

# RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE SCISSOMETRE

## FEEDBACK ON THE FIELD VANE TEST

Claire BOUTET<sup>1</sup>, Matthias FERREIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hydrogéotechnique, Ingénieure géotechnicienne, Comité Scientifique et Technique, Rouen, France

<sup>2</sup> Hydrogéotechnique, Directeur régional Normandie, Bretagne, Pays de Loire, Rouen, France

**RÉSUMÉ** – Cet article présente un retour d'expérience sur le scissomètre, suite à son utilisation sur différents sites. Les diverses méthodes de correction de  $S_u$  sont présentées et les valeurs de résistance au cisaillement non drainée  $C_u$  ainsi obtenues sont comparées avec d'autres méthodes de détermination.

**ABSTRACT** – This paper presents a feedback on the field vane test. This survey was implemented on different sites using various  $S_u$  correction methods. Compared with other determination methods, it provides consistent undrained shear strength values  $C_u$ .

### 1. Introduction

Dans de nombreuses problématiques géotechniques, la cohésion non drainée des sols est une donnée importante. Les moyens actuels pour l'estimer sont essentiellement le scissomètre in situ, les essais en laboratoire et les corrélations. Ces dernières, bien que très utiles pour valider un modèle géotechnique, doivent être utilisées avec prudence en fonction des sites et des études. Les essais en laboratoire sont ponctuels et coûteux. Finalement, le scissomètre semble être un bon compromis pour déterminer la cohésion non drainée des sols. Mais ce dernier manque de popularité dans les études géotechniques et est rarement utilisé par les entreprises.

L'objectif de cet article est de présenter un retour d'expérience sur l'essai scissométrique en place, réalisé selon la norme NF P 94-112 de 1991. Nous travaillons sur plusieurs sites avec cet essai et souhaitons faire partager les connaissances acquises. Sur nos sites d'études, cet essai, est accompagné d'une campagne géotechnique complète afin d'obtenir une bonne connaissance des sols et d'analyser au mieux les résultats du scissomètre. Nous étudions ici les différentes approches de corrections de  $S_u$ .

### 2. Présentation des sites et sols étudiés

Les sites étudiés présentent tous des sols mous, sous nappe. Le contexte et la nature des sols est différente sur chaque site. Nous présentons ci-après leurs caractéristiques générales.

Pour tous les sites étudiés, la très faible compacité des sols (sols vasards/tourbeux) a entravé la réalisation d'échantillons intacts de bonne qualité. Les essais triaxiaux n'étant pas adaptés aux présents cas, nous n'avons pu comparer les résultats de résistance au cisaillement non drainée avec des résultats d'essais en laboratoire. L'essai scissométrique fut la méthode la plus adaptée sur chantier.

## 2.1. Site n°1

Le site n°1 se situe dans une baie en bord de littoral (Abidjan, Côte d'Ivoire). Les caractéristiques des sols sont les suivantes :

Tableau 1. Caractéristiques du site 1

Nature des sols	Argiles très plastiques
Classifications GTR	A4
Teneur en eau	80 à 240 %
Poids volumique humique	14 à 16 kN/m <sup>3</sup>
Indice de plasticité I <sub>P</sub>	47 à 105 %
Limite de liquidité W <sub>L</sub>	85 à 200 %
Résistance de pointe q <sub>c</sub>	0.1 à 1.2 MPa
Compacité globale	Faible

## 2.2. Site n°2

Le site n°2 se situe dans la plaine alluviale d'un fleuve (Normandie, France). Les caractéristiques des sols sont les suivantes :

Tableau 2. Caractéristiques du site 2

Nature des sols	Hétérogène : mélange de limons, sables et argiles en différentes proportions
Classifications GTR	F11 F12 B5 - A2 – A3 - A4
Teneur en eau	20 à 300%
Poids volumique humique	11 à 17 kN/m <sup>3</sup>
Indice de plasticité I <sub>P</sub>	25 à 55 %
Limite de liquidité W <sub>L</sub>	60 à 95 %
Résistance de pointe q <sub>c</sub>	0.13 à 1.4 MPa
Compacité globale	Faible

