

# ISP6 - PRESSIO 2013

## PARALLEL INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PRESSUREMETERS

*Paris, September 4, 2013*

### PAPERS ABSTRACTS RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS

Edited by COMITÉ FRANÇAIS DE LA MÉCANIQUE DES SOLS ET DE LA GÉOTECHNIQUE  
The French Member Society of ISSMGE

[www.geotechnique.org](http://www.geotechnique.org)

Paris, France

**18<sup>TH</sup> INTERNATIONAL  
CONFERENCE ON  
SOIL MECHANICS  
AND GEOTECHNICAL  
ENGINEERING**

---

*Published at the occasion of*

It is now 52 years since the 5th ICSMF was held in Paris in 1961. It was where Louis Ménard presented his fundamental paper on the "Influence of the size and past history of ground stresses on the settlement of a soil-supported foundation" based on his own experience of 5 years of pressuremeter testing and research work.

We submit herewith the abstracts of papers retained for this parallel session on various topics such as new types of equipment - not only for testing the ground more precisely at higher and higher pressures, but also to perform better boreholes -, new procedures of testing, test interpretation with or without cyclic loops, soil and rock classifications deduced from PMT parameters, research results from pressuremeter testing in different types of soil and rock too, design of foundations compared with later observations, the interest of PMT results to accept soil treatments and the unavoidable correlations between tests results of all sorts.

These developments truly reflect the Challenges and Innovations we all expect to discover at this Conference. Many thanks to Michel Gambin and his team for their determination and their heavy work to make this Symposium possible in such a short period of time.



Philippe Mestat  
Chair of the French Member Society of the ISSMGE

Il y a 52 ans, c'est à dire le temps écoulé entre le 5ème CIMSTF tenue à Paris en 1961 et maintenant, Louis Ménard présentait sa contribution fondamentale sur « l'influence de l'amplitude et de l'histoire d'un champ de contraintes sur le tassement d'un sol de fondation » fondé sur sa propre expérience, acquise après seulement 5 ans de pratique de l'essai pressiométrique et de travaux de recherche.

Aujourd'hui nous présentons ici les résumés de toutes les communications retenues pour cette session parallèle sur de nombreux thèmes tels que de nouveaux appareillages - non seulement pour réaliser des essais plus précis et à des pressions de plus en plus élevées, mais aussi pour créer des trous de forage de meilleures qualité -, de nouvelles procédures d'essais, l'interprétation des essais avec ou sans boucles d'hystérésis, la classification des sols et du rocher à partir des paramètres pressiométriques, les résultats de recherches fondées sur des essais pressiométriques dans différents types de sol et de rocher, le dimensionnement des fondations comparé à l'observation du comportement des ouvrages, ou encore l'intérêt des essais pressiométriques pour accepter un traitement de sol, enfin les inévitables corrélations entre les essais géotechniques de toute sorte.

Ces recherches et mises au point correspondent bien aux « défis et innovations » qui sont les thèmes de cette Conférence Internationale. Il faut remercier Michel Gambin et son équipe dont l'opiniâtreté et le travail sur une période de temps très courte ont rendu ce Symposium possible.



Philippe Mestat  
Président du Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique

**ISP6 - PRESSIO 2013**  
**Organizing Committee / Comité d'organisation**

Michel (Mike) Gambin, Chair  
F.ASCE  
Scientific Adviser Apagéo

Catherine Jacquard, Vice-Chair & Secretary-Gal.  
Technical Manager, Fondasol

Sébastien Burlon  
IFSTTAR (formerly LCPC)

Olivier Combarieu  
Member CFMS

Pr. Jacques Monnet  
Univ. Joseph Fourier, Grenoble

Philippe Reiffsteck  
Terrasol

# TABLE OF CONTENTS / TABLE DES MATIERES

## 1. EQUIPMENT / MATÉRIEL

- 1.1 Le GéoPAC, un contrôleur pression volume automatisé pour les essais pressiométriques de qualité** ..... 11  
*The Geopac, an Automated Control Unit for Quality Ménard PMTs*  
G. Arsonnet, J.- P. Baud, M. Gambin, & W. Youssef
- 1.2 RotoStaf®, a Major Improvement in Self Bored Ménard Pressuremeter** .... 12  
*RotoStaf®, une amélioration déterminante de l'autoforage du pressiomètre Ménard*  
G. Arsonnet, J.- P. Baud & M. Gambin
- 1.3 Une nouvelle sonde permettant de mesurer sans extrapoler la pression limite pressiométrique des sols** ..... 13  
*A New Probe for Measuring the Pressuremeter Limit Pressure of Soils without Extrapolation*  
C. Jacquard, M. Rispal, A. Puech, J. Geisler, F. Durand, F. Cour, S. Burlon & P. Reiffsteck
- 1.4 Comparison of High Pressure Pressuremeter (HyperPac) and Pre-Bored Pressuremeter Test Results - A Case Study** ..... 14  
*Comparaison des résultats d'essai du pressiomètre haute-pression de type HyperPac et du pressiomètre avec pré-forage – Cas d'étude*  
G. Tezel, E. Hacialioglu, F. O. Onal & G. Ozmen

## 2.TYPE OF TESTS / TYPES D'ESSAIS

- 2.1 Lateral Stress in Glacial Materials** ..... 15  
*Contraintes latérales dans un matériau glaciaire*  
J. Hughes, O. Hoopes, R. Smith, R. Whittle & K. Brown
- 2.2 Utilisation du pressiomètre auto-foreur dans le processus de calibrage de l'analyse régressive d'un essai de chargement** ..... 16  
*Use of Self-boring Pressuremeter in the Calibration Process of the Back-analysis of a Load Test*  
N. Lambert & K. Remeysen
- 2.3 Utilisation des essais d'expansion cyclique pour définir des modules élastiques en petites déformations** ..... 17  
*Determining Small Strain Elastic Modulus Using Cyclic Expansion Tests*  
P. Reiffsteck, S. Fanelli, J.L. Tacita & J.C. Dupla

### **3. TEST INTERPRETATION / INTERPRETATION DES ESSAIS**

- 3.1 Courbes hyperboliques contrainte–déformation au pressiomètre Ménard autoforé . . . . . 18**  
*Stress-Strain Hyperbolic Curves Obtained with a Self-Boring Ménard PMT*  
J.-P. Baud, M. Gambin & F. Schlosser
- 3.2 Module pressiométrique Ménard : aides pratiques à l'interprétation . . . . . 19**  
*How Secant Modulus Curve and Two Other Tools Help with Ménard Pressuremeter Interpretation*  
X. Caquineau & B. Dumolard
- 3.3 New Method to Compute Reload and Unload Pressuremeter Moduli . . . . . 20**  
*Une nouvelle méthode pour calculer les modules pressiométriques de rechargement et de déchargement*  
R. A. Failmezger & G. Sedran
- 3.4 Is it Possible to Determine the Soil Shear Strength and Deformation Characteristics from the Studies of Pressuremeter Tests? . . . . . 21**  
*Est-il possible de déterminer la résistance au cisaillement et les caractéristiques de la déformation du sol avec des essais pressiométriques?*  
J. Mecsi
- 3.5 Undrained Shear Strength of Over Consolidated Clays Based on Creep Pressure Results from Pressuremeter Tests . . . . . 22**  
*Résistance non drainée au cisaillement des argiles surconsolidées en fonction des résultats de pression de fluage dans des essais pressiométriques*  
M. Retamosa
- 3.6 Analysis of Self-boring Pressuremeter Tests in a Sensitive Clay of Quebec . 23**  
*Analyse d'essais au pressiomètre auto-foreur dans une argile sensible au Québec*  
V. Silvestri & C. Tabib
- 3.7 A Method for Describing the Stress and Strain Dependency of Stiffness in Sand . . . 24**  
*Méthode de description des effets des contraintes et déformations sur la rigidité du sable*  
R. Whittle & L. Liu

## 4. SOIL CLASSIFICATION / CLASSIFICATION DES SOLS

- 4.1 50 MPa Ménard PMTs Help Linking Soil and Rock Classifications . . . . . 25**  
*Les essais pressiométriques à 50 MPa une aide pour relier les classifications des sols et des roches*  
J.-P. Baud, M. Gambin & R. Heintz
- 4.2 Détermination du coefficient rhéologique  $a$  de Ménard dans le diagramme Pressiorama® . . . . . 26**  
*Obtaining the Ménard  $a$  Rheological Factor in a Pressiorama® Diagram*  
J.-P. Baud & M. Gambin
- 4.3 Estimation of Tunis Soft Soil Undrained Shear Strength from Pressuremeter Data . . . 27**  
*Estimation de la cohésion non drainée de la vase de Tunis à partir des résultats d'essais pressiométriques*  
W. Frikha, Z. Ben Salem & M. Bouassida
- 4.4 Evaluation of the Deformation Modulus of the Algéciras Flysch Unit by Means of Pressuremeter Tests: Correlation with RMR . . . . . 28**  
*Évaluation du module de déformation de l'Unité du Flysch d'Algéciras au moyen d'essais pressiométriques : Corrélation avec l'indice RMR*  
M. Muñoz Menéndez, H. Cano Linares F. Pardo de Santayana Carrillo & N. Sandoval Montero
- 4.5 Caractérisation mécanique des sols par l'essai pressiométrique . . . . . 29**  
*Mechanical Characterization of the Soil from the Pressuremeter Test Results*  
J. Monnet
- 4.6 Application et validation d'abaque pour la classification des sols à partir des résultats pressiométriques. . . . . 30**  
*Application and Validation of Soil Behavior Classification Chart Based on Pressuremeter Test Results*  
P. Reiffsteck, A. Martin & T.Perini
- 4.7 Pressiorama – Application of Ménard Pressuremeter to Classify Several Geological Formations Encountered in Greece . . . . . 31**  
*Pressiorama – Application du Pressiomètre Ménard pour classier diverses formations géologiques rencontrées en Grèce*  
A. Ritsos, A. Basdekis & M. Gambin

## **5. SPECIAL SOILS AND ROCK / SOLS SPÉCIAUX ET ROCHER**

- 5.1 Rock Modulus from In-situ Pressuremeter and Laboratory Tests. . . . . 32**  
*Le module du rocher au pressiomètre in situ et par essais au laboratoire*  
L.F. Cao, S.M. Peaker & A. Sirati
- 5.2 Le pressiomètre MENARD: un instrument de mesure utile pour la reconnaissance du schiste pyriteux toarcien à risque de gonflement . . . . . 33**  
*The MENARD Pressuremeter: a Useful Tool to Investigate Toarcian Pyritic Black Shales Able to Induce Swell*  
R. Heintz, V. Heintz & J.-F. Wagner
- 5.3 Mechanical Characterization of MSW Using the Pressuremeter. . . . . 34**  
*Détermination des propriétés mécaniques des déchets solides urbains avec le pressiomètre*  
P. Lapeña, J. Cañizal, J. Castro, A. Da Costa & C. Sagasetta
- 5.4 The Probex: Over 25 Years of Experience in Measurement of In-Situ Deformability of Rock . . . . . 35**  
*Le Probex : Plus de 25 ans d'expérience de mesure in situ de la déformabilité de la roche*  
L. Marcil, R. Green & D. Baures
- 5.5 Pressuremeter Test as the only Characterization Tool for very Dense Sands . . . 36**  
*L'Essai Pressiométrique comme seul outil de caractérisation de sables très denses*  
M. Tarnawski & M. Ura

## **6. FOUNDATION DESIGN / CONCEPTION DES FONDATIONS**

- 6.1 Utilisation du pressiomètre Ménard en Algérie : interprétation et application . . 37**  
*Use of Ménard Pressuremeter in Algeria: Interpretation and Application*  
R. Bahar
- 6.2 Foundation Settlement Calculations with the Pressuremeter Method Compared to Other Methods and Resulting Correlations . . . . . 38**  
*Calcul du tassement des fondations à partir de la méthode pressiométrique en comparaison avec d'autres méthodes, corrélations résultantes*  
C. Bohn, R. Franck & S. Lambert
- 6.3 A Case Study of Deep Foundation Design Using MPM and Comparison with Instrumented Pile Load Tests. . . . . 39**  
*Une étude de conception de fondations profondes, en utilisant le pressiomètre Ménard et comparaison avec des essais de chargement de pieux instrumentés*  
E. Güler, M. Koc, G. S. Bakilar & U. Osmanoglu
- 6.4 Analysis by the Menard Direct Design Method of O-cell instrumented Pile Load Tests . . . . . 40**  
*Etude, par la méthode Ménard de conception directe des fondations, d'essais de pieux mettant en œuvre des cellules Osterberg*  
N.M. Hai
- 6.5 Amélioration de la méthode usuelle pour le calcul des tassements de consolidation par la méthode pressiométrique . . . . . 41**  
*Improvement of Usual Menard Pressiometric Method for Consolidation Settlement Calculation*  
V. Savatier & R. Deluzarche

## **7. ACCEPTANCE TESTS / ESSAIS DE RÉCEPTION**

- 7.1 Use of the Menard Pressuremeter in the Quality Control of Stone Columns for an LNG Tank in South-East Asia . . . . . 42**  
*Utilisation du pressiomètre pour le contrôle de colonnes ballastées utilisées en fondation d'un réservoir GNL en Asie du sud est*  
J.M. Debats & N. Pardessus
- 7.2 Pressuremeter for Design and Acceptance of Challenging Ground Improvement Works . . . . . 43**  
*Le pressiomètre destiné à la conception et au contrôle des grands travaux d'amélioration des sols*  
S. Varaksin & B. Hamidi

