

Fig. 1. — *Vue perspective du bâtiment des Instituts de Chimie et de Métallurgie après achèvement.*

Fondations des nouveaux bâtiments des Instituts de Chimie et de Métallurgie de l'Université de Liège.

LE présent article est consacré à la description des travaux de fondations récemment exécutés pour les Instituts Universitaires de Chimie et de Métallurgie du Val-Benoît. Il convient de situer ces travaux parmi l'ensemble dont ils font partie.

A l'instar de l'Université de Bruxelles, l'Université de Liège, trop à l'étroit dans ses locaux actuels, sera dotée d'un superbe ensemble de constructions nouvelles affectées aux besoins de la Faculté Technique. Ces constructions, qui seront exécutées aux terrains du Val-Benoît, grouperont les Instituts de Mécanique, de Sciences Minérales, de Génie Civil, de Thermodynamique, de Métallurgie et de Chimie. La construction qui abritera ces deux derniers Instituts est seule en cours d'exécution. Elle est située à l'emplace-

ment de l'ancien champ de glace. L'Abbaye qui existe à proximité, sera transformée en une vaste maison d'étudiants, et une immense plaine de sports sera aménagée à ses abords immédiats.

Nous avons pu admirer dans la maquette et les croquis perspectifs, la belle architecture de ces Instituts de Métallurgie et de Chimie. Tout d'abord, un bâtiment à charpente métallique en forme de U, composé d'un corps principal de 100 mètres de longueur sur 11 mètres de largeur, et, perpendiculairement, de deux ailes d'une longueur de 70 mètres sur une largeur de 16 mètres. Ensuite, entre ces deux ailes, et parallèlement au corps principal, un important bâtiment à ossature en béton armé. Le bâtiment en charpente métallique sera réservé aux laboratoires, aux salles de collections, aux cabinets des professeurs;

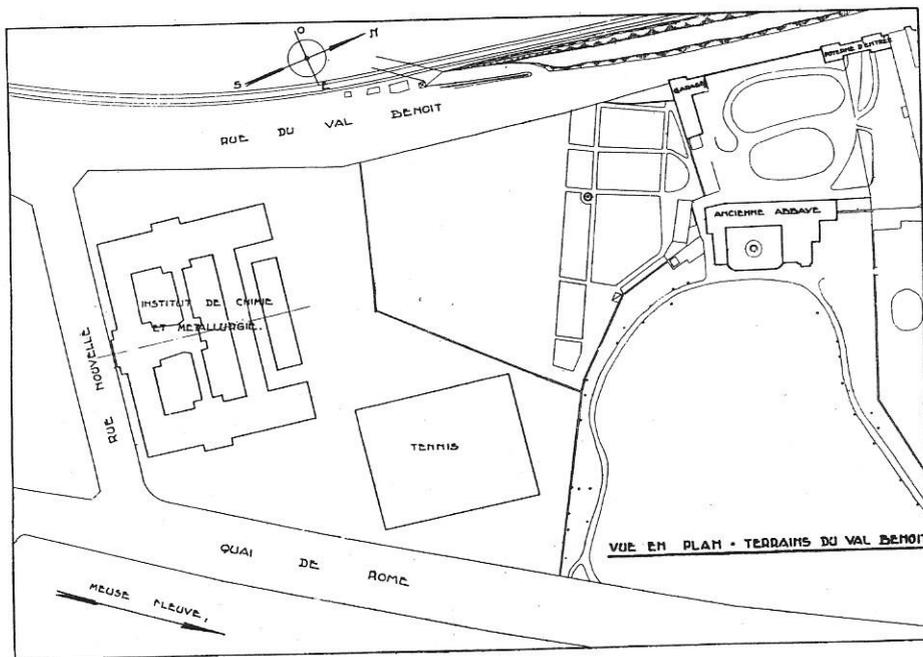


Fig. 2. — Vue en plan des bâtiments.

le bâtiment en béton armé contiendra la majeure partie des auditoires. Ces bâtiments comportent un rez-de-chaussée et deux étages. La toiture terrasse, aisément accessible, pourra servir éventuellement de piste de jeux ou de sports.

Pour la vue : un jeu très sobre de volumes et de matières, au moyen de lignes horizontales larges et accentuées, de meneaux larges mais plus effacés, de baies très vastes.

De l'ordre, de la clarté : la révélation immédiate, à l'esprit et au cœur du spectateur, de la pensée de l'artiste.

Aucune surcharge, aucune complication : la révélation sincère du but et des moyens de réalisation; de l'ordre dans les volumes par la distribution logique des locaux; de l'agrément par de vastes pièces largement éclairées; le sentiment d'adaptation parfaite au milieu, en l'occurrence l'enseignement universitaire : la juxtaposition de l'ordre et de la discipline de l'enseignement d'un côté, avec d'autre part la clarté, l'allant et la jeunesse du milieu. L'allant et les vues généreuses aussi de ceux sous l'impulsion desquels cette belle œuvre aura surgi. Nous n'avons pas eu l'avantage de jouir des leçons de M. le Professeur Puters,

l'architecte des Instituts de Chimie et Métallurgie, mais à cette œuvre, nous devinons l'esprit qui y préside.

L'étude de l'ossature et la surveillance des travaux a été confiée à une Direction Technique dirigée par M. Campus, professeur du cours de Génie Civil et d'Hydraulique à l'Université de Liège, assisté de MM. Spoliansky et Peerelman, Ingénieurs. Il apparaît que là aussi, il a été fait une large part à la conception et à la réalisation des solutions imposées logiquement par les problèmes à résoudre. A preuve, les caractéristiques des portiques à étages de l'ossature métallique que l'on monte actuellement, et dont nous donnons une photographie à la figure 3. Ici aussi,

l'on saisit immédiatement le problème et la solution.