## 2.3. Site n°3

Le site n°3 se situe dans la plaine alluviale d'une rivière (Bretagne, France). Les caractéristiques des sols sont les suivantes :

Tableau 3. Caractéristiques du site 3

Nature des sols	Limons tourbeux
Classifications GTR	F11 à F12 / A1 à A2
Teneur en eau	50 à 700 %
Poids volumique humique	11 à 14 kN/m <sup>3</sup>
Indice de plasticité I <sub>P</sub>	<6 à 27%
Limite de liquidité W <sub>L</sub>	33 à 85%
Pression limite p <sub>l</sub>	< 0.3 MPa
Compacité globale	Faible

### 3. Création d'un ensemble de données

#### 3.1. Ensemble de données étudiées

Nous avons couplé chaque mesure au scissomètre avec les résultats des essais réalisés à proximité : essais pressiométriques (NF P 94 110-1, 2000) et essais de pénétration statique (NF P 94 113, 1996).

Les valeurs retenues de  $pl^*$  ont été déterminées en délimitant les zones homogènes et en réalisant une moyenne géométrique sur celles-ci.

Les valeurs retenues de  $qc$  ont été déterminées en délimitant les zones homogènes et en réalisant une moyenne écrêtée à 1.3x la moyenne.

Pour chaque mesure scissométrique, un couple ( $S_u, pl^*$ ) ou ( $S_u, qc$ ) a ainsi été défini, les résultats des essais en laboratoire y ont été ajoutés selon la zone géographique et l'horizon testé. La contrainte verticale initiale a été recalculée à la profondeur de l'essai scissométrique en fonction des poids volumiques déterminés en laboratoire.

Cette analyse a permis d'obtenir des ensembles ( $S_u, pl^*, \gamma', I_P, W_L, \sigma'_{v0}$ ) ou ( $S_u, qc, \gamma', I_P, W_L, \sigma'_{v0}$ ).

#### 3.2. Détermination de $C_u$ à partir des corrélations

La cohésion non drainée  $C_u$  a été estimée selon les formules suivantes (Cassan, 1998) par rapport à la valeur de  $pl^*$  :

$$C_u = \frac{pl^*}{5.5} \quad , \text{ si } pl^* < 0.3 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$C_u = \frac{pl^*}{12} + 0.03 \text{ (MPa)} \quad , \text{ si } pl^* < 1 \text{ MPa} \quad (2)$$

À partir du pénétromètre statique, nous avons considéré (Robertson, 2015) :

$$C_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_c} \quad (3)$$

$N_c$  a été estimé pour chaque site grâce à l'expérience locale et la formule  $N_c = 10,5 + 7 \log(F)$ , où  $F$  est le rapport de frottement normalisé  $F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}}$ . Nous avons retenu  $N_c = 13$  pour les sites 1 et 2, après traitement statistique de l'ensemble des données retenues.

Pour chaque ensemble défini au paragraphe précédent, la valeur de  $C_u$  corrélée a été ajoutée. Elle est notée par la suite  $C_{u, \text{corrélé}}$ .

