

693

DU 28 10 38

CXVII
52

GUIDE PRATIQUE

DES

DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE FONDATIONS

EN TERRAINS INCONSISTANTS

Plus d'Incendies désastreux!

CONSTRUCTIONS EN BÉTON ARMÉ

Inaltérables et à l'épreuve du Feu



SOCIÉTÉ ANONYME

LOUIS DE WAELE

Boulevard Léopold II, 46, BRUXELLES



ENTREPRISES GÉNÉRALES

CONCESSIONNAIRE DES BREVETS

DU

Systeme "HENNEBIQUE,"

TÉLÉPHONE 616

AVANTAGES

DES

Constructions en Béton armé

EMPLOI LE PLUS AVANTAGEUX DU TERRAIN

1° En hauteur

Le gîte d'une pièce de 20 à 25 mètres carrés environ se faisant en 8/23, son épaisseur donnera 23 pour les gîtes, 2 1/2 pour le plafonnage sur lattes, 3 pour le plancher, soit en tout 28 1/2 de hauteur, alors qu'un plancher en béton armé de même force, et même plus, peut s'obtenir en 10 centimètres et 1 1/2 de plafonnage, soit 11 1/2 ou 17 centimètres de hauteur gagnés dans chacun des étages entraînant une diminution du cube des murs, ou, si l'on conserve celui-ci, un cube d'air plus considérable dans l'intérieur des appartements.

2° En longueur et largeur

Lorsque le terrain est de dimensions restreintes, il est possible de construire les planchers sur une série de colonnes en béton qui seront noyées dans les murs de refend, de relier ces colonnes entre elles à la partie supérieure par des poutres également en béton, et sur celles-ci établir le plancher en béton armé. Les murs de refend ne sont plus alors que des remplissages qu'on fait en une demi-brique d'épaisseur, ce qui fait que les pièces ont presque la totalité de la surface disponible.

Rapidité de construction.

Les éléments constitutifs du béton armé se rencontrent partout, leurs faibles poids permettent de les amener rapidement à pied-d'œuvre, pas besoin d'attendre la fourniture d'un longeron en fer, d'une pièce spéciale en bois ou autre, les dimensions peuvent être modifiées sur place, ce qui permet même de faire un changement en cours d'exécution sans frais supplémentaires appréciables.

Souplesse des formes.

Les formes à donner au béton armé peuvent varier à l'infini, mieux que tous autres matériaux, il se prête à l'adaptation des résistances aux formes, il permet de réaliser tous les aspects intermédiaires entre la gracilité du métal et la puissance massive de la pierre de taille.

STÉ A^{ME} LOUIS DE WAELE

Concessionnaire du
système S. L. DULAC (Breveté S. G. D. G.) pour fondations par compression mécanique du sol.
Concessionnaire du système HENNEBIQUE pour les travaux en béton armé.

Siège social à Bruxelles
46, Boulevard Léopold II

TÉLÉPHONE N° 616

Adresse télégraphique
DEWAELEN BRUXELLES

EXPOSITION
UNIVERSELLE
1900



Médaille d'Or

*Exposition
de l'Habitation*

PARIS 1903

GRAND PRIX



EXPOSITION
UNIVERSELLE
1900



Grand-Prix

*Exposition
D'HANOÏ 1903
TONKIN*

GRAND PRIX

TRAVAUX PUBLICS & PARTICULIERS

Renseignements, Études, Plans et Devis gratuitement sur demande.

FONDATION EN MAUVAIS SOL
Système L. DULAC, Breveté S G D G

PROCÉDÉS RAPIDES & ÉCONOMIQUES

LOCATIONS DE SONNETTES A VAPEUR

Battage de pieux, Pilotis en bois et Béton armé

TRAVAUX EN BÉTON ARMÉ

Système HENNEBIQUE, Breveté S G D G

ASSAINISSEMENT ALIMENTATION DES VILLES

Tuyaux résistant à toutes pressions

SONDAGES ET FORAGES

ÉTUDES DE TERRAINS

MONSIEUR,

Nous avons l'honneur de vous informer qu'en vue de pouvoir, en n'importe quelle circonstance et sur n'importe quel terrain, produire un travail irréprochable, donnant toutes les garanties de sécurité et de stabilité, nous nous sommes rendus concessionnaires des différents systèmes nouveaux de construction rationnelle.

Depuis 1901, nous faisons le béton armé système « Hennebique » et nous croyons pouvoir dire que, parmi les concessionnaires de cette maison, nous sommes parmi ceux qui ont le plus produit, et ce, à la satisfaction complète de nos clients et de leurs conseils.

En janvier 1904, nous prenons la licence du système « Dulac » pour les fondations en terrains inconsistants, par le système de compression mécanique du sol.

Les terrains de Bruxelles, particulièrement mauvais, ont été l'objet d'une étude spéciale, et, après une courte période de tâtonnement, nous pouvons garantir que nous ne craignons plus un échec, ayant parfaitement réussi dans des terrains particulièrement réfractaires, après y avoir échoué au début et modifié en conséquence le matériel employé.

QUELQUES TRAVAUX EXÉCUTÉS PAR NOUS

En béton armé.

Magasin à bières de M. Gailly, rue de Liedekerke.
Usine « Sunlight Savon », Forest.
Cinq villas à Zeebrugge.
Nouvel Entrepôt à Bruxelles.
Etc., etc.

En compression mécanique.

Usine « Sunlight Savon », Forest.
Fondation « Centrale Electrique », au Nouvel Entrepôt, Bruxelles.
Estacade pour déchargement du charbon à l'usine à gaz de Bruxelles.

Nous serions heureux de vous voir mettre en œuvre ces procédés de construction et nous nous tenons à votre disposition pour tous renseignements que vous jugeriez opportun de nous réclamer.

Nous vous présentons, Monsieur, nos bien sincères salutations.

Société Anonyme LOUIS DE WAELE,
LA DIRECTION.

GUIDE PRATIQUE

DES SYSTÈMES DE FONDATION LE PLUS USUELLEMENT EMPLOYÉS EN TERRAINS INCONSISTANTS



La construction d'un ouvrage ne soulève point de question plus importante et plus délicate que l'établissement de ses fondations, puisque la stabilité de l'édifice en dépend.

Très simple en théorie, cette question se complique singulièrement dans la pratique et présente des difficultés qu'on ne saurait étudier avec trop de soin.

Les systèmes de fondation que l'on trouve exposés dans les traités de construction sont en si grand nombre, qu'il semble que l'on n'ait que l'embarras du choix, mais chacun d'eux ne bénéficie pleinement de tous ses avantages, en réalité, que lorsqu'on l'applique dans les circonstances particulières qui l'ont fait imaginer. Le constructeur ne doit se décider pour l'un ou pour l'autre qu'après un examen attentif de chaque cas nouveau qui se présente à lui, tant en ce qui concerne la structure de l'ouvrage et la répartition des charges, qu'en ce qui regarde la nature du terrain lui-même, et, même alors, on ne saurait assurer qu'il échappera toujours à toute perplexité au sujet de la meilleure solution que comporte le problème.

Cette hésitation sera surtout très grande s'il s'agit de s'établir sur un terrain inconsistant, or c'est le cas le plus général des ouvrages d'art fondés dans les vallées, dans les cours d'eau ou sur leurs berges, c'est aussi le cas des bâtiments reposant sur les terrains d'apport qui constituent le plus souvent le sous-sol des grandes villes, remanié par le travail incessant de l'homme à travers les siècles. Il suffirait, pour exemple, de citer Paris, où des quartiers tout entiers s'étendent au-dessus d'anciennes carrières mal remblayées au moyen des déchets provenant de démolitions ou des déblais de fouilles nouvelles.

Etude du sous-sol. Sondages. On conçoit par conséquent qu'il n'est pas de nécessité plus impérieuse que de procéder, avant tout, à une étude complète du terrain sur lequel on doit s'établir.

Cette étude se fait au moyen de *sondages*, dont la profondeur varie suivant que l'on rencontre plus ou moins loin une couche présentant les conditions de résistance que l'on a jugées nécessaires.

Pour une profondeur de quelques mètres, on se contentera de creuser, à ciel ouvert, un puits sommairement boisé, dont l'accès facile permet d'examiner *de visu* la succession des couches du terrain et leur nature, mais, pour de grandes profondeurs, ou lorsqu'on opère sous l'eau, il devient nécessaire de pratiquer un trou de sondage d'assez faible diamètre au moyen d'appareils spéciaux, que nous n'avons pas à décrire ici, et dont l'outil ramène successivement des échantillons des terrains traversés.

On ne saurait se contenter d'attendre une couche dont la nature offre des garanties pour le bon établissement de la fondation, il faut pousser encore le sondage plus loin, afin de s'assurer que l'épaisseur de la couche est suffisante et que celle-ci ne constitue pas une simple croûte, superposée à des terrains fluents ou affouillables.

Détermination de la résistance. La charge réduite au centimètre carré est celle qu'on peut faire utilement supporter à un terrain en chargeant, après décapement, une surface déterminée, d'un poids également déterminé.

L'enfoncement observé permettra de calculer la résistance offerte par ce terrain.

Lorsqu'une expérience directe n'est pas possible, — par exemple au fond d'un sondage étroit, — on peut évaluer la résistance d'un terrain par centimètre carré en prenant pour base les chiffres suivants (1) :

- 0 kil. 500, sur les vases et argiles molles (au maximum).
- 2 à 3 kil., sur les terres argileuses et argiles sableuses.
- 2 à 6 kil., sur les sables et graviers anciens, argiles compactes, argiles plastiques.
- 6 à 10 kil., et même plus, sur les roches compactes et continues, dont la résistance est souvent supérieure à celle de la maçonnerie superposée c'est alors la résistance de la maçonnerie qui limite la pression admissible. Avec la maçonnerie de ciment, on peut aller jusqu'à 15 et même 20 kilog.

Il y a lieu de déterminer les raisons de l'inconsistance du terrain. Parfois il est possible, en effet, d'y porter remède et de la faire disparaître en en supprimant la cause.

La présence de l'eau, en particulier, modifie, dans de larges limites, la compressibilité du sol et il suffit alors d'assurer l'écoulement de l'eau par un drainage convenable pour obtenir la résistance nécessaire à l'établissement de la fondation.

Tel est le cas des argiles et des marnes qui peuvent aisément porter de 4 à 5 kil. par centimètre carré lorsqu'elles ne sont exposées ni à l'air ni à l'eau courante, et qui deviennent au contraire plastiques et surtout glissantes lorsqu'elles sont mouillées.

Le sable bouillant lui-même peut être amélioré par l'assèchement. Toutefois les circonstances locales permettent bien rarement un pareil travail.

Les procédés qui vont être exposés s'appliquent aux divers cas où la fondation doit être établie, soit sur un terrain de faible résistance, soit à travers des couches inconsistantes sur une grande profondeur.

Suivant la nature du terrain, suivant aussi que l'on opère à sec ou dans l'eau, les principales méthodes seront les suivantes

- a) *Fondations par murs continus avec empattements* en maçonnerie ou en béton armé,
- b) *Radiers de répartition*, en voûtes renversées, en grils de charpente ou de rails, en béton armé, radiers de sable,
- c) *Fondations sur puits isolés*, creusés et remplis de béton à la main; puits sur rouets descendants,
- d) *Fondations à l'air comprimé*,
- e) *Pilotis en bois*,
- f) *Pieux en béton armé*,
- g) *Fondations par compression mécanique du sol*,

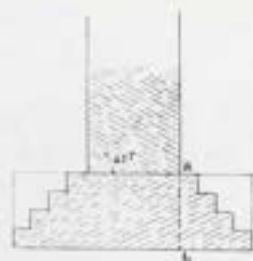
I

(a) **Fondations par murs continus avec empattements**

Lorsqu'il s'agit de fonder à faible profondeur, sur un sol peu consistant, mais maffouillable, la solution la plus simple consiste à faire reposer les murs sur une fondation continue, assez large pour que la pression transmise au terrain ne dépasse pas la limite admise par cm^2 .

On nomme *empattement* la quantité dont le massif de fondation déborde le nu du mur de part et d'autre.

(1) *Procédés généraux de construction des travaux d'art A. de Préau* Nous faisons remarquer toutefois que ces chiffres indiquent des résistances de terrains généralement supérieures à celles qu'il est prudent de considérer dans la pratique



La hauteur de la fondation doit être en rapport avec l'empattement, pour éviter la rupture en *ab*, par l'effet de la réaction du sol.

On serait ainsi conduit parfois à des hauteurs considérables et il est avantageux d'alléger le massif en le taillant en gradins, au-dessus d'un *parement théorique ab* tracé à 45° (fig. 2)

Malgré ce correctif, la disposition précédente oblige à approfondir certaines fondations d'une façon considérable et entraîne, par suite, un cube exagéré de maçonnerie ou de béton.

On peut obvier à cet inconvénient par l'emploi d'une fondation en béton armé, constituant une semelle de répartition aussi large qu'il est nécessaire et d'une épaisseur très réduite.



Si l'on admet que la compression due au poids de la construction se transmet à 45° dans le massif, on remarque que le bec *db* de l'empattement sera uniquement sollicité par la réaction du sol, il éprouve donc un effort de flexion auquel de la maçonnerie ordinaire ne peut guère résister, et auquel se prête parfaitement au contraire le béton armé, par sa nature même.

C'est ainsi que, dans certaines constructions existantes du système Hennebique, nous relevons des empattements de 2,95 pour une épaisseur totale de 0,30 seulement.

II

(b) Radiers de répartition

Lorsque la construction est particulièrement lourde et le terrain trop inconsistant, les empattements nécessaires auraient une telle dimension qu'il vaut mieux relier les fondations des divers murs les unes aux autres, et en faire un radier général, répartissant l'ensemble de la charge totale sur la surface totale d'occupation.