Le problème : supporter la lourde charge des planchers par des poutrelles distantes de 6 en 6 m., d'une portée de 16 m. et d'une hauteur minimum. La solution : des poutrelles de 0^m60 de hauteur, parfaitement continues avec les forts montants de rive qui sont capables, par leur grande raideur relative, d'absorber une grande partie des moments de flexion des poutrelles horizontales.

Au fond : l'application, rendue économique par la standardisation des goussets, de la parfaite continuité d'une construction en béton armé.

A leur base, ces colonnes sont parfaitement encastrées dans les semelles de fondation. Ces colonnes sont en réalité simplement posées sur les semelles, mais leur empattement a été prévu de manière à maintenir la résultante des efforts à l'intérieur du noyau central. Cette disposition a permis de compter dans les calculs sur un encastrement parfait tout en supprimant dans l'exécution les sujétions d'ancrages et de scellements de boulons.

Fondations.

GÉNÉRALITÉS.

L'entreprise des fondations de l'ossature métallique constitua un marché à forfait qui fit l'objet d'une adjudication publique.

Les travaux, soumis aux prescriptions du cahier général des charges et du cahier spécial dressé par la Direction Technique, comprenaient les terrassements, l'établissement proprement dit des assises et le dépôt des terres aux limites de la propriété de l'Université. Les types d'assise prévus par le cahier des charges étaient des massifs de répartition en béton, descendus jusqu'à une profondeur de 0^m50 dans le gravier, à moins qu'il ne fut reconnu nécessaire d'augmenter cette assiette pour trouver une couche de gravier plus saine.

La mise en place du béton devait se faire obligatoirement en fouille ouverte et à sec.

NATURE DU TERRAIN.

Les sondages effectués en plusieurs points du terrain, par les soins de l'Administration, sont à peu près identiques et montrent que les couches peuvent se diviser en trois parties distinctes, dans l'ordre de succession suivant, à partir de la surface du sol, qui est au niveau 63,30 :

- 1° une couche de remblai de 3^m30;
- 2° une couche de vase de 2 m.;
- 3° le gravier de Meuse, à partir de la cote 58,00 environ.

Le niveau de la nappe aquifère est approximativement celui des eaux de la Meuse et est directement influencé par ces dernières, soit donc en temps normal à la cote 61,00 environ, pour atteindre la cote 62,00 en temps de crue.

Le tableau ci-après (fig. 5), reproduit les résultats des analyses chimiques des eaux qui imbibent le terrain.

De ces analyses, opérées sur quatre échantillons, il convient de retenir :

- 1° pour les échantillons 1, 3 et 4, de composition très voisine, un p_h allant de 7,88 à 7,91. Une

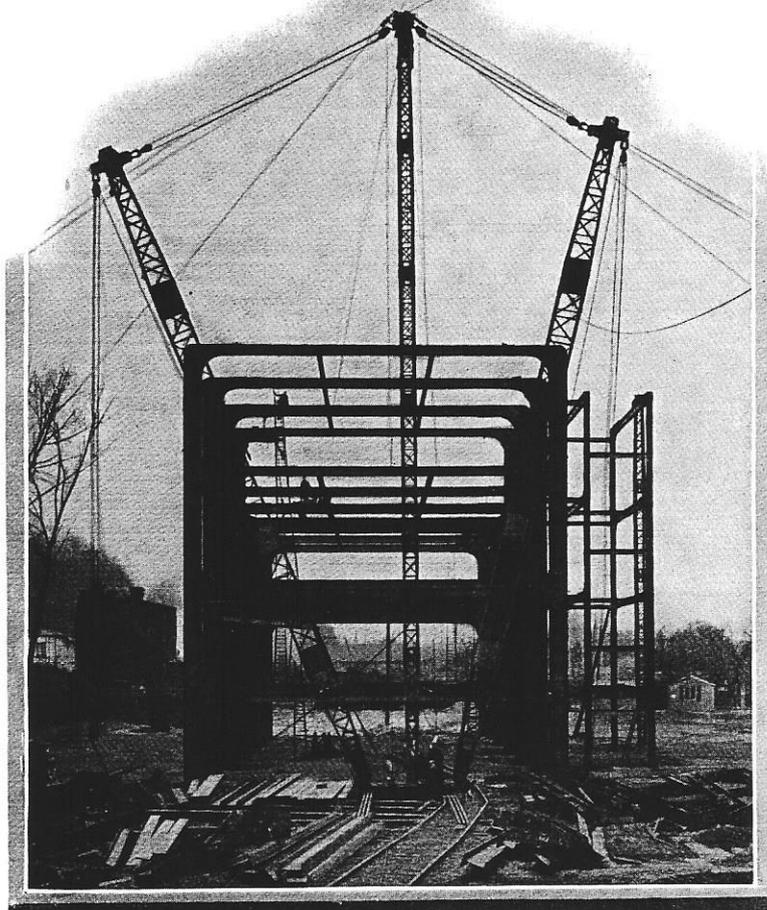


Fig. 3. — Montage de la charpente métallique à l'aide d'un portique à étages.

teneur en sulfates et sulfites moyenne pour les échantillons 1 et 3, et relativement élevée pour l'échantillon 4 ;

2° l'échantillon 2, prélevé dans une fouille située à proximité de la Meuse, se distingue des autres par des teneurs élevées en matières organiques et insignifiantes en sulfates et sulfites. Sa composition est visiblement plus voisine de celle des eaux de la Meuse. Le p_h est de 7,94.

