

ESSAI DE CHARGEMENT DE PIEU - CAS DES PIEUX DE REACTION

PILE LOAD TEST – CASE OF REACTION PILES

Alain LE KOUBY¹,

¹ *Université Gustave Eiffel, Département GERS, laboratoire Sols Roches Ouvrages géotechnique, campus de Marne-la-Vallée, France*

RÉSUMÉ – Pour chaque pieu d'essai, un système de 4 pieux de réaction est monté. Une des questions que nous nous sommes posés, est s'il était possible d'utiliser la réponse de ces 4 pieux pour augmenter le nombre d'essais exploitables lors d'un essai de chargement. Nous avons tenté l'expérience lors de la campagne d'essai SOLCYP à Merville (2011) et Loon Plage (2012) pour les essais monotones et cycliques.

La campagne d'essai à Merville en 2011 (projet SOLCYP) a permis de réaliser l'étude de la réponse des pieux de réaction ce qui est assez rare dans la littérature. Lors de la mise en place sur le terrain d'un essai de chargement, quatre pieux de réaction sont installés. Un pieu de réaction a été instrumenté sur plusieurs cas d'essais de chargement.

Les cas des essais de chargement statique et cyclique en compression et en traction sont considérés.

La distribution des efforts le long des pieux de réaction est effectuée à l'aide de la technique de l'extensomètre amovible. Il n'y avait pas de capteurs d'efforts en tête des pieux de réaction. L'hypothèse choisie était que la charge qui leur était appliquée était supposée égale à 25% de la charge d'essai en compression ou en traction à un instant t.

Si, comme le suppose la norme NF-P-94262, le frottement latéral en compression est le même que le frottement latéral en traction, l'effort sur chacun des pieux de réaction correspondrait au frottement mobilisé pour une charge égale à $\frac{1}{4}$ de la charge admise pour la rupture du pieu. Dans le cas des essais de compression, les pieux de réaction reprendront plus que 25% de la charge reprise par le frottement du pieu.

ABSTRACT – For each test pile, a system of 4 reaction piles is used in addition to the beam. One of the key questions is whether it was possible to use the response of these 4 piles to increase the number of tests that can be used during a loading test. We test this hypothesis during the SOLCYP test campaign in Merville (2011) and Loon Plage (2012) for monotonic and cyclic tests.

The test campaign in Merville in 2011 (SOLCYP project) made it possible to study the response of reaction piles, which is quite rare in the literature. When setting up a loading test in the field, four reaction piles are installed. A reaction pile was instrumented on several loading test cases. The cases of static and cyclic loading tests in compression and tension are considered.

The distribution of forces along the reaction piles is carried out using the removable extensometer technique. There were no force sensors at the top of the reaction piles. The hypothesis chosen was that the load applied to them was assumed to be equal to 25% of the test load in compression or tension at a time t.

If, as the NF-P-94262 standard assumes, the shaft friction in compression is the same as the shaft friction in traction, the force on each of the reaction piles would correspond to the friction mobilized for a load equal to $\frac{1}{4}$ of the pile bearing capacity. In the case of compression tests, the reaction piles will withstand more than 25% of the shaft friction of the pile.

.Mots clés : pieu, pieu de réaction, essai de chargement, extensomètre amovible

1. Généralités

Pour un essai de pieu, un système de réaction composé de 4 pieux a été mis en place (Voir Figure 1, Figure 2, Figure 3, Figure 4 et Figure 5). Ce système permet de reprendre les efforts du pieu d'essai. 4 pieux sont utilisés afin de rattraper l'effort de pointe par des efforts de frottements plus importants.

Pour les essais en compression, un vérin posé sur la tête du pieu pousse une poutre fixée à l'aide de deux autres poutres disposées perpendiculairement et d'un ancrage sur les pieux de réaction (ainsi l'effort est repris par les pieux de réaction). En réponse, le vérin exerce donc une compression sur la tête du pieu. La Figure 1 est une photographie de ce montage, tandis que la Figure 2 schématise un essai de compression axial.