## 8. CORRELATIONS / CORRÉLATIONS

**8.1 Pressiometric and Non-Pressiometric Tools on a Mediterranean Deltaic Deposit . . . . . 44**

*Essais pressiométriques et non pressiométriques dans un delta méditerranéen*

N. Pérez, M. Devincenzi, N. Sau, M. Arroyo & J. Pineda

**8.2 Utilisation de corrélations  $SPT/p_{LM}$  ou  $q_c/p_{LM}$  pour le calcul du tassement . . . . . 45**

*Correlations  $SPT/p_{LM}$  or  $q_c/p_{LM}$  for Settlement Computation*

J.B. Esta

**8.3 Relationship between Menard  $E_M$  and Young's E Moduli for Cohesionless Soils . . . 46**

*Relation entre le module pressiométrique Ménard  $E_M$  et le module d'Young  $E$ , pour les sols sans cohésion*

G. Sedran, R. A. Failmezger & A. Drevininkas

## HORS CLASSEMENT / SPECIAL CATEGORY

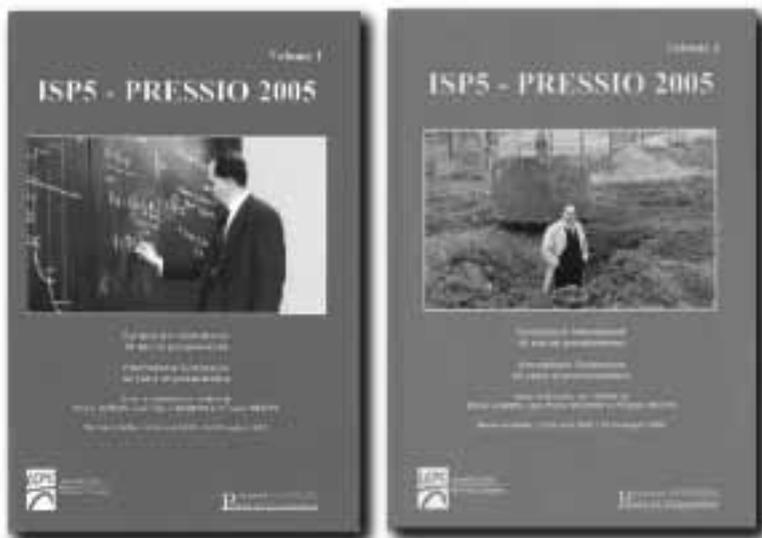
**Current Status of Pressuremeter Testing Education in the USA . . . . . 47**

*Etat des activités d'enseignement des méthodes d'essai pressiométrique aux USA*

J. Benoît

The 2 Volumes of the Proceedings of ISP5  
are still available

Les 2 volumes des Actes de PRESSIO 2005 / ISP5  
sont toujours disponibles à l'IFSTTAR



Contact us

[info@apageo.com](mailto:info@apageo.com)

# 1. EQUIPMENT / MATÉRIEL

## 1.1 Le GéoPAC, un contrôleur pression volume automatisé pour les essais pressiométriques de qualité

The Geopac, an Automated Control Unit for Quality Ménard PMTs

G. Arsonnet

*Géomatech, Champlan, France*

J.- P. Baud

*Eurogé, Avrainville, France*

M. Gambin

*Apagéo, Paris, France*

W. Youssef

*Cedarnet, Montataire, France*

**RÉSUMÉ :** Le GéoPac est un pressiomètre qui révolutionne complètement le mode de fonctionnement des appareils à pression de gaz utilisés depuis plus de 50 ans. Le programme de chargement est assuré par un système volumétrique à piston motorisé, dont le contrôle de la pression par incréments constants est assuré à l'aide d'un dispositif d'asservissement électronique qui analyse pas à pas la réponse du sol en temps réel sous l'effet de l'expansion, et stabilise les paliers de pression normalisés sans intervention d'un opérateur. Ce CPV est piloté à distance par un ordinateur de chantier « durci », la GéoBOX

Le CPV du GéoPAC peut être utilisé soit en mode de chargement « tout-automatique », soit en mode de contrôle du chargement par l'opérateur.

La régulation micrométrique du piston motorisé a d'emblée apporté à ce dispositif :

- une stabilisation précise des paliers de pression du circuit de mesure (selon la précision des capteurs employés), le recours au gaz comprimé industriel (azote) n'étant plus nécessaire que pour les cellules de garde ;
- une précision des mesures de volume considérablement améliorée.

La résolution de mesure de déplacement du piston motorisé est inférieure à 0,2  $\mu\text{m}$ , correspondant à une mesure théorique de déplacement du volume de l'ordre de 1.10-3 cm<sup>3</sup>, soit pour la sonde habituelle de diamètre 60 mm un déplacement moyen de la paroi de l'ordre de 2.10-2  $\mu\text{m}$ .

La communication décrit le fonctionnement détaillé de l'appareil et renvoie à certain nombre d'études géotechniques où cet appareil a été utilisé, la cavité étant le plus souvent créée par le système du tube fendu autoforé Staf (Arsonnet et al. 2005, ISP5), notamment amélioré par la rotation simultanée du tube, le Rotostaf (Arsonnet et al., 2013, ISP6).

**ABSTRACT :** The GeoPac is a new pressuremeter, Control Unit and PMT probe, which brings a total change in the running mode of the usual equipment more than 50 years old where the pressure increments are obtained by pressurized gas. In the new GeoPac, the loading program, still by constant pressure increments is obtained by a motorized piston within the volumeter which is controlled in real time by an electronic automated system which analyze the soil response under probe expansion variation and stabilize the standardized pressure holds without the help of the operator. This CU is conducted afar by a ruggedly built laptop computer: the newly designed GéoBOX.

The GeoPac CU can be used either in « all automatic » mode, or directly by the operator.

The motorized piston resolution of the motorized piston immediately brought:

- a precise stabilization of the pressure holds on the measuring circuit, as a function of the used sensors own precision, the gas being only used for the guard cells
- a volume readings precision largely improved.

The motorized piston stroke measurement is smaller than 0,2  $\mu\text{m}$ , value which corresponds to a theoretical volume displacement in the order of 1.10-3 cm<sup>3</sup>, that is a mean radial displacement of a 60mm diameter Ménard probe cover of 2.10-2  $\mu\text{m}$ .

This paper describes the operation of this equipment. It refers to various site investigations where the GeoPac was used, the PMT cavity being often obtained either by the STAF ou the Rotostaf technique described in a twin paper.

## 1.2 RotoStaf®, a Major Improvement in Self Bored Ménard Pressuremeter

RotoStaf®, une amélioration déterminante de l'autoforage du pressiomètre Ménard

G. Arsonnet  
*Géomatech, Champlan, France*  
J.- P. Baud  
*Eurogé, Avrainville, France*  
M. Gambin  
*Apagéo, Paris, France*

**ABSTRACT :** The self-boring of a slotted tube at the base of a casing of the same diameter, i.e. the STAF method, whereby a drag-bit is rotated which protrudes from the casing, has been implemented in pressuremeter tests for the last ten years. It allows carrying out Ménard pressuremeter tests of very good quality in a broad range of soils. These tests have all the properties of self-boring pressuremeter tests in soft soils. However, in stiffer soils, the drilling must be obtained by rotary percussion of a full face bit, and the expansion is performed with pressure holds. A few years of practice in this technique showed that the tested soil behavior can be analyzed as if the soil was in an almost undisturbed condition. The maximum stage of drilling ruled in the Standards to limit the decompression time between drilling and testing is no longer a requirement, since the supporting casing is always in the borehole. However, difficulties arise in more cohesive soils, due to the gradual slowing of the tube driving by wall friction. This lead users to limit self-boring STAF drilling depth to stages of ten meters in granular soils and even less in cohesive soils. To solve this problem, a mechanical system which can simultaneously rotate the casing during its advance and apply percussion to the drill bit was devised and led to the construction of a typically new drill head called RotoSTAF, permitting rotary percussion of the string of drill rods and simultaneous rotation of the casing. Further the head can also simply rotate the string of rods, clockwise or anti-clockwise, to actuate the extendable drilling bit either at the start or at the end of the drilling stage. The results in terms of quality of pressuremeter tests are extremely stimulating, and soil range covered by RotoSTAF was extended from soft soils to soft rocks. This paper presents results comparing tests performed on the same site using either RotoStaf technique, or the previous STAF method and traditional pre-drilling.

**RÉSUMÉ :** L'autoforage d'un tube fendu à la base d'un train de tube de même diamètre, appelée méthode STAF, dans laquelle l'outil de découpe est, en position de travail, de même taille que l'extérieur du tubage, est mis en œuvre pour les essais pressiométriques depuis une dizaine d'années. Cette méthode permet la réalisation, dans une gamme assez large de sols, d'essais pressiométriques Ménard de très bonne qualité, puisqu'ils ont tous les caractéristiques des essais par auto-forage traditionnel déjà connus en sols mous. Toutefois, dans les sols plus raides, le fonçage du tube doit être réalisé en roto-percussion et l'expansion de la sonde est effectuée par paliers. Quelques années de pratique de cette technique ont montré qu'elle permet une analyse du comportement du sol dans un état quasi-vierge. L'utilisation d'une longueur maximale de passe de forage imposée par les normes pour limiter le temps de décompression entre forage et essais n'est plus nécessaire du fait du soutènement du tubage à l'avancement. Des difficultés apparaissent toutefois dans les sols très cohérents, en raison du ralentissement progressif de l'auto-forage par le frottement du sol sur le tube. Cela a conduit les utilisateurs à réaliser l'autoforage STAF par passes de l'ordre de la dizaine de mètres dans les sols granulaires et même moins dans les sols cohérents. Pour résoudre ce problème, un système mécanique de rotation du tubage simultanément à son avancement a été entrepris qui a conduit à la construction d'une tête de forage dite RotoSTAF, permettant à la fois la roto-percussion du train de tige interne avec la rotation simultanée du tubage externe, et, chaque fois que nécessaire la rotation à droite ou à gauche du train de tiges de forage pour soit déployer l'outil soit le rentrer. Les résultats en termes de qualité des essais pressiométriques sont extrêmement encourageants, et la gamme des terrains couverts par le RotoSTAF a été élargie des sols mous à des terrains très raides. La communication expose des essais comparés dans un même site, en utilisant soit le RotoStaf, soit le précédent « VibroSTAF », enfin le forage préalable traditionnel.

**KEYWORDS :** Ménard PMT, drilling, self boring casing, hard soil, earth pressure at rest

**MOTS-CLÉS :** pressiomètre Ménard, forage, tubage auto-foré, sols raides, pression des terres au repos

### **1.3 Une nouvelle sonde permettant de mesurer sans extrapoler la pression limite pressiométrique des sols**

A New Probe for Measuring the Pressuremeter Limit Pressure of Soils without Extrapolation

C. Jacquard & M. Rispal

*Fondasol, Avignon, France*

A. Puech, J. Geisler, & F. Durand

*Fugro GeoConsulting, Nanterre, France*

F. Cour

*Calyf, Maisons Lafitte, France*

S. Burlon & P. Reiffsteck

*Ifsttar, Marne-la-Vallée, France*

**RÉSUMÉ :** Une limite actuelle des essais pressiométriques de type Ménard est liée à la difficulté d'atteindre des volumes d'expansion et des pressions importants sans risque systématique d'éclatement. Une nouvelle sonde a été développée qui permet d'atteindre, même sous pressions élevées, le doublement du volume du trou et donc la mesure directe de la pression limite conventionnelle du sol. On décrit les innovations technologiques qui ont conduit à accroître les performances et la fiabilité des sondes. On présente ensuite des essais comparatifs sur différents sites montrant les apports techniques et opérationnels du nouveau concept.

**ABSTRACT :** A present limitation of Menard type pressuremeter tests is due to the difficulty of reaching large expansion volumes and high pressures without exposing to significant risks of bursting. A new probe has been developed allowing the volume of the hole to be doubled, even under high pressures: the conventional limit pressure can then be directly measured. Technological innovations increasing the capabilities and reliability of pressuremeter probes are described. Comparative tests on different sites are presented demonstrating the technical and operational contribution of the new concept.

**MOTS-CLES :** Essai pressiométrique Menard, sonde, mesure, membrane

**KEYWORDS :** Menard pressuremeter test, probe, measurement, membrane

## 1.4 Comparison of High Pressure Pressuremeter (HyperPac) and Pre-Bored Pressuremeter Test Results - A Case Study

Comparaison des résultats d'essai du pressiomètre haute-pression de type HyperPac et du pressiomètre avec pré-forage – Cas d'étude

G. Tezel, E. Hacialioglu, F. O. Onal & G. Ozmen  
*Zemin Etud ve Tasarim A.Ş., Istanbul, Turkey*

**ABSTRACT :** The foundation of the high rise tower is planned to be constructed in sandstone, mudstone intercalation with intrusive dyke (diabasic, basaltic, andesitic, dasitic) and thick fracture zones with clay interfiling of Ordovician Aged Bakacak Member. According to performed boreholes, high plasticity clay interfilings are encountered under high rise tower foundation with thickness between 0.01m to 2.0m. For determining of geotechnical parameters of those units, towards settlement estimation several high pressure pressuremeter (HyperPAC) and pre-bored pressuremeter tests are carried out in addition to other in-situ tests and laboratory tests. Comparison of high pressure pressuremeter (HyperPAC) and pre-bored pressuremeter test results are discussed within this paper.

**RESUME :** Les fondations de la tour ont été prévues dans du grès avec des horizons de roche argileuse intercalées et contenant des intrusions magmatiques (diabasique, basaltiques, andésitiques, dacitique) et d'épaisses zones de fractures avec de l'argile infiltrée d'éléments de Bakacak de l'Ordovicien. D'après les forages exécutés, des inclusions d'argile hautement plastique ont été localisées sous les fondations de la tour, d'une épaisseur de 0,01 à 2,00m. Afin de déterminer les paramètres géotechniques de cette partie du sol, plusieurs tests avec un pressiomètre de haute capacité (HyperPAC) et un pressiomètre avec pré-forage furent réalisés conjointement avec d'autres tests insitu et de laboratoire. La comparaison des résultats obtenus entre le pressiomètre haute capacité (HyperPAC) et le pressiomètre avec pré-forage est abordée dans cette étude.

