

CORRÉLATION ENTRE PARAMÈTRES DE FORAGE ET PROFILS PRESSIOMÉTRIQUES PAR AUTOFORAGE DU TUBAGE ROTOSTAF

CORRELATION BETWEEN DRILLING PENETRATION AND PMT LOGS WHEN USING SLOTTED CASING EMPLACED BY ROTOSTAF SELF BORING

Jean-Pierre BAUD 1^{er} auteur¹, Michel GAMBIN², Gérard ARSONNET³, Thibaut PÉRINI⁴

¹ Eurogé, Avrainville (91), France, baud@eurogeo.fr <www.eurogeo.eu>

² Géotechnicien émérite, Paris, France, mgambin@magic.fr

³ Géomatech, Champlan (91), France, g.arsonnet@geomatech.net

⁴ Bouygues, Guyancourt (78), France, t.perini@bouygues-construction.com

RÉSUMÉ – L'atelier de forage Rotostaf® est dédié à la réalisation d'essais pressiométriques par autoforage (Baguelin & Jézéquel 1973) du tube fendu. Les diagraphies instantanées de paramètres d'autoforage sur cette tête de forage à double rotation, exprimées en termes d'énergie, montrent un accord remarquable avec les modules pressiométriques, moyennant la prise en compte de toutes les conditions de forage.

ABSTRACT – The Rotostaf® drilling rig crew runs pressuremeter tests after selfboring (Baguelin & Jézéquel 1973) of the PMT slotted casing. The plot of the drilling parameters instant logging obtained on the double rotation drill head, expressed versus energy, shows a noticeable agreement with the PMT moduli plot, as long as all the drilling conditions are taken into account.

1. Introduction

La méthode de forage Rotostaf (Arsonnet *et al.* 2013) a été développée dès 2011 à partir d'un prototype chez Géomatech, par la mise au point d'une tête de forage spécifique permettant la double rotation simultanée en sens inverses, du train de tubage autoforé comportant le tube fendu pressiométrique, et de l'outil excentrique de roto-percussion.

Le développement constant de la méthode de façon à obtenir dans la plus large gamme de sols des essais en autoforage, avec possibilité de mesure de p_0 in situ et d'une courbe de module décroissant avec la contrainte (Baud *et al.* 2015, Baud 2017), a amené plus récemment à la conception d'une sondeuse Rotostaf de seconde génération, équipée de capteurs des principaux paramètres utiles à la conduite de l'autoforage du tubage pressiométrique. Ces paramètres sont enregistrés en continu sur l'équipement Explofor II relié à l'ordinateur de chantier Géobox sur lequel le sondeur dispose simultanément du log de ces paramètres et du pilotage de ses essais pressiométriques (Apagéo 2016, 2017).

Par rapport aux diagraphies instantanées de forage destructif préalable par un outil en rotation ou roto-percussion (Gambin 1997), on pourrait penser, pour le double système de rotation avec entraînement d'un train de tubage 63mm continu, à une plus grande difficulté à distinguer dans le sol foré des couches ou des sous-ensembles homogènes.

Sur les forages destructifs, réalisés ou non parallèlement aux reconnaissances pressiométriques, il existe de nombreuses références d'utilisation de ces enregistrements continus pour la caractérisation de couches de comportement homogène, par l'utilisation de paramètres composés et d'algorithmes d'exploitation automatique. On retrouve les principales références dans la thèse de Moussouteguy (2002) et le chapitre sur les sondages destructifs de Reiffsteck *et al.* (2012). Il est bien connu que la normalisation de cette utilisation pour les reconnaissances de site est difficile en raison de la grande variété des types de machines utilisées en géotechnique (Héraud & Baud 1977, Pfister 1985, Viana da Fonseca & Coelho 2007, Frossard & Reboul 2016, Reiffsteck *et al.* 2016).

1.1. Données de base de la foreuse Rotostaf II

L'atelier d'autoforage pressiométrique utilisé est basé sur un modèle Apafor 450 d'Apagéo, foreuse hydraulique de 45CV automotrice sur chenillard, modifiée par l'équipement de la tête à double rotation Rotostaf de Géomatech sur une flèche permettant à celle-ci une course de 1,77 m pour le montage des ensembles tube-tige STAF de 1,22m (Fig.1). Le poids total hors outils de forage est de 3570 kg.



Figure 1. Atelier de forage Rotostaf®II (images Bouygues / Géomatech / Apagéo).

Les données de forage enregistrées sont la vitesse d'avancement V_A de la tête de forage (enrouleur en haut de mat) et les 3 pressions hydrauliques « classiques » P_O de poussée sur l'outil, P_R du couple de rotation et P_I du fluide d'injection par la pompe Triplex (débit 80 l/mn à 40 bars).

