

CORRELATIONS NOUVELLES ENTRE CPTU, PMT ET VBS POUR DONNER DE LA ROBUSTESSE AU MODELE GEOTECHNIQUE

NEW CORRELATIONS BETWEEN IN SITU TESTS LIKE CPT_u, PMT AND BLUE METHYLENE VALUE TO GIVE ROBUSTNESS TO THE GEOTECHNICAL MODEL.

Matthias FERREIRA¹,

¹ *Directeur Grande Région Ouest, Hydrogéotechnique, Rouen, France*

RÉSUMÉ – Le pénétromètre statique est un outil très répandu dans le monde et riche d'une bibliographie importante. De nombreux auteurs ont travaillé sur des corrélations entre les résultats du CPT_u et diverses caractéristiques géotechniques. Nous présentons ici une relation reliant le CPT_u à la pression limite nette et à la VB_{OD} que nous confrontons dans un premier temps aux relations habituellement rencontrées dans la bibliographie, puis nous comparons celle-ci à une population de plus de 350 couples. Enfin, nous explicitons le lien avec la contrainte de pré-consolidation.

ABSTRACT – The cone penetration test (CPT_u) is widely used in the world and thousands studies have been done. Numerous authors have worked on strong correlations between CPT's cone tip resistance and others geotechnical parameters. We will explicit a new relationship between CPT's cone tip resistance, PMT's limit pressure and blue methylene value. This relationship will be first compared with the results from bibliographical studies and then compared to in situ tests carried out in France. Finally, we will explicit the relationship with the preconsolidation pressure.

1. Introduction

Le pénétromètre statique est un outil riche d'une bibliographie importante. Le géotechnicien comprend alors tout l'intérêt de faire le lien entre la résistance en pointe du CPT_u et le pressiomètre Ménard lui permettant ainsi d'élaborer de nouvelles corrélations entre les différents paramètres mécaniques d'un modèle géotechnique.

Cet article s'attachera dans un premier temps à proposer un lien entre la résistance en pointe, la pression limite nette et à la valeur au bleu ramenée sur sa fraction O-D (VB_{OD}).

Dans une seconde partie, on analysera les évolutions que cela amène sur des corrélations permettant d'approcher la contrainte de pré-consolidation σ'_p .

2. Étude des travaux antérieurs

Depuis de nombreuses années, quantité d'auteurs ont réalisé des études statistiques en vue de déterminer des relations linéaires entre q_T (résistance en pointe du CPT_u) et P_i^* (pression limite nette). Dernièrement (Vaillant et Al, 2010 et 2014) a fait la synthèse globale des différents travaux de Cassan, Van Wambeke, Schmertmann, Baguelin, Sanglerat, etc... et conclut sur la tendance suivante (confère tableau 1) :

Tableau 1. Synthèse de la bibliographie (Vaillant, 2014)

Type de sol	q_T / p_l^*	
	Moyenne	Écart type
Argile	3.1	0.7
Limon	5.4	0.8
Sable et grave	9.0	1.1

Dans son étude, (Vaillant, 2014) propose également une étude statistique sur plus de 1200 couples (P_l^* , q_T) et aboutit aux relations suivantes (confère tableau 2) :

Tableau 2. Corrélations proposées par (Vaillant, 2014) sur plus de 1200 couples

Type de sol	q_T / p_l^*
Argile	$2.2 \leq q_T / p_l^* \leq 3.1$
Limon	$2.9 \leq q_T / p_l^* \leq 4.4$
Sable et grave	$8.1 \leq q_T / p_l^* \leq 9.1$

On remarque ici une légère divergence entre les études menées sur les 1200 couples et la synthèse bibliographique générale.

Par ailleurs (GRESS et Al, 2019) ont proposé une relation entre q_T et P_l^* de type (paramètres en kPa) :

$$q_T - \sigma_v = [P_l^*]^{1,25} \quad (1)$$

avec une dispersion de +/- 30% autour de cette moyenne (confère figure 1) pour un écart-type. Cette relation présente l'inconvénient de donner des valeurs trop fortes pour les matériaux plastiques.

