

Ancrage des pieux tarière creuse type III dans des terrains indurés : nécessité d'outils de forage performants et de reconnaissances de sols adaptées

Anchoring of continue flight auger piles in hard soil: necessity of succesful tools of drilling and adapted soils investigations.

Berthelot P.

Bureau Veritas, Paris, France,

Cardona G., Glandy M.

Soletanche-Bachy-Pieux, Paris, France,

Durand F.

Fugro, Paris, France

RÉSUMÉ : Une des limites d'utilisation des pieux « tarière creuse » est la potentialité d'ancrage dans des terrains indurés (grès, poudingues, marno-calcaire compact, rocher, etc.). L'objet de l'article est de décrire les essais de faisabilité réalisés dans ces terrains préalablement aux travaux, essais mettant en exergue la sensibilité et la performance des outillages mis en œuvre provenant de tarière creuse de dernière génération. La pénétration dans ces terrains ne peut se faire qu'avec un outil d'attaque spécifique prolongé d'une pointe pilote télescopable au bétonnage. Elle nécessite aussi un important couple de rotation et des moyens de poussées verticales. Ces essais ont été implantés au droit de sondages de reconnaissance géotechnique adaptés (de type pressiomètres de haute pression, enregistrement de paramètres de foration, carottage,...) permettant de bien mettre en évidence les fortes résistances et les modules très élevés de ces terrains indurés. Ces essais de faisabilité prenant en compte ces adaptations de l'outillage et les résultats des reconnaissances géotechniques ont été mis en œuvre sur deux chantiers importants. Ils ont permis de valider les critères d'ancrage répondant aux spécificités de chacun des projets et de mener à bien ces deux chantiers.

ABSTRACT: One of the limits of continue flight auger piles is the potentiality of anchoring in hard soil (sandstone, compact malm-limestone, rock ...) The object of the article is to describe feasibility tests realized in these grounds before the works, the tests highlighting the sensibility and the performance of the implemented equipments resulting of continue flight auger of last generation. The penetration in these grounds can be made only with a tool of specific attack extended by an experimental retractable point in the concreting. He also requires an important couple of rotation and the means of vertical pushes. These tests were implanted right adapted soils investigations (pressiometer high pressure, recording of parameters of foration, core drilling) allowing to highlight well the strong resistances and the very high modulus of this hard soil. These feasibility test taking into account these adaptations of the equipment and the soil investigation were operated on two important construction sites. They allowed to validate the criteria of anchoring answering the specificities of each projects and to bring a successful conclusion these two construction sites..

MOTS-CLÉS: tarière creuse, terrains indurés, outil de forage, essais pressiométriques, essais destructifs.

KEYWORDS: continue flight auger, hard soil, drilling tools, pressiometer test, destructive test

1 INTRODUCTION

Sur les sites de l'hôpital Robert Schumann à Metz, et des « Terrasses du Port » à Marseille, le contexte géologique, rocheux, voire induré, du substratum orientait le concepteur vers l'exécution de pieux forés tubés, avec mise en œuvre de moyen de pénétration adapté au terrain dur tel que le trépan ou le carottier

En variante, Soletanche-Bachy-Pieux a proposé la mise en œuvre du procédé Starsol (Cahier des Charges version 5, 2012) sous réserve d'un essai de faisabilité préalable aux travaux.

Ces essais de faisabilité avaient pour objet, d'une part de vérifier que les moyens mis en œuvre permettaient de réaliser les fondations, d'autre part de caler un critère d'ancrage en fonction des caractéristiques pressiométriques mesurés.

Sur le site de Marseille, ils ont été couplés à des essais pressiométriques supplémentaires haute pression

L'objet de cet article est d'exposer le contexte géotechnique de chaque site, de décrire les moyens mis en œuvre, de décrire les essais de faisabilité réalisés, et enfin de conclure sur les critères d'ancrage

2 CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Les deux sites ont fait l'objet d'une campagne de reconnaissance à partir principalement d'essais carottés et d'essais au pressiomètre avec p_{1e} : valeur moyenne des pressions limites mesurées par couche et E_m : valeur moyenne des modules mesurés par couche.