Toutefois, il est nécessaire de remarquer que les poids sont loin d'être uniformément répartis par les murs et que, par suite, cette vaste plate-forme, sous peine de se fissurer elle-même, doit être élastique ou présenter une grande épaisseur.

Cette dernière condition s'impose si le radier est simplement constitué par un massif de béton ordinaire.

On peut aussi constituer une plate-forme générale en charpente, ou un gril en rails, comme le font les Américains pour l'érection des immeubles gigantesques de leurs grandes villes. Mais ce moyen ne saurait être conseillé chez nous.

On peut également disposer le radier en forme de voûte renversée, de manière à rejeter vers les murs les résultantes des sous-pressions du terrain.

Enfin, dans certains cas, on a trouvé une solution économique du problème dans l'établissement d'un radier général en sable tassé par couches successives sur une épaisseur totale d'environ 2 m. La répartition des charges se fait à 45° dans le sable tassé, il conviendra donc de faire déborder le radier d'une largeur égale à son épaisseur tout autour de la construction qu'il supporte. Il est nécessaire de maintenir le sable dans un encaissement de briques.

Ces divers procédés entraînent des épaisseurs d'autant plus considérables qu'il est impossible de connaître la limite exacte de résistance du terrain, cette résistance d'ailleurs, sur une grande étendue, pouvant varier beaucoup. Ces épaisseurs exagérées de maçonnerie apportent elles-mêmes un surcroît de charge que le sol inconsistant peut malaisément supporter, et, alors même qu'il n'y aurait pas de tassements inégaux et des ruptures fâcheuses, on doit toujours redouter un tassement général de la construction et un dénivèlement anormal.

L'introduction du béton armé dans les méthodes de construction permet d'obvier à ces inconvénients et fournit un procédé aussi simple qu'économique pour la constitution d'un radier général d'épaisseur très réduite.

Beaucoup plus légers que les précédents, les radiers en béton armé sont aussi beaucoup plus rigides, grâce à leur élasticité. Un tel radier, bien calculé, résistera, sans se fissurer, aux charges les plus inégalement réparties.

III

(c) Fondations sur puits isolés

Lorsque l'ouvrage est très lourd et que l'on juge nécessaire d'aller chercher très loin une couche assez résistante pour le supporter, il devient impossible de descendre aussi profondément des fondations en murs continus et l'on se résout à asseoir la construction sur une série de piliers dont la section totale doit être suffisante pour ne pas faire supporter au terrain consistant une pression trop considérable.

Ce mode de fondation a été appliqué notamment à la basilique de Montmartre, dont le sous-sol, criblé d'anciennes carrières, pouvait faire concevoir des craintes sérieuses.

Les puits peuvent être foncés par la méthode courante. La fouille, ronde ou carrée, selon le cas, présente au minimum 1 m. 10 ou 1 m. 20 de diamètre ou de côté. Elle est descendue de proche en proche, à la pelle et à la pioche, en ayant soin de coffrer avec plus ou moins de soin, suivant la nature des couches traversées. Si l'on est exposé à rencontrer des veines d'infiltration ou une nappe aquifère, des épaissements et un boisage importants deviennent indispensables et rendent le procédé à la fois très coûteux, peu sûr, et dangereux pour les ouvriers qui ont à travailler à fond de puits, où ils ont à craindre, non seulement des éboulements, mais encore les émanations délétères qui font si souvent des victimes parmi les puisatiers.

On peut alors améliorer le procédé par la méthode des *puits sur rouets descendants*, où le fonçage est constamment protégé par un véritable tubage en tôle ou en maçonnerie.

Cette méthode se prête à l'emploi de l'air comprimé qui devient nécessaire lorsqu'on traverse une nappe aquifère abondante.

Le remplissage des puits se fait par un bétonnage à la main. On se contente souvent de jeter le béton de chaux, par brouettées, à l'orifice du puits, sans le pilonner, malgré ce que présente de défectueux un pareil système, où les éléments du béton se séparent sous l'effet de la gravité et des heurts contre les parois. Si au contraire on confie à des ouvriers du fond le soin de régler le béton et de le pilonner, il est impossible d'exercer aucun contrôle sur leur travail, et il en résulte une certaine incertitude.

L'irrégularité dans la confection des piliers peut avoir des conséquences d'autant plus graves que leur surcharge est souvent considérable. Les puits, dont la section horizontale dépasse rarement 1 mètre carré, sont ordinairement espacés de 4 à 5 mètres. Si l'on remarque qu'une maison de six étages charge communément le mur de fondation de 25 à 30 tonnes par mètre courant de mur, on voit qu'il en résulte pour chaque puits une charge de 120 à 150 tonnes, soit 12 à 15 kilogs et même davantage par centimètre carré, ce qui est excessif et nécessite tout au moins, pour le bétonnage, un soin tout particulier.

En outre, pour peu que le puits lui-même ait 8 mètres de profondeur, la charge sur la base se trouve augmentée de 18.000 kilogs environ, représentant le poids propre du béton remplissant le puits.

On conçoit que le terrain sous-jacent (à moins que l'on ne compte sur le frottement latéral de la colonne de béton), doit être exceptionnellement résistant pour supporter une pareille charge. Le sable lui-même subirait un léger tassement, et l'on peut se demander ce qu'il adviendrait sur de la marne plus ou moins compacte, sur du tuf plus ou moins résistant.

Il ne faut donc pas s'étonner si, avec de pareilles fondations, même faites consciencieusement, on a, au moment où la charge se fait sentir sur les points d'appui, des « prises de contact » de 2, 3, 4 centimètres et plus encore.

Le prix de revient de ce genre de fondations est fort élevé, surtout si des difficultés imprévues surgissent par exemple, si l'on rencontre des couches aquifères, des terrains éboulés, s'il y a des émanations délétères, etc.

Voici un aperçu du *prix de revient* d'un puits ordinaire, fouillé à la main et rempli en béton de cailloux et mortier de chaux hydraulique.

Cas d'un terrain d'alluvion ou éboulé noyé sur les deux tiers de la hauteur

Fouille de puits, compris blindage en voliges et cercles de fer, avec chargement en tombereau, transport et enlèvement des terres et gravais aux décharges publiques.		
Diamètre du puits 1 ^m 50. — Section 1 ^m 75 — Sur 7 ^m de profondeur soit un cube de (A)	12 ^m 3,250	
Plus-value pour travail exécuté dans l'eau sur les 2/3 du cube 8,170 à 1/2 B).	4 ^m 0,635	
Ensemble	16 ^m 3,885	
à 12 fr. 20 le mètre cube		199 20
Remplissage du puits en béton de cailloux et mortier de chaux hydraulique de Beffes ou similaire		
Le cube (A) ci-dessus 12 ^m 3,250 à 20 fr. 50 le mètre cube		248 68
Plus-value pour travail exécuté dans l'eau		
Le cube (B) ci-dessus, 4 085 à 2 fr. le mètre cube		8 17
Epaissement de l'eau au moyen d'une pompe de 0 ^m 10 de diamètre avec ses tuyaux, compris location, pose, dépose et entretien, pendant 5 journées à 2 fr. l'une		10. »
Double transport, aller et retour de la pompe et de ses tuyaux		5. »
Manœuvre de la dite pompe sans interruption, à 4 puisatiers, ci	4	
et 2 aides puisatiers au repos pour relais, ci	2	
	6	
pendant chacun 5 journées = 30 journées à 7 fr. 50 l'une		219 »
Total (1)		690 14

Le prix d'un puits ordinaire, fouillé dans la terre glaise, serait le même, par suite des étalements nécessaires, mais l'on verrait que, dans un terrain ordinaire non immergé, la dépense s'abaisserait à 388 fr. 33, prix encore très considérable.

Il est à remarquer d'ailleurs que, dans ces estimations, nous n'avons nullement fait entrer en ligne de compte les étalements spéciaux et coûteux qu'entraîneraient de grandes profondeurs, ni les frais d'aérage et de ventilation, tous éléments qui viennent le plus souvent majorer les prix de base, dans des proportions aussi exorbitantes qu'imprévues.

IV

(d) Fondations à l'air comprimé

Le procédé de fondation à l'air comprimé n'est qu'une extension de la méthode des rouets descendants, où l'on assèche la fouille, non plus par des épaissements qui deviendraient impossibles lorsqu'on travaille dans une nappe indéfinie, mais en refoulant l'eau par dessous la tranche inférieure du rouet.

A cet effet, la colonne creuse surmontant le rouet, dans le cas des fondations tubulaires qui sont le type primitif de ce genre de fondation, ou le caisson polygonal lorsqu'il s'agit de la plupart des ouvrages actuels, sont surmontés d'un ou plusieurs sas à air permettant d'en fermer hermétiquement la partie supérieure.

On constitue ainsi un vase clos dans lequel on peut comprimer de l'air à une pression suffisante pour abaisser le niveau de l'eau jusqu'à la tranche inférieure du couteau pénétrant dans le sol.

Afin de réduire la capacité du vase clos et la quantité d'air qu'il est nécessaire de comprimer, on abaisse généralement le plafond obturateur jusqu'à 1 m 80 ou 2 mètres au-dessus du couteau, et l'on constitue ainsi une *chambre de travail*, où l'on fait pénétrer les ouvriers et les matériaux par les *sas à air* mis, alternativement et dans le sens convenable, en communication avec l'air libre et avec la capacité intérieure.

(1) Les prix indiqués sont ceux pratiqués à Paris

Une étude complète de cette méthode de travail nous entraînerait beaucoup trop loin et nous renvoyons aux ouvrages spéciaux qui ont traité ce sujet si vaste avec tous les développements qu'il comporte.

Il nous suffira de faire ressortir quelques-uns des avantages et des inconvénients de ce mode de fondation, si remarquable d'ailleurs et qui, seul, a rendu possibles d'admirables ouvrages à la mer ou en rivière, tels que l'établissement du Forth et de tant d'autres travaux considérables.

Aucun autre procédé ne permettrait de fonder un ouvrage par des fonds de 20 à 30 mètres et, sans même aller jusque-là, on peut dire que l'emploi de l'air comprimé présente une économie notable sur les procédés usuels d'épuisement, pour tous les travaux par havage direct dont l'importance justifie un outillage considérable et coûteux, il est vrai.

D'autre part, ce coût de l'outillage est un obstacle lorsqu'il s'agit d'un ouvrage d'importance minime et même moyenne. Le travail des ouvriers au fond est difficile à surveiller. Il se fait dans de mauvaises conditions hygiéniques et exige un éclairage artificiel presque toujours insuffisant pour assurer un bon rendement. Le remplissage final en béton de la chambre de travail et des cheminées ménagées jusqu'à la fin, est difficile à réaliser d'une façon complète et à surveiller. Enfin, on n'y peut employer que des ouvriers d'une constitution robuste, la sortie du sas ne doit se faire que lentement et la très longue période de décompression, qui peut seule éviter des accidents, constitue une perte de temps considérable.

La limite de pression que les hommes peuvent supporter est celle de 50 mètres d'eau et le rendement du travail exécuté à cette profondeur est alors très réduite.

Sous ces réserves, voici quelques prix de revient indiqués par M. l'Ingénieur en chef de Préaudeau (1).

Dépense d'une pile des ponts

	de Kehl sur le Rhin	de Nantes sur la Loire	de Brooklyn à New-York
Dépense totale	500 000	90 000	3 307 000
Section horizontale du massif.	122 ^{m2}	49 ^{m2}	1.340 ^{m2}
Profondeur de fondation	20 ^m	17 ^m	18 ^m
Cube du massif	2440 ^{m3}	853 ^{m3}	24 120 ^{m3}
Prix de revient par mètre cube	205	108	137

On aura toujours le plus grand avantage à constituer la chambre de travail en béton armé. Le système Hennebique s'y prête tout particulièrement et l'on peut prévoir des applications de plus en plus nombreuses dans cet ordre de travaux.

V

e) Pilotis en bois

Les pilotis en bois ont été employés de tout temps pour fonder sous l'eau ou dans des sols aquifères. On en employait rarement d'autres avant l'emploi de l'air comprimé lorsqu'il s'agissait de fonder un ouvrage d'art en rivière.

Les pilotis ont le grand avantage de permettre d'aller chercher un appui sur le terrain résistant, à travers les couches inconsistantes et même à travers les nappes d'eau, sans obliger à aucun travail de fouille et de terrassement.

Les pilotis sont en bois de bout, *chêne* ou *sapin*, quelquefois en *châtaignier* ou en *aulne*. Leur

1. Préaudeau et Pontzen — Travaux d'art — Béranger éditeur, 1903.

emploi est fondé sur cette propriété qu'a le bois de se conserver longtemps dans la terre ou dans l'eau, pourvu qu'il soit à l'abri de l'air. Il faut bien dire d'ailleurs que cette propriété n'est pas absolue.

L'équarrissage du pilot dépend de sa longueur. Il faut qu'il soit suffisant pour que la pièce, maintenue, il est vrai, par la résistance latérale du sol, ne flambe pas pendant le battage.

Pour des longueurs inférieures à 10 mètres, on peut admettre que le rapport de la longueur au diamètre (ou au côté) doit varier entre 24 et 30.

Au-dessus de 10 mètres on prend d'ordinaire les gros échantillons du commerce, c'est-à-dire des bois de 0 m 35.

La distance des pilots d'axe en axe ne doit pas être inférieure à 0 m 80, afin que la compression du sol ne rende pas trop difficile la pénétration jusqu'au terrain solide.

La durée des pilots soumis à des alternatives d'immersion et d'émersion varie entre 12 et 20 ans suivant l'essence du bois. A cet égard, nous citerons l'exemple du pont qui a remplacé, il y a environ 16 ans, le pont suspendu de Rouen. La culée de gauche de ce pont, fondée sur pilotis, s'est affaissée, le tablier et le garde-corps se sont déformés et cassés, et les trottoirs avoisinants ont suivi le mouvement.

