

APPORT DE L'ESSAI CYCLIQUE A LA CLASSIFICATION PRESSIOMÉTRIQUE DES SOLS ET DES ROCHES

IMPROVEMENT OF SOIL AND ROCK CLASSIFICATION BY PRESSUREMETER CYCLIC TESTS

Jean-Pierre BAUD ¹

¹ Eurogé, 15 rue des Piffrets BP19 Avrainville 91291 ARPAJON cedex - France.
Courriel : baud@eurogeo.fr

RÉSUMÉ – L'essai cyclique permet une nouvelle approche de la classification pressiométrique des sols et des roches, dans le logiciel Pressiorama[®]. Le diagramme évolue vers deux axes E_{c1}/E_M et p^*_{LM}/p_0 , indépendants, adimensionnels et mesurés au cours d'un même essai cyclique selon la norme XP P94-110-2. Moyennant une hypothèse émise (Baud & Gambin 2013) sur la relation entre α , E_M , p^*_{LM} , p_0 , on retrouve dans ce diagramme la gamme des sols mous aux roches, différenciés selon leurs paramètres d'état pressiométrique, ainsi qu'une proposition d'estimation de l'angle de frottement φ' .

ABSTRACT – The PMT cyclic test provides a new approach to Pressiorama[®] pressiometric classification of soils and rocks. It reconsiders the graph with two axes E_{c1}/E_M et p^*_{LM}/p_0 , independent, non-dimensional and measured in the same cyclic test according to French standard XP P94-110-2. Issued upon the assumption (Baud & Gambin 2013) on the relationship between α , E_M , p^*_{LM} , p_0 , this chart exhibits the range from soft soils to rocks, displayed according to pressiometric state parameters, and with a value for φ' angle.

1. Un essai pressiométrique suffit-il à caractériser le sol soumis à l'essai ?

L'essai pressiométrique Ménard est à la fois très largement employé, depuis 60 ans, dans les reconnaissances géotechniques pour tous les ouvrages en France, et assez souvent critiqué, depuis son origine, pour le caractère hégémonique qu'il aurait ainsi acquis, ou pris éventuellement à d'autres techniques.

Ces querelles de chapelles, aussi vieilles que notre jeune métier, ne sont pas éteintes, et se réaniment régulièrement pour la recherche de techniques plus économiques ou cherchant à donner simultanément plus de paramètres du sol (Mayne *et al.* 2009). Tous les praticiens sont cependant d'accord pour asseoir l'ingénierie géotechnique sur un croisement des données de plusieurs types de techniques d'étude du sol (USG, 1978, 2007), et satisfaits lorsque le crédit consacré à la reconnaissance des sites d'ouvrages, permet à la fois des carottages continus, des échantillonnages permettant des identifications et des essais géomécaniques sur échantillons intacts, et plusieurs techniques différentes d'essais in-situ.

1.1. Colonne lithologique des sondages pressiométriques.

Lorsqu'on dispose d'une série de sondages pressiométriques, traversant une même série lithologique, les essais correspondants sont accompagnés d'une connaissance de la nature des sols, soit très sommaire (contexte géologique connu et peu d'analyse des copeaux ou « cuttings » de forage destructif), soit un peu plus complète, dans le cas de sondages semi-destructifs à la tarière, ou de description d'un sondage carotté sur le même site.

