

PORTANCE DES FONDATIONS DES OUVRAGES PORTUAIRES EN CAISSONS CYLINDRIQUES DE GRAND DIAMÈTRE

S. Gabi,
A. Belakrouf,
K. Ait Tahar
Université de Tizi-Ouzou

RÉSUMÉ

La conception des ouvrages portuaires en caissons de grand diamètre connaît actuellement un essor très important. Cette étude se veut une approche expérimentale permettant l'analyse et l'étude de la capacité portante des fondations soumises à des charges inclinées et excentrées, en se basant sur l'analyse des courbes de tassement, pour un cas d'obliquité et d'excentricité données, d'en déduire le caractère progressif de perte de stabilité des fondations et de connaître leur capacité portante. Les résultats expérimentaux obtenus permettent de déduire, que pour une obliquité de la charge, la capacité portante atteint une valeur limite maximale quasiment identique pour les deux types de fondations considérées, l'une représentant une rangée de cylindres de diamètre donné, l'autre rectangulaire de même longueur et de largeur équivalente fonction du diamètre du caisson. En conclusion, pour le calcul de la capacité portante des fondations d'un ouvrage portuaire en caissons, une substitution par une structure analogue de forme rectangulaire équivalente est recommandée.

MOTS CLÉS

ouvrages en caissons • obliquité • excentricité • excentricité optimale • capacité portante • tassement.

1. Introduction

Les ouvrages portuaires en caissons cylindriques de grand diamètre sont des ouvrages hydrotechniques gravitaires en béton armé, évidés, remplis de galets et de sable et reposant soit sur un lit de pose ou directement sur le sol de fondation. Ces ouvrages sont conçus pour la réalisation de murs de quai, de digues de protection des ports, des jetées, etc. (ports du Havre et de Dunkerque) [1]. Les avantages économiques et conceptuels des ouvrages en caissons sont :

- Conception d'un ouvrage de longueur importante et de forme quelconque dans le plan ;
- Possibilité de pose sur tout type de sol de fondation ;
- Facilité de mise en place ;
- Economie de matériaux et d'énergie ;
- etc.

L'un des principaux problèmes liés au calcul de tels ouvrages est la détermination de la capacité portante de leurs fondations, en particulier lorsqu'ils sont soumis à des charges excentrées et inclinées, ce qui est généralement le cas pour ces ouvrages.

Cette étude se veut une approche expérimentale permettant l'analyse et l'étude de ce problème en se basant sur l'analyse des courbes de tassement, pour un cas d'obliquité et d'excentricité données, d'en déduire le caractère progressif de perte de stabilité des fondations et de connaître leur capacité portante.

2. Rappel théorique sur la capacité portante

La capacité portante d'un sol supportant des fondations superficielles a fait l'objet de nombreuses études par d'éminents auteurs (Terzaghi, Caquot et Kérisel, Sokolovski, etc.) et ont abouti à la formule générale de la capacité portante :

$$C_p = \gamma \frac{B}{2} N_\gamma + \gamma D N_q + c N_c$$

où la recherche des facteurs N_γ , N_q et N_c pour le cas d'un chargement donné n'est pas une

question d'actualité. Néanmoins, peu d'études ont porté sur le cas des charges inclinées et excentrées, assez fréquent pour les ouvrages de travaux publics, soumis à des efforts horizontaux, en sus de leurs poids propre et des surcharges. Dans ce cas précis, il est d'usage de ne considérer qu'une partie de la largeur B de la fondation et d'apporter des corrections aux coefficients N_γ , N_q et N_c .

3. Description de l'essai

3.1 Appareillage et mode opératoire

L'installation expérimentale consiste en un bac rempli d'un sable sec, sur lequel repose un modèle de fondation qui peut être un poinçon rectangulaire, ou une rangée de cylindres. Le bac à sable de dimensions 150 x 60 x 60 cm³ se compose de deux panneaux métalliques et de deux parois vitrées graduées à travers lesquelles on peut suivre le comportement du sol de fondation, et repose sur deux cadres horizontaux en profilés : l'un immobile sert de base à toute l'installation, l'autre mobile permet de fixer l'inclinaison de la charge. Un autre cadre vertical riveté au cadre mobile supporte une roue à laquelle est attachée une tige porteuse des charges. (Figure 1)

La charge se transmet au poinçon par l'intermédiaire d'un dispositif symétrique composé de trois poulies et de deux câbles : le premier relie la roue avec la charge à une poulie de 6 cm de diamètre qui est solidaire d'une autre poulie de 36 cm de diamètre la charge appliquée se trouvant ainsi augmentée de 6 fois et transmise par un second câble à une poulie de 6 cm de diamètre fixée au cadre horizontal mobile. Les charges sont mesurées à l'aide de 2 dynamomètres, et les déplacements verticaux et horizontaux du modèle avec des comparateurs au dixième de millimètre.