Les fondations de Venise durent, il est vrai, depuis des siècles, mais cependant, certains des monuments de cette ville, et non des moins importants, menacent ruine, et il est à peine utile de rappeler la chute retentissante du Campanile.

L'expérience montre donc, en premier lieu, que les pilots constituant les fondations proprement dites doivent être arasés à un niveau tel qu'ils n'émergent jamais hors de l'eau, s'il existe, au-dessus de ce niveau des parties en bois, elles sont éminemment sujettes à une destruction rapide et ne doivent pas faire corps avec la fondation noyée, de manière à pouvoir être remplacées aisément.

Ce n'est pas à dire que les parties noyées échappent à toute cause de destruction. Les parties directement en contact avec l'eau de mer ne sont pas à l'abri des tarets. Celles mêmes qui sont entièrement noyées dans le sol humide perdent peu à peu de leur résistance et il est tels exemples de pilots anciens que l'on a trouvés réduits, comme résistance, à une âme de diamètre infime.

L'enfoncement se fait au moyen d'une *sonnette*, c'est-à-dire d'un appareil mobile en charpente, permettant d'élever à une certaine hauteur un *mouton*, ou masse pesante en fonte, qui retombe de tout son poids sur la tête du pilot. L'action du mouton est mesurée par le produit de sa masse par la hauteur de chute. On a donc tout intérêt à augmenter l'une et l'autre.

On prend généralement, comme terme de comparaison, l'ancienne sonnette à tiraudes, dont le mouton pèse 400 kil. au maximum avec 1 mètre de chute.

On appelle *refus*, la quantité dont un pilot s'enfonce sous l'action d'une *volée* de 30 coups de mouton. Ce refus est variable et n'est jamais nul, si ce n'est le cas où le pilot rencontre le roc.

Le *refus absolu* est celui qui est jugé suffisant pour la résistance dont on a besoin, et auquel on arrête l'opération.

Le *refus relatif* n'est dû qu'au frottement latéral. C'est celui que l'on obtient en terrain indéfiniment compressible.

On considère généralement un pilot comme parvenu au refus absolu quand il ne s'enfonce plus que de 0^m005 à 0^m010 sous une volée de 30 coups d'une sonnette à tiraudes, ou sous une volée de 10 coups d'une sonnette à déclié dont le mouton pèse 600 kil. et tombe de 3 m 60.

Etant donné le refus d'un pilot, la charge qu'on peut lui faire supporter se calcule suivant la formule hollandaise

$$R = \frac{PH}{6e} + \frac{P}{P+p}$$

où P représente le poids du mouton, p le poids du pilot, H la hauteur de chute du mouton, e le refus, et R la résistance.

Le seul frottement latéral permet d'ailleurs au pieu de supporter une charge considérable. Pour un refus relatif de 2 à 3 centimètres la résistance peut atteindre 600 à 800 kil. par mètre carré de surface latérale frottante.

Disons enfin qu'un seul pieu des dimensions habituelles porte de 15 à 25.000 kil. Encore faut-il compter sur les circonstances fortuites, la rencontre d'un bloc de roche isolé, ou un accident comme le désabotage ou la rupture de la pointe, qui peuvent faire croire que l'on a atteint le refus cherché, alors que le pieu est dans un état de résistance fort instable, qui peut être rompu par une charge inopinée, plus considérable que celle du battage.

On voit combien le résultat final est précaire et incertain.

On cherche à y remédier en solidarissant tous les pilots au moyen d'un grillage en charpente qui réunit leurs têtes, ou en noyant celles-ci dans une table de béton.

Le prix de revient du pilotis doit comprendre un certain nombre de frais accessoires et, notamment dans les terrains marécageux ou sous l'eau, les dépenses de recépage et ceux du grillage en charpente que nous venons de mentionner.

Le prix de revient est évidemment très variable, suivant la région et les circonstances locales, suivant aussi la facilité plus ou moins grande d'approvisionnement des bois dont les dimensions sont presque toujours exceptionnelles.

Voici un aperçu des prix de base

Pilots de sapin en grume, le stère, de	60 à 80 fr
» chêne en grume, environ	100 fr
Sabotage et fretage, l'un	6 à 10 fr
Mise en fiche et battage du 1 ^{er} mètre	6 à 10 »
Battage des mètres en complément, par m.	1 à 5 »

Application à un pilot de 0 m 25 de diamètre et de 8 mètres de longueur en chêne, battu à Paris.

Cube : 0 ^m 3,500 à 115	fr	57 50
Sabotage et fretage	»	7 50
Mise en fiche, battage du 1 ^{er} mètre	»	10 »
Battage de 7 m. complément, à 5	»	35 »
Recépage par pilot	»	1 »
Massif ou gril. en moyenne par pieu	»	14 »
Total	fr	125 »

Ce prix s'abaisserait évidemment au voisinage des ports du Nord, par exemple, où les bois de Norvège parviennent aisément.

Il y a lieu également de tenir compte des progrès réalisés dans l'outillage et notamment dans l'emploi des sonnettes à vapeur qui permettent de battre avec des moutons beaucoup plus puissants.

Le mouton d'une sonnette à vapeur pèse 1 500 kil. et tombe d'une hauteur de 1 m 50 à 2 mètres, à raison de 80 à 100 coups par minute.

Le travail pour un coup est donné par la formule

$$T = \frac{PH}{1 + \frac{P}{P'}}$$

On voit que, pour un même effort PH le travail produit est d'autant plus considérable que le rapport $\frac{P}{P'}$ est plus faible, c'est-à-dire que le poids P du mouton est plus grand par rapport au poids P' du pilot. On a donc tout intérêt à augmenter le poids du mouton, même en réduisant la hauteur de chute H.

D'autre part, il y a une limite qu'on ne saurait dépasser c'est celle de la résistance du bois lui-même, dont les bonnes qualités sont de plus en plus rares, qui s'écraserait sous des chocs trop violents ; et, à cet égard, on peut dire, dès à présent, que les pilots en béton armé échappent à ce reproche, comme nous le verrons tout à l'heure.

Avec des pilots en bois, dans des terrains inconsistants, on constitue de véritables jeux de quilles, qui s'inclinent, puis s'affaissent sous les efforts extérieurs dyssymétriques qu'ils subissent.

Dans des terrains hétérogènes c'est un autre danger. Certains pieux s'arrêtent à un refus factice sur une couche accidentellement résistante ou se brisent et s'inclinent, les charges finales, mal réparties, imposent des fatigues excessives à ceux qui, enfoncés normalement, s'écrasent à leur tour.

La ruine de l'ouvrage en est la conséquence, cent exemples d'accidents de cette nature pourraient être cités, qu'il nous suffise de rappeler les difficultés particulières de cet ordre rencontrées pour la construction des ouvrages d'art de la ligne de chemin de fer de Nantes à Brest dans les terrains vaseux de Bretagne, restés célèbres dans les annales de la construction.

VI

(f) Pieux en béton armé

Les inconvénients que nous venons de signaler ci-dessus, à propos des pilots en bois, sont évités par l'emploi de pieux en béton armé qui sont, par leur nature même, indestructibles.

Le béton, à lui seul, sous une section relativement faible, n'aurait pas une résistance comparable à celle d'un pieu en bois de même équarrissage. On sait en effet que la charge de sécurité est respectivement, par cm^2 , de 40 à 45 kilogs pour le bois, et de 25 kilogs seulement pour le béton. Mais il convient d'ajouter à la résistance du béton, celle de l'armature qui est enrobée dans le béton armé, cette résistance est de 10 kilogs par m/m^2 pour le fer, elle atteint 12 kilogs par m/m^2 d'acier et même au delà lorsqu'on aborde les aciers durs.

On a ainsi le moyen de faire varier la résistance totale du pieu, en faisant varier convenablement le pourcentage du métal, c'est-à-dire le rapport de la section totale du fer ou de l'acier à la section du béton.

C'est ainsi qu'un pieu en béton armé de 30×30 cm, armé de 4 barres longitudinales d'acier de 22 mm. équivaut à un pieu en bois de même équarrissage.

Au point de vue du prix, on peut estimer que le pieu en béton armé coûtera 20 % moins cher que le pieu en bois.

Le pieu en béton armé résiste mieux que celui-ci aux effets dynamiques, ce qui permet de le battre avec des moutons pesant 3 à 4.000 kilogs et d'obtenir ainsi un refus beaucoup plus complet et, par suite, une sécurité plus grande, tandis que le pieu en bois serait fendu et écrasé bien avant cette limite.

Sous des chocs aussi formidables, il n'y a pas à craindre d'écraser le béton armé. « Dans le battage des pieux en béton armé, écrit M. Christophe, les chocs du mouton ne désagrègent qu'une partie du béton à la tête de la pièce. Le corps même du pieu ne souffre pas de cette épreuve, assurément l'une des plus sérieuses que l'on puisse faire. »

Cette détérioration même de la tête du pieu peut être évitée par l'emploi de dispositifs spéciaux et surtout du casque avec matelas élastique employé par M. Hennebique qui a fait de si nombreuses et de si heureuses applications de ce procédé nouveau de fondation.

Dès 1897, ce constructeur établissait, d'après sa méthode, un mur avec estacade, à Chantenay-sur-Loire.

En 1898, il construisait 125 mètres de quai à Southampton, pour la Compagnie du London and South Western Railway, où le masque est formé de pieux de 40×40 , ayant 15 mètres de long,

comme cela doit nous paraître évident.

et de palplanches également en béton armé, battues dans les intervalles, d'environ 1 m. 80 qui séparent les pieux.



Tandis que les pieux en bois, pour éviter la pourriture, doivent être recépés en dessous du niveau des plus basses eaux, les pieux en béton armé peuvent se prolonger à l'air libre, et l'on utilise cette faculté pour la constitution très pratique et très simple de supports d'estacades ou de warfs, comme l'estacade de *Woolston* (Southampton), construite également par M. Hennebique, en offre un exemple.

Enfin, en généralisant l'emploi des pieux et palplanches en béton armé, pour tous les cas où, jusqu'ici, on avait employé des pieux et palplanches en bois, il devient possible d'établir dans des conditions d'exceptionnelles solidité et durée, des enceintes, des caissons fixes, de même le béton armé se prête à la construction de caissons flottants destinés à être remplis de béton pour la constitution des gros blocs de 5 à 6.000 tonnes dont l'emploi tend à se généraliser pour l'établissement des digues à la mer.

FONDATIIONS PAR COMPRESSION

MÉCANIQUE DU SOL

VII

(g) Fondations par compression du sol

Après l'examen qui précède des nombreux procédés de fondation, dont la plupart sont en quelque sorte classiques, nous allons aborder une méthode plus récente et dont les résultats cependant, acquis dans des applications déjà nombreuses, permettent de prévoir un développement de plus en plus rapide : nous voulons parler du mode de *fondation par compression du sol* par les procédés *S.-L. Dulac* que nous exploitons.

La nouveauté relative de la méthode, le très vaste champ qui est ouvert à ses applications, nous autorisent à entrer dans quelques détails à son sujet.

On sait déjà qu'on a tenté bien des fois de consolider un sol inconsistant et de lui donner une résistance locale suffisante pour y asseoir une construction, en le lardant, pour ainsi dire, de pieux en bois très rapprochés qui compriment latéralement le terrain.

On a parfois soumis ce procédé à quelques variantes, en retirant le pieu de bois et en remplissant le trou ainsi percé au moyen de sable mouillé ou de béton. Le sol se trouve ainsi consolidé par compression, au moyen de ce très grand nombre de pieux de bois, de sable ou de béton, dont on pourrait dire qu'ils *arment* le terrain.

Le procédé Dulac comprime le sol latéralement, et en profondeur, il agit d'une façon plus complète et plus efficace, il constitue dans un terrain, quelle que soit sa composition, des points d'appui reposant, par une large base sur le bon sol naturel ou sur un sol rendu mécaniquement bon, auquel on a donné un coefficient de sécurité qu'on s'est, par avance, imposé.

Il ne reste plus, sur ces points d'appui immuables, qu'à fixer des poutres, semelles ou radiers en béton armé, le tout rendu solidaire, rigide, indéformable et capable de porter, avec une sécurité calculée et éprouvée, les charges les plus considérables qu'on puisse imaginer dans la construction.

Voici la description de nos procédés d'exécution :

DESCRIPTION DES APPAREILS

Les principaux appareils qui servent pour l'application du procédé, et que montrent les planches n^{os} 1 et 2, sont :

- 1^o Une sonnette de 12 ou 13 mètres de hauteur, actionnée par un treuil à vapeur;
- 2^o Trois pilons de formes et de poids différents :

Un pilon dit perforateur, de forme conique, de 0 m. 70 de diamètre à la base et du poids de 1 600 kilogr. Il tombe en chute libre la pointe en bas d'une hauteur qui peut atteindre jusqu'à 10 m., ainsi qu'on le voit planche 1

Un pilon bourreur en fonte, de forme ogivale, de 0 m. 65 de diamètre à la base et du poids de 1 500 kilogr., il tombe également en chute libre, la pointe en bas.

Enfin un pilon d'épreuve en fonte du poids de 1.000 kilogr et de forme tronconique. Il a 0 m. 80 de diamètre à la grande base et tombe, en chute libre, comme les précédents, mais à l'inverse de ceux-ci, il est suspendu par la pointe. On voit ces deux pilons planche 2.

3° Un déclié automatique (breveté) soutenu par une chaîne mouflée.

NOTA : Certaines des sonnettes sont à base rectangulaire et montées sur chariot, d'autres sont à base circulaire et rotatives sur 2 plateaux superposés. Ces dernières sont utilisées surtout quand on a à travailler à fond de fouille. Elles rendent les manœuvres plus faciles et plus rapides.

