

Note

sur les premières applications

des

Boucliers

avec Revêtements en Maçonnerie

PAR

L. CHAGNAUD

INGÉNIEUR CONSTRUCTEUR (A. & M.)

NOTE

SUR LES

Premières Applications des Boucliers avec revêtement en maçonnerie

par L. CHAGNAUD

Ingénieur-Constructeur, (A & M)

II, Rue Saint-Florentin — PARIS

Membre de la Société des Ingénieurs Civils de France
Membre du Comité de la Société des Anciens Élèves des Écoles des Arts-et-Métiers
Membre du Conseil d'administration du Syndicat des Entrepreneurs
de Travaux publics de France
Membre du Conseil d'administration du Syndicat de garantie de l'Union Parisienne
des Entrepreneurs et Industriels
Établi conformément à la loi sur les accidents.

*Cette note a été remise à tous les Ingénieurs,
Entrepreneurs, etc... qui en ont fait la demande, ou qui ont déposé leur carte
à notre Exposition du Génie Civil, classe 28.*

(Reproduction du chantier de l'Orléans)

PRÉLIMINAIRES

Il a été depuis quelques années beaucoup parlé du bouclier, mais le public n'a été qu'intrigué par ce mode de construction, et les nombreuses publications techniques qui ont été faites n'ont même pas montré aux Ingénieurs tous les détails de ce procédé d'exécution des souterrains. Nous avons cru devoir présenter à l'occasion de l'Exposition de 1900, une installation en grandeur montrant les différentes phases d'exécution d'un grand souterrain sous une chaussée fréquentée, espérant que le public s'intéresserait à cette exposition. Notre espérance n'a pas été déçue, et des milliers de visiteurs circulent tous les jours dans le souterrain de l'avenue de Suffren, (Classe 28 Annexe). Ils en sortent frappés de la simplicité avec laquelle nous sommes arrivés à exécuter un souterrain à 0^m37 sous une chaussée fréquentée, sans aucun danger, ni pour la circulation, ni pour les travailleurs.

Le Jury nous a accordé pour cette Exposition *un des premiers Grands Prix de la classe.*

HISTORIQUE

L'idée de construire un souterrain sous une chaussée de ville sans arrêter la circulation, nous est venue à Herblay au moment des difficultés de la Ville de Paris avec cette commune.

En raison de ces difficultés la Ville de Paris fut amenée à nous faire construire en souterrain, sous la rue du Val d'Herblay, une galerie de 500 mètres de longueur qui avait été prévue primitivement à exécuter en tranchée. (*L'extrados de la route se trouvait à environ 1^m50 et 2^m00 de la chaussée*). Ce travail a été exécuté sans accident dans un terrain sablonneux, mais nous avons eu souvent de grandes inquiétudes pour les travailleurs et la circulation ; une légère imprudence d'un ouvrier, un manque de précaution dans les boisages, pouvaient amener une catastrophe et engloutir non seulement les travailleurs, mais les piétons et les voitures circulant sur la chaussée.

Aussi, lorsque la Ville de Paris voulut exécuter le collecteur de Clichy, nous fîmes des études d'outillage pour exécuter sans danger, en souterrain, ce travail important prévu en tranchée, sous le boulevard National à Clichy. Ayant exposé notre système à M. l'Ingénieur en chef Launay, et lui ayant détaillé notre appareil spécial donnant toute sécurité malgré le peu d'épaisseur entre l'extrados et la chaussée (0^m37), notre projet fut immédiatement pris en considération.

L'idée soumise ensuite à M. l'Ingénieur en chef Bechmann, trouva chez cet Ingénieur éminent, le même accueil favorable, cela en raison des immenses avantages que présentait l'exécution en souterrain savoir : Ne porter aucune entrave à la vie commerciale de Clichy, et de ce fait n'avoir aucune indemnité à payer aux riverains, à la commune, aux tramways, pour privation de circulation sur le boulevard National pendant deux années.

Par une lettre du 14 février 1895, nous nous engageons à exécuter tout le travail en souterrain en acceptant une amende de 500 francs par jour d'arrêt de la circulation, et cela moyennant un prix qui ne dépassait pas le prix prévu pour l'exécution en tranchée.

Nous voulions profiter là d'une occasion nous permettant d'expérimenter l'outillage que nous avions conçu en vue des grands souterrains à l'ordre du jour dans toutes les capitales, pour les lignes métropolitaines ou de pénétration.

APPAREIL J.-L.

Fig. 1

MAÇONNERIE EXÉCUTÉE A L'ARRIÈRE DU BOUCLIER

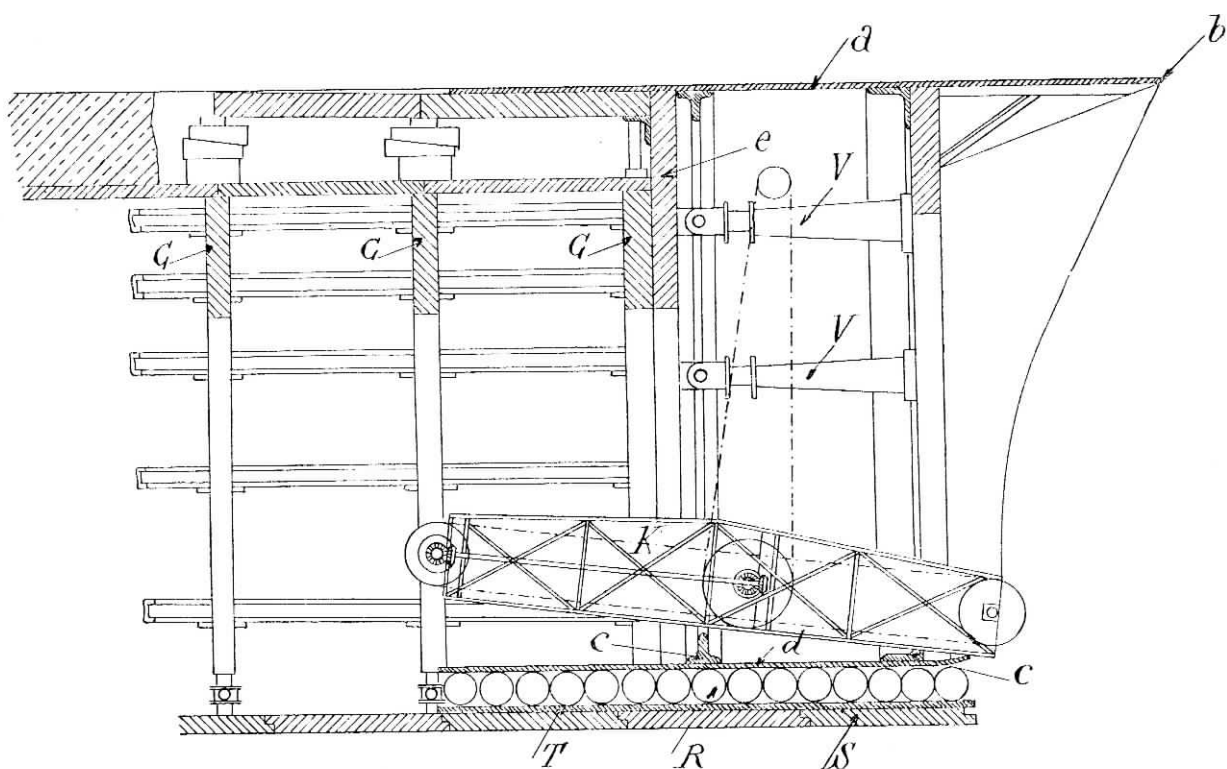
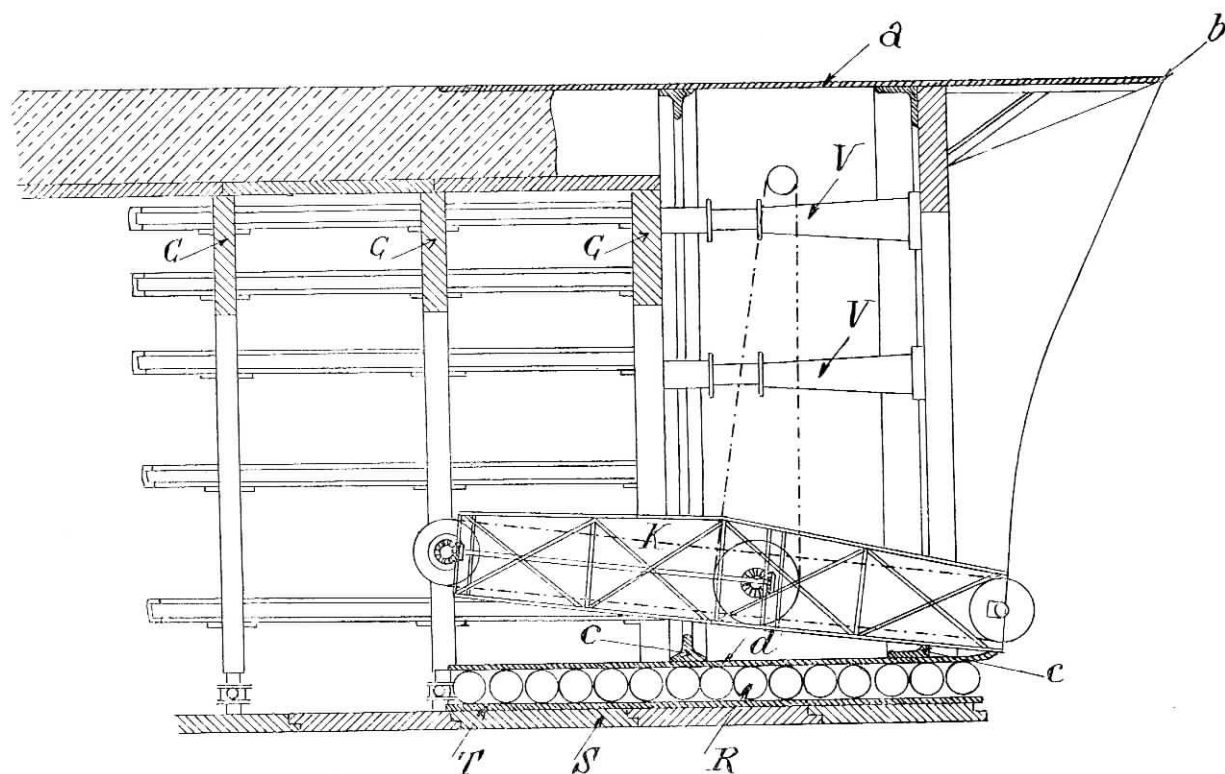


Fig. 2

MAÇONNERIE EXÉCUTÉE SOUS L'ARRIÈRE BEC DU BOUCLIER



u 8 Avril 1895

Malgré ces conditions extrêmement avantageuses, le Conseil Municipal ne nous confia pas immédiatement le travail, mais décida :

(*Bulletin Municipal du 27 mars 1895*).