3.2 Caractéristiques du sol

Le sol ayant servi de fondation est un sable fin quartzéux, de composition granulométrique donné dans le tableau suivant :

Dimension des grains (mm)	>1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1
Pourcentage	0,1	23,2	75,1	1,6	0

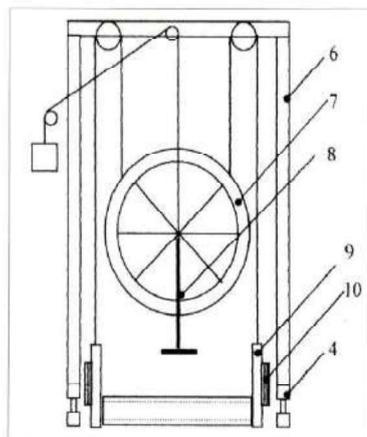
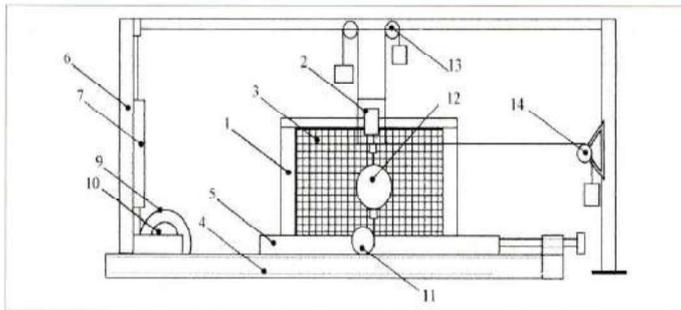


Figure 1 : Installation expérimentale

1/ bac à sable, 2/ poinçon métallique, 3/ paroi graduée vitrée, 4/ cadre horizontal immobile, 5/ cadre horizontal mobile, 6/ cadre vertical, 7/ roue de transmission de charges, 8/ tige porteuse de charges, 9/ poulie de 36 cm de diamètre, 10/ poulie de 6 cm de diamètre, 11/ poulie de 6 cm de diamètre, 12/ dynamomètre, 13/ comparateur pour déplacements verticaux, 14/ comparateur pour déplacements horizontaux.

L'angle de frottement interne est de 31° , le poids volumique varie de $14,9$ à $16,5 \text{ kN/m}^3$ et le poids volumique des grains solides est de $26,5 \text{ kN/m}^3$.

3.3 Essai

L'essai consiste à répandre dans le bac des couches successives de sable de 5 cm d'épaisseur, de les compacter et d'y intercaler une fine couche de sable coloré à proximité de la paroi vitrée graduée. Le modèle de fondation rectangulaire ou composé de caissons transmet à la surface du sol la charge appliquée, inclinée et excentrée. Pour chaque type de fondation il a été réalisé 24 essais, en faisant varier l'obliquité de la charge de 0° à 25° , avec un pas de 5° , et pour chaque valeur de l'obliquité, l'excentricité de la charge prend les valeurs : 0; 0.05B; 0.1B et 0.15B (B: largeur de la fondation rectangulaire).

On fait augmenter graduellement la valeur de la charge et on suit le comportement du sol de fondation jusqu'à la perte de stabilité qui se manifeste par un tassement suivi d'un renversement du modèle. A mesure que la charge augmente, la valeur du tassement est reportée sur un graphe représentant la relation charge-tassement, et ce pour chaque cas de l'obliquité, pour chaque valeur de l'excentricité et pour les deux modèles de fondation.

4. Résultats et analyses

À l'issue de l'étude expérimentale on obtient ainsi une famille de courbes de tassement pour chaque type de fondation dont l'allure classique ne suscite pas ici d'intérêt [2]. Par contre l'analyse de ces courbes est fort significative dans la mesure où elle nous permet de définir, pour un cas d'obliquité et d'excentricité données, le caractère progressif de perte de stabilité des fondations et de connaître leur capacité portante.

L'estimation de la capacité portante [2], à partir de la courbe de tassement d'un sol pulvérulent, peut être faite par le procédé décrit sur la figure 2, où elle représente l'abscisse C_p du point d'intersection des deux tangentes à la courbe de tassement.

