

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Fondations de réservoirs en sol compacte par le fonçage de pieux de sable

Reservoir Foundations on Soil Compacted by Means of Sand Piles

A. J. DA COSTA NUNES, *Professeur à l'Escola Nacional de Engenharia, Ingénieur Conseil, Rio de Janeiro, Brésil*

M. J. C. PORTO, *Ingénieur, Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis et Tecnosolo S/A, Rio de Janeiro, Brésil*

SOMMAIRE

Cet article décrit le type de fondations adopté pour un réservoir en béton armé, d'environ 61 par 69 m, faisant partie d'une station d'épuration d'eau et reposant sur un terrain de formation alluvionnaire de sables principalement meubles et contenant de minces lentilles d'argile fluvio-marine molle, d'une épaisseur totale de l'ordre de 10 m. Des pieux de compactage furent choisis. Ces pieux sont exécutés par le fonçage d'un tube d'acier, à revêtement provisoire, qui est ensuite retiré, lors de l'introduction de sable dans le terrain, à l'aide d'un marteau pesant environ 3000 kg (procédé Franki). Le compactage fut contrôlé au moyen d'essais de pénétration statique du cône hollandais. Les résultats obtenus furent satisfaisants, comme le montrent les essais de pénétration et les mesures de tassements.

SUMMARY

This paper describes the type of foundations adopted for a 61 by 69 m. reinforced concrete reservoir, for a water treatment plant, founded on alluvial deposits of predominantly loose sand, with fluvio-marine soft clay lenses, having a total thickness of about 10 m. Compaction piles were chosen. These piles are made by compacting sand with a 3000-kg hammer into steel tubes driven into the ground and then retracting the tubes (Franki method). The compaction was controlled by means of the Dutch cone penetration test. The results obtained were satisfactory, as shown by the penetration tests and the amount of settlement.

LE PROBLÈME DES FONDATIONS pour des constructions s'étendant sur une importante superficie, avec des charges distribuées et reposant sur un terrain alluvionnaire de sables de densité variable, avec prédominance de sable meuble et de fines lentilles d'argile molle, a suscité auprès des ingénieurs spécialisés en terrains et fondations un vif intérêt, qui a déjà été mentionné lors du Congrès de 1936 (Loos, 1936).

En effet, la grande distribution des charges et le type de structure rendaient peu recommandable l'adoption de fonda-

tions en pieux, parce que ce type de fondations exigerait la modification avec renforcement radical de la structure afin de concentrer les charges sur des fondations isolées.

L'article décrit la solution adoptée pour les fondations exécutées à la nouvelle station d'épuration d'eau sur la rivière Joanes, à Salvador, construite sur un sol alluvionnaire à faible résistance et reposant sur une couche de base résiduelle.

Après avoir étudié le problème, tant au point de vue

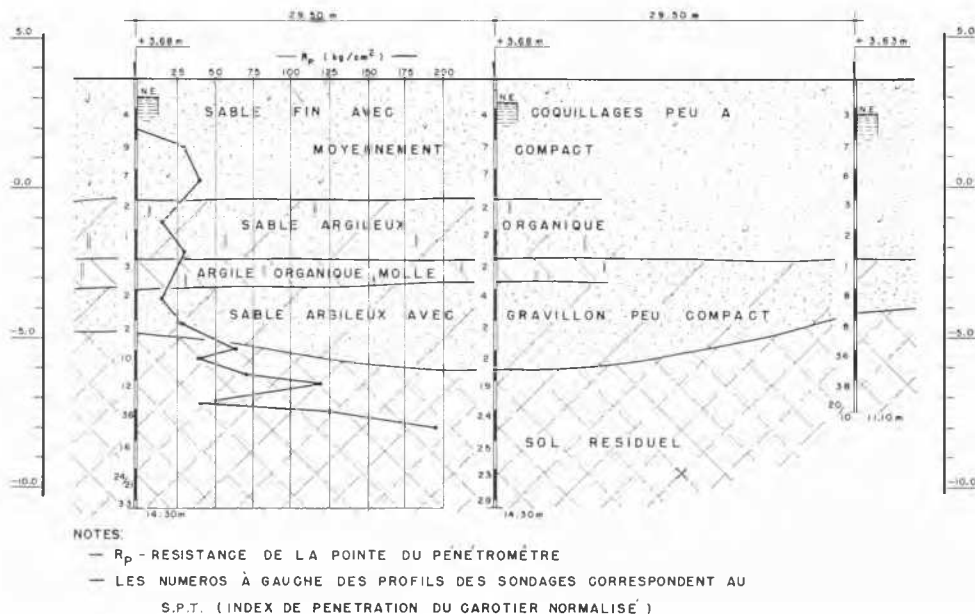


FIG. 1. Coupe générale du sol.