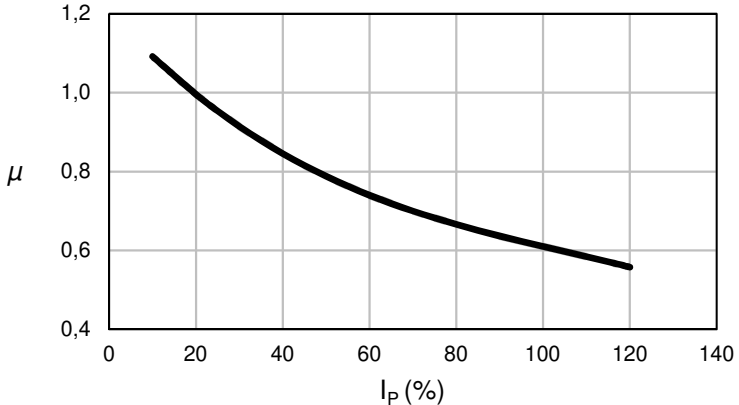
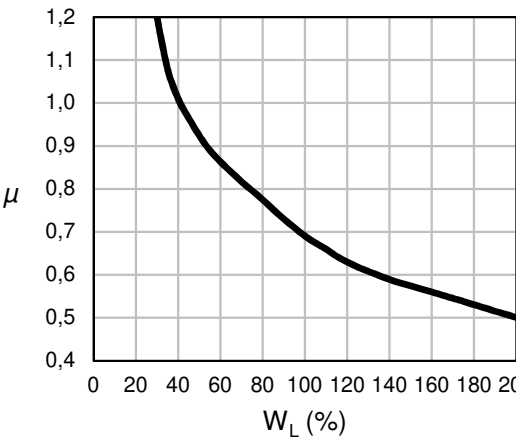
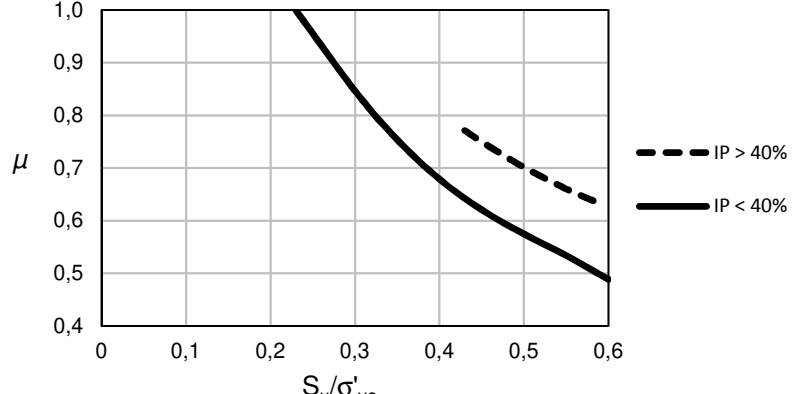
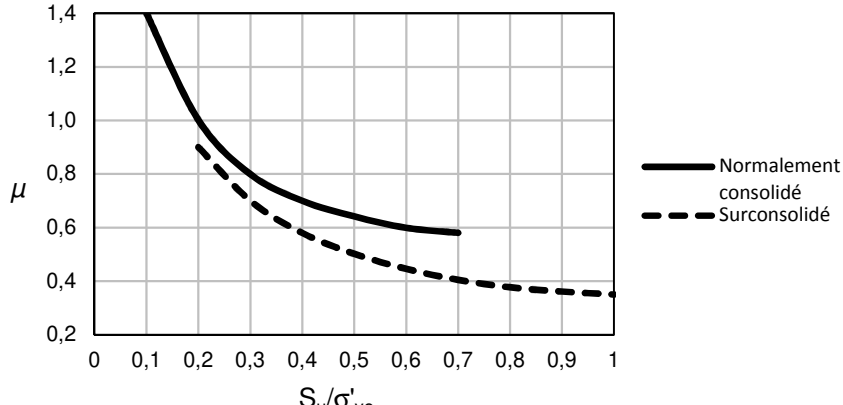
### 4. Détermination de $C_u$ à partir du scissomètre

Le scissomètre permet d'obtenir la résistance au cisaillement non drainée. La valeur mesurée sur chantier doit être corrigée par un paramètre  $\mu$  :

$$C_u = \mu \times S_u \quad (4)$$

Diverses procédures existent pour évaluer ce facteur de correction  $\mu$ . Les méthodes analysées dans le présent article sont présentées dans le tableau 4 ci-après.

Tableau 4. Méthode de détermination du facteur de correction  $\mu$

N°	Référence	Présentation de la méthode
1	Bjerrum, 1973	
2	Larsson et al., 1984	
3	Aas, 1979	
4	Aas, 1986	
5	Hansbo, 1957 Larsson et Ahnberg, 2003	$\mu = \left(\frac{0.43}{W_L}\right)^{0.45} \times \left(\frac{S_u}{0.585W_L \times \sigma'_{v0}}\right)^{-0.15}$

Les méthodes numérotées 2 à 5 correspondent aux procédures présentées dans la norme NF EN 1997-2 de 2007. Pour chaque ensemble défini au paragraphe 1.1, les valeurs de  $C_u$  déterminées avec chaque correction ont été ajoutées. Elles sont notées dans la suite  $C_{u;scissomètre}$ .