**KEYWORDS :** Pressuremeter, high pressure pressuremeter  
**MOTS-CLES :** Pressiomètre, pressiomètre haute-pression

## 2. TYPE OF TESTS / TYPES D'ESSAIS

### 2.1 Lateral Stress in Glacial Materials

Contraintes latérales dans un matériau glaciaire

J. Hughes

*Hughes Insitu Engineering Ltd., CDN*

O. Hoopes

*Shannon and Wilson Inc., USA*

R. Smith

*Jacobs Associates, USA*

R. Whittle

*Cambridge Insitu, UK*

K. Brown

*In Situ Engineering, USA*

ABSTRACT : Estimation of the in situ lateral stresses along the tunnel alignment of the 17.7 m diameter SR 99 tunnel through Seattle, Washington, USA and the 78 m deep, 15 m diameter shaft in the Fraser River Valley near Vancouver, B.C., CDN was a primary focus of these two exploration programs. Due to the hard consistency of these glacial clay materials and the potential for cobbles, neither self-boring pressuremeter nor dilatometer testing was feasible and therefore pre-bored pressuremeter testing was used. The pressuremeter used was an electronic type in which the displacements could be measured accurately at several locations. Instruments of this type are manufactured by Cambridge Insitu.

RÉSUMÉ : Le focus de notre programme d'exploration consistait à estimer les contraintes latérales, en place; premièrement, pour un tunnel et en second lieu, un puits d'accès vertical:

1- Tunnel, Seattle, Etat de Washington, E-U. Ce tunnel, identifié comme SR 99, remplacera une autoroute traversant la ville du Nord au Sud, reliant le Canada au Mexique le long de la côte du Pacifique. Il s'agissait de faire l'analyse des contraintes latérales, en place, pour un tunnel de 17.7 mètres de diamètre.

2- Puits d'accès, banlieue de Vancouver, Colombie Britannique, Canada. Identification des contraintes latérales en place pour un puits vertical d'une profondeur de 78 mètres et ayant un diamètre de 15 mètres à bord du fleuve Fraser. Dans les deux cas précités, les essais pressiométriques étaient dans une formation de sable, graviers et galets très compacts ce qui empêchait l'utilisation d'un pressiomètre auto foreur ou dilatomètre. La solution demandait donc un pré-forage. Le pressiomètre utilisé était du type électronique fourni par Cambridge Insitu, permettant une série de résultats précis sur tout le linéaire.).

KEYWORDS : Lateral Stress

MOT-CLES : Etreinte latérale

## 2.2 Utilisation du pressiomètre auto-foreur dans le processus de calibrage de l'analyse régressive d'un essai de chargement

Use of Self-boring Pressuremeter in the Calibration Process of the Back-analysis of a Load Test

N. Lambert & K. Remeysen  
*Tractebel Engineering, Bruxelles, Belgique*

**RÉSUMÉ :** Dans le cadre d'un projet de stockage de déchets faiblement et moyennement radioactifs de catégorie A dans un dépôt de surface, il a été décidé de réaliser un essai de chargement à grande échelle afin de déterminer finement les caractéristiques géomécaniques du sous-sol encaissant et de pouvoir garantir la maîtrise des phénomènes de tassements. Les paramètres géomécaniques, prédéterminés par essais in situ et en laboratoire, ont été affinés au moyen d'un processus de calibration de modèles aux éléments finis du dispositif d'essai, par ailleurs instrumenté. Le pressiomètre autoforeur a été utilisé au cours de ce processus pour déterminer les premières valeurs des paramètres de petites déformations des différentes couches de sol. Le processus de calibration ayant été jugé satisfaisant, les paramètres optimisés ont ensuite été utilisés pour les calculs de tassements de la structure de stockage.

**ABSTRACT :** In the frame of a project of surface storage of category-A low- and medium-level radioactive wastes, a large-scale loading test has been performed in order to determine accurately the subsoil geomechanical characteristics, guaranteeing the control of settlement phenomena. The geotechnical parameters had been predetermined from field and laboratory tests and have been refined through the calibration process of finite-element models of the monitored testing dispositive. Self-boring pressuremeter has been used during this process for a first determination of the small-strain characteristics of the soil layers. Since the calibration process was deemed satisfactory, the optimised parameters have been used for settlement assessment of the storage structure.

**MOTS-CLÉS :** analyse régressive ; calibrage ; essai de chargement ; tassements ; éléments finis.  
**KEYWORDS :** back analysis; calibration; loading test; settlements; finite elements.

## 2.3 Utilisation des essais d'expansion cyclique pour définir des modules élastiques en petites déformations

### Determining Small Strain Elastic Modulus Using Cyclic Expansion Tests

P. Reiffsteck & S. Fanelli & J.L. Tacita

*Univ Paris Est, IFSTTAR GER, Paris, France*

J.C. Dupla

*Navier Géotechnique, Univ Paris Est, Marne-la-Vallée, France*

G. Desanneaux

*CETE de l'Ouest, LRPC Saint Brieuc, France*

**RÉSUMÉ :** Depuis trente ans, la réalisation d'essais d'expansion cycliques réalisés en trous préforés ou forés à l'avancement sur différents sites expérimentaux a permis de disposer d'une base assez importante de cas. La qualité de ces résultats permet de dériver des paramètres de déformabilité à des taux de déformation faibles. Ces essais cycliques ont été réalisés au pressiomètre Ménard et au pressiomètre autoforeur. Un peu moins d'une dizaine de sites ont été étudiés permettant d'observer le comportement de matériaux sableux et argileux normalement consolidés et surconsolidés. Cette communication présente le matériel utilisé ainsi que les procédures suivies. Le programme d'essai composé de plusieurs phases de cycles d'amplitude variable a été proposé dans les années quatre-vingt. On observe une évolution du module en fonction du nombre de cycles, de la nature du matériau et du rapport de l'amplitude et de la position moyenne avec la contrainte horizontale en place. Une synthèse des résultats des essais obtenus sur ces sites est présentée.

**ABSTRACT :** For thirty years, realization of cyclic expansion tests carried out in borehole pockets drilled using a separate tool or integrate in the probe, on different experimental sites allowed to have a rich database. The quality of these results allows to derive stress-strain parameters at low strain level. These cyclic tests were carried out using Menard and self-boring pressuremeters. A little less than ten sites were studied covering the behavior of sandy and clayey materials normally consolidated or overconsolidated. This paper will present the equipment used and procedures applied. Usually, the test program, which was proposed in the eighties, consists of several phases of cycles of variable amplitude. One can observe a shift of the module depending on the number of cycles, the nature of the material and the ratio of the amplitude and the mean position compared to the at rest horizontal stress. A summary of test results obtained on these sites is presented.

**MOTS-CLES :** comportement cyclique, essais d'expansion de cavité, pressiomètre autoforeur, pressiomètre Ménard

**KEYWORDS :** cyclic behavior, cavity expansion test, Self-boring pressuremeter, Ménard pressuremeter.

## 3. TEST INTERPRETATION / INTERPRETATION DES ESSAIS

### 3.1 Courbes hyperboliques contrainte-déformation au pressiomètre Ménard autoforé

#### Stress-Strain Hyperbolic Curves Obtained with a Self-Boring Ménard PMT

J.-P. Baud

*Eurogé, Avrainville, France*

M. Gambin

*Apagéo, Paris, France*

F. Schlosser

*Ecole des Ponts Paris-Tech, Navier-CERMES, Marne-la-Vallée, France*

RÉSUMÉ : On présente ici les derniers résultats de nos recherches sur le module de déformation du sol déterminé en assimilant à un arc d'hyperbole la courbe pression-volume obtenue dans un essai au pressiomètre Ménard. L'essai est réalisé en utilisant une cavité obtenue par un système de tube fendu auto-foré, soit en roto-percussion, le STAF®, soit en rotation seule, le ROTOSTAF®. L'ajustement des points de mesure sur une branche d'hyperbole du second degré permet d'obtenir une expression analytique originale de la déformée  $\epsilon$  sous la forme  $\epsilon = f(G_0, p_0, p_{LM}, P_L)$  dans laquelle  $P_L$  représente l'abscisse de la « pression limite vraie » prise comme asymptote. Pour chaque essai, il est alors facile d'obtenir la variation, calculée à partir des points de mesure, du module tangent  $G_t$  et du rapport  $G_t/G_0$  en fonction de  $\epsilon$ , et pareillement le module sécant  $G_s$ . Cette variation peut être comparée avec celle donnée par le modèle hyperbolique courant : la concordance est bonne, sauf pour les très faibles déformations initiales où les courbes obtenues à partir des points d'essais donnent des modules sensiblement plus élevés. Ces résultats sont en bon accord avec les résultats d'essais en laboratoire et en géophysique. Ils mettent en évidence une décroissance typique des modules lorsque la déformation s'accroît.

ABSTRACT : The present stage of our research work on soil E-moduli values are submitted here. These values are obtained by assimilating the pressure-volume plot of a Ménard PMT to a 2nd degree hyperbole arc. The tests were performed using a self-bored steel slotted tube implemented either by the STAF® technique involving a drifter and a full-face bit, or the ROTOSTAF® method with a drag bit protruding from the tube outlet. Getting the hyperbolic best fit of the plotted readings makes it possible to obtain an original equation of the radial borehole expansion  $\epsilon$  as  $\epsilon = f(G_0, p_0, p_{LM}, P_L)$  in which  $P_L$  is the true "limit pressure" value of the vertical pressure asymptote. Then, it is easy to derive the tangent modulus  $G_t$  for each reading and the corresponding  $G_t/G_0$  ratio as a function of  $\epsilon$ , and similarly the secant modulus  $G_s$ . Their variation can be compared with those given by the usual hyperbolic model: a very good agreement is obtained, except for very small initial strains where the readings plot yields moduli sensibly higher in value. These results are similar to those obtained by laboratory tests and in geophysical surveys. They exemplify the typical decrease of the deformation modulus when the stress or the strain increases.

MOTS CLÉS : Pressiomètre, autoforage, modèle hyperbolique,

KEYWORDS : Ménard Pressuremeter, self-boring, hyperbolic soil model.

### 3.2 Module pressiométrique Ménard : aides pratiques à l'interprétation

#### How Secant Modulus Curve and Two Other Tools Help with Ménard Pressuremeter Interpretation

X. Caquineau

*Expert, Meylan, France*

B. Dumolard

*TPDF / G5-ISSIM, Grenoble, France*

RÉSUMÉ : Deux paramètres de résistance et de déformabilité sont déduits d'un essai pressiométrique Ménard : la pression limite  $p_{LM}$  et le module pressiométrique  $E_M$ . Alors que l'évaluation de la pression limite est directement accessible à la vue des courbes corrigées, l'appréciation du module pressiométrique nécessite des calculs et une bonne connaissance des conditions d'essai. Cette contribution propose de compléter les courbes corrigées conventionnelles par la représentation systématique de la courbe des modules sécants calculés entre deux paliers successifs de pression. Bien adaptée au contrôle visuel immédiat après dépouillement automatique, cette courbe des modules sécants fiabilise le choix de la valeur représentative du module pressiométrique  $E_M$  et assure la cohérence des valeurs finales admises. Deux outils supplémentaires ( $E_M/2$  et courbes tangentes au fluage) sont proposés dans les cas où le module pressiométrique et le fluage sont difficiles à caler visuellement à partir des courbes corrigées.

ABSTRACT : The Ménard pressuremeter limit pressure and modulus are the most significant parameters derived from a pressuremeter test. On the one hand, limit pressure is easy to determine with corrected pressuremeter and creep curves, depending on formula. On the other hand, pressuremeter modulus needs visual help to be accurately interpreted after corrections and automatic data analysis. The secant modulus curve from two adjacent pressure data points is the best manual controlled solution offered by the authors to be added to each test analysis and report. Even if the borehole is not perfect, the secant modulus curve is useful to determine easily final Ménard modulus. However, it is only framework for discussion between operators and data analysts to improve test quality conditions of pressuremeter logs. Two additional aids are suggested to determine Ménard modulus and creep limit if these are questionable from conventional corrected data curves.

MOTS-CLES : pressiomètre, module de déformation Ménard, courbe des modules sécants.

KEYWORDS : pressuremeter, Ménard modulus, secant modulus curve.

### 3.3 New Method to Compute Reload and Unload Pressuremeter Moduli

Une nouvelle méthode pour calculer les modules pressiométriques de rechargement et de déchargement

R. A. Failmezger

*In-situ Soil Testing L.C., Morattico, Virginia, USA*

G. Sedran

*In-Depth Geotechnical Inc., Hamilton, Ontario, Canada*

**ABSTRACT :** Multiple cycles of unload-reload stress-strain loops during pressuremeter testing results in increasing values of the corresponding unload and reload moduli (U-R moduli). When plotting U-R moduli vs. strain a linear relationship is identified. The corresponding coefficients of linear regression,  $R^2$ , are typically greater than 0.95. Moduli values for unload-reload loops near the yield stress, typically the first loop, do not follow those best fit lines and are typically about 40% lower. U-R moduli can be determined at any radial strain using these best-fit equations, which can be used for finite element modeling. In-situ PMT test data from three case studies are presented demonstrating these relationships. A new approach to compute U-R moduli as a function of strain level is presented.

**RÉSUMÉ :** Plusieurs cycles de déchargement-rechargement contrainte / déformation pendant l'essai pressiométrique, conduisent à des valeurs plus élevées de modules de déchargement et rechargement (modules U-R). Lors du traçage des modules U-R vs déformation, une relation linéaire est identifiée. Les coefficients correspondants de la régression linéaire,  $R^2$ , sont généralement supérieurs à 0,95. Les valeurs de modules pour les boucles de déchargement-rechargement près de la limite d'élasticité, généralement la première boucle, ne suivent pas cette pente et sont typiquement environ 40 % plus bas. Les modules U-R peuvent être déterminés à n'importe quelle contrainte radiale à l'aide de ces équations ajustées, lesquels peuvent être utilisées pour la modélisation par éléments finis. Les données d'essais in-situ PMT de trois études de cas sont présentées démontrant ces relations. Une nouvelle approche pour calculer les modules U-R comme une fonction de l'état de déformation est présentée.