CHOIX DES FONDATIONS.

Le cahier spécial des charges autorisait la présentation d'un contre-projet, moyennant toutefois :

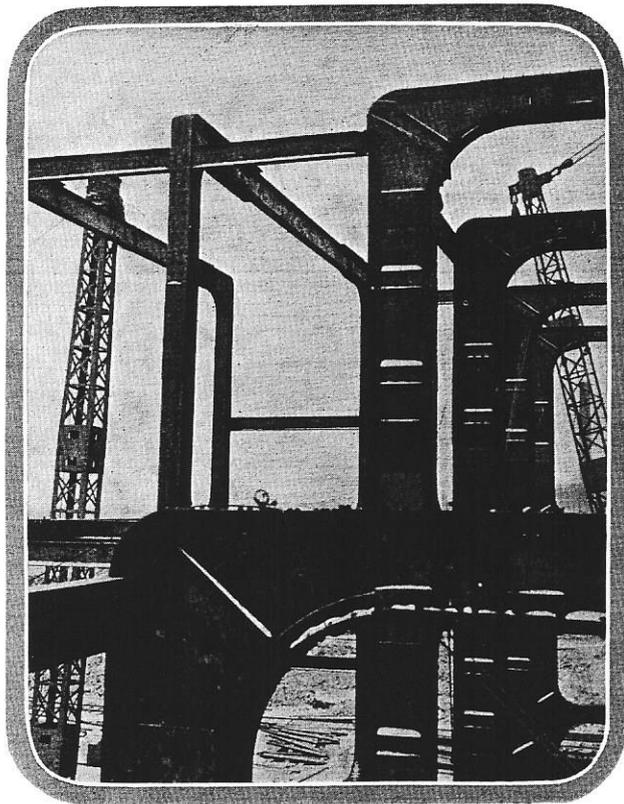


Fig. 4. — *Détail d'un gousset standardisé de la charpente.*

1° le maintien sur une profondeur de 2 mètres, à partir du niveau supérieur des semelles, du profil des blocs prévu par l'Administration;

2° la garantie, au point de vue technique, d'une sécurité au moins équivalente à celle du projet initial.

Partant des prescriptions et données locales, le problème revenait donc à reporter de la façon la plus économique des charges isolées importantes, sur une couche saine du gravier de Meuse.

L'importance des terrassements et leurs difficultés dans un terrain gorgé d'eau rendait d'office une fondation sur pieux ou pilots très intéressante vis-à-vis d'une fondation à semelles de répartition reposant directement sur le bon sol.

Les travaux furent confiés à la C^{ie} Internationale des Pieux Franki, dont le système de sous-fondations sur pieux moulés dans le sol permet la présentation du projet le plus économique.

Examinons maintenant les caractéristiques du système employé et les garanties de sécurité y afférentes.

DESCRIPTION DU TYPE ADOPTÉ.

Le travail définitif comporte la mise en œuvre de :

- 6.000 m³ de terrassements,
- 1.700 m³ de béton armé pour semelles;
- et l'exécution de :
- 257 pieux Franki verticaux,
- 169 pieux Franki inclinés.

Eaux du Val-Benoît. — Analyse chimique.

| | Désignation de l'eau analysée | P _h | Matières minérales Milligr. par litre | Matières organiques Milligr. par litre | Chaux totale Milligr. par litre | Chaux à l'état de bicarbonate ou de chlorure | Sulfate de Ca O Milligr. par litre | MgO totale Milligr. par litre | MgO à l'état de bicarbonate ou de chlorure | Sulfate de Mg Milligr. par litre | S O ₃ Milligr. par litre |
|---|----------------------------------|----------------|--|---|------------------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| 1 | Fouille près du tennis | 7,88 | 1192 | 133 | 439,7 | 179,0 | 435,2 | 88,16 | 0 | 263,2 | 431,1 |
| 2 | Fouille près de la Meuse | 7,94 | 978 | 1206 | 115,3 | 115,3 | 0 | 65,34 | 38,78 | 116,1 | 77,2 |
| 3 | Fouille près du talus | 7,89 | 838 | 49 | 120,2 | 0 | 291,8 | 74,13 | 0 | 221,4 | 324,8 |
| 4 | Fouille au champ de glace . . . | 7,91 | 1831 | 278 | 195,0 | 0 | 473,5 | 154,7 | 0 | 451,6 | 587,0 |

(Communiqué par la Direction Technique).

Fig. 5.

La composition des bétons au m³ est :

| | pour les semelles. | pour les pieux Franki. |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Ciment de laitier spécial | 350 Kg. | 350 Kg. |
| Trass moulu | 100 lit. | 100 lit. |
| Gravier de rivière 5/20 | 800 lit. | 800 lit. |
| Sable du Rhin | 350 lit. | 350 lit. |

Les semelles sont de forts prismes à peu près rectangulaires qui, conformément aux prescriptions de l'Administration, ont une hauteur de 2 mètres et présentent, à la face supérieure, une encoche dans laquelle vient se glisser le pied de la charpente métallique. Elles possèdent donc une raideur formidable et doivent, de ce fait, répartir parfaitement les efforts. Grâce à cette forte hauteur, le pourcentage d'aciers mis en œuvre a pu être très restreint. Le calcul de ces éléments est immédiat, dès que la distribution des efforts extérieurs est connue. Nous indiquerons plus loin une méthode applicable à la détermination de ces efforts.

L'exécution de ces semelles a donné lieu à des

terrassements importants opérés à enfouilles blindées et a nécessité des épaissements incessants.