Figure 1 Photographie d'un essai de pieu en compression (Benzaria 2012)

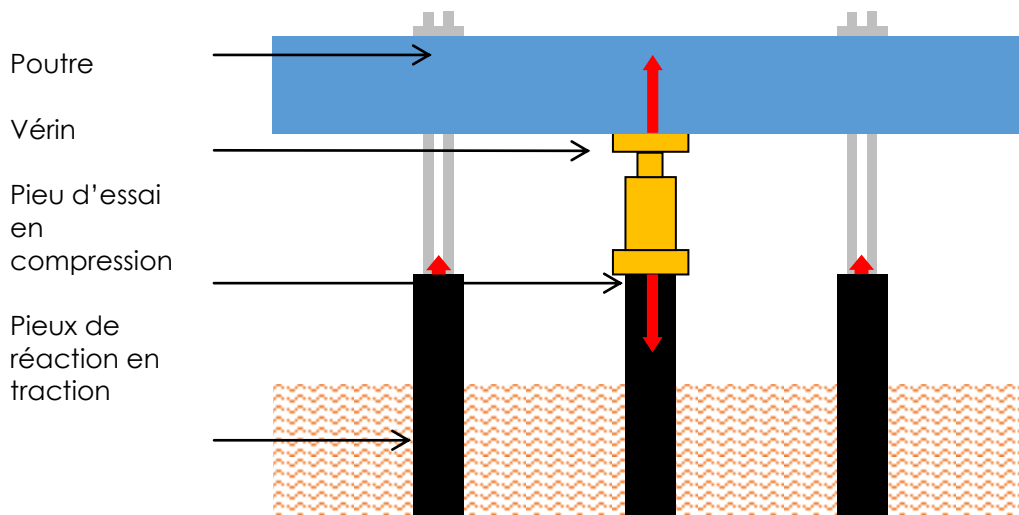


Figure 2 Schéma d'essai de compression axiale avec pieux de réaction

La Figure 3 est une photographie du montage de l'essai de traction, tandis que la Figure 4 schématise un essai de traction axial.



Figure 3 Photographie d'un essai de pieu en traction (Benzaria 2012)

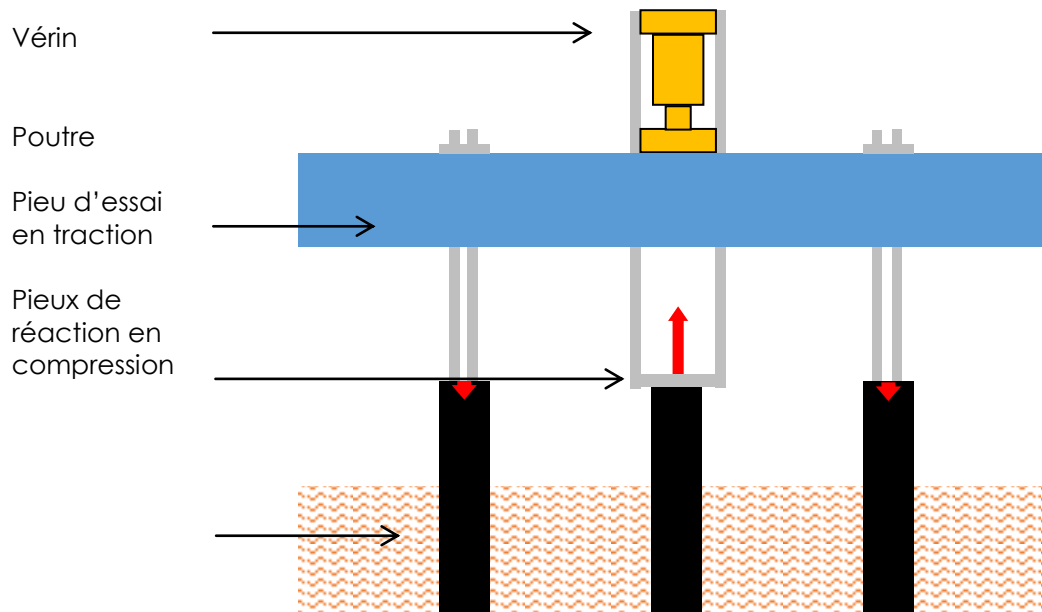


Figure 4 Schéma d'essai de traction avec pieux de réaction

Pour les essais cycliques alternés, la tête du pieu doit subir alternativement une compression et une traction, on utilise le même principe que précédemment avec deux vérins, l'un en compression, l'autre en traction, dont l'un des deux exerce une charge fixe. L'addition des deux efforts exercés par les vérins nous donne la charge réellement appliquée sur le pieu. La Figure 5 est une photographie de ce montage pour un essai de pieu alterné.