économique que technique il fut décidé d'exécuter des fondations directes sur un terrain compacté au moyen de pieux de sable. La vérification de l'augmentation de compacité du terrain faite par des essais de pénétration et les premières mesures d'affaissements effectuées indiquent que les résultats obtenus sont satisfaisants.

Le chantier est exécuté par la firme Construtora Norberto Odebrecht S/A, sous le contrôle du Service des Eaux et Egoûts du Recôncavo.

DESCRIPTION DU TERRAIN

Pour déterminer la nature du sous-sol dans la zone considérée, dix sondages furent exécutés par percussion à l'aide de circulation d'eau et protégés par un revêtement de 2 pouces (50,8 mm) de diamètre nominal.

L'échantillonneur utilisé a les diamètres interne et externe de $1\frac{1}{16}$ pouces (27,0 mm) et $1\frac{3}{16}$ pouces (46,1 mm) respectivement; la compacité et la consistance des couches de sable et d'argile sont déterminées par le nombre de coups nécessaires à faire pénétrer l'échantillonneur de 30 cm dans le terrain, sous l'action d'un poids de 65 kg, tombant en chute libre d'une hauteur de 75 cm (s.p.t.).

On constata que jusqu'à une profondeur de 6 mètres, le terrain était constitué de couches de sable à granulométrie fine, contenant des fragments de coquillages; près de la surface on nota la présence de sable silteux; dans les profondeurs plus grandes, du sable argileux contenant des matières organiques. Immédiatement sous la profondeur indiquée et jusqu'au sol résiduel, qui se trouve entre 8 et 12 mètres de profondeur, le matériau à prédominance sableuse (de texture variée) offre de fines couches d'argile organique molle.

En règle générale, on peut dire que les couches de sable décrites ci-dessus présentent alternativement une compacité moyenne à faible, avec une résistance à la pénétration de l'ordre de 2 coups pour 30 cm (s.p.t.).

Le sol résiduel provenant de la décomposition *in situ* de roche gnaissique régionale, est constitué—comme il est courant dans les terrains de cette nature—de matériaux assez variés, avec prédominance de silts argileux avec sables, dont la compacité augmente avec la profondeur.

Outre les sondages de reconnaissance, on fit des essais de pénétration statique hollandais, pour déterminer la résistance offerte par le terrain à la pénétration d'un cône de 10