« De procéder en ce qui concerne les travaux de construction du collecteur de Clichy à une adjudication restreinte devant la Commission d'admissibilité aux adjudications d'après les bases proposées par M. Chagnaud, entrepreneur, c'est-à-dire avec l'engagement d'exécuter les travaux entièrement en souterrain aux prix du devis et à ses risques et périls. »

Le Conseil nous mettait dans une situation désavantageuse, nos concurrents connaissant nos prix et les bases de notre projet d'outillage.

Malgré cela le travail nous fut confié avec un rabais de 12 fr. 10 $\frac{0}{100}$.

L'appareil qui avait servi de base à notre projet avait été breveté le 8 avril 1895.

Cet appareil qui devait empêcher tout effondrement, protéger les travailleurs et les passagers, voitures, tramways, etc., pouvait avoir toutes formes : CIRCULAIRE, DEMI-CIRCULAIRE, ELLIPTIQUE, et permettait l'exécution du revêtement en maçonnerie, SOIT SOUS LE BOUCLIER, SOIT A L'ARRIÈRE DU BOUCLIER. Ce qui n'avait jamais été fait et donnait une grande économie en même temps que des avantages techniques sur les revêtements métalliques.

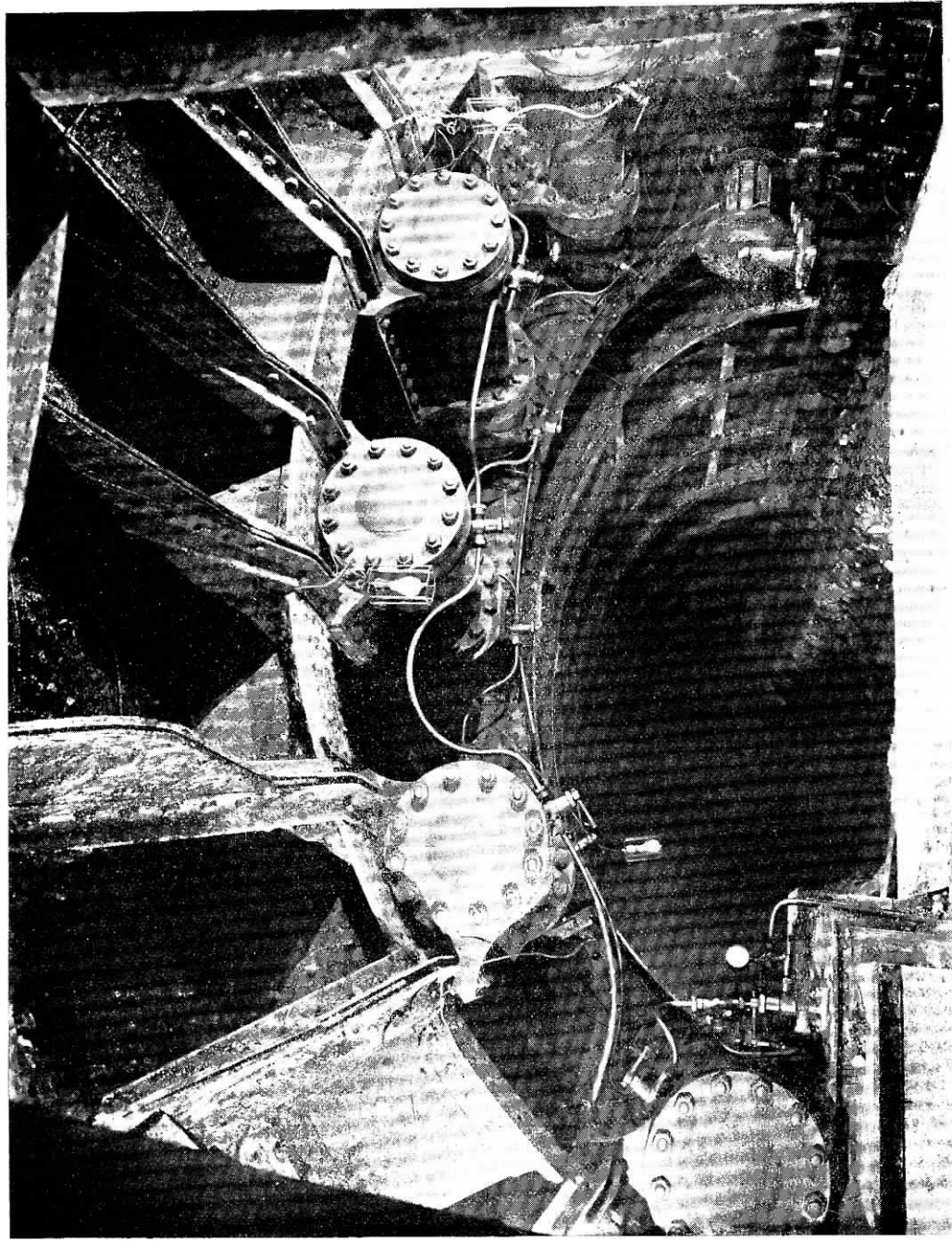
L'appareil a été appliqué dans l'année du brevet, et ce brevet complété par plusieurs certificats d'addition.

DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT

DESCRIPTION. — L'appareil employé pour l'exécution du Collecteur de Clichy (extra-muros) a été détaillé dans toutes les publications techniques (*voir à la fin de la notice quelques extraits de ces publications*); nous le décrirons très rapidement.

Il se composait d'une forte enveloppe métallique *a* (*Planche I, fig. 1 et 2*) d'une épaisseur de 28 millimètres; cette enveloppe formait avant-bec et trousse coupante à l'avant en *b*, la protection à l'avant pour les travailleurs et le talus des terres était de 2^m 10. Deux poutres transversales *c c* formant entretoisement, maintenaient l'enveloppe. Deux poutres longitudinales *d* présentaient à leur partie inférieure la surface de roulement de tout l'appareil.

BOUCLIER DU COLLECTEUR DE CLICHY



Première application d'un bouclier avec revêtement en maçonnerie.

Première exécution d'un souterrain à 0 m. 37 sous une chaussée sur 2 kilomètres sans jamais arrêter la circulation.

Ces poutres longitudinales servaient, en outre, de point d'appui à l'arrière à une poutre mobile *e* qui supportait elle-même un dispositif destiné à recevoir le boisage et à le maintenir sous la tôle enveloppe à l'arrière bec.

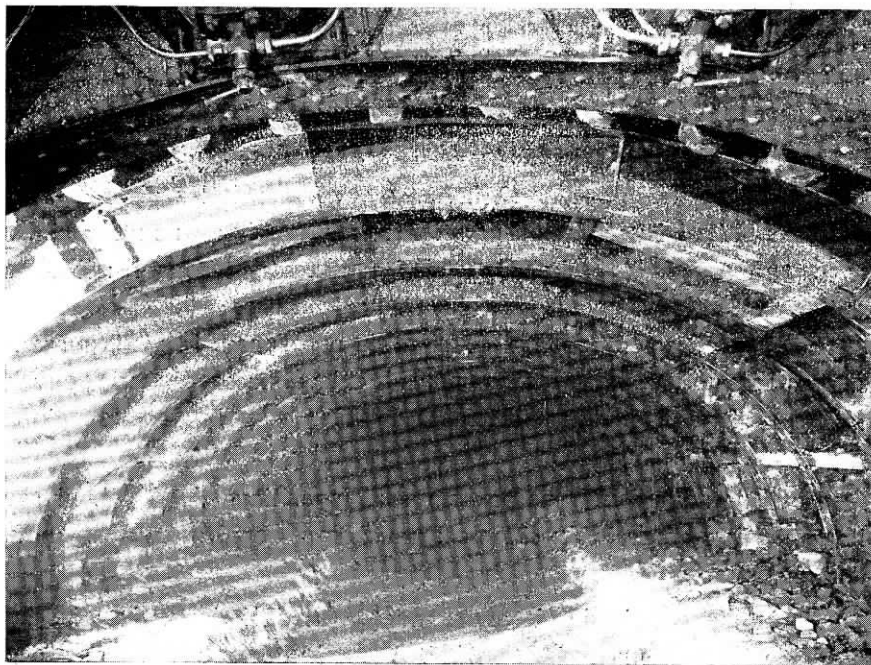
Enfin les pièces principales étaient six vérins hydrauliques *V* de 24 de diamètre alimentés par 4 pompes calées à 90° sur le même arbre actionné par une dynamo réceptrice.

Un bac à eau portait à sa partie supérieure le jeu de robinets et un manomètre. Les vérins étaient à double effet ; à chaque extrémité des cylindres, un robinet à trois eaux permettait de faire fonctionner ensemble tous les vérins ou d'en arrêter momentanément un quelconque.

Tout le système avançait sur des rouleaux de fonte *R* reposant sur des semelles en bois *S* recouvertes d'une tôle d'acier *T* d'un centimètre d'épaisseur.

Enfin le point d'appui du bouclier était formé par un jeu de 35 cintres en acier *C* espacés de un mètre et reliés entre eux par des entretoises.

BOUCLIER DE CLICHY



Vue d'ensemble des cintres supportant la maçonnerie et la chaussée à l'arrière du bouclier.

L'ensemble de ces cintres, le poids de la maçonnerie, de la chaussée et même des voitures qu'elle supportait formaient un poids suffisant pour résister à l'effort nécessaire à l'avancement du bouclier.

Comme on le voit, le principe de l'appareil était très simple. Ne pouvant pas nous appuyer sur le revêtement en maçonnerie qui ne pouvait supporter des pressions considérables et qu'il fallait exécuter, nous nous sommes appuyés sur les cintres placés de suite pour recevoir la maçonnerie. Là était l'innovation importante; il nous a suffi d'avoir une longueur de cintres suffisante pour que tous les poids énoncés empêchent le renversement de ces cintres sous la pression des vérins du bouclier.

Un transporteur K, actionné électriquement, facilitait le chargement des déblais en supprimant tout jet de pelle et tout remaniement.