**KEYWORDS :** in-situ testing; pressuremeter; reload and unload moduli; finite element analyses.

**MOTS-CLÉS :** essais in situ, pressiomètre, modules de rechargement et déchargements, calculs aux éléments finis.

### 3.4 Is it Possible to Determine the Soil Shear Strength and Deformation Characteristics from the Studies of Pressuremeter Tests?

Est-il possible de déterminer la résistance au cisaillement et les caractéristiques de la déformation du sol avec des essais pressiométriques?

J. Mecsi

*University of Pécs, Faculty of Engineering, Hungary*

**ABSTRACT :** The paper deals with an application of the cavity expansion theory for the determination of soil strengths and nonlinear deformation parameters using pressuremeter tests. The developed cavity expansion theory takes into consideration the facts that even the initial soil stress-strain state itself is anisotropic, and that due to expansion soil density increases. By having introduced the deformation modulus, we have introduced two soil constants; ( $E_0$ ) that is the basic deformation modulus, and ( $a$ ) an exponent. The soil strength parameters, namely cohesion ( $c$ ) and angle of friction ( $\phi$ ), as well as the deformation parameters represent the soil properties. We can determine only the combination of the interrelated and suitable soil parameters from the pressuremeter test. The paper presents an example, and proves that the measured diagram very well approximates the theoretically calculated diagrams with different cohesion - basic deformation modulus combinations.

**RÉSUMÉ :** L'auteur s'occupe de l'application de la théorie de l'expansion d'une cavité pour déterminer la résistance du sol et les paramètres de la déformation non-linéaire du sol par des essais pressiométriques. La théorie avancée de l'expansion d'une cavité tient compte du fait, que l'état contrainte-déformation d'origine est anisotrope, et la densité du sol s'accroît à cause de l'expansion. En introduisant le module de déformation, deux constantes caractérisant le sol ont été introduites: le module de base de déformation ( $E_0$ ) et l'exposant ( $a$ ). Les valeurs déterminant la résistance du sol, c'est à dire la cohésion ( $c$ ) et l'angle de frottement interne ( $\phi$ ) ainsi que celles de la déformation reflètent les propriétés du sol. Avec l'essai pressiométrique on peut déterminer seulement une combinaison de certains paramètres du sol qui sont liés entre eux. Un exemple est présenté qui prouve, que la courbe reflétant les résultats des essais pressiométriques s'ajuste bien aux courbes théoriques calculées en utilisant différentes combinaisons cohésion - module de base de déformation.

**KEYWORDS :** Cavity expanding theory, pressuremeter test, nonlinear deformability of soil.

**MOTS-CLÉS :** théorie de l'expansion d'une cavité, essai pressiométrique, déformation non-linéaire des sols

### 3.5 Undrained Shear Strength of Over Consolidated Clays Based on Creep Pressure Results from Pressuremeter Tests

Résistance non drainée au cisaillement des argiles surconsolidées en fonction des résultats de pression de fluage dans des essais pressiométriques.

M. Retamosa

*Tunneling and Geotechnical Department, Madrid Transportation Design Center, AECOM, Spain*

ABSTRACT : Undrained shear strength ( $S_u$ ) of over consolidated clays is a determining parameter in geotechnical practice, especially when related to deep foundation designs. When determined from laboratory tests, obtained results are usually lower than they should be for this kind of stiff clayey soils. This strength is usually related to the net limit pressure, which can be determined only for “good quality” tests in which many pressure steps have been carried out over the creep pressure. Even in those cases, transcendental (nonalgebraic) equations must be solved. Provided that the creep pressure is related with the border between elastic and plastic behaviour, in the case of cohesive soils, this pressure can be related to  $S_u$ . Several authors have rejected this interpretation concluding that it could lead to an overestimation of this strength. Nevertheless, as it is discussed in this paper, this rejection could be based on the assumption of several hypotheses that are probably very restrictive, and that could be especially unlikely for over consolidated clays. In summary, an alternative interpretation in this respect is proposed in this paper with the intention that it at least provokes further discussion on the matter. It leads to considerably optimistic results, much higher than those obtained from laboratory tests, but in accordance with over consolidated clays nature and their effective stress history.

RÉSUMÉ : La résistance au cisaillement non drainée ( $S_u$ ) des argiles surconsolidées est un paramètre déterminant dans la pratique géotechnique courante, en particulier lors de son utilisation dans la conception de fondations profondes. Les résultats obtenus pour cette résistance à partir de tests de laboratoire sont en général inférieurs à ce qu'ils devraient être pour ce type de sols argileux raides. Cette résistance est généralement liée à la pression limite nette de Menard, qui ne peut être déterminée que pour des essais de très bonne qualité et dans lesquels des nombreuses phases de pression au-dessus de la pression de fluage sont effectuées, et même dans ces cas des équations transcendentes (non-algébriques) doivent être résolues. Etant donné que la pression de fluage est liée à la limite entre le comportement élastique et plastique, cette pression peut être liée à  $S_u$  dans le cas des sols cohésifs. Plusieurs auteurs ont rejeté cette interprétation en concluant que cela pourrait conduire à une surestimation de cette force. Néanmoins, comme le montre la réflexion exposée dans ce document, ce refus pourrait être fondé sur la supposition de plusieurs hypothèses qui sont probablement très restrictives et qui pourraient être particulièrement improbables, précisément pour des argiles surconsolidées. Cependant, une réflexion plus en détail est nécessaire sur cette question, car l'interprétation proposée conduit à des résultats très optimistes ; beaucoup plus élevés que ceux obtenus à partir de tests de laboratoire, mais en conformité avec la nature des argiles surconsolidées et l'histoire de leurs contraintes effectives.

KEYWORDS : Undrained shear strength, over consolidated clays, pressuremeter test, creep pressure, Menard limit pressure.

MOTS-CLÉS : résistance au cisaillement non drainé, argile surconsolidée, essai pressiométrique, pression limite Ménard.

### 3.6 Analysis of Self-boring Pressuremeter Tests in a Sensitive Clay of Quebec

Analyse d'essais au pressiomètre auto-foreur dans une argile sensible au Québec

V. Silvestri

*Department of civil engineering, Ecole Polytechnique, Montreal, Quebec, Canada*

C. Tabib

*Consultant, Montreal, Quebec, Canada*

**ABSTRACT :** The present paper analyzes self-boring pressuremeter test results obtained in a clay deposit of Quebec. The clay is lightly overconsolidated and sensitive. Stress-strain curves were first determined using both a linearly elastic perfectly plastic model and a nonlinear plastic model based on total stress analysis. Additional stress-strain curves were then obtained using relationships based on the application of modified Cam clay. This approach allowed the determination of effective radial, axial, and tangential stresses as well as effective stress paths and distributions in the soil surrounding the expanding cylindrical cavity.

**RÉSUMÉ :** Cet article présente les résultats d'essais au pressiomètre autoforeur obtenus dans un dépôt d'argile du Québec. L'argile est surconsolidée et sensible. Des relations contraintes-déformations ont été d'abord obtenues à l'aide d'analyses en contraintes totales en utilisant soit un modèle linéaire élastique parfaitement plastique soit un modèle non-linéaire plastique. Des relations additionnelles ont été par la suite obtenues en utilisant le modèle Cam clay modifié. Cette dernière approche a permis de déterminer les contraintes effectives radiale, axiale, et tangentielle, ainsi que les cheminements des contraintes et leurs distributions dans le sol pendant l'expansion de la cavité cylindrique.

**KEYWORDS :** Self-boring pressuremeter tests, sensitive clay, modified Cam clay, stress-strain curves, stress distributions and paths.

**MOTS-CLÉS :** essais au pressiomètre auto-foreur, argile sensible, modèle Cam-clay modifié, courbes efforts-déformation, répartition des contraintes, chemin de contraintes.

### 3.7 A Method for Describing the Stress and Strain Dependency of Stiffness in Sand

Méthode de description des effets des contraintes et déformations sur la rigidité du sable

R. Whittle

*Cambridge Insitu Ltd, U.K.*

L. Liu

*Mott MacDonald Ltd, U.K.*

**ABSTRACT :** High resolution pressuremeters are used routinely to provide stiffness parameters from unload/reload cycles. This technique is largely unaffected by disturbance and so can be used with all insertion modes. It is straightforward to describe the strain dependency of stiffness in clays in the range  $10^{-4}$  to  $10^{-2}$  using a power law to fit the trend of reloading data (Bolton & Whittle, 1999). Pressuremeter tests in clay tend to be undrained and following failure the mean effective stress throughout the loading is constant. Hence all cycles plot the same trend, a rare example of repeatability in a destructive test. Pressuremeter tests in sand are drained events. Consequently the mean effective stress changes throughout the loading, so in addition to strain dependency there is stress dependency. The method outlined in this paper results in a single expression that describes the strain and stress development of stiffness. This is done by combining a power law approach with a widely used stress level adjustment (Janbu, 1963). The only requirement from the test is that there should be at least three unload/reload cycles.

**RÉSUMÉ :** les pressiomètres à haute résolution sont couramment utilisés pour relever les paramètres de rigidité sur les cycles de déchargement/rechargement. Cette technique n'est, pour l'essentiel, pas affectée par les perturbations et peut donc être utilisée avec tous les modes d'insertion. Les effets des déformations sur la rigidité des argiles dans la gamme  $10^{-4}$ - $10^{-2}$  se décrivent de façon simple, en utilisant une loi de puissance pour lisser la tendance des données de rechargement (Bolton & Whittle, 1999). Les essais pressiométriques réalisés dans l'argile sont généralement non drainés et, en cas de défaillance, la contrainte effective moyenne est constante sur l'ensemble de la charge. Cela explique pourquoi tous les cycles tracent la même tendance, exemple rare de répétitivité pour des essais destructifs. Les essais pressiométriques effectués dans le sable sont des événements drainés. Cela induit des variations de la contrainte effective moyenne sur l'ensemble de la charge : il y a donc, en plus de la dépendance aux déformations, une dépendance aux tensions. La méthode proposée dans cet article permet d'obtenir une expression unique pour décrire les effets des déformations et des tensions sur la rigidité. Cela passe par la combinaison entre une approche fondée sur la loi des puissances et une pratique, largement utilisée, d'ajustement du niveau de contrainte (Janbu, 1963). La seule exigence du test est la nécessité de disposer d'au moins trois cycles de déchargement/rechargement.

**KEYWORDS :** Shear modulus, non-linearity, stress dependency, strain dependency, unload, reload  
**MOTS-CLÉS :** module de cisaillement, non-linéaire, fonction de la contrainte, fonction de la déformation, déchargement, rechargement

## 4. SOIL CLASSIFICATION / CLASSIFICATION DES SOLS

### 4.1 50 MPa Ménard PMTs Help Linking Soil and Rock Classifications

Les essais pressiométriques à 50 MPa une aide pour relier les classifications des sols et des roches

J.-P. Baud

*Eurogé, Avrainville, France*

M. Gambin

*Apagéo, Magny-les-Hameaux, France*

R. Heintz

*Eurasol s.a., Luxembourg, Grand Duché*

**ABSTRACT :** This paper is an update of previous contributions submitted to the 15th ECSMGE in Athens in September 2011 on Hard Soils and Weak Rocks. That Conference gave us the opportunity to submit a new concept of Ménard pressuremeter testing, permitting to apply pressure up to 25 MPa at the borehole wall through the HyperPAC 25. The development of this device lead to borehole expansion tests carried out up to 50 MPa through the HyperPAC 50. Some details are given on the methods used to keep the convenient accuracy on pressure and deformation readings for these high pressures. The 100 Mpa HyperPAC will be showed in Paris in September 2013 during 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. The first tests, submitted here, were carried out in massive rock without any beginning of failure under 50 MPa, particularly in a silica cemented silicate sandstone. The most recent ones made it possible to analyze the behavior in cylindrical expansion of rock in various conditions of jointing and weathering. The paper also indicates some new developments of the pressuremeter-based classification for soils and rocks, submitted as a multiple axes diagram called Pressiorama®, which can be used for a global determination of the Ménard ground rheological factor  $\alpha$  from a set of tests in soil or rock.

**RÉSUMÉ :** L'article est une mise à jour de deux précédentes contributions au 15ème Congrès Européen de Mécanique des sols et Géotechnique (Athènes, Septembre 2011) consacrée aux sols indurés et roches tendres. Ce congrès fut l'occasion de présenter une nouvelle conception du pressiomètre Ménard (HyperPAC25) permettant d'atteindre une pression de 25 MPa. Cette nouvelle communication expose la montée en puissance de l'appareil (HyperPAC50), et donne quelques détails sur les méthodes permettant de conserver une précision suffisante des mesures de déformation à de telles pressions. Le prototype HyperPAC100 MPa sera présenté en Septembre 2013 à Paris lors du 18ème Congrès International de Mécanique des Sols et de Géotechnique. Les premiers essais sont présentés, dans des roches massives ne présentant pas d'amorce de rupture sous 50 MPa, notamment le grès de Fontainebleau. Les plus récents essais réalisés ont permis d'explorer aussi le comportement en expansion cylindrique de roches dans différents états de fracturation et altération. Egalement, on rend compte de l'extension du diagramme Pressiorama® qui en résulte pour une classification unifiée des sols et des roches basée sur les résultats pressiométriques, incluant désormais le coefficient rhéologique  $\alpha$ .