Nous avons cherché à comparer les différentes corrections proposées dans le tableau 4.

## 5. Comparaison des méthodes de corrections appliquées à $S_u$

### 5.1. Comparaison par statistiques

Les corrections moyennes obtenues pour chaque site et pour chaque méthode sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5. Correction  $\mu$  obtenues

Méthode n°		1 (Bjerrum, 1972)	2 (Larsson et al., 1984)	3 (Aas, 1979)	4 (Aas, 1986)	5 (Hansbo, 1957 Larsson et Ahnberg, 2003)
Site 1 A4	Moyenne	0,72	0,64	0,78	1,24	0,28
	Ecart-type	0,06	0,07	0,06	0,32	0,08
Site 2 A2 à A4	Moyenne	0,88	0,78	0,61	0,51	0,60
	Ecart-type	0,05	0,05	0,14	0,22	0,12
Site 3 A1 à A2	Moyenne	1,01	0,86	0,66	0,60	0,73
	Ecart-type	0,04	0,08	0,19	0,25	0,30

Rappel : Les méthodes 1 et 2 se basent sur les paramètres  $I_P$  et  $W_L$  des sols, les méthodes 3 et 4 se basent sur le paramètre  $S_u/\sigma'_{v0}$ , et la méthode 5 se base sur  $W_L$  et  $S_u/\sigma'_{v0}$ .

### 5.2. Comparaison avec des données corrélées

Le rapport  $C_{u;scissomètre}$  sur  $C_{u;corrélé}$  a été déterminé pour chaque ensemble défini au paragraphe 3.1 ( $S_u, p_l^*, \gamma, I_P, W_L, \sigma'_{v0}$ ) ou ( $S_u, q_c, \gamma, I_P, W_L, \sigma'_{v0}$ ). Pour chaque correction 1 à 5, la méthode de calcul est identique afin de pouvoir comparer chaque correction. Les calculs réalisés sur le site 1 et sur le site 2 sont exactement les mêmes. Le site 3 diffère puisque la comparaison est réalisée à partir d'essais pressiométriques et non de sondages pénétrométriques.

L'ensemble des points obtenus a été représenté graphiquement sur la figure 1. La courbe  $X=Y$  représentée correspond à la droite sur laquelle les valeurs de  $C_u$  déterminées par les différentes méthodes convergent vers le même résultat ( $C_{u;scissomètre} = C_{u;corrélé}$ ).

Lorsque les points se situent au-dessus de cette droite, les valeurs obtenues de  $C_{u;scissomètre}$  sont plus faibles que les valeurs de  $C_{u;corrélé}$ .

Lorsque les points se situent en-dessous de cette droite, les valeurs obtenues de  $C_{u;scissomètre}$  sont plus fortes que les valeurs de  $C_{u;corrélé}$ .