1.2. Présentation du log des données pressiométriques et des paramètres de forage

Les paramètres de forage dans les comptes rendus géotechniques sont souvent présentés sous leur forme brute d'enregistrement c'est-à-dire les pressions mesurées sur circuits hydrauliques de la foreuse, et lors d'une lecture rapide on ne regarde alors que V_A et P_I . Cette présentation est souvent suffisante pour constater une bonne corrélation inverse entre V_A et résultats pressiométriques (Fig. 2a) et parfois pour repérer des limites de couches contrastées.

Il est cependant dommage de limiter l'emploi d'un enregistrement demandé presque systématiquement lors des forages pressiométriques à ce seul rendu graphique. Pour comparer entre elles les données d'ateliers de forages différents, il serait nécessaire de disposer pour chacun de la correspondance entre pressions mesurées et forces sur l'outil de forage. Dans les cas présentés ici, les valeurs données par le constructeur de la Rotostaf II sont les suivantes :

- o Poussée sur l'outil en daN = $18,64 \times$ pression en bar du circuit de poussée.
- o Couple de rotation sur l'outil en daN.m = $0,7667 \times$ pression en bar du circuit de rotation.
- o Couple de rotation sur le tube en daN.m = $1,6 \times$ pression en bar du circuit de rotation.
- o Couple de rotation sur l'ensemble forant = $2,3667 \times$ pression en bar du circuit de rotation.

Le log de forage de la figure 2b présente le même sondage avec ces paramètres en unités physiques réelles, la vitesse d'avancement est figurée en échelle logarithmique qui moyenne un peu mieux les variations de vitesse hachées par l'enregistrement tous les centimètres.

2. Recherche d'un paramètre composé homogène à une énergie

Cet exemple d'enregistrement classique de 3 pressions sur la machine et de la vitesse d'avancement, ne permet pas le calcul de l'indice de Somerton (1959) :

$$S = P_o \cdot (V_R/V_A)^{1/2} \quad (1)$$

en unités de pression ou de force selon P_o , dont la corrélation avec la pression limite a été démontrée (Cassan & Gambin 2002).

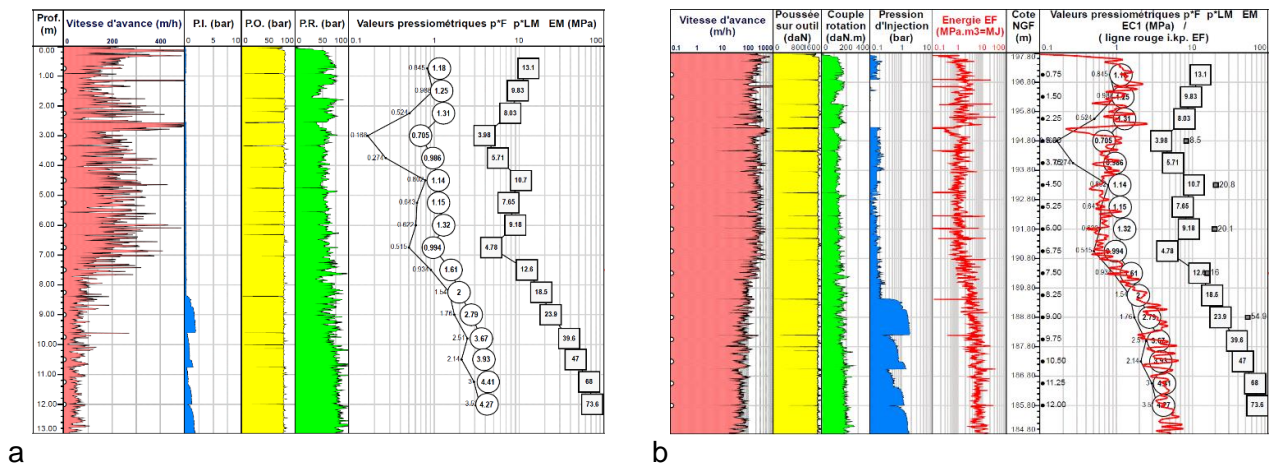


Figure 2. Exemples de présentation des diagraphies instantanées et des résultats pressiométriques : a) juxtaposition usuelle des mesures brutes / b) présentation logarithmique en unités physiques et exploitation en termes d'énergie de forage.

