

# Fondations tubulaires à l'air libre

Autor(en): **Gaudard, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes**

Band (Jahr): **2 (1876)**

Heft 1

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-3958>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

de la Suisse que dans l'intérêt même des actionnaires : c'est que toutes les subventions accordées au Simplon le soient contre remise pure et simple d'actions de seconde classe. Ces actions ne partageraient avec celles de première classe que pour les sommes excédant un dividende de quinze pour cent réservé à celles-ci à titre de priorité. L'action de première classe jouirait aussi d'une certaine priorité dans les votes de l'assemblée générale des actionnaires.

En adoptant les chiffres indiqués plus haut, on arrive pour la section de Saint-Maurice à Domo à une dépense totale de 88 millions de francs avec un rendement net de début de 6 millions de francs. Le quinze pour cent de priorité sur 38 millions en actions de première classe absorberait 5 700 000 fr. ; il resterait donc, dès la première année, quelque chose à répartir à l'ensemble des actions des deux classes.

La perspective d'un dividende de 15 pour cent n'est pas de trop dans l'état actuel de nos compagnies de chemins de fer, et pour des titres qui auront dû verser certaines sommes sans intérêt pendant la construction.

### FONDATAIONS TUBULAIRES A L'AIR LIBRE

par M. J. GAUDARD, ingénieur <sup>1</sup>.

On parle beaucoup des fondations pneumatiques, et, certes, nous n'irons pas en contester le mérite. Depuis le procédé d'enfoncement par le vide du docteur Potts jusqu'au creusement sous l'air comprimé, inauguré par M. Triger aux houillères de Chalonnnes et par M. Hughes au pont de Rochester; depuis l'emploi des hautes colonnes de fonte jusqu'au système des caissons perforateurs de Kehl, avec maçonnerie superposée et puits spécial de draguage à l'air libre; de là, enfin, au tuyau suceur de sable de M. Eads et au gigantesque caisson en bois de Brooklyn, que de nombreux et féconds perfectionnements! Mais enfin, dans les fondations tubulaires, l'emploi si coûteux de l'air comprimé est-il toujours indispensable? Il ne le serait, semble-t-il, qu'assez rarement aux yeux des Anglais qui, soit dans leur vaste empire des Indes, soit dans leur propre pays, n'emploient guère que les systèmes de fonçage à l'air libre.

Le sol est-il étanche, comme c'est le cas de l'argile de la Tamise, le tube alors n'est autre chose qu'un batardeau, dans lequel on épuise et l'on bâtit à sec. Tout au plus une phase de draguage préparatoire est-elle nécessaire pour enlever le limon ou la couche sableuse superficielle, et encasterner le tube dans l'argile jusqu'à jointure suffisamment hermétique. Rien de mieux qu'un tel procédé, lorsque le terrain s'y prête; on a raison sans peine des obstacles accidentels, on visite et dérase avec soin l'assiette de fondation; enfin, la maçonnerie de remplissage n'a pas besoin d'être du béton; elle se fera, si l'on y tient, en assises réglées.

Le pionnier dans cette voie a été M. Redman. C'est lui qui, à Gravesend, en 1842-1845, a imaginé ces piliers de ponts en colonnes de fonte si fréquemment imités dès lors. Malgré la présence d'une couche de sable sous le limon du fleuve, il put épuiser et travailler à sec à l'intérieur du cuvelage métallique.

A Londres surtout, le terrain est favorable. Les grands ponts-

<sup>1</sup> La plupart des informations de cette note sont tirées de divers mémoires de l'*Institution of civil Engineers*.

rails métalliques de Charing Cross et de Cannon Street ont été fondés par tubes-batardeaux constituant les piles elles-mêmes, ou plutôt leur enveloppe. A Charing Cross, on eut recours au scaphandre dans la période préparatoire, puis l'approfondissement fut poussé à sec jusqu'à 19<sup>m</sup> sous les hautes eaux, pour les piles centrales. Des chargements moyens de 150 tonnes devaient être appliqués pour forcer la descente. Le pilier terminé, avec son remplissage de béton, briques et granit, était encore soumis à des surcharges de 400, et occasionnellement de 700 tonnes, en vue de provoquer le tassement complet, lequel s'éleva au taux moyen de 0<sup>m</sup>07. Ce n'est qu'avec toutes précautions qu'on pouvait appliquer de pareilles masses en rails empilés. Remplissage compris, le prix du mètre courant de pilier, de 4<sup>m</sup>27 de diamètre à la base et 3<sup>m</sup> à la partie supérieure, fut de 1800 fr. Des cylindres plus petits (diamètre 3<sup>m</sup>00 et 1<sup>m</sup>80), sous la travée-éventail de la cabine aux signaux, revinrent à un millier de francs le mètre.