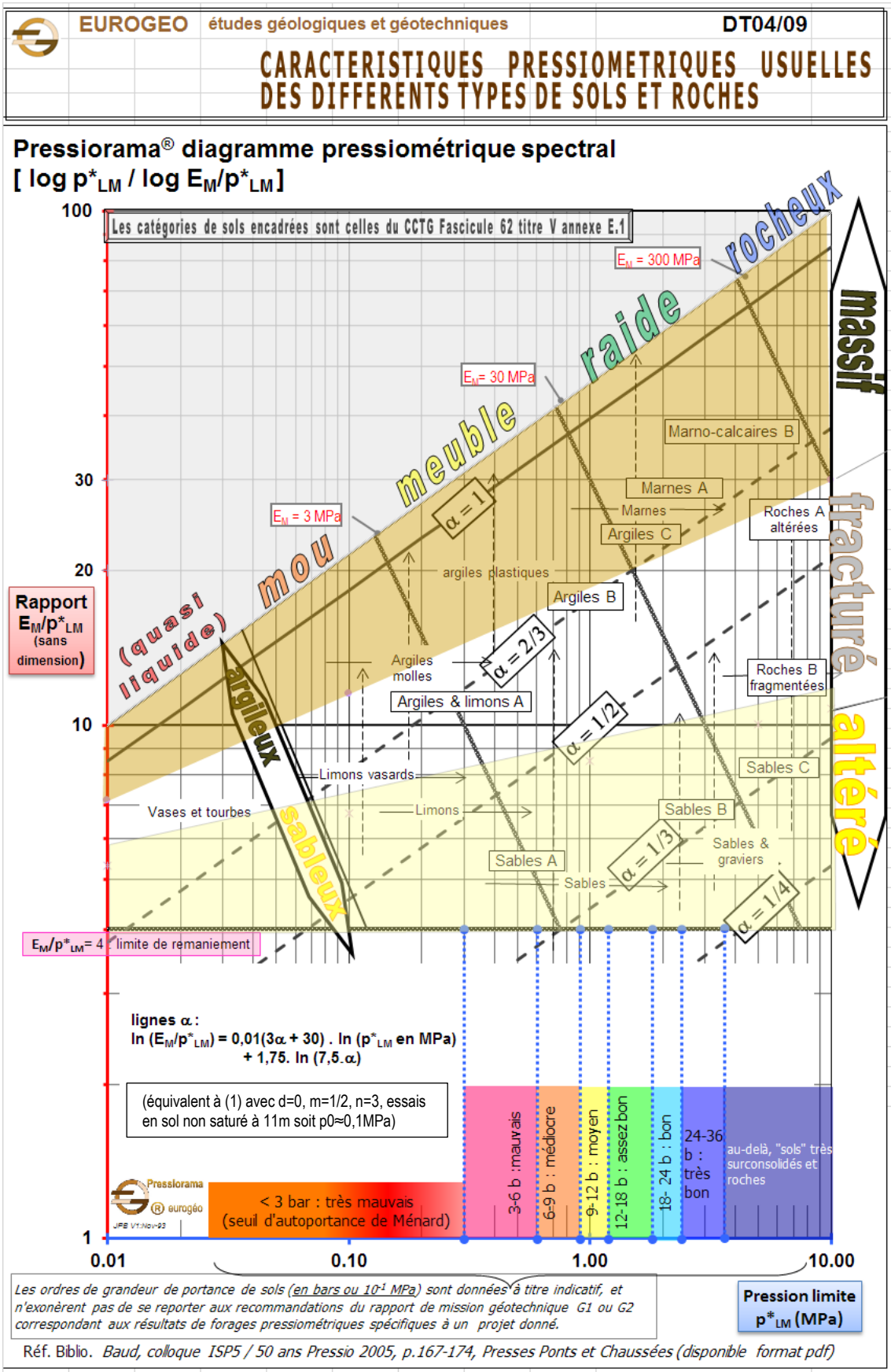


Figure 1. Diagramme Pressiorama® avec indications des types de sols selon catégories du fascicule 62 titre V du CCTG, et de l'ordre de grandeur du coefficient rhéologique α .

Même en l'absence d'informations physiquement vérifiables (échantillons, déblais de forage) sur la nature des sols dans le forage pressiométrique, la plupart des logs de Baud_sciencesconf.org_ingg2016_81625_V12.docx

sondage pressiométrique publiés sont assortis d'une colonne lithologique, souvent même habillés d'un figuré explicite par les logiciels de dessin. Les utilisateurs des logs de forage qui s'intéressent principalement à la pression limite, secondairement au module, et pour lesquels l'examen des courbes d'essais pressiométriques d'origine n'est pas habituelle, ne comprennent pas, parfois l'absence d'information lithologique, qu'il faut justifier en rappelant les raisons liées au forage et à la réalisation des essais : carence de remontée de déblais de forage par perte d'injection, essais à l'aveugle pour cause de fonçage ou battage de la sonde. Plutôt que d'être nommée « nature du sol », entretenant une confusion avec un sondage carotté dans lequel le sol extrait peut être manipulé, photographié et testé, cette colonne lithologique propre au sondage pressiométrique devrait n'indiquer que « informations sur les sols acquises au cours du forage destructif ».

1.2. Cohérence entre nature du sol et paramètres pressiométriques classiques.

Louis Ménard avait indiqué dès les premières années de sa méthode pressiométrique l'attention qu'il fallait porter au rapport du module à la pression limite E_M/p^*_{LM} , sa relation directe avec la nature du sol soumis à l'essai, et le rôle important joué par le coefficient rhéologique α dans l'application au calcul des déformations (Ménard et Rousseau, 1961).

C'est en gardant ces principes, vérifiables expérimentalement, qu'avait été proposée pour les 50 ans du Pressiomètre Ménard (Baud, 2005) la représentation des résultats d'essais dans un diagramme $[\ln(p^*_{LM}) | \ln(E_M/p^*_{LM})]$ (Fig. 1). Le postulat est que des points représentatifs suffisamment groupés devraient correspondre à une lithologie et une structure du sol identiques ou du moins proches.

Cette première version alors nommée diagramme spectral, avait comme objectif de tenter de figurer dans ce plan les valeurs du coefficient α . Une des solutions numériques proposée, à partir des seules caractéristiques E_M et p^*_{LM} est exposée dans la figure 1 ci-dessus. C'est également celle de l'annexe A des normes NF P 94-261 et NF P 94-262, dans un dessin discriminant d'ailleurs moins le pôle argileux du pôle sableux. La place d'un essai donné dans le diagramme caractérise en effet un *comportement*, de type sableux, argileux ou intermédiaire, la *nature* réelle du sol restant à vérifier sur le terrain.