**KEYWORDS :** Pressuremeter, flexible dilatometer, rock moduli, rock limit pressure, hard soils, weak rocks, weathered rocks.

**MOTS-CLES :** Pressiomètre, dilatomètre, modules des roches, pression limite des roches, sols raides, roches tendres, roches altérées.

## 4.2 Détermination du coefficient rhéologique $\alpha$ de Ménard dans le diagramme Pressiorama®

Obtaining the Ménard  $\alpha$  Rheological Factor in a Pressiorama® Diagram

J.-P. Baud

*Eurogé, Avrainville, France*

M. Gambin

*Apagéo, Magny-les-Hameaux, France*

RÉSUMÉ : Louis Ménard a défini le coefficient rhéologique  $\alpha$  à l'aide du rapport adimensionnel des deux caractéristiques classiques de l'essai pressiométrique  $E_M/p_{LM}^*$ . La connaissance de ce rapport est un élément essentiel de la validité des calculs de déformation du sol au contact de toutes sortes de fondations. Sa valeur dépend simultanément de la qualité de réalisation du forage pressiométrique, et de la proportion entre cohésion et frottement dans la résistance du sol soumis à l'essai, c'est-à-dire de sa nature. Dans le but de compléter par un axe des valeurs de  $\alpha$  le diagramme Pressiorama® désormais présent dans certaines normes d'application de l'Eurocode 7, nous nous sommes étalonnés sur des essais pressiométriques autoforés par la technique STAF dans des sols divers allant de sols très mous à des rochers très massifs. En effet ces essais, de très bonne qualité, permettent d'obtenir des valeurs  $E_M/p_{LM}^*$  allant de 4 pour les sols purement granulaires à plus de 100 pour les sols cohérents très consolidés et les roches. Les auteurs proposent ici, à partir de ces données, une expression, à la fois chiffrée et graphique, de la valeur du coefficient rhéologique  $\alpha$ , basée sur 3 paramètres  $E_M$ ,  $p_{LM}$  et  $p_0$  - ce dernier estimé ou, mieux, mesuré et donc variable selon la profondeur de l'essai dans le sol.

ABSTRACT: In the early years of the development of his “direct method” of design based on PMT results, Louis Ménard introduced a rheological factor  $\alpha$  based on the ratio  $E_M/p_{LM}^*$  for each test. The knowledge of this factor is necessary to estimate settlement and horizontal displacement of all sorts of foundations. Its value is a function of both the quality of the borehole and the ratio between soil friction and cohesion, i.e. its nature. In order to complete the Pressiorama® diagram with a  $\alpha$  values axis, the authors used a calibration mostly based on so-called self-bored PMT tests performed with the STAF technique, in various soil types from soft clay to rock. These very good quality tests permit obtaining  $E_M/p_{LM}^*$  values from 4 in granular soils to 100 in highly consolidated soils and rock. From these data, the authors propose an evaluation of this rheological factor  $\alpha$  only based on the values of 3 parameters, namely,  $E_M$ ,  $p_{LM}^*$  and the earth pressure at rest  $p_0$ , either estimated, or, much better, measured during the early part of the test. Results are given under the shape of an equation and graphically on the Pressiorama® diagram.

MOTS CLÉS : Pressiomètre, autoforage, classification des sols, coefficient rhéologique  $\alpha$ .

KEYWORDS : Ménard pressuremeter, self-boring, soil classification,  $\alpha$  rheological factor.

### **4.3 Estimation of Tunis Soft Soil Undrained Shear Strength from Pressuremeter Data**

Estimation de la cohésion non drainée de la vase de Tunis à partir des résultats d'essais pressiométriques

W. Frikha, Z. Ben Salem & M. Bouassida

*Université de Tunis El Manar/Ecole Nationale d'Ingénieurs, Tunis, Tunisia*

**ABSTRACT** : The present paper focuses on the prediction of the undrained cohesion from pressuremeter test. For this purpose, using a data base of measured undrained shear strength from laboratory and in situ tests and pressuremeter results, different existing correlations and analytical approaches are considered. Predictions made by those approaches have been interpreted and evaluated. Some recommendations are given to better estimate of the undrained shear strength of Tunis soft soil using results obtained from pressuremeter test.

**RESUME** : La prédiction de la cohésion non drainée à partir de l'essai pressiométrique constitue l'objectif du présent article. A cet effet, différentes corrélations et approches sont considérées avec une banque de données de mesures de la cohésion non drainée à partir d'essais de laboratoire et d'essais in situ. Les prédictions faites par ces approches et corrélations sont interprétées et analysées. En vue d'une meilleure prédiction de la cohésion non drainée de l'argile molle de Tunis à partir de l'essai pressiométrique quelques recommandations sont formulées.

**KEYWORDS** : pressuremeter, undrained cohesion, limit net pressure, correlation, analytical approaches, Tunis soft soil

**MOTS CLÉS** : pressiomètre, cohésion non drainée, pression limite nette, corrélations, étude analytique, argile molle de Tunis.

#### **4.4 Evaluation of the Deformation Modulus of the Algeciras Flysch Unit by Means of Pressuremeter Tests: Correlation with RMR**

Évaluation du module de déformation de l'Unité du Flysch d'Algéciras au moyen d'essais pressiométriques : Corrélation avec l'indice RMR

M. Muñiz Menéndez, H. Cano Linares & F. Pardo de Santayana Carrillo  
*Laboratorio de Geotecnia, CEDEX, Madrid, Spain*

N. Sandoval Montero  
*SECEGSA, Madrid, Spain*

**ABSTRACT :** Due to the difficulty in measuring the deformation modulus of a rock mass, it is very common to estimate this parameter, very important for geotechnical design, by means of empirical correlations based on geomechanical parameters that can be easily measured in the field. For this purpose, in the framework of the project of a future tunnel under the Strait of Gibraltar between Europe and Africa, the Geotechnical Laboratory of the Centre for Studies and Experimentation on Public Works (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX) in Spain, has carried out an in situ testing survey program. In this paper the deformability parameters measured by pressuremeter testing have been analysed, and some correlations between rock mass deformability and Rock Mass Rating (RMR) index are proposed. These correlations have been compared with some others published by different authors.

**RÉSUMÉ :** Le module de déformation d'un massif rocheux, très important pour le projet géotechnique, comporte une grande difficulté de mesure. Par conséquent ce paramètre est usuellement estimé grâce à des corrélations empiriques basées sur des paramètres géomécaniques assez faciles à obtenir à partir d'essais in situ. A cet effet, et dans le cadre du futur Projet du tunnel sous le Détroit de Gibraltar entre l'Europe et l'Afrique, le Laboratoire de Géotechnique du Centre d'Études et d'Expérimentation des Travaux Publics (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX), en Espagne, a développé une campagne de reconnaissance sur le terrain avec des essais pressiométriques. Ce document analyse les paramètres de déformation obtenus au moyen de ces essais pressiométriques, et certaines corrélations entre la déformabilité et la classification des massifs rocheux (avec l'indice RMR) ont été proposées. Ces corrélations ont également été comparées avec celles d'autres études publiées par des auteurs reconnus.

**KEYWORDS :** Rock mass deformation, RMR, Pressuremeter, Strait of Gibraltar tunnel, Correlation.

**MOTS CLÉS :** déformation d'un massif rocheux, RMR, pressiomètre, tunnel du Détroit de Gibraltar, corrélation.

## 4.5 Caractérisation mécanique des sols par l'essai pressiométrique

### Mechanical Characterization of the Soil from the Pressuremeter Test Results

J. Monnet

*UJF-Grenoble 1 CNRS UMR 5521, Laboratoire 3SR, Grenoble, France*

**RÉSUMÉ :** A partir d'une interprétation théorique élasto-plastique avec dilatance de l'essai pressiométrique, l'article propose une classification des sols en frottement d'après les mesures adimensionnelles  $G^e/p_0$  ( $G^e$  : module de cisaillement élastique ;  $p_0$  pression horizontale des terres au repos) et  $p_l/p_0$  ( $p_l$  pression limite conventionnelle). Dans le cas des sols purement cohésifs, l'article propose une identification à partir du logarithme de  $G^e$  et de la pression limite nette  $p_l - p_0$ . Une application de ces méthodes d'identification est réalisée sur plusieurs campagnes de reconnaissance pressiométriques.

**ABSTRACT :** From a theoretical elastoplastic interpretation with dilation of the pressuremeter test, the paper presents a classification of friction soils based on dimensionless measurements  $G^e/p_0$  ( $G^e$ : elastic shear modulus,  $p_0$  horizontal earth pressure at rest) and  $p_l/p_0$  ( $p_l$  standard limit pressure). In the case of purely cohesive soil, the paper proposes identification from the logarithm of  $G^e$  and net limit pressure  $p_l - p_0$ . An application of these methods of identification is carried out on several pressuremeter soil surveys.

**MOTS-CLEFS :** essai pressiométrique, frottement, cohésion, identification

**KEYWORDS :** pressuremeter test, friction, cohesion, identification

## 4.6 Application et validation d'abaque pour la classification des sols à partir des résultats pressiométriques

### Application and Validation of Soil Behavior Classification Chart Based on Pressuremeter Test Results

P. Reiffsteck, A. Martin & T. Perini  
*Terrasol, Paris, France*

**RÉSUMÉ :** Les nouvelles normes françaises (NF 94-261 et NF 94-262) pour le dimensionnement des fondations superficielles et profondes dans le cadre de l'Eurocode 7, proposent d'utiliser un abaque de classification basé sur les résultats des essais pressiométriques : pression limite et module Ménard. A l'instar de la classification des sols développée à partir des résultats des essais de pénétration statique, cet outil définit des classes de sol dans un plan construit à partir de la pression limite normalisée et du rapport module sur pression limite. Cette communication présente l'application pratique de cet abaque à la classification des sols sur un projet d'infrastructure. Une base de données importante de résultats d'essais pressiométriques a été collectée lors des reconnaissances en phase de conception pour la quatorzième ligne de métropolitain de l'agglomération parisienne. Cette base de données contient, outre les résultats des essais pressiométriques, la caractérisation physique et mécanique obtenue à partir des prélèvements par carottage. La validation par ce croisement de données permet de conclure sur la fidélité de cet abaque et propose quelques conseils pour son utilisation pratique. Une version plus élaborée tenant compte de l'état initial du sol, dont on sait l'importance est également soumise à validation.

**ABSTRACT :** The new French Standards (NF 94-261 and NF 94-262) on the design of shallow and deep foundations in the framework of Eurocode 7, propose to use a soil profiling chart based on pressuremeter tests results: limit pressure and Ménard modulus. Like the soil behavior classes developed from the results of cone penetration tests, this tool defined soil classes, in a plane constructed with the normalized limit pressure versus the ratio between the Ménard modulus and the limit pressure. This paper presents the practical application of this soils classification chart on an infrastructure project. A large database of pressuremeter test results was collected during site investigation performed for the preliminary and detailed project stages for the fourteenth metropolitan line of Paris area. This database contains, in addition to the results of pressuremeter tests, physical and mechanical characterization obtained from sampling by core drilling. This paper concludes on the reliability of this chart and proposes some advices for its practical use. A newer version taking into account initial state of the ground is also tested.

**MOTS CLES :** pressiomètre, classification des sols

**KEYWORDS :** pressuremeter, soil classification

## 4.7 Pressiorama – Application of Ménard Pressuremeter to Classify Several Geological Formations Encountered in Greece

Pressiorama – Application du Pressiomètre Ménard pour classifier diverses formations géologiques rencontrées en Grèce

A. Ritsos

*Civil Engineer N.T.U.A. Edafomichaniki S.A., Greece*

A. Basdekis

*Geologist, Edafomichaniki S.A., Greece*

M. Gambin

*Scientific Adviser, Apagéo, Magny-les-Hameaux, France*

**ABSTRACT** : Pressuremeter tests carried out within several geological formations that can be found in Greece, are presented and commented basically by using the graphical display named Pressiorama© (Baud 2005, Baud and Gambin, 2013). With this graphical display the evaluation of the pressuremeter results and the pressuremeter parameters, in accordance with laboratory tests for the determination mainly of the physical properties in characteristic samples, is much more accurate and gives the possibility to determine more precisely the ground strength, several geotechnical engineering parameters and mathematical expressions needed for design purposes. Four typical case studies are presented using this graphical display, showing that this is an adequate process to provide useful information for the structure of several ground formations in relation to their strength.

**RÉSUMÉ** : Des série d'essais pressiométriques réalisés dans des formations géologiques diverses qui existent en Grèce, sont présentés et commentés notamment en utilisant le diagramme nommé Pressiorama© (Baud 2005, Baud et Gambin, 2013). Ce diagramme, permet que l'évaluation des résultats et des paramètres pressiométriques, en accord avec les essais de laboratoire pour la détermination surtout des propriétés physiques des échantillons caractéristiques, soit plus exacte, et donne la possibilité de déterminer plus précisément la résistance de sol, plusieurs paramètres géotechniques et expressions mathématiques nécessaires au niveau des études. Quatre études de cas caractéristiques, utilisant Pressiorama sont présentées, indiquant que c'est une procédure adéquate pour fournir des informations utiles quant à la structure des formations diverses du sol par rapport à leur résistance.

**KEYWORDS** : Greece, pressiorama, parameters, soft soils, hard soils, weak rocks, tests, offshore tests, case studies.

**MOTS CLES** : Grèce, pressiorama, caractéristiques des sols, sols mous, sols raides, rocher altéré, essais en mer, études de cas.

