

LE CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN DE PARIS

Le raccordement des caissons immergés en Seine pour le passage de la ligne n° 4 sous le fleuve

Au cours de nos précédents articles, nous avons indiqué à quels moyens on avait dû avoir recours pour permettre le passage de la ligne métropolitaine n° 4, dite de la Porte de Clignancourt à la Porte

n° 1779) et derrière un bouclier spécial disposé pour l'emploi de l'air comprimé, pour le passage sous la caserne de la Cité d'une part et sous la rue Danton d'autre part; évidemment du terrain et mon-

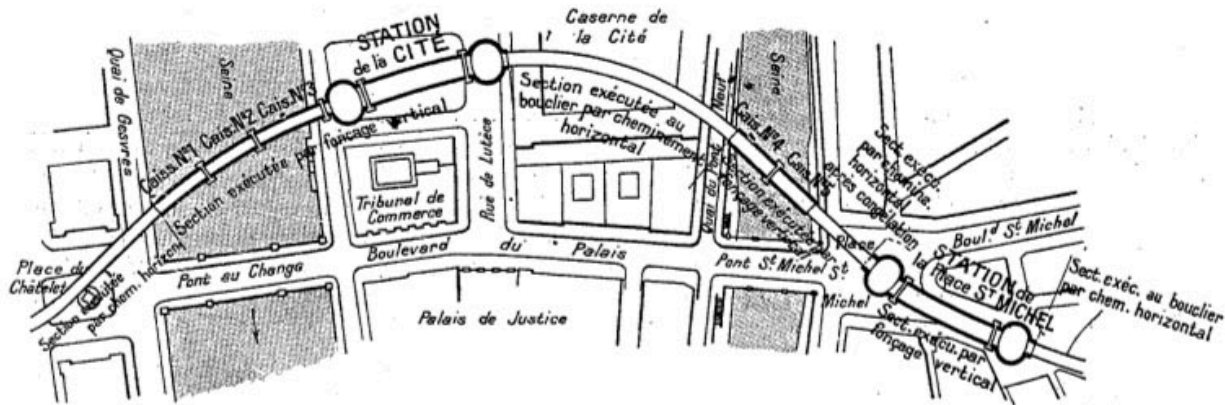


Fig. 1. — Plan de la traversée de la Seine. — Les divers moyens de construction employés.

d'Orléans, sous les deux bras de la Seine et l'Île de la Cité, dans la partie comprise entre la place du Châtelet sur la rive droite et le boulevard Saint-Germain sur la rive gauche. Dans cet espace représenté par une longueur de tracé de 1092,70 m. les difficultés se sont amoncées comme à plaisir et ont

nécessité, pour les vaincre, l'emploi de procédés de constructions aussi intéressants que variés, très onéreux aussi, puisque la dépense prévue pour l'infrastructure seule s'élève à 15.614.000 fr. Le tunnel, dans cette fraction, est essentiellement caractérisé par la substitution du revêtement métallique au revêtement de maçonnerie employé pour les types courants, mais sa section rappelle tout à fait, par ses formes et sauf une légère augmentation des

dimensions dans œuvre, celle de l'ouvrage maçonné à double voie. Quant aux moyens employés pour sa construction, ils ont absolument varié puisqu'on a vu le procédé par cheminement horizontal alterner avec celui par caissons à fonçage vertical; ils peuvent d'ailleurs se résumer et se classer de la façon suivante (voir le plan, fig. 1) : montage des anneaux de fonte du revêtement à l'air libre, à l'abri d'une voûte maçonnée préalablement construite suivant les procédés ordinaires d'avancement en souterrain pour la traversée de la place du Châtelet; montage du cuvelage au moyen de l'Erector Pifre (voy.

tage du cuvelage après congélation préalable du sol, suivant le système Poetsch, pour passer sous le tunnel du chemin de fer d'Orléans qui traverse la place Saint-Michel en suivant les quais et dont les voies devront rester en exploitation pendant les travaux; enfin incorporation du tunnel proprement dit

dans des caissons d'acier foncés verticalement à l'aide de l'air comprimé pour la traversée des deux bras de la Seine. Dans cette fraction, la ligne n° 4 comporte aussi deux stations, la Cité et place Saint-Michel, d'un type spécial; à revêtement d'acier, emprisonnées également dans des caissons foncés verticalement avec le secours de l'air comprimé, et flanquées chacune, à leurs deux extrémités d'un puits elliptique qui sert à la fois de raccord

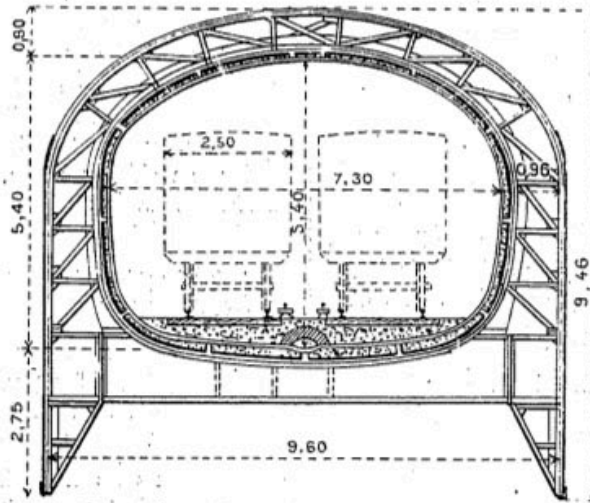


Fig. 2. — Coupe en travers d'un caisson immergé sous la Seine.