Les pieux Franki verticaux atteignent ici une longueur bétonnée de 4,50 mètres minimum et trouvent la majeure partie de leur résistance dans la base qui est entièrement encastrée dans le gravier.

L'intérêt des fondations se trouve dans l'emploi des pieux Franki inclinés, exécutés en Belgique pour la première fois.

En présence de l'importance de la composante horizontale de la sollicitation, l'emploi de fondations sur pieux ou pilots impliquait la nécessité d'incliner une partie des pieux pour reprendre cette composante.

En effet, malgré les dimensions considérables des semelles, la butée offerte par les terres de remblai et par la vase ne pouvait être qu'illusoire. Il n'eut de même pas été prudent d'escompter un frottement efficace à la face inférieure des semelles de la part du terrain sous-jacent.

L'emploi des pieux Franki inclinés, qui avaient

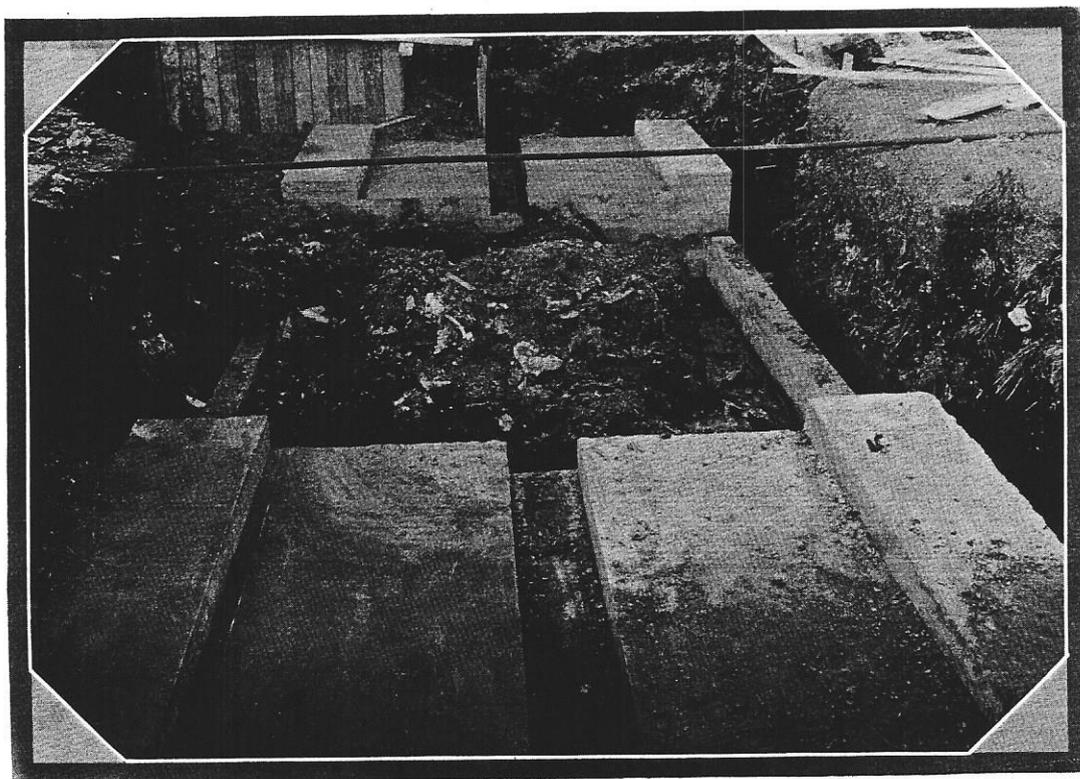


Fig. 6. — *Détail des semelles sur pieux. Vue de la rainure.*

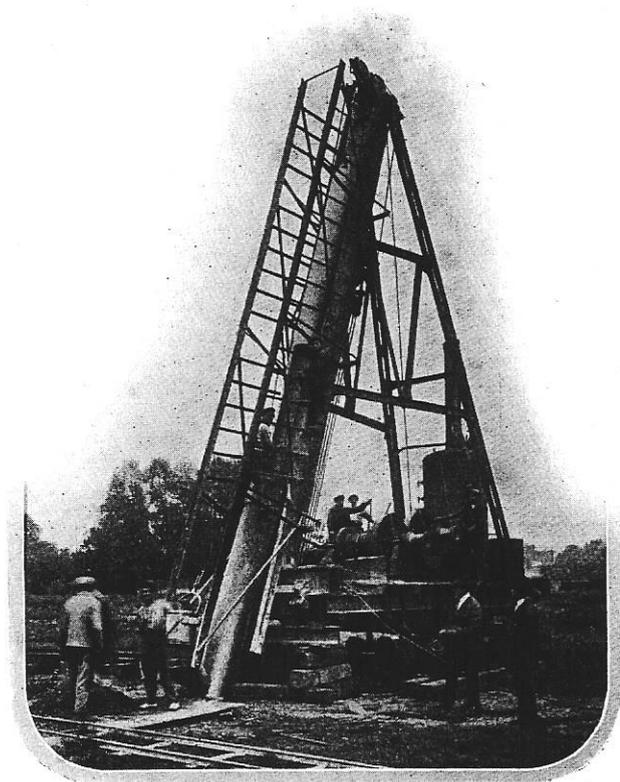


Fig. 7. — Vue de la machine Franki, équipée pour le battage des pieux inclinés.

fait leurs preuves dans d'autres pays et avaient été l'objet de nombreux essais, fut proposé à l'Administration, qui, après un examen approfondi du procédé et des références, marqua son assentiment.

En Belgique, c'était une innovation, elle fut couronnée d'un parfait succès.