FONCTIONNEMENT DES APPAREILS

Les trois pilons sont munis d'une tige qui se termine par une tête en forme de toupie. Le déclié prend la tête de la tige d'un pilon, la machine est mise en mouvement, la chaîne s'enroule autour du tambour du treuil, le déclié monte, entraînant le pilon qu'il enserre d'autant plus énergiquement qu'il est plus lourd. Au moment où la partie supérieure du déclié s'engage dans un anneau, en forme de double entonnoir, placé en un point des jumelles de la sonnette et dont on fait varier la hauteur à volonté, la partie inférieure de ce déclié s'ouvre et laisse échapper le pilon, qui tombe en *chute libre*.

Par son propre poids, le déclié redescend vers le pilon tombé et le reprend seul, à toute profondeur, prêt à le remonter.

La hauteur de chute, au-dessus du sol, est ordinairement de 8 à 10 mètres.

EMPLOI DE LA MÉTHODE

Battage superficiel

S'il s'agit de consolider un terrain de remblai que l'on destine à supporter une construction de faible poids, on se contente de faire un battage superficiel, en opérant de la façon suivante :

La fouille des murs étant faite, on la pilonne, de mètre en mètre, par exemple, en employant le pilon ogival dit bourreur, pour faire un trou de 1 m. 00 à 1 m. 50 on remplit ce trou, jusqu'à 1/3 environ, de matériaux durs quelconques, que les coups de pilon suivants enfonce dans le sol.

De nouvelles charges, de nouveaux coups de pilon, et l'on arrive ainsi, *très rapidement*, à donner au sol la résistance voulue. On termine par 2 ou 3 coups du pilon plat, qu'on laisse sur le point battu, pendant que l'on procède au bourrage du point suivant, avec le premier pilon. On comprend aisément que l'on fait ainsi, en quelques instants, par compression du sol, ce que le temps met des siècles à faire. L'on comprend aussi que, par l'observation de l'enfoncement comparé au nombre des coups de pilon, on peut arriver à donner partout une résistance *uniforme*, ce qui, même dans les terrains vierges, présente une incontestable condition de sécurité pour la stabilité des constructions.

Mais, si l'on se trouve en terrain aquifère, susceptible d'être parcouru par des veines d'eau souterraines, cette première manière est insuffisante, il faut alors s'appuyer sur les couches solides et avoir recours à la *fondation sur puits*.

Fondations sur Puits

La *perforation* du puits se fait par le pilon conique de 1.600 kilogr. Nous avons fait ainsi des puits de 14 m. 80. Une cavité ménagée dans la pointe d'acier du pilon monte, à chaque coup, un échantillon du terrain traversé. La perforation doit être lente, de manière à ce que les molécules

comprimées, chassées latéralement, se puissent bien caser. Les parois ainsi durcies deviennent étanches et très résistantes aux poussées extérieures. Si, opérant dans un terrain aquifère, une veine d'eau arrive à se faire jour à travers ces parois, nous bouchons le puits avec de la terre argileuse, jusqu'au-dessus de la veine d'eau et nous recommençons la perforation. Il nous est arrivé d'être contrainsts de boucher ainsi un puits quatre et cinq fois. Mais l'on comprend aisément que les parois devenant de plus en plus dures, nous arrivions toujours à nous rendre maîtres des voies d'eau et que, même en terrain tout à fait immergé, nous pouvons faire des puits momentanément étanches.

BOURRAGE. Quand le puits a atteint la profondeur voulue, on commence à le combler. On jette d'abord au fond, des matériaux de fortes dimensions, en général de grosses pierres, que l'on chasse latéralement, au moyen du pilon ogival, on met plusieurs fois de ces gros matériaux, et, par un pilonnage très énergique, on obtient, à la place de la pointe qui terminait le puits, un épanouissement relativement considérable, surtout si le terrain est très compressible. Grâce à cet épanouissement, véritable champignon renversé, la résistance à l'enfoncement, devient considérable. Quand cette première assise est ainsi bien établie, on continue le bourrage, simplement avec des matériaux durs quelconques arrosés de chaux, si l'on a besoin de peu de résistance, et, l'on va jusqu'au béton de cailloux et ciment, si la résistance doit être plus grande. Dans tous les cas, les matériaux, mis par couches de 40 à 50 centimètres, sont énergiquement comprimés, par une volée de 2, 3, 4. coups de pilon, suivant la résistance que l'on veut obtenir.

La perforation du sol a déjà refoulé et comprimé les terres latéralement, par le bourrage du béton, le diamètre du puits est souvent doublé. Dans certains terrains très compressibles, nous avons mis, dans des puits, un volume de béton égal à plus de 5 fois le volume initial du trou.

Après la perforation, nos puits ont ordinairement de 0 m. 90 à 1 mètre de diamètre. Après le bourrage, par la compression latérale qui en résulte, ce diamètre atteint 1 m. 10, 1 m. 20, 1 m. 50 et plus, suivant la compressibilité des couches de terrain traversées.

On comprend aisément quelle énorme supériorité présentent nos puits mécaniques sur les puits ordinairement pratiqués à main d'homme.

Les parois de ces derniers, établis le plus souvent en terrain friable, n'offrent aucune résistance. On les emplit d'un béton peu ou pas pilonné. A la prise des mortiers et bétons, il y a retrait et par suite il s'établit un vide entre le béton et sa gaine. Versé à la brouette ou jeté à la pelle, le béton en heurtant les parois se divise : les cailloux d'un côté, le mortier de l'autre; des couches irrégulières sont formées, de là des résistances différentes et par conséquent diminution sensible de la surface utile d'appui.

Il n'est pas d'homme du métier qui n'ait eu à constater les inconvénients d'une telle manière de procéder, à laquelle on doit les cassures et les lézardes qui s'observent dans un grand nombre de constructions.

Toute la valeur d'un point d'appui repose sur un pilonnage énergique de la matière, ne fût-ce que de la terre franche, rendue monolithique et incompressible, ce que nous obtenons sûrement par notre procédé.

CALCUL DES RÉSISTANCES

La résistance du sol peut être éprouvée avant et après l'opération, au moyen du pilon n° 3, dit *pilon d'épreuve*.

Il est évident que plus le sol sera résistant, moins le pilon s'enfoncera ; c'est-à-dire que l'enfoncement du pilon et la résistance du sol sont inversement proportionnels. — Or, on peut toujours, après chaque coup, mesurer l'enfoncement, il est donc facile d'en déduire la résistance (1).

(1) Il est évident que l'enfoncement ne doit pas être considéré pour un seul coup de pilon ; mais sur la moyenne de 3 ou 4 coups, après que les prises de contact du béton ont été obtenues par 2 ou 3 coups préalables de pilon.

Le poids du pilon étant 1.000 kilogrammes par exemple, supposant la hauteur de chute de 10 mètres, on aura, à l'arrivée au point de chute, un travail développé de 10.000 kilogrammètres, c'est-à-dire 10.000 kilos s'enfonçant de 1 mètre.

Ce qui peut s'exprimer ainsi

Pour un enfoncement de 1 ^m ,00,	la résistance est de	10 000 kilos
— de 0 ^m ,10,	— de	100 000 —
— de 0 ^m ,01,	— de	1 000.000 —

Le pilon mettant en contact avec le sol une surface de $\frac{r \times 0^m80^2}{4} = 0^m1,5026$ la résistance par centimètre carré sera, dans les trois cas ci-dessus

Pour un enfoncement de 1 ^m ,00	$\frac{10\ 000}{5026} = 2$ kilos
de 0 ^m ,10	$\frac{100.000}{5026} = 20$ kilos
— de 0 ^m ,01	$\frac{1.000.000}{5026} = 200$ kilos

Mais dans ce calcul, il n'est pas tenu compte du frottement des molécules, de la résistance à la compression de l'air retenu entre ces molécules, ni du travail dépensé en vibrations, etc.

Pour compenser ces pertes de force vive qu'il est bien difficile d'évaluer, on admet, dans la pratique, que la moitié seulement du travail est utilisée, en sorte que la résistance est exprimée comme il suit

Pour un enfoncement de 1 ^m ,00,	la résistance est de	1 kil og par c m
— 0 ^m ,10,	—	10 —
— 0 ^m ,01,	—	100 —

On voit d'après cela quel coefficient de sécurité énorme on peut se donner pour une construction déterminée. Les points d'appui artificiels que l'on crée ainsi sont plus ou moins rapprochés, suivant la charge totale qu'ils ont à supporter, et ils sont disposés de façon à la répartir aussi uniformément que possible, mais en admettant qu'à ce dernier point de vue il y ait quelques écarts, le coefficient de sécurité qu'on s'impose dans la pratique est tel que ces écarts sont absolument sans importance.

Au-dessus des points d'appui, la maçonnerie est, en quelque sorte, indépendante de la fondation proprement dite. Cependant, dans toutes les constructions fondées par notre méthode, nous nous sommes toujours chargés de relier entre eux les points d'appui, afin de pouvoir prendre en toute connaissance de cause, la responsabilité entière de la stabilité de la construction.

PRINCIPAUX AVANTAGES DU PROCÉDÉ

Le procédé, qui a fait grandement ses preuves, est applicable dans la plupart des cas de la construction. Il n'a pas la prétention de se substituer, *de plano*, à tous les autres systèmes de fondation employés, mais il a une large place à côté d'eux.

Il a pour principaux avantages

1° De donner une sécurité absolue, en ramenant tous les points du terrain à un coefficient de résistance soit uniforme, soit proportionnel aux charges à supporter, et qui peut toujours être déterminé par avance,

2° D'être simple et économique puisqu'il supprime les coûteuses opérations des blindages, des épaissements, de l'enlèvement des déblais, etc.;

3° D'être rapide, car un puits de 8 mètres de profondeur peut être foré et bourré en 5 ou 6 heures,

4° De supprimer, d'une manière presque complète, tout danger pour les ouvriers qui, ne travaillant jamais qu'au niveau du sol, n'ont à craindre ni les émanations délétères des fonds de puits, ni les conséquences d'éboulements,

5° De substituer à la main de l'homme une action mécanique sûre, énorme, et qu'on peut toujours augmenter par le poids du pilon et la hauteur de chute.

APPLICATION DU PROCÉDÉ

Sous les murs d'une construction, sous des massifs de machines, sous une cheminée d'usine, on dispose convenablement un certain nombre de puits, que nous appelons aussi points d'appui ou pylônes.

Ils sont ensuite reliés, en leurs sommets, soit par des poutres, soit par des radiers en béton armé. Des tiges de fer ou d'acier, prises, pendant le bourrage, dans la masse des pylônes, sont rattachées aux armatures des poutres et radiers, en sorte que pylônes, poutres et radiers forment un tout solidaire, rigide, indéformable, capable de porter, avec la plus entière sécurité, les charges prévues (v page 31).

C'est dans le but d'exécuter tous ces travaux, avec les moyens les plus rationnels, que la Société a acquis une licence de concessionnaire des brevets Hennebique, à l'aide desquels elle exécute tous autres travaux en béton armé, tels que sous-sols étanches, planchers, ponts, réservoirs, canalisations, etc.

Notre procédé a été préconisé par le Congrès des Travaux Publics en 1900, il est admis et a été appliqué par le Génie militaire, par l'Etat, par le Département de la Seine, par la Ville de Paris, et, dans divers endroits, par les grandes compagnies de chemins de fer.

Dans son rapport général sur l'Exposition de 1900, M. Picard, commissaire général (pages 140, 141 et 149) dit

« Procédé spécial de fondations par compression du sol » « L'emploi des procédés ordinaires eût conduit à des dépenses très élevées. Aussi, l'Administration crût-elle opportun de tenter, conformément à la proposition de l'architecte en chef, un procédé nouveau et économique, imaginé par M. Dulac. Ce procédé consiste à donner aux terrains compressibles la résistance qui leur fait défaut, en y enchassant, sous l'action de la chute d'un lourd pilon, des matériaux incompressibles de petites dimensions.

« La méthode a parfaitement réussi, elle trouvait, d'ailleurs un chantier assez important pour couvrir les frais de matériel, notamment ceux des voies nécessaires au déplacement des appareils. Il convient de remarquer que cette méthode, constante en son principe, varie en ses modalités, selon la nature du sol.

« Eu égard au défaut de consistance du terrain, deux files de poteaux, les plus voisines de la Seine, furent fondées par le procédé Dulac, suivant un marché de gré à gré conclu avec MM. Dulac, Ducloux et Minut.

Une application intéressante a été faite tout récemment à Liège (Belgique) pour les fondations du palais des Beaux-Arts. A l'achèvement de ce travail, la Société a reçu l'attestation suivante :

« Nous avons l'honneur de vous exprimer toutes nos félicitations pour la célérité avec laquelle vous avez exécuté les fondations du palais des Beaux-Arts dont vous avez mené l'entreprise à bonne fin avant l'expiration du délai qui vous était accordé. Nous nous faisons un devoir de vous en remercier notre entière satisfaction. »

CONCLUSION

On peut donc considérer ce procédé de fondation comme réalisant un progrès très important en assurant aux constructeurs plus de sécurité et plus d'économie que par l'emploi des méthodes courantes.

Mais si son emploi est avantageux dans la construction du bâtiment, il est particulièrement à recommander pour l'exécution des fondations des ouvrages d'art dans les travaux publics, où l'obligation de pratiquer des fouilles ouvertes de dimensions importantes, de procéder à des blindages et à des époussements coûteux, lui assure, à tous les points de vue, des avantages économiques très sérieux. Il présente de plus, nous l'avons dit, celui non moins appréciable de supprimer dans une large mesure les chances d'accidents corporels qu'entraîne parfois l'exécution de travaux de cette nature par les moyens ordinaires.

