

Prix du procédé ou produit de l'année

Coordonnées de l'entreprise

Jean Lutz SA, 2 rue du Forbeth, 64110 Jurançon, France

Email : contact@jeanlutzsa.fr, pkaragiannopoulos@jeanlutzsa.com

Présentation de l'entreprise et du projet de la recherche

La société Jean Lutz est spécialisée dans la conception, la fabrication et la mise en oeuvre d'appareils de mesure et de pilotage permettant la réalisation des fondations des grands ouvrages à travers le monde. Elle étudie, fabrique et met en oeuvre l'instrumentation pour fondations spéciales utilisée lors de la construction des barrages, métros, tunnels et autoroutes. (Site internet : www.jeanlutzsa.fr).

Description du nouveau produit-procédé

L'essai pressiométrique Ménard tel qu'il est normalisé permet de mesurer la pression totale appliquée au sol, mais il ne donne aucun élément sur la pression interstitielle de l'eau au niveau de la sonde avant essai, ni sur son évolution au cours de l'essai d'expansion. La connaissance de cette pression interstitielle pourrait aider à mieux contrôler les conditions de drainage du sol pendant l'essai et in fine son interprétation. Sa mesure permet de plus d'améliorer les méthodes de classification des sols, à l'instar de celles définies par le CPTu.

Dans le cadre du projet national Arscop, la société Jean-Lutz SA et l'université Gustave Eiffel ont encadré une thèse de doctorat dont l'objectif est de développer un capteur intégré à la sonde, n'entraînant qu'une modification minimale du matériel existant, et ce, afin de réaliser cette mesure de manière pratique et fonctionnelle. La thèse a été menée en temps plein par M.Karagiannopoulos au sein de l'entreprise Jean Lutz où tout le matériel d'essais a été installé. Il s'agit principalement du montage d'une chambre d'étalonnage afin que les prototypes développés soient testés dans des conditions bien contrôlées. On peut voir un schéma illustratif de cet équipement dans la figure suivante :

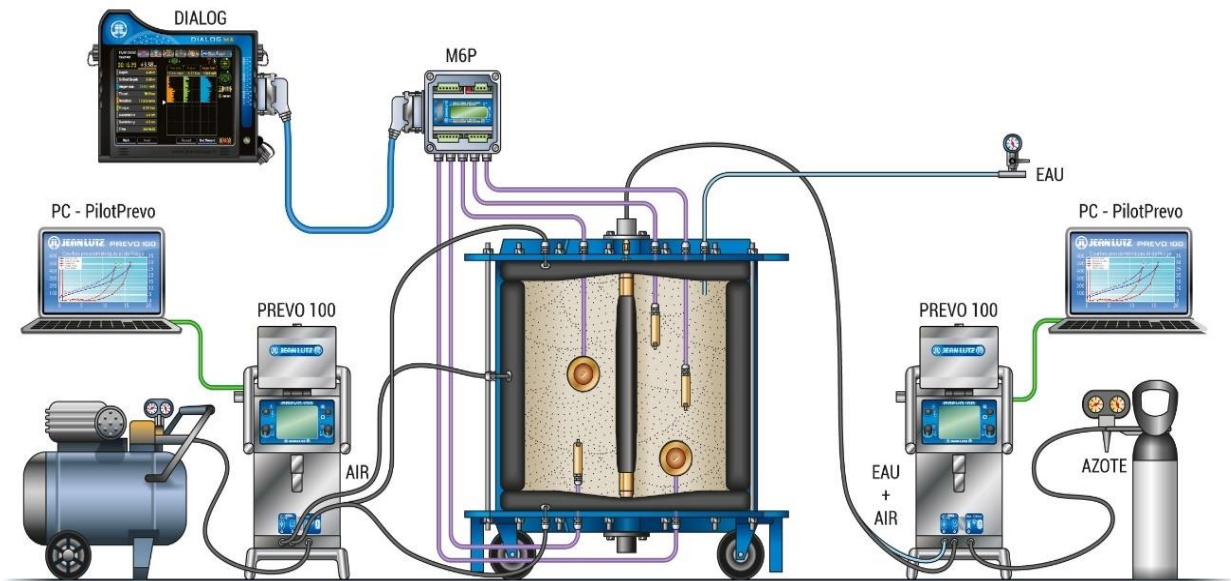


Figure 1 : Schéma explicatif de la chambre d'étalonnage et des appareils de pilotage (Prevo 100) et d'enregistrement des données (ordinateurs+Dialogs)