Le pieu Franki incliné ne diffère en somme du pieu vertical que par son inclinaison sur la verticale. L'exécution des deux types est identique en tous points. L'armature prévue au Val-Benoît était une corbeille composée de 6 barres longitudinales de 15 millimètres de diamètre et d'un frettage en spirale de 5 millimètres de diamètre et d'un pas de 150 mm. La longueur de la corbeille, diminuée de la longueur d'ancrage dans la semelle, équivaut sensiblement à la longueur du fût du pieu. Le bétonnage de la base s'effectue de la façon habituelle jusqu'à un niveau légèrement supérieur à celui de la base. A ce moment, le

dameur est retiré, et la corbeille, dont la préparation se fait en série, est introduite dans le tube incliné et glisse jusqu'au béton. On déverse du béton dans le tube et le dameur est à son tour descendu dans le tube; il glisse facilement dans le frettage, grâce à l'arrondi de l'extrémité. Les opérations de damage et de bétonnage se poursuivent comme d'habitude. De cette façon, les armatures constituant la corbeille ne sont pas exposées à souffrir de la brutalité des coups de dame usités dans la confection de la base des pieux.

Nous insistons sur le fait que dans les pieux soumis à simple compression, l'utilité de la corbeille est celle d'un moule; secondairement, elle donne aux pieux une résistance à la flexion très appréciable, ce qui est toujours précieux en présence d'efforts horizontaux.

La machine de battage est une sonnette Franki ordinaire appropriée au battage des pieux inclinés. La particularité consiste en un dispositif spécial de calage de la jumelle. Les différentes positions peuvent être données par l'interposition de coins calibrés au pied de la jumelle, et par le raccourcissement ou l'allongement des poussards qui relie la tête de la jumelle à l'arrière de la plateforme.

CHARGE PORTANTE DES PIEUX.

La charge portante des pieux a été évaluée par la firme Franki à 80 tonnes, en se basant sur les résistances offertes par des pieux Franki de mêmes caractéristiques, qui ont fait l'objet d'essais.

Les caractéristiques variables sont : la longueur du fût, la composition du terrain, le niveau d'arasement par rapport au niveau du sol. Cette charge portante est contrôlée par la formule de battage de Dörr, appropriée aux Pieux Franki (1).

Nous nous contenterons d'en donner ci-dessous l'expression et l'application, tout en rappelant que la formule tient compte en particulier :

- 1° de la résistance du terrain à la base du pieu;
- 2° du frottement latéral du terrain sur le béton du fût et de la base du pieu;
- 3° de l'augmentation de ces résistances, du fait de la profondeur à laquelle se trouvent les

(1) Voir "La Technique des Travaux", mars 1931.

couches de terrain, successivement considérées; 4° de la forme exacte du pieu (base et fût).

Notons que le calcul du pieu incliné n'est pas différent de celui du pieu vertical.

En effet, les coefficients additionnels qui s'introduisent sont des cosinus de l'angle d'inclinaison à des puissances différentes, dont la somme donne en fin de compte zéro.

ESSAIS DES PIEUX INCLINÉS.

Il est prudent, lorsqu'il s'agit d'ouvrages importants, de ne considérer les formules de calcul de la capacité portante des pieux que comme de

simples guides, car les hypothèses qui servent nécessairement de base à leur établissement ne sont pas contrôlables. Il reste, comme seule ressource, la comparaison des résultats obtenus par le calcul aux données des essais de charge.

En l'occurrence, l'essai auquel on a procédé au Val-Benoît a confirmé entièrement les prévisions.

Procès-verbal de l'essai de charge des pieux Franki inclinés.

L'axe longitudinal des pieux est incliné à 20° sur la verticale. Les deux axes longitudinaux se trouvent dans le même plan vertical. La semelle

EXEMPLE DU CALCUL.