entre la station et le tunnel, et d'accès aux quais d'embarquement (voy. nos 1751 et 1818). La description de la plupart de ces travaux a déjà été donnée par *La Nature*; ce qui reste à en dire sera traité en temps voulu dans des articles subséquents, et nous pensons devoir consacrer celui-ci à une question très intéressante, parce qu'elle a donné lieu à un procédé nouveau, fort ingénieux, créé pour la circonstance : le raccordement des caissons foncés sous le grand et le petit bras de la Seine.

On sait que, pour éviter d'intercepter la circulation fluviale, trois caissons ont été alternativement

foncés sous le grand bras et deux sous le petit bras du fleuve. L'un et l'autre de ces bras sont traversés en biais, le premier, suivant une courbe de 350 m. de rayon, l'autre en alignement droit. Dans le grand bras, le premier caisson foncé a été celui, long de 56 m., voisin du quai de Gesvres, dont il est distant d'environ 5 m.; puis on a continué par celui de la rive opposée qui a 45 m. de longueur et qui, lui,

ment dit dont les dimensions dans œuvre sont de 7,30 m. d'ouverture pour une hauteur de 5,40 m. (voir fig. 2). Pour obtenir d'abord qu'ils touchent le fond de la Seine par leur base, puis qu'ils descendent par leur propre poids au fur et à mesure de la place que leur font les ouvriers placés dans la chambre de travail et protégés contre l'envahissement des eaux par l'atmosphère d'air comprimé dans

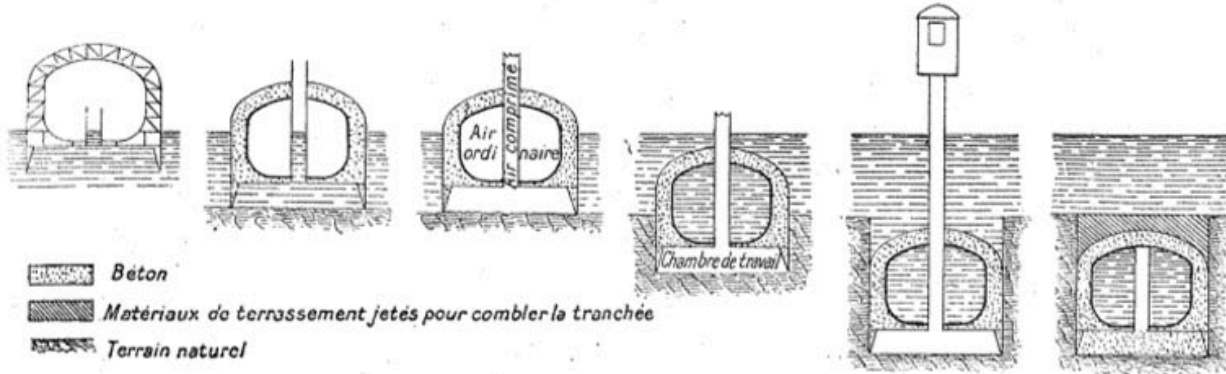


Fig. 5. — Coupes schématiques montrant les diverses phases d'enfoncements des caissons sous la Seine.

pénètre au contraire d'environ 7 m. sous le quai de la Cité; le médian de 38 m. de long a été foncé en troisième lieu. Dans le même temps, le caisson rive gauche du petit bras a été foncé, et c'est par son

laquelle ils se trouvent, on leste ces caissons en premier lieu avec les lourds voussoirs de fonte qui constituent l'enveloppe du souterrain proprement dit, puis, en chargeant de béton l'espace compris

