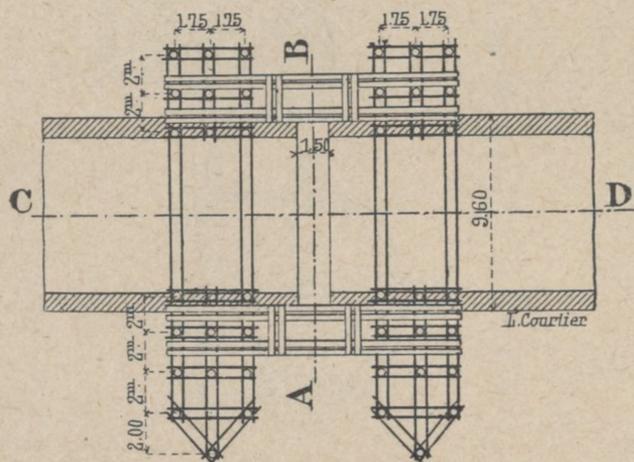
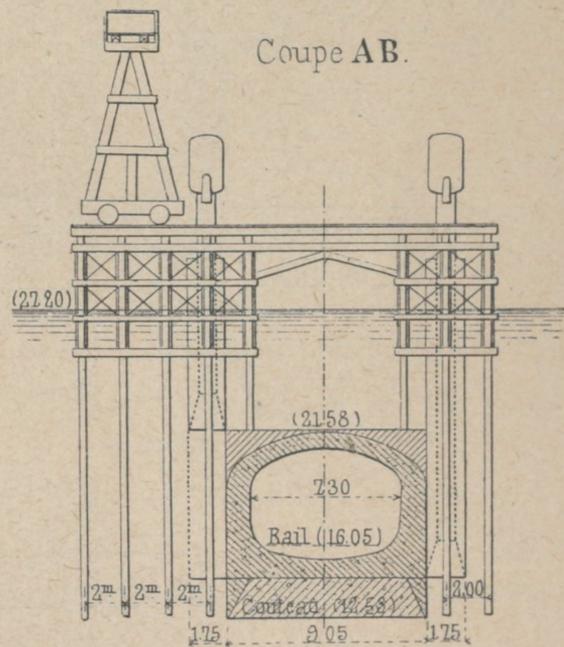


Fig. 23.

Coupe AB.



Ce relèvement du caisson amovible se faisait au moyen de verrins hydrauliques de 100 tonnes chacun, soit pour les quatre verrins 400 tonnes. En fait, l'effort total n'a jamais dépassé 300 tonnes.

Les murs ainsi construits étaient montés (Fig. 21) jusqu'au niveau d'une plateforme surmontant les abouts des grands caissons. On constituait ainsi une enceinte rectangulaire, ayant, en plan, l'intervalle de 1^m,50 entre les caissons et une largeur correspondant à la largeur extérieure de ceux-ci (9.60).

Un troisième caisson, complètement amovible, mais où l'air comprimé n'a pas été employé, a servi à fermer cette enceinte. Ce caisson batardeau de 3^m,00 de largeur et de 11^m,00 de

longueur a été échoué en s'appuyant sur les murs de cette enceinte (Fig. 24 et 25), qui se trouvent à 4^m,70 au-dessous du niveau de l'eau. Un boudin de mousse de 0^m,30 de diamètre enveloppé dans une toile à bâche est interposé entre le caisson et le mur, afin d'obtenir l'étanchéité.

On a ensuite commencé la vidange de la chambre de travail et des cheminées du batardeau, au moyen d'une pompe centrifuge mue par un moteur électrique de 10 chevaux. Cette opération terminée, on a pu travailler dans son intérieur à l'air libre. La partie supérieure du terrain

Fig. 24.

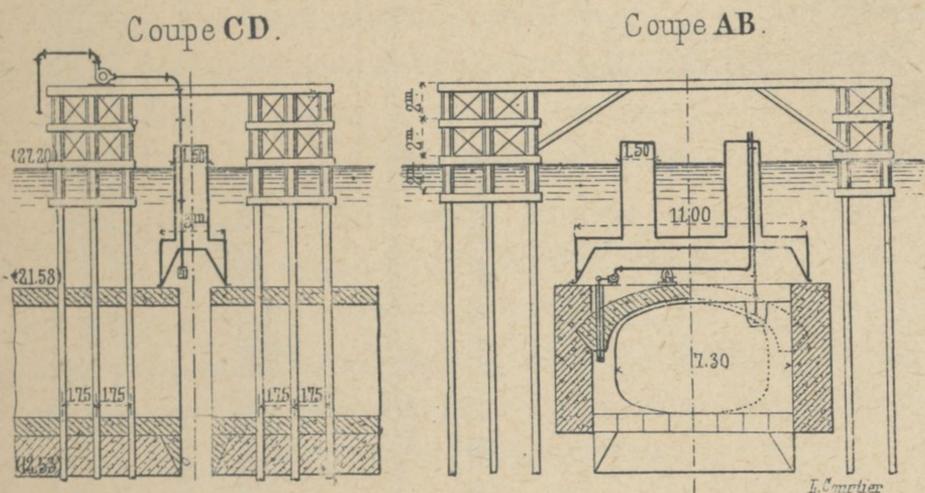
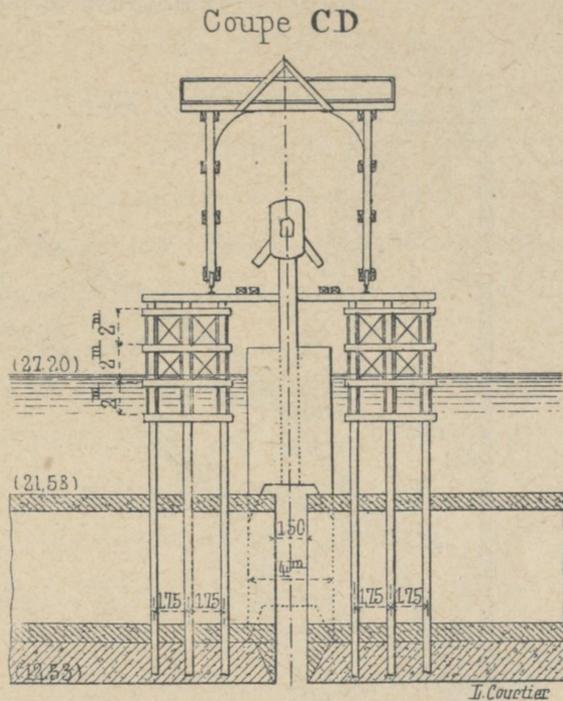


Fig. 25.



remplissant l'enceinte à d'abord été extraite, puis, on a construit sur cintre en terre (Fig. 23 et 24) une voûte en béton reliant les voûtes des deux caissons à jonctionner. Cette voûte en béton, prenant appui sur les murs latéraux construits précédemment, forma avec ceux-ci une enceinte étanche qui a permis d'enlever la masse de terre de 1^m,50 d'épaisseur entre les deux caissons. Mais, avant de faire cette opération, il était nécessaire d'enlever les masques métalliques qui les terminent et d'établir ainsi la continuité entre les deux caissons. On a ensuite exécuté le radier.

STATIONS DE LA PLACE ST-MICHEL ET DE LA CITÉ.

Par suite des infiltrations d'eau dues au voisinage de la Seine on a dû, pour ces deux stations, recourir au fonçage à l'air comprimé et employer des caissons analogues à ceux adoptés pour le passage sous la Seine et que nous venons de décrire.

La Fig. 26 montre la coupe transversale de ces stations. Contrairement à ce qui a été fait pour les autres stations Métropolitaines, la voûte au lieu d'être surbaissée, est un arc en plein cintre de 6^m,25 de rayon dont le plan des naissances se trouve à 0^m,35 au-dessus du niveau des quais; ceux-ci n'ont qu'une largeur de 3^m,50 au lieu de 4^m,10. La largeur totale de la station est de 12^m,50.

Le revêtement métallique intérieur au lieu d'être en fonte, comme pour le souterrain sous

Seine, est formé de tôles de 8^m d'épaisseur rivées aux armatures extérieures transversales espacées de 1^m,20.

Trois caissons (Fig. 27), formant une largeur totale de 118^m, constituent chacune des stations.

Fig. 26. — DEMI-COUCPE DE LA STATION ST-MICHEL.

