



## **Réponse dynamique de la pointe d'un modèle de pieu dans un sol granulaire**

**Azzedine OULARBI<sup>1</sup>, Daniel LEVACHER<sup>2</sup>**

1. Université Saad DAHLAB de Blida, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département SEE, Route de soumaa, BP 270, 09000 Blida, Algérie.  
*Drazzoular@gmail.com*
2. Université de Caen, Faculté des Sciences, UMR 6143 CNRS- M2C, Esplanade de la paix, 14032 Caen, France.  
*daniel.levacher@unicaen.fr*

### **Résumé :**

L'article présente un ensemble détaillé de résultats expérimentaux, obtenus à l'aide d'un pénétromètre dynamique. Il est instrumenté de jauges de contraintes, en pointe comme en tête, et d'un accéléromètre en tête. L'acquisition et le traitement de signaux ainsi que le degré de précision sont clairement définis.

L'analyse de la propagation des ondes dans le pénétromètre permet d'évaluer la résistance dynamique en cours de battage mais aussi de déterminer la relation contrainte-vitesse en pointe. Cette relation est très intéressante à connaître car elle caractérise une loi de comportement dynamique, indispensable dans le cas de simulation numérique de battage de pieux sachant que la plupart des lois utilisées dans les logiciels disponibles ne sont pas totalement satisfaisantes. Les résultats sont discutés et analysés pour des sols granulaires : sables siliceux et carbonatés.

### **Mots-clés :**

Battage – Pénétromètre – Résistance – Comportement dynamique – Sable – Pointe – Siliceux – Carbonatés

### **1. Introduction**

L'instrumentation des pieux pendant le battage est une méthode de contrôle qui est de plus en plus utilisée pour l'installation d'ouvrages en mer mais aussi en site terrestre où la densité de pieux est importante. Elle supplée dans ce cas l'essai de chargement statique, jugé long à mettre en œuvre et onéreux. Néanmoins le suivi d'un battage d'un pieu est possible en mesurant les efforts et l'accélération à l'aide d'un équipement approprié. Par ailleurs, les mesures à effectuer sont devenues courantes. Alors, pourquoi ne pas équiper un pénétromètre de type classique pour essayer d'obtenir une méthode de prévision de battage ? Ceci reviendrait à disposer d'un essai *in situ* qui permette d'envisager le battage d'un pieu à partir des résultats obtenus à l'aide de pénétromètres. Ce pénétromètre présente un double intérêt :

DOI: 10.5150/cmcm.2009.013

- Assurer un suivi complet de battage ;
- Etudier le comportement du sol soumis à la pénétration dynamique.

En effet, en utilisant la théorie de propagation des ondes dans les pieux, il est possible d'interpréter les signaux mesurés et de déduire les valeurs de résistance totale au battage (décomposition des ondes selon la méthode des caractéristiques) ou, dans certains cas, les valeurs de la résistance latérale au battage (MEUNIER & GOULOIS, 1986). Ceci correspond à la première application.

D'autre part, une analyse plus fine (relation contrainte-vitesse par exemple) permet d'étudier le comportement du sol localisé en pointe. Cette possibilité est intéressante car elle offre une confrontation possible entre les lois plus ou moins sophistiquées qui traduisent l'interaction sol en pointe-pieu dans les logiciels de simulation numérique et les relations déduites d'essais pénétrométriques. Ce sont les résultats et observations faites au cours d'essais en laboratoire qui sont décrits et analysés.

## 2. Conditions expérimentales

Les essais sont réalisés dans deux cuves (C1, C2), de hauteur variable. Les sables utilisés sont de nature différente, et mis en place par déversement et ce, par couche de 20 cm. Le contrôle en place de densité se fait à l'aide de boîtes réparties judicieusement dans la cuve. Les caractéristiques géomécaniques sont consignées dans le tableau 1.