Deux prototypes, qui diffèrent par l'implantation du capteur de pression interstitielle, ont été développés pendant ce travail de recherche :

- pour le premier, le capteur a été positionné dans le tube fendu ;
- pour le second, le capteur a été inséré directement dans la gaine souple extérieure.

Un élément poreux est ensuite ajouté au mini-capteur et une membrane souple (cas de la sonde nue) ou une pièce métallique amovible (cas du tube fendu) protège l'ensemble électronique dont les signaux sont récupérés et analysés en temps réel en surface via l'instrumentation Dialog ou ADN de Jean Lutz SA.

Les difficultés à résoudre sont particulièrement liées aux conditions du milieu de mise en oeuvre : hautes pressions et déformations, horizons potentiellement abrasifs, milieu hétérogène, etc. À l'issue des phases de test et de développement, une version sans fil (sur batterie et avec une électronique de traitement et de sauvegarde des mesures) pourrait de même être proposée.

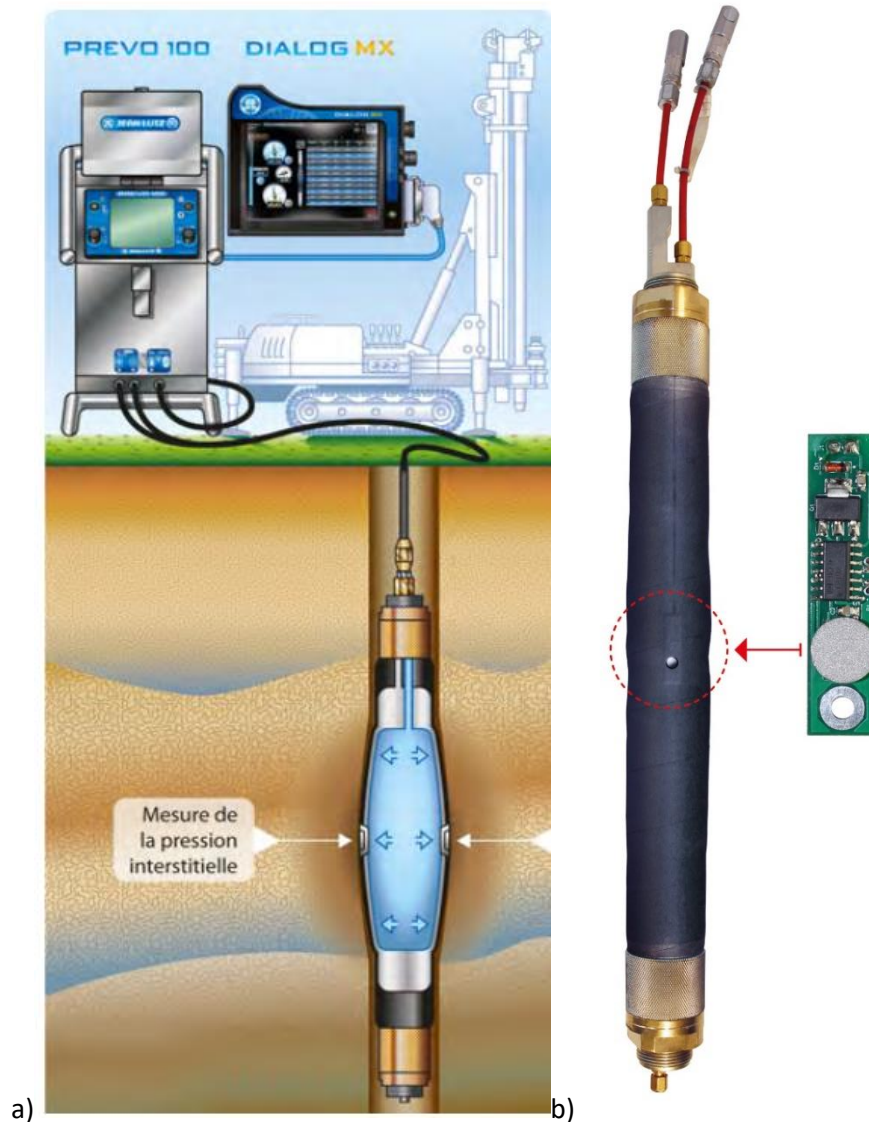


Figure 2 : a) Schéma de l'instrumentation pressiométrique avec mesure de la pression interstitielle et b) positionnement du capteur de la pression interstitielle sur la sonde Menard 60

L'opérateur peut voir en temps réel l'évolution de la pression interstitielle lors de l'essai d'expansion de la cavité. Les enregistrements des données (pression, volume, pression interstitielle) sont effectués toutes les secondes par l'appareil Dialog ou ADN (appareils Jean Lutz SA).