A Cannon Street, le diamètre inférieur s'élevait à 5<sup>m</sup>50 et les tambours étaient fondus en neuf segments; épaisseur, 38<sup>mm</sup> au-dessous du sol, 50 au-dessus. Ici, pour l'enracinement préalable, on employa des dragues à poche.

Enfin, les piles en pierre de Victoria et de Blackfriars ont encore été fondées par des procédés semblables: les premières, à l'aide de grands cylindres de base en fonte et en fer; les dernières, au moyen de caissons rectangulaires en tôle.

Les tubes-batardeaux seront-ils donc toujours en métal? Il n'y a pas de raison pour que la maçonnerie ne soit admissible, à moins que l'excès de profondeur d'eau ne rende trop difficile la manœuvre d'échouage. C'est en brique, avec cercle et tirants de fer, que Brunel exécuta les grands puits d'accès du tunnel sous la Tamise.

On remarquera à ce propos que le mode de percement du second tunnel, celui de Pierre Barlow, présente d'assez étroites analogies avec le fonçage des tubes-batardeaux. La différence, c'est qu'on marche horizontalement; qu'aux surchargements de descente se substitue la poussée des vérins; que, dans de telles conditions, le blindage doit bien être métallique, puisque l'alourdir ne serait plus un moyen de faciliter l'avancement, mais au contraire de l'entraver; qu'enfin, une annexe ou difficulté nouvelle s'introduit: le bouclier de front.

Voilà pour le sol étanche. En cas de terrain perméable, mais susceptible d'être dragué, il y a le fonçage à l'air libre et sous l'eau: système à la fois des plus nouveaux, grâce à des appareils récents et ingénieux; et des plus anciens, puisqu'il n'est autre, en principe, que celui des puits indiens connus depuis des siècles.

Quoi de plus simple et de mieux avisé? Au lieu de s'évertuer à blinder une fouille profonde dans la vase, à grand renfort de boisages coûteux, encombrants, sujets à s'effondrer sous les poussées, prendre pour armature blindante; d'une résistance à toute épreuve et qui laisse tout le trou libre, le cuvelage même qui fera pilier de support, une fois parvenu à profondeur: telle est l'idée. Le vide d'ailleurs se remplit ensuite, selon les cas, en béton, pierrailles, ou même simplement avec le sable de la rivière, après avoir coulé un bouchon de fond en béton, ainsi qu'on l'a fait dans les travaux récents de la Clyde. Pour soutenir enfin sur des files de tubes isolés une superstructure continue, on a recours à des voûtes de décharge, à des radiers de pierres sèches, ou à des linteaux de pierre ou de fer.

Le puits indien, de forme rectangulaire ou ronde, s'exécute en briques ou moellons sur un cadre en bois posé à fleur de terre ou dans une petite fouille préalable. Le couvage est garrotté de cordes de paille en spires jointives et liens verticaux ; enfin, le fonçage ou draguage se pratique à l'aide de la *jham*, sorte d'écope ou pelle courbe manœuvrée du dehors au moyen d'une corde, et avec laquelle descend un plongeur pour produire l'enfoncement et le retournement. Pour éviter des déviations dans la descente spontanée, le premier tronçon de puits doit être dirigé avec précaution et ne pas dépasser 1<sup>m</sup>50 à 2<sup>m</sup> de hauteur, tandis que les rallonges peuvent atteindre trois, quatre ou cinq mètres. A Solani, une pile de blocs rectangulaires, trop étroits, s'étaient si cavalièrement comportés qu'ils ressemblaient, dit M. Lamaisse, à une troupe d'hommes ivres. On imagina, dans la suite, d'évaser la base, innovation qui eut un succès complet. Les rivières de l'Inde sont généralement torrentielles, mais tarissent dans la saison sèche.

En s'assimilant le système indien, les Anglais ont généralement employé la brique sur cadre circulaire en fer avec tirants d'armature. Le cadre a une section en forme de coin (exemple au pont sur la Jumna) ; à la Clyde, il est devenu un véritable anneau tranchant en fonte ; cependant, on a fini par admettre sa simplification, et même sa suppression complète dans le cas de terrain limoneux ou sableux, et pour des tubes de béton qu'il est facile de mouler avec un biseau-coin.