1.3. Importance du confinement de l'essai dans la classification.

Cette tentative de recherche d'une valeur rationnelle pour α s'avère prématurée et entachée d'une erreur de principe : le coefficient α ne peut pas être identique pour une pression limite donnée, selon que celle-ci est mesurée dans un sol peu confiné, à faible profondeur, ou à grande profondeur, sous une pression horizontale des terres au repos plus importante. Le diagramme proposé était à peu près réaliste pour une profondeur d'essai moyenne de l'ordre d'une dizaine de mètres, celle des études courantes.

C'est pourquoi il est préférable de comparer les essais sur leurs *paramètres d'état pressiométrique* : E_M/p_0 , p^*_{LM}/p_0 , E_M/p^*_{LM} . La valeur proposée pour α est de la forme :

$$\alpha = (1 - d) \cdot k_E^{-1} \cdot (E_M/p^*_{LM})^{1/n} \cdot (p^*_{LM}/p_0)^{-m/n} \quad (1)$$

Le facteur d est un indice de décompression de l'essai, variant de $d=0,5$ pour un essai très remanié à 0 pour un essai parfaitement autoforé. Selon les constantes k_E , m et n , se dessine alors dans le plan $[\ln(p^*_{LM}/p_0) , \ln(E_M/p^*_{LM})]$ (Figure 2) comme dans la figure précédente, des lignes parallèles qui deviennent une caractéristique de l'essai, et qui ont permis de proposer un diagramme n°3, non représenté ici, $[\alpha, \ln(E_M/p_0)]$ dans lequel les deux autres paramètres d'état ci-dessus sont traçables, également par des échelles logarithmiques obliques (Baud et Gambin, 2013).

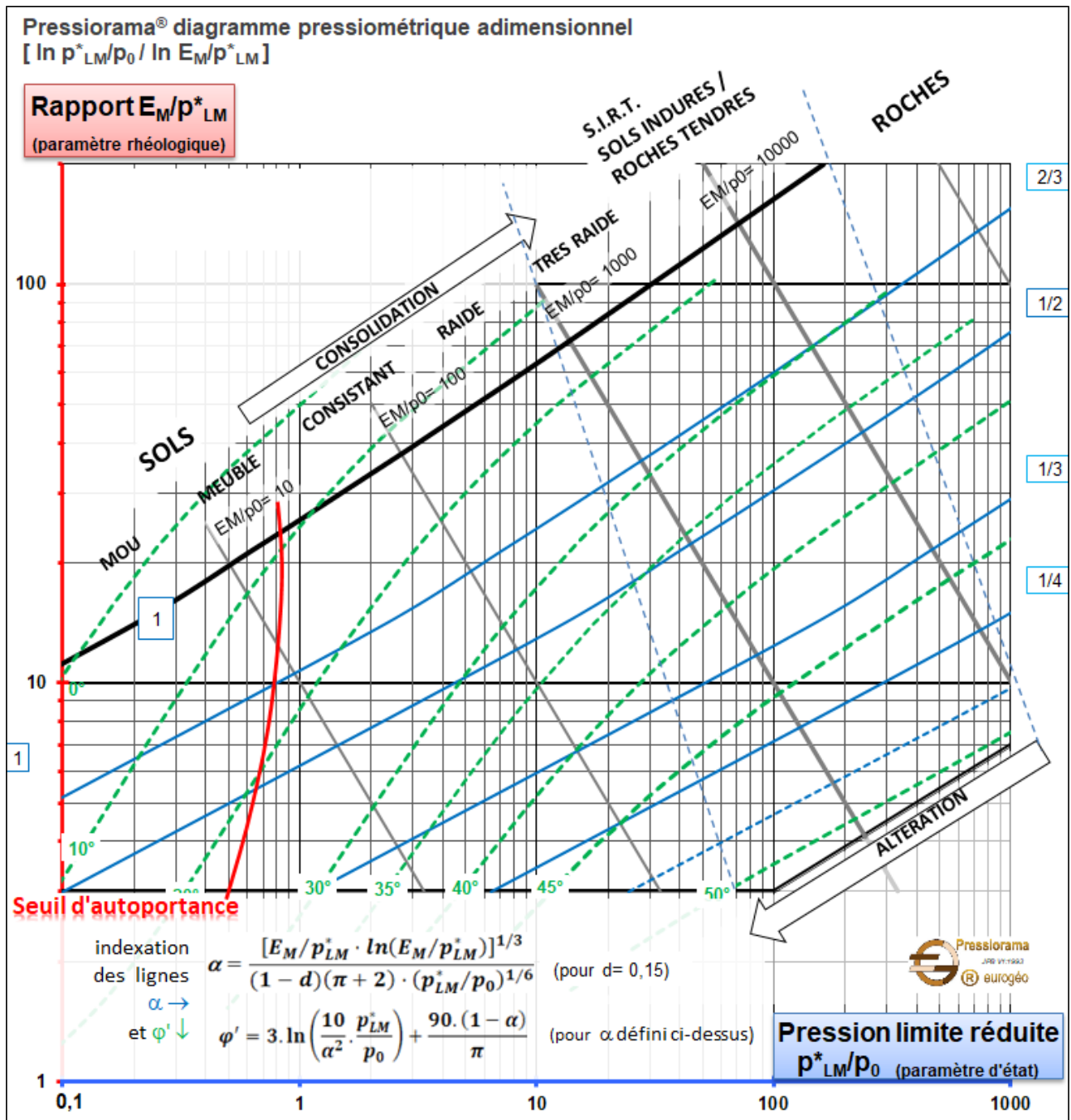


Figure 2. Diagramme Pressiorama® [$\ln(p_{LM}^*/p_0 | \ln(E_M/p_{LM}^*)$]. Valeurs fractionnaires pour α résultant de (4). Abaque pour ϕ' cf. ci-après §2.2 expression (11).