Description de l'aspect innovant et de sa valeur ajoutée

Le développement de cette sonde innovante permet d'obtenir une courbe contrainte effective-déformation du sol en modifiant légèrement la sonde Menard ou les tubes fendus déjà utilisés dans la pratique quotidienne. De cette manière, l'essai de cavité d'expansion avec mesure de la pression interstitielle peut être appliqué dans la pratique quotidienne des entreprises de reconnaissance des sols. Différents types de chargement monotone ou (multi)cyclique peuvent valoriser cette nouvelle mesure lors d'un essai d'expansion de cavité afin de déduire des paramètres supplémentaires du sol mais aussi évaluer son potentiel de liquéfaction.

Plus précisément, lors des essais de recherche effectués avec les prototypes développés dans le cadre de la thèse de M.Karagiannopoulos, il a été démontré (figure 3) qu'une classification

préliminaire des sols pourrait être effectuée par la phase monotone du chargement du sol en mettant les points moyens déduits par les résultats des essais dans le plan du/dp - dp/dt (du =surpression interstitielle générée, dp = incrément de la pression appliquée au niveau de la sonde, dt = incrément de temps du chargement) .

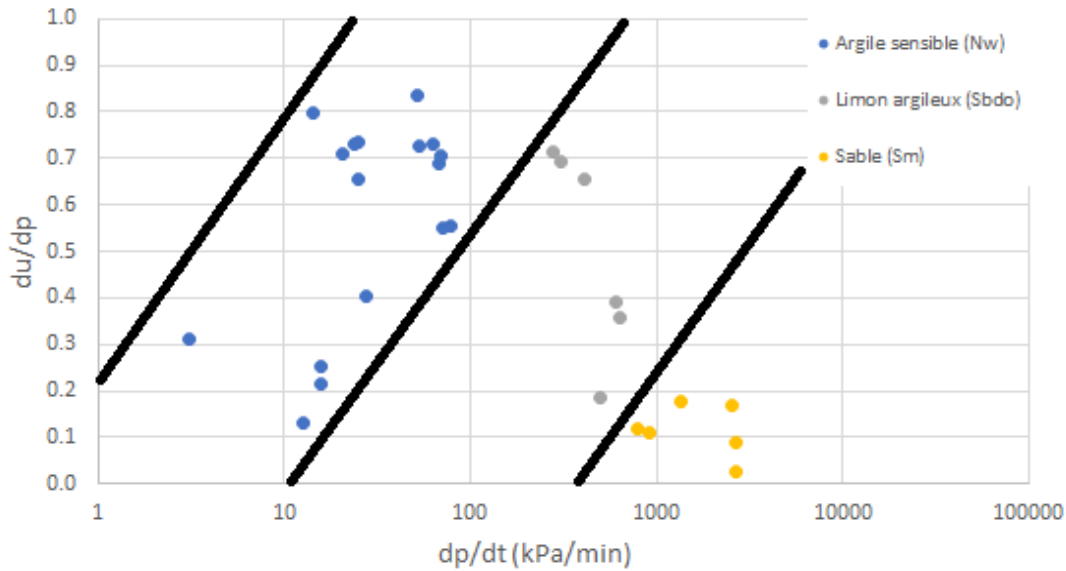


Figure 3 : Classification des sols par le degré de génération de la surpression interstitielle lors d'une sollicitation monotone