On dispose de 24 jauges de déplacement qui permettent de mesurer la déformation à plusieurs niveaux du pieu. Selon la taille du pieu, on place plus ou moins de jauges (une jauge par mètre en général). La disposition des pieux sur le site est telle que certains pieux d'essai servent aussi de pieux de réaction. Durant l'essai, on instrumente donc également un des 4 pieux de réaction. On peut alors placer jusqu'à 12 jauges de déplacement par pieu (selon la longueur du pieu). Ce dispositif est présenté en détail sur la Figure 6 (b).



Figure 5 Photographie d'un essai de pieu alterné (Benzaria 2012)

2. Instrumentation des pieux

Pour instrumenter le pieu, la méthode d'essai n°34 Mesure des déformations à l'aide des extensomètres amovibles LPC explique que les jauges de déformations sont collées sur des rubans métalliques qui les portent. La succession de ces rubans s'appelle extensomètre amovible.

Des bloqueurs assurent que les rubans sont fixés aux extrémités des tronçons et sont sous tension durant toute la durée de l'essai. Ces dispositifs sont mis en place la veille de l'essai, il faut donc s'assurer le jour même qu'il n'y a pas eu de fuites.

Les extensomètres sont disposés dans des tubes de logement. Ils y sont descendus par gravité. Le ruban ne doit subir aucune déformation permanente lors de la descente. Le bloqueur inférieur est dilaté à l'aide d'une pression de gaz une fois à la hauteur voulue. Avec le dispositif de mise en tension, on tend les rubans depuis la surface. Une fois les rubans tendus, on dilate simultanément tous les bloqueurs. A partir de cette étape, on remet à zéro les jauges et on peut commencer l'essai. Ce principe de mise en œuvre est schématisé sur la Figure 6 ci-dessous.

Pour chaque pieu d'essai, un système de 4 pieux de réaction est monté. Une des questions que nous nous sommes posés est s'il était possible d'utiliser la réponse de ces 4 pieux pour augmenter le nombre d'essais exploitables lors d'un essai de chargement. Nous avons tenté l'expérience lors de la campagne d'essai SOLCYP à Merville et Loon Plage pour les essais monotones et cycliques.

La campagne d'essai à Merville en 2011 (projet SOLCYP) a permis de réaliser l'étude de la réponse des pieux de réaction ce qui est assez rare dans la littérature. Lors de la mise en place sur le terrain d'un essai de chargement, quatre pieux de réaction sont installés (Figure 1 (b), Figure 7). Les références des pieux sont : des pieux forés (notés F), des pieux battus (notés B), des pieux vissés (notés S), des pieux de réaction (notés R).

A Merville, lors de l'essai de chargement statique en compression sur le pieu F2 (Figure 8), un des pieux de réaction a été instrumenté alors qu'il était sollicité en traction (pieu F3, Figure 9).