Dans une fondation de jetée au Havre, en 1861, on avait employé des cages rectangulaires en brique sur cadre de bois ; à Rivesaltes et à Perpignan, cercle de chêne revêtu d'une feuille de tôle.

Au pont de Glasgow, les tubes étaient entièrement en fonte, mais la réaction s'est bientôt prononcée contre un emploi aussi prodigieux, et il est digne de remarque que la protestation vienne maintenant surtout de l'Angleterre, ce pays classique du métal. C'est qu'il en valait la peine, puisque les travaux en exécution aux quais et docks de la Clyde comprendront quelque chose comme deux milliers de cylindres. Les cent premiers ont été faits en briques, avec 3<sup>m</sup>65 de diamètre extérieur et 0<sup>m</sup>70 d'épaisseur ; et, comme on voulait les rendre non-seulement jointifs, mais solidaires, afin d'arrêter les filtrations de sables, on imagina leur enchâssement mutuel par rainure et languette, chose qui réussit, mais non sans augmenter la gêne dans la descente. Ensuite, le béton au ciment a été préféré comme plus économique et au moins aussi bon ; et, pour former une double file de tubes contigus de 2<sup>m</sup>75 de diamètre, on renonça aux languettes, mais on moula des groupes solidaires de trois cylindres ayant leurs centres aux sommets d'un triangle équilatéral ; chaque trio descend donc d'un seul bloc et se serre contre les groupes contigus placés en position inverse. D'ailleurs, pour accélérer les travaux, le moulage ne s'exécute pas sur le tas même ; on confectionne à l'avance des anneaux qu'on laisse durcir au moins cinq jours, et qu'on ressoude sur place, à mesure que le fonçage avance, en coulant du ciment dans le joint et y insérant des briques debout formant boutisses d'assemblage.

En résumé, la maçonnerie ou le béton se montrent très propres à remplacer le métal dans les fondations tubulaires. Un autre substitut analogue est l'*apenite*, ou grès artificiel de Ransome, avec lequel on a moulé de fort beaux cylindres au quai de l'Hermitage sur la Tamise.

Mais c'est surtout du fonctionnement des appareils dragueurs que dépend, selon la nature des terrains, la possibilité plus ou moins extensive des applications du fonçage à l'air libre ; et là aussi s'est exercée l'ingéniosité des inventeurs. A la jham des indigènes, M. Bell se contenta d'abord d'annexer un manche enfoncéur à pilon, supprimant la pénible manœuvre du plongeur. Puis vint, à la Jumna, la pompe à sable de Kennard, dont le piston de plomb se manœuvre d'en haut par des tirades, et qui se retire par un treuil, une fois le récipient rempli. On a pu faire travailler cette pompe même dans de l'argile, en la munissant de couteaux en dessous et la faisant d'abord agir comme pilon pour découper le sol.

Mais à la Sutlej, l'argile était trop dure et entremêlée de conglomérats. On eut recours<sup>1</sup> à la drague de Bull, caisse semi-cylindrique et bivalve, semblable comme forme à celle qui s'emploie à immerger le béton, à cette différence près, qu'au lieu de descendre fermé pour s'ouvrir doucement en abandonnant sa charge, le *dredger* au contraire descend vide, ses mâchoires ouvertes ; aidé de quelques secousses, il mord la terre en rapprochant ses deux quadrants, et, enfin, se retire refermé et rempli. Dans le sable, en cinq ou six minutes, il descendait et remontait avec sa charge sur une hauteur de 25 mètres, marche plus rapide que celle de la pompe Kennard ; mais sur les couches dures, le progrès devint extrêmement lent ; il fallait désagréger le sol par le choc de grappins, et occasionnellement recourir à des plongeurs pour retailler le fond sous le cadre même.