Cette bonne corrélation vient principalement de la vitesse d'avancement dont on prend l'inverse (en dénominateur) et de la résistance à la rotation, pour laquelle le couple peut être pris à la place de la vitesse lorsque celle-ci n'est pas mesurée, la poussée sur l'outil étant dans la mesure du possible demandée constante au foreur. Cette substitution de mesures aboutit à un « indice » assez bien corrélé à la pression limite, mais dont les unités seraient physiquement sans signification ($M^{3/2}.L.T^{-3/2}$) :

$$S_{modifié} = P_o \cdot (C_R/V_A)^{1/2} \quad (2)$$

Nous avons tenté empiriquement de « toiletter » cette approche de façon à constituer un paramètre composé dont l'unité soit en termes d'énergie de foration :

$$E_F = \left(\frac{P_o \cdot C_R^2}{m \cdot (V_A/t)} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Le paramètre composé E_F est en Joules [$M.L^2.T^{-2}$] soit $kg.m^2.s^{-2}$ en unités SI, avec la poussée P_o en N, le couple C_R en N.m. On voit que c'est l'accélération qui est utilisée, la vitesse V_A en m/s étant divisée par le temps et multipliée par la masse m en kg du sol foré pendant l'unité de mesure (le cm) avec une hypothèse sur la masse volumique $\rho = 1,8$ du sol, qui peut être modulée selon le cas. La figure 2b montre le profil de cette énergie de foration E_F en regard des paramètres qui la composent et du profil pressiométrique autoforé. Ce premier exemple d'application est fait dans une grande épaisseur de remblai de concassé calcaire 40-180mm, relativement homogène, uniquement granulaire et ne présentant pas de stratification comme un sol naturel. On voit que malgré la crainte que l'on puisse avoir que le frottement du tube masque les variations de résistance du terrain, la corrélation avec la pression limite est assez bonne. Elle peut être améliorée en modifiant la diagraphie par :

- Un indice modérateur fourni par la pression d'injection rapportée à la pression atmosphérique :

$$i = \left(1 + \frac{1_{atm}}{(1_{atm} + P_I)} \right)^{1/2} \quad (4)$$

- Un terme de profondeur, plus exactement inverse de la profondeur, qui tend vers 1 à grande profondeur et augmente relativement la valeur de E_F pour les faibles profondeurs :

$$k_p = \ln(1 + 30/z_{(m)}) \quad (5)$$

La courbe de variation de $i.k_p.E_F$ reportée sur le log $p^*_{LM}(z)$ de ce même forage donne une superposition satisfaisante, vérifiée par corrélation linéaire (Fig.3), vérifiée également sur plusieurs sondages pressiométriques dans les mêmes conditions d'autoforage. La superposition est ici directement entre $i.k_p.E_F$ en MJ (mégajoules) et p^*_{LM} en MPa (mégapascals, et non « M-P-A »), ce qui sous-entend que l'on fait « comme si » le terme k_p était en m^{-3} , autrement dit que l'énergie de forage rapportée à $1m^3$ de sol traversé par le forage donne l'ordre de grandeur de la pression limite du sol.

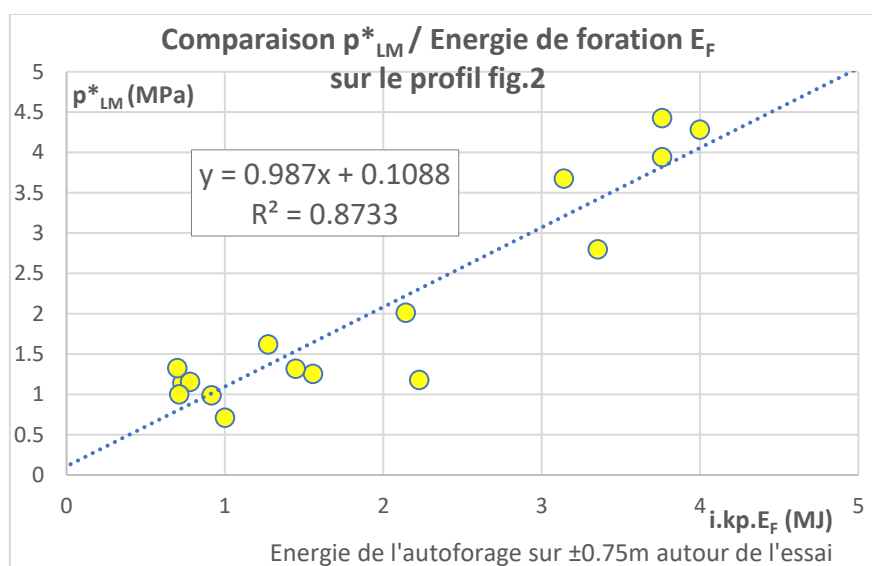


Figure 3. Corrélation entre énergie de foration E_F et pression limite p^*_{LM} sur le log de sondage pressiométrique de la figure 2.