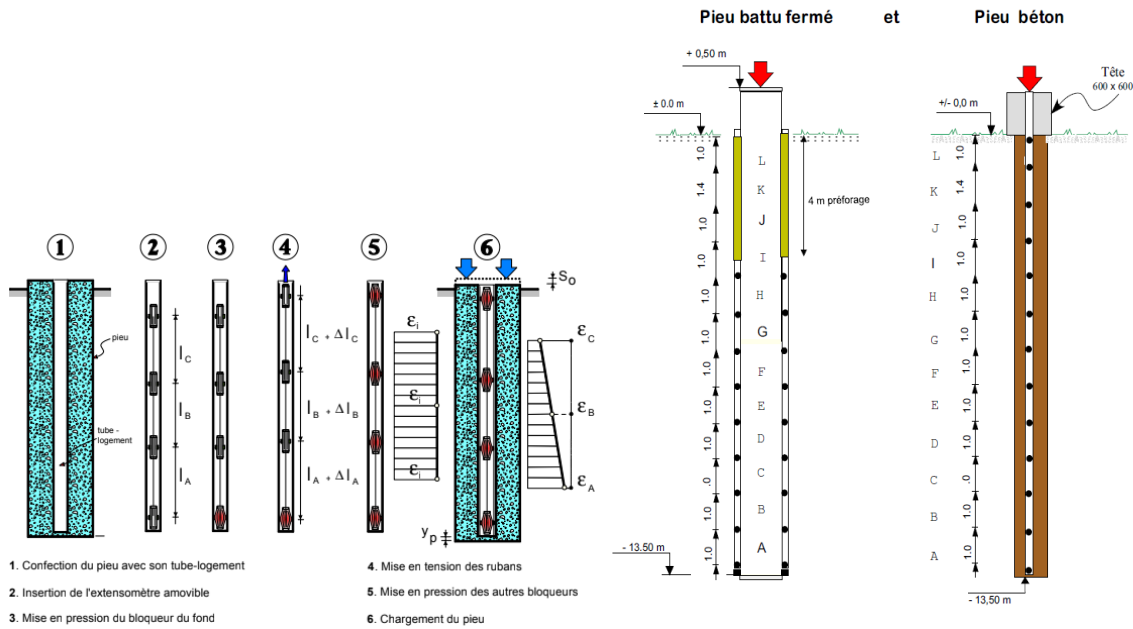


Figure 6 (a) Principe de mise en œuvre d'extensomètres amovibles (Bustamante et Gianceselli 1996), (b) schéma descriptif de l'instrumentation des pieux lors du projet SOLCYP (Le Kouby and Rocher-Lacoste, 2016).

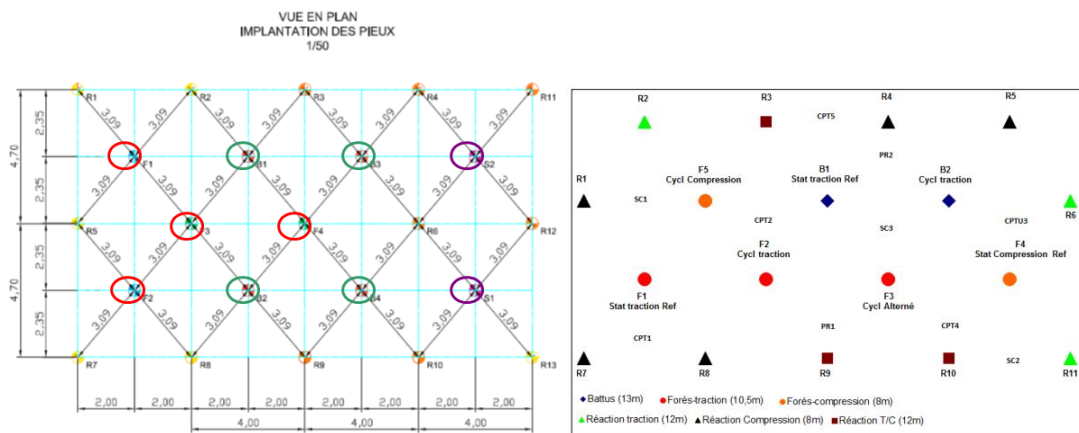


Figure 7 Plan d'implantation des pieux, (a) chantier de Merville : rond rouge Pieu foré, rond violet : pieu vissé, rond vert : pieu battu et (b) chantier de Loon Plage (Benzaria, 2013).

3. Cas du projet SOLCYP – chantier de Merville

3.1. Cas du chargement monotone

La Figure 8 décrit la distribution des effort pour l'essai de chargement réalisé sur le pieu F2 tandis que la Figure 9 décrit la distribution des efforts dans le pieu de réaction F3 lors de l'essai de chargement du pieu F2. La distribution des efforts pour le pieu F3 semble cohérente avec une hypothèse du quart de l'effort repris en traction par ce pieu.

La charge qui était reprise par les pieux de réaction était supposée égale à 25% de la charge d'essai de compression. En considérant que la charge de rupture du pieu est de 800 kN (Figure 8), la résistance de pointe est de l'ordre de 225 kN, cette valeur étant obtenue en extrapolant la courbe de la Figure 8 à la profondeur 13,5m qui est la longueur du pieu) ; le frottement latéral est donc de 575 kN. Si, comme le suppose la norme NF-P-94262, le frottement latéral en compression est le même que le frottement latéral en traction, l'effort sur chacun des pieux de réaction est de l'ordre de 200 kN (Figure 9) sur une résistance supposée de 575 kN soit 35% de la capacité portante du pieu en traction.

Dans le cas du chantier de Merville, le cas de l'essai de chargement du pieu F2 est pris en compte. Le pieu F3 a été sollicité en traction.