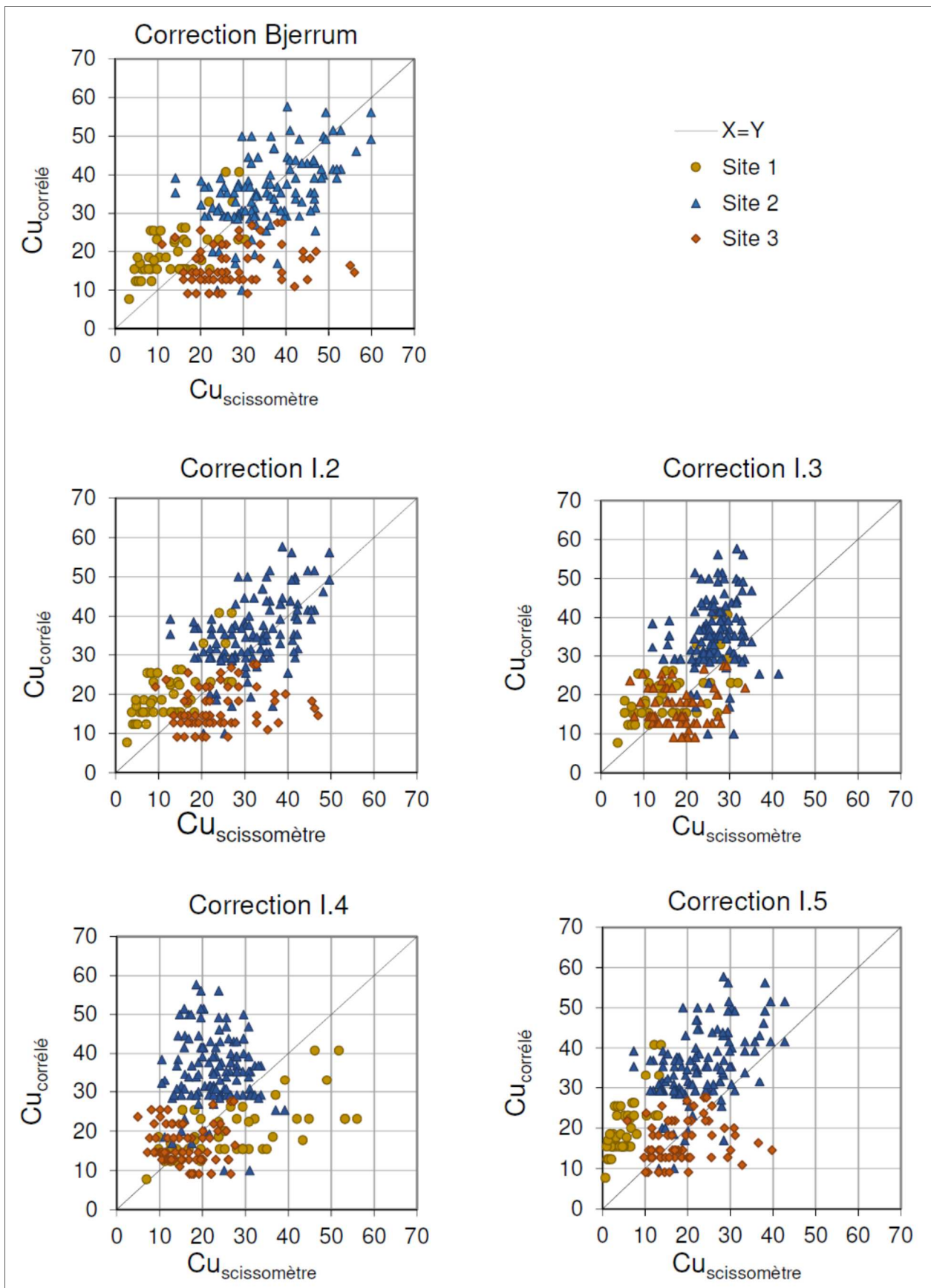


Figure 1. Résultats de l'analyse.

NB : un point représente une unique mesure scissométrique, liée à un ensemble complet de paramètres ( $S_u$ ,  $pl^*$ ,  $\gamma'$ ,  $I_P$ ,  $W_L$ ,  $\sigma'_{v0}$ ) ou ( $S_u$ ,  $qc$ ,  $\gamma'$ ,  $I_P$ ,  $W_L$ ,  $\sigma'_{v0}$ ).

## 6. Analyse des résultats

L'analyse réalisée sur cette population fait ressortir :

- Que les méthodes I.3, I.4 et I.5 présentent un écart-type nettement plus élevé sur la moyenne du coefficient correcteur pour une population donnée. Cet écart-type important dénote une certaine variabilité de la méthode.
- La difficulté des corrections I.3, I.4 et I.5 réside dans le fait qu'il faut maîtriser  $\sigma'_{v0}$  à la cote de l'essai. Ce paramètre présente une certaine variabilité si la disposition des couches est lenticulaire (variation spatiale de la densité) ou encore si la nappe est soumise au marnage avec un battement continu. Cela peut expliquer en partie l'écart-type plus important sur ces approches.
- Les méthodes I.1 et I.2 apparaissent à ce stade plus fiables. En effet, l'écart-type reste faible et on voit sur les graphes de la figure 1 une bonne corrélation avec l'approche pénétrométrique et ce pour les 3 sites. Ces deux approches ont donc des tendances cohérentes entre elles, une bonne cohérence avec la corrélation pénétrométrique et les données d'entrée sont faciles à maîtriser (connaissance de la limite de liquidité de l'horizon testé).