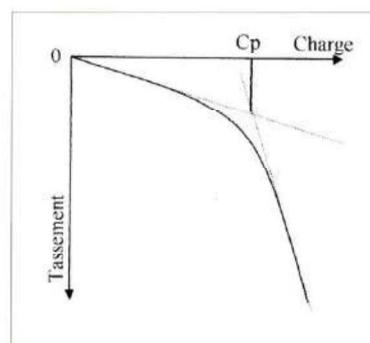


Figure 2 : Schéma de détermination de la capacité portante d'un sol.

Les points représentatifs des valeurs de la capacité portante ainsi trouvées sont portés sur un graphe en fonction de l'obliquité et de l'excentricité de la charge appliquée pour chaque modèle de fondation. Ces points expérimentaux permettent de tracer les courbes de la relation "capacité portante-excentricité", qui présentent

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Chapon, "Travaux maritimes", Tome 2, Ed. Eyrolles, Paris, 1975.
- [2] J. Costet, G. Sanglerat, "Cours pratiques de mécanique des sols", Tome 2, Ed. Dunod, Paris, 1982.
- [3] S. Gabi, "Particularités du comportement des fondations en caissons cylindriques de grand diamètre", Thèse Phd, Odessa, 1991.

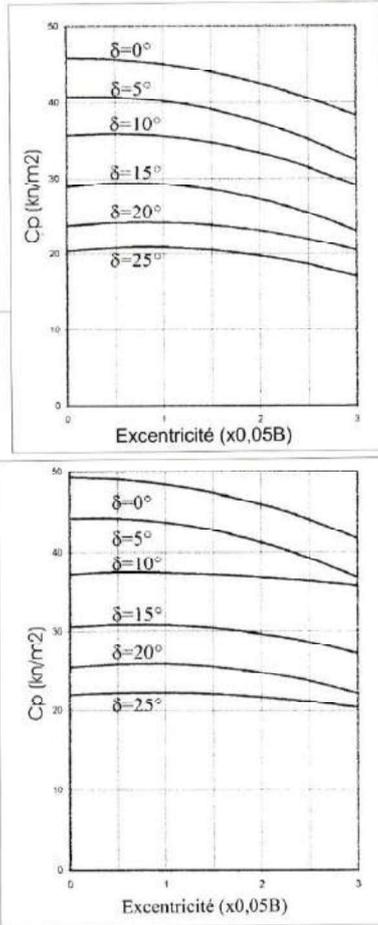


Figure 4 : Relation portance-excentricité (Fondation en caissons).

une allure parabolique. Les figures 3 et 4, respectivement pour une fondation rectangulaire et pour une fondation en caissons cylindriques, montrent, pour une obliquité donnée, l'influence de l'excentricité de la charge sur la portance de la fondation. Ainsi, cette portance atteint une valeur maximale pour une certaine valeur de l'excentricité, appelée "excentricité optimale", qui correspond pour chaque cas au sommet de la courbe parabolique et qui augmente avec l'obliquité de la charge.

Figure 3 : Relation portance-excentricité (Fondation rectangulaire).

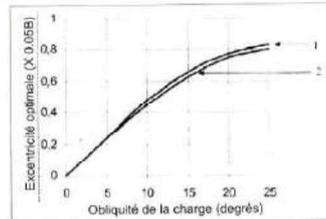


Figure 5 : Relation portance optimale-obliquité
1- Fondation en caissons;
2- Fondation rectangulaire.

Le traitement des résultats obtenus à partir des figures 3 et 4, fait ressortir les valeurs de l'excentricité optimale et permet d'analyser ces variations en fonction de l'obliquité de la charge. La figure 5 représente donc, la relation "portance optimale-obliquité" pour chaque type de fondation, où l'allure parabolique de cette relation est mise en évidence.

5. Conclusion et recommandation

Les ouvrages en caissons cylindriques de grand diamètre constituant des murs de quai ou des jetées sont des ouvrages gravitaires supportant une superstructure asymétrique et sont soumis à l'action de la houle et aux efforts dus aux différentes embarcations (amarrage et accostage des navires). Ce qui explique l'obliquité et l'excentricité des charges pour de tels ouvrages.

L'analyse des résultats expérimentaux obtenus, pour le calcul de la capacité portante de ces ouvrages portuaires, justifie notre recommandation de substituer la structure en caissons par une structure rectangulaire équivalente, de même longueur dans le plan et d'une largeur d'environ 80% du diamètre du caisson. Ceci nous conduit à l'étude classique d'une fondation sous une semelle filante [3].

Force est de constater ainsi, que l'allure des courbes "portance optimale-obliquité" de la figure 5 est identique pour les deux types de fondation traitées, avec un léger écart entre les deux courbes à partir de la valeur 5° de l'obliquité ne dépassant pas une marge de 3% ■