Quelques travaux exécutés

PAR LE PROCÉDÉ S. L. DULAC

1^{re} *Usine S. L. Dulac* rue Voltaire, à Montreuil-sous-Bois, sur un remblai de décharges publiques d'une hauteur de 8 à 16 mètres, à l'emplacement d'anciennes carrières. Ce terrain, réputé impropre à la construction et vendu comme tel, porte maintenant d'importants bâtiments construits sur caves, de lourdes machines, une cheminée en briques de 35 mètres.

Succès complet : après huit années, aucune fissure ne peut être constatée.

2^e *Bâtiment d'administration de l'Exposition Universelle de 1900*, à l'angle du quai d'Orsay et de l'avenue Rapp, à Paris.

Architecte en chef M. Deglane, diplômé du Gouvernement.

Architecte M. Dulong.

Sables bouillants très inconsistants, au-dessous du niveau des eaux de la Seine. Sous-sol immergé. Profondeur moyenne 7 mètres.

3^e *Magasins de M. Goulard*, rue de la Roquette, à Paris.

Architecte M. Pérat.

Dans les anciens fossés de la Bastille. Gadoue visqueuse et fluente. Profondeur moyenne 8 mètres.

Ce terrain qui, primitivement, ne pouvait supporter le poids de la machine, porte maintenant une construction lourde, lourde surtout par les surcharges intérieures.

4^e *Fondations de la vaste et belle Usine des « Cycles Clément »*, quai Michelet, à Levallois-Perret (Seine).

Soutès à charbon de 130 mètres sur 12 m 50, à trois mètres en contre-bas du sol, au-dessous du niveau des eaux de la Seine.

Direction de MM. le capitaine Leneveu, directeur, et Nicolas, ingénieur.

Sables bouillants et immergés. Profondeur moyenne 7 mètres.

Travail important pour lequel il a été donné de très fortes résistances.

5^e *Prolongement des quais d'embarquement de gros matériel et de grosse Artillerie*. (Gare de Puteaux-Suresnes).

Remblai reposant sur un lit de sable en pente, à une profondeur moyenne de 5 mètres.

Pour la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest sous la direction de M. Spire, chef de section.

6^e *Fondations de l'usine de M. Champignoul*, ingénieur-constructeur, rue Michel-Bizot, à Paris. Une cheminée en briques de 30 mètres.

7^e *Fondations de l'Usine de MM. Bordet et Denis*, ingénieurs-constructeurs, rue Servan, à Paris.

Dans un ancien chantier de pierre. Première couche de 1 m. 20 très résistante, très dure. Au-dessous sur 6 mètres en moyenne : couche inconsistante.

8^e *Fondations du bâtiment d'Administration de l'Usine d'Electricité « Le Triphasé »* à Asnières (Seine).

Sur le bord de la Seine. Remblai et sable immergés.
Ingénieur-architecte : M. Friésé.

9° à 24° *Fondations de tous les Pavillons des Puissances Etrangères Italie, Turquie, Angleterre, Allemagne, etc., etc.*, à l'Exposition Universelle de 1900, sur les bas quais de la Seine.

Architecte : M. Ch. A. Gautier, diplômé du Gouvernement.

Terrains et remblais divers recouvrant une couche de vase. Fond solide à 7 et 8 mètres.
Résistance assurée et éprouvée 60 et 90 tonnes par point d'appui.

25° *Fondations de l'Usine Blancon*, à Pantin (Seine).

Architecte : M. Fernoux, président de la Société Nationale des architectes de France.

Sur d'anciennes carrières remblayées. Profondeur moyenne 8 mètres.

26° *Palais des Forêts, Chasse et Pêche (Exposition Universelle de 1900)* Sur le bas quai de la Seine (rive gauche) de 6 à 7 mètres de remblais quelconques : sablon, argile, vase, etc. à proximité de la Seine et au-dessous du niveau des eaux.

Architectes : MM. Tronchet et Rey, diplômés du Gouvernement

27° *Palais de la Navigation de Commerce (Exposition Universelle de 1900)*.

Mêmes conditions que le précédent. Mêmes architectes.

28° *Palais de l'Horticulture (Exposition Universelle de 1900)*, en partie sur le cours la Reine, en partie sur le bas quai.

Architecte : M. Ch. A. Gautier

Dans la vase et des remblais faits depuis quelques jours seulement. Résistance 60 tonnes par point d'appui.

29° *Palais de l'Arboriculture (Exposition Universelle de 1900)*, en partie sur le cours la Reine, en partie sur le bas quai.

Même architecte.

Mêmes conditions que le précédent.

30° *Palais de l'Economie Sociale et des Congrès Exposition Universelle de 1900*. Sur le cours la Reine près le pont de l'Alma.

Architecte : M. Mewès, diplômé du Gouvernement.

31° *Usines de la Société Parisienne des Eaux gazeuses et minérales*, rue François-Boivin (Grenelle, Paris)

Cette Usine qui couvre 4.000 mètres, est établie sur d'anciennes carrières remblayées de décharges publiques.

Une cheminée en briques de 38 mètres.

Hauteur du remblai de 8 à 10 mètres.

Architecte : M. Jacques Hermant, diplômé du Gouvernement.

32° *Pavillon de la Ville de Paris à l'Exposition Universelle de 1900*, sur le cours la Reine.

Architecte : M. Gravigny, diplômé du Gouvernement.

33° *Pavillon du Creusot à l'Exposition Universelle de 1900 (Quai d'Orsay)*. Sur le bord de la Seine, à 5 et 6 mètres en contre-bas du niveau de l'eau. Sur un ancien bras de la Seine, à courant souterrain.

Résistance par centimètre carré, 9 kilos.

Architecte : M. Bonnier

34° « *Globe Céleste* » (Exposition de 1900), dans l'emplacement de l'ancienne gare du Champ-de-Mars.

Sur un remblai de 7 mètres. Sur le bord de la Seine et à environ 4 mètres au-dessous du niveau des eaux.

32.000 tonnes à faire porter sur 4 points d'appui.

Résistance : 12 kilos par centimètre carré.

Architecte : M. Galeron, diplômé du Gouvernement.

35° « *Section Egyptienne* », à l'Exposition Universelle de 1900 (au Trocadéro).

Sur un remblai en pente de 5 à 12 mètres de hauteur.

Architecte : M. Dourgnon.

36° *Fondation d'un réservoir pour la Compagnie Générale des Eaux*, situé aux Lilas, près Paris.

Sur une ancienne carrière remblayée à 8 mètres de profondeur.

37° *Fondations de la Station Electrique de Meudon*. Sur un remblai de 6 à 7 mètres de hauteur, reposant lui-même, sur un sous-sol inconsistant. Près du Viaduc du Val, à Meudon.

Pour la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest.

38° *Fondations de l'Usine Photographique des Couleurs* à Asnières (Seine).

Dans une ancienne carrière remblayée de décharges publiques. Hauteur du remblai : 8 à 10 m.

39° *Importants abattoirs de la Ville de Maëstricht* (Hollande).

Sur 8 mètres de terrains d'alluvion et de remblais inconsistants et immergés, entre la Meuse et un canal à proximité de ceux-ci. Travaux exécutés pour le compte de la Ville.

Une cheminée en briques de 33 mètres.

Ingénieur directeur : M. Bauduin.

40° *Fondations de la station de Villiers-Montbarbin* (Seine-et-Marne).

Dans un terrain d'alluvion, complètement immergé. Pour la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

41° *Fondations d'une Usine d'Electricité*, à Rouen.

Terrain d'alluvion immergé (dans la vallée de la Seine).

42° *Maison de 6 étages*, rue du Lycée-Molière, à Paris.

Carrières remblayées. Terrain partiellement immergé.

Charge 30 tonnes par mètre courant de fondation avec pylônes et poutres d'entretoisement en béton armé.

Mme Vve Uguet, propriétaire.

Architecte : M. M. Jolivald.

43° *Fondations de 4 silos à blé*. (Minoterie Russo à Flers de l'Orne.)

Terrain de remblai reposant sur des alluvions inconsistantes.

44° *Usine et maison de rapport de 6 étages* rue Damrémont, à Paris.

Sur 12 mètres de remblai.

Ingénieur-architecte : M. Harispe.

45° *Usine « La Perle Parisienne »*, rue du Landy, à Chichy.

Sur 20 mètres de terrain de remblai quelconque et récent.

Architecte : M. Chaize.

46° *Maison d'habitation, hangars et écuries*, rue de la Véga, à Paris.

Sur terrain de remblai récent, reposant sur remblais plus anciens et alluvions.

47° *Caserne de Gendarmerie*, à Montreuil-sous-Bois.

Terrain de remblais et alluvions, en partie sur un ancien ruisseau. Gadoue fluente. La nappe d'eau est à 1 m. 60 en contre-bas du sol.

Pylônes d'appui descendus à environ 7 mètres.

Radier, caves et planchers en béton armé établis au-dessous de la nappe d'eau et reposant sur les pylônes de fondation.

Architecte : M. Roussi, diplômé du Gouvernement, contrôleur des travaux d'architecture du département de la Seine.

48° *Fondations de la Distillerie de MM Simonot et Cie, à Cambrai.*

Terrains rapportés sur argile verte fluente et tourbe. Fond solide à environ 6 mètres. La nappe d'eau se trouve à 0 m. 20 du fond de fouille, c'est-à-dire que toute la perforation des puits est en terrain immergé.

Architecte : M. Fortier, diplômé du Gouvernement.

49° *Fondations de la Chapelle Arménienne, rue Jean-Goujon, à Paris.*

Terrains rapportés, sur glaise et tourbe.

Profondeur du bon sol variant de 8 m. 50 à 12 m. 40.

Très fortes résistances assurées.

Architecte : M. Guilbert, diplômé du Gouvernement.

50° *Importantes fondations pour la reconstruction de l'Imprimerie Nationale, rue de la Convention, à Paris-Grenelle.*

Terrains de remblais immergés, 1.200 points d'appuis, de 6 à 10 m. 50. Nappe d'eau à 4 mètres en contre bas du sol.

Ingénieur : M. Ribourt, professeur à l'École Centrale, à Paris.

Architecte : M. Didelot, diplômé du Gouvernement.

51° *Fondations d'une maison de rapport à Gennevilliers. Ancienne carrière remblayée, terrain immergé.*

Architecte : M. Rameau.

52° *Nouvelles Casernes d'Infanterie à Avignon (Vaucluse).*

Fondations de 7 bâtiments.

En terrain d'apports sur alluvions immergées.

Propriétaire : Génie militaire.

Direction de M. le commandant Mourral et de M. le capitaine Silie.

53° *Construction à Epernay (Marne) d'un important bâtiment, à usage de caves, celliers, rincerics, le tout en béton armé, piliers extérieurs, linteaux et planchers dont celui du rez-de-chaussée avec poutres en arc et celui du premier étage avec poutres droites.*

Portée 13 mètres, avec surcharges de 3.000 kilogs au mètre carré.

Surface couverte environ 5.000 mètres.

Propriétaire : Maison Moët et Chandon.

Directeur : M. Goubault.

Ingénieur : M. Lebègue.

Architecte : M. Piquart, diplômé du Gouvernement.

54° *Usine-fonderie au Cours de Vincennes, n° 86, à Paris.*

Grosse limousinerie de meulière avec façades en pierre de taille et brique apparente à plusieurs tons formant décoration soignée, le radier général en sous-sol, avec cloisons de distribution, plancher haut, à surcharge de 3.000 kilogs, et galeries circulaires, à mi-étage, en béton armé.

Propriétaire : M. Colombier, Ingénieur-constructeur.

Architecte : M. Borgeaud, diplômé du Gouvernement.

55° *Fondation d'une fonderie à Sous-le-Bois (Nord), pour la Société métallurgique de Senelle-Maubeuge.*

Sur un terrain composé de scories de forges, partiellement immergé et recouvrant des terrains d'alluvion.

Administrateur-délégué : M. le baron d'Huart, ingénieur E. C. P.

56° *Usine de teinturerie de coton, à Vitry (Seine).*

Construction en béton armé, 2 étages avec terrasse.

Propriétaire : M. Frings.

57° *Fondations d'une maison de rapport de 6 étages, rue Damrémont, à Paris.*

MM. Sauvage et Sarrazin, architectes-propriétaires.

58° *Planchers en béton armé à la gare d'Epernay*

Pour la Compagnie des chemins de fer de l'Est, Ingénieur : M. Humbert.

59° *Fondations d'une gare à marchandises, au Caire (Egypte), dans les alluvions du Nil. Au-dessous de la cote des basses eaux.*

Pour la Compagnie des chemins de fer.

Concessionnaires des procédés de fondations : MM. Padova et L. Rolin.

Ingénieur : M. Servin au Caire

60° *Fondations du pont Saint-Roch, à Avignon, sur rivière la Sorgue.*

Pour la Compagnie des chemins de fer P.-L.-M.

Ingénieurs : MM. Ruffieu et Mercier.

61° *Fondations du Palais des Beaux-Arts, à Liège (Belgique), environ 240 poutres d'appui exécutées en 42 jours.*

En terrain immergé, à proximité de la Meuse.

Propriétaire : la Ville de Liège.

Architectes : MM. Soubre et Hasse.

Ingénieur : M. Bada.

62° *Fondation d'un bâtiment sur terriens pour la Société Cockerill, à Seraing (Belgique).*

Ingénieur M. Habets.

63° *Construction complète de l'Ecole Spéciale des Travaux Publics, à Arcueil-Cachan.*

Propriétaire : M. Eyrolles, Ingénieur.

Architecte : M. Robinot.

64° *Usine pour la conservation des œufs, à Aubervilliers (Seine).*

Travaux importants en béton armé. Construction complète.

Propriétaire : M. Plissart.