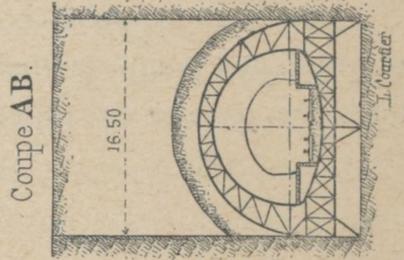
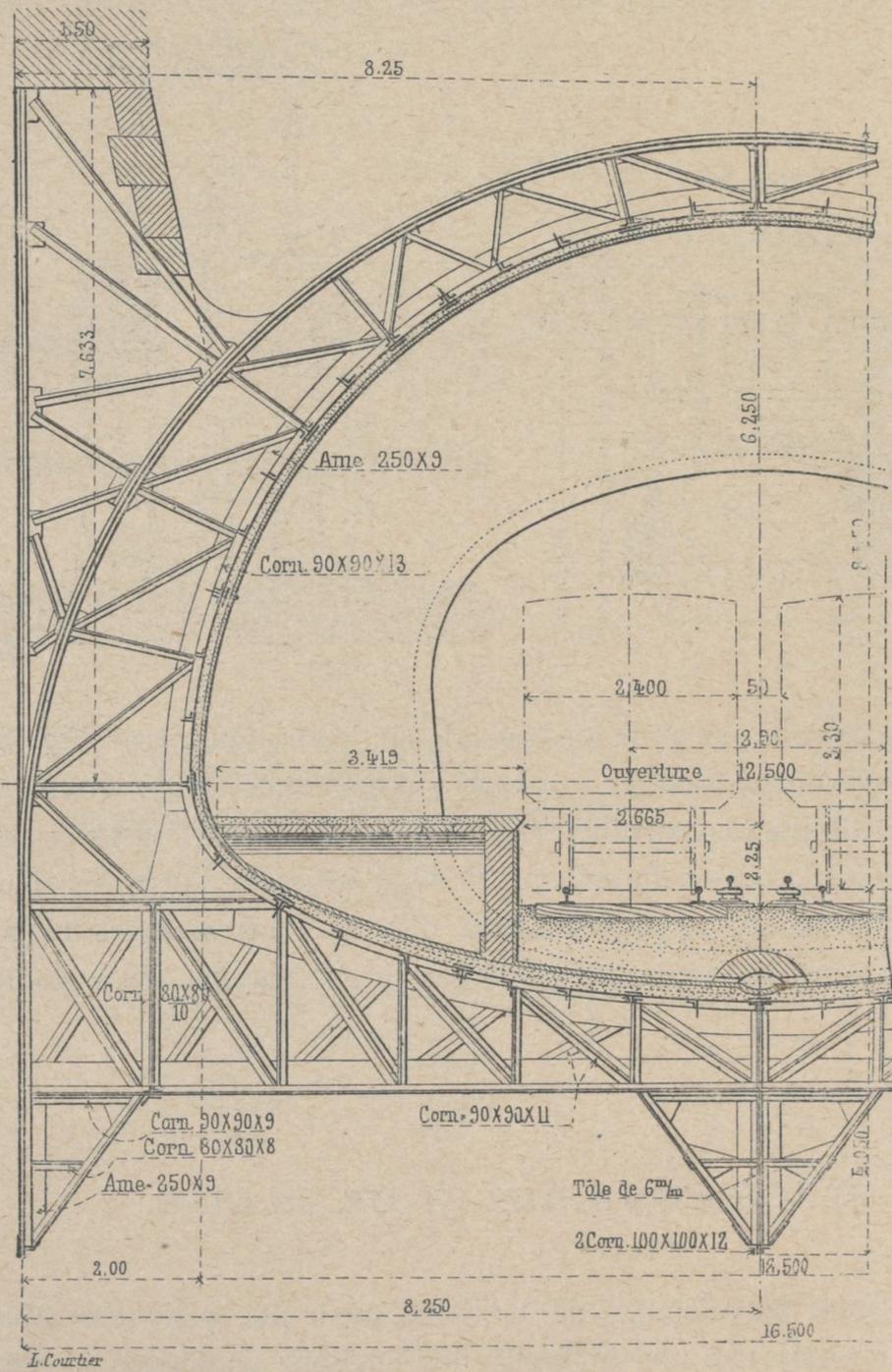
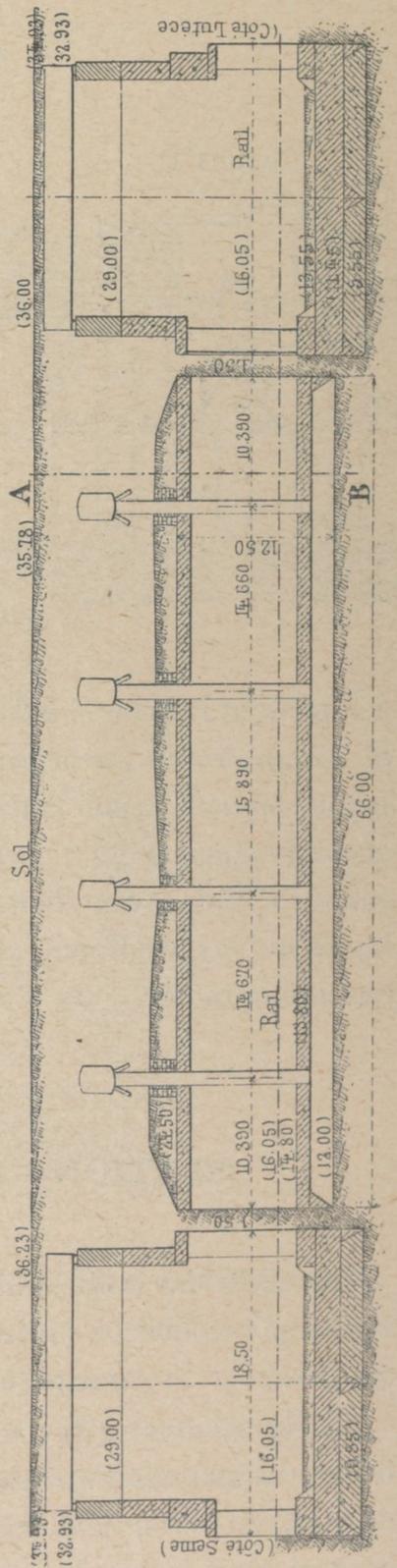


Fig. 27. — COUCPE LONGITUDINALE DE LA PLACE ST-MICHEL.



Au centre se trouve un caisson de 66^m de longueur formant la station ; aux deux extrémités se trouve un puits elliptique qui relie la station au souterrain courant et qui contient les moyens

d'accès à la station, tels que escaliers et ascenseurs. Ces puits ont leur petit axe de 18^m,50 dirigé dans le sens du tracé et leur grand axe est de 26^m. Un double cuvelage en tôle dont l'intervalle est rempli de béton constitue les parois de ces puits et leur partie supérieure est formée par un plancher métallique suffisamment solide pour pouvoir résister aux plus lourds véhicules circulant sur la chaussée.

L'intervalle de 1^m,50 laissé entre le puits et le caisson a été rempli par les mêmes procédés que nous avons indiqués plus haut, mais avec plus de facilités.

Le caisson et les puits ont été foncés à 15^m au-dessous du niveau de la Seine, soit à environ 20 mètres au-dessous du sol. Etant donné les faibles dimensions des puits, le fonçage de ceux-ci n'a pas présenté de difficultés, mais celui du grand caisson a exigé de grands soins.

A la place St-Michel, où les maisons sont très voisines des parois du caisson, il y avait à craindre des éboulements pouvant menacer la solidité des fondations de ces maisons. Aussi, a-t-on prolongé, comme le montre la Figure 26, la partie verticale des parois extérieurs des caissons au-dessus du sommet de l'extrados. On a même surmonté ce renforcement d'un petit mur en béton de manière à maintenir étayée la partie supérieure du terrain.

On a monté tout d'abord ces caissons dans une fouille de 3^m de profondeur, en les faisant reposer sur des chantiers très solides. Puis, tout l'anneau qui entoure le souterrain a été rempli de béton, de telle sorte que le poids total de l'ouvrage (11.000 tonnes) était atteint avant le commencement du fonçage. Le poids de 11.000 tonnes réparti sur toute la longueur du couteau représentait une pression de 30 kg. par cent. carré, chiffre qui n'a rien d'exagéré pour le terrain qui se composait de sables et d'alluvions.

Le fonçage du caisson a été ensuite commencé. Arrivé à 10 mètres au-dessous du niveau de la Seine, l'équilibre s'est établi entre le poids du caisson et la sous-pression due à l'air comprimé. On a alors chargé le grand caisson de 1.500 tonnes, au moyen de sables. On a pu ainsi descendre de 1^m,40.