3. Corrélation de l'énergie E_F avec le module plutôt que la pression limite

En cherchant à utiliser systématiquement ce paramètre composé à partir de l'énergie de foration lors de sondages pressiométriques en autoforage dans des sols plus variés avec cet atelier Rotostaf II, il est apparu parfois quelques divergences de corrélation avec la pression limite, alors que le profil d'énergie obtenu semblait rester plus homothétique à celui des modules E_M , avec une valeur évidemment plus faible, liée à la gamme des rapports E_M/p^*_{LM} habituels selon les sols. Lors de ces utilisations, la mesure de la vitesse de rotation avait été implémentée sur l'atelier de forage, permettant de calculer également un indice reprenant le second membre de celui de Somerton, sans unité :

$$v = (V_R/V_A)^{1/2} \quad (6)$$

3.1. Exemple 1. Chantier à La Courneuve (93)

La figure 4 ci-après montre les variations de cet indice v^2 en parallèle du paramètre composé E_F , sur une coupe de sondage typique du Parisien : alluvions grossières sur Sables de Monceau puis Calcaire de Saint-Ouen. Il s'agit, comme d'ailleurs pour le cas précédent des remblais de blocs, de formations dans lesquelles aucune autre méthode d'autoforage que celle d'un tubage pressiométrique n'aurait pu être employée.

Les petites variations de cet indice v sont auto-corrélées à celle du paramètre E_F , en raison de la prépondérance des variations de vitesse V_A dans les deux cas, v^2 varie entre 4 et 100 environ, donc v entre 2 et 10, avec une amplitude moindre que E_F donc.

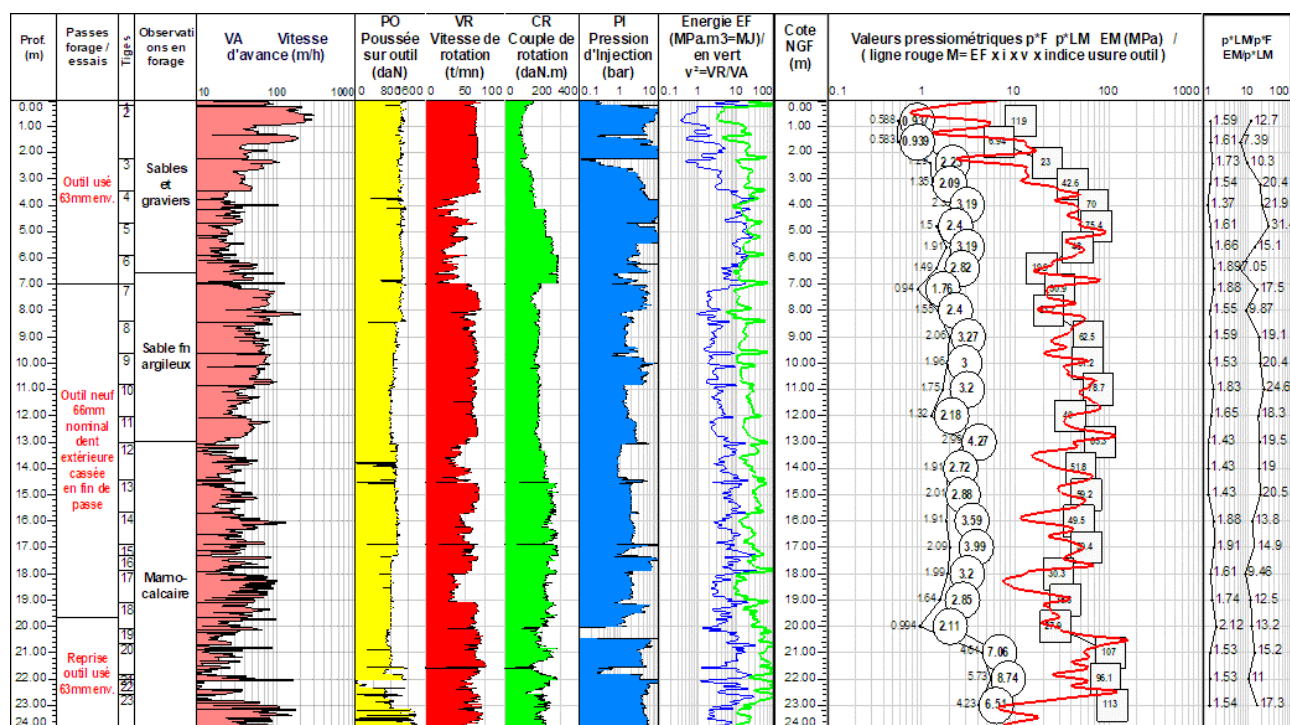


Figure 4. Diagramme d'autoforage du tube Rotostaf et profil pressiométrique dans des terrains granulaires, des sables argileux et des marno-calcaires avec l'influence de l'état d'usure de l'outil.

En cumulant ces deux paramètres composés, on compare au profil pressiométrique la diagramme $v.i.E_F$. Il apparaît alors que ce paramètre « surcomposé » prend une valeur de l'ordre de grandeur du module E_M en MPa.