M. Plissart fils, Ingénieur.

En cours d'exécution :

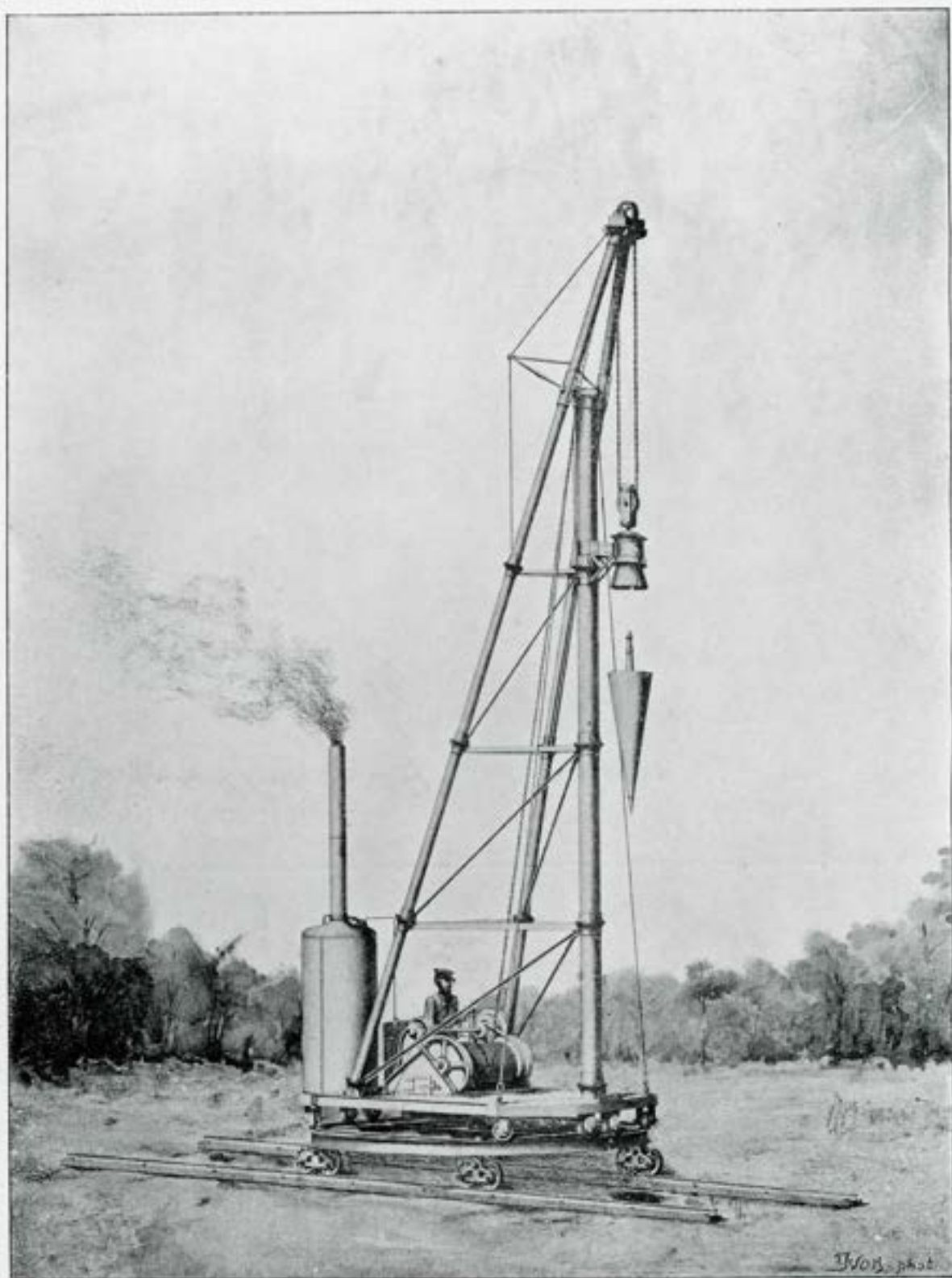
65° *Fondations des bâtiments composant l'école professionnelle de Tunis avec pylones de fondations et poutres en béton armé.*

Propriétaire Régence de Tunis.

Ingénieur M. Fages de Latour, directeur général des travaux de la Régence de Tunis.

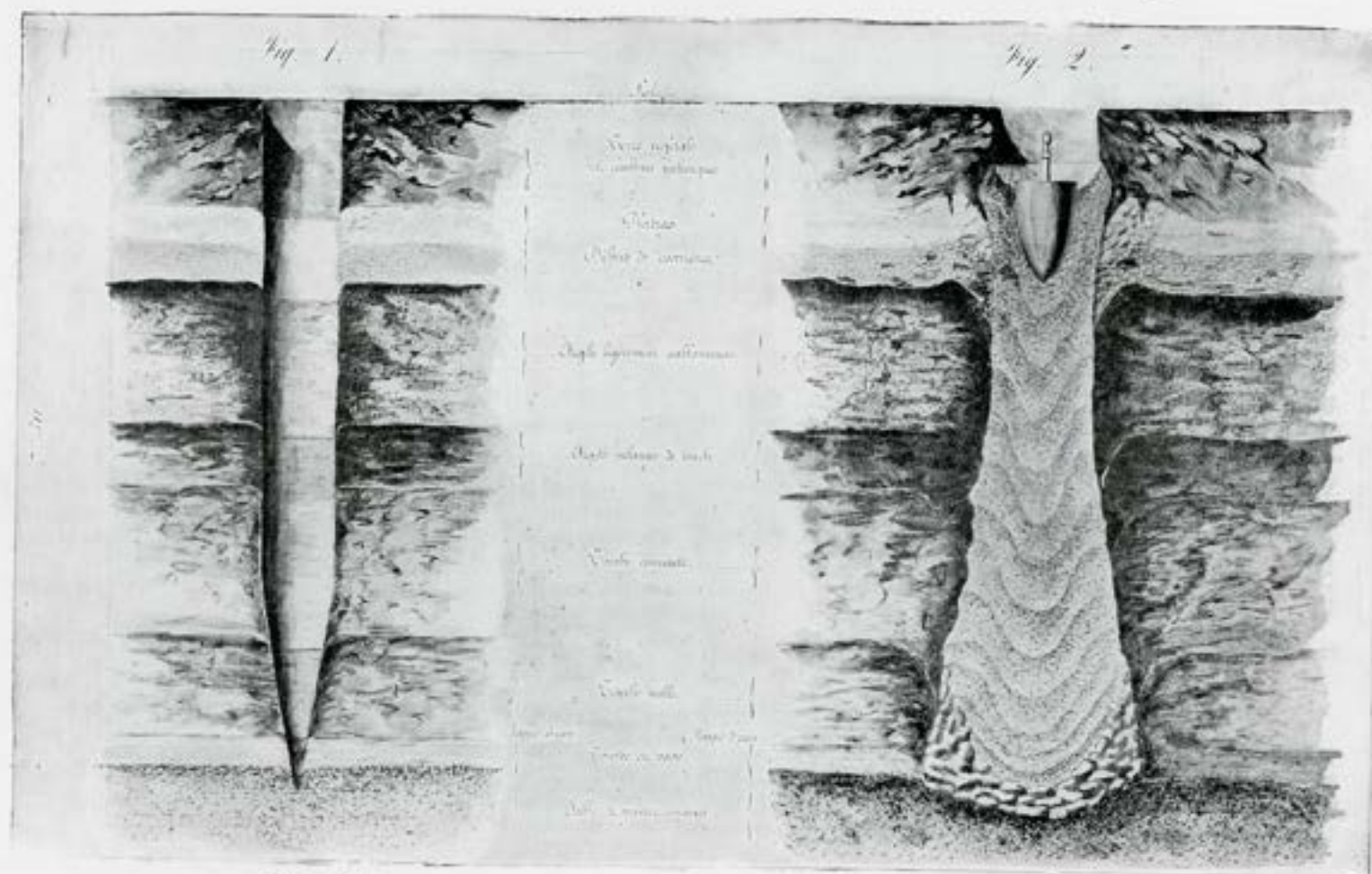
66° *Immeuble de la Société Belge Egyptienne de l'Esbekieh*

M. Fabricius-Pacha, Architecte



Outillage perforation

TYPE DE FONDATION PAR COMPRESSION MÉCANIQUE



Puits perforé

Puits bétonné
montrant le report de la charge sur le solide et l'adhérence
aux parois du sol

PYLONES JUMELÉS



Rue de la Vierge à Paris

Planche n° 2. — DEUX PYLONES ACCOLES, battus à 1 m. 70 d'axe en axe, à Paris, et photographiés après l'exécution d'une tranchée pratiquée pour les mettre à découvert. On voit l'épanouissement considérable des pylônes. Celui de gauche est bourré avec de gros matériaux : des pavés, de grosses pierres et du mortier de chaux hydraulique. Celui de droite, bourré avec des matériaux concassés et du mortier de ciment. On remarque que le premier a un plus grand diamètre et qu'il est plus excentré. Nous avons souvent constaté que plus les matériaux sont de petites dimensions, plus les pylônes sont réguliers et moins ils sont empâtés, c'est pourquoi nous commençons ordinairement le bourrage de nos puits avec de gros matériaux, comme le montre la planche n° 1 *bis*.

A remarquer que les matériaux bourrés se rejoignent et se pénètrent par la base sur environ 2 m. de hauteur. La terre restée entre les parties supérieures des pylônes était tellement comprimée, durcie, qu'elle avait une résistance presque égale à celle des bétons. On voit clairement qu'en rapprochant suffisamment les pylônes, on peut arriver à constituer, dans le sous-sol, un véritable radier général capable d'assurer une étanchéité défiant l'effet désastreux des infiltrations, dans les terrains immergés ou parcourus par des veines d'eau, ou encore soumis aux fluctuations de niveau des nappes aquifères.

Planche n° 3. UN DE NOS CHANTIERS DES BORDS DE LA SEINE : celui des fondations des Palais des Puissances étrangères à l'Exposition de 1900.

Sur la rive gauche de la Seine entre les ponts de l'Alma et des Invalides.

La perforation y était descendue à 4 et 5 mètres au-dessous du niveau de l'eau, ce qui prouve comme nous le disons page 13 que nous pouvons faire des puits étanches dans des sols immergés.

(Voir page 15 explications données par le rapport de M. Picard, commissaire général.)

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900



Palais des Puissances Étrangères sur les bords de la Seine

CASERNE DE GENDARMERIE DE MONTREUIL-SOUS-BOIS



Exécution des puits de fondation



Confection des sous-sols étanches et des planchers en béton armé

Planche n° 4 CASERNE DE GENDARMERIE DE MONTREUIL-SOUS-BOIS. Elle est édifiée sur un terrain de remblai des plus hétérogènes et sur le versant de l'une des rives d'un ancien ruisseau remblayé, mais non complètement desséché. La perforation des puits a été faite du haut du sol primitif, leur bourrage a été arrêté à 3 mètres au-dessous, à la hauteur prévue comme fond des caves. Les fouilles en déblai des caves ont été faites ensuite.

La profondeur des puits a varié de 7 à 9 mètres, cette profondeur augmentant à mesure qu'on se rapprochait du thalweg de l'ancien ruisseau.

A la perforation on a trouvé tantôt des amas de pierrailles, tantôt de la glaise jaune dure, de la glaise verte fluente, de la tourbe, de la gadoue noire et nauséabonde. Partout uniformément, à 1 m. 50, la nappe d'eau a été rencontrée. Deux puits faits à la main, à environ 6 mètres de distance de l'emplacement de la construction, creusés à 2 mètres seulement de profondeur, ont fourni, sans tarir, toute l'eau nécessaire à nos machines et à la confection des mortiers. Malgré la présence de l'eau, nous avons pu descendre tous nos puits à 6 ou 7 mètres de profondeur, tout en les conservant étanches un temps assez long pour permettre leur bourrage à sec. En outre, la fouille des caves a ensuite été exécutée à la profondeur de 3 mètres, c'est-à-dire à 1 m. 50 en contre-bas du niveau de la nappe d'eau, sans qu'aucune infiltration ne se soit produite au travers des couches supérieures du sol suffisamment comprimées, dans les intervalles des puits, pour s'opposer à l'envahissement des eaux.

Nous avons constaté là, une fois de plus, que les vibrations produites par la chute des piliers n'ont aucune action sensible sur les constructions voisines, même très rapprochées, en effet, à proximité de nos puits (moins de 1 m. 50) se trouvait une vieille construction qui resta debout, sans fissure, sur le bord de la fouille des caves. Cette constatation avait déjà été souvent faite, notamment rue de la Roquette, au milieu des vieilles constructions du passage Saint-Sabin, puis au bâtiment d'administration de l'Exposition de 1900, où nous avons battu des points d'appui à 2 mètres de bâtiments encore existants et qui, depuis fort longtemps, étaient tellement fissurés, que certains linteaux de fenêtres menaçaient de passer dans œuvre.

Tous nos pylônes ont été reliés par un radier général en béton armé, supportant des murs avec contreforts surmontés eux-mêmes de poutres et d'un plancher également en béton armé cet ensemble forme une véritable boîte cloisonnée, absolument étanche, bien que descendue à 1 m. 50 au-dessous de la nappe d'eau, et qui porte actuellement toute la maçonnerie de la superstructure.

Planche n° 5. — PAVILLON DU CREUSOT Il a été construit sur le quai d'Orsay à 6 m. à peine du bord du quai. La perforation des puits a montré qu'en cet endroit, le sous-sol était traversé par une véritable rivière souterraine, à courant très rapide, qui vient se jeter dans la Seine par une infinité de petits canaux en traversant les couches d'apport qui recouvrent le gravier.

Il résulte de renseignements recueillis à ce sujet, que l'emplacement affecté au pavillon était juste au-dessus du confluent de l'ancien bras de la Seine qui limitait jadis l'île des Cygnes.