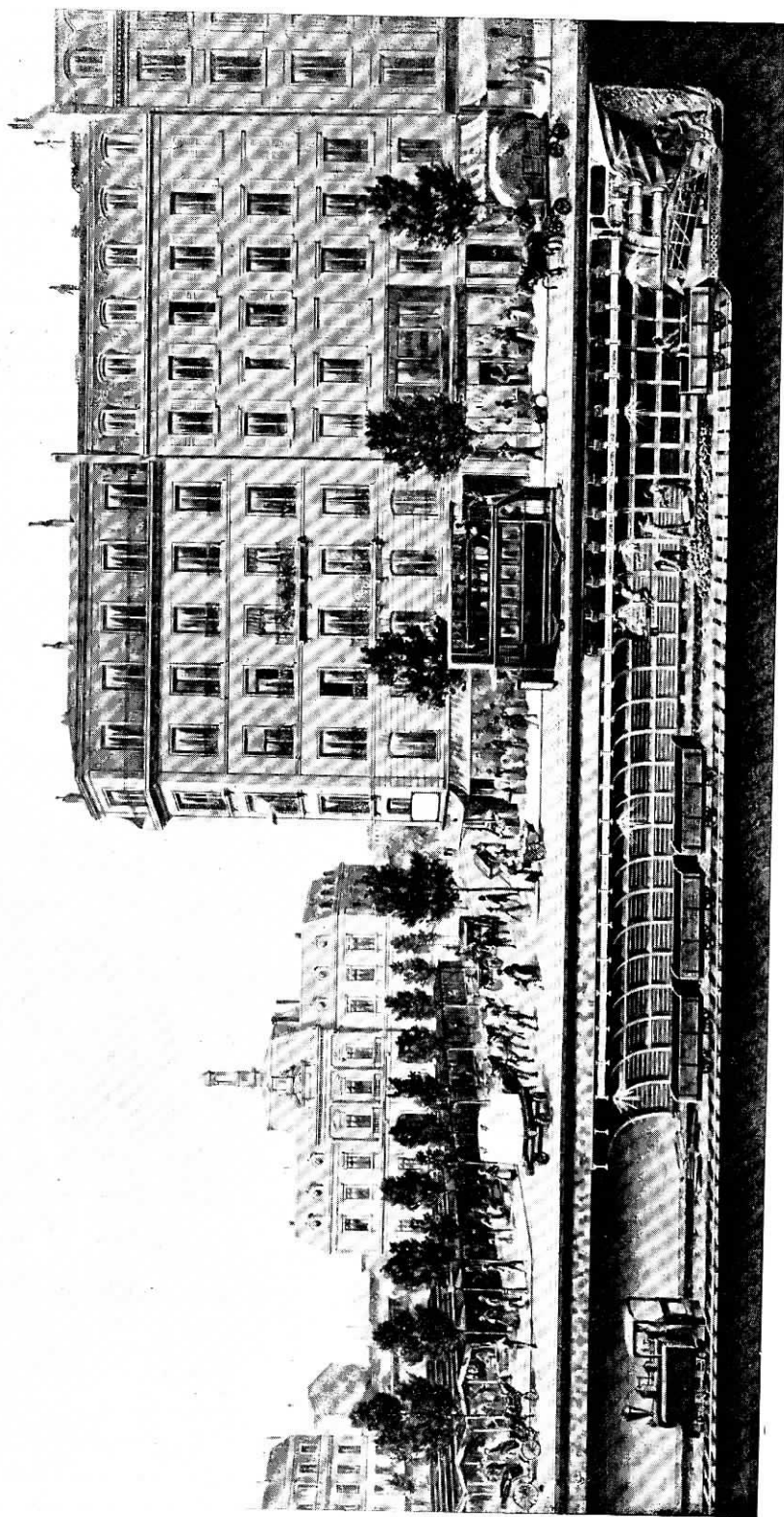
FONCTIONNEMENT. — Le fonctionnement était très simple; les tiges des vérins étaient appuyées directement sur la face antérieure du dernier cintre posé, les pompes étant mises en mouvement et le point d'appui des tiges des vérins étant absolument fixe, les cylindres des vérins se déplaçaient eux-mêmes et entraînaient avec eux tout l'appareil. Les rouleaux qui se dégageaient à l'arrière étaient replacés sous l'avant-bec.

Quand les vérins étaient à fond de course on changeait le fonctionnement de sens, l'eau agissant inversement ramenait les pistons et la poutre mobile à leur position première; on reposait un nouveau cintre avec ses entretoises, le boisage était à nouveau fait sous l'arrière-bec et l'on était prêt à recommencer une nouvelle course.

Pendant ces opérations qui duraient en moyenne 2 h. 1/2 la maçonnerie s'exécutait et le terrassement était enlevé. La maçonnerie pouvait même se faire à quelques mètres à l'arrière sans interruption d'une façon complètement indépendante de la marche du bouclier.

Nous ne nous étendrons pas sur les dispositions de détail, ni sur l'organisation générale du chantier; nous dirons seulement deux mots des résultats.

Après deux mois de tâtonnements, de modifications, de mise au point de l'outillage, le chantier était en pleine marche et donnait en moyenne de 6 à 7 mètres d'avancement par jour, (*résultat qui n'a jamais été atteint depuis dans aucun chantier au bouclier.*)



Vue du chantier, le bouclier ayant dépassé la place de la Mairie.

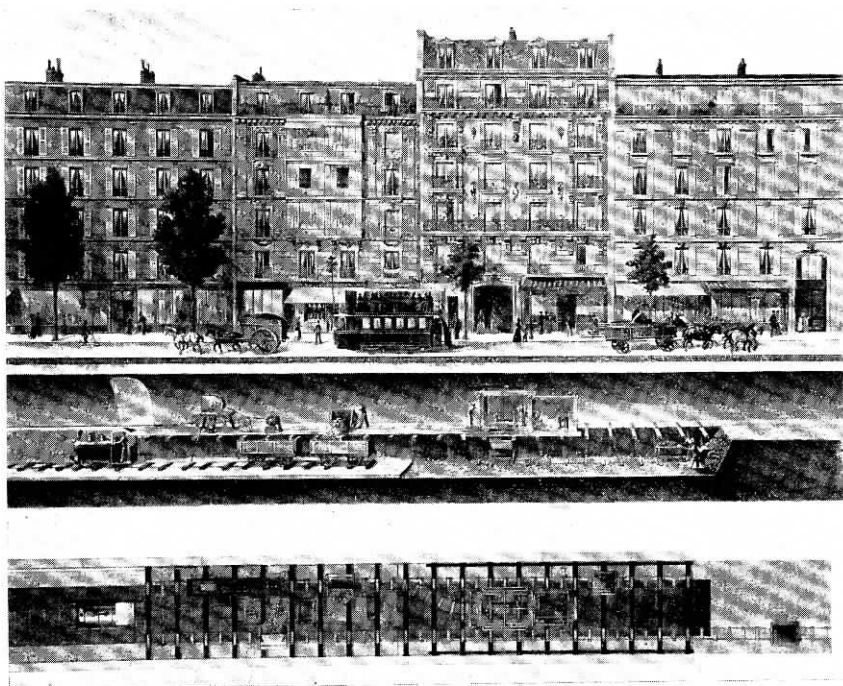
Le travail d'avancement du bouclier a même atteint plusieurs fois 9 mètres 30 en 24 heures.

Le procédé a complètement réussi. Nous citerons à l'appui un extrait des Annales des Ponts-et-Chaussées (mars 1897), sous la signature de M. Bechmann, Ingénieur en chef :

« Comme on l'avait voulu, la circulation n'a pas été un moment interrompue. »

« En somme, rien n'a révélé sur la voie publique l'accomplissement du travail considérable qui s'exécutait au-dessous. Le but qu'on s'était proposé a donc été pleinement atteint et du premier coup; la démonstration s'est trouvée faite de la possibilité incontestable d'exécuter un souterrain de grandes dimensions à faible profondeur sous une chaussée fréquentée, sans interruption ni gêne de la circulation, et sans dépense exagérée. »

COLLECTEUR DE CLICHY

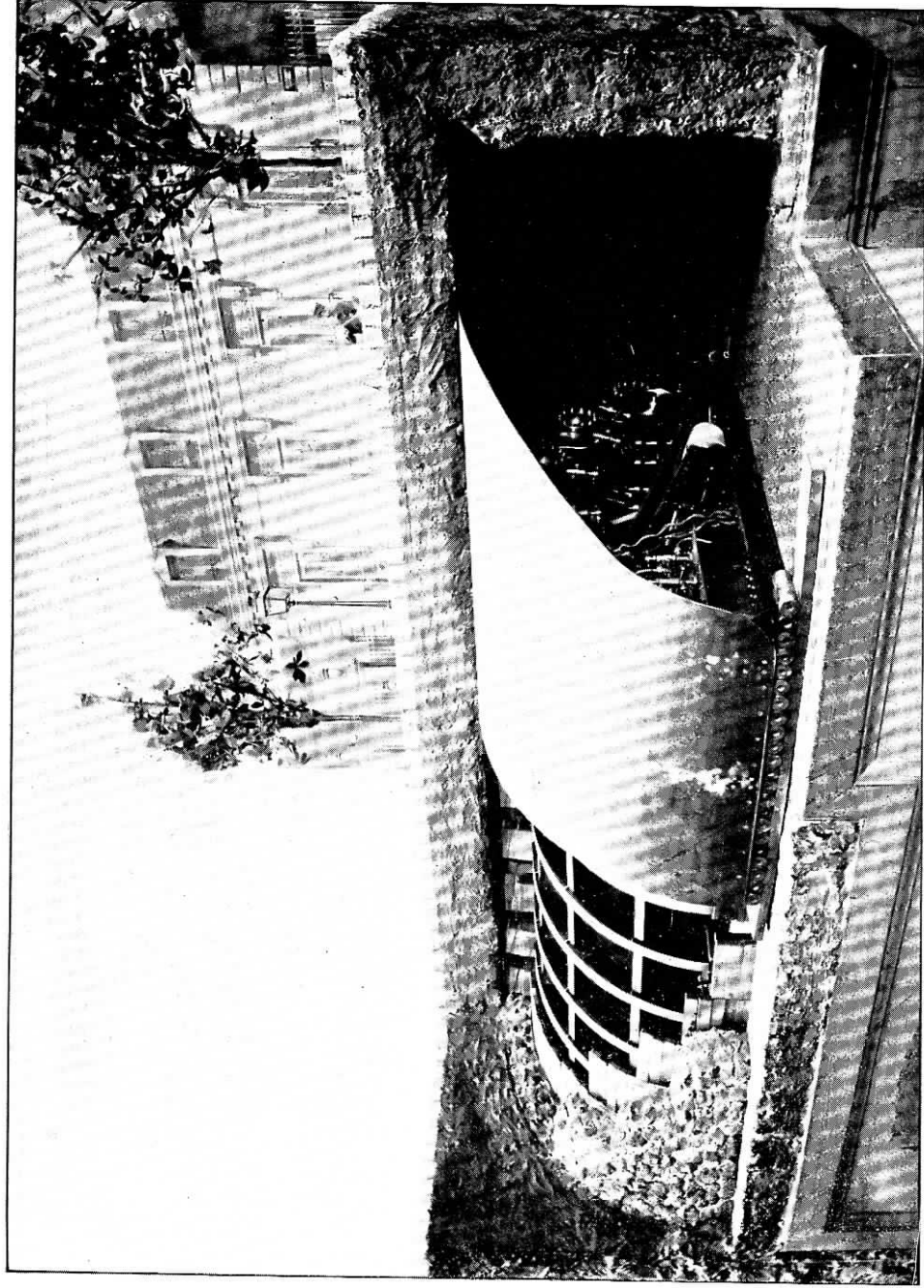


Exécution des piédroits et du radier, la voûte ayant été faite au bouclier.