2. L'essai pressiométrique à un cycle complète l'information géomécanique.

Les propositions de diagrammes de classification précédents ont été testées, lors de campagnes d'essais sur des sols lithologiquement bien identifiés, par les auteurs bien entendu, mais également par des géotechniciens intéressés par le concept (Ritsos *et al.* 2103, Reiffsteck *et al.* 2013, Tarnawski *et al.* 2015, Elfatih *et al.* 2015, Hamdi et Holeyman 2016), ainsi que des mécaniciens des roches (Kanji 2014). Leurs conclusions sont diverses, et tendent à montrer qu'une formation donnée, homogène, fournit bien un « nuage de points » plus ou moins étendu selon sa profondeur de gisement et son état d'altération, généralement plus dense autour de son centre, souvent également allongé selon l'axe d'une ellipse (marquant une tendance selon les coordonnées bilogarithmiques). Le nuage caractérise un *comportement* indiqué par les essais qui le constituent, qui reste toujours à

indexer sur la *nature* réelle du sol soumis aux essais. Ces applications confirment d'autre part qu'il est difficile de grouper sur un même diagramme un trop grand nombre de données d'essais sur des formations trop variées en lithologie ou état d'altération et décompression, car alors le chevauchement des nuages de points, même si leurs centres de gravité restent distincts, rend l'image confuse et d'autant moins discriminante qu'elle rassemble des essais provenant de sols divers, et de qualités inégales.

2.1. Utilisation du rapport module cyclique E_{c1} / module pressiométrique E_M .

Ces mises en application des diagrammes sur des campagnes d'essais ont incité à rechercher une méthode de classification qui permette d'échapper à l'objection que la pression limite nette p_{LM}^* , apparaissant dans les deux axes principaux des 3 diagrammes, les rend non indépendants (Reiffsteck *et al.* 2013), y compris dans la formulation proposée pour α , ajustée empiriquement de façon graphique et difficile à démontrer et ajuster, avec un coefficient k_E dont le rôle physique n'apparaît pas encore clairement.

Déterminer pour α une valeur mesurée et non calculée est en définitive simple : il suffit de se référer à la définition initiale (Ménard et Rousseau 1961) pour l'essai pressiométrique à 3 cycles, que Louis Ménard a initialement préconisé (TLM, D60, 1963) :

$$\alpha \cong (E_M/E_{c3})^{1/2} \quad (2)$$

Dans le but de tenter de rendre plus systématique le recours à l'essai cyclique pour la classification pressiométrique, nous proposons de retenir que, dans la pratique des essais à plusieurs cycles, il apparaît assez systématique que l'essentiel du module cyclique est acquis dès le premier cycle et que l'on peut considérer comme une approximation raisonnable la valeur donnée par le premier cycle : $E_{c1} = 0.9 \cdot E_{c3}$, donc :

$$\alpha = (0,9 \cdot E_M/E_{c1})^{1/2} \quad (3)$$

Cette relation entre les modules de premier et troisième cycle n'est pas une constante absolue, et pourrait être affinée, en disposant de suffisamment d'essais à au moins trois cycles. La figure 3 propose une classification pressiométrique des sols et des roches, avec en abscisse le rapport E_{c1}/E_M et en ordonnée (positive vers le bas) le paramètre d'état pressiométrique p_{LM}^*/p_0 .

Les autres paramètres d'état pressiométriques viennent en déduction : α en axe horizontal secondaire selon la définition par la relation (3), E_M/p_0 et E_M/p_{LM}^* par calcul avec la relation (1) avec $m=1/2$, $n=3$, et $k_E = (\pi + 2)/\sqrt{\ln(E_M/p_{LM}^*)}$, qui fait décroître ce coefficient, jusqu'ici fixé arbitrairement à une valeur moyenne de 4 (Baud et Gambin 2013), entre 5 et 2,5 lorsque E_M/p_{LM}^* est croissant. Soit l'expression complète du coefficient rhéologique de Ménard, pour un essai à une profondeur ou un p_0 connus, et une estimation du degré de décompression d du forage avant essai :

$$\alpha = \frac{[E_M/p_{LM}^* \cdot \ln(E_M/p_{LM}^*)]^{1/3}}{(1-d)(\pi+2) \cdot (p_{LM}^*/p_0)^{1/6}} \quad (4)$$

Quelques exemples résultants d'essais cycliques avec mesure de E_{c1} seront donnés, à partir de données publiées ou non. Un plus grand nombre de données reste nécessaire pour vérifier la convergence pour α entre valeur mesurée et valeur calculée.