2.1 Hôpital Robert Schumann à Metz

Le site a fait l'objet d'une campagne de reconnaissance par Fondasol, et a mis en exergue la géologie suivante au droit du sondage PR5 qui correspondait aux valeurs de module les plus élevées

- 0 à 6 m, argile de caractéristiques moyennes avec $p_{1e} = 0.7$ MPa et $E_m = 10$ MPa ;
- 6 à 9 m, argile marneuse moyenne avec $p_{1e} = 1.5$ MPa et $E_m = 15$ MPa
- 9 à 11 m, argile marneuse plus compacte avec $p_{1e} = 2$ MPa et $E_m = 50$ MPa
- Au-delà, marnes à passages calcaire de p_f (pression de fluage) > 5 MPa et $E_m > 250$ MPa, avec p_{1e} retenue = 8 MPa

La classification des sols, notamment le distinguo entre marnes et argiles marneuses, repose sur la mesure des teneurs en carbonate C_aCO_3 .

2.2 Terrasses du Port à Marseille

Le site a fait l'objet d'une première campagne de reconnaissance par Sobesol, puis par une campagne de reconnaissance pressiométriques avec essai haute pression et a mis en exergue la géologie suivante du substratum stampien qui présente la particularité d'être soit

- Marneux avec des $p_{1e} > 5$ MPa et des $E_m > 100$ MPa
- Gréseux, avec des $p_{1e} > 10$ MPa et des $E_m > 200$ MPa ;

La difficulté du site relevait de cette dichotomie entre la nature gréseuse ou marneuse du stampien, et des valeurs importantes des valeurs de E_m et de p_f mesuré

3 MOYEN MIS EN OEUVRE

Soletanche-Bachy a mis en œuvre les moyens matériels suivants :

- Foreuse IHC3500, couple de rotation 45 tm, et pulldown 40t
- Diamètre de la tarière 800 à 1350 mm
- Equipement Starsol
 - Tube plongeur 1.5 m
 - Tarières spécifiques au couple
 - Outils à dents carbure sur lame unique et pointe pilote adaptée
 - Enregistrement de paramètres affichés en temps réel,



Figure 1. Tube plongeur et dents en bout de l'outil d'attaque.

4 ESSAIS DE FAISABILITÉ

Les essais de faisabilité (NF EN 1536 -2010) réalisés en début de chantier permettent de vérifier la faisabilité et l'adéquation de la méthode d'exécution par rapport à la réalité du terrain réellement rencontré. Ils permettent également de vérifier la bonne application des critères fournis par le projet.

4.1 Hôpital Robert Schumann à Metz

Cet essai a été réalisé en présence du géotechnicien et du bureau de contrôle le 25 février 2010.

Il s'agit de 2 pieux de diamètre 820 mm, de longueurs 11.5 m et 19 m, ancrés de 1.5 m ou 9 m dans les marnes indurées.

Le deuxième pieu a fait l'objet d'un suivi par la géotechnicien.

Ce pieu a été équipé d'une cage d'armature et a aussi fait l'objet d'un essai dynamique de chargement.

A la demande de SBP, une analyse des teneurs en $CaCO_3$ a été faite et a conclu au caractère argileux des 3 premiers mètres.

Le compte-rendu de cette campagne de faisabilité a été rédigé par Michel Bustamante, a été validé par la Maîtrise d'œuvre et par le géotechnicien, en validant une portance calée sur un critère d'ancrage

La note de calcul a alors été établie sur la base d'ancrage calé sur les vitesses d'avancement de cet essai, et sur une valeur de $p_e = 8$ MPa. Le chantier s'est ensuite déroulé sans problème majeur, les enregistrements de paramètres en temps réel permettant de valider en toute transparence les ancrages réalisés.