La fondation, épousant la forme du contour extérieur de la coupole, présentait la disposition indiquée sur le dessin. Dans la partie A B C D, on a disposé 3 rangées de puits, en quinconce, espacés de 1 m. 20 et 1 m. 50 d'axe en axe. La partie circulaire, de 5 m. 40 de largeur, comportait également 3 rangées de puits répartis comme il est figuré, leur espacement variait de 2 m. 20 à 5 m. 50. Dans cette région, la fondation avait à supporter une charge de 9 kg. par centimètre carré, dans la partie droite A B C D la charge devait atteindre jusqu'à 16 kg. et c'est ce qui explique le très grand rapprochement des pylônes. La profondeur moyenne a été de 7 m. 50. La coupe indique la nature des terrains traversés. On s'est arrêté à la couche de sable pur à gros grains à 5 mètres environ au-dessous du niveau de la Seine. Les puits les plus rapprochés du bord de l'eau ont exigé un soin tout particulier, ils ont demandé 2 à 3 heures de perforation et de 7 à 10 heures de bourrage, quelques-uns ont absorbé jusqu'à 9 m. cubes 700 de béton.

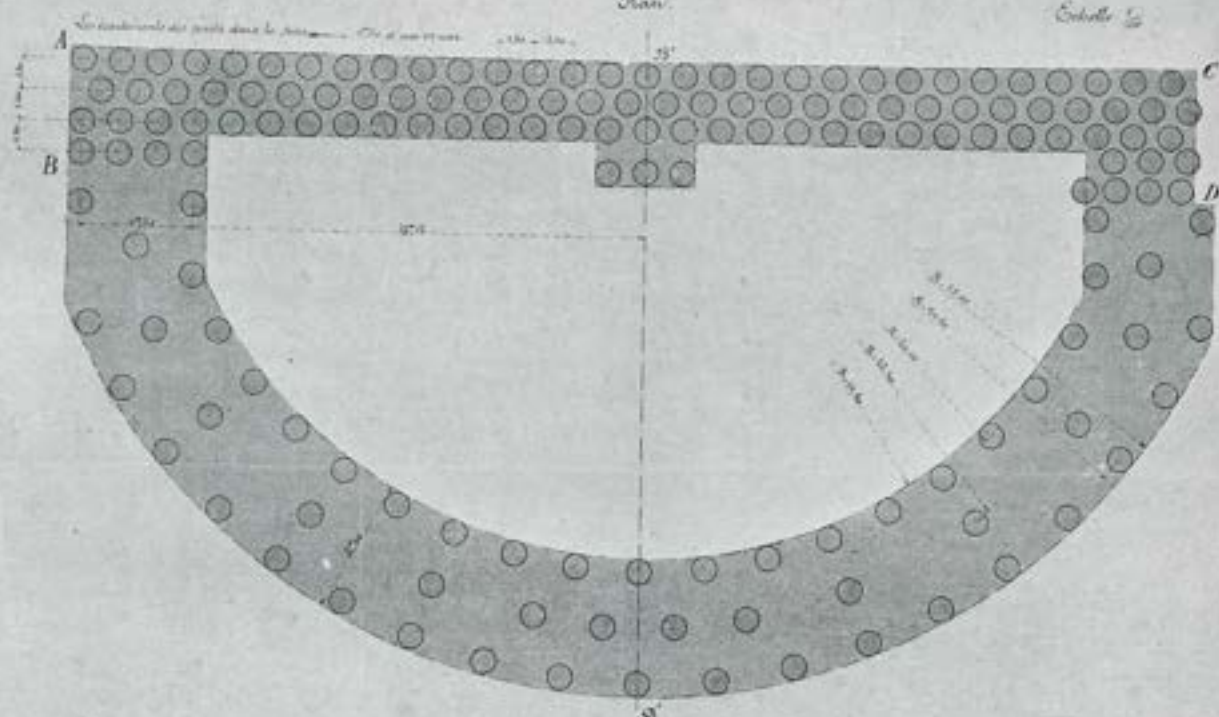
Tous les puits ont été armés de 4 tiges verticales de fer de 20 m/m de diamètre, et la surface de la zone occupée par les puits, sur tout le périmètre de la fondation, a été recouverte d'un radier en béton armé de 0 m. 90 de hauteur, dans lequel ont été noyées les armatures verticales des pylônes, ces armatures ont été, en outre, rattachées à celles du radier.

— Exposition universelle de 1900. —

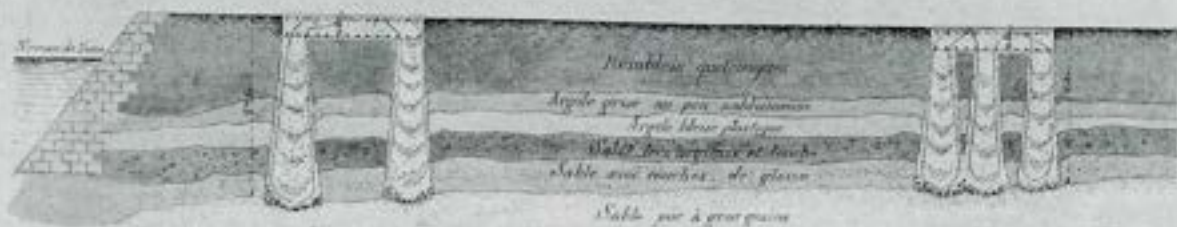
— Fondations du pavillon du Crusot —

Khan

Ensemble 5

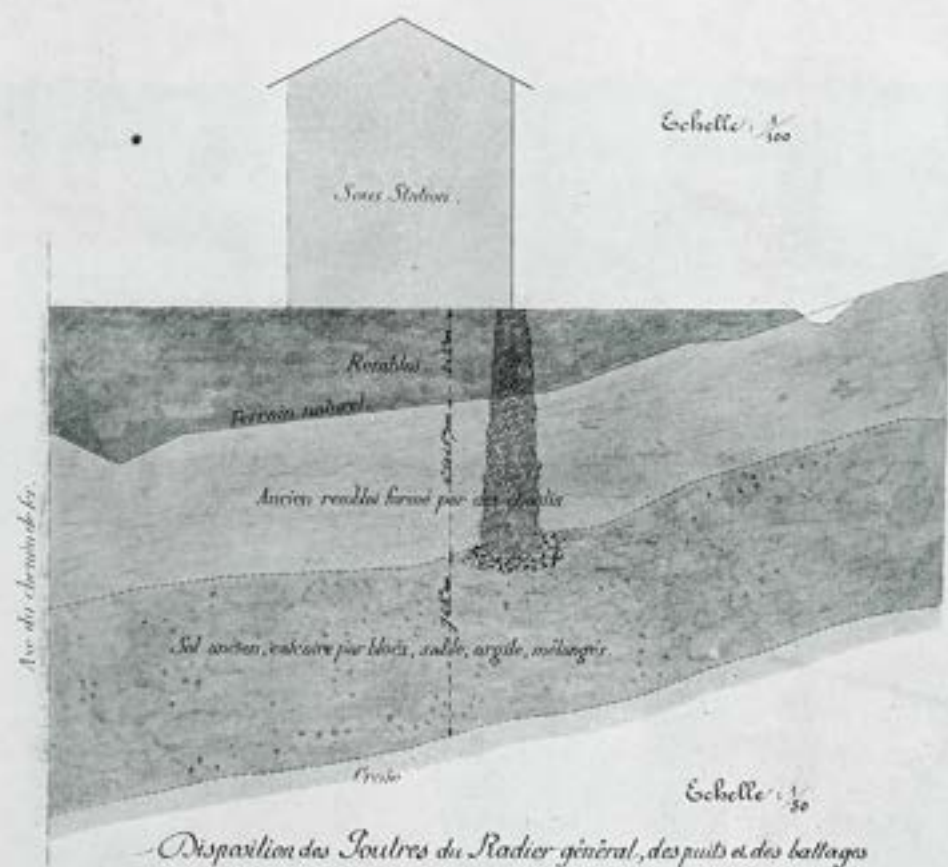


Coupe volant 435



Chemin de fer de l'Ouest

Fondations de la sous-station électrique de Meudon



Disposition des poutres du Radier général, des puits et des ballasts

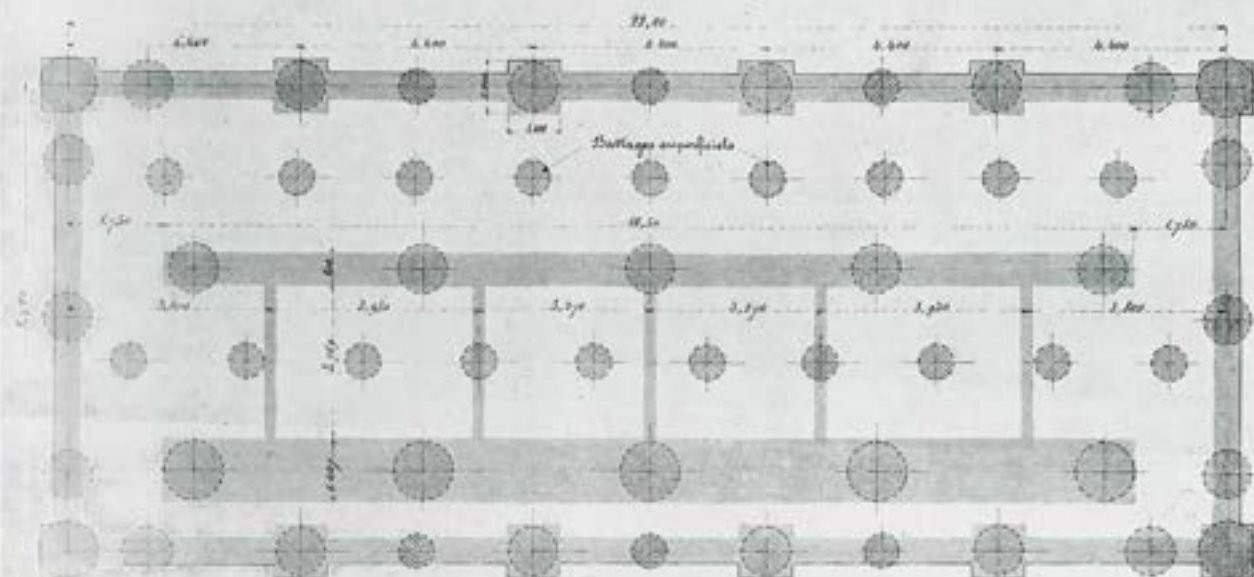


Planche n° 6 STATION ÉLECTRIQUE DE LA COMPAGNIE DE L'OUEST A MEUDON — Le terrain de l'emplacement choisi pour l'usine a la constitution géologique suivante

A la partie supérieure, un remblai de 3 à 5 mètres d'épaisseur, datant de 6 mois à peine, et fait exclusivement de marne provenant des déblais du tunnel de Viroflay, au-dessous, un ancien remblai de 3 m. 50 à 6 mètres, formé d'éboulis de constitution marneuse, au delà on rencontre l'ancien sol constitué par des blocs calcaires mélangés de sable et d'argile, enfin, au-dessous de ce banc de 7 mètres environ d'épaisseur, se trouve la craie.

Pour atteindre cette dernière couche, il eût fallu construire des puits de 15 à 17 mètres de profondeur, mais on a jugé inutile de descendre aussi bas et l'on s'est arrêté au niveau de l'ancien sol, bien qu'en plus de la stabilité du bâtiment proprement dit, il y eût encore à assurer celle du radier général de 21 mètres sur 8 m 50 considérablement surchargé par les machines très inégalement réparties.

Des soins particuliers ont été apportés à l'assise des puits, le bourrage à la base a été très énergique, de façon à obtenir une sorte d'enrochement artificiel, élargissant beaucoup la surface d'appui. Des barres de fer de 20 m/m de diamètre ont été noyées verticalement dans le béton et rattachées ensuite aux armatures du radier général.

Sur tout le pourtour du bâtiment, les puits ont été espacés de 4 m 40 d'axe en axe et leur diamètre, par le bourrage, porté à 1 m 20 en moyenne. Une poutre en béton armé les a reliés, à la partie supérieure.

A l'intérieur, il a été battu deux autres files de puits espacés longitudinalement de 4 m 25 et transversalement de 3 m 75, reliés aussi entre eux par des poutres en béton armé.

Ces poutres longitudinales ont été elles-mêmes reliées par 5 poutres transversales et c'est sur ce treillis qu'on a fait reposer le radier général en béton armé. Par surcroît de précaution, le remblai supérieur très récent a été durci par un grand nombre de battages superficiels. Il va sans dire que le radier général a été rendu solidaire des poutres par des armatures spéciales. Grâce à ces précautions, il ne s'est pas manifesté le moindre mouvement.

Planche n° 7 — MAISON DE RAPPORT — Nous avons exécuté les fondations de plusieurs maisons de 6 à 7 étages à Paris. Cette planche représente l'une de celles-ci, située rue du Lycée-Molière, à Passy. Cette maison repose sur un sol mi-partie en remblai, mi-partie en terrain vierge. Les terres rapportées étaient des plus hétérogènes et parcourues par des veines d'eau très abondantes qu'il nous a fallu aveugler, souvent plusieurs fois.

Nos fondations, faites à fond de fouille, ont été descendues de 8 à 9 mètres jusque sur le banc de marne. Nous avons trouvé la nappe d'eau invariablement à 5 mètres.