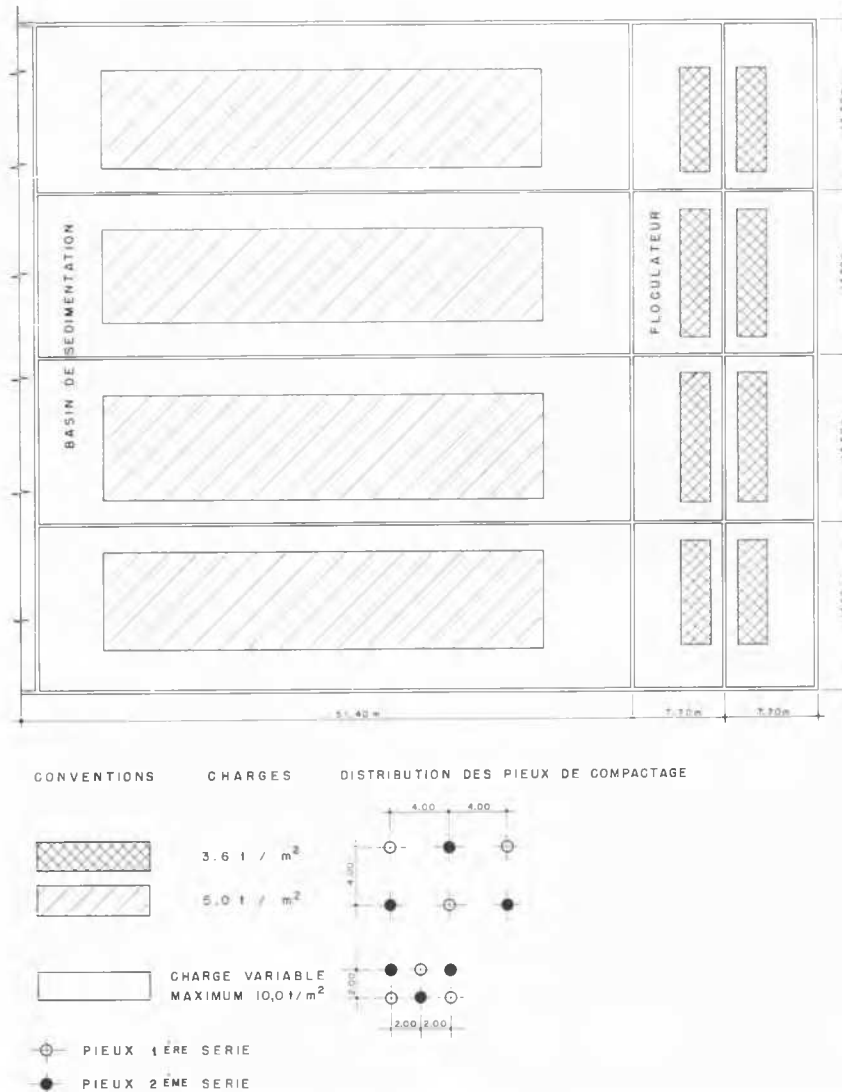


FIG. 2. Plan général schématique du chantier et distribution des charges.

cm.ca. de surface horizontale dont l'arête formait un angle de 60° avec l'horizontale (résistance de pointe), et la pénétration simultanée du cône ci-dessus alors qu'il faisait corps avec l'axe (résistance totale).

Les résultats des essais de pénétration confirmèrent les indications fournies par les sondages pour les résistances des couches formant le sous-sol. D'une façon générale, les couches reconnues moyennement compactes offrent une résistance de pointe variant entre 50 et 75 kg/cm.ca.; celle-ci va en diminuant dans les couches très meubles et meubles— pour atteindre 25 kg/cm.ca. ou moins.

Les résultats obtenus lors de ces essais figurent aux coupes du sous-sol représentées à la fig. 1.

DESCRIPTION DE LA STRUCTURE

Il s'agit d'une structure ayant une superficie de 61,0 par 69,0 m, du type "réservoir", devant être utilisée par les installations de décantation et de floculation de la station d'épuration d'eau de la rivière Joanes. Elle est composée d'une dalle générale et de parois intérieures doubles, qui transmettent au sol des pressions uniformément réparties, de l'ordre de 0,5 kg/cm.ca., dans les locaux des réservoirs et d'une charge maximum de 1.00 kg/cm.ca. sur les parois externes.

Le plan, schématisé, général du chantier est repris à la fig. 2. Etant donné les objectifs de la structure, l'apparition de fissures provoquées par affaissement différentiel, ou tout autre motif, est évidemment très peu souhaitable.

CONCEPTION DES FONDATIONS ADOPTÉES

Le problème posé par les fondations du chantier à l'étude consistait dans le fait qu'elles devraient supporter une structure d'une certaine importance, cette structure reposant sur un terrain à faible capacité de charge, jusqu'à une profondeur de 10 m, provoquant des sollicitations d'environ 1,0 kg/cm.ca. et qui, comme dit plus haut, ne pouvait pas supporter d'affaissements différentiels élevés par suite du danger de fissuration et conséquemment d'infiltrations.

Bien qu'initialement les fondations directes aient paru contre-indiquées, l'exécution de fondations profondes, par contre, dans le cas présent en pieux, ne convenait pas par suite de l'importance des charges. En effet, des fondations profondes exigeaient une concentration des charges aux endroits d'implantation des pieux, ce qui provoquait la

nécessité d'une structure plus robuste et, automatiquement, plus coûteuse.

Il fut donc décidé de compacter le sol, afin d'en diminuer la compressibilité. Les couches superficielles plus faibles et argileuses, situées directement en-dessous de la cote de fondations devaient être substituées par du sable local compacté.

Pour les couches plus profondes, deux méthodes pourraient être utilisées: a) des pieux de compactage; b) la vibro-flottation. Il fut décidé d'adopter des pieux de compactage, dont l'efficacité est d'autant plus grande que le sol est plus meuble et pulvérulent et que plus grand est le confinement de celui-ci, c'est-à-dire dépendant de la profondeur à laquelle il se trouve.