Mais, pour parvenir à la cote définitive on a dû charger la voûte avec une partie des remblais définitifs, c'est-à-dire avec un nouveau poids de 4.500 tonnes, ce qui a porté le poids total contribuant à la descente à 17.000 tonnes contre une sous-pression de 16.500 tonnes. L'excédent de 700 tonnes a permis d'achever le fonçage jusqu'à la cote définitive, malgré un frottement d'environ 450 tonnes contre les parois.

VOIE

Nous avons donné en détail la disposition de la voie et de ses accessoires dans le numéro d'Août 1900 de la *Revue Générale*, nous n'y reviendrons donc pas. Toutefois, nous signalerons que la Compagnie a fait l'emploi, pour l'éclissage de ses rails, de dispositifs nouveaux parmi lesquels nous citerons les joints Ambert, Veber et le joint électro-mécanique; ce dernier étant encore peu connu, nous allons en donner les caractéristiques. C'est au mois de juin 1907, à la station de Cambronne que fut tout d'abord employé ce nouveau dispositif, puis sur la ligne n° 6 de la place de la Nation à la place d'Italie que l'on vient d'ouvrir à l'exploitation.

Ce système d'éclissage repose sur un principe nouveau et, en dehors de l'intérêt qu'il offre au point de vue de la solidité du joint, il permet de supprimer les connexions électriques en cuivre qui sont souvent la cause d'ennuis et de dépenses assez élevées.

Il se compose d'un bâti formé d'un sommier M de deux joues J à gorges G et de deux mors C (Fig. 28 et 29). Pour éclipser deux rails, on place ceux-ci entre les joues du bâti en appliquant leur patin sur le sommier de celui-ci. Puis, à l'aide d'un marteau, on enfonce les deux mors, qui sont interchangeables, dans les gorges G, l'un en amont, l'autre en aval. Ces mors sont maintenus en place par des goupilles enfoncées dans les trous *c*, afin d'éviter toute tendance au desserrage.

La liaison intime entre les patins des rails et l'éclisse est obtenue de la manière suivante :
Le plan P tangent à la partie inférieure du patin du rail est horizontal, mais l'axe de la gorge,

Fig. 28. — COUPE TRANSVERSALE DE L'ÉCLISSE ÉLECTRO-MÉCANIQUE DU TYPE MÉTROPOLITAIN.

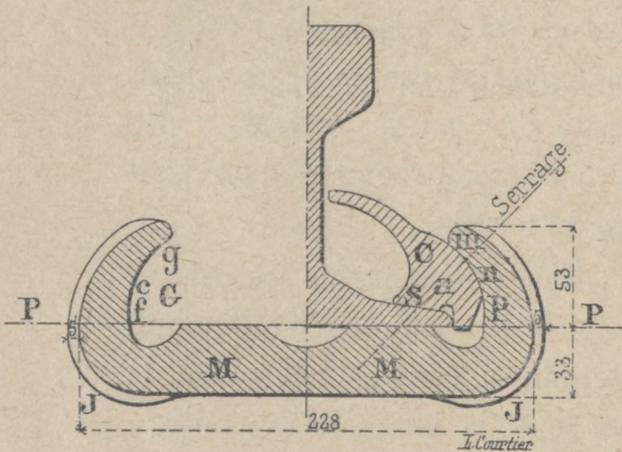
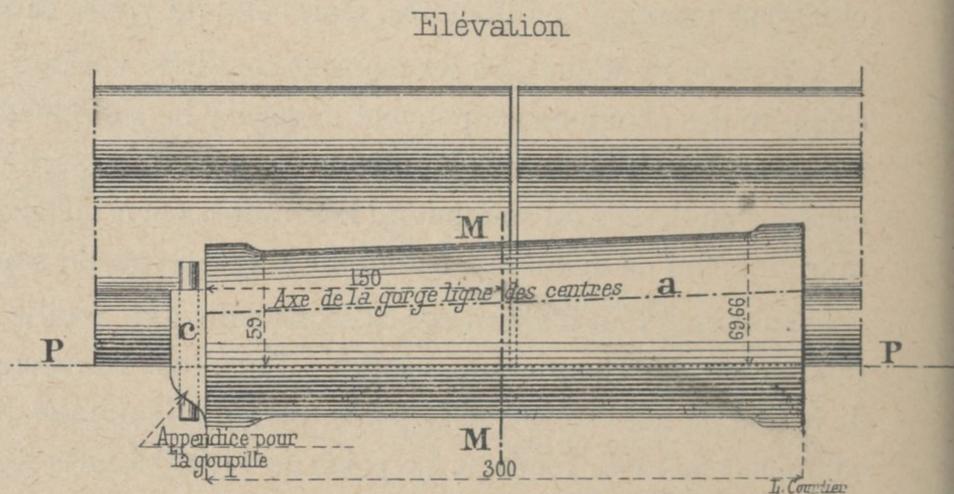
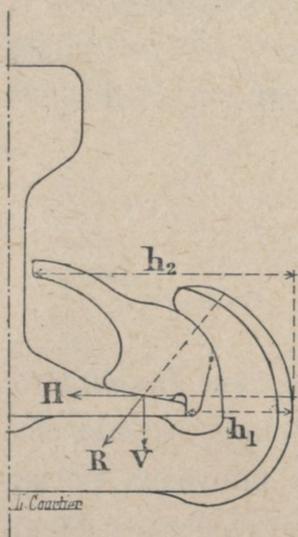


Fig. 29. — ELÉVATION DE L'ÉCLISSE ÉLECTRO-MÉCANIQUE.



situé dans un plan vertical parallèle à l'axe de la voie, fait avec l'horizontale un angle α (Fig. 30). Les fonds *f, e, g*, des gorges sont cylindriques. Le profil extérieur correspondant des mors est aussi cylindrique et la ligne des centres de la partie *m, n, p*, du même rayon que la gorge *f, e, g* est aussi inclinée du même angle α sur le plan horizontal P. Lorsqu'on enfonce les coins avec un marteau, dont le poids est variable suivant les pressions de serrage à obtenir, les deux surfaces cylindriques *f, e, g* de la gorge et les surfaces *m, n, p*, du mors restent en contact, en produisant sur chacune des faces supérieures du patin du rail une pression R (Fig. 30).

Fig. 30.



Cette pression R se décompose en une force verticale V et une force horizontale H. La composante V applique les patins du rail sur le sommier du bâti en produisant un serrage de ces patins dans le sens vertical. La composante H se décompose à son tour en h_1 et h_2 , de telle sorte que h_2 s'oppose au déversement du rail et que h_1 agit sur les côtés du patin horizontalement de façon à maintenir les deux rails en alignement.

Il résulte de cette disposition que toute dénivellation des patins du rail étant impossible, il en sera de même des champignons supérieurs de ces rails, de telle sorte que les ressauts aux joints sont annulés ainsi que les chocs au passage des trains.

Des expériences faites au Métropolitain, ont démontré que, par suite des grande surfaces de contact entre les rails, les sommiers et les mors et des fortes pressions existant entre ces organes, on obtenait avec ce système d'éclissage et sans connexions électriques, une conductibilité électrique sensiblement égale à celle que donne l'éclisse ordinaire munie de quatre connexions en cuivre. Il résulte, en effet, de ces expériences que la résistance électrique

de 1 mètre de rail avec joint éclissé avec les connexions usuelles correspond à 1^m,61, et que cette même résistance avec l'éclisse électro-mécanique correspond à 1^m,66. Les connexions électriques ont donc été supprimées au Métropolitain avec ce système d'éclissage, au grand bénéfice des dépenses de premier établissement et des frais d'entretien.

Une autre constatation intéressante a été faite avec des éclisses de ce système posées sur la ligne électrique des Invalides à Versailles (Ouest-Etat), au sujet de la manière dont elles se comportent sous l'effet de la dilatation des rails. Il résulte, en effet, d'observations suivies attentivement qu'avec des variations de température considérables, il y a analogie entre l'éclissage à boulons et l'éclissage électro-mécanique, l'avantage étant plutôt en faveur de l'éclissage électro-mécanique; ce qui, du reste, s'explique par ce fait que le serrage est modéré et réglable dans ce dernier système. Cette observation est d'ailleurs conforme aux résultats obtenus lors des essais faits au Conservatoire des Arts et Métiers et relatés dans le numéro du mois de Juillet 1908 de la *Revue Générale*.

Actuellement les premiers appareils posés au Métropolitain ont livré passage à près de 200.000 trains sans qu'on ait eu à constater le moindre ennui; ce nouveau dispositif d'éclissage, en usage ailleurs, a également donné jusqu'ici de bons résultats.