Une autre mesure, qui peut être effectuée avec l'utilisation de ce nouveau type de la sonde, est l'estimation de la pression de terre au repos σ_{ho} et par extension du coefficient K_0 par le changement de la courbure du graphique de la pression interstitielle, comme on peut le voir dans la figure suivante.

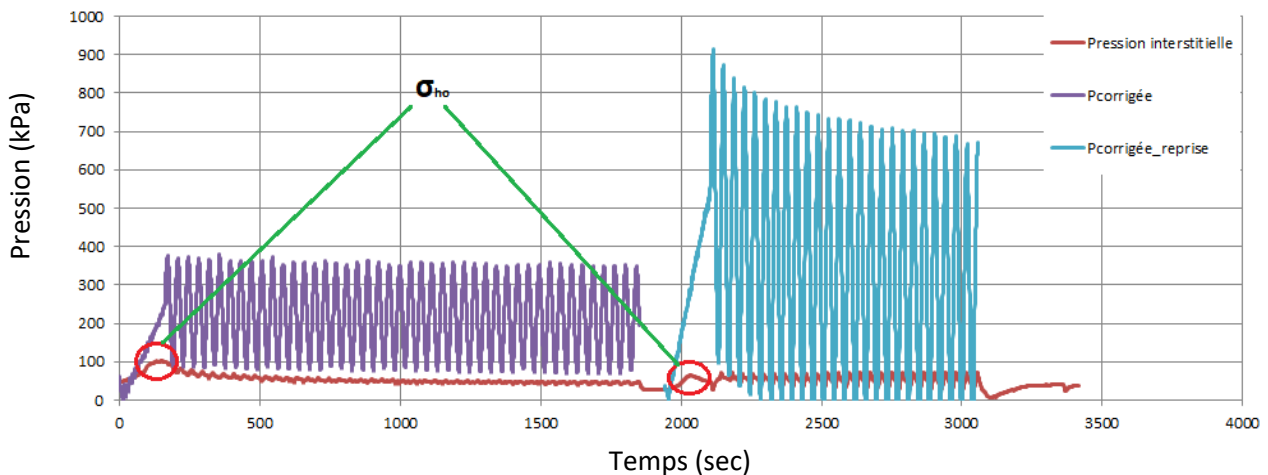


Figure 4 : Illustration du changement de la courbure du graphique de la pression interstitielle lors du contact de la sonde avec les parois du forage (σ_{ho}) lors d'un essai d'expansion multicyclique dans le sable de Saint Malo

Les chargements multicycliques entre deux niveaux de pression (minimal et maximal) constants se sont avérés révélateurs du potentiel de liquéfaction des sols par la comparaison de leur résultat avec les essais cycliques triaxiaux et les abaques semi-expérimentaux. Une amélioration du matériel de pilotage (Prevo) nous permet d'effectuer des cycles de chargement du sol avec une fréquence plus élevée de telle façon qu'une augmentation de la pression interstitielle est observée

même dans les sols les plus perméables (sable). L'évolution du coefficient r_{uc} défini comme le ratio de la surpression interstitielle générée sur la pression effective moyenne appliquée est observé. Une valeur critique égale à $r_{uc}=0.8$ a été proposée par analogie avec le critère de Seed et Idriss (1971) qui est utilisé actuellement pour l'évaluation empirique de la liquéfaction (figure 5). Ce critère considère les sols probablement liquéfiables quand le coefficient de sécurité $FS=CRR/CSR$ ($CRR=Cyclic\ Resistance\ Ratio$ et $CSR=Cyclic\ strength\ ratio$) prend des valeurs inférieures à 1.2. Une vérification avec les essais cycliques triaxiaux prouve la pertinence de ce critère étant donné que l'ensemble d'essais d'expansion multi cycliques où le coefficient r_{uc} prend des valeurs supérieures à 0.8 se trouvent dans le domaine liquéfiable (figure 6).