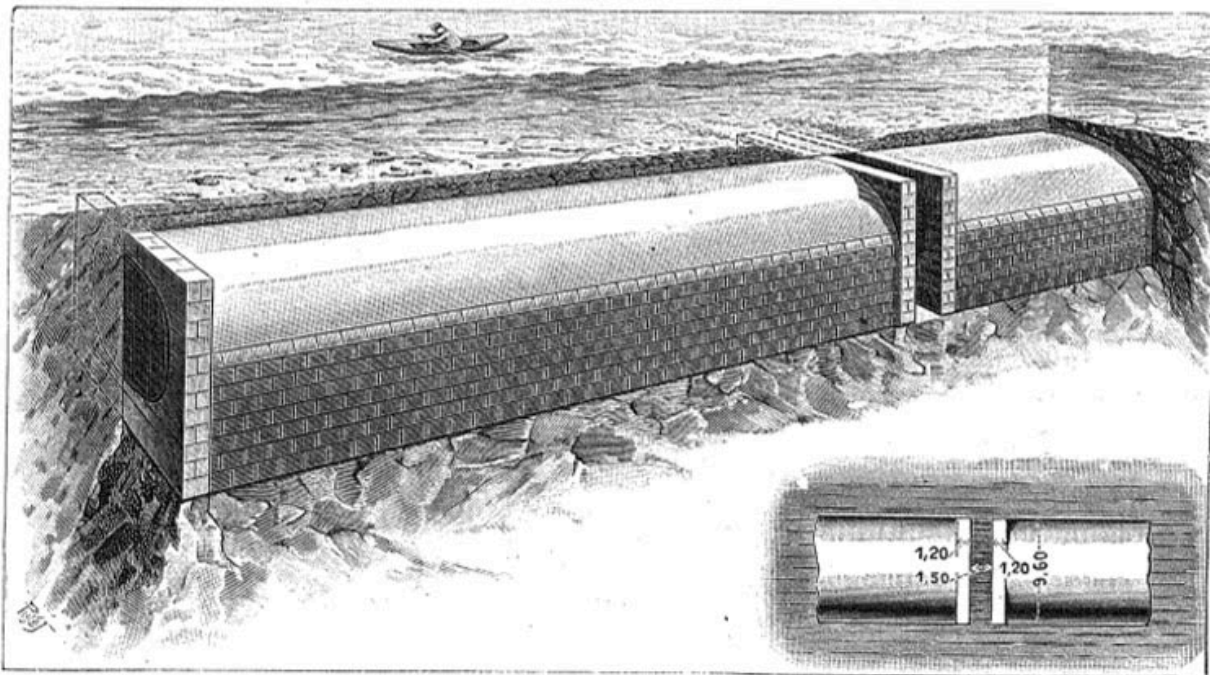


Fig. 4. — Vue de deux caissons consécutifs immergés sous le grand bras de la Seine avant l'opération du « joint ».

voisin, qui comme lui mesure 19,80 m. de longueur, qu'on a terminé. Montés sur berge et constitués par une enveloppe en tôles d'acier jointives, rendues étanches et soutenues par des fermes semi-circulaires espacées de 1,20 m., mis à l'eau, puis amenés par flottaison sur le lieu du fonçage où ils sont amarrés, ces caissons, de forme semi-cylindrique et qui mesurent 9,60 m. de largeur et 9,05 m. de haut, abritent à leur base une chambre de travail de 1,80 m. de hauteur surmontée du tunnel propre-

entre cette enveloppe et celle du caisson qui est de 0,90 m. à la clef et de 0,96 m. aux naissances de la voûte; enfin, on admet progressivement et pour obtenir l'augmentation de poids qui doit croître avec la descente, de l'eau dans la cavité intérieure, celle dans laquelle circuleront les trains plus tard, eau qu'il sera toujours facile d'éliminer après le fonçage et, lorsque la chambre de travail aura été comblée par du béton, par un moyen d'épuisement quelconque (voir fig. 3).

On a réalisé ainsi pour chacun des caissons du grand bras un poids total d'environ 4500 tonnes (3000 t. de métal, 2000 t. de béton et 2000 t. d'eau de lestage). Dans leur position définitive, ces caissons reposent à près de 15 m. au-dessous du niveau de l'eau, soit à environ 24 m. au-dessous du niveau du sol, ce qui place les rails à plus de 20 m. en contre-bas de la chaussée. On a pu remarquer que, dans ces ouvrages, la largeur du tunnel proprement dit avait été un peu augmentée par rapport au

de ses extrémités par une cloison métallique très solidement charpentée et démontable seulement dans la section correspondant exactement au tunnel proprement dit. Ces cloisons, au lieu d'épouser la forme arrondie du caisson, se redressent verticalement jusqu'au niveau supérieur de l'ouvrage, de façon à soutenir une murette de béton qui se présente en plan sous la forme d'une banquette de 1,20 m. de largeur, et d'une longueur égale à la largeur du caisson, soit 9,60 m. En raison du mode de descente