2.2. Approche de l'angle de frottement par l'essai pressiométrique.

De nombreux auteurs ont établi sur le plan théorique les expressions liant les mesures pressiométriques E_M et p_{LM}^* aux caractéristiques du sol c' et φ' (Ménard 1957, Salençon 1966, Baguelin *et al.* 1978, Monnet et Khelif 1997, Combarieu 1998), expressions en général assez complexes qui démontrent qu'un essai pressiométrique isolé n'est pas jamais suffisant pour connaître à la fois c' et φ' , et que plusieurs essais dans des conditions de confinement différentes sont nécessaires pour fixer l'un des deux.

Ménard (TLM 1963) et Gambin (1977) ont proposé une expression très simple, relation biunivoque entre l'angle de frottement et la pression limite :

$$p_{LM}^*(bar) = 2,5 \cdot 2^{(\varphi' - 24^\circ)/4} \quad (5)$$

Différents auteurs ont ensuite proposé de l'adapter à des sols différents, en étendant et modifiant soit le multiplicateur 2,5 *en fonction du rapport E_M/p_{LM}^** (TLM 1970, Muller 1970, cité par Baguelin *et al.* 1978), soit les coefficients accompagnant φ' (Hamid *et al.* 2010).

La formule peut s'écrire, de façon équivalente à Ménard, sous la forme exponentielle :

$$p_{LM}^*(bar) = e^{\frac{\varphi' - 18^\circ}{6}} \cong \frac{1}{20} \cdot e^{\frac{\varphi'}{6}} \quad \text{soit} \quad p_{LM}^*(MPa) = \frac{1}{200} \cdot e^{\frac{\varphi'}{6}} \quad (6)$$

forme plus simple et qui permet plus facilement le passage aux logarithmes népériens.

Nous proposons de même une *forme généralisée de la relation de Ménard*, exprimant le *paramètre d'état p_{LM}^*/p_0* , tenant compte de sa variation selon le coefficient rhéologique du sol α , et permettant l'ajustement de coefficients susceptibles de la rapprocher des expressions théoriques plus complètes en tenant compte du confinement de l'essai :

$$\boxed{\frac{p_{LM}^*}{p_0} = b \cdot \alpha^c \cdot e^{\frac{\varphi'}{a}}} \quad (7)$$

Seuls ces 3 coefficients (a , b , c) sont nécessaires et suffisants pour disposer des courbes d'isovaleurs de φ' dans la classification Pressiorama au mieux de notre expérience concrète de la valeur « vraie » ou plutôt vraisemblable, pour la gamme de types de sols et roches couverte par le diagramme. L'exposant c a été maintenu à 2 par cohérence avec les expressions (1) et (2). En se calant sur des valeurs de φ' vérifiées respectivement à 37°, 38° et 41° sur des sables de Seine (Combarieu 1996), on peut proposer pour les coefficients $a=6$ et $b=1/9$. D'autres triplets de valeurs seraient bien sûr possibles pour un résultat voisin.

En identifiant les expressions (3) et (7), et avec les valeurs retenues pour les coefficients de l'expression (7), *l'expression de Ménard et Gambin généralisée* devient :

$$\frac{p_{LM}^*}{p_0} = \frac{\alpha^2}{9} \cdot e^{\frac{\varphi'}{6}} = \frac{E_M}{10 \cdot E_{c1}} \cdot e^{\frac{\varphi'}{6}} \quad (8)$$

D'où la valeur « directe » de φ' résultant d'un essai pressiométrique à un cycle :

$$\varphi' = 6 \cdot \ln \left[\frac{9}{\alpha^2} \cdot \frac{p_{LM}^*}{p_0} \right] = 6 \cdot \ln \left[\frac{9 \cdot E_{c3}}{E_M} \cdot \frac{p_{LM}^*}{p_0} \right] = 6 \cdot \ln \left[\frac{10 \cdot E_{c1}}{E_M} \cdot \frac{p_{LM}^*}{p_0} \right] \quad (9)$$

Le résultat est conforme au *comportement des sols* sous-consolidés et normalement consolidés, et il peut être utilement pris comme tel pour donner facilement une approximation raisonnable de φ' à partir d'un seul essai pressiométrique Ménard « standard », ou mieux, d'un essai avec un cycle. Cependant, la valeur de φ' ainsi établie

devient manifestement rapidement trop élevée lorsque la consolidation (E_M/p^*_{LM} ou E_M/p_0) progresse, et amènerait à des valeurs supérieures à 45° pour tout milieu surconsolidé ou cimenté. Pour la rendre compatible avec le *comportement des sols surconsolidés et des roches tendres*, les abaques en figures 2 et 3 proposent de faire tendre φ' vers une valeur de α ($1 > \alpha > 1/3$ pour $20^\circ < \varphi' < 50^\circ$), en moyennant la valeur de E_{c1}/E_M par une droite d'abscisse fixe proportionnée par $\alpha = 1 - \pi \cdot \varphi' / 180$, ce qui revient à donner :

$$\varphi' = 3 \cdot \ln \left(\frac{9}{\alpha^2} \cdot \frac{p^*_{LM}}{p_0} \right) + \frac{90 \cdot (1 - \alpha)}{\pi} \quad (10)$$