A la suite du succès obtenu au collecteur de Clichy (extra muros), et bien qu'il n'y ait plus de chaussée à maintenir, le travail s'exécutant à grande profondeur, MM. Fougerolle frères, pour la construction du Collecteur (intra muros) qui s'exécutait l'année suivante, firent usage de notre procédé de bouclier avec revêtement en maçonnerie. Ils revinrent au bouclier complet (Brunel et Greathead) que nous avons prévu dans

COLLECTEUR DE CLICHY (extra muros)

Première application du bouclier avec revêtement en maçonnerie. Système L. CHAGNAUD, Breveté S. G. D. G.



Photographie du modèle réduit au 1/10 construit dans les ateliers du service de l'assainissement et exposé au Pavillon de la Ville de Paris

Ce bouclier a fonctionné sous le Boulevard National à Clichy à de faibles profondeurs n'atteignant souvent que 0^m37.
Marche moyenne : 5^m45. Marche maximum : 9^m30 en 24 heures.

nos brevets, en s'appuyant, exactement comme nous, par l'extrémité des tiges de vérins sur les cintres. Ils supprimèrent le boisage sous l'arrière-bec, et firent directement la maçonnerie sous le bouclier. Nous avions prévu cette disposition dans notre premier brevet; elle offre l'avantage d'éviter la main-d'œuvre du boisage, mais, par contre, présente l'inconvénient primordial de démolir la maçonnerie. L'arrière-bec du bouclier, pendant son avancement, s'il y a un léger mouvement, touche d'un côté ou d'autre à la maçonnerie fraîchement exécutée, et la démolit. De même, s'il y a un mètre de maçonnerie d'exécutée sous la tôle de l'arrière-bec, il reste un vide souvent assez considérable à l'extrados sur les reins de la voûte (*vide correspondant à l'épaisseur de la tôle*), et généralement les voûtes exécutées avec ce système se fendent à la clef.

Pour supprimer cet inconvénient, il faut arriver à un bourrage complet et assuré. Nous avons pu résoudre cette grosse difficulté, ainsi qu'on le verra plus loin à nos travaux de prolongement des lignes d'Orléans, avec le bouclier exposé.

En 1897, les travaux prévus du prolongement des lignes d'Orléans entraînant de grandes modifications dans le réseau des égouts, des boucliers furent employés sous le boulevard Saint-Germain pour la construction de nouveaux collecteurs.

Ces boucliers, toujours avec revêtement en maçonnerie avec points d'appui sur les cintres, furent coupés aux naissances comme à Clichy. Il n'y eut là qu'une seule modification que nous avions prévue dans notre premier brevet : la suppression des rouleaux de fonte sous le bouclier. Cette suppression ne donne pas d'avantages; le bouclier, en glissant au lieu de rouler, devient moins mobile, et l'effort d'avancement est plus grand que sur les rouleaux; la manœuvre de ces rouleaux de l'arrière à l'avant étant une main-d'œuvre insignifiante, nous croyons préférable de les conserver.

Là aussi la maçonnerie fut exécutée sous l'arrière bec avec un mètre de maçonnerie correspondant à la longueur de course des vérins. Le résultat au point de vue des maçonneries ne fut pas meilleur; on essaya de boucher les vides par des injections de ciment au moyen de l'air comprimé, mais ces injections ne réussissent que pour boucher des vides dans un terrain consistant (par exemple des fissures de rocher ou de maçonnerie) mais dans un terrain sablonneux qui tombe de suite on ne peut arriver avec une matière liquide à boucher les vides laissés par la

tôle et par conséquent empêcher les fissures des maçonneries de la voûte.

Un autre bouclier fut aussi employé pour la construction de ces collecteurs par M. Dioudonnat; son système consiste à s'appuyer sur une charpente en bois reconstituée à chaque course d'avancement. Ce système ne présente que l'inconvénient, l'encombrement et la dépense de cette charpente, étant donné qu'il faut toujours faire usage des cintres pour soutenir la voûte.

Le succès du travail en souterrain du Collecteur de Clichy extra-muros, travail exécuté sous un boulevard (*l'extrados de la voûte à 0^m.37 de la chaussée*) supportant 5.000 colliers par jour et des tramways de 17 tonnes, fut le plus grand argument pour faire voter la construction du Métropolitain Municipal.

Dans la discussion du Conseil Municipal à ce sujet, ce travail est à chaque instant rappelé.

De même, la C^{ie} d'Orléans, pour obtenir l'autorisation de prolonger ses lignes au quai d'Orsay, s'engagea de suite à construire en souterrain sans gêner la circulation.

Elle mit le travail au concours entre les Ingénieurs et Entrepreneurs et après ce concours il nous fut adjugé le 16 décembre 1897.

Le projet que nous avons présenté à ce concours et qui a été classé le meilleur est montré en détail par les différentes coupes des dessins ci-contre.

Ces coupes montrent les différentes phases du chantier. (*Planche II.*)

La **1^{re} phase** consistait à établir par les procédés ordinaires deux galeries boisées à droite et à gauche du souterrain, ces galeries ayant leur ciel un peu plus haut que les naissances, de façon à permettre plus tard le calage des chapeaux de cadres sur la maçonnerie.

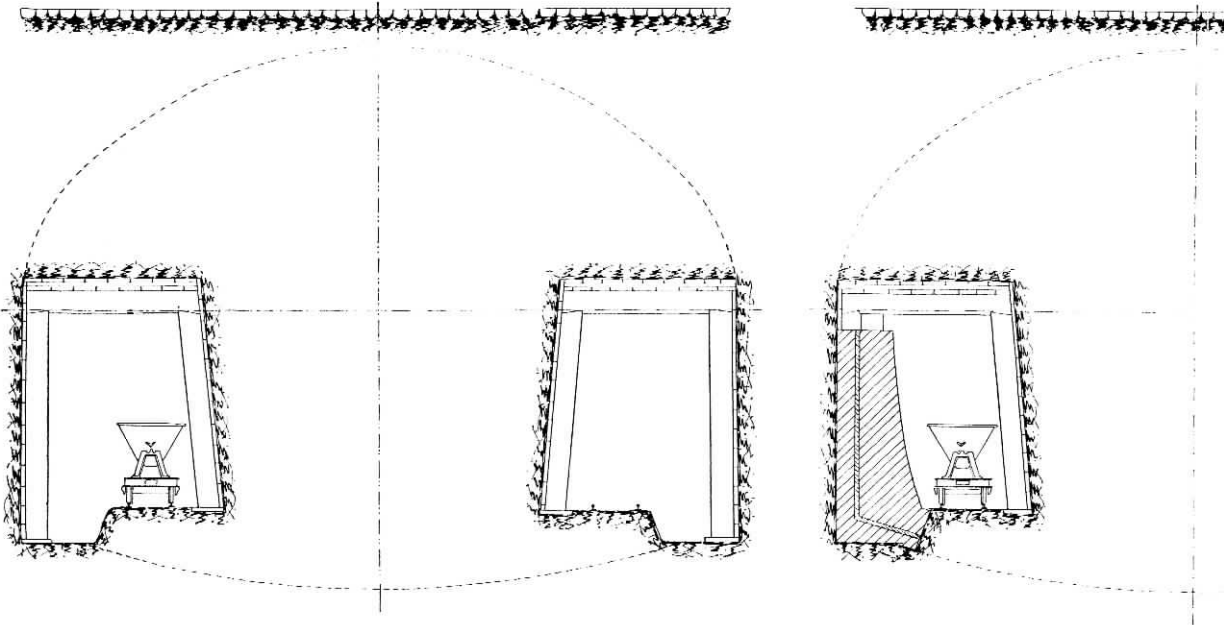
La **2^e phase** était marquée par la construction définitive des piédroits du souterrain suivant les profils indiqués dans les deux galeries déjà exécutées, le dessus de ces piédroits étant arasé en contrebas des naissances, pour constituer le chemin de roulement du bouclier.

La **3^e phase** était nettement définie par le travail même du bouclier. L'ensemble de l'appareil s'appuyait sur les piédroits par l'intermédiaire de rouleaux en fonte creux, sur lesquels il se déplaçait; il était guidé très exactement par 4 galets disposés verticalement de façon à suivre les faces intérieures des piédroits.

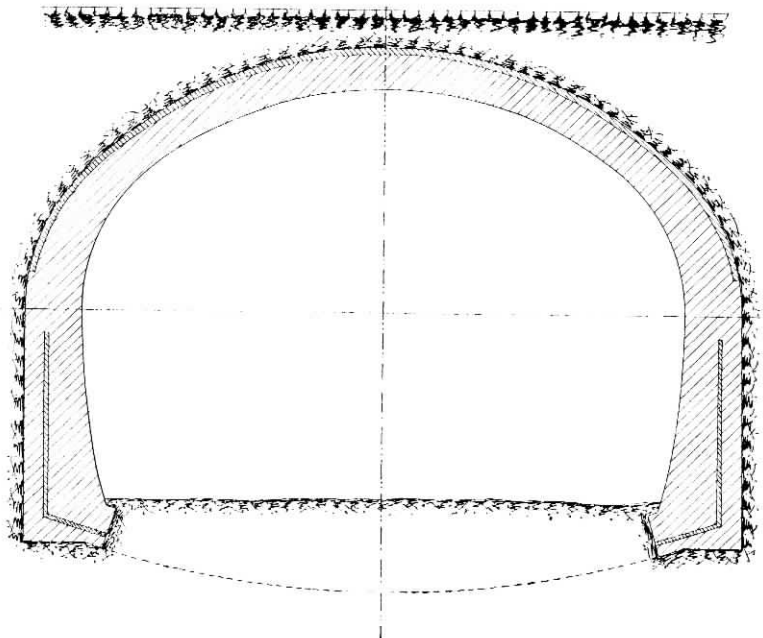
CONSTRUCTION DES SOUTERRAINS POUR LE PROLO