SIGNAUX.

Aucune modification n'a été apportée au signal automatique du système Hall que nous avons décrit dans le numéro d'Août 1900 de la *Revue Générale* qui a donné toute satisfaction et qui a été appliqué à toutes les lignes nouvelles; nous n'avons donc rien à dire à ce sujet.

MATÉRIEL ROULANT.

La Compagnie du Métropolitain a mis en service dans le courant de l'année 1907 de nouvelles voitures motrices et de remorque. Tous ces véhicules sont montés sur bogie.

Fig. 31. — VOITURE MOTRICE.

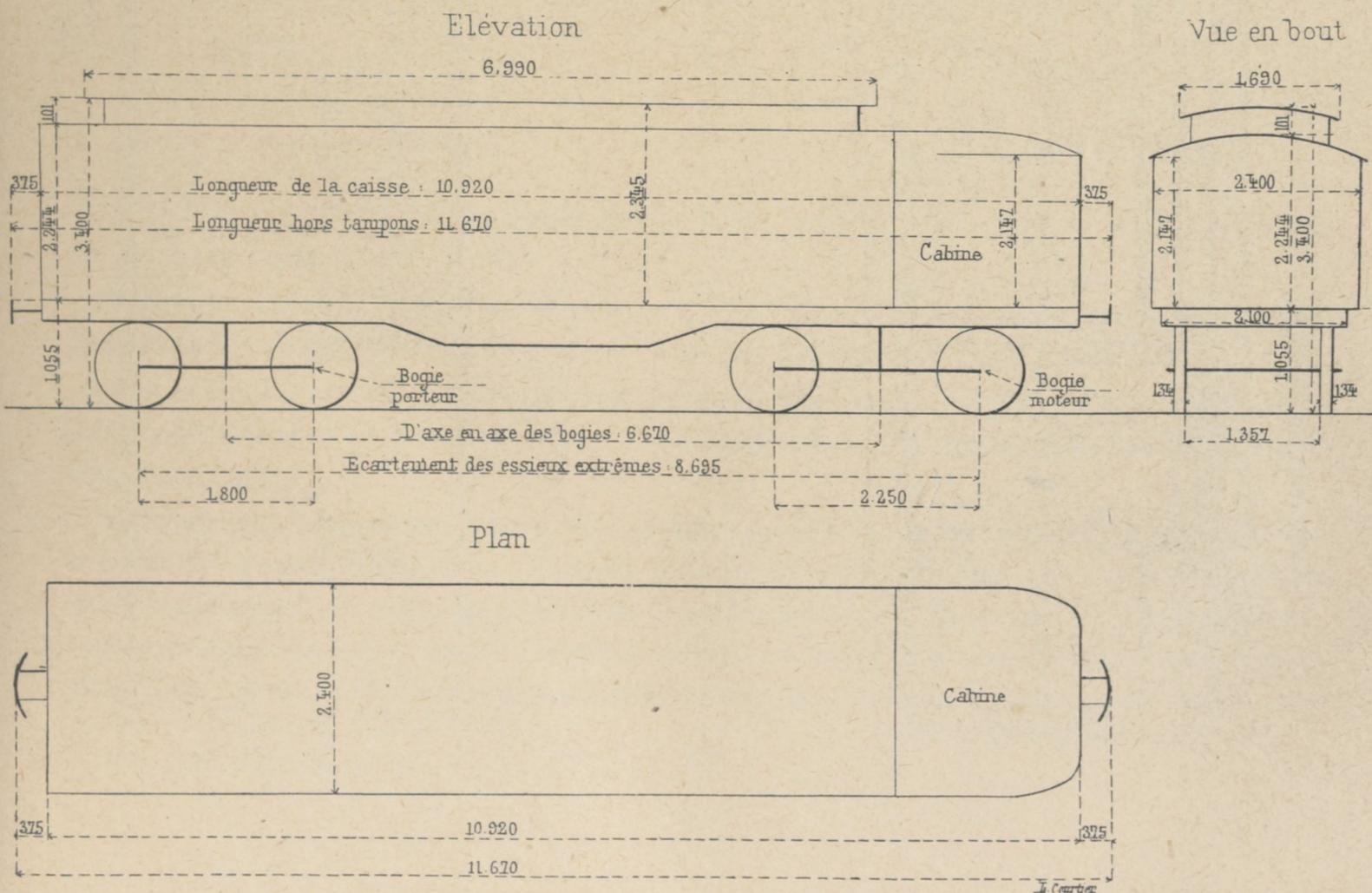
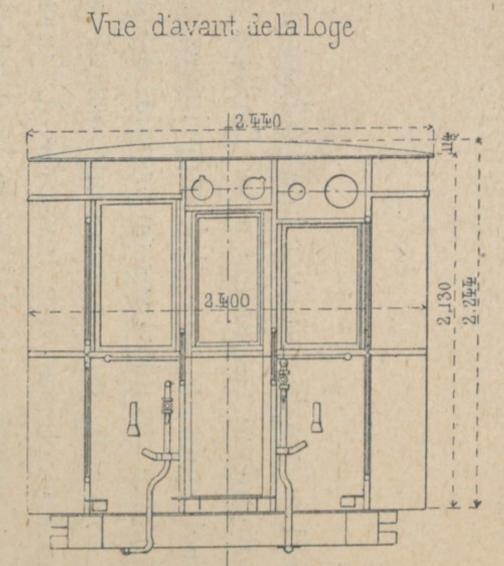
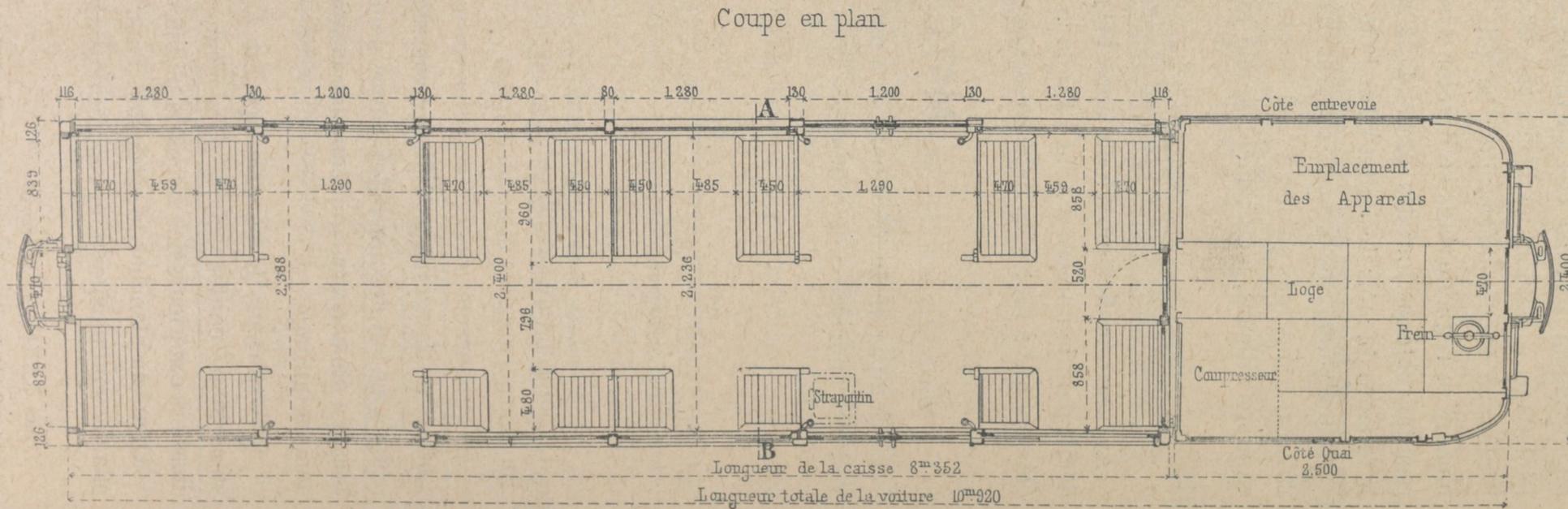
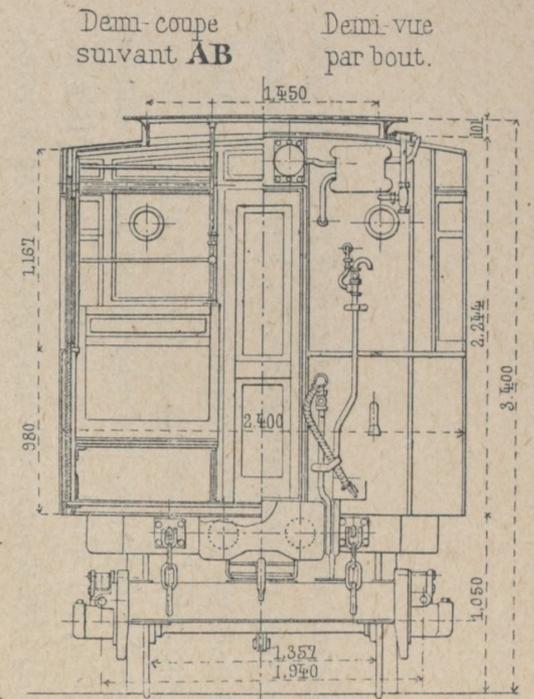
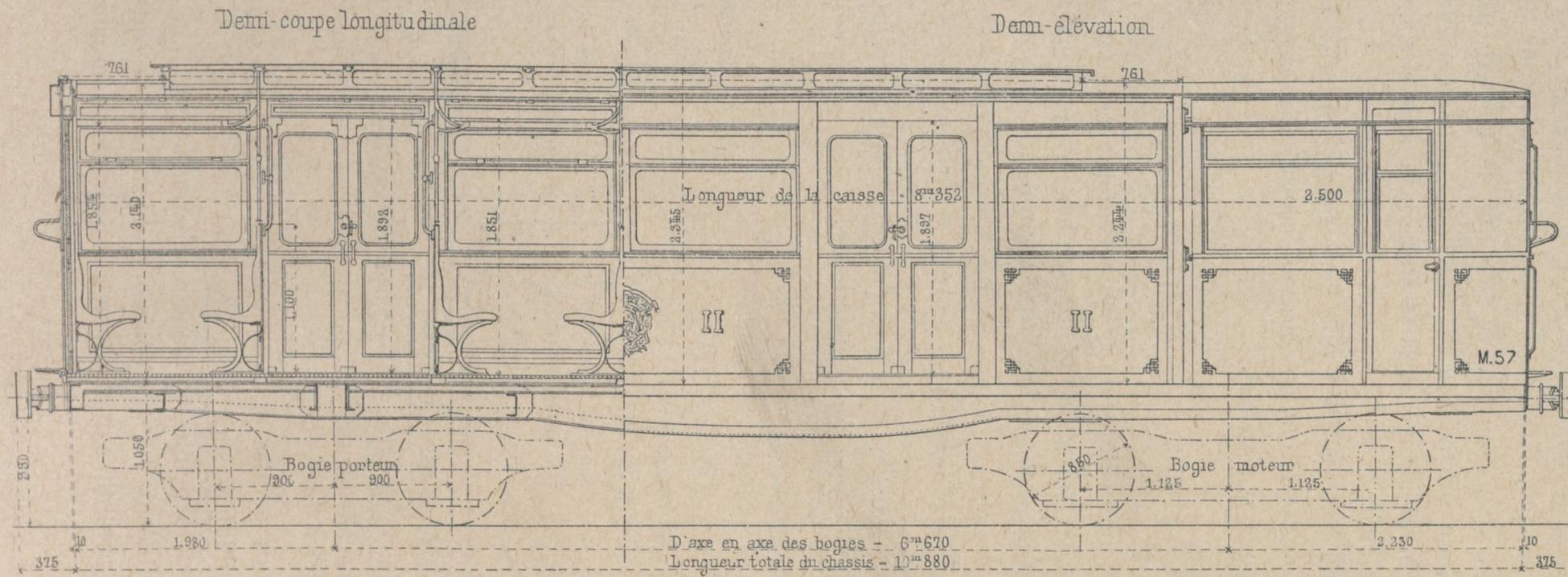