En pratique dans le diagramme cyclique [$\ln(E_{c1}/E_M \mid \ln(p^*_{LM}/p_0)$] on trace pour une valeur de φ' donnée (fig. 3) :

$$\frac{E_{c1}}{E_M} = 0,45 \cdot \left(\frac{e^{\varphi'/6}}{9 \cdot p^*_{LM}/p_0} + \frac{1}{(1 - \pi \cdot \varphi' / 180)^2} \right) \quad (11)$$

et dans le diagramme adimensionnel [$\ln(p^*_{LM}/p_0 \mid \ln(E_M/p^*_{LM})$] (fig. 2) des lignes isovaleurs de φ' telles que :

$$2(1-d)^2 \cdot (\pi + 2)^2 \cdot (p^*_{LM}/p_0)^{2/3} = [E_M/p^*_{LM} \cdot \ln(E_M/p^*_{LM})]^{1/3} \cdot \left(\frac{e^{\varphi'/6}}{9 \cdot p^*_{LM}/p_0} + \frac{1}{(1 - \pi \cdot \varphi' / 180)^2} \right) \quad (12)$$

Ces abaques présentent une certaine ressemblance avec un abaque empirique, reproduit par Baguelin *et al.* (1978, chap. 6-D « Soil properties ») dû à Calhoun (1970) sans précision sur la nature du tracé ni le mode d'emploi.

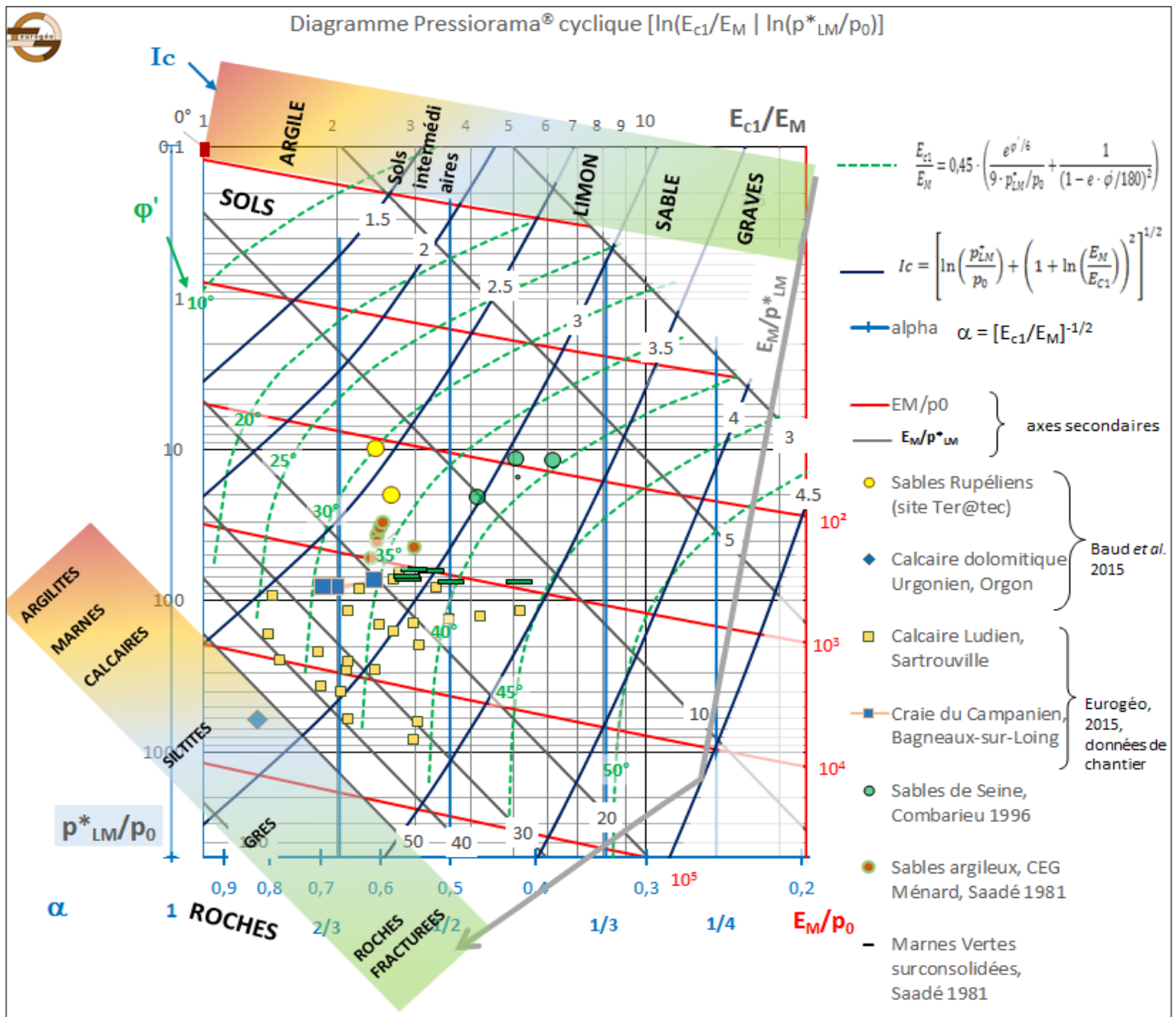


Figure 3. Diagramme Pressiorama® cyclique [$\ln(E_{c1}/E_M \mid \ln(p^*_{LM}/p_0)$].