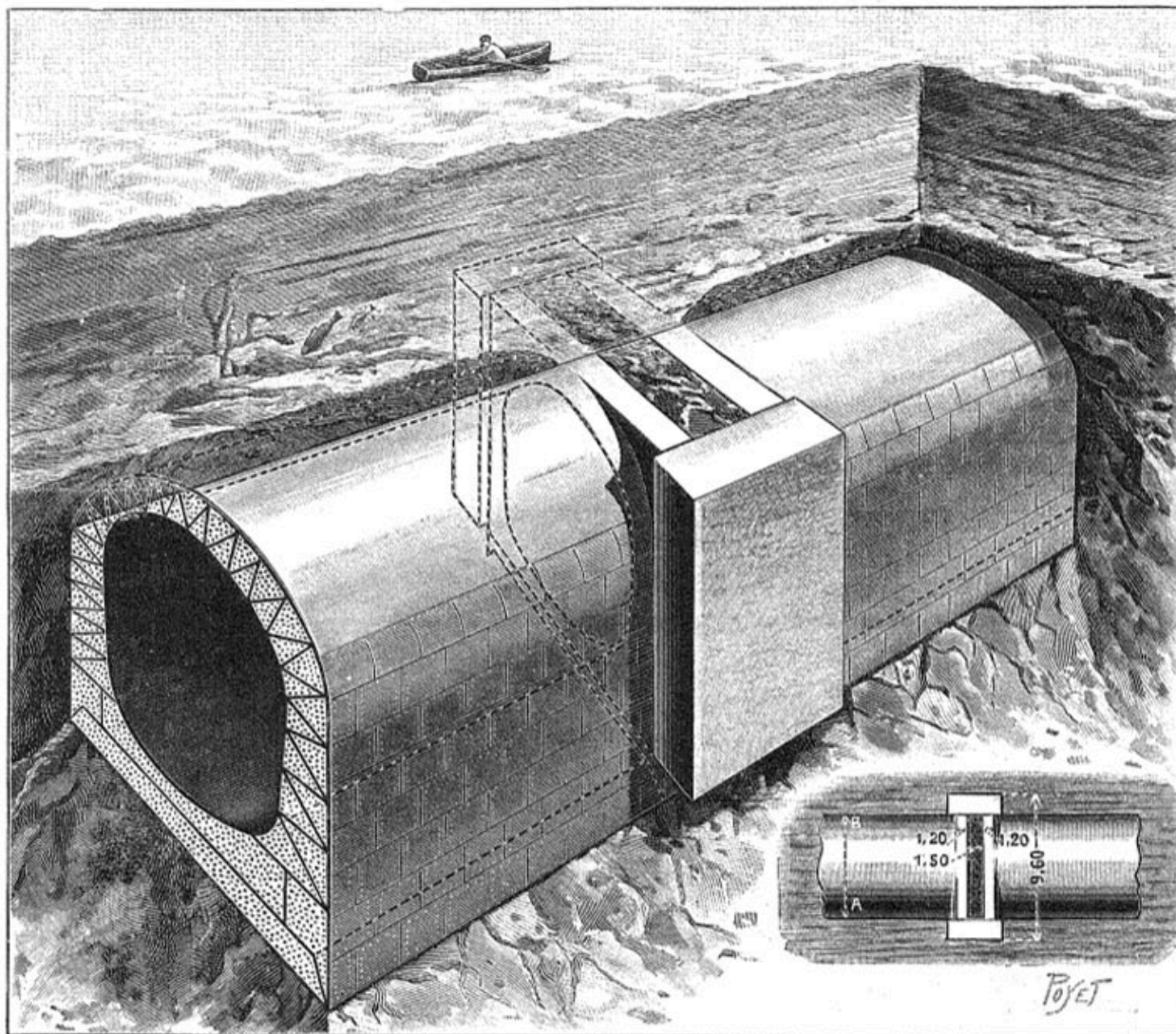


Fig. 5. — La première phase du « joint » : construction des murs latéraux extérieurs qui supporteront le caisson batardeau.

tunnel maçonné (7,50 m. au lieu de 7,10 m.) ; ceci en raison de la quasi impossibilité dans laquelle on se trouvait d'obtenir un fonçage suivant mathématiquement l'axe théorique du tracé, et de l'obligation de faire la part des aléas en se réservant une marge suffisante qui est ici de 0,20 m. ; l'erreur maximum relevée après fonçage entre deux caissons consécutifs n'a pas dépassé 0,16 m., inférieure par conséquent à la limite qu'on s'était imposée.

La qualité indispensable des caissons immergés sous la Seine est d'être, on l'a vu, parfaitement étanches. Chacun d'eux, qui porte en soi une portion de tunnel, est donc soigneusement obturé à chacune

des caissons qui s'opère toujours par une suite d'oscillations d'avant en arrière et réciproquement, on ne pouvait songer pouvoir foncer deux caissons successifs, immédiatement bout à bout sous peine de provoquer une rencontre au cours du fonçage ; un espace de 1,50 m. a donc été laissé entre eux. C'est cette solution de continuité qu'il convient de combler pour assurer le libre passage des voies, et qui constitue par conséquent un « joint » à raccorder, qui a été pratiquée suivant le curieux procédé que nous allons décrire.

Engloutis sous les eaux pour pénétrer dans les terrains sous-fluviaux où ils disparaissent complè-

tement pour y demeurer, deux caissons consécutifs mettent donc en présence à leurs extrémités, deux cloisons identiques séparées par un intervalle de 1,50 m. et qui se font face (voir fig. 4); on a donc ainsi deux banquettes en regard l'une de l'autre qui affleurent, à 0,60 m. près, au niveau du lit du fleuve et qui vont constituer les deux premiers côtés parallèles d'une assise qui, complétée par ses deux autres côtés, pourra entourer complè-

d'extrémités, soit 7,25 m. (voy. fig. 5). Comme il ne faut pas oublier que tout ceci se passe sous le lit du fleuve, l'exécution de ces massifs n'a pas été sans donner lieu à des sujétions particulières. On a eu recours, pour les édifier, à des caissons métalliques dits *amovibles*, parce qu'au lieu d'être abandonnés à fond de fouille comme il arrive le plus généralement aux engins de cette nature, ils ont été d'abord descendus pour pratiquer les déblais, puis