Fig. 32. — PLAN, ÉLÉVATION ET COUPE LONGITUDINALE DES VOITURES MOTRICES.



Les voitures motrices sont de deux types : le premier représenté par les Fig. 31 et 32 a une longueur de caisse de 10^m,92 et une longueur hors tampons de 11^m,87.

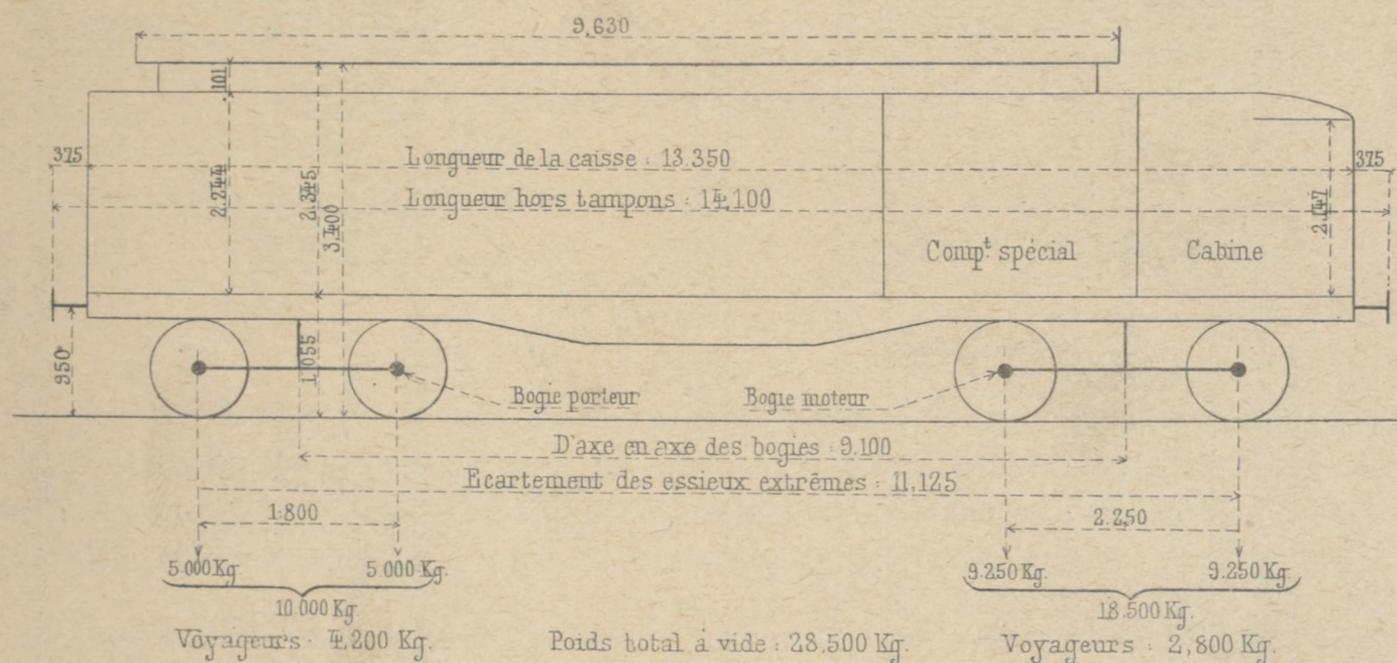
L'écartement d'axe en axe des bogies est de 6^m,67 et l'entre axe des essieux du bogie porteur de 1^m,80 et celui du bogie moteur de 2^m,25. La largeur de la caisse est de 2^m,60.

Le second type de motrice représenté par les Fig. 33 et 34 a une longueur de caisse de 12^m,35 et une longueur hors tampons de 14^m,10. L'écartement d'axe en axe des bogies est de 9^m,10 et l'entre axe des essieux du bogie porteur de 1^m,80 et celui du bogie moteur de 2^m,25.

Le poids à vide porté par le bogie arrière est de 10.000 kg. et celui porté par le bogie avant de 18.500 kg., de telle sorte que le poids total du véhicule à vide est de 28.000 kg. En charge ce poids total est de 35.500 kg.

Les voitures de remorque représentées schématiquement par les Fig. 35 et 36 ont une longueur de caisse de 12^m,45 et une longueur hors tampons de 13^m,20. L'écartement d'axe en axe du bogie est de 8^m,45 et l'entre axe des essieux des bogies avant et arrière est de 1^m,80.

Fig. 33. — VOITURE MOTRICE.



Le poids à vide sur chacun des bogies est de 9.250 kg. et le poids total à vide de 18.500 kg. En charge ce poids est de 25.500 kg.

Ce qui caractérise ces nouvelles voitures, ce sont les dispositions prises en vue de l'incombustibilité, de la ventilation, de la propreté et de la robustesse de l'ossature métallique.

Dans ce but, les nouvelles caisses sont entièrement métalliques, ossature et revêtements et le bois n'a été conservé que pour les sièges et les encadrements des portes et ce bois est complètement ignifugé.