1^{re} Phase

2^e Phase



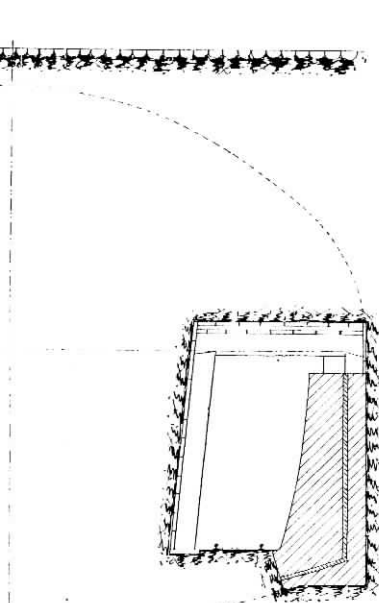
4^e Phase



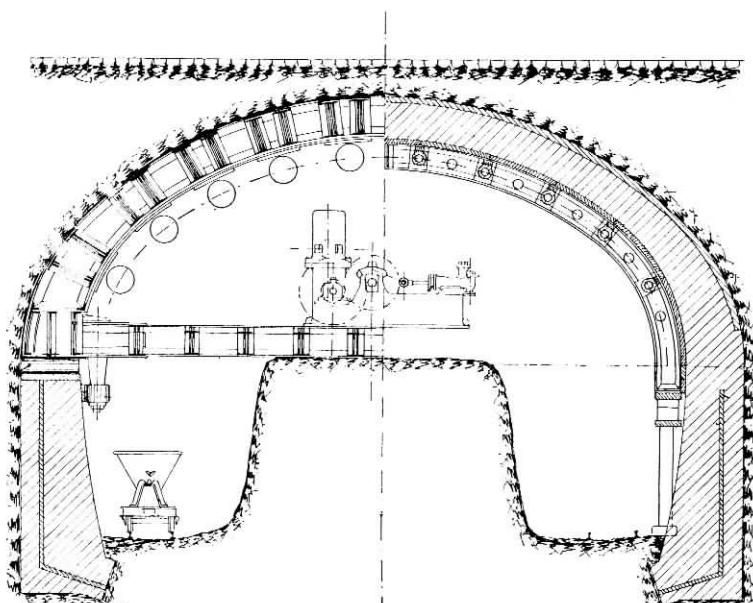
Différentes phases du projet p

LONGEMENT DES LIGNES D'ORLÉANS AU QUAI D'ORSAY

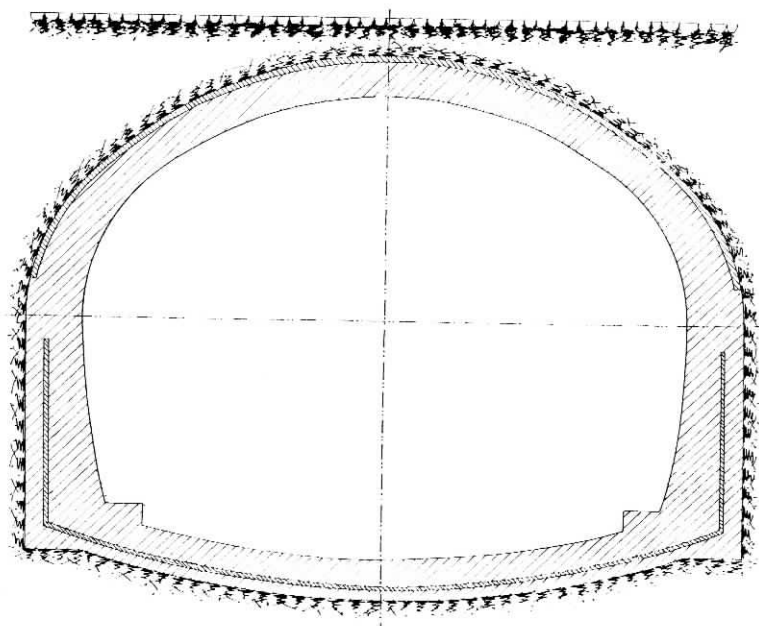
1^{re} Phase



3^e Phase.

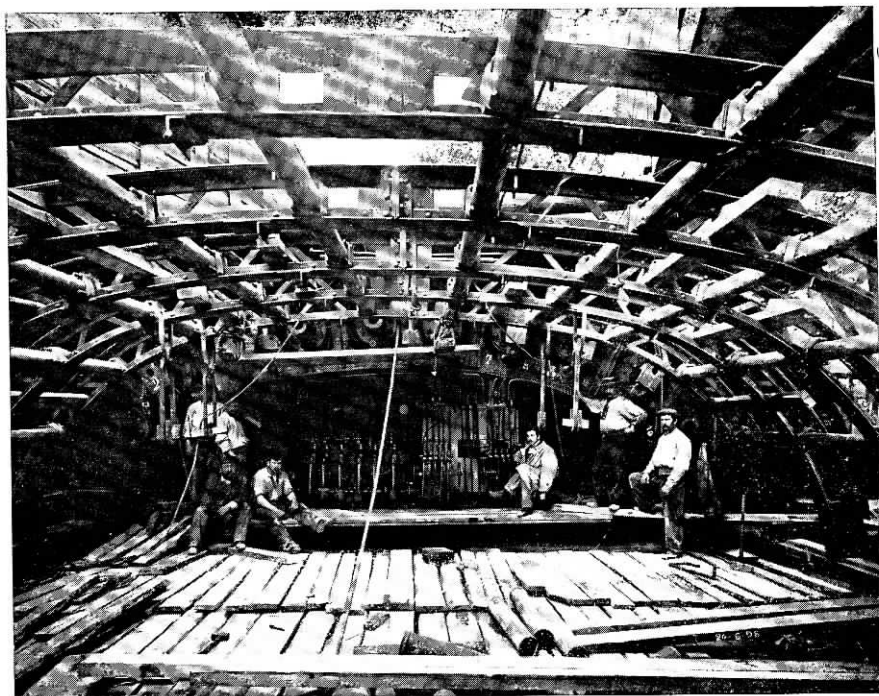


5^e Phase.



et présenté au Concours et exécuté.

PROLONGEMENT DE LA LIGNE D'ORLÉANS AU QUAI D'ORSAY



Bouclier de 10 m. 60 monté au Pont Sully.

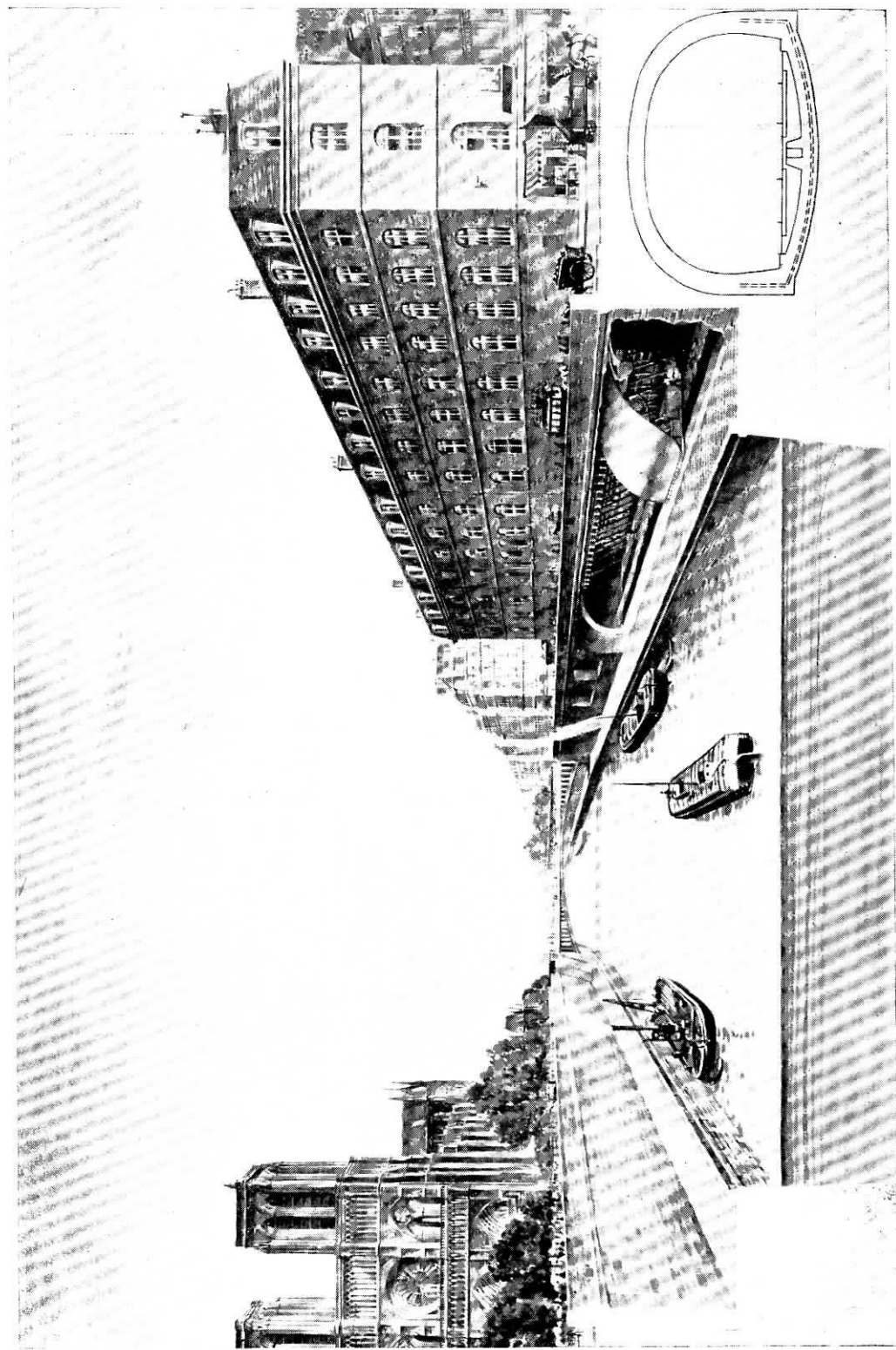
Le terrassement sous l'avant bec se faisait d'une façon très commode en utilisant les deux galeries des piédroits qui servaient à loger des wagons dans lesquels on faisait simplement tomber les déblais.

La seule variante au bouclier de Clichy en dehors de la construction préalable des piédroits consistait en un ensemble de 32 poutres métalliques en forme de double fer à **U** disposé sur les cintres suivant les génératrices de la voûte et glissant sur ces derniers qui portaient des taquets en fer cornière servant à guider leur mouvement d'avancement. Ces poutres étaient munies à leur partie supérieure de vérins à vis dont la tête en fonte s'encastrait dans des madriers de 0,18 d'épaisseur (recouverts de tôle mince) qu'on serrait contre le terrain et qui formaient le blindage jointif.

Les longueurs de ces poutres étaient différentes et formaient des re-dans ; leur queue se terminait en sifflet, leur tête avait moitié de leur hauteur afin de permettre le logement de la cheville d'attelage.

12 vérins de 15 tonnes logés dans le bouclier servaient à tirer les poutres en amarrant à leurs chevilles la chaîne dont leur tige était munie. Un seul vérin servait à la manœuvre de 2 ou 3 poutres.