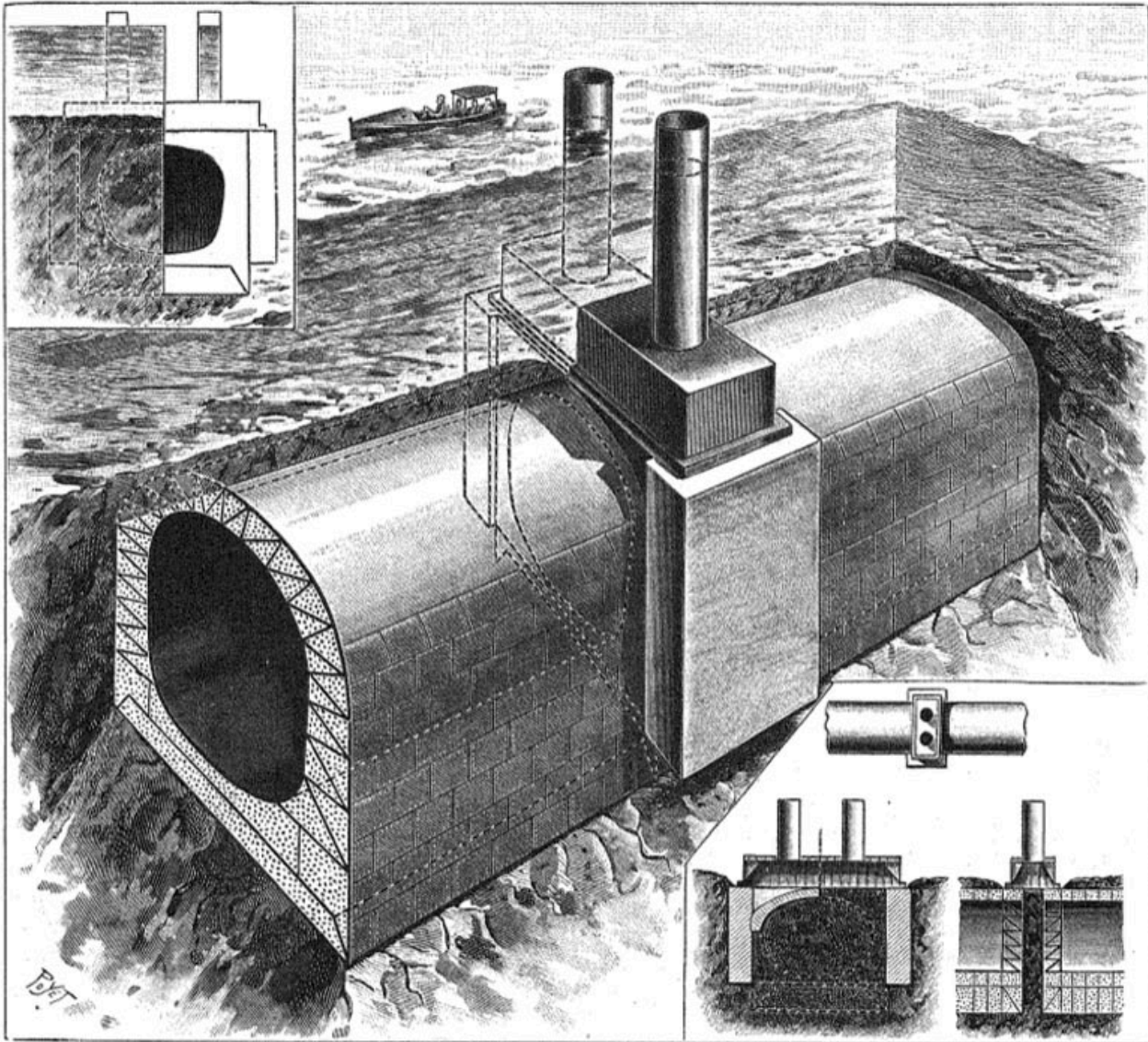


Fig. 6. — Deuxième phase du joint : le raccord effectué à l'abri du caisson batardeau.

tement et isoler le noyau central à excaver, et recevoir un engin à l'abri duquel le déblaiement et le raccord entre les deux caissons pourront être exécutés.