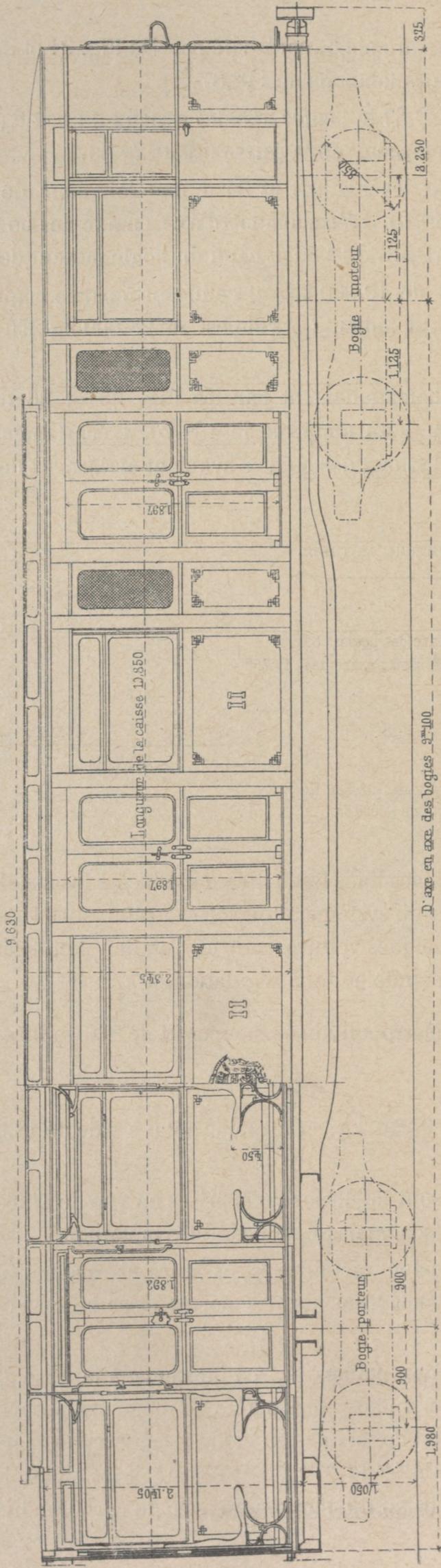
A l'extérieur, le panneautage est fait en tôles peintes et, à l'intérieur, à la base, de tôle vitrifiée de couleur claire. Des panneaux semblables sont employés pour les portes et les dossiers extérieurs des sièges de plateforme. Des tôles peintes en blanc recouvrent les pavillons.

Quant au plancher, il est formé d'une tôle ondulée de 10 m/m d'épaisseur et les ondes de cette plaque sont garnies d'un produit incombustible (xylolith) aggloméré avec du carborandum pour

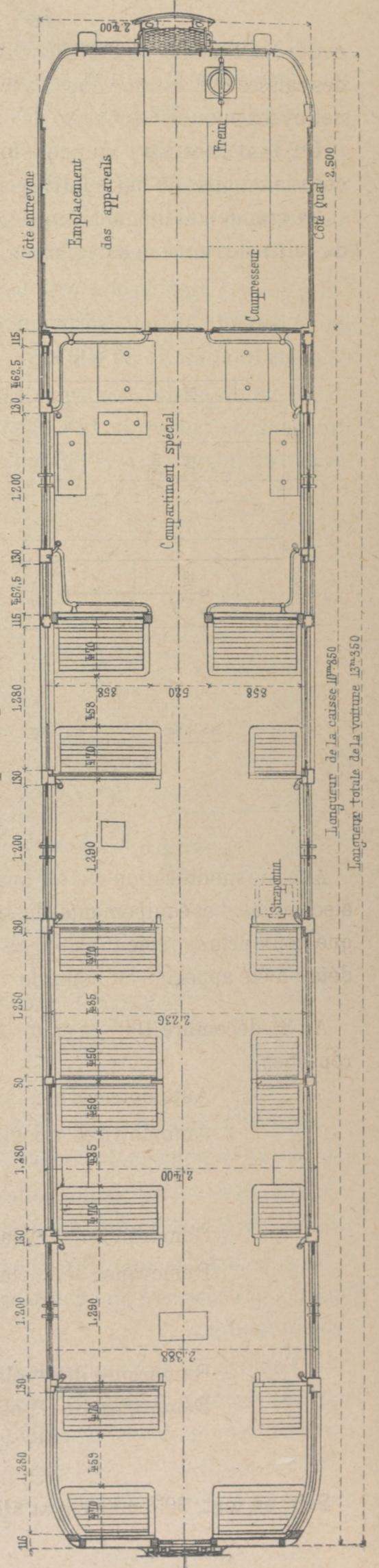
Fig. 34. — PLAN, ÉLEVATION ET COUPE LONGITUDINALE D'UNE VOITURE MOTRICE.

Demi-coupe longitudinale

Demi-élévation



Coupe en plan

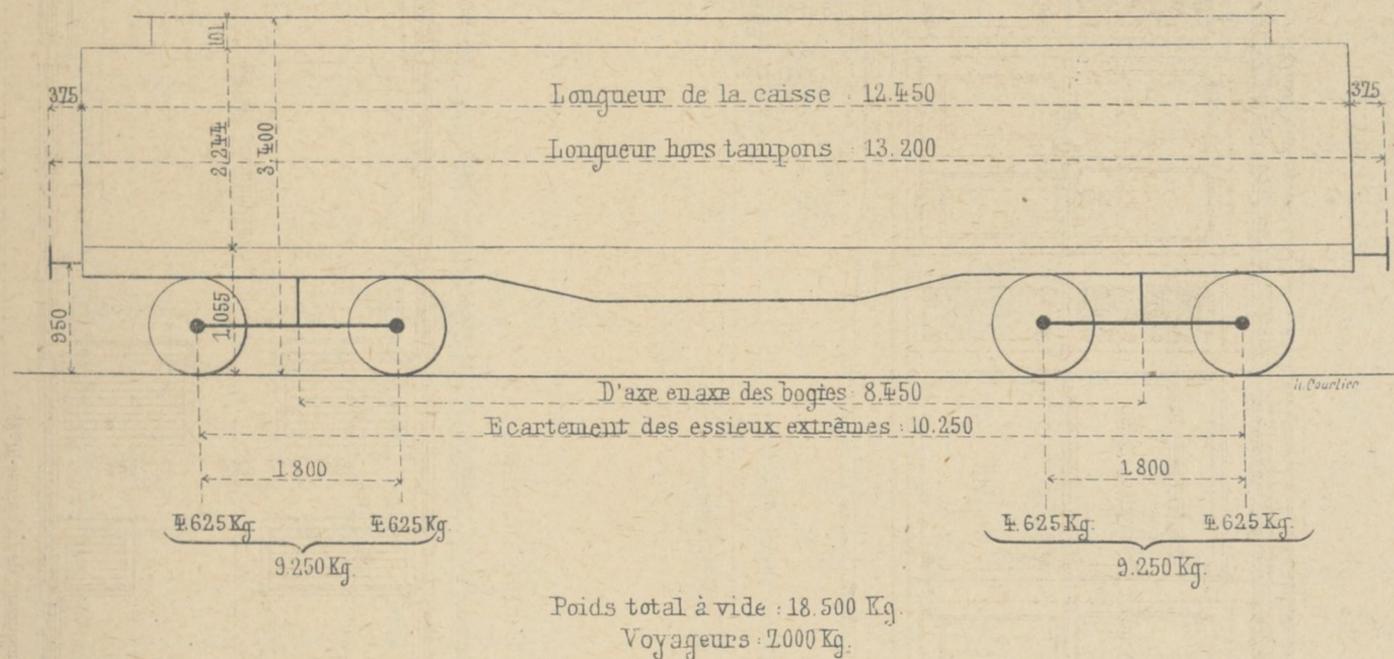


éviter l'usure. Ce dispositif facilite le nettoyage ; un simple lavage suffit. Les parois intérieures des caisses qui, comme nous l'avons dit, sont en tôle vitrifiée peuvent également être simplement nettoyées avec une éponge.

Un lanterneau de grande dimension assure une excellente ventilation, jointe à celle des châssis mobiles de baies latérales.

La grande solidité de l'ossature métallique a permis d'établir de grandes baies vitrées doubles de celles des anciennes voitures.

Fig. 35. — VOITURE DE REMORQUE.



Aucune modification n'a été apportée aux cabines dans lesquelles sont placées les installations électriques. Les équipements électriques qui sont du système Thomson-Houston, sont les mêmes que ceux primitivement employés, sauf pour quelques voitures motrices où une modification de détail a été apportée au point de vue de la commande et de la régulation.