Sur les terrains faciles de Glasgow, c'est l'excavateur Milroy, dont nous allons essayer de faire saisir le principe. Imaginons une sorte de corbeille en fer, comprenant une bordure octogonale, et sous ce cadre un fond en forme d'entonnoir, également à huit pans. L'appareil occupe à peu près toute la section du couvage, où on le descend dirigé par des guides. Que ce baquet soit susceptible de ramener une charge de terre, rien de mieux ; mais comment la saisit-il ? là est la question. Hé bien, les huit pans triangulaires ont la faculté de se détacher les uns des autres en tournant chacun par charnière autour du côté correspondant de l'anneau octogonal. C'est cette position pendant qu'ils affectent d'eux-mêmes dans la descente, et qui les fait pénétrer en terre comme autant de pelles pointues, aidés d'ailleurs par l'effort exercé par des treuils et transmis par des chaînes passant sur des poulies de renvoi attachées au bas du couvage. Dans la remonte, on saisit un jeu spécial de chaînes qui contraignent les pelles à se rejoindre pour retenir la charge.

Au pont de Glasgow, on descendait moyennement de 3<sup>m</sup>50 par jour ; comme maximum, on put réaliser jusqu'à 7<sup>m</sup>50 de fonçage. Au *Plantation quay*, où l'on avait la gêne de descente due à l'assemblage par languette, l'enfoncement par tube variait de 4 mètres dans les bons jours à 0<sup>m</sup>60 dans les mauvais ; une bonne moyenne était 1<sup>m</sup>20.

A Perpignan, M. Currière avait employé un appareil analogue.

Au viaduc du Loch Ken, dans un sol argileux, on draguait en tournant sur sa tige une sorte d'écumoire conique, à vis-amorce, la *screw-pan*.

Arrivons enfin à l'instrument appliqué par M. Leslie à la fondation la plus difficile qui ait été exécutée jusqu'à ce jour

<sup>1</sup> Il s'agit de la reconstruction de ce pont, après le désastre de 1872.

par le système indien, c'est-à-dire au pont du Gorai (delta du Gange). Il s'agissait d'un fonçage descendant jusqu'à 38 mètres sous le sol pour les piliers de rive, et à 30 mètres sous basses eaux pour ceux en rivière : conditions qui n'ont d'équivalent qu'au pont de Saint-Louis sur le Mississipi. Or, si l'on se rappelle qu'à Saint-Louis une inquiétante mortalité avait sévi parmi les ouvriers travaillant dans l'air comprimé, et qu'à la fin il fallut, non-seulement substituer un monte-charge à l'escalier tournant, mais réduire à une heure au plus les postes de travail, on comprendra qu'essayer pareil système avec des coolies pour travailleurs eût abouti à de véritables impossibilités.

Si le fonçage du Gorai s'est accompli avec célérité et économie, ce résultat est dû au *boring-head*, grand rabot ou charrue tournante, composée d'un disque horizontal sous lequel rayonnent quatre saillies triangulaires bordées de socs tranchants. Quant au montage du déblai broyé, il s'opère continûment et sans arrêter le travail de la tarière, au moyen du torrent d'eau ascensionnel qui parcourt la tige creuse de l'appareil, entraînant tout dans sa violence, jusqu'aux paniers, seaux écrasés, boulons, etc., tombés par mégarde dans le puits. C'est par une branche recourbée en siphon et déversant au fleuve que ce courant était entretenu ; et la pression motrice était due à l'excès d'eau que des pompes centrifuges déversaient constamment dans le cylindre.

L'outil labourait une fouille conique de 2<sup>m</sup>75 de diamètre sous un cylindre de 4<sup>m</sup>25, en sorte qu'une certaine zone de pourtour devait s'ébouler d'elle-même sous la pression des surcharges d'enfoncement. On avait à traverser des alluvions argileuses et sableuses, une couche d'argile foncée et très dure, enfin, un sable compacte où la fondation fut assise au taux élevé de pression de 9 kilos par centimètre carré. Accomplissant sa révolution en 1 1/2 ou 2 minutes, le *boring-head* forait environ 0<sup>m</sup>30 par heure. Le prix de revient a été de 7 fr. 40 par mètre cube, et aurait probablement pu s'abaisser à 4 fr., moyennant quelques améliorations. Sauf le cas de blocs épars, on doit admettre que lorsqu'un tel outil vient à rencontrer une résistance invincible, c'est la preuve qu'on a atteint un sol de fondation d'une solidité irréprochable.

Il se produisit cependant, vers l'un des piliers du Gorai, un affouillement assez profond pour inspirer quelques inquiétudes. Imitant alors un système de défense usité dans la région des Himalayas, c'est-à-dire le tablier flexible formé de blocs de béton entrecousus par des câbles de fer, M. Leslie immergea autour du tube menacé des chapelets de barriques de bière remplies de béton. Soit par ce genre de protection, soit bien plutôt par les fonçages à 30 mètres, le Gange même a été dompté ; les ingénieurs ont su faire ce que la superstition indigène prétendait impossible : museler le fleuve sacré.