Il s'agit donc maintenant de construire à l'amont et à l'aval du joint à opérer et tout contre les deux caissons considérés qu'ils réuniront ainsi extérieurement, les deux assises complémentaires dont il vient d'être question; en l'espèce deux murs latéraux en béton de 1,75 m. de largeur, 4 m. de longueur et d'une hauteur égale à celle existant entre le niveau du plafond de la chambre de travail des grands caissons et celui des banquettes supérieures

remontés pour permettre d'exécuter la maçonnerie à leur abri; ils ont donc pu ainsi servir plusieurs fois. Dans ces conditions, il fallait pour les rendre maniables, savoir concilier une légèreté relative à une solidité à toute épreuve, car ils étaient appelés à subir des efforts considérables surtout pendant leur période de relèvement. Ayant à traverser une couche d'eau de 5 m. d'épaisseur, puis à pénétrer dans le terrain aquifère sur une profondeur de 7,85 m., soit à effectuer une course totale de 12,85 m. environ, on a dû faire de plus, usage de l'air comprimé et chacun de ces caissons-amovibles, constitués de la façon suivante, a reçu en conséquence une seule

cheminée et un seul sas à air servant aussi bien à l'écluse des hommes qu'à celle des matériaux : la chambre de travail inférieure, de dimensions sensiblement égales à celles de l'ouvrage élevé à son abri et dont les parois métalliques sont rigoureusement étanches à l'air et à l'eau, a une hauteur de 1,90 m. et est recouverte d'un plafond très résistant constitué par des poutres d'acier de 1 m. de hauteur reliées par un platelage de tôle qui, en raison des sous-pressions auxquelles le caisson a à résister, est placé sous celles-ci. Sur sa périphérie, en prolongement des parois

de la chambre de travail, ce caisson est pourvu de hausses démontables qui, se superposant les unes aux autres, au fur et à mesure de la descente, pourront toujours émerger de l'eau et laisser entre elles et la cheminée centrale un espace solidement étri-sillonné pour résister aux efforts d'écrasements et dans lequel on peut introduire progressivement le lest liquide (eau) ou solide (sable) nécessaire au fonçage. Le fond de fouille atteint, le déblais effectué, on procède au relèvement progressif qui s'opère au moyen de quatre vérins hydrauliques de 100 tonnes chacun alimentés par une pompe actionnée électriquement et qui fournit l'eau sous une pression de 200 kg par centimètre carré ; cet effort de soulèvement, très variable suivant l'adhérence plus ou moins grande du terrain contre les parois, n'a jamais dépassé 300 tonnes. On remplit alors de béton la fouille obtenue par la remontée progressive de l'engin, on enlève le lest et les hausses démontables et... on n'a plus qu'à recommencer ailleurs pour préparer un autre raccord (voir fig. 5).

Cette opération terminée a donc permis d'isoler sur un des côtés la partie de terrain restée entre deux grands caissons successifs et d'offrir à 0,60 m. environ en contre-bas du lit du fleuve une assise sur

laquelle, après dragage, va prendre appui un *caisson batardeau* métallique qui recouvrira entièrement l'enceinte ainsi formée et à l'abri duquel pourront s'effectuer l'excavation et le raccordement proprement dit. C'est dans l'usage de ce nouvel engin qu'il faut voir un procédé d'exécution tout à fait curieux et nouveau, jamais employé jusqu'alors et qui fait tout à fait honneur à l'esprit inventif de son auteur M. Chagnaud, l'entrepreneur des travaux.

Ce caisson batardeau est une sorte de grande

boîte en acier dépourvue de fond qui a 11 m. de longueur sur 5 m. de largeur et une hauteur totale de 2,10 m. sur lesquels 1,80 m. sont réservés à la chambre de travail et 0,30 m. au plafond constitué par des poutres d'acier reliées par un platelage de tôle qui, en raison de la pression supportée par l'ouvrage, contraire comme on va le voir à celle qui agissait sur les caissons amovibles, a été placé au-dessus d'elles ; de ce plafond partent deux cheminées verticales de 4,50 m. de hauteur qui seules émergent de l'eau. Suspendu entre deux bateaux, le caisson batardeau