2.3. Typologie des sols dans l'abaque Pressiorama cyclique.

La conjonction des isovaleurs de α et de φ' dans le diagramme permet assez bien, pour un point représentatif d'un essai donné, ou un groupe de points, de caractériser son comportement, entre cohérent et granulaire, et son degré de consolidation. Reiffsteck *et al.* (2013) avaient proposé pour cette lecture de l'abaque de la figure 2, d'utiliser un *indice de classification* :

$$I_c = [(1 + \log(p_{LM}^*/p_0))^2 + (1 - \log(\alpha))^2]^{1/2} \quad (12)$$

En prenant la mesure de α issue de l'essai cyclique, cet indice peut devenir :

$$I_c = [\ln(p_{LM}^*/p_0) + (1 + \ln(E_M/E_{c1}))^2]^{1/2} \quad (13)$$

Sous cette forme, il prend des valeurs de 1, minimum pour un sol cohérent à la limite de la liquéfaction, à 4,5 pour un amas granulaire grossier (graves crues ou roches complètement fracturées). On remarque que pour les sols les moins consolidés, cet indice est pratiquement l'inverse de α ; avec la consolidation, il évolue en direction des valeurs plus faibles de E_{c1}/E_M . La limite, s'il en est une, entre *comportement* argileux et *comportement* sableux, est à mi-distance entre les valeurs extrêmes, soit 2,7 environ.

3. Conclusions.

Le diagramme Pressiorama [$\ln(p_{LM}^*) | \ln(E_M/p_{LM}^*)$] (Baud 2005) a été utilisé par différents auteurs pour la classification des sols à partir des essais pressiométriques Ménard monotones (sans cycles). Malgré son intérêt dans la caractérisation d'un ensemble de résultats pressiométriques, il a montré ses limites, liées à celles de l'essai standard lui-même, et la nécessité pour caractériser le comportement du sol de connaître, ou mieux de mesurer dans une procédure de mise en contact avant l'essai, le confinement représenté par p_0 (σ_{hs} ou σ_{h0} dans d'autres notations moins intuitives), et par ailleurs lors d'un cycle dans la phase pseudo-élastique, le coefficient rhéologique α de Ménard.

Les auteurs souhaitent, après d'autres (Combarieu 1996, 2001, Monnet 1997, 2013, Baud et Gambin 2015), inciter à l'utilisation plus systématique de l'essai pressiométrique à un cycle dans les études géotechniques courantes, apportant ces données mesurées complémentaires, et propre à renforcer la possibilité de caractériser, par la mise en œuvre d'une même technique, une plus large gamme de propriétés des sols étudiés dans une campagne de reconnaissance géotechnique.

Cette pratique permet également de proposer aux concepteurs de fondations et ouvrages en terre une approche plus rationnelle de deux paramètres dont la mesure directe est assez rare lors des reconnaissances géotechniques :

- un « module d'Young » équivalent, attribuant aux sols une élasticité linéaire qu'ils n'ont pas naturellement, par l'approximation $E_Y \approx 1,1 \cdot E_{c1} \approx E_M/\alpha^2$;
- un angle de frottement interne φ' , déterminant des coefficients de poussée et butée.

Très souvent en effet, en l'absence de véritables mesures in situ ou sur échantillons dans les campagnes de reconnaissance, les valeurs de ces deux paramètres des calculs de déplacements sont données arbitrairement en fonction de l'expérience du calculateur.

4. Remerciements.

L'auteur remercie M. Gambin, O. Combarieu et J. Monnet qui ont bien voulu relire cet article avec pour chacun la compétence que leur a donné leur vision pratique et théorique des essais pressiométriques, pour extraire des données mesurées des caractéristiques fondamentales du milieu soumis à l'essai.

Des remerciements sont dus également aux donneurs d'ordre qui ont accepté des essais cycliques pour le dimensionnement de leur projet, et leur utilisation pour ce travail : C.E.A. (Bruyères-le-Châtel), Botte Fondations (Orgon), Colas-DTP (Sartrouville), Kéraglass (Bagneaux-sur-Loing).