La compactage se fit par étapes: des pieux plus longs, écartés, pour la compactage du sol en profondeur et des pieux plus courts, intercalés, pour la compactage du sol en surface. Les pieux de la première série atteignirent 8 mètres au-dessous de la cote de fond du radier; les pieux de la seconde série atteignirent 5 mètres au-dessous de la même cote (voir fig. 3).

Les pieux furent exécutés avec un tube de 500 à 520 mm de diamètre et un pilon cylindrique d'un poids minimum de 2.500 kg (procédé Franki) travaillant à l'intérieur du tube. Le tube fut en foncé avec l'extrémité inférieure obturée par un bouchon. Arrivé à la profondeur indiquée, le bouchon est expulsé, sans qu'il soit nécessaire d'exécuter une base élargie.

Le retrait du tube est effectué, les soulèvements étant opérés sur des hauteurs successives de 50 cm et la quantité de matériau introduite étant calculée de façon à ce que la pénétration se fasse à raison de 20 coups minimum, avec une hauteur de chute de 3 mètres, jusqu'à la profondeur de 2 m au-dessous de la cote de fond de la dalle et à raison de 30 coups minimum à partir de cette cote jusqu'à la cote de fond. Les matériaux employés sont soit du sable, soit des résidus de pierre ou tout autre matériau granuleux.

Les caractéristiques du sable employé dans la confection des pieux peuvent être résumées dans le tableau I.

TABLEAU I. CARACTÉRISTIQUES DU SABLE DES PIEUX

		Granulométrie (pour cent)			Densité (grammes/cm. cu.)	
		Sable			Max.	Min.
Argile	Silt	Fin	Moyen	Gros		
9	8	35	25	23	1,640	1,450

Cependant, le sol immédiatement au-dessous de la surface, jusqu'à environ 1 m de profondeur, ne peut être compacté par ce procédé, par manque de confinement; dans ce cas, la compaction superficielle fut faite par damage.

La couche de terrain qui offrait une résistance à la pénétration inférieure à 4/30 fut retirée et substituée par du sable compacté.

La compaction fut prévue de façon à ce que la densité relative soit supérieure à 75 pour cent.

RÉSULTATS OBTENUS PENDANT L'EXÉCUTION

Le contrôle de l'exécution du procédé de compactage des couches profondes fut fait à l'aide de pénétration statiques, exécutées en trois séries, à savoir: la première série exécutée avant le fonçage des pieux; la seconde après le fonçage de la première série de pieux et, enfin, la troisième après le fonçage de la seconde série de pieux.

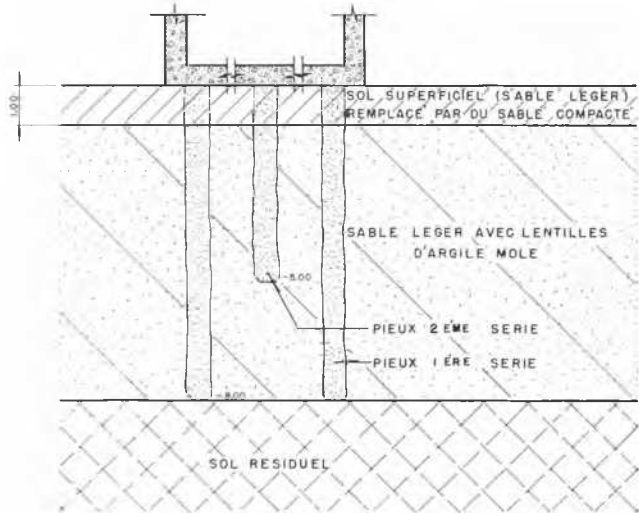


FIG. 3. Coupe schématique.