## 5. SPECIAL SOILS AND ROCK / SOLS SPÉCIAUX ET ROCHER

### 5.1 Rock Modulus from In-situ Pressuremeter and Laboratory Tests

Le module du rocher au pressiomètre in situ et par essais au laboratoire

L.F. Cao, S.M. Peaker & A. Sirati  
*SPL Consultants Limited, Ontario, Canada*

**ABSTRACT :** This paper describes in-situ rock pressuremeter (rock dilatometer) tests conducted in shale rock in Toronto, Canada. The deformation moduli of rock mass obtained from in-situ pressuremeter tests are compared with those measured from laboratory unconfined and triaxial compression tests. It is found that the deformation moduli of shaly rock mass measured from in-situ tests are generally higher than those measured on the rock samples in laboratory. The lower modulus obtained from laboratory testing could be due to swelling and weathering of rock samples as well as the release of the high in-situ horizontal stress in the bedrock after sampling. The use of modulus obtained from unconfined compression testing on intact rock sample will lead to a conservative approach in geotechnical design for the shaly rock.

**RÉSUMÉ :** Cet article décrit les essais au pressiomètre (le dilatomètre de roche) in-situ menées dans le schiste à Toronto, au Canada. Les essais de compression simple ou triaxiale en laboratoire et les modules de déformation de roche massive provenant d'essais pressiométriques in situ sont comparés. Il est constaté que les modules de déformation des roches schisteuses massives mesurés à partir d'essais in-situ sont généralement supérieurs à ceux mesurés sur les échantillons de roche en laboratoire. La valeur inférieure du module obtenue à partir d'essais en laboratoire pourrait être due à un gonflement et à l'altération après le prélèvement d'échantillons de roches, mais aussi à la libération de la contrainte horizontale élevée in situ dans le substratum rocheux. L'utilisation du module de compression simple obtenu sur l'échantillon de roche intacte correspondra donc à une étude prudente dans la conception géotechnique pour le rocher argilo-schisteux.

**KEYWORDS :** pressuremeter, dilatometer, unconfined compression, triaxial compression, shaly rock, modulus.

**MOTS CLES :** pressiomètre, dilatomètre, compression simple, compression triaxiale, roche argilo-schisteuse.

## 5.2 Le pressiomètre MENARD: un instrument de mesure utile pour la reconnaissance du schiste pyriteux toarcien à risque de gonflement

The MENARD Pressuremeter: a Useful Tool to Investigate Toarcian Pyritic Black Shales Able to Induce Swell

R. Heintz

*Eurasol s.a., Luxembourg, Grand Duché*

V. Heintz

*RWTH Aachen, Germany*

J.-F. Wagner

*Lehrstuhl für Geologie, Universität Trier, Treves, Germany*

RESUME : Depuis les années 1930 de nombreux sinistres sont connus de constructions fondées sur le schiste pyriteux toarcien potentiellement gonflant, affleurant au Sud du Luxembourg et dans les régions transfrontalières belges et françaises. En conséquence, les géotechniciens avertis prévoient la réalisation de forages pressiométriques carottés, utilisant les carottes pour évaluer le risque de gonflement pyriteux par analyses géochimiques et minéralogiques et les essais pressiométriques pour les études traditionnelles de fondation et de tenue des fouilles. Les données résultant de 50 ans de pratique pressiométrique au Luxembourg dans les schistes pyriteux ont permis d'établir une corrélation statistique entre les résultats de laboratoire et les résultats pressiométriques, caractérisant les schistes pyriteux fermes ou de compacité plus importante encore,  $p_l > 1,2$  MPa, comme sols à risque de gonflement élevé. Elles ont permis de mettre en évidence un gonflement potentiel de déchargement différent du gonflement pyriteux. Il en résulte que le pressiomètre MENARD est un instrument de mesure utile pour la reconnaissance des sols pyriteux à risque de gonflement et qu'il pourrait trouver son application dans l'investigation de faciès semblables, connus stratigraphiquement depuis l'ère Primaire et présents dans le monde entier.

ABSTRACT : Since the 1930s many cases of damage are known of constructions founded on the swellable Toarcian pyritic shale, outcropping in the south of Luxembourg and the Belgian and French border regions. As a result, alerted geotechnicians provide the implementation of pressuremeter tests in pre-cored boreholes, using the cores to assess the risk of pyritic swelling by geochemical and mineralogical analyses and pressuremeter test results for traditional studies on foundations and stability of excavations. Data from 50 years of practice on pressuremeter testing in Luxembourg in pyritic shales have established a statistical correlation between laboratory and pressuremeter results identifying hard pyritic shales characterised by a limit pressure  $p_{l,M} > 1,2$  MPa, as soils with a high risk of swelling. The gathered data enable us to point out the difference between pyritic swell and the heave caused by decreasing stress. Consequently we can say that the Ménard pressuremeter is a useful tool for the investigation of pyritic black shales able to induce swell. Further more it could be applied to investigate similar facies known stratigraphically since the Paleozoic era upward which can be found all over the world.

MOTS-CLES : schiste pyriteux, gonflement pyriteux, gonflement de déchargement, pressiomètre Ménard

KEYWORDS : pyritic black shale, pyritic swell, heave caused by decreasing stress, Ménard pressuremeter

### 5.3 Mechanical Characterization of MSW Using the Pressuremeter.

Détermination des propriétés mécaniques des déchets solides urbains avec le pressiomètre.

P. Lapeña, J.Cañizal, J.Castro, A. Da Costa & C. Sagaseta  
*University of Cantabria. Santander, Spain*

**ABSTRACT :** The behavior of MSW is usually studied using models derived from soils, mainly the Mohr-Coulomb failure criterion. Due to the special characteristics of wastes, that make a clear difference between MSW and soils in terms of behavior and testing conditions, new methodologies for studying them have to be developed. Geotechnical approaches to study the behavior of wastes can be through either laboratory tests or field tests. Notwithstanding the realization of some laboratory tests, the aim of a new study undertaken by the University of Cantabria Geotechnical Group is to find a method to characterize MSW using field tests, and more specifically with the usage of pressuremeter and cone penetration tests. It will cover several landfills, with conventional MSW, together with wastes subjected to mechanical and biological pre-treatment (MBT), introduced in Spain in the last years. A first test survey has been accomplished in a landfill near Barcelona (Spain) made up of 16 pressuremeter tests carried out in different points of the landfill with depths ranging from 4 to 20 meters. Preliminary results and conclusions are submitted in this paper.

**RÉSUMÉ :** L'étude du comportement des déchets solides urbains est faite couramment avec des modèles envisagés pour les sols, tel que celui de Mohr-Coulomb. Cependant, à cause des singularités du comportement de ces matériaux par rapport aux sols, des nouvelles approches ont été envisagées. Il est possible d'utiliser des essais de laboratoire ou in situ. Cependant, le principal but de l'étude entreprise par le Groupe de Géotechnique de l'Université de Cantabrie est l'usage des essais sur le terrain, et plus précisément, des essais pressiométriques et de pénétration statique. Plusieurs décharges ont été choisies avec des déchets conventionnels et aussi avec des déchets soumis à des prétraitements mécaniques et biologiques (MBT), introduits en Espagne et en Cantabrie il y a quelques années. Une première campagne a été faite dans un dépôt à Barcelona (Espagne) avec 16 essais pressiométriques à des profondeurs de 3,8 à 20 mètres. Cette communication présente les résultats préliminaires et leur interprétation.

**KEYWORDS :** stiffness, MSW, pressuremeter, PBP (pre-bored pressuremeter) test  
**MOTS CLES :** rigidité, déchets solides urbains, pressiomètre, pressiomètre en forage (PBP)

## 5.4 The Probex: Over 25 Years of Experience in Measurement of In-Situ Deformability of Rock

Le Probex : Plus de 25 ans d'expérience de mesure in situ de la déformabilité de la roche

L. Marcil

*Roctest Ltd, Saint-Lambert, Quebec, Canada*

R. Green

*URS Corporation, Christchurch, New Zealand*

D. Baures

*URS Corporation, Denver, Colorado, USA*

**ABSTRACT :** The Probex borehole dilatometer (or rock pressuremeter) is a radially-expandable, borehole probe used mainly to determine deformability of rock in situ. This equipment integrates elements of a pressuremeter, but is designed for testing rock. This paper gives an overview of various uses of this equipment over the last 25 years, as well as more detailed and recent experiences with this equipment. Advantages and limitations related to the use of the Probex are presented.

**RÉSUMÉ :** Le dilatomètre de forage (ou pressiomètre haute capacité) Probex comprend une sonde cylindrique dilatable radialement utilisée in situ afin principalement de déterminer la déformabilité des massifs rocheux. Cet équipement a les caractéristiques d'un pressiomètre, mais il est conçu pour utilisation dans la roche. Cet article donne un aperçu d'utilisations variées de cet équipement au cours des 25 dernières années, de même que des expériences récentes plus détaillées. On y présente finalement les avantages et limites propres à l'utilisation de cet appareil.

**KEYWORDS :** in-situ testing, rock pressuremeter, dilatometer, deformation modulus, back analysis.

**MOTS-CLÉS :** essais in situ, pressiomètre haute capacité, dilatomètre, module de déformation, rétrocalcul.

## 5.5 Pressuremeter Test as the only Characterization Tool for very Dense Sands

L'Essai Pressiométrique comme seul outil de caractérisation de sables très denses

M. Tarnawski

*West Pomeranian University of Technology in Szczecin, "Geoprojekt Szczecin" Ltd., Poland*

M. Ura

*"Geoprojekt Szczecin" Ltd., Szczecin, Poland*

**ABSTRACT :** Making pressuremeter tests in sands is – except France – not very popular. Static or dynamic penetrometers are quicker, simpler and less expensive as well as accurate enough to estimate mechanical parameters of non-cohesive soils. There are, however, some exceptions. Very dense soils are one of them. Penetrometers, even the heaviest ones, usually meet refusal in such soils. Their parameters are often underestimated as higher values would surely be obtained below the refusal level. Normally attention is paid on weaker soils of a structure substratum, not on the strongest ones and such a situation does not create any problem. But not always. Difficulties were met while driving piles for LNG external harbour breakwater in Swinoujscie (Poland) at depths deeper than 15 m. Geological report presented there only one geotechnical layer of dense sands. No wonder. Simple statistics used normally in such a case invites placing all soils of relative density  $I_D > 0,65$  into one layer. Characteristic relative density value is usually taken as  $I_D \approx 0,7$  because continuous penetrometers meet their refusal somewhere close to  $I_D = 0,8$  and the results of SPT are in many cases underestimated. To recognize a real changeability of strength of dense and very dense soils Ménard Pressuremeter Tests were carried out. The aim was to establish a local correlation between relative density and pressuremeter limit pressure. It succeeded. Then it was possible to divide these soils into two different geotechnical layers. It helped to understand the reasons of difficulties in pile driving.

**RÉSUMÉ :** A l'exception de la France, les essais pressiométriques dans les sables sont rarement utilisés. Les essais de pénétration dynamique ou statique sont plus rapides, simples à réaliser et économiques tout en garantissant une précision suffisante dans l'estimation des caractéristiques mécaniques des sols frottants. Il y a toutefois des exceptions. Les sols très denses en font partie. Les pénétromètres même les plus lourds présentent généralement le refus dans de tels sols. Leurs caractéristiques sont souvent sous-estimées et des valeurs plus élevées auraient été mesurées sous le niveau de refus. Une attention particulière est habituellement portée sur les sols les plus faibles de l'assise d'une structure, et non sur les plus résistants, sans que cette situation ne crée de problème. Mais pas toujours. Des difficultés furent rencontrées durant le battage des pieux de la digue du terminal GNL à Swinoujscie en Pologne, à des profondeurs supérieures à 15 m. Le rapport géologique ne signalait la présence que d'une passée de sable dense. Ce constat n'est pas très étonnant. En effet, l'approche statistique habituellement adoptée dans ce type de situation amène à rassembler les faciès présentant une densité relative supérieure à 65%. La valeur caractéristique retenue sera 70%, en considérant que les pénétromètres atteignent le refus vers 80% et que les résultats des essais SPT sont généralement sous-estimés. Pour différencier les sables denses et très denses il a donc été réalisé une campagne d'essais pressiométriques. L'objectif était d'établir une corrélation locale entre pression limite et densité relative. Le succès fut assuré. Il fut alors possible de subdiviser ces sols en deux couches géotechniques. Les difficultés de battage des pieux purent ainsi être surmontées.

**KEYWORDS :** dense sands, relative density, penetrometer interpretation, pressuremeter limit pressure, correlation.

**MOTS CLES :** sable dense, densité relative, interprétation du pénétromètre, pression limite Ménard, corrélation.

## 6. FOUNDATION DESIGN / CONCEPTION DES FONDATIONS

### 6.1 Utilisation du pressiomètre Ménard en Algérie : interprétation et application

Use of Ménard Pressuremeter in Algeria: Interpretation and Application

R. Bahar

*Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie*

**RÉSUMÉ :** Cette communication présente les résultats d'essais pressiométriques de type Ménard réalisés sur différents sites algériens argileux dans l'objectif, d'une part, d'établir des corrélations entre les paramètres déduits de cet essai, et d'autre part, de prédire le comportement d'un pieu foré isolé soumis à une charge axiale. Les argiles étudiées sont caractérisées par une plasticité allant de peu à très plastique et une consistance allant de très molle à très raide. Des corrélations entre la pression limite et la pression de fluage, et la pression limite et la cohésion non drainée de ces argiles ont été établies. L'estimation de la cohésion non drainée des argiles à partir de l'interprétation des essais pressiométriques a été effectuée à l'aide de deux méthodes numériques à savoir la méthode «Pressident» prenant en compte le modèle de Duncan et Chang, et l'approche proposée par Bahar et Olivari prenant en compte un modèle élastoplastique qui dérive du modèle de Prager généralisé associé au critère de rupture de Von Mises, et conçu pour décrire le comportement à court terme des argiles. Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus à l'aide des relations empiriques proposées par Ménard, et Amar et Jézéquel. Enfin, des calculs numériques de la capacité portante et du tassement d'un pieu foré isolé soumis à une charge axiale centrée ont été effectués, les résultats obtenus sont comparés aux mesures in situ.