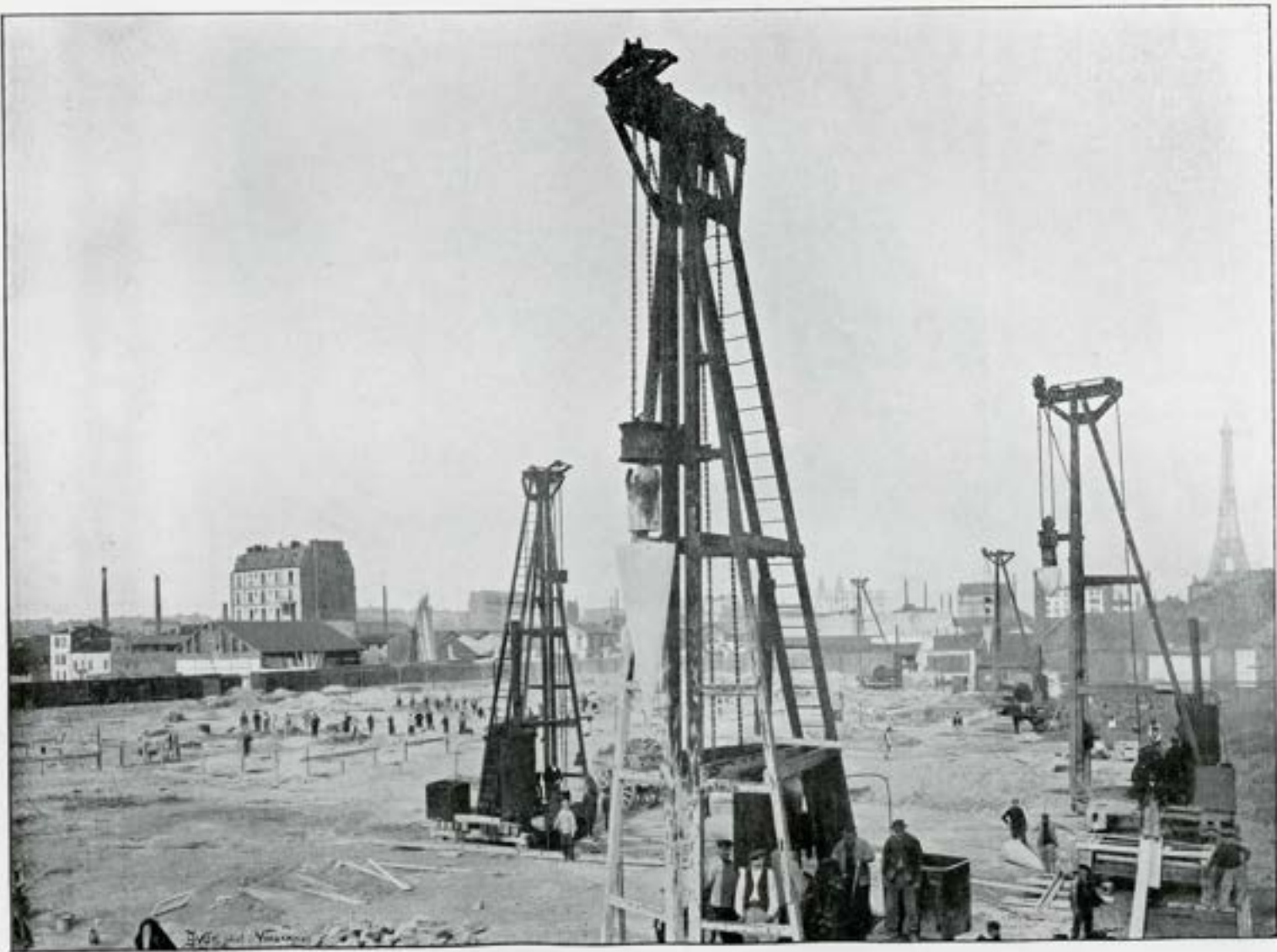
Les gros murs et les refends de cette importante construction reposent sur des poutres-semelles en béton armé qui entretoisent et rendent solidaires tous les pylônes.

Il est à constater que les maisons voisines, fondées par d'autres procédés, sont généralement lézardées.

Celles que nous représentons a 6 étages et un sous-sol avec murs de soutènement; ce qui représente 7 étages.



Maison de rapport à Passy



Chantier avec 5 sonnes tes en travail

(Rue de la Convention, Paris-Grenelle)

Planche n° 8 RECONSTRUCTION DE L'IMPRIMERIE NATIONALE RUE DE LA CONVENTION A PARIS-GRENELLE. Ces fondations ont exigé environ 1.200 points d'appuis qui ont été exécutés, par 5 machines travaillant nuit et jour, en 70 jours.

L'emplacement de la future Imprimerie Nationale est limité par les rues de la Convention, Virginie, Léontine et de Javel. C'est une ancienne carrière à sable remblayée de décharges publiques (1). Ce terrain est aquifère. La nappe d'eau souterraine qui est en communication directe avec la Seine, varie de hauteur selon que les eaux de celle-ci haussent ou baissent. A l'époque où nous avons exécuté nos travaux, le niveau moyen de la nappe d'eau souterraine était à 4 mètres au-dessous du niveau du sol remblayé.

La profondeur de nos puits ayant varié de 6 mètres à 10 m 30, nous avons donc perforé les puits et établi nos pylônes de béton de 2 mètres à 6 m. 50 en contre-bas de la nappe d'eau.

Certains points de la fondation avaient à supporter de 4 à 500 tonnes. Nous avons réuni en ces points 4 ou 6 pylônes qui ont été reliés, en leurs sommets soit par des poutres, soit par des radiers ou semelles en béton armé, capables de porter ces charges avec la plus entière sécurité.

(1) Ces remblais sont des plus hétérogènes, généralement de très mauvaise qualité et surtout très perméables. Le banc de gravier sur lequel nous nous sommes appuyés était, en certains endroits, recouvert de tourbe ou de gadoue.

PONT SAINT-ROCH A AVIGNON (Vaucluse)

pour doublement des voies de la Compagnie des Chemins de fer P.-L.-M

Planche n° 9 — Ce pont franchit un chemin vicinal, puis la rivière « La Sorgue ». Pour l'exécution de l'allongement projeté nous avons eu à faire les fondations des deux culées et de la pile située entre le chemin et la rivière.

Pour la culée côté Lyon, étant placés dans un espace très restreint, entre le remblai du chemin de fer et une maison appartenant à la Compagnie, nous avons eu à traverser sur environ 4 mètres, une terre argileuse, très dure sur le premier mètre et de plus en plus compressible au fur et à mesure qu'on s'enfonçait dans la nappe aquifère; ensuite, sur environ 1 mètre, nous avons trouvé de la tourbe et de la vase absolument fluentes. Les pylônes de béton ont été assis sur le banc de gravier, à environ 5 au-dessous du sol.

Les difficultés pour la pile étaient les mêmes que celles ci-dessus, avec cette aggravation que certains points d'appui étaient tout au bord de l'eau.

Pour la culée côté Marseille, presque tous les points d'appui se trouvent dans le lit de la rivière. Nous avons dû faire un batardeau, pour assécher la rive gauche. Par-dessus ce batardeau a été établi un échafaudage allant d'une rive à l'autre et que montre la photographie ci-contre. Sur cet échafaudage la machine a été installée. La plupart des points d'appui ont été battus, dans la vase liquide, pour cela, il a fallu substituer à cette vase un sol composé de terre argileuse comprimée capable de résister aux pressions de l'eau environnante. Cette opération devant se faire lentement, par petits coups, avec de très faibles hauteurs de chute du pilon était évidemment laborieuse, mais elle a permis de traverser la vase liquide avec des puits absolument étanches et d'aller trouver le gravier. Au moment précis où le pilon arrivait au gravier, l'eau montait par sous-pression et il fallait se hâter de l'arrêter par un premier et énergique bourrage de béton dur.

Aussi bien pour la pile que pour les culées, les têtes des puits ont été recouvertes d'un radier de béton sur lequel reposeront les maçonneries du pont et celles des murs en ailes.

PONT SAINT-ROCH



Fondations des culées

PONT SAINT-ROCH A AVIGNON



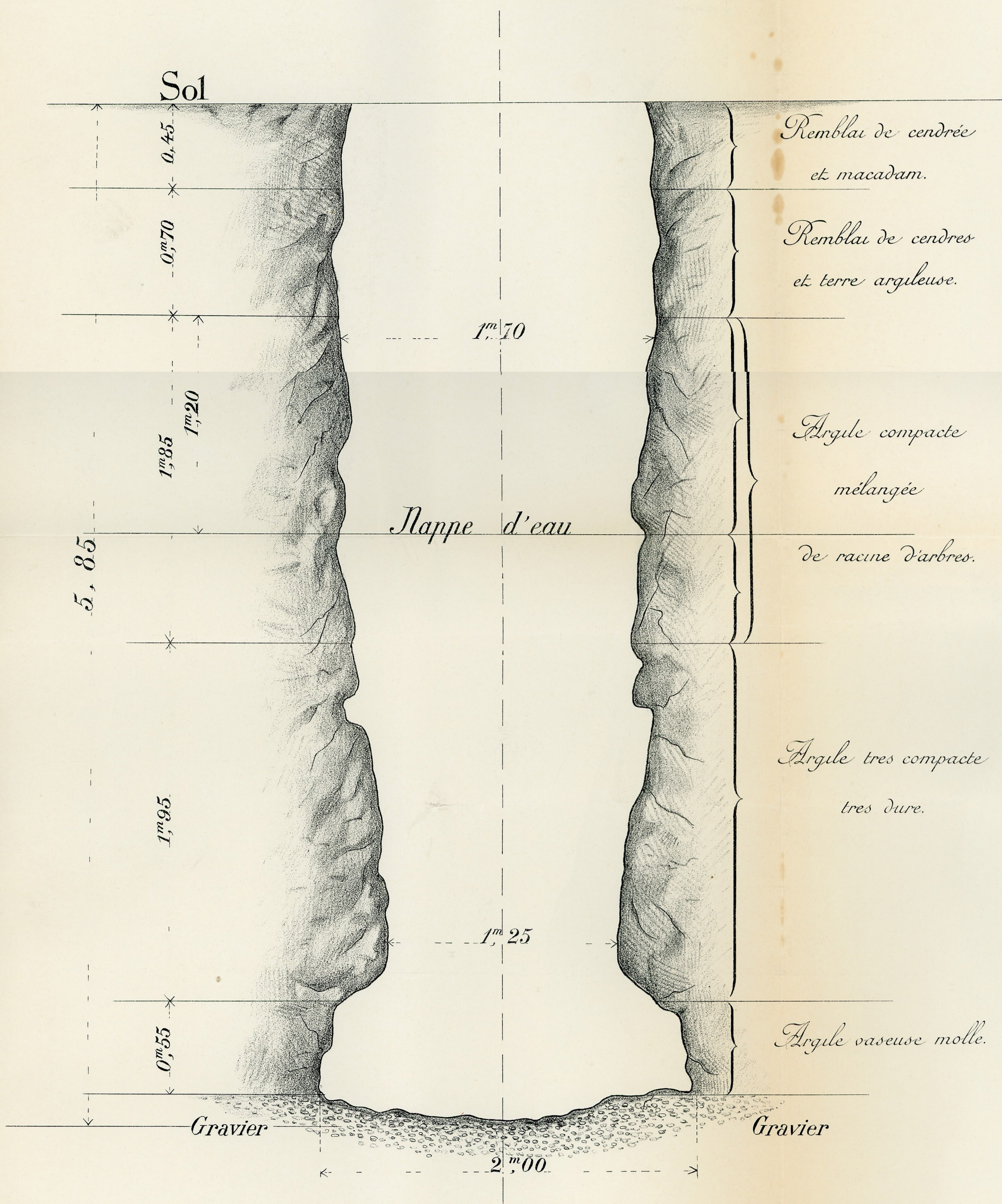
Fondation de la Palce Propriétaire, C^e des Chemins de Fer P.-L.-M.



Pylône de Fondation

Exécuté au Palais des Beaux-Arts, à Liège.

Echelle 0.05 p. m.



Pylône exécuté au Palais des Beaux-Arts

A LIÈGE

Découvert huit jours après son exécution

Le puits a été creusé à environ 10 mètres de la rivière de l'Ourthe, tout le terrain avoisinant étant en communication directe avec le cours d'eau. Dans cette partie, le terrain étant particulièrement résistant à cause de sa composition très argileuse et de la présence de nombreuses racines des arbres qu'on venait d'abattre tout récemment.

Le pylône, mis à nu, est des plus intéressants

Dans le bas, où l'on a trouvé une couche de vase molle, l'épaulement des matériaux bourrés a atteint 2 mètres de diamètre. Puis, il y a eu étranglement jusqu'à 1^m25 dans la partie la plus dure du terrain. Ensuite, le pylône s'élargit, au fur et à mesure qu'il s'élève, en sorte que, faisant coin, il est supporté par la masse du terrain environnant, lequel a été solidifié lui-même par compression latérale, puisque le puits a été perforé, sans enlèvement de terres, par refoulement de celles-ci.

Le pylône, très rugueux à sa périphérie, a pénétré violemment dans sa gaine de terre avec laquelle il fait absolument corps, sans décollement possible.

Un tel point d'appui, fait en béton de ciment et de silex, extrêmement comprimé, reposant sur le gravier qui a été lui-même tassé, pourrait résister à une charge statique de plus de 300 tonnes.

Il est à remarquer que le puits, creusé 3 mètres au-dessous de la nappe aquifère est resté étanche. Qu'ensuite, la fouille de découverte a été exécutée sans que l'eau ne vint que par suintements. Ce qui prouve que par la compression énergique les parois étaient très calmatées.

Le Directeur-administrateur de la Société anonyme
Fondations par compression mécanique du sol,

DU CLOUX

Liège, le 5 Février 1904.

Légende.

Après perforation, le puits avait un diamètre de 0^m50.

Diamètre du pilon bourreur 0^m65.

Poids 2° 1,500 k^m

Hauteur de chute, au-dessous du sol, 8^m00.