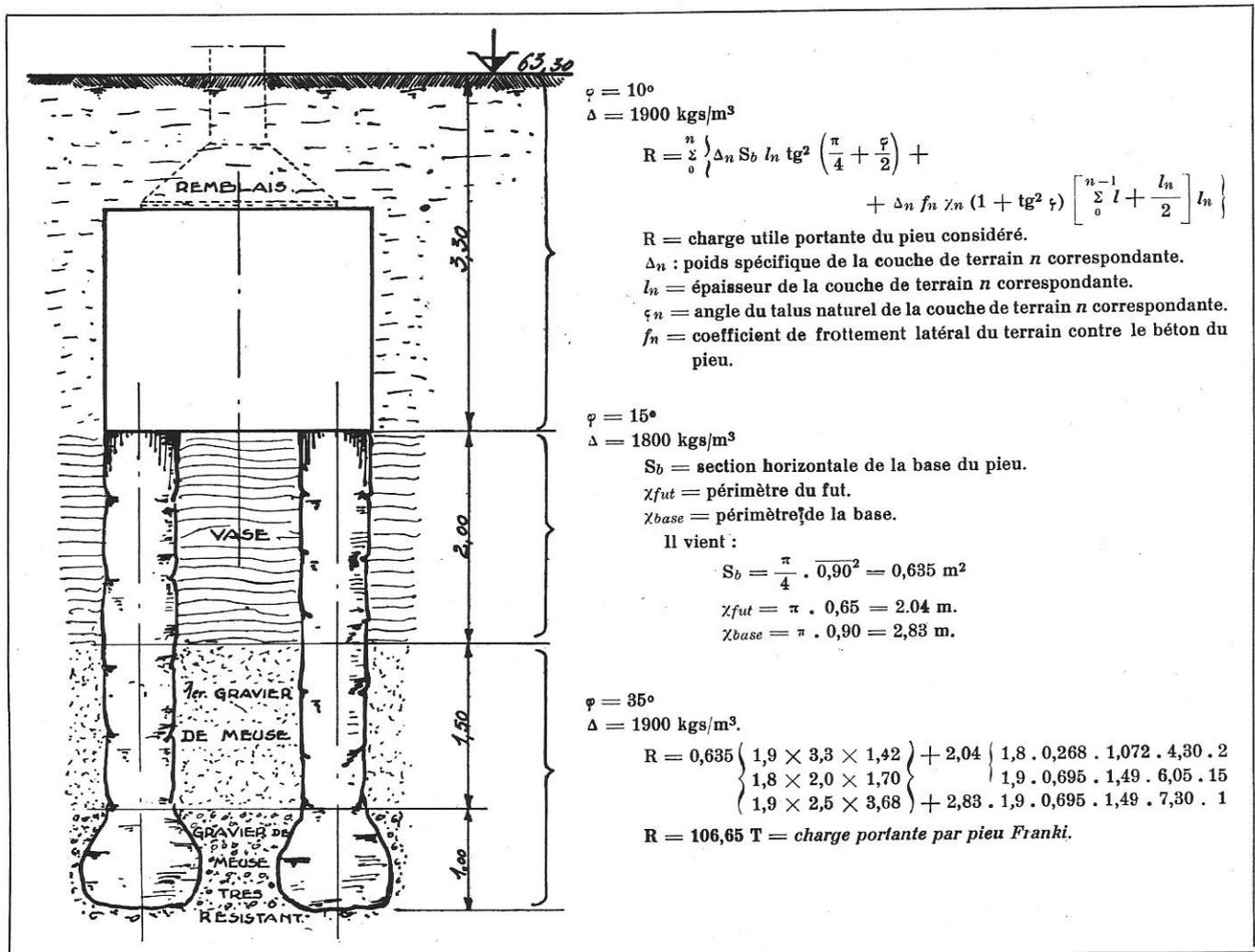


Fig. 8. — Tableau du calcul de la charge portante.

qui relie les deux têtes a le profil figuré; elle s'appuie seulement sur les pieux.

Les précautions prises pour assurer aux pieux une sollicitation suivant leur axe longitudinal consistent en :

a) l'interposition entre la semelle et les têtes d'une feuille de plomb de 2 mm. d'épaisseur.

b) une mise en charge effectuée en veillant à maintenir le centre de gravité de la charge à la rencontre des axes longitudinaux des pieux.

Composition des bétons des pieux au mètre cube :

| | | |
|----------------|----------|----------|
| Ciment Cébérít | Gravier | Sable. |
| 350 Kg. | 800 lit. | 400 lit. |

Age : 56 jours (pieux exécutés le 26 juillet 1930; début de l'essai: 20 septembre).

Armatures: 6 barres de 15 mm. de diamètre.

Longueur du fût : 6,50 mètres.

Cube ayant servi à l'exécution :

de la base: 504 litres.

du fût: 2.912 litres.

DESCRIPTION DE L'ESSAI.

Constitution de la charge. — La tête de chaque pieu est terminée par une frette en béton de $60 \times 60 \times 40$ centim. de hauteur. Une dalle en béton armé présentant à la partie inférieure deux surfaces planes perpendiculaires à l'axe longitudinal de chacun des pieux est posée sur les pieux par l'intermédiaire de deux plats entre lesquels se trouve une feuille de plomb de 2 m/m d'épaisseur — 17 poutrelles de 6 à 7 mètres de longueur sont posées en 2 lits perpendiculaires sur la dalle, pour recevoir une caisse en bois de 5 m. \times 6 m. \times 5 m. de hauteur. Cette caisse est destinée à recevoir la charge constituée par du gravier.

Dispositifs de lecture. — Pour éviter toute erreur, on a pris deux modes de lecture :

1° Le premier consiste en :