**ABSTRACT :** This paper presents the results of Ménard pressuremeter tests carried out on various Algerian clay sites in order, firstly, to establish correlations between the parameters derived from this test, and secondly, to predict the behaviour of a single bored pile subjected to an axial load. The analyzed clay soils are characterized by plasticity from low to very plastic and consistency from very soft to very stiff. Correlations between the limit pressure and the creep pressure, as well as between limit pressure and undrained cohesion of these clays were established. The Menard pressuremeter tests were analysed by the numerical method called «Pressident» which is a numerical program taking into account the Duncan and Chang model and the method developed by Bahar and Olivari based on the generalised elastoplastic Prager's model with the Von Mises criterion which is suitable to describe the behaviour of saturated clays under undrained conditions. The obtained results are compared to those derived using the empirical relationships proposed by Menard and Amar and Jézéquel. Finally, an application to predict the bearing capacity and the settlement of bored piles using parameters derived from the pressuremeter test is also presented with a comparison to the measured data.

**MOTS CLES :** Pressiomètre, Corrélation, Identification, Cohésion non drainée, Capacité portante, Pieu.  
**KEYWORDS :** Pressuremeter, Correlation, Identification, Undrained cohesion, Bearing capacity, Pile.

## 6.2 Foundation Settlement Calculations with the Pressuremeter Method Compared to Other Methods and Resulting Correlations

Calcul du tassement des fondations à partir de la méthode pressiométrique en comparaison avec d'autres méthodes, corrélations résultantes

C. Bohn

*TU Darmstadt, Institute and Laboratory of Geotechnics, Germany*

*Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Laboratory Navier-Geotechnics, Marne-la-Vallée, France*

R. Frank

*Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Laboratory Navier-Geotechnics, Marne-la-Vallée, France*

S. Lambert

*Keller Fondations Spéciales, Duttlenheim, France*

**ABSTRACT** : The purpose of this contribution is, on the one hand, to propose practical correlations between soil moduli by comparing the existing calculation methods for shallow foundation settlement, considering single footings with limited dimensions and large rafts. Particularly, the calculation method after Ménard on the basis of the pressuremeter modulus is compared with other more common methods on an international level based on other in situ tests and on laboratory tests. On the other hand, pile settlement calculation methods are presented, particularly using load-transfer curves, showing the advantages of the pressuremeter test in this matter and summing up some existing alternatives to the method after Frank & Zhao which is still prevailing in France today. The comparisons are made on a theoretical and mechanical point of view, followed by a calculation example in each case.

**RÉSUMÉ** : L'objectif de cette contribution est d'une part de proposer des corrélations entre les modules de sol en comparant les méthodes de calcul existantes pour le tassement des fondations superficielles, en considérant les semelles isolées de dimensions limitées et les radiers de grandes dimensions. En particulier, la méthode de calcul selon Ménard basée sur l'essai pressiométrique est comparée avec d'autres méthodes courantes d'usage international utilisant d'autres essais in situ ou en laboratoire. D'autre part, des méthodes de calcul du tassement de pieux sont présentées, en particulier à partir de courbes de mobilisation, montrant les avantages du pressiomètre sur cette question et résumant les alternatives existantes à la méthode de Frank & Zhao qui est encore largement prévalente en France aujourd'hui. Les comparaisons sont effectuées d'un point de vue théorique et mécanique, suivies par un exemple de calcul dans chaque cas.

**KEYWORDS** : pressuremeter test, cone penetration test, foundation settlement, shallow foundations, pile foundations

**MOTS CLES** : essai pressiométrique, essai de pénétration statique, tassement des fondations, fondations superficielles, fondations profondes

### 6.3 A Case Study of Deep Foundation Design Using MPM and Comparison with Instrumented Pile Load Tests

Une étude de conception de fondations profondes, en utilisant le pressiomètre Ménard et comparaison avec des essais de chargement de pieux instrumentés

E. Güler

*Bogazici University, Istanbul, Turkey*

M. Koc, G. S. Bakilar & U. Osmanoglu

*ELC Group Consultancy & Engineering, Istanbul, Turkey*

**ABSTRACT :** The pre bored Pressuremeter tests are widely used for design of foundations (either for shallow foundations or deep foundations) and shoring systems in European Practice. The method is widely used in Turkey as well in the last decade. The project subjected in this paper is a mass housing project, which consists of high rise blocks (up to 30 floors). The project site is located on a high seismic zone which additionally lies on ~150 m deep alluvial deposits (sand, silt and clay interbedded with high ground water table). Due to the geological – hydrogeological conditions and high structural loads, deep foundation systems were proposed starting from the planning phase. This case study presents the comparison of pile design by means of in-situ tests (such as pressuremeter tests) with axial static pile load tests. The pressuremeter tests were used for estimating the friction of cast in-situ bored piles where E. U. design scheme was followed. A total of 114 pressuremeter tests conducted in 20 boreholes were used in the design of the deep foundation system. Afterwards, 13 Nos. of pile load tests were conducted at site to check the design assumptions. Among them, 4 Nos. were instrumented by strain-gauges, The elevations at which pressuremeter tests were conducted were chosen for the locations where the sister-bar strain-gauges were placed in order to achieve compatible data. All piles were loaded up to failure where skin resistances were fully mobilized. The results indicate that skin frictions found by in situ pressuremeter tests are almost in the same order with the ones obtained from pile loading tests.

**RESUME :** Dans la pratique européenne, les essais pressiométriques préforés sont largement utilisés pour la conception des fondations (pour les fondations soit superficielles soit profondes) et pour les écrans de reprise en sous-oeuvre. La méthode a été largement utilisée en Turquie dans la dernière décennie. Le projet étudié dans le présent document est un vaste ensemble de logements, qui se compose de blocs de grande hauteur (jusqu'à 30 étages). Le site du projet est situé sur une zone sismique qui se trouve en outre sur environ 150 m d'alluvions profondes (sable, limon et argile interlités avec une nappe phréatique haute). En raison des conditions géologiques et hydrogéologiques, ainsi que des charges de structure élevées, les systèmes de fondations profondes ont été proposés dès la phase de planification. Cette étude de cas présente la comparaison de la conception de pieux au moyen d'essais in-situ, les essais pressiométriques, avec des essais de chargement statique axial de pieux. Les essais pressiométriques ont été utilisés pour estimer la distribution du frottement le long des pieux forés coulés en place en suivant les règles de l'U.E. Un total de 114 essais pressiométriques réalisés dans 20 forages ont été utilisés pour la conception de ces fondations profondes. Ensuite 13 essais statiques de chargement de pieux, dont 4 instrumentés par extensomètres, ont été menés sur le site pour vérifier les hypothèses de conception. Les cotes auxquelles les essais pressiométriques ont été réalisés avaient été choisies aux endroits où les extensomètres devaient être placés afin de parvenir à des données compatibles. Tous les pieux ont été chargés jusqu'à la rupture, le frottement latéral étant alors pleinement mobilisés. Les résultats indiquent que la résistance par frottement latéral calculée à partir des essais pressiométriques in-situ sont presque de même ordre de grandeur que ceux obtenus à partir des essais de chargement de pieux.

**KEYWORDS :** Deep Foundation Design, Pressuremeter Tests, Pile Load Tests

**MOTS CLES :** Conception de fondations profondes, essais pressiométriques, essais de chargement de pieux.

## 6.4 Analysis by the Menard Direct Design Method of O-cell instrumented Pile Load Tests

Etude, par la méthode Ménard de conception directe des fondation, d'essais de pieux mettant en œuvre des cellules Osterberg

N.M. Hai

*Civil Engineering Faculty, Thu Dau Mot University, Vietnam*

D.H. Dao

*Bridge and Road Engineering Faculty, Da Nang University of Technology, Vietnam*

N.T. Tien

*Vietnam Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vietnam*

**ABSTRACT :** The single-level O-cell tests were performed on two instrumented bored piles constructed at Sunrise City project, Ho Chi Minh City, Vietnam. The soil profile consists of very soft organic clay to about 20 m depth on firm to stiff clayey soil to about 30 m depth and underlain by a compact to dense sandy silt. Two test piles 1,500 and 1,800 mm in diameter were constructed using a bucket drill with bentonite slurry to 76 and 91 m depth, respectively. For both piles, the O-cell assembly was located above the pile toe at a depth of 15.4 and 19.8 m, respectively, the pairs of diametrically opposed vibrating wire strain-gages were installed at three levels below and eight through ten levels above the O-cell level. 30 days through 32 days after placing the concrete, the O-cell loading tests were carried out and failed to meet the required test loads due to soil debris left at the bottom of the drilled holes during construction. The maximum obtained O-cell test loads were 10 and 15 MN. Neither of the tests was able to fully engage the shaft resistance of the piles above the O-cell level, but did so below the O-cell level. This paper presents the results of O-cell tests and the analysis of the Menard Pressuremeter test data to respond to the not full mobilized shaft resistances.

**RÉSUMÉ :** Des essais au vérin Osterberg O-Cell ont été effectués sur deux pieux forés instrumentés construits au projet City Sunrise, Ho Chi Minh-Ville, Vietnam. Le profil de sol est composé d'argile organique très molle jusqu'à environ 20 m de profondeur au-dessus d'une couche d'argile raide jusqu'à environ 30 m de profondeur et reposant par un limon sableux compact à dense. Deux pieux d'essai en 1500 et 1800 mm de diamètre ont été construits à l'aide d'un «bucket» avec bentonite jusqu'à 76 et 91 m de profondeur, respectivement. Pour les deux pieux, l'ensemble de la cellule était située au-dessus de la pointe environ 15,4 et 19,8 m, respectivement, les paires de jauges de contraintes opposées, des cordes vibrantes, ont été installées sur trois niveaux au-dessous et huit à dix niveaux au-dessus du niveau de la cellule. 30 à 32 jours après la mise en place du béton, les essais de chargement des cellules ont été réalisés mais n'ont pas réussi à répondre aux charges d'essai requis en raison de débris du sol résiduels au fond des trous forés pendant la construction. Le maximum obtenu pour les charges d'essai ont été de 10 et 15 MN. Aucun de ces tests a été en mesure de mobiliser pleinement la résistance du fût des pieux au-dessus du niveau des cellules Osterberg, mais l'a fait en dessous de leur niveau. Cet article présente les résultats des essais dans les verins et l'analyse des données d'essais pressiométriques Ménard pour répondre au manque de résistance du frottement mobilisé sur le fût des pieux.

**KEYWORDS :** pressuremeter test, limit pressure, pressure modulus, O-cell test, strain gage, load-movement curves.

**MOTS CLES :** Essai Pressiométrique, pression limite, module Ménard, essai Osterberg, jauge de contrainte, courbe effort- déformation.

## 6.5 Amélioration de la méthode usuelle pour le calcul des tassements de consolidation par la méthode pressiométrique

### Improvement of Usual Menard Pressiometric Method for Consolidation Settlement Calculation

V. Savatier & R. Deluzarche

*EGIS Structures & Environnement EGIS Géotechnique, Balma, France*

**RÉSUMÉ :** Le calcul des tassements de consolidation dans les argiles à partir des essais pressiométriques utilise le coefficient  $\alpha$  de Ménard permettant de passer du module pressiométrique au module oedométrique. Ce coefficient d'origine empirique a été calé par Ménard dans un certain domaine de variation de contrainte correspondant à la contrainte de calcul aux ELS pour une semelle peu ancrée. Dans le cas de radiers de grande largeur ou de remblais routiers reposant sur un sol argileux compressible, on utilise cependant usuellement ce module avec un certain succès pour estimer le tassement de consolidation dans des domaines de contrainte plus élevés. Sur la base d'une linéarisation analytique du comportement oedométrique, nous établirons l'expression théorique du coefficient correcteur  $\alpha_1$  à appliquer au coefficient de Ménard pour estimer à partir du module pressiométrique les tassements de consolidation pour un domaine de chargement dépassant fortement la pression de pré-consolidation. Ce coefficient dépend du rapport de surconsolidation OCR du rapport ( $C_s/C_c$ ) coefficient de compressibilité du sol sur coefficient de rechargement du sol et du rapport ( $\Delta\sigma/\sigma'_p$ ) de la variation de la charge apportée sur la pression de sur-consolidation.

**ABSTRACT :** The calculation with pressuremeter test of consolidation settlements in clay is done using the  $\alpha$  Ménard coefficient. This coefficient has been given by Ménard in order to link oedometric modulus and pressuremeter modulus. It is based on experimentation of plate settlements for a stress variation equal to SLS bearing resistance for footing seated on soil surface. In spite of these conditions the modulus obtain with the Menard coefficient is frequently used to calculate settlement under embankment with higher stress variation. Using a mathematical linearization of oedometric deformation we determine a corrective ratio  $\alpha_1$  that allows to calculate consolidation settlement with pressuremeter for a stress values that hardly exceed the soil consolidation stress.

**MOTS CLES :** pressiomètre, calcul des tassements, consolidation, essais oedométrique

**KEYWORDS :** pressuremeter, settlement calculation, theory of consolidation, consolidation test

# 7. ACCEPTANCE TESTS / ESSAIS DE RÉCEPTION

## 7.1 Use of the Menard Pressuremeter in the Quality Control of Stone Columns for an LNG Tank in South-East Asia

Utilisation du pressiomètre pour le contrôle de colonnes ballastées utilisées en fondation d'un réservoir GNL en Asie du sud est

J.M. Debats & N. Pardessus  
*Menard, Aix en Provence, France*

**ABSTRACT :** Quality control for stone columns often resorts to in-situ testing so as to check the continuity of such inclusions in the ground on the one hand, and their mechanical characteristics (friction angle, Young's modulus) on the other hand. Such control tests are frequently jeopardised by implementation difficulties: "refusal" to penetration or tendency for the testing probe to "walk out" of the stone column, for instance. The paper presents an example of the use of the Menard pressuremeter in the control of stone columns used as a ground improvement technique for the foundation of an LNG tank in South-East Asia. The difficulties encountered in the implementation of the tests and the solutions adopted to solve them are described. The results obtained are detailed, showing that the nature and the characteristics of the soils, the intensity of the compaction (linked to the amperage in the vibrator) and the Menard modulus measured at different levels of the stone column are interrelated. As a consequence it is shown that, rather than specifying a given Young's modulus to be achieved in the stone columns it is preferable to look for a minimum ratio between the modulus of the stone column ( $E_c$ ) and that of the soil ( $E_s$ ), since this ratio is the one that is used in the determination of the settlement reduction factor through the so-called "homogenisation method".