Sur le cas du sondage donné en figure 4, le chef sondeur avait eu l'occasion de changer à 7 m de profondeur un outil de forage usé qui manifestement ralentissait l'avancement et la rotation avec occurrence d'un couple élevé, devenant risqué pour le tube fendu comme pour les essais, pour un outil neuf qui améliore brusquement ces paramètres. Puis il a eu la malchance que cet outil neuf comportait une paille dans la plaquette de tungstène la plus sollicitée, d'où une retombée dans le même souci de difficulté à forer entre 13 et 20m. Et enfin le sondage, qui était effectué pour rechercher un ancrage pour des pieux, a été poursuivi prudemment, avec une poussée sur l'outil modérée, de 20 à 24m en réutilisant l'outil usé. Au total, les imperfections de cette superposition entre $v.i.E_F$ et E_M apparaissaient à l'évidence liées à ces changements d'outils. Dans la littérature, il existe différentes méthodes de correction des paramètres par une évaluation du degré d'usure des outils (Choquin, 1982). En ne prenant comme information primaire que le diamètre nominal des outils, lequel ne peut pas descendre en pratique au-dessous de 63mm (pour rester aligné sur le diamètre du train de tubes), nous avons essayé un correctif assez simple :

$$u = [1 + \pi \cdot (D_{mm} - 63_{mm})]^{1/2} \quad (7)$$

soit une valeur qui varie de 1 pour un outil très usé à 3 pour un outil neuf ($D = 66mm$).

Avant d'être reporté sur la même échelle que le log du module E_M , le paramètre composé global que nous appellerons M (comme Ménard...), $M = u \cdot v.i.E_F$, en MJ, est lissé pour éliminer les nombreux pics aléatoires que produit la composition du paramètre à partir de valeurs enregistrées tous les 1 cm, ce qui revient dans certains terrains selon leur granulométrie à « compter les cailloux » comme peut le faire un pénétromètre statique quand il n'est pas dans un sol fin. Ce lissage est fait en cumulant les effets d'une médiane mobile, puis d'une moyenne harmonique mobile, sur une base de 10 à 15 cm. Malgré cela, la diagramme garde une variabilité instantanée importante. Cette diagramme du paramètre composé M , obtenu uniquement à partir des éléments de l'enregistrement de paramètres instantanés au cours de l'autoforage du tubage pressiométrique, sans ajout de coefficients, présente alors le plus souvent un bon accord avec les tendances de variations du module

pressiométrique E_M , vérifié également par une relation (Fig. 5a) qui reste assez dispersée, à l'image de la variété des rapports E_M/p_{LM}^* (Périni *et al.* 2013) dans les essais (Fig.5b).