5. Références bibliographiques

- Baguelin F., Jézéquel J.-F., Shields D.H. (1978). *The Pressuremeter and foundation engineering*. Clausthal, Germany. Trans Tech Publications
- Baud J.-P. (2005) Analyse des résultats pressiométriques Ménard dans un diagramme spectral [$\text{Log}(p_{LM})$, $\text{Log}(E_M/p_{LM})$] et utilisation des regroupements statistiques dans la modélisation d'un site. In: *Gambin, Magnan, Mestat (eds.) ISP5-PRESSIO 2005, vol 1. Presses ENPC, Paris, pp 167–174* [English version from author]
- Baud J.-P., Gambin M. (2013) Détermination du coefficient rhéologique α de Ménard dans le diagramme Pressiorama®. *Actes du 18ème CIMSG, Paris 2013*
- Baud J.-P., Gambin M. (2014) Soil and Rock Classification from High Pressure Borehole Expansion Tests. *Springer, Geotech. Eng. (2014) 32 pp1397–1403*
- Baud J.-P., Gambin M., Heintz R. (2015) Modules élastiques, pseudo-élastiques et cycliques dans l'essai pressiométrique Ménard : historique et pertinence actuelle. In: *Frikha, Varaksin, Gambin (eds.) ISP7 - PRESSIO 2015, Hammamet, pp 317-327*
- Calhoun, M.L. (1970) Pressuremeter Field Testing of Soils, *Civil Engineering, ASCE, Vol. 39, No. 7, pp 71-74*
- Combarieu O. (1996) A propos de la détermination de l'angle de frottement des sols pulvérulents au pressiomètre. *Rev. Fr. Géotechnique, 77, pp 51-57*
- Combarieu O., Canepa Y. (2001) L'essai cyclique au pressiomètre, *Bull. Liaison des P. & C., n° 233, pp 37-65*
- Elfatih M.A., Mohamed A.O., Mouhamad A. (2015) Use of the Ménard Pressuremeter for the characterization of Nubian sandstone of Sudan. In: *Frikha, Varaksin, Gambin (eds.) ISP7- PRESSIO 2015, Hammamet, pp 395-401*
- Gambin M. (1977) Le Pressiomètre et la détermination de l'angle de frottement et de la cohésion d'un sol. *Colloque de Halin (Pologne) pour les 25 ans de Geoprojekt*
- Hamidi B., Nikraz H., Yee K., Varaksin S., Wong L.T. (2010) Ground Improvement in Deep Waters Using Dynamic Replacement. *Proceedings of the 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, Beijing, China, June 20-25, 2010, pp 848-853*
- Hamdi S., Holeyman A. (2016) Numerical modeling of cylindrical cavity expansion in rock mass based on the Hoek-Brown yield criterion. *Pre-print, Springer Journal: Innovative Infrastructure Solutions*
- Kanji M.A. (2014) Critical issues in soft rocks. *Journ. Rock Mechanics and Geotechnical Eng. 6 (2014) pp 186-195. Elsevier & Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Acad. Sciences. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775514000389>*
- Mayne, P., Coop, M., Springman, S., Huang, A., Zornberg, J. (2009). Geomaterial Behavior and Testing. *State-of-the-Art Paper. Proc. 17th Intl. Conf. Soil Mechanics & Geotech. Eng. Vol. 4 (ICSMGE, Alexandria) Millpress/IOS Press Rotterdam pp 2777-2872*
- Ménard L. (1957) An apparatus for measuring the strength of soils in place. *Thesis for the degree of Master of Science, University of Illinois.*
- Ménard L. & Rousseau J. (1961) L'évaluation des tassements, tendances nouvelles. *Sols-Soils, n°1, Paris*
- Monnet J., Khelif J., (1997) Etude théorique de l'équilibre élasto-plastique d'un sol pulvérulent autour du pressiomètre. *Rev. Fr. Géotechnique, 77, pp 3-12*
- Monnet J. (2013) Caractérisation mécanique des sols par l'essai pressiométrique. *18ème CIMSG, Paris 2013. ISP6 Parallel session.*
- Müller H. (1970) Baugrunduntersuchung mit der Pressiometerverfahren nach Ménard. *Die Bautechnik, Berlin, Heft 9, pp 289-295*
- Reiffsteck P., Martin A., Périni T. (2013) Application et validation d'abaque pour la classification des sols à partir des résultats pressiométriques. *Proc.18th Intl. Conf. Soil Mech. and Geotech. Eng., Paris, Parallel session ISP6/#4-6*
- Ritsos A., Basdekis A., Gambin M. (2103) Pressiorama - Application of Ménard Pressuremeter to classify several geological formations encountered in Greece. *Proc.18th Intl. Conf. Soil Mech. and Geotech. Eng., Paris, Parallel session ISP6/#4-7*
- Salençon J. (1966) Expansion quasi-statique d'une cavité à symétrie sphérique ou cylindrique dans un milieu élastoplastique. *Paris, Ann. Ponts et Chaussées, III, 175-187.*
- Saadé C. (1981) Essais pressiométriques et essais cycliques. *Mémoire D.E.A., Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Sèvres.*
- Tarnawski M., Ura M. (2015) Towards soil profile from pressuremeter data. In: *Frikha, Varaksin, Gambin (eds.) ISP7 - PRESSIO 2015, Hammamet, pp 281-288*
- Techniques Louis Ménard (1963) Détermination de la poussée exercée par un sol sur une paroi de soutènement. Notice D38 (révision 1970) *CEG Ménard Paris*
- Techniques Louis Ménard, (1963) Règles d'utilisation des techniques pressiométriques. Notice D60 *CEG Ménard Paris (rééditions jusqu'à 1982)*
- Union Syndicale Géotechnique (1ère version vers 1978, création du Syndicat). Charte professionnelle. <http://u-s-g.org/profession-geotechnicien.asp?idpage=14&titre=>
- Union Syndicale Géotechnique (2007) Recommandations sur la consistance des investigations géotechniques pour la construction. <http://u-s-g.org/travaux-commissions-usg.asp?idpage=25&titre=&idrub=4>