Au 31 décembre 1907 le matériel roulant du Métropolitain se composait de 780 voitures, ainsi réparties :

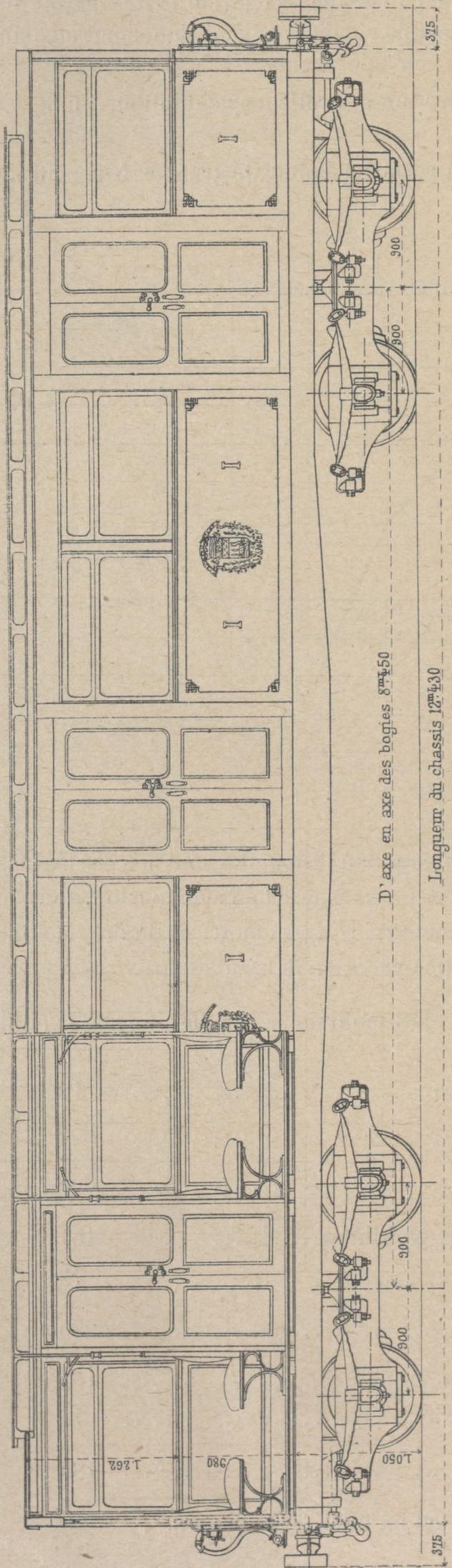
Automotrices à essieux parallèles.....	12
Automotrices à bogies	353
Total.....	365
Remorques de 2 ^e classe à essieux parallèles.....	157
Remorques de 2 ^e classe à bogies	73
Total.....	230
Remorques de 1 ^{re} classe à essieux parallèles.....	109
Remorques de 1 ^{re} classe à bogies	76
Total.....	185

Soit, en tout, 365 motrices et 415 remorques et, au total, 780 voitures.

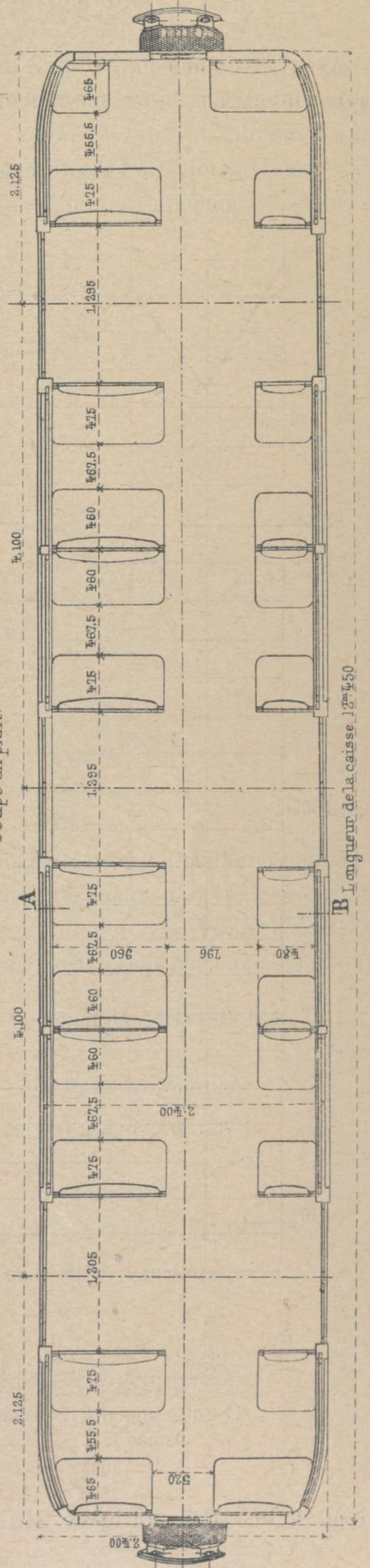
Fig. 36. — PLAN, ÉLEVATION ET COUPE LONGITUDINALE D'UNE VOIVURE DE REMORQUE.

Demi-coupe longitudinale

Demi-élévation.



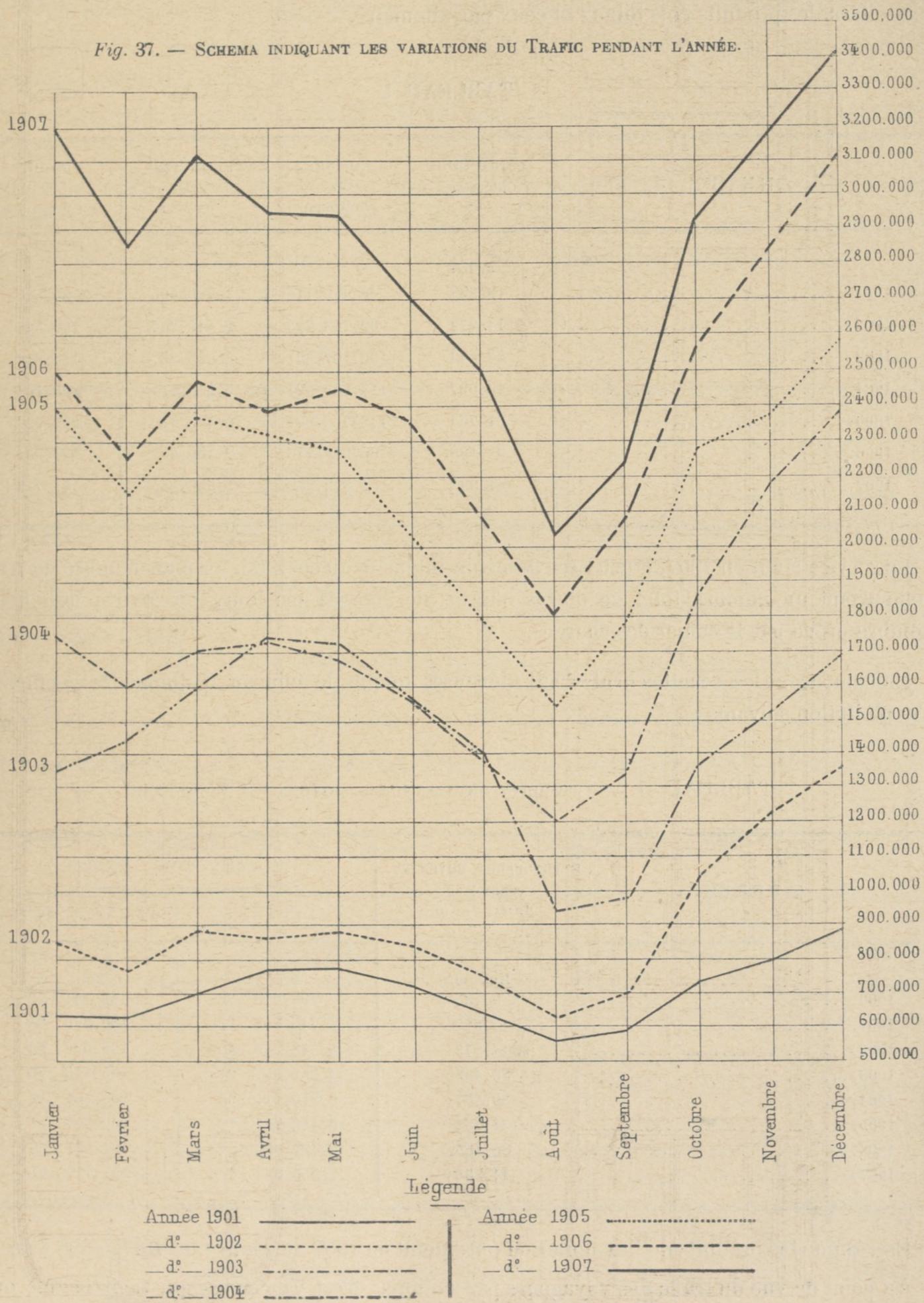
Coupe en plan.