## 7. Conclusion

Ce retour d'expérience met en avant l'importance de la correction de la mesure brute  $S_u$ . Les méthodes de correction sont multiples et les résultats obtenus variables en fonction des types de sol.

Pour les trois sites étudiés, les méthodes de correction 1 (Bjerrum, 1973) et 2 (Larsson et al., 1984) présentent des résultats satisfaisants quelles que soit les mesures réalisées. Ces deux méthodes sont caractérisées par trois paramètres d'entrée simples :  $S_u$ ,  $W_L$  et  $I_P$ . Nous garderons ainsi à l'esprit que pour une correction fiable des mesures de l'essai scissométrique, il nous semble indispensable de caractériser la plasticité des sols ( $I_P$ ,  $W_L$ ).

Cette étude montre, comme dans de nombreuses approches géotechniques, que le couplage entre essais est essentiel pour aboutir à un modèle géotechnique robuste.

## 8. Abréviation et symboles

Les notations utilisées dans l'article sont explicitées ci-dessous :

$C_u$  : résistance au cisaillement non drainée du sol

$S_u$  : résistance au cisaillement maximale du sol obtenue au cours de l'essai scissométrique

$\mu$  : facteur de correction ( $C_u = \mu \times S_u$ )

$C_{u, \text{scissomètre}}$  : résistance au cisaillement non drainée du sol, déterminée à partir du scissomètre

$C_{u, \text{corrélé}}$  : résistance au cisaillement non drainée du sol, déterminée par corrélations à partir de sondages au pénétromètre statique ou au pressiomètre

$I_P$  : indice de plasticité

$W_L$  : limite de liquidité

$q_c$  : résistance de pointe mesurée au pénétromètre statique

$pl^*$  : pression limite nette mesurée par essai au pressiomètre

$\gamma'$  : poids volumique déjaugé

$\sigma'_{v0}$  : contrainte verticale effective initiale

## **9. Références bibliographiques**

- Aas G. (1979). Vurdering av korttidsstabilitet i leire på basis av udrenert skjaerfasthet. NGM –79 Helsingfors, pp.588-596.
- Aas G., Lacasse S., Lunne T., Høeg K. (1986). Use of in situ tests for foundation design on clay. ASCE Geotechnical Special Publication 6.
- Bjerrum L. (1973). Problems of soil mechanics in unstable soils. Proc. Of 8<sup>th</sup> ICSMFE 3:111-159.
- Cassan M. (1988). Les essais in situ en mécanique des sols 1 Réalisation et interprétation. Eyrolles, Paris, 1988.
- Cassan M. (2005). Le pressiomètre et la résistance au cisaillement des sols, cas particulier des argiles saturées, 50ans de pressiomètres. Vol. 1. Gambin, Magnan et Mestat (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, Paris
- Hansbo S. (1957). A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test. Stockholm: Royal Swedish Geotechnical Institute, Proc. No. 14.
- Larsson R., Bergdahl U., Erikson L. (1984). Evaluation of shear strength in cohesive soils with special references to Swedish practice and experience. Linköping: Swedish, Geotechnical Institute, Information 3E.
- Larsson R., Åhnberg H. (2003) The effect of slope crest excavations on the stability of slopes, Linköping: Swedish Geotechnical Institute. Report No 63.
- NF EN 1997-2 (2007). Eurocode 7 : calcul géotechnique - Partie 2 : reconnaissance des terrains et essais Reconnaissance des terrains et essais, Annexe D, AFNOR.
- NF P 94 110-1 (2000). Sols : reconnaissance et essais - Essai pressiométrique Ménard - Partie 1 : essai sans cycle, AFNOR.
- NF P 94 112 (1991). Sols : reconnaissance et essais - Essai scissométrique en place, AFNOR.
- NF P 94 113 (1996). Sols : reconnaissance et essais - Essai de pénétration statique, AFNOR.
- Robertson P.K., Cabal K.L. (2015). Guide to cone penetration testing, Gregg Drilling & Testing, Inc, 6th edition.