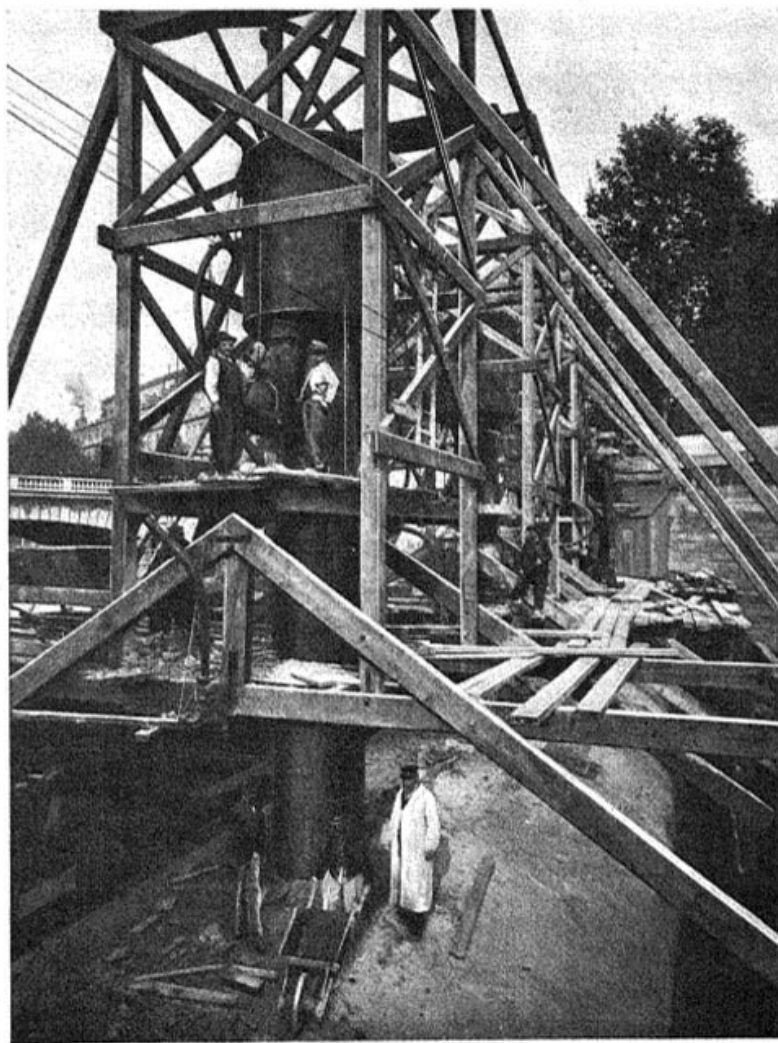


Fig. 7. — Le raccord de deux caissons sur le grand bras de la Seine.

alors plein d'eau est amené au-dessus du joint et échoué de façon qu'il repose par 5 m. de fond environ sur les quatre murs de l'enceinte inférieure destinés, comme on l'a vu, à le recevoir.

Il y repose par l'intermédiaire d'un boudin de 0,30 m. de diamètre en mousse naturelle enveloppée dans une toile à bâche étanche sur lequel il s'appuie au moyen d'un large fer en U renversé dont sa base a été munie. A peine comprimé par les 50 tonnes que pèse ce caisson-batardeau, le joint ainsi formé est suffisamment étanche cependant pour commencer la vidange des cheminées et de la chambre de travail. En 10 minutes, avec une pompe centrifuge actionnée par un moteur électrique de

10 HP, le contenu des deux cheminées a été enlevé et on se rend facilement compte qu'avec l'épuisement de l'eau augmente la stabilité du caisson-batardeau qui se trouve en fin de compte maintenu dans sa position par une pression colossale égale au volume d'eau qu'il supporte, en plus de son propre poids, pression transmise au joint dont l'étanchéité augmente donc aussi dans les mêmes proportions (voy. fig. 6).

Ayant vidé complètement la chambre de travail de l'eau qu'elle contenait, on a pu y pénétrer à l'air libre par les cheminées d'accès dépourvues de sacs à air par conséquent, et effectuer facilement le

cette voûte et voici le joint virtuellement exécuté; l'enceinte se trouve, en effet, hermétiquement close; sauf par la partie inférieure d'où il n'y a pas à craindre d'infiltration, le sous-sol sur lequel elle prend appui étant imperméable et l'étanchéité recherchée pour exécuter le raccord est ainsi définitivement obtenue. Rien ne sera donc plus simple, lorsque les grands caissons seront vidés de l'eau qu'ils contiennent, et les cloisons d'extrémités démontées suivant la section du tunnel, d'enlever le bloc du terrain de 1,50 m. d'épaisseur, qui obstruera la libre circulation du souterrain et d'en exécuter librement la maçonnerie intérieure qui achè-