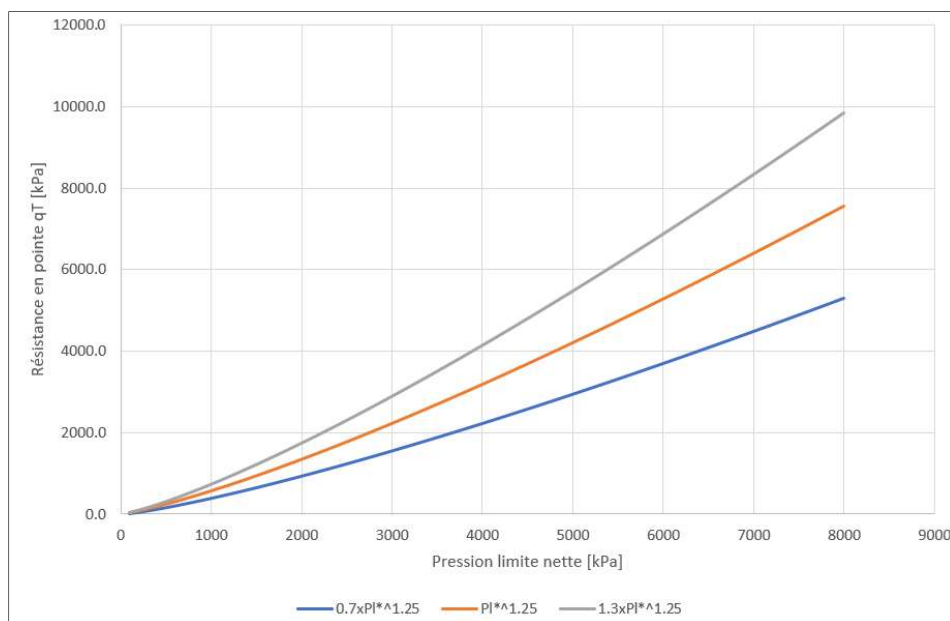


Figure 1. Loi de Gress, avec dispersion de +/-30%

3. Loi générale reliant q_T à P_l^*

L'étude bibliographique montre clairement que le lien entre la résistance en pointe et la pression limite est directement fonction de la plasticité des matériaux et donc de la VB_{0D} , valeur au bleu ramenée à sa fraction 0-D :

$$VB_{0D} = VBS \times \%50mm \quad (2)$$

Nous proposons donc une relation de type (paramètres en [kPa]) :

$$q_T - \sigma_v = [P_l^*]^n \quad (3)$$

Avec :

$$n = 1.1 \times \frac{VB_{0D}+0.6}{VB_{0D}+0.5} \quad (4)$$

n varie alors de 1,11 à 1,28 pour une VB_{0D} variant respectivement de 8,9 à 0,1.

Si l'on compare cette corrélation aux études bibliographiques citées ci-avant, et qu'on insère la population de 350 cas issus des campagnes réalisées par HYDROGÉOTECHNIQUE, nous obtenons (Figures 2 à 4) :