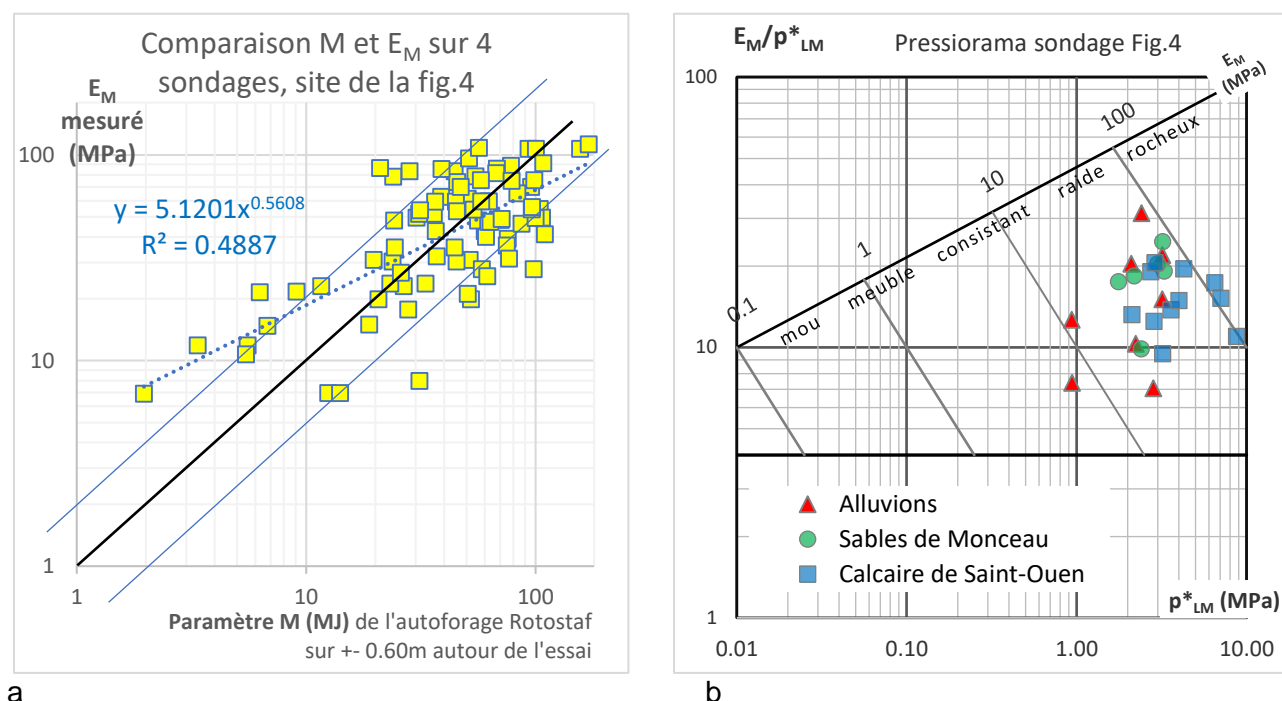


Figure 5. a) Corrélation entre paramètre composé $M = u.v.i.E_F$ et module E_M sur le log de la fig.4 et 3 sondages du même site. b) Position des essais de la fig. 4 dans le diagramme Pressiorama.

A ce stade, les quelques exceptions à cette bonne corrélation sont facilement repérables, et peuvent inciter à revenir aux feuilles d'essais pour vérification de la qualité de l'essai, ou du choix de la plage de calcul du module. La courbe de l'essai à 7,20m du profil 4, notamment, est très régulière et convenable, mais la baisse de p_{LM}^* et le rapport élevé par rapport à celui du terrain encaissant laissent penser que l'obligation d'arrêter la passe et changer d'outil juste à son niveau est pour partie dans sa valeur un peu faible, même en module, qui reflète une certaine décompression du sol.

La diagraphie instantanée ne renseigne que sur un volume de $30cm^3$ au niveau de chaque mesure, au mieux $300cm^3$ si on moyenne sur 10cm, alors que l'essai pressiométrique sollicite un volume de sol de l'ordre du mètre cube, et il y a de nombreux exemples d'influence sur le module d'une faiblesse à distance de l'axe du forage.

3.2. Exemple 2. Chantier à Chartres (28)

La coupe est ici aussi très classique : argile à silex sur craie. Un paramètre complémentaire jouant un rôle dans l'énergie de forage manque aux exemples précédents, c'est l'utilisation de la percussion. Le forage Rotostaf l'utilise en fait assez peu, et peut s'en passer totalement dans les sols allant de mous à moyennement consolidés, jusqu'à des modules pressiométriques de l'ordre de 30 MPa au moins, ce qui couvre déjà largement les sols meubles. Mais il est clair que dans les marno-calcaires ainsi que les sables et graviers du site précédent, la rotopercussion a été mise en œuvre. Plutôt que la mesure de la percussion réfléchie, rarement utilisée, difficile à mettre en œuvre de façon fiable, et dont le résultat en termes d'énergie réellement utilisée pour le forage est discutable, nous avons utilisé sur ce site une prise de données de pression en tout ou rien, c'est-à-dire utilisation ou non de la percussion. Elle apparaît dans la huitième colonne de la figure 6. Sur cet exemple, on a utilisé successivement du forage préalable, de l'autoforage Rotostaf avec un outil seulement interne, puis avec l'outil débordant. Les différentes méthodes permettent le dessin du paramètre $M = u.v.i.E_F$, avec $u = [1 + \pi.D_{mm}/2]^{1/2}$ pour le forage préalable, qui garde une très bonne relation au profil des modules.