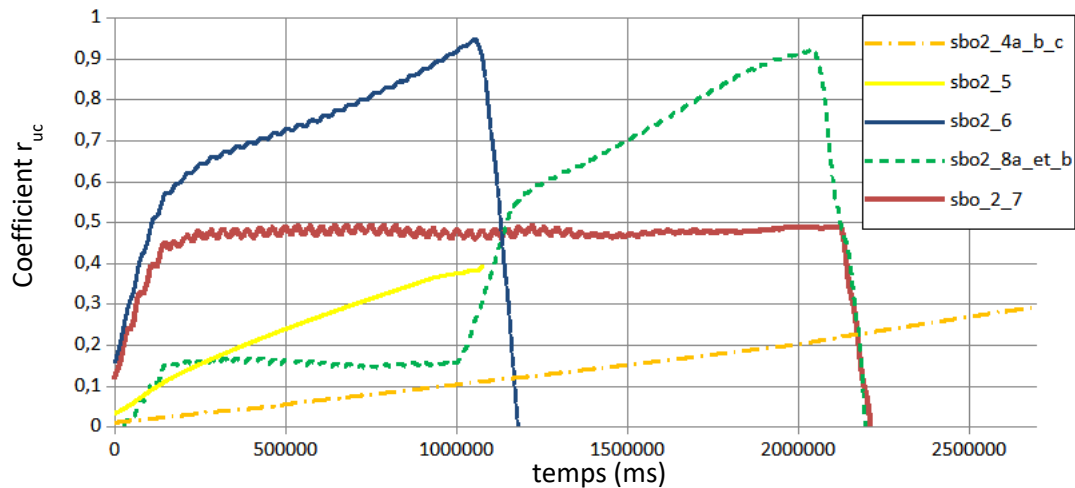


Figure 5 : Evolution du coefficient r_{uc} lors des différents essais multicycliques dans un limon argileux (Saint Benoit des Ondes-Bretagne, France)

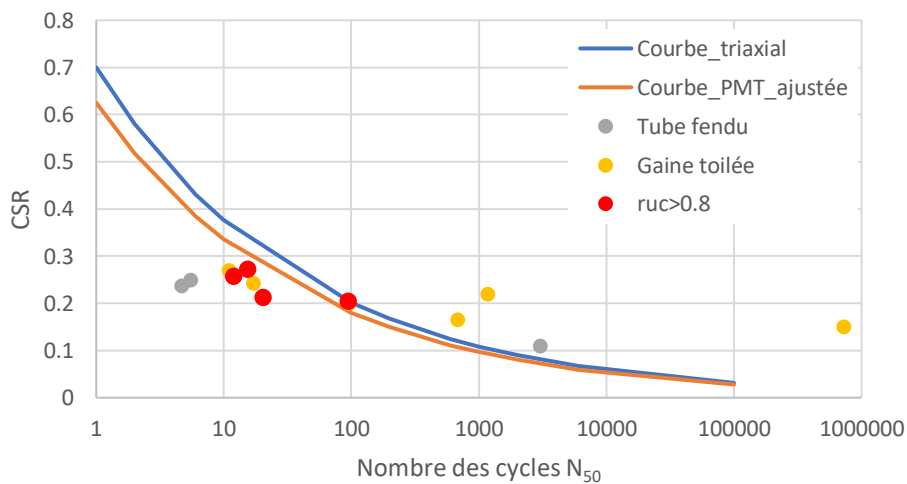


Figure 6 : Positionnement des points avec $r_{uc}>0.8$ dans le plan $CSR-N_{50}$ (Nombre des cycles pour 50% de déformation volumique) issu des essais triaxiaux cycliques