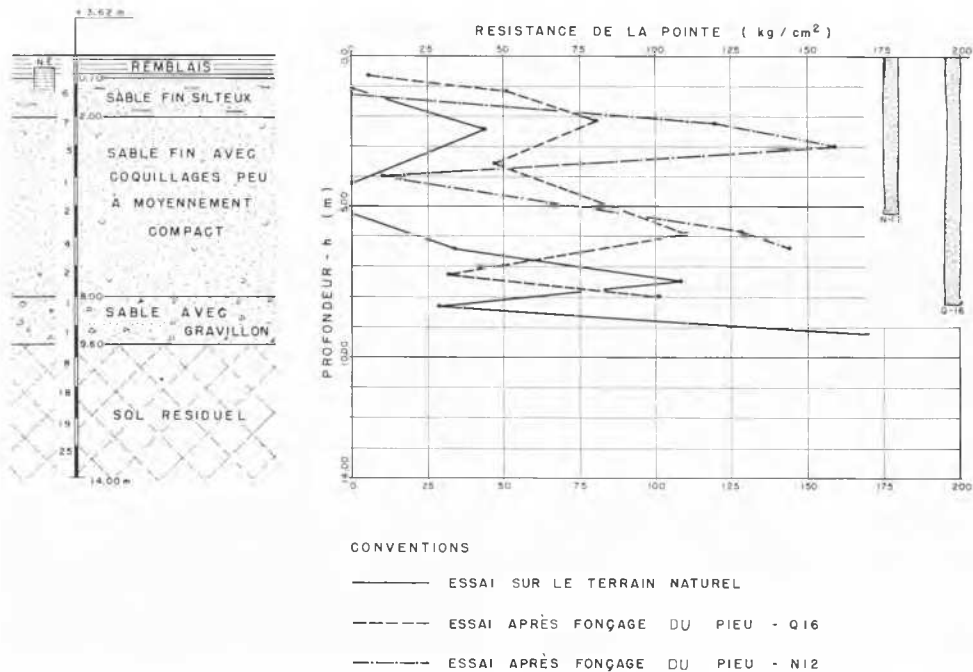


FIG. 4. Contrôle du compactage en profondeur après le fonçage des différentes séries de pieux.

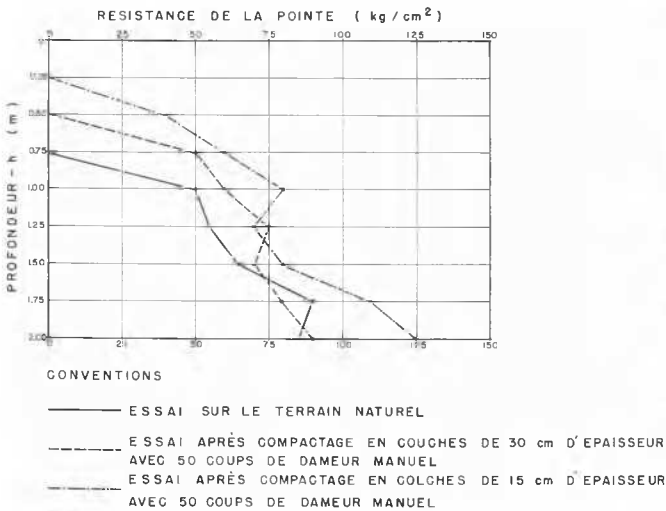


FIG. 5. Contrôle du compactage superficiel. Résistances de pointe du pénétromètre en fonction de la profondeur.

Pour l'étude de la compactage de la couche supérieure, on procéda à un contrôle supplémentaire, dont les étapes furent les suivantes: a) exécution d'un essai de pénétration jusqu'au niveau d'eau ou légèrement au-dessous de celui-ci; b) excavation jusqu'au niveau d'eau, indiquant de mètre en mètre, la densité du sable *in situ*; c) remplacement du sable en couches de 30 cm, damant à l'aide d'un dameur manuel, à raison de 50 coups par couche; d) répétition des opérations décrites en a) et b), c'est-à-dire essai de pénétration et excavation; e) remplacement du sable en couches de 15 cm, damant chaque couche par 50 coups de pilon; f) répétition des opérations décrites en a) et b).

Le contrôle effectué par les essais de pénétration confirma l'augmentation prévue de résistance du terrain, provoquée par les pieux de compactage, comme on peut le vérifier par



FIG. 6. Vue générale du chantier.

les graphiques qui sont indiqués à la fig. 4, augmentation qui va en s'accroissant avec la profondeur des couches.

A la fig. 5 donnant les résultats des résistances de pointe dans les essais de pénétration effectués en terrain compacté manuellement, avec des couches d'épaisseur variable, on remarque l'efficacité du procédé de compactage lorsque l'épaisseur des couches diminue.

Les valeurs des résistances indiquées au-dessous de la profondeur de 1 m correspondent au terrain déjà compacté par les pieux de sable et les différences existant entre elles proviennent d'erreurs accidentelles inhérentes à l'essai.

La fig. 6 montre une vue générale du chantier.

RÉFÉRENCE

Loos, W. (1936). Comparative studies of the effectiveness of different methods for compacting cohesionless soils. *Proc. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (Harvard), Vol. 3, p. 174.