**RÉSUMÉ :** Le contrôle des colonnes ballastées fait fréquemment appel aux essais in-situ dans le but de vérifier, d'une part la continuité de ces éléments de renforcement du sol, et d'autre part leurs caractéristiques mécaniques (angle de frottement, module). La mise en oeuvre des ces essais de contrôle se heurte souvent à des difficultés d'exécution : refus dans la colonne ou difficulté à « rester » dans la colonne et donc à vérifier leur partie inférieure, par exemple. L'article présente un exemple d'utilisation du pressiomètre Ménard pour le contrôle de colonnes ballastées utilisées en fondation d'un réservoir GNL en Asie du sud est. Les difficultés rencontrées dans l'exécution des essais et les solutions adoptées pour les pallier sont décrites. Les résultats obtenus sont détaillés en montrant que nature et caractéristiques des terrains, intensité du compactage (liée à l'intensité dans le moteur du vibreur) et module pressiométrique mesuré dans la colonne ou dans les différents niveaux de la colonne sont des paramètres interdépendants. Par voie de conséquence, il est démontré que plutôt que de spécifier un module d'Young donné à atteindre pour les colonnes ballastées il est plus judicieux de rechercher un ratio minimum entre le module de la colonne ( $E_c$ ) et celui du sol ( $E_s$ ), ratio qui intervient dans la détermination du facteur de réduction des tassements par la méthode dite d'homogénéisation.

**KEYWORDS :** Ground Improvement, Stone columns, Quality assurance, Quality control.  
**MOTS CLES :** Amélioration des sols, Colonnes ballastées, assurance qualité, contrôle qualité.

## 7.2 Pressuremeter for Design and Acceptance of Challenging Ground Improvement Works

Le pressiomètre destiné à la conception et au contrôle des grands travaux d'amélioration des sols

S. Varaksin  
*ISMGE TC211 Chairman, France*  
B. Hamidi  
*GFWA, Australie*

**ABSTRACT :** The pressuremeter was developed more than 50 years ago by Louis Menard, and has been intertwined with ground improvement techniques such as dynamic compaction and dynamic replacement from the very time that these methods were invented. This tool has proven to be of great use throughout the life cycle of a project, commencing from the geotechnical investigation, to design, execution of ground improvement works and verification of results. In this paper several challenging ground improvement case histories where the pressuremeter was used will be presented.

**RÉSUMÉ :** Le pressiomètre a été développé il y a plus de 50 ans par Louis Menard et a été étroitement lié à l'origine des techniques d'amélioration de sol tels que le compactage dynamique et la substitution dynamique . Cet outil s'est avéré être d'une grande utilité tout au long du cycle de vie d'un projet, en commençant par l'étude géotechnique, la conception, l'exécution de travaux d'amélioration de sol et la vérification des résultats. Cet article présente ces projets innovants ou le pressiomètre s'est avéré essentiel.

**KEYWORDS :** Menard Pressuremeter, ground improvement, dynamic compaction, dynamic replacement, land reclamation

**MOTS CLES :** pressiomètre Ménard, amélioration des sols, compactage dynamique, remplacement dynamique, gain de terrain sur la mer.

## 8. CORRELATIONS / CORRÉLATIONS

### 8.1 Pressiometric and Non-Pressiometric Tools on a Mediterranean Deltaic Deposit

Essais pressiométriques et non pressiométriques dans un delta méditerranéen

N. Pérez & M. Devincenzi

*Control y Prospecciones Igeotest SL, Figueres, Spain*

N. Sau & M. Arroyo

*Dep. of Geotechnical Engineering and Geosciences, Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain*

J. Pineda

*ARC Centre of Excellence for Geotechnical Science and Engineering, The University of Newcastle, Australia*

**ABSTRACT** : The paper describes results of an experimental program in a test site located in Mediterranean deltaic environment of fluviomarine interbedded silt, clay and sand deposits. The results of a number of in situ characterisation tests are presented including pressiometric, (flexible dilatometer and cone pressuremeter) as well as non pressiometric tools (CPTU, SDMT). Emphasis is made on the more clayey levels, where results from the in situ tests might be compared with those obtained in laboratory tests on high-quality samples extracted from the same location by means of a Sherbrooke sampler. A comparative analysis is given of the stiffness and undrained shear strength of the materials for the different tests performed.

**RÉSUMÉ** : Le document décrit les résultats d'un programme expérimental dans un site d'essai situé dans un environnement deltaïque méditerranéen avec dépôts intercalés de limon, argile et sable. Les résultats d'un certain nombre de tests de caractérisation in situ sont présentés, y compris deux outils de type pressiométrique (dilatomètre flexible et pressio-pénétromètre) ainsi que des outils non pressiométriques (SDMT). L'accent est mis sur les niveaux plus argileux, où les résultats des essais in situ peuvent être comparés à ceux obtenus dans les essais de laboratoire sur des échantillons de haute qualité extraits d'un même emplacement à l'aide d'un échantillonneur Sherbrooke. Une analyse comparative, de la rigidité et la résistance au cisaillement non drainée des matériaux, pour les différents essais effectués, est donnée.

**KEYWORDS** : Deltaic deposit, pressuremeter, stiffness, undrained shear strength

**MOTS CLES** : dépôts deltaïques, pressiomètres, raideur, résistance au cisaillement non drainée.

## 8.2 Utilisation de corrélations SPT/ $p_{LM}$ ou $q_c/p_{LM}$ pour le calcul du tassement

### Correlations SPT/ $p_{LM}$ or $q_c/p_{LM}$ for Settlement Computation

J.B. Esta

*Soil Mechanics Associates, Beyrouth, Liban*

RÉSUMÉ : Dans beaucoup de pays les reconnaissances de sol se font par forage et essais SPT avec prélèvement d'échantillons plus ou moins remaniés. Au Liban Soil Mechanics Associates a beaucoup utilisé le pénétromètre Andina depuis 1974. Toutefois ces deux types d'essais ne permettent pas un calcul de tassement fiable comme celui indiqué par Ménard dans sa notice D/60 à partir des résultats des essais pressiométriques. L'auteur a souvent utilisé des corrélations pour passer du SPT et de la résistance de pointe  $q_c$  aux valeurs pressiométriques, pression limite  $p_{LM}$  et module de déformation  $E_M$ . Dans cet article il présente trois cas où les tassements mesurés sont en parfaite concordance avec les tassements obtenus en utilisant ces corrélations.

ABSTRACT : In many countries the soil survey is realized by executing boreholes and SPT test with a collection of more or less undisturbed samples. In Lebanon Soil Mechanics Associates has used the static penetrometer Andina since 1974. Moreover the two kinds of tests do not permit the calculation of a reliable settlement as indicated by Menard in his Notice D/60 when starting with PMT results. The author has often used correlations between SPT and cone resistance  $q_c$  related to the limit pressure  $p_{LM}$  and the deformation modulus  $E_M$ . In this publication the author presents three cases where the measured settlements are in total concordance with those obtained by correlations.

MOTS CLES : Module Ménard, pression limite Ménard, Résistance en pointe, SPT.

KEY WORDS : Menard E-modulus, Menard limit pressure, cone resistance, SPT.

### 8.3 Relationship between Menard $E_M$ and Young's E Moduli for Cohesionless Soils

Relation entre le module pressiométrique Ménard  $E_M$  et le module d'Young E, pour les sols sans cohésion

G. Sedran

*In-Depth Geotechnical Inc., Hamilton, Ontario, Canada*

R. A. Failmezger

*In-situ Soil Testing L.C., Lancaster, Virginia, USA*

A. Drevininkas

*DownUnder Geotechnical Ltd., Maple, Ontario, Canada*

**ABSTRACT :** Pressuremeter testing (PMT) provides stress-strain data for both pseudo-elastic and elasto-plastic ranges of soil deformation. The Menard modulus  $E_M$  calculated as the slope of the pseudo-elastic portion of the  $p$  vs.  $\epsilon_R$  curve, measures elastic properties of the soil which are based on non-uniform stress and strain fields. As such  $E_M$  cannot directly be identified with the Young's modulus of the soil,  $E$ . The Menard's  $\alpha$  parameter is often used to estimate  $E$  from the measured  $E_M$ . Although practical, this empirical approach provides little insight into the interaction between the PMT probe and the surrounding soil. This paper explores back-calculating  $E_M$  of cohesionless soils knowing values of  $E$ , a priori. In this exercise, the behavior of soils under PMT testing conditions is modeled using finite element analysis (FEA) assuming uniform values of  $E$ . FEA predictions are then used to reconstruct pressuremeter  $p$  vs.  $\epsilon_R$  curves from which  $E_M$  is back-calculated. In a parametric approach, the relation between  $E_M$  and  $E$  is plotted for a range of soil stiffness  $E$  values, and a range of values of the in-situ horizontal stresses  $p_0$ . A relation between  $E_M$  and  $E$  for cohesionless soils is proposed.

**RÉSUMÉ :** Le module pressiométrique Ménard  $E_M$  mesure des propriétés élastiques du sol qui se basent sur des champs de contraintes et de déformations non-uniformes. Le paramètre  $\alpha$  proposé par Ménard est souvent utilisé afin d'estimer le module d'Young  $E$  à partir du module pressiométrique  $E_M$ . Bien que pratique, cette approche empirique fournit peu d'informations sur l'interaction entre la sonde pressiométrique et le sol avoisinant. Cette communication explore le rétrocalcul de  $E_M$  pour des sols pulvérulents connaissant, a priori, les valeurs de  $E$ . Cet exercice consiste à modéliser par la méthode des éléments finis (MEF) le comportement de sols soumis à des essais pressiométriques en assumant des valeurs uniformes de  $E$ . Les prévisions MEF sont alors utilisées pour tracer de nouvelles courbes pressiométriques  $p$  vs.  $\epsilon_R$  desquelles  $E_M$  est rétrocalculé. Dans une approche paramétrique, la relation entre  $E_M$  et  $E$  est tracée pour une gamme de valeurs de rigidité  $E$ , et pour une gamme de valeurs de contraintes horizontales in situ  $p_0$ . Une relation entre  $E_M$  et  $E$  est ainsi proposée pour des sols pulvérulents.

**KEYWORDS :** in-situ testing; pressuremeter; elastic moduli; cohesionless soils; finite element analysis; back-calculation.

**MOTS-CLES :** essais in situ, pressiomètre, module élastique, sols pulvérulents, analyse par éléments finis, rétrocalcul.

# HORS CLASSEMENT / SPECIAL CATEGORY

## Current Status of Pressuremeter Testing Education in the USA

Etat des activités d'enseignement des méthodes d'essai pressiométrique aux USA

J. Benoît

*University of New Hampshire, Durham, NH, USA*

**ABSTRACT :** This paper presents the status of current pressuremeter activities in the United States of America (USA) including pre-bored, self-bored and full-displacement pressuremeter testing. A questionnaire was widely distributed to academics to assess the level and type of activities in research and teaching. Current research efforts were categorized in terms of improvement of installation procedures for both pre-bored and self-bored probes, data interpretation methods and modeling of the pressuremeter curve. Innovations in probe design, sensor technology and software development were also considered. As part of this survey, a series of questions gauged the degree that pressuremeter testing and design methods are being taught at both undergraduate and graduate level courses in civil and geotechnical engineering courses at US academic institutions. Teaching efforts are compared to what is done for other tests such as the Standard Penetration Test (SPT) and the Cone Penetration Test (CPT). The results from the survey provide a current status of pressuremeter testing instruction in the US and allow the development of a framework for broader use and dissemination of pressuremeter testing technology in practice and in academia.

**RÉSUMÉ :** Cet article présente l'état des activités pressiométriques en vigueur aux États-Unis d'Amérique (USA), y compris les essais au forage préalable, à l'autoforage et au plein-déplacement. Un questionnaire a été distribué aux universitaires pour évaluer l'intensité et le type d'activités au niveau des essais dans le but de recherche et d'enseignement. Les recherches actuelles ont été classées en termes d'amélioration des procédures d'installation des sondes à la fois au forage préalable et à l'autoforage, les méthodes d'interprétation et la modélisation de la courbe pressiométrique. Les innovations au niveau de la conception des sondes, la technologie des capteurs et le développement de logiciels ont aussi été considérés. Toujours dans le cadre de cette enquête, une série de questions a permis d'évaluer dans quelle mesure les méthodes d'essai pressiométrique sont enseignées au cours de premier cycle et cycles supérieurs dans les cours de génie civil et géotechnique dans les établissements universitaires américains. Cet enseignement est comparé à ce qui se fait pour d'autres essais tel que le test de pénétration standard (SPT) et le pénétromètre (CPT). Les résultats de l'enquête fournissent un état actuel de l'enseignement de l'essai pressiométrique aux États-Unis et permettent l'élaboration d'un cadre pour une utilisation plus large afin de diffuser les technologies de l'essai pressiométrique dans la pratique et dans les milieux universitaires.

**KEYWORDS :** teaching in situ testing, field methods, pressuremeter education, USA



Publié par



Box 35 - 78114 MAGNY les HAMEAUX - FRANCE  
Tél. +33 (0) 1 30 52 35 42 - Fax +33 (0) 1 30 52 30 28 - [info@apageo.com](mailto:info@apageo.com)