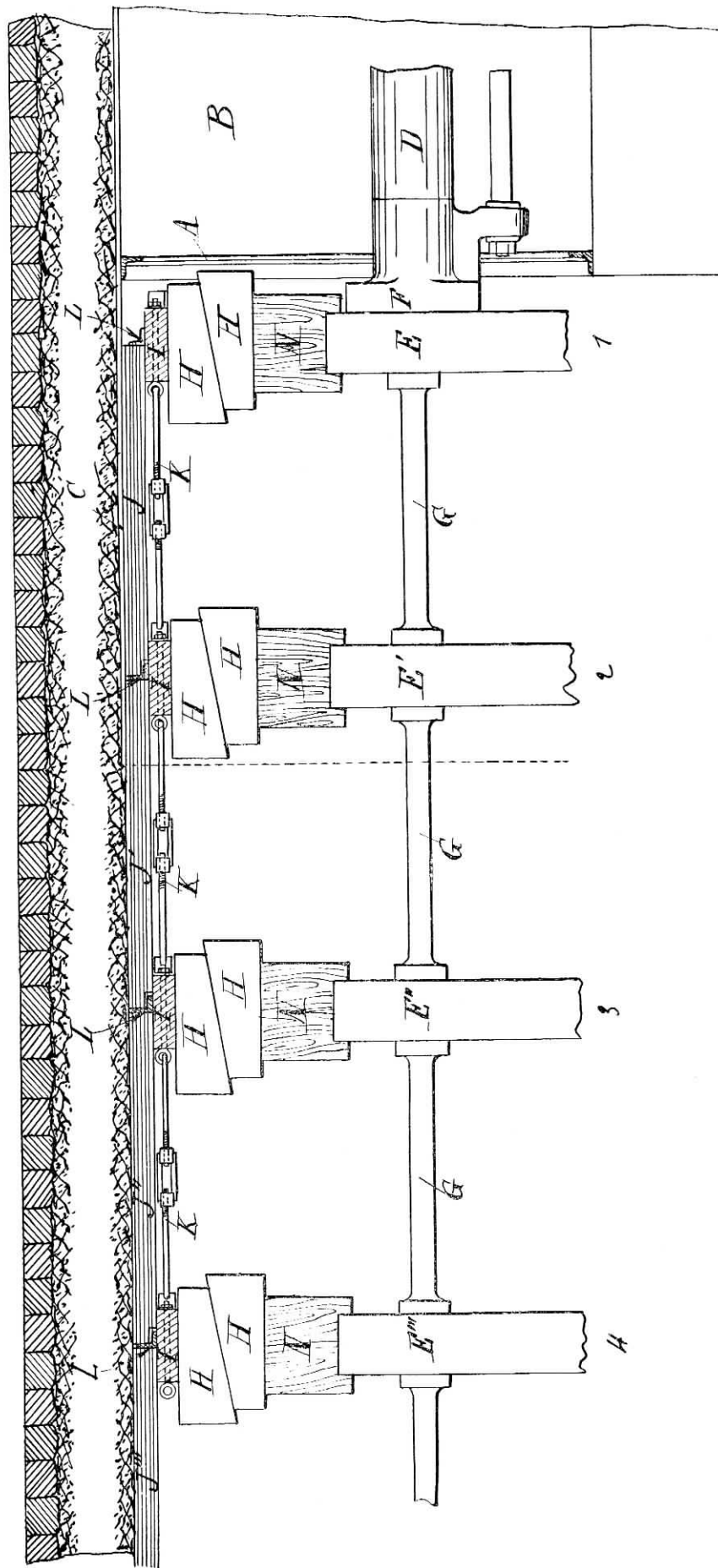
PROLONGEMENT DE LA LIGNE D'ORLÉANS AU QUAI D'ORSAY



Vue du chantier, le bouclier arrivant à fin de course au Pont Saint-Michel

PLANCHE III

BOUCLIER DE 10^m60 MONTÉ AU PONT DE SULLY



Dispositif remplaçant les poutres longitudinales.

La maçonnerie de la voûte était exécutée par étages correspondant aux redans des poutres et ce dispositif permettait un avancement des maçonneries indépendant de celui du bouclier,

Une voie établie sur l'axe du grand stross permettait d'assurer le service de ce chantier en dehors de celui de terrassement.

La 4^e **phase** représentait l'enlèvement du grand stross toujours au moyen des deux voies des galeries, ainsi que la préparation de la fouille du radier.

Enfin la 5^e **phase** montrait la construction du radier.

La disposition des poutres longitudinales, qui avait paru très pratique à beaucoup d'Ingénieurs éminents, ne donna pas les résultats attendus. Il fallut trouver un autre système permettant de remplacer ces poutres et de marcher sans arrêt de chantier, ce que nous avons résolu par la disposition ci-dessous, qui fit l'objet d'un certificat d'addition, en date du 4 août 1898.

Le blindage de la calotte fut obtenu de la manière suivante : à l'abri de la tôle (arrière-bec du bouclier *Planche III*), on plaçait à chaque course et sur tout le développement de l'extrados au-dessus du chemin de roulement des feuilles de tôle de 0.^m/_m5 d'épaisseur, puis des couchis J formés par des bouts de madriers d'une longueur égale à la distance d'axe à axe des cintres E et reliés deux par deux à leurs extrémités par de petites pièces de bois disposées normalement à ces couchis et munies en leur milieu d'une cornière L et de tirans K ; ce blindage ainsi constitué prenait appui sur les cintres par l'intermédiaire de potelets N s'encastrent sur lesdits cintres et surmontés de forts coins H, que l'on serrait fortement, au moment où par suite de l'avancement du bouclier, une rangée de potelets se trouvait découverte par la tôle d'arrière-bec. Les tirans K et les cornières L ayant pour but d'empêcher l'entraînement du boisage dans le sens de la marche du bouclier.

On comprend aisément qu'après une course, le cintre et la série de potelets et de coins 1, par exemple, venait prendre la position 2, etc...

Au moment de l'exécution de la maçonnerie, les couchis étaient déplacés de leur position et disposés sur le cintre même, afin de permettre la construction de la partie de voûte correspondante. La tôle mince placée entre le terrain et le blindage empêchait les terres de fluer.

Le chantier du souterrain d'Orléans entre le pont Sully et la gare Saint-Michel est la première application de l'exécution des piédroits

avant la voûte. Nous l'avons employé ensuite, mais sans bouclier pour l'exécution difficile dans les argiles plastiques des souterrains de Passy (Ligne de Courcelles au Champ-de-Mars). Ce système a été appliqué depuis en 1899 par MM. Fougerolle Frères au souterrain de Meudon.

Le résultat a été parfait au point de vue de la bonne exécution du travail; s'il n'a jamais été constaté de fissures malgré la forme très aplatie des voûtes, cela tient évidemment à l'exécution première des piédroits, et, par suite, à la suppression complète du tassement de la voûte.

Nous croyons avoir résolu là le problème difficile de nivellement et direction parfaite, malgré les vides qui se trouvaient sur certains points d'un côté du bouclier (vieux égouts, galeries, fosses, etc...), et malgré les résistances inégales rencontrées.

BOUCLIER DE 9^m75 MONTÉ AU QUAI VOLTAIRE

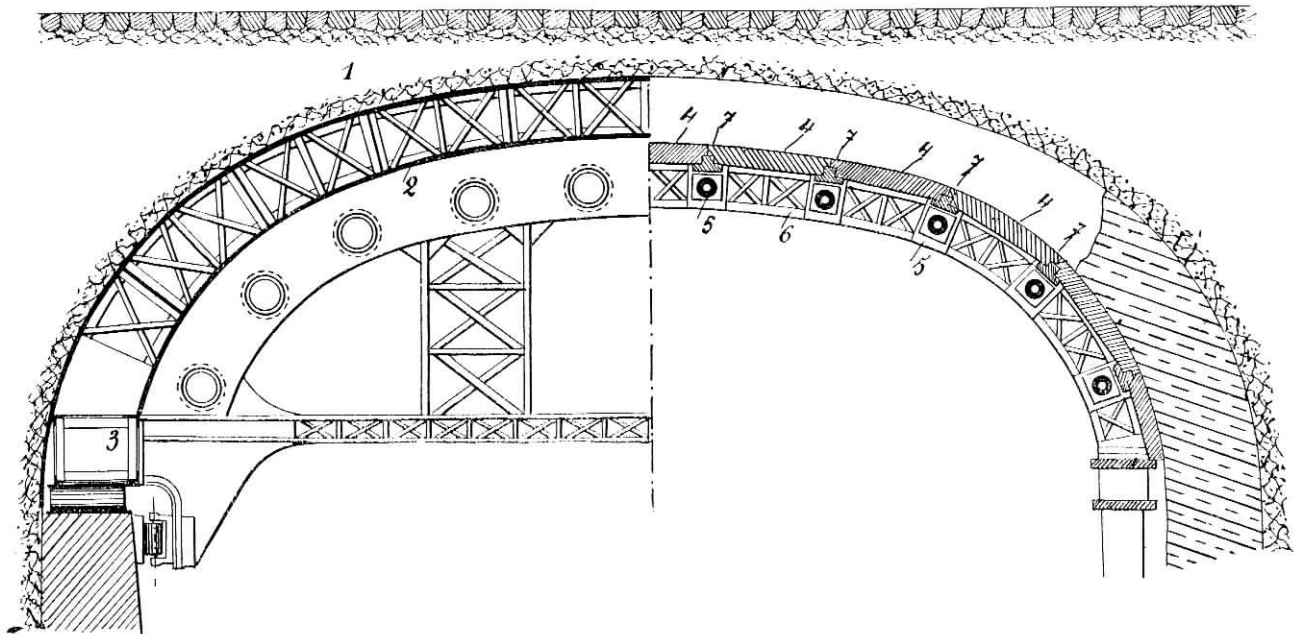
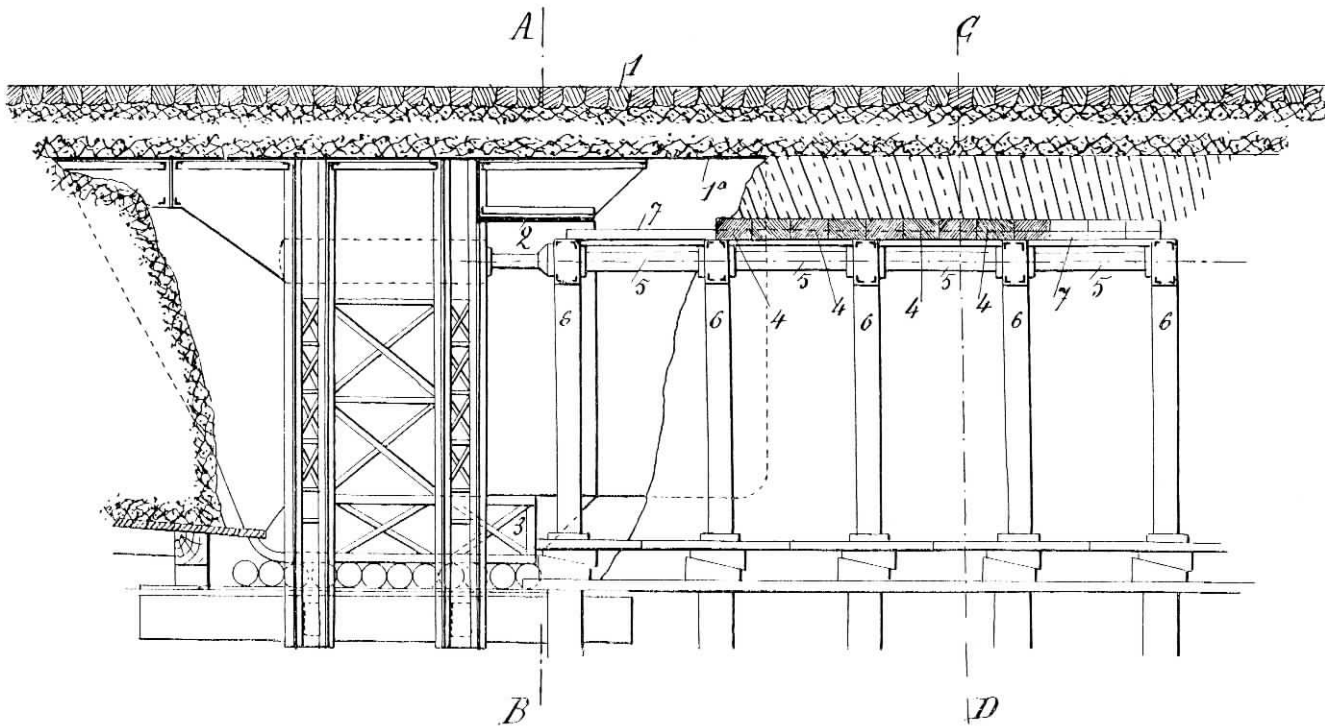
L'ensemble de notre Exposition représente le chantier du second tunnel que nous avons exécuté pour le prolongement des lignes d'Orléans entre le quai des Grands-Augustins et le quai d'Orsay. C'est dans l'ensemble la reproduction exacte du chantier du pont Sully; mais il y a à noter une modification très importante dans l'exécution des maçonneries. Cette modification a fait l'objet du certificat d'addition, en date du 31 août 1898.