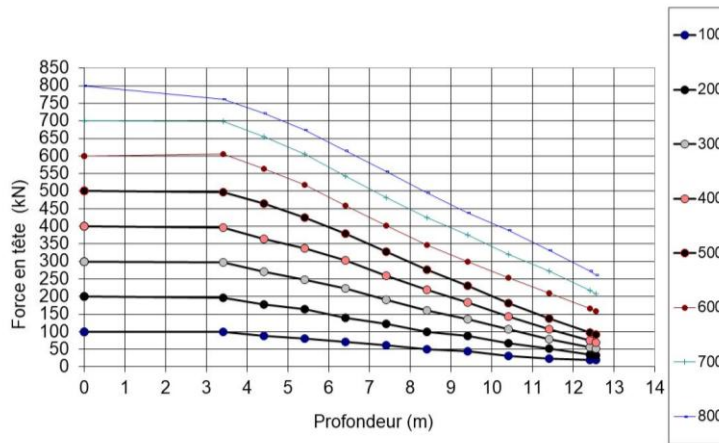


Figure 8 Essai de chargement pieu F2 – résultats de l'essai

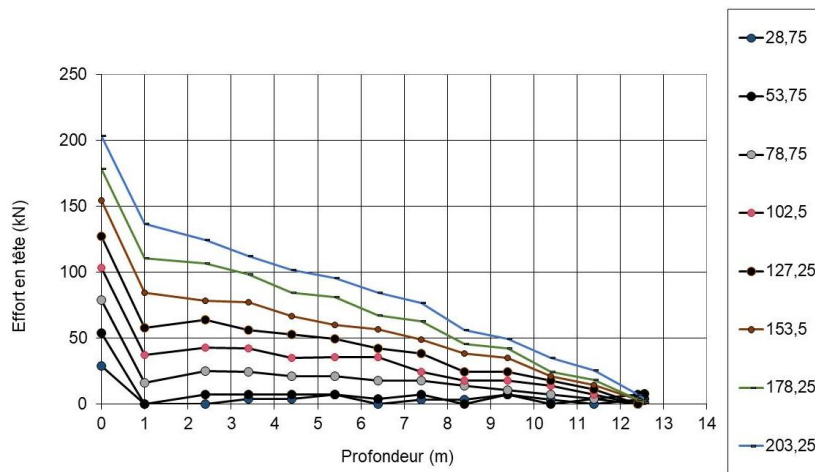


Figure 9 – Réponse du pieu de réaction F3 pour plusieurs paliers de chargement. lors de l'essai de chargement pieu F2

Le Erreur ! Source du renvoi introuvable. décrit pour chaque pieu le nombre d'essais subis, les pieux qui ont servis de pieu de réaction à Merville. Notamment, le pieu F3 est impliqué en tant que pieu de réaction à Merville pour les essais des pieux F1, F2 et B1. L'implication totale de F3 est la plus importante à Merville. C'est la raison pour laquelle seulement six essais ont été menés directement sur ce pieu.

Tableau 1 Implication en tant que pieu d'essai et pieu de réaction à Merville

Pieux	Nombre d'essais	Pieux de réaction impliqués				Implication totale
F1	11	R5	R7	R8	F3	17
F2	15	R1	R2	R5	F3	21
F3	6	F1	F2	B1	B2	45
F4	9	B1	B2	B3	B4	43

3.2. Cas du chargement cyclique

Dans le cas du chargement, cyclique (Figure 10 et Figure 11), deux réponses différentes sont observées.

Pour mettre en évidence ces deux réponses, les déformations dans chacun des deux pieux ont été tracées.

Dans le cas du pieu d'essai (Figure 10), seules les réponses de trois jauges ont été représentées (jauge 12 en haut du pieu, jauge 10 et la jauge 1 à la base du pieu). Elles

montrent que l'amplitude de déformation est d'autant plus importante que l'on est proche de la tête du pieu et donc proche de la charge appliquée. Ces résultats avaient déjà été observés sur un autre site d'essai dans le papier et Puech et al. (2011 et 2013) et Le Kouby and Rocher-Lacoste (2016).

Pour le pieu de réaction, seules deux des douze jauges du pieu de réaction ont été représentées (jauge 24 proche de la tête de pieu et jauge 13 en pointe). Aucune amplitude cyclique n'est observée sur les deux jauges du pieu de réaction (Figure 11). La charge appliquée en tête de pieu de réaction pendant la séquence cyclique semble être constante et proche de la charge maximale. Ce résultat peut être expliqué par les faibles amplitudes de déplacement qui ont été observées lors des séquences cycliques sur le pieu foré (Figure 10(b)). Ainsi lors de l'essai cyclique sur le pieu d'essai, les déplacements cycliques ont été réduits par le système de réaction (poutre, tiges) pour ne transmettre que l'effort maximum au pieu de réaction et c'est ce qui pourrait expliquer cette déformation à peu près constante sur les deux jauges.