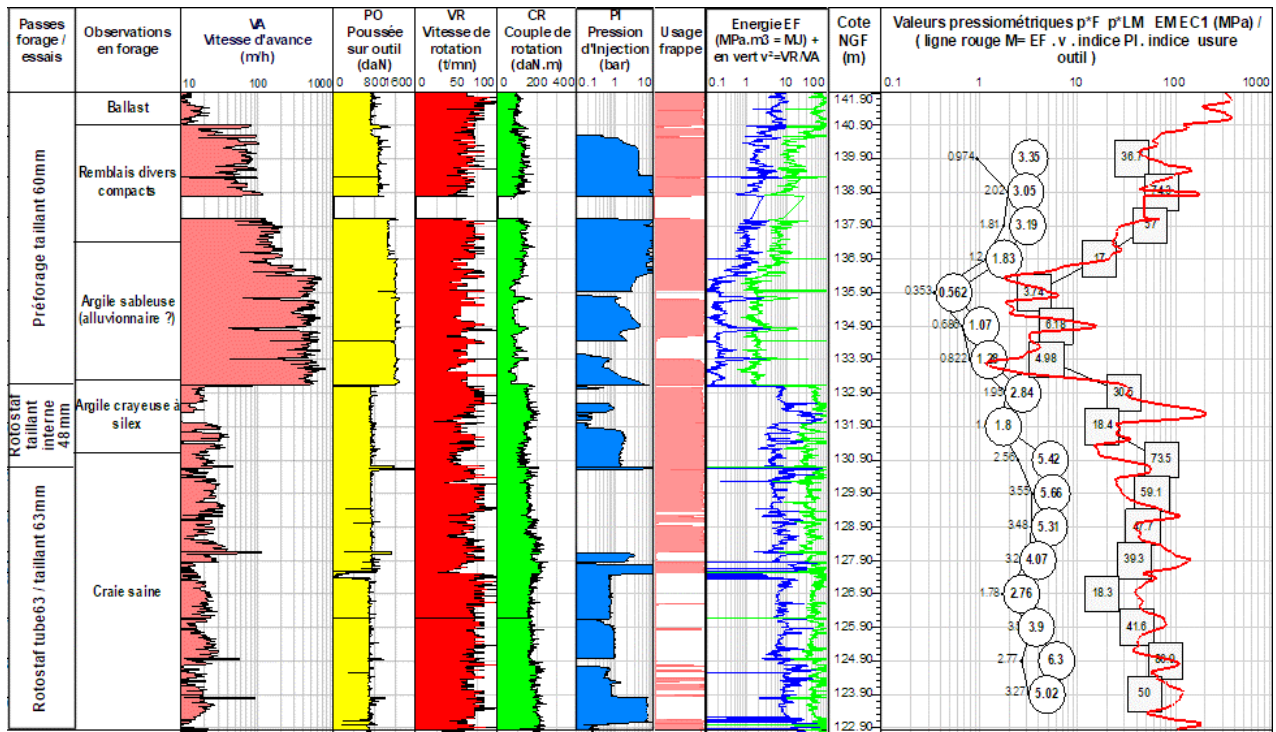


Figure 6. Diagramme combiné préforage puis autoforage du tube Rotostaf et profil pressiométrique dans des argiles caillouteuses et dans la craie du Campanien.

4. Conclusion

L'énergie de foration du système d'autoforage en rotation d'un tube fendu 63mm et d'un train de tubes lisses de même diamètre peut être calculée à partir des principaux paramètres instantanés enregistrés sur la foreuse Rotostaf qui permet cet autoforage.

Il apparaît possible, avec 3 indices correcteurs liés aux conditions de forage, respectivement l'injection d'un fluide de forage, la vitesse de rotation du tubage et l'usure de l'outil excentrique forant le passage du tubage, de déterminer un paramètre composé M dont l'expression complète résultant des équations proposées ci-dessus (3) (4) (6) (7) est :

$$M_{Ménard} = u.v.i.E_F = \left[\left(1 + \pi \cdot (D_{mm} - 63_{mm}) \right) \cdot (V_R/V_A) \cdot \left(1 + \frac{1_{atm}}{(1_{atm} + P_I)} \right) \cdot \left(\frac{P_o \cdot C_R^2}{m \cdot (V_A/t)} \right) \right]^{1/2} \quad (8)$$

Exprimé en MJ sans autre coefficient correcteur, le paramètre composé M est d'un ordre de grandeur le plus souvent assez bien corrélé au module E_M exprimé en MPa qui ressortira de la mesure pressiométrique faite dans le tube fendu autoforé qui a servi à sa composition.

Ce constat vient donc renforcer et fiabiliser la qualité essentielle de l'essai pressiométrique en tube fendu autoforé qui est d'approcher au mieux le module pressiométrique sans décompression ni compression du terrain vierge.

La relation reste un nuage de points assez ouvert. On peut penser que la véritable corrélation serait en fait une relation linéaire entre le paramètre composé M_{Ménard} et l'aire comprise entre la courbe d'essai et l'axe des volumes déplacés, c'est-à-dire l'intégrale de la courbe pressiométrique en P_f(V), qui s'exprime elle aussi en MPa.m³ ou MJ.

Par ailleurs une telle relation s'avère cohérente, puisque la définition même d'un module est fondamentalement une énergie, correspondant, pour un corps cristallin en élasticité linéaire à la force de rappel due au potentiel d'interaction entre atomes (Chastel 2010), pour un sol à la somme non linéaire des interactions par glissement entre ses éléments constitutifs (Ménard et Rousseau 1961, Schlosser 2014).

La relation expérimentale qui se dessine est propre au fonctionnement de l'atelier de forage Rotostaf II utilisé et, pour le moment, limitée aux terrains dans lesquels elle a été testée, lesquels se diversifient au fil des chantiers. Avant de lui donner un caractère plus

général, et de l'appliquer au forage destructif classique, l'influence d'autres facteurs susceptibles de la resserrer doit être regardée, tels que les contraintes préexistantes dans le sol (pression interstitielle, coefficient de pression des terres au repos) ainsi que le mode de prise en compte de la percussion en forage.

Dans tous les cas, l'objectif de cette recherche n'est pas de tenter de se passer de l'information complète sur la loi de comportement du sol que fournit l'essai pressiométrique, en autoforage comme en forage préalable, mais de compléter cette information quantitative à laquelle il est parfois reproché son implantation par nature discontinue, par une donnée qualitative enregistrée fiable et continue en fonction de la profondeur.