Le modèle de pieu n'est autre qu'un pénétromètre dynamique léger instrumenté, constitué d'éléments tubulaires d'un mètre, d'un manchon de mesures en tête (jauges de contraintes, accéléromètre) et en pointe (jauges de contraintes). Celui de pied comporte une pointe débordante et une jupe de protection. Les informations utiles au suivi du battage et à toute la modélisation physique sont les mesures de contraintes et la mesure d'accélération. Le déplacement en tête est acquis à la fin du mouvement de pénétration après chaque coup. Le battage du modèle de pieu se fait à l'aide d'une masse (de 10, 20 ou 30 kg) en chute libre, relevable par treuil débrayable ou manuellement. L'avantage de ce système est l'obtention du battage coup par coup.

Tableau 1. Caractéristiques des sables testés.

Origine	Loire	Fontainebleau	Manche	Quiou
Nature	Siliceux	Siliceux	Carbonaté	Carbonaté
Coefficient d'uniformité	2,5	1,5	6	5,5
Coefficient de courbure	1	1	1	1,3
$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	26,5	26,4	26,8	26,8
$\gamma_{d\ min}$ (kN/m <sup>3</sup> )	15	13	11,3	10
$\gamma_{d\ max}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17,5	17	13,2	13,4
$\Phi$ (°) pic	30-42	32-40	40	36-41
% CaCo <sub>3</sub>	0	0	86	79
Station d'essais *	C1	C1	C2	C2

\* C1 : Cuve d'essais constituée d'anneau en béton ( $\Phi_{ext} = 1,18$  m ,  $\Phi_{int} = 1,00$  m , h = 1,5 m),

C2 : Cuve d'essais métallique (  $\Phi_{ext} = 0,70$  m ,  $\Phi_{int} = 1,68$  m , h = 2,5 m).

### **3. Suivi de battage**

Le système d'acquisition utilisé permet, pour chaque coup, de numériser un couple de données choisies en fonction des paramètres souhaités : contraintes en tête, accélération en tête, contraintes en pointe.

Le traitement des données nécessite des corrections qui s'imposent au moment de l'intégration de l'accélération, puis de l'intégration de la vitesse (LEVACHER & OULARBI, 1987) et (LEVACHER & OULARBI, 1988). Elles sont automatiquement faites, lors des calculs de différenciation des ondes montantes et descendantes et de l'énergie de battage en tête ou en pied.

Les courbes typiques comprennent accélération, vitesse, déplacement et énergie en fonction du temps avec l'indication des maxima et ce pour un coup de mouton. Le suivi de battage est alors bien explicite : nature du refus, efficacité ou rendement du mouton. Il peut se poursuivre jusqu'à la fiche désirée.

### **4. Etude de l'interaction sol-pointe du pieu**

Il est possible, compte tenu des mesures effectuées, d'étudier directement les relations contrainte-vitesse et contrainte-déplacement à la pointe du pieu. La réponse du sol en pointe dépend *a priori* de la vitesse (OULARBI, 1989). L'évaluation, à partir des informations recueillies et du traitement numérique adoptée, de la contrainte et de la vitesse ne pose pas de problème. Les relations établies en continu se présentent sous forme de boucles et évoluent en fonction de la profondeur, nécessitant de grande profondeur ou l'approche du refus (MEUNIER & GOULOIS, 1986).

Les données expérimentales d'essais de battage c'est-à-dire des différents signaux mesurés au laboratoire, ont permis d'appréhender et d'expliquer le comportement dynamique du sol en pointe du modèle de pieu lors du battage.

En particulier les relations résistance-vitesse en pointe ainsi établies et illustrées sur la figure 1, révèlent que pour les sables siliceux (sable de Fontainebleau et sable de Loire) le comportement semble similaire et correspond à un modèle élastoplastique caractérisé par un seuil spécifique selon le type de sable et la densité relative initiale. On peut noter, par ailleurs, que les modèles de comportement du sable de Manche et du sable de Quiou en tant que sables carbonatés sont identiques, il n'en demeure pas moins qu'il est différent du comportement des sables siliceux, comme l'illustre bien la figure 2 ; le comportement tend, cette fois ci, vers un modèle linéaire sur la plage utilisée des valeurs de vitesses. Cette différence fondamentale dans le comportement entre les deux types de sables, pourrait s'expliquer essentiellement par la différence dans la texture.

### **5. Conclusion**

Le pénétromètre battu dans différents sables offre des avantages pour l'analyse du comportement dynamique et du suivi de pénétration. Il est relativement maniable, simple à utiliser et rapidement opérationnel.