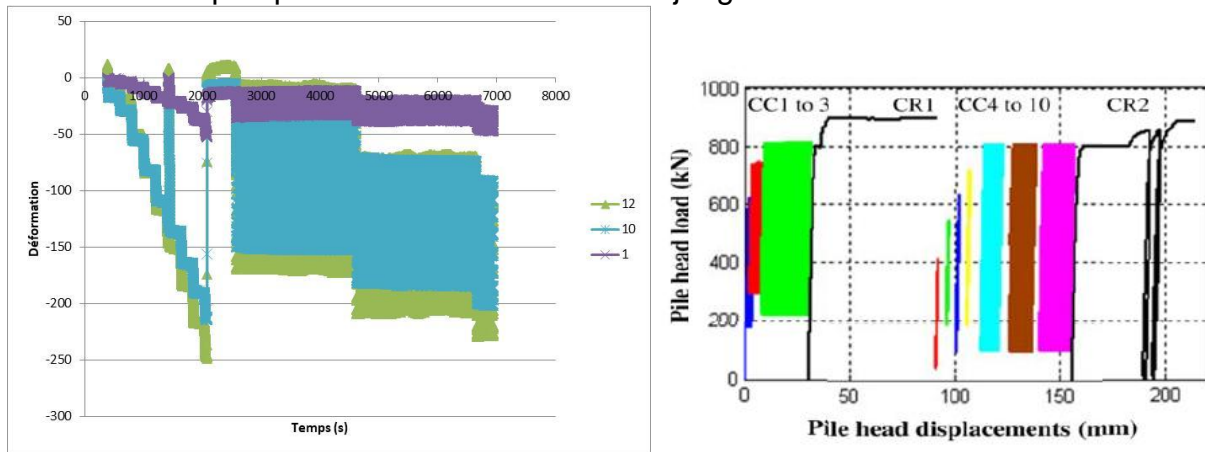


Figure 10 (a) Jauges 1-10-12 : pieu d'essai F1 – essais F1CC4, CC5, CC6, la jauge 12 correspond au niveau L et la jauge 1 correspond à la jauge la plus proche de la pointe (niveau A) sur la Figure 6 (b) lors d'un essai cyclique, (b) courbes déplacement en tête – effort en tête obtenues pendant les séquences cycliques sur un pieu foré (Benzaria et al., 2013).

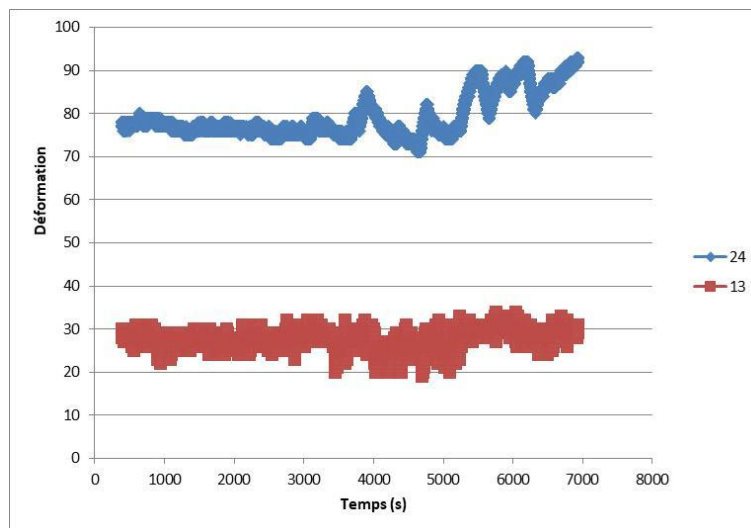


Figure 11 Jauges 13-24 : pieu de réaction F3, essais F1CC4, CC5, CC6

En outre, dans un second cas, le chargement est alterné, passant alternativement d'une compression à une traction à chaque cycle, comme pour l'essai M-F4/CC6 avec le pieu B2 en réaction. Ses courbes de déformation sont présentées sur la Figure 12. Pour la charge la plus faible (233 kN), la distribution des efforts semble être différente dans la partie supérieure du pieu. Pour une charge de 600 kN (supérieure), les deux distributions

semblent assez similaires montrant ainsi des résultats proches de ceux obtenus ci-dessus.