Au lieu d'employer, comme on le fait ordinairement, les couchis sur les cintres placés suivant l'axe longitudinal du souterrain, nous les avons disposés suivant les courbes de la voûte (*Planche IV*), c'est-à-dire que ces couchis ne sont plus de simples bouts de madriers, mais bien des parties de tambours constitués par de petits cintres en bois recouverts de deux minces planches de 0^m,01 d'épaisseur, ayant une longueur développée correspondant à la distance d'axe à axe des entretoises sur lesquelles ils s'appuient par l'intermédiaire d'une fourrure en bois placée sur la face supérieure de l'entretoise.

Ces couchis n'ayant une largeur que de 0^m,20, on conçoit aisément qu'il est loisible de construire complètement un anneau de souterrain de la longueur qu'on veut; nous avons fait cette longueur en marche normale pour le prolongement de la ligne d'Orléans de 0^m,40 ($\frac{1}{3}$ de la course) en laissant entre la tôle du bouclier et l'extrados de la maçonnerie ainsi constituée un vide de 0^m,07 prévu pour la chape par MM. les Ingénieurs de la Compagnie, vide que nous remplissions au moment même de l'avancement du bouclier par du mortier pilonné très

PLANCHE IV

BOUCLIER DU QUAI VOLTAIRE



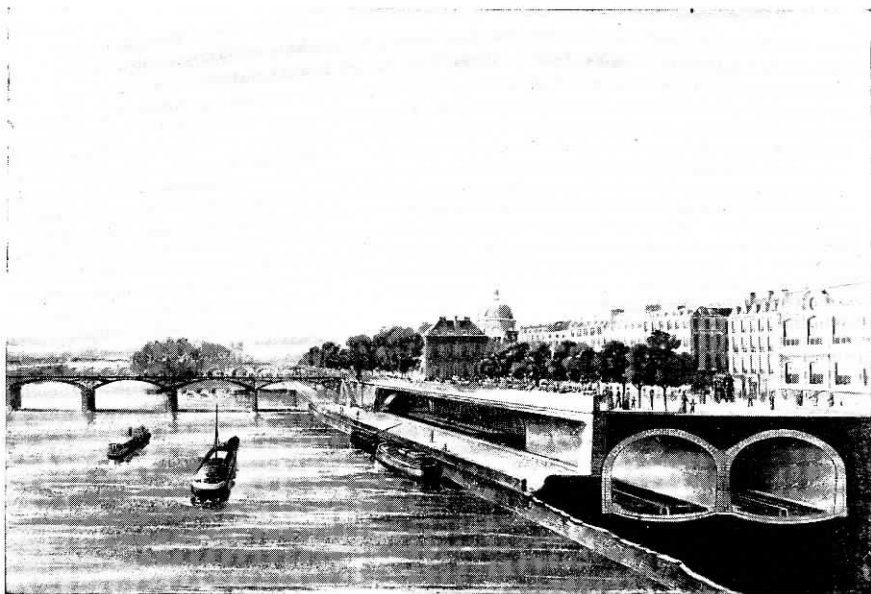
Dispositif des couchis pour la maçonnerie sous l'arrière-bec.

fortement, le forçant de ce fait non seulement à venir combler le vide laissé, mais encore celui produit par le retrait de la tôle vers l'avancement.

Après avoir résolu au souterrain de Sully le problème de nivellement et de direction parfaite, nous croyons avoir trouvé au chantier des Sts-Pères le moyen le plus simple d'exécution des maçonneries tout en supprimant toute dislocation de ces maçonneries et en permettant toute la longueur de course que l'on voudra.

Enfin l'organisation générale des chantiers que montre notre exposition et les coupes *Planche II* fait voir combien chacune des phases du travail (*galeries de piédroits, déblais de voûte, maçonnerie de voûte, enlèvement du grand stross et maçonneries du radier*) est distincte, indépendante de l'autre et d'un service complètement séparé, ne se gênant nullement. Cette division du travail permet évidemment d'obtenir la plus grande rapidité d'exécution.

PROLONGEMENT DES LIGNES D'ORLÉANS AU QUAI D'ORSAY

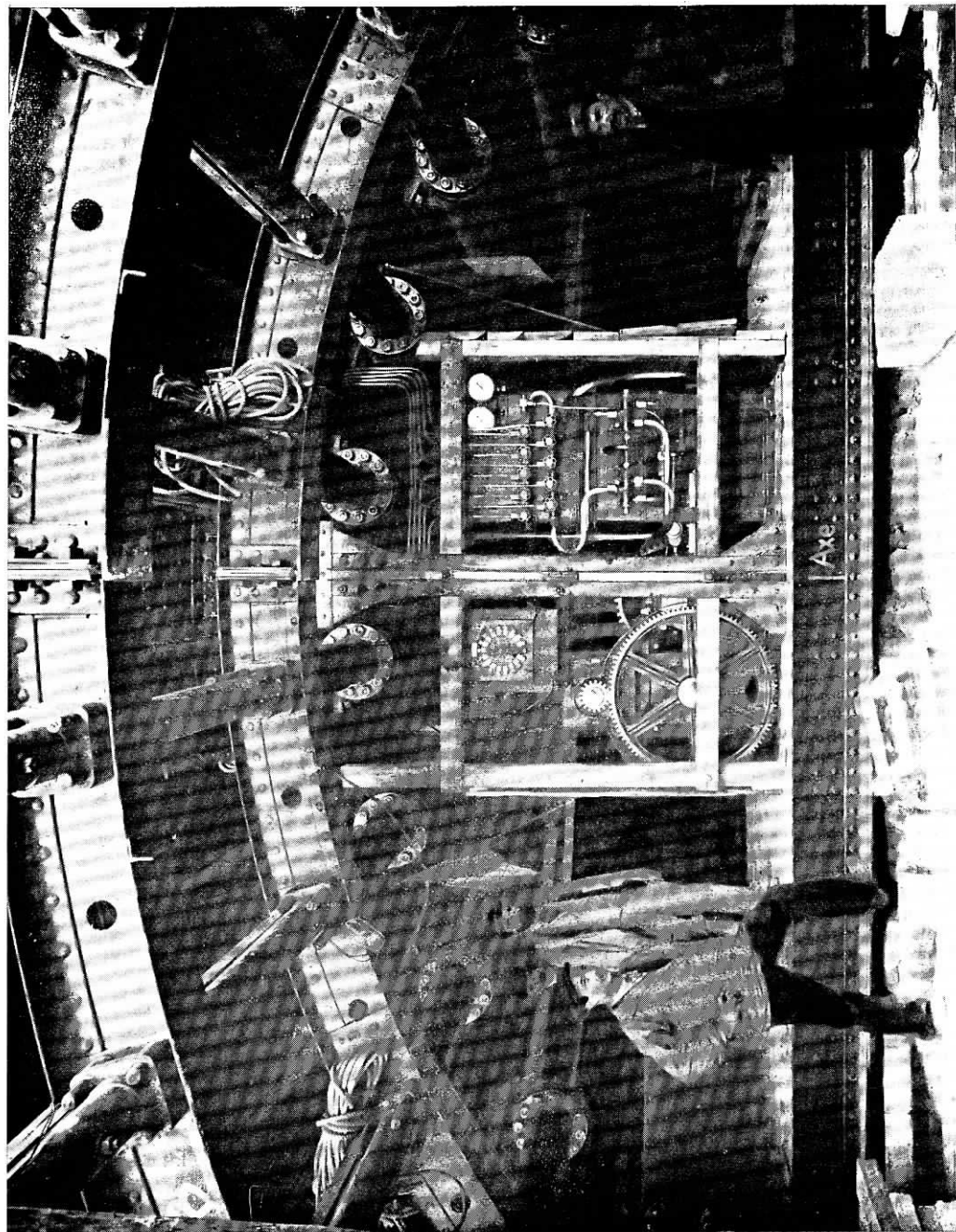


Vue du chantier du Bouclier en face l'Institut.

Les boucliers construits pour le Métropolitain ont été faits avec notre système par notre constructeur M. Champigneul, auquel nous avons par contrat du 16 Juin 1898 accordé une licence.