a) une tige métallique fixée au centre de la

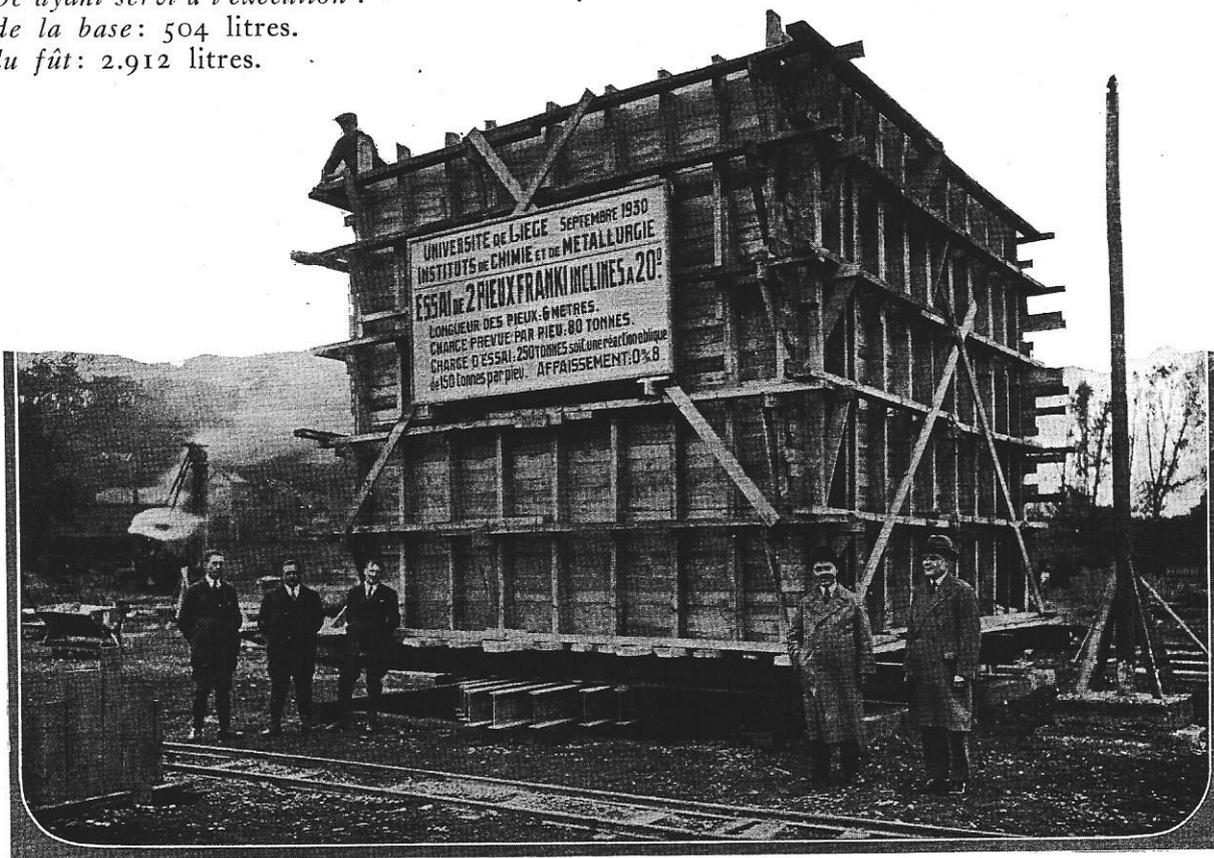


Fig. 9. — Vue de l'essai de charge sur deux pieux Franki inclinés pour les fondations des Instituts de Chimie et de Métallurgie de l'Université de Liège.



dalle en béton et se dégageant au-dessus de celle-ci;

b) un fil d'acier mis presque en contact avec la tige centrale dans laquelle on a fait une encoche avant de commencer le chargement. Le fil d'acier passe sur deux poulies fixées à des poteaux et est tendu au moyen de 2 poids.

La différence des lectures faites avant et après la mise en charge donne l'affaissement.

2° Un second dispositif est réalisé comme suit:
a) deux poutrelles A et B scellées à leurs

extrémités dans des massifs en béton C et D et C' et D' constituent les repères fixes;

b) deux cornières E et F scellées dans les têtes des pieux et perpendiculairement aux poutrelles A et B;

c) aux extrémités de ces cornières sont fixées des pointes en acier; ces pointes effleurent les plats inférieurs des poutrelles A et B;

d) l'affaissement des pieux a pour conséquence d'écarter les cornières des poutrelles et ceci parallèlement à l'axe de chaque pieu.

Cet écartement, qui reproduit donc exactement la valeur de l'affaissement est mesuré entre le plat inférieur de chaque poutrelle et la pointe d'acier de chaque cornière, au moyen d'un jeu de lames, d'épaisseur variant chacune de 1/10^e de millimètre.

CONCLUSIONS.

Le résultat de l'essai a donné un affaissement négligeable, de l'ordre d'un millimètre pour une charge portante par pieu de 151 tonnes, ce qui donne largement un coefficient de sécurité de 2, pour une charge de service d'environ 80 tonnes.

ACTION DES EAUX SOUTERRAINES.

Nous avons donné plus haut, dans la description du terrain, les analyses de l'eau, et insisté sur les points essentiels (présence de sulfates et sulfites, valeurs de ph). La valeur élevée du ph indique, nonobstant l'existence des ions SO₄ et SO₃, un milieu franchement basique, et réduit ainsi les possibilités d'une attaque des bétons par suite de l'acidité de l'eau.

Le béton rationnel était donc celui s'opposant à l'enlèvement de l'un ou l'autre constituant, soit par voie chimique (dissolution), soit par voie mécanique (délavage).

Les bétons des pieux Franki du Val-Benoît donnent à ce double point de vue une solution excellente en opposant à l'attaque des eaux:

1° un moyen physico-chimique: la compacité qui rend difficile l'introduction de l'élément nocif dans les bétons;

2° un moyen purement chimique, notamment la suppression du constituant le plus attaqué.

En effet :

a) Le béton des pieux est damé de façon extrêmement énergique par un mouton de 2.000 à