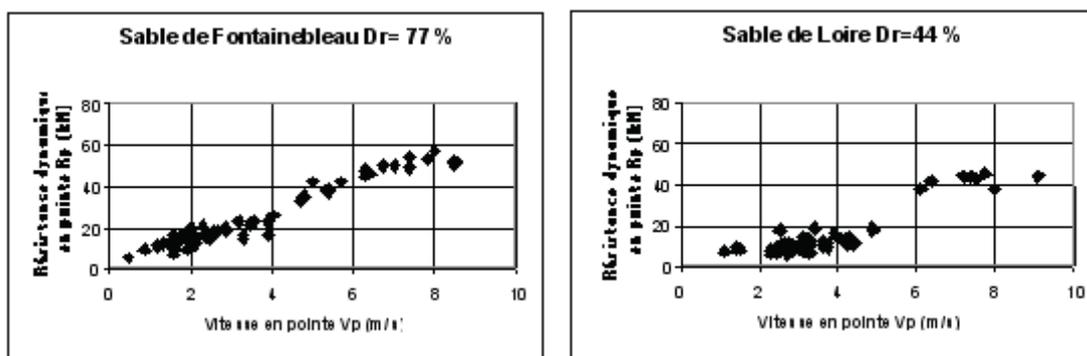


Figure 1. Résistance dynamique en pointe comme fonction de la vitesse de pointe pour les sables siliceux.

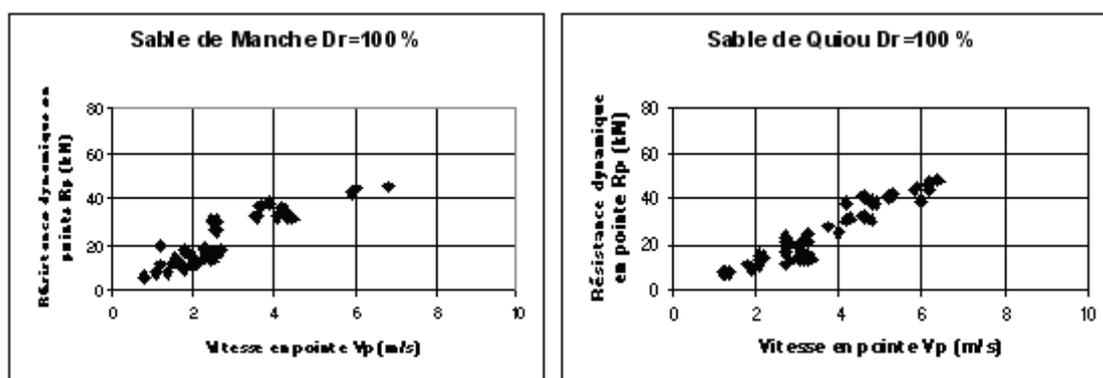


Figure 2. Résistance dynamique en pointe comme fonction de la vitesse de pointe pour les sables carbonatés.

Les essais réalisés pour des profondeurs inférieures à 10 m, dans les sables, ont permis une étude de comportement dynamique de la pointe, tout en sachant que la réaction au battage reste concentrée à la pointe. L'analyse approfondie de la variation en continu de la résistance dynamique en pointe en fonction de la vitesse en pointe sous forme de boucles est un atout important pour l'établissement de lois de comportement pour la simulation numérique.

## 6. Références bibliographiques

LEVACHER D., OULARBI A. (1987). *Analyse de la propagation des ondes dans un pieu instrumenté*. 4<sup>ème</sup> congrès franco-polonais, Grenoble, pp 185-204.

LEVACHER D., OULARBI A. (1988). *Dynamic behaviour of a model pile toe in sands*. 3<sup>rd</sup> Conf. on the application of stress-wave theory to piles, Ottawa, pp 294-302.

MEUNIER J., GOULOIS A. (1986). *Practice and interpretation of instrumented tests during pile driving*. 3<sup>rd</sup> International conference on numerical methods in offshore piling, Nantes, pp 75-89.

OULARBI A. (1989). *Applicabilité des mesures dynamiques au calcul des pieux*. Thèse de Doctorat, E.N.S.M., Nantes, 190 p.