Nous n'évoquons pas ici les considérations liées à l'histoire des chargements mais il peut être observé que pour certaines séquences cycliques, des évolutions des efforts le long du pieu peuvent être observées.

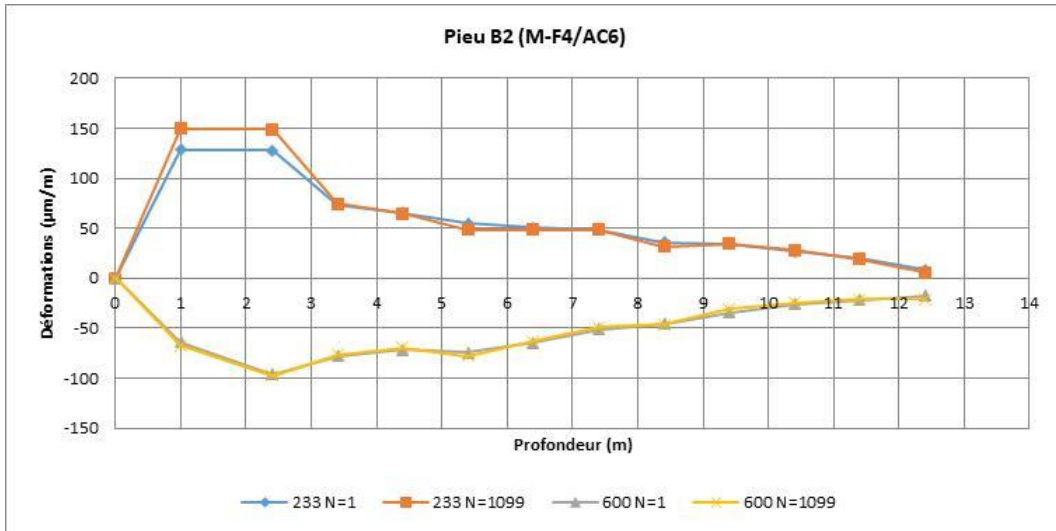


Figure 12 Courbe de déformation du pieu de réaction B2 lors de l'essai M-F4/AC1

4. Conclusion et perspectives

Les conclusions de cette étude montrent qu'il est possible d'utiliser les mesures sur les pieux de réaction comme des essais de chargement jusqu'à des valeurs proches de 25% de leur capacité portante. Il est cependant nécessaire qu'un système de mesure des déplacements en tête des pieux soit mis en œuvre sur les quatre pieux de réaction pour valider notamment les courbes de fluage. Les résultats montrent que certains tronçons pourraient mobiliser complètement leur frottement latéral ce qui pourrait augmenter le nombre de points de la courbe q_s-p_l utilisée dans la norme NF P 94262 pour un type de pieu et pour certains types de sol. D'autres essais disponibles pourraient également être analysés. Une validation semble donc encore nécessaire. Le cas du chargement cyclique a été abordé mais il reste encore de l'analyse de données d'essais à effectuer afin de faire une synthèse des résultats.

5. Références

- Benzaria, O., Puech, A., Le Kouby, A. (2013). Essais cycliques axiaux sur des pieux forés dans une argile surconsolidée. Actes, Congrès international de Mécanique des Sols et de Géotechnique, Paris, septembre 2013.
- Bustamante, M. and Gianceselli, L. 2001. Méthode d'essai n°34. La mesure des déformations à l'aide des extensomètres amovibles LPC. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris Report 34.
- Le Kouby, A., Rocher-Lacoste, F. (2012). Effect of Cyclic Axial Loading on the Distribution of Load along a Pile. ASCE Special Publication n°227, pp. 436-451.
- Le Kouby, A., Rocher-Lacoste, F. (2016). Argile des Flandres : Influence du mode d'installation sur la réponse des pieux. Actes des JNGG 2016, pp. 213-220, Nancy.
- Puech, A., Po, S., Benzaria, O., Rocher-Lacoste, F., Le Kouby, A. (2011). Chargement cyclique de pieux-tests instrumentés: le programme SOLCYP. Proceedings of the 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp. 903-908.