Les ponts des rivières Beas et Sutlej avaient été emportés par l'inondation de 1872, bien qu'ils fussent fondés à une douzaine de mètres de profondeur.

Une question assez gênante en pratique, c'est l'application périodique de fortes surcharges d'enfoncement, nécessaires même avec des cylindres de béton, tels que ceux de la Clyde, auxquels M. Milroy superpose de gros tambours en fonte épaisse approvisionnés tout exprès pour ce but temporaire. Au pont de Glasgow, il avait doublé le cuvelage en fonte d'une épaisse chemise en segments de même métal. Au Gorai, on voulut enfoncer le tube au moyen d'une cuve en tôle remplie d'eau, mais

la rupture de ce réservoir, exécuté en mauvais fer, y fit renoncer. Signalons enfin le curieux expédient employé à Glasgow, dans la construction d'une traversée de chemin de fer en dessous d'une ligne déjà en exploitation. La nature perfide du sol avait obligé à recourir aux puits indiens ; mais, sous les poutres soutenant la voie en service, il n'y avait pas place pour empiler des charges. Qu'imagina-t-on alors ? Tout simplement de charger les locomotives de faire la besogne : on calait le cylindre sous la voie ; chaque train passant lui imprimait un léger tassement, après lequel on recoînçait.

Ce qui semble ressortir de cette note succincte, c'est que le fonçage à air libre lutte avec avantage avec le système pneumatique, et tend du moins à réduire les cas d'application légitime de ce dernier. Peut-être que, dans quelques ouvrages exécutés à l'air comprimé, on s'est trop légèrement lancé dans de grandes dépenses, sous l'entraînement de l'exemple. Sans se départir de la prudence, il faudrait savoir plus souvent oser innover à propos. Ce n'est pas par l'esprit routinier ou timoré que les progrès s'accomplissent ; en reculant devant quelques essais, les errements de la routine sont souvent bien plus coûteux.

Sont-ce les éventualités imprévues qui effrayent ? Il y en aura toujours, quoi qu'on fasse ; mais, après tout, on s'en tire. Les Américains, en hasardant à Brooklyn un caisson pneumatique en charpente, contenant 11 000 mètres cubes de bois, et somptueusement éclairé par les chandeliers et le gaz, avaient à craindre l'incendie souterrain ou sous-marin ; et la chose n'a pas manqué : le feu prit même à plusieurs reprises, mais enfin on l'a éteint, non sans peine, il est vrai. Au pont sur la Tet (Perpignan), en faisant descendre par draguage des puits de maçonnerie, on pouvait être arrêté par quelques blocs de pierre ; c'est ce qui arriva, mais qu'a-t-on fait ? Coiffant les puits d'une calotte en tôle et cimentant les parois, on a introduit l'air comprimé, et l'on a achevé ainsi le fonçage à 8 mètres.

Un autre cas d'emploi de l'air comprimé dans des enveloppes maçonnées s'est produit aux égouts de Grenoble, mais à une pression de 1/4 d'atmosphère seulement.

Lausanne, février 1876.

## LE TUNNEL SOUS LA MANCHE

Note communiquée par M. DE MOLIN, ingénieur.

Nous extrayons du *Résumé* publié par la Société des ingénieurs civils, à Paris, les renseignements suivants donnés par M. Lavalley dans la séance du 19 novembre 1875 sur le tunnel sous-marin de la Manche.

Lorsque nous citerons textuellement M. Lavalley, nous indiquerons par des guillemets. Mais, dans le but d'abrégé, nous résumerons quelquefois le texte original et emprunterons même certains renseignements à d'autres sources, telles que les *Annales des Ponts et Chaussées*. (Juin 1875.)

Divers indices portent à admettre que le détroit de la Manche est dû à l'érosion des mers, et non pas à une fracture. Ce fait, rassurant contre l'existence de grandes dislocations, paraît pleinement confirmé par le résultat des sondages faits par l'éminent ingénieur anglais, sir John Hawkshaw, qui ont fait voir que la couche crayeuse du fond de la mer se continue sans lacune d'une rive à l'autre. La couche supérieure toutefois