Les entrepreneurs et la Ville elle-même n'ont pas cru devoir exé-

PROLONGEMENT DES LIGNES D'ORLÉANS AU QUAI D'ORSAY



Bouclier de 9^m75 monté au quai Voltaire. Ce bouclier est celui exposé classe 28, Annexe Exp. 1900.

cuter d'abord les piédroits comme nous l'avons fait à l'Orléans; ils se sont contentés, vu les plus faibles dimensions, de faire d'abord la voûte comme nous avons fait à Clichy. Nous croyons qu'ils ont dû le regretter : des outils d'aussi grandes dimensions et d'aussi gros poids, demandent une direction et un nivellement absolument assurés.

De même la maçonnerie a été exécutée sous l'arrière bec, sur une longueur de un mètre correspondant à la longueur de course. Ce système ne permet pas, comme nous l'avons dit plus haut, un bourrage suffisant et entraîne forcément des fissures de voûte à la clef.

Il est aussi à regretter que les entrepreneurs du Métropolitain, en général, n'aient pas voulu employer le bouclier (cela pour des raisons financières entre autres, mais indépendantes de la valeur de l'outil), car s'il n'est pas encore parfait en toutes circonstances, dès maintenant il est indiscutable qu'il est impossible d'exécuter sans son concours un grand souterrain à faible profondeur sous nos chaussées parisiennes. C'est toujours dans ces circonstances que nous l'avons appliqué, et nous en avons eu les meilleurs résultats sans jamais le moindre accident.

(Voir la préface sous la signature de M. Biette, Ingénieur des Ponts et Chaussées, de l'ouvrage sur *le bouclier et les méthodes nouvelles de percement des souterrains par René Philippe, Ingénieur des Ponts et Chaussées.*)

« Il n'est pas téméraire de penser qu'au prix de quelques perfectionnements, on
« pourra en tirer un instrument pratique, sûr et commode, susceptible de rendre d'utiles
« services, à la condition toutefois qu'on n'en veuille pas faire une panacée universelle et
« qu'on ne l'emploie pas sans discernement. »

Il nous est bien agréable en terminant cette petite note de rendre hommage à nos éminents Ingénieurs MM. Bechmann et Launay, les parrains de la méthode du bouclier avec revêtement en maçonnerie, qui par leur grande autorité ont su l'imposer en France. C'est à la bienveillance avec laquelle ils ont accepté nos modestes idées; c'est à l'appui qu'ils nous ont toujours prodigué que nous devons d'avoir réussi à apporter notre petite pierre à l'édifice des travaux publics.

M. Legouéz, sous la direction duquel nous avons terminé le collecteur de Clichy (extra muros), qui bien qu'hostile dès le début au bouclier s'y est vite rallié, et a fait sur ses applications un ouvrage justement apprécié.

MM. Brière et De la Brosse, Ingénieurs de la Compagnie d'Orléans, secondés par M. Verdeau, Inspecteur, qui ont mené avec tant de rapidité les travaux difficiles du prolongement des lignes d'Orléans au quai d'Orsay. Nous sommes trop peu qualifié pour apprécier leur grande œuvre comme elle le mérite, mais ce que nous voulons ici affirmer, c'est qu'ils n'ont pas hésité à adopter pour la première fois le bouclier avec maçonnerie à la construction d'une grande voûte de souterrain de chemin de fer (10^m 60 de diamètre) et que dans ces travaux tous les jours remplis d'imprévu nous n'avons jamais attendu pendant plus de vingt-quatre heures une décision, si importante qu'elle soit.

EXTRAITS

DE QUELQUES PUBLICATIONS TECHNIQUES

M. BECHMANN, *Annales des Ponts-et-Chaussées*, Mars 1897.

Collecteur de Clichy, (extra muros)

« En somme rien n'a révélé sur la voie publique l'accomplissement du travail considérable qui s'exécutait au-dessous, si ce n'est l'installation de quelques cheminées provisoires de ventilation au-dessus des regards de visite, placés sur les trottoirs dans l'alignement des arbres ; mais ces cheminées elles-mêmes attiraient à peine l'attention.

« Le but qu'on s'était proposé a donc été pleinement atteint, et du premier coup, la démonstration s'est trouvée faite de la possibilité désormais incontestable d'exécuter un souterrain de grandes dimensions à faible profondeur sous une chaussée fréquentée, sans interruption ni gêne de la circulation et sans dépense exagérée. »

M. LEGOUËZ. — Ouvrage sur les Boucliers, 1897.

« En résumé le travail du collecteur de Clichy (extra muros) marque la transition entre l'emploi du bouclier avec le revêtement métallique et son application à la construction d'une voûte en maçonnerie.

« Il a établi la possibilité d'exécuter rapidement et sans accident un ouvrage important sous une voie publique à une faible profondeur sans gêner la circulation.

« À ce titre il est d'une haute importance, et on ne saurait s'attarder à des critiques de détail. »

La Revue Technique, 25 avril 1896. Collecteur de Clichy.

(Extra muros)

« Les travaux conduits par M. Legouëz, Ingénieur, sous la haute direction de MM. Bechmann et Launay, Ingénieurs en Chef de l'Assainissement de Paris et de la Seine, sont exécutés comme nous l'avons dit au début de cette note par M. Chagnaud auquel en revient l'initiative, et qui les mène avec une rapidité et une habileté remarquables. Il a su surmonter les difficultés qui marquent le plus souvent les débuts d'une entreprise d'un caractère aussi spécial et jettent quelquefois le discrédit sur des méthodes et des procédés excellents en eux-mêmes, mais ayant le grand défaut de rompre avec les traditions.

« On ne saurait trop féliciter MM. les Ingénieurs de l'Assainissement d'avoir adopté
« des procédés aussi pratiques appelés à rendre de plus grands services encore par la
« construction des voies souterraines sous les rues de la Capitale. »

Le Génie Civil, 25 avril 1895, Collecteur de Clichy

« Les travaux du Collecteur de Clichy s'exécutent sous les ordres de M. Legouëz,
« Ingénieur des Égoûts de la Ville de Paris et sous la haute direction de MM. Bechmann
« et Launay, Ingénieurs en Chef de l'Assainissement de la Seine. Ils marquent une ère
« nouvelle dans la construction des Égoûts et en général dans la construction des
« Galeries souterraines, et il y a lieu de penser que la méthode employée par M. Cha-
« gnaud trouvera de nombreuses applications, par exemple dans la construction des
« tunnels pour chemins de fer Métropolitains. »

Compte rendu des Fêtes du Cinquantenaire de la Société des Ingénieurs Civils.

Conférence de M. BRIÈRE. — Appréciation du Bouclier.

« Il y a d'autres collaborateurs que M. Brière est d'autant plus heureux de citer ici
« qu'ils font partie de la Société des Ingénieurs Civils de France ; M. Chagnaud, Entre-
« preneur de Travaux Publics chargé d'exécuter les travaux qui doivent se faire par l'em-
« ploi du bouclier.

« La Compagnie d'Orléans, lorsqu'elle s'est décidée à faire cette opération, a pensé que
« le meilleur procédé était de faire appel non seulement aux capitaux mais encore à la
« bonne volonté et l'intelligence des hommes qui ont l'habitude de ces sortes d'affaires.

« Lors de l'adjudication on a indiqué les données générales ou problèmes et on a
« demandé aux Entrepreneurs de faire un programme d'exécution et de proposer des prix ;
« on était décidé du reste à ne pas se laisser guider uniquement par les questions d'éco-
« nomie, par une heureuse fortune celui qui a présenté les meilleurs projets a fait les
« offres de prix les plus faibles, c'est M. Chagnaud qui a étudié les boucliers d'une
« façon telle, qu'ils donneront, on peut l'espérer, toute satisfaction dans l'exécution.

L'Entreprise — 4 Juin 1899

L'Entreprise, parlant du Métropolitain, rappelle les boucliers
métalliques employés en Angleterre par Brunel et Greathead et plus
récemment l'application des mêmes procédés par M. Berlier pour la
construction de 2 galeries de 2^m et 2^m 50 de diamètre sous la Seine à
Asnières et au pont de la Concorde, dit :

« Le bouclier employé à la construction du Métropolitain est d'une bien plus grande
« dimension et doit surmonter bien d'autres résistances. — Ce bouclier là ne doit rien
« aux Anglais. Son inventeur est M. Chagnaud, entrepreneur, qui l'a appliqué pour la
« première fois à la construction du grand égoût de Clichy (extra muros) et qui l'a depuis
« mis en œuvre encore dans les travaux du prolongement du Chemin de fer d'Orléans
« dont nous aurons prochainement à entretenir nos lecteurs.

« D'autres constructeurs français, s'inspirant des données et de l'expérience de
« M. Chagnaud, ont établi des appareils analogues. Grâce à leur émulation, le monde
« des travaux dispose actuellement d'une grande variété d'appareils qui permettent de

« résoudre avec facilité le problème de la construction des tunnels sous nos grandes voies
« publiques sans qu'il en résulte aucune gêne pour la population.

« On peut désormais traverser souterrainement, de part en part, une ville comme
« Paris, sans amener de perturbation dans la circulation, de trouble dans le commerce,
« d'interruption dans les moyens de communication. »

M. RENÉ PHILIPPE. — Ouvrage sur le Bouclier et ses méthodes
nouvelles de percement des souterrains. 1900.

Page 3

« Nous avons rapidement résumé les travaux des collecteurs de Clichy ; quoiqu'on
« les ait déjà plusieurs fois décrits cela nous a paru nécessaire, d'abord parce que tous les
« boucliers actuels dérivèrent de celui de M. Chagnaud.

Page 283

« En France ce n'est qu'après la tentative de M. Chagnaud en 1895 qu'on songea à
« utiliser le bouclier pour la construction des souterrains de chemins de fer ; mais très
« judicieusement on n'abandonna point la section classique ; on se borna à limiter le rôle
« de l'armature à l'exécution de la calotte et à faire un usage exclusif du revêtement
« maçonné.

Page 339

« La tentative du Collecteur de Clichy (extra muros) fut une révélation ; on s'aperçut
« pour la première fois qu'à condition de le modifier judicieusement, on pouvait faire du
« bouclier un instrument merveilleux, utilisable à autre chose qu'au franchissement des
« rivières et à la pose d'anneaux de fonte ou de fer.

De nombreuses publications ont été faites dans tous les journaux
techniques sur les travaux de M. Chagnaud.

Nous pourrions citer :

Les Annales de la Construction (mai 1896), sur le Bouclier de Clichy.

La Nature (20 Juin 1896), sur le Bouclier de Clichy.

La Conférence de M. Amiot à la Société des Ingénieurs Civils de France (Bulletin de
Décembre 1897) sur les boucliers.

Le Génie Civil (19 Mars 1898) sur les boucliers.

Le Génie Civil (11 Février 1899) sur les boucliers de l'Orléans.

LES JOURNAUX :

Les Annales du Syndicat des Entrepreneurs.

Le Bulletin des Travaux Publics.

L'Entreprise.

Etc. etc.

9, 25