5. Références bibliographiques

- Apagéo (2016) Retour d'expérience société *Géocentre*. Le Club Pressio, n°1 septembre 2016, Magny-les-Hameaux.
- Apagéo (2017) Retour d'expérience *Géotec*. Le Club Pressio, n°2 automne 2017, Magny-les-Hameaux.
- Arsonnet G., Baud J.-P., Gambin M. (2013) RotoSTAF®, une amélioration déterminante de l'autoforage du pressiomètre Ménard. Symposium ISP6, XVIII^{ème} CIMSG, CFMS, Paris.
http://www.eurogeo.eu/CMS/modules/dl/759056071/ISP6_Pressio2013_RotostafGeopac.pdf
- Baguelin F. & Jézéquel J.F. (1973) Le Pressiomètre autoforeur. Bull. liaison Labo. P. et Ch., suppl. au n° 67, sept.-oct. 1973, p. 9-30, et Annales ITBTP, suppl. au n° 307-308 juil.-août 1973.
- Baud J.-P., Gambin M., Heintz R. (2015) Modules élastiques, pseudo-élastiques et cycliques dans l'essai pressiométrique Ménard : historique et pertinence actuelle. In: Frikha, Varaksin, Gambin (eds.) ISP7 - PRESSIO 2015, Hammamet, pp 317-327. <http://www.geotech-fr.org/archives-congres/congres-internationaux/ISP7/2015/details>
- Baud J.-P. (2017) Méthode d'autoforage pressiométrique Rotostaf®. Description et utilisation en vue de la mesure de la pression horizontale du terrain au repos p_0 à la paroi du forage avant un essai pressiométrique. Eurogé, Notice DT24/17, Avrainville.
- Cassan M. & Gambin M. (1999) L'enregistrement des paramètres de forage sur la nouvelle ligne TGV Méditerranée. XII congrès Européen de la SIMSG, Amsterdam 7/10 juin 1999.
- Chastel Y. (2010) Mécanismes physiques de la déformation. Chap. XIII in Besson J., Billon N., Cantournet S., Chastel Y., Monasse B., Nazé L., Gourgues-Lorenzon A.-F., Haudin J.-M., Matériaux pour l'ingénieur. Presses des Mines, Paris.
- Choquin A. (1982) Paramètres et contrôle du forage, Technip, Paris.
- Frossard F. & Reboul M. (2016) Mise en place d'un paramètre composé facilitant l'interprétation des paramètres de forage. JNGG, Nancy.
<https://jngg2016.sciencesconf.org/browse/session?sessionid=12155>
- Gambin M. (1997) L'Explofor, un appareil fiable d'enregistrement des paramètres de forage en diagraphie instantanée. Explofor, the Reliable Real Time Drilling Parameter Logger. Publication Apagéo, texte bilingue, Magny-les-Hameaux.
- Héraud H. & Baud J.P. (1977) Utilisation de forages destructifs enregistrés pour le tracé routier de la déviation de Tulle. Rapport de recherche LRPC Clermont-Ferrand.
- Ménard L. & Rousseau J. (1961) L'évaluation des tassements, tendances nouvelles. Sols-Soils, n°1, Paris.
- Moussouteguy N. (2002) Utilisation combinée des essais pressiométriques et diagraphies instantanées. Thèse Univ. Bordeaux I, Ecole doctorale de mécanique.
- Périni T., Reiffsteck P., Martin A. (2013) Application et validation d'abaque pour la classification des sols à partir des résultats pressiométriques. Symposium ISP6, XVIII^{ème} CIMSG, CFMS, Paris
- Pfister, P. (1985) Recording drilling parameters in ground engineering. Ground Engineering, vol.18, n°3, BGA, London.
- Reiffsteck P., Lossy D., Benoit J. (2012) Le sondage destructif. Chap. 6 de Sondages, forages et essais in situ géotechniques, Presses des Ponts, Paris.
- Reiffsteck P., Benoit J., Hamel M., Vaillant J.M. (2016) Proposition d'une méthode de classification basée sur les paramètres de forage. JNGG, Nancy.
<https://jngg2016.sciencesconf.org/browse/session?sessionid=1215>
- Schlosser F. (2014) Détermination des paramètres géotechniques des sols, retours d'expérience. Lecture 4^{ème} Conf. Franco-Maghrébine Géot., Sousse, Tunisie, nov. 2014.
- Somerton W.H. (1959) A laboratory study of rock breakage by rotary drilling. Petroleum transactions, AIME, 216, p. 92-97.
- Viana da Fonseca A. & Coelho S. (2007) Characterization of variable weathered profiles by using DPR. 11th Cong. Int. Soc. Rock Mech., Ribeiro, Olalla & Grossmann (eds), Taylor & Francis Group, London.