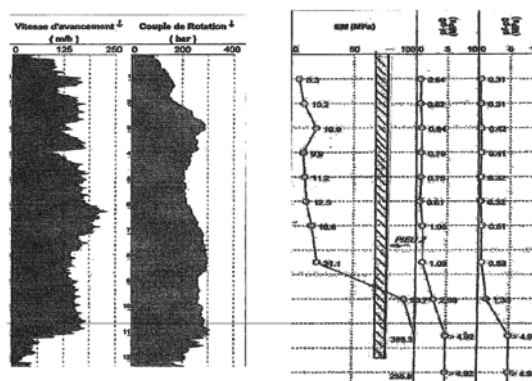


Figure 2. Metz : Comparaison avancement de l'outil Starsol et valeurs de l'essai au pressiomètre (E_m , p_f , p_i).

4.2 Terrasses du Port à Marseille

La campagne de faisabilité a eu lieu en présence du bureau de sol Fugro, de Vinci et du bureau de contrôle Veritas le 8 avril 2011. Trois pieux ont été réalisés : un au droit du stampien marneux, deux au droit du stampien gréseux.

4.2.1 Au droit du Stampien marneux

Le pieu a été réalisé au droit du sondage M2.1 correspondant à un ancrage de 9 m dans le stampien marneux à partir de 14 m de profondeur, et a mis en exergue une chute de vitesse d'avancement de l'ordre de 60 m/h

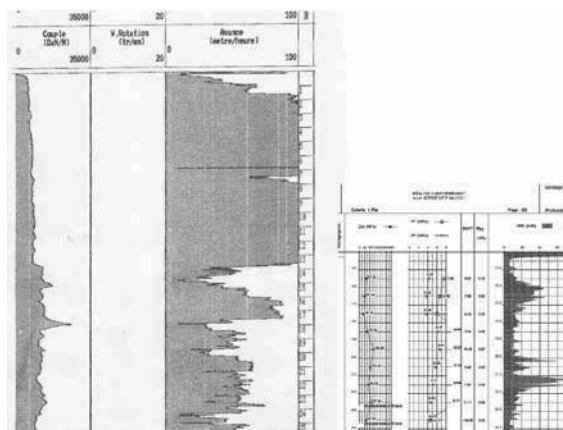


Figure 3. Marseille : Comparaison avancement de l'outil Starsol et valeurs de l'essai au pressiomètre (E_m , p_f , p_i ; vitesse instantanée d'avancement.).

Le terrassement général de la fouille voisine sous le bâtiment M1 a permis de visualiser ce stampien marneux



Figure 4. Marseille : stampien marneux

4.2.2 Au droit du Stampien gréseux

Le pieu a été réalisé au droit du sondage M2.2 et du sondage carotté SC34 correspondant à un ancrage de 8m dans le stampien gréseux à partir de 18 m de profondeur

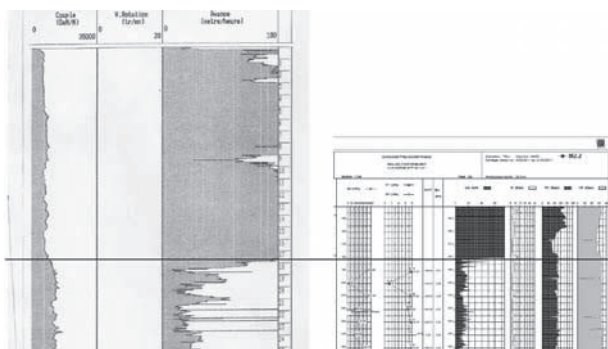


Figure 5. Marseille : Comparaison avancement de l'outil Starsol et valeurs de l'essai au pressiomètre (E_m , p_f , p_i ; vitesse instantanée d'avancement.).