RÉSULTATS DE L'EXPLOITATION.

Avant de donner les résultats de l'exploitation pour l'exercice 1907, la dernière dont nous ayons les chiffres, nous croyons intéressant de donner le graphique ci-joint (Fig. 37) qui indique

Fig. 37. — SCHEMA INDIQUANT LES VARIATIONS DU TRAFIC PENDANT L'ANNÉE.



les variations du trafic dans le courant de l'année et montre l'influence considérable de la période des vacances. Ainsi, en 1907, le nombre des voyageurs transportés, qui, en Janvier était de 3.400.000, descend en Août à 2.000.000.

Le tableau I indique, depuis l'ouverture du Métropolitain, et année par année, les longueurs exploitées, les produits nets totaux et ceux par kilomètre.

TABLEAU I

ANNÉES	LONGUEUR moyenne EXPLOITÉE	NOMBRE des VOYAGEURS	PRODUITS nets TOTAUX	PRODUIT net KILOMÉTRIQUE
	mètres		fr.	fr.
1901.....	13.329	48.478.116	1.740.505	130.580
1902.....	14.272	62.122.728	2.848.247	199.568
1903.....	23.442	100.107.631	4.355.967	185.818
1904.....	26.037	117.550.521	5.210.111	200.104
1905.....	31.754	148.700.821	6.443.748	202.927
1906.....	38.136	165.319.216	7.433.922	194.931
1907.....	44.338	194.823.282	8.500.384	191.717

Le service a eu, en 1907, à peu près la même intensité qu'en 1906, avec un nombre de trains comportant un nombre total de places offertes de 755.441 par jour, soit environ huit fois le nombre prévu par le cahier des charges.

En comparant les recettes brutes aux dépenses totales le tableau II donne les coefficients d'exploitation suivants :

TABLEAU II. — PRODUITS NETS ANNUELS MOYENS PAR KILOMÈTRE

ANNÉES	LONGUEURS MOYENNES EXPLOITÉES dans l'année	PRODUITS NETS ANNUELS			
		TOTAUX		PAR KILOMÈTRE	
	Km. m.	Fr.	c.	Fr.	c.
1900.....	5,135	738.086	33	143.741	29
1901.....	13,329	1.740.504	33	130.580	26
1902.....	14,272	2.848.246	40	199.568	83
1903.....	23,442	4.355.967	21	185.818	93
1904.....	26,037	5.210.111	06	200.104	12
1905.....	31,754	6.443.747	70	202.927	11
1906.....	38,136	7.433.922	88	194.931	89
1907.....	44,338	8.500.384	48	191.717	81

En résumé les produits de l'exploitation ont atteint en 1907 le chiffre de 19.725.838 francs. Au point de vue du trafic des voyageurs par stations, c'est Vincennes qui tient la tête avec

7.745.272 voyageurs; vient ensuite Maillot avec 7.344.565 voyageurs, puis Clichy avec 5.399.906 billets et Barbès avec 5.211.822 voyageurs.

Lyon accuse un trafic de 4.943.911 voyageurs et St-Lazare un trafic de 4.847.486 voyageurs.

A la Nation le trafic est de 4.655.410 voyageurs et au Chatelet de 4.351.548 voyageurs.

Italie arrive à un mouvement de voyageurs de 4.385.591 et l'Etoile à un mouvement de 4.028.570 voyageurs.

On constate à Passy un trafic de 2.138.292 voyageurs et au Trocadéro un trafic de 1.230.993 voyageurs.

Une chose intéressante à constater est l'augmentation, en 1907, des voyageurs sans billets. Ce nombre qui oscillait autour de 20.000 est actuellement de 26.000.

Le tableau III donne le pourcentage des produits par catégories de voyageurs.

TABLEAU III. — POURCENTAGE DES PRODUITS PAR CATEGORIES DE VOYAGEURS.

ELÉMENTS DU TRAFIC	PROPORTION % DES BILLETS DÉLIVRÉS					PROPORTION % DES RECETTES				
	1903	1904	1905	1906	1907	1903	1904	1905	1906	1907
Billets de 1 ^{re} classe	12,492	12,363	11,859	11,939	12,223	18,081	17,855	17,150	17,161	17,490
Billets de 2 ^e classe	69,424	68,416	67,895	66,312	65,008	60,292	59,198	58,913	57,190	55,811
Billets d'aller et retour	18,075	19,309	20,232	21,733	22,754	20,929	22,307	23,406	24,991	26,047
Billets collectifs	0,009	0,014	0,012	0,016	0,015	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004
Perceptions supplémentaires	»	»	»	»	»	0,696	0,637	0,527	0,654	0,648
	100 »	100 »	100 »	100 »	100 »	100 »	100 »	100 »	100 »	100 »

Quant à la répartition des dépenses d'exploitation elles sont indiquées dans le tableau suivant :

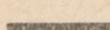
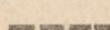
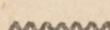
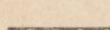
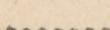
TABLEAU IV. — RÉPARTITION DES DÉPENSES D'EXPLOITATION.

DÉSIGNATION	En 1903		En 1904		En 1905		En 1906		En 1907	
	SOMMES	Proportion %	SOMMES	Proportion %	SOMMES	Proportion %	SOMMES	Proportion %	SOMMES	Proportion %
	Fr. c.	Fr. c.	Fr. c.	Fr. c.	Fr. c.	Fr. c.				
Administration centrale	148.761 77	1,96	262.203 50	2,99	191.999 10	1,69	254.788 59	2,03	247.872 86	1,66
Service général de l'Exploitation	1.316.893 16	17,38	1.639.159 63	18,67	2.074.928 76	18,28	2.424.472 70	19,30	2.706.157 58	18,15
Mouvement	1.970.991 36	26,01	2.166.108 40	24,67	2.835.242 12	24,97	3.227.247 81	25,69	3.767.345 40	25,19
Matériel et traction	3.596.035 25	47,46	3.934.418 80	44,81	5.284.843 15	46,55	5.586.156 62	44,47	6.803.612 99	45,44
Voie, accès et matériel fixe électrique	544.379 28	7,19	777.754 94	8,86	966.569 06	8,51	1.070.107 97	8,51	1.430.503 46	9,56
TOTAUX	7.577.060 82	100 »	8.779.645 27	100 »	11.353.482 19	100 »	12.562.773 69	100 »	14.955.492 29	100 »

En 1907, les recettes de l'exploitation ont été de 34.681.330 fr. 75 et les dépenses d'exploitation de 14.955.492 fr. 29. En ajoutant à ces dépenses celles provenant de la redevance due à la ville, les charges d'emprunt et autres dépenses, il reste un bénéfice de 7.964.630 fr. 05 qui a permis de donner un dividende total de 19 fr. par action.

En résumé, l'exploitation du réseau Métropolitain se poursuit telle qu'on l'avait prévue ; malgré les difficultés nombreuses qui ont été rencontrées, la mise en service des nouvelles lignes se fait régulièrement à la grande satisfaction de la population Parisienne. On a inauguré le 1^{er} mars dernier la ligne n° 6 de la place de la Nation à la place d'Italie. On compte qu'avant la fin de l'année, une 2^e partie de la ligne n° 4 de la porte d'Orléans à la place St-Michel sera aussi mise en service. Quand la section de la ligne n° 4, qui traverse la Seine entre la place St-Michel et le Châtelet sera ouverte les 6 lignes constituant les 2 premiers réseaux seront en exploitation et la concession du deuxième réseau commencera à courir. On espère enfin pouvoir mettre en exploitation pour la fin de 1909 la plus grande partie de la ligne N° 7 de la place du Danube à l'Opéra par la rue de Lafayette le prolongement de la ligne n° 3 de la station de Villiers à la porte Champerret et l'embranchement de la ligne n° 7 qui par la rue de Flandre se dirige sur la porte de la Villette.

LÉGENDE

-  En service
 -  En Construction
 -  C^{ie} Nord-Sud
 -  Concession votée le 26 Mars 1904.
 -  Concessions votées le 23 Décembre 1907.
 -  Concessions éventuelles votées le 23 Décembre 1907.
 -  Stations
- Réseau définitivement concédé