Un essai avec un cycle et un temps de consolidation égal à T_{50} (temps d'attente pour atteindre la moitié de la dissipation de la surpression interstitielle maximale) est programmé dans l'appareil ADN (tablette tactile dédiée à l'enregistrement et pilotage de l'essai pressiométrique via le Prevo100). La courbe contrainte effective-déformation avec le calcul d'un module de rechargement et du coefficient de consolidation du sol rend cet essai unique et très utile pour l'évaluation des plusieurs caractéristiques du sol et par extension, pour l'optimisation des fondations. De plus, cet essai peut

remplacer les essais pénétrométriques dans des sols particulièrement compressibles où le camion d'essai CPTu ne peut accéder.

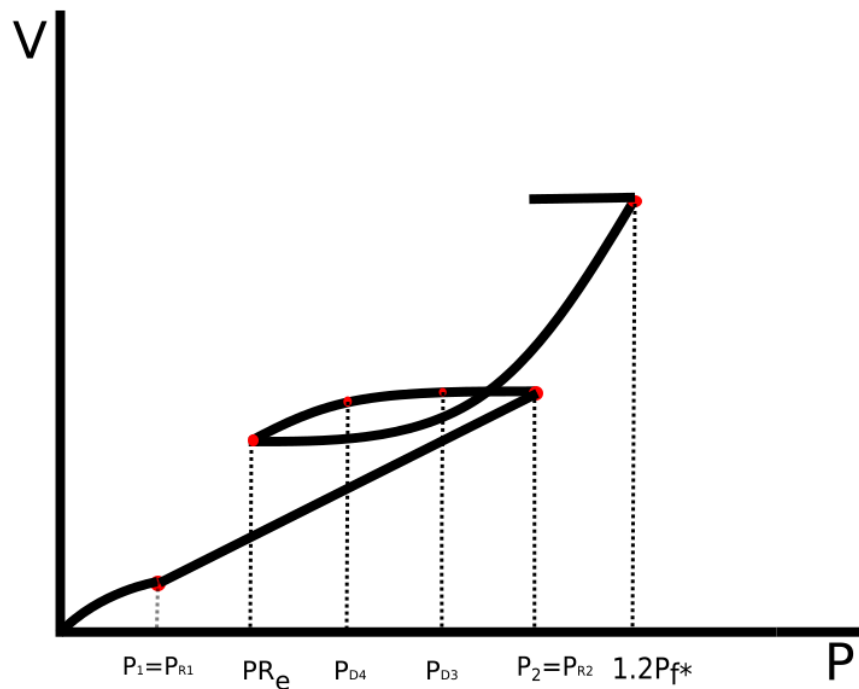


Figure 7 : Essai d'expansion de cavité proposé pour la pratique quotidienne avec l'utilisation des sondes équipées avec mesure de la pression interstitielle (V =volume, P =pression appliquée au niveau du CPV, $P_1 \approx P_o$, $P_2 = P_f$ (Pression de fluage), $P_{f*} = P_f - P_o$)

Conclusion-Perspectives

L'apport de la mesure de la pression interstitielle lors d'essais d'expansion de cavité a été démontré à plusieurs reprises par les essais de validation des prototypes développés dans le cadre de la thèse de M.Karagiannopoulos au sein de l'entreprise Jean Lutz SA et de l'université Gustave Eiffel. Pour les sollicitations monotones, la classification des sols et l'estimation du coefficient de terre au repos sont les apports principaux de la mesure de la pression interstitielle. Les sollicitations multicycliques effectuées lors de ces premiers essais de recherche ont prouvé le potentiel de ce nouvel appareillage à détecter les sols liquéfiables (sollicitation équivalente aux ondes sismiques).

Les perspectives pour ce matériel développé sont nombreuses. Parmi les plus importantes, on peut citer la création des abaques de classification des sols avec une base de données élargie et un dimensionnement optimisé des fondations avec l'application en grande échelle de l'essai d'expansion avec un cycle de rechargement, comme illustré dans la figure 7.