Le terrassement général de la fouille voisine sous le bâtiment M1 a permis de visualiser ce stampien gréseux



Figure 6. Marseille Stampien gréseux

4.2.3 Analyse

Au sens de l'essai destructif avec enregistrement de paramètres mené préalablement à la réalisation de l'essai pressiométrique, les vitesses instantanées d'avancement (v.i.a) montrent une très nette différence entre le Stampien marneux avec des v.i.a de l'ordre de 20 à 40 m/h et le Stampien gréseux avec des v.i.a inférieure à 20 m/h.

Les enregistrements en temps réel spécifiques réalisés par l'outillage Starsol et tracés directement sur papier grâce au système embarqué Enbesol permettent de retrouver cette dichotomie entre les deux types de Stampien. La pénétration dans le stampien marneux se caractérise par des vitesses d'avancement de l'ordre de 60 m/h, celle dans le stampien gréseux par des vitesses inférieures à 20 m/h.

5 CRITÈRE D'ANCRAGE ET PARAMÈTRES DE DIMENSIONNEMENT

5.1 Hôpital Robert Schumann à Metz

Nous n'avons retenu qu'un seul critère d'ancrage calé sur les vitesses d'avancement de l'outil Starsol, avec un minimum de 1 m, associé à une valeur caractéristique de pression limite égale à 8 MPa.

5.2 Terrasse du Port à Marseille

Les valeurs de pression limite des essais courants étant plafonnées à 5 MPa, que ce soit dans la marne ou que ce soit dans le grès et afin de bien caractériser les critères d'ancrage, les sondages pressiométriques complémentaire avec sonde haute pression ont été réalisés au droit de chaque type de substratum, avec possibilités de mesurer des pressions de fluage à plus de 9 MPa et ainsi de valider une pression limite de 10.5 MPa.

Nous avons alors différencié deux critères d'ancrage calées sur des vitesses d'avancement de l'outil de forage et vérifiés sur chaque pieu :

- Dans les matériaux à prédominance marneuses la vitesse retenue de l'outil Starsol est : $V = 80$ m/h sur les 2 premiers m et 60 m/h au-delà. Dans ce type de matériaux le minimum d'ancrage permettant de justifier les critères de calcul de projet est de 3 m.

- Dans les matériaux à prédominance gréseux la vitesse retenue de l'outil Starsol est : $V = 25$ m/h. Dans ce type de matériaux l'ancrage minimum permettant de justifier les critères de calcul de projet est de 1.5 m.

Le chantier s'est ensuite déroulé sans problème majeur, supervisé par une mission G4 par Fugro, les enregistrements de paramètres en temps réel permettant de valider en toute transparence les ancrages réalisés.

6 CONCLUSION

Grâce à la puissance de la machine et surtout à la spécificité de l'outil d'attaque terminant le tube plongeur, la pénétration et donc l'ancrage du pieu tarière creuse de type III (Starsol) dans un sol très résistant (module pressiométrique > 200 MPa) et sur des longueurs ≥ 2 diamètres sont réalisables.

Seule l'utilisation d'outil spécifique particulièrement en base du tube plongeur permet l'ancrage, en évitant le patinage de la plaque classique que l'on trouve sur les tarières creuses sans tube plongeur

Les enregistrements de paramètres en temps réel permettent en toute transparence de réaliser le chantier conformément au dimensionnement

Des essais de faisabilité en début de chantier, bien positionnés par rapport aux essais géotechniques sont toujours nécessaires pour démontrer la parfaite adéquation entre les moyens mis en œuvre par l'entreprise de Fondations Spéciales et les critères fixés par le projet.

Il est utile de réaliser des essais pressiométriques haute pression pour valoriser le terme de pointe en fonction de la réelle valeur de mesure de p_i , voire d'une corrélation de cette valeur en fonction de la valeur mesurée de p_f

7 RÉFÉRENCES

- Cahier des Charges Pieu Starsol 2012. Version 5. Soletanche-Bachy-Pieux.
- NF EN 1536 (P 94-310) 2010. Exécution des travaux géotechniques : Pieux forés. AFNOR, Paris.