CHARGE D'ESSAI TOTALE
285.297 Kg

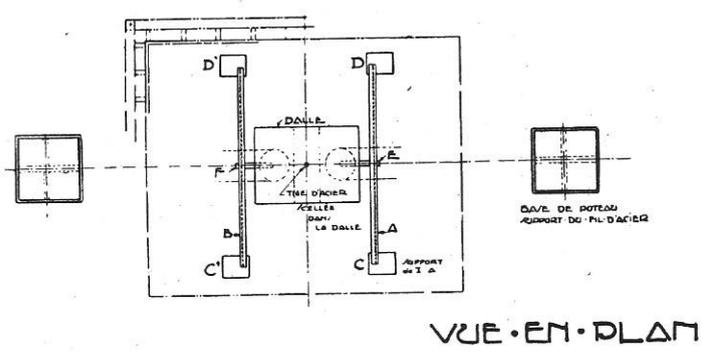
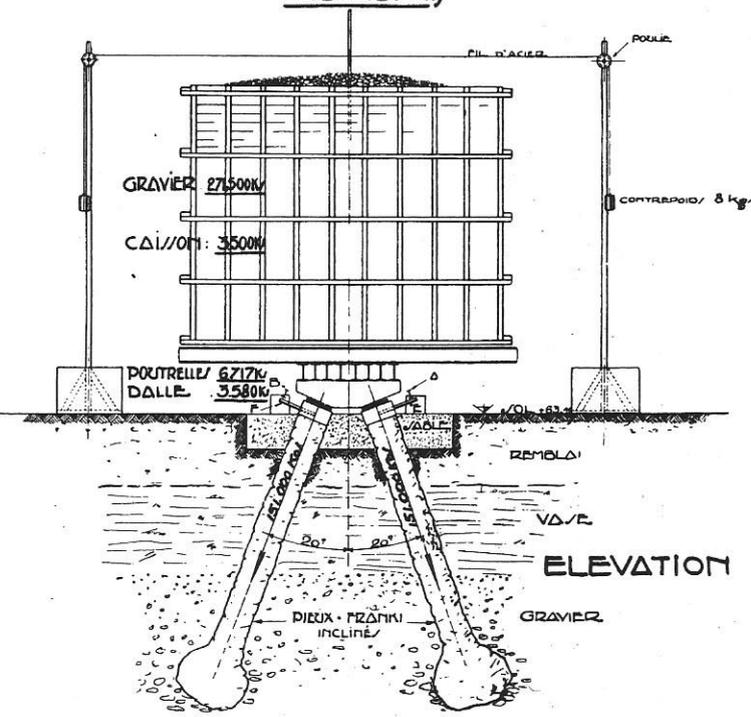


Fig. 10. — Schéma de l'essai (élévation et plan).



3.000 Kg., tombant de plusieurs mètres de hauteur, de sorte que le béton est particulièrement compact. Des cubes de béton découpés dans certains des pieux ont donné aux essais des résistances extrêmement élevées (220 Kgs par cm²).

b) Le liant employé dans le béton est du ciment de laitier spécial additionné, sur prescription du cahier des charges, de trass. Or, le ciment de laitier, le fait est reconnu, donne généralement un béton très compact, toute considération de damage à part. D'autre part, la quantité additionnelle de trass très judicieusement prévue, est capable de fixer toute la chaux libre; de ce fait, on élimine le danger de la production d'éléments moins stables et facilement éliminables.

Il est à noter subsidiairement, pour les pieux Franki, que :

1° Le sol est très fortement comprimé à deux reprises différentes, une première fois en enfonçant le tube, dont le diamètre est très grand (jusqu'à 60 cm.) et une deuxième fois en chassant par damage le béton en dehors du tube. (Il est certain que cette compression du sol éloigne les eaux et rend leur retour plus difficile.);

2° Les pieux ne comportent aucune pointe métallique à leur base qui puisse être attaquée par les eaux;

3° Le diamètre des pieux étant en moyenne de 65 à 70 cm., il faudrait, comparativement aux pilots préparés d'avance, un temps très long, pour que l'attaque éventuelle du béton influe d'une façon appréciable sur le taux de travail du béton à la compression. En effet, les pilots préparés d'avance sous une charge moyenne de 35 tonnes, travaillent à la compression à environ 35 à 40 Kg. par cm², alors que les pieux ne travaillent, sous leur charge de service de 80 tonnes, qu'à 25 Kg./cm² maximum. Il faudrait de même, étant donnée la plus forte épaisseur de la gangue, un temps comparativement beaucoup plus long, pour que l'attaque des acides soit possible.

En tenant compte de toutes ces circonstances, on peut affirmer que le système de sous-fondations exécuté, n'offre aucun danger de la part des eaux agressives. Il est intéressant d'insister sur le fait que les garanties données au Val-Benoît sont de loin supérieures à celles offertes par l'emploi d'un enduit résistant, comme cela se pratique

souvent par les pilots préparés d'avance. Cet enduit peut être partiellement arraché, au cours des manipulations et aussi pendant le fonçage. La détérioration de l'enduit en plusieurs endroits, est donc quasi certaine et le revêtement d'un béton attaqué ne peut jamais être considérée que comme palliatif.

Répartition des charges sur les points d'appui.

En général, le seul problème des répartitions se ramène à déterminer les réactions dans des pieux verticaux sur lesquels est ancrée une semelle sollicitée supérieurement par une force verticale et un couple. La solution en est immédiate et élémentaire :

a) Dans la grande majorité des cas, les pieux sont suffisamment voisins pour que les cônes de répartition des efforts dus aux pieux s'interceptent avant d'avoir atteint la fibre moyenne de la semelle et donnent donc des réactions uniformes analogues à celles qui se produiraient si la dalle était simplement appuyée sur le terrain.

Dans le cas d'un effort sollicitant vertical N et d'un couple M, les pressions exercées sur la semelle en un point quelconque de la part des pieux suivent donc la loi connue $p = \frac{N}{\Omega} \pm \frac{My}{I}$

où Ω est la section de la base;

I = le moment d'inertie;

Y = l'ordonnée du centre de gravité de la base au point considéré;

les pieux sont supposés reprendre les pressions correspondant à leur cône d'action.

b) Lorsque les pieux sont plus espacés, il est plus rationnel d'employer l'expression :

$$P_k = \frac{N}{n} \pm M \frac{d_k}{\sum d^2}$$

où P_k = la charge du pieu indice k;

n = le nombre total de pieux;

d = l'ordonnée du centre de masse des pieux à un pieu quelconque.

c) Lorsque des efforts horizontaux viennent s'ajouter subsidiairement et qu'une certaine inclinaison est donnée aux pieux, ils sont répartis également entre les pieux inclinés.