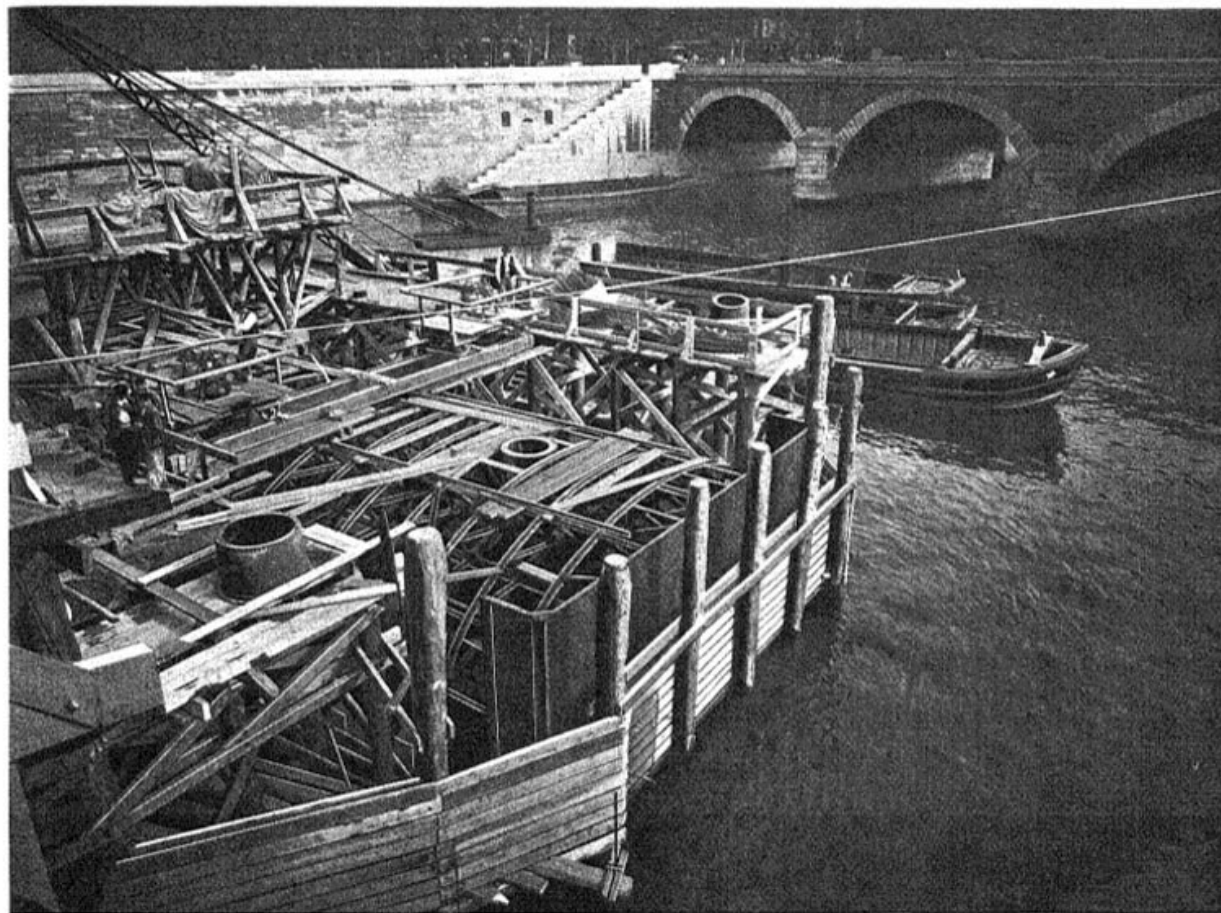


Fig. 8. — Aspect des travaux du Métropolitain, près du Châtelet, pendant le raccordement des caissons.

raccord à son abri, après quoi on a procédé à l'opération inverse qui a consisté à remplir le caisson d'eau pour pouvoir le dégager et le transporter ailleurs. Par prudence, et pour ne demander à cet asile qu'une hospitalité aussi courte que possible, on s'est contenté, sous la protection du caisson batardeau, de construire sur cintre en terre après, avoir enlevé la partie supérieure du terrain qui remplissait l'enceinte inférieure, une épaisse voûte de béton qui a pour culées les murs latéraux construits avec les caissons amovibles et qui est soigneusement jonctionnée avec le béton de bourrage des grands caissons dont les tôles qui en fermaient les extrémités ont été à cet effet arrachées dans cette partie. De la glaise et du remblai ont été jetés ensuite sur

vera d'en donner la continuité à ses parois. Cette dernière opération vient d'ailleurs d'être exécutée.

Deux joints ont été raccordés de la sorte sous le grand bras de la Seine, un seul sous le petit bras.

Des dispositions analogues seront prises pour le raccordement à effectuer entre les caissons des stations et les puits elliptiques d'accès de leurs extrémités, avec cette différence toutefois que l'absence du fleuve fera disparaître une grosse sujétion; un système analogue sera employé également pour la réunion du caisson rive gauche du grand bras de la Seine avec le puits elliptique d'extrémité nord de la station « Cité ». Le caisson rive droite de ce même bras a été raccordé d'une façon assez spéciale avec la section de tunnel située sous la place du Châtelet;

celle-ci, on l'a vu, a été exécutée suivant les procédés ordinaires de construction en souterrain et a été poursuivie aussi loin qu'on a pu du côté de la Seine grâce à des pompes d'épuisement, et à ce point extrême un mur de masque a été maçonné. Alors au moyen d'un bateau-cloche, qui a intrigué pendant quelque temps les Parisiens au Pont-au-Change, on a recouvert la courte section séparant le mur en question du caisson, d'une voûte biaise recouverte de glaise et de remblai qui prend appui, au fond du lit de la Seine, sur l'un et l'autre et les relie; à son abri, ce raccord sera exécuté. Sous le petit bras, le caisson rive gauche sera relié à la section de souterrain qui lui fait suite, par la congélation et c'est devant la cloison d'extrémité nord du caisson rive droite que prendra fin la course du

boucher ayant servi à construire la fraction de souterrain qui le précède; il trouvera là sa dernière demeure et à son abri se fera le raccord.

Depuis le 21 avril dernier, la fraction de la ligne n° 4 située sur la rive droite, et comprise entre la place du Châtelet et la Porte de Clignancourt, a été ouverte à l'exploitation; quant à la section s'étendant sur la rive gauche, de la place du Châtelet à la Porte d'Orléans, tant à cause des difficultés résultant de la traversée de la Seine, que des retards apportés par la fixation tardive du tracé aux abords de la gare Montparnasse et que des grèves d'ouvriers qui se sont produites au cours de ces travaux, il n'y a pas lieu de prévoir qu'elle pourra être mise à la disposition du public avant le printemps de l'année prochaine.

E. DE LOYSELLES.