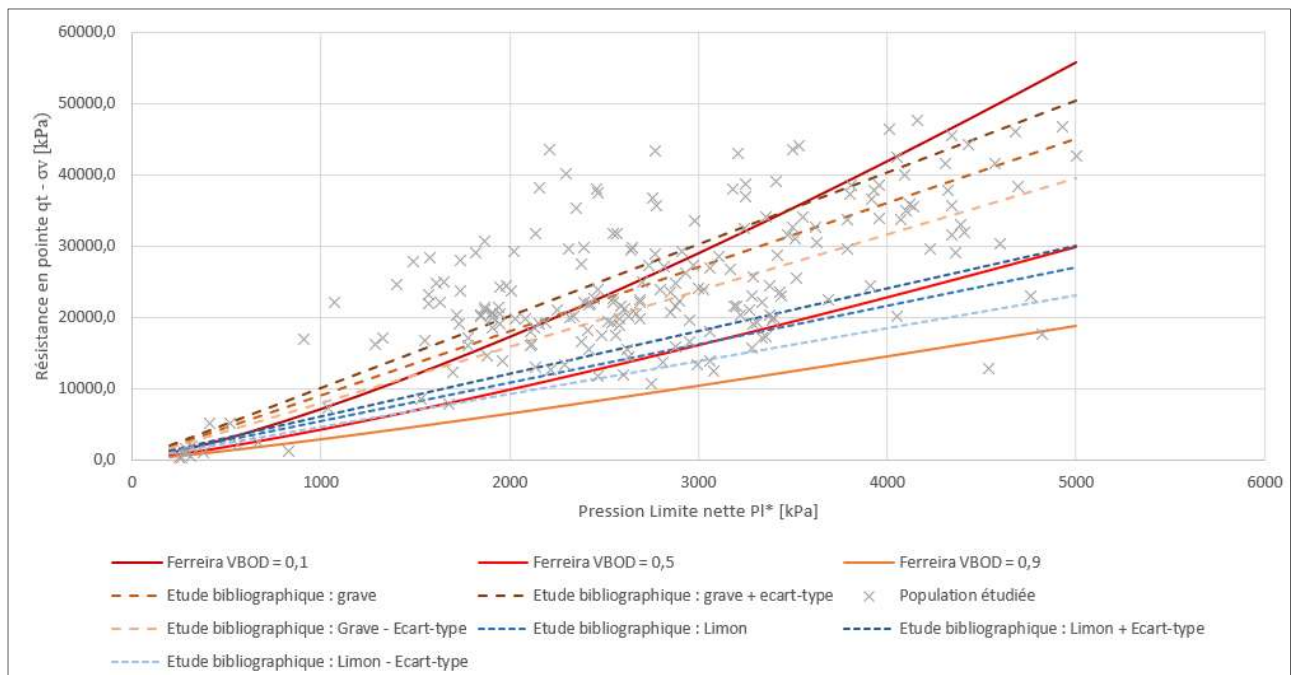


Figure 2. Relation entre $q_T - \sigma_v$ et P_l^* pour des matériaux type sables et graviers ($VB_{0D} < 0,9$).

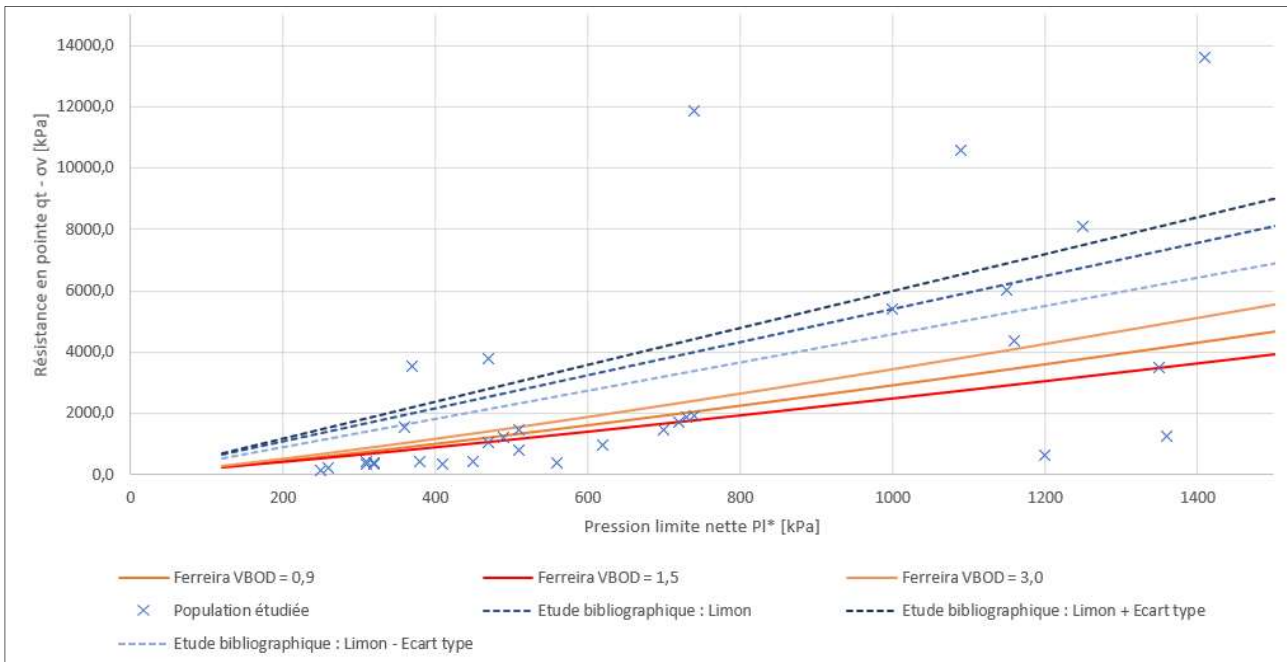


Figure 3. Relation entre $q_T - \sigma_v$ et P_i^* pour des limons ($0.9 < VB_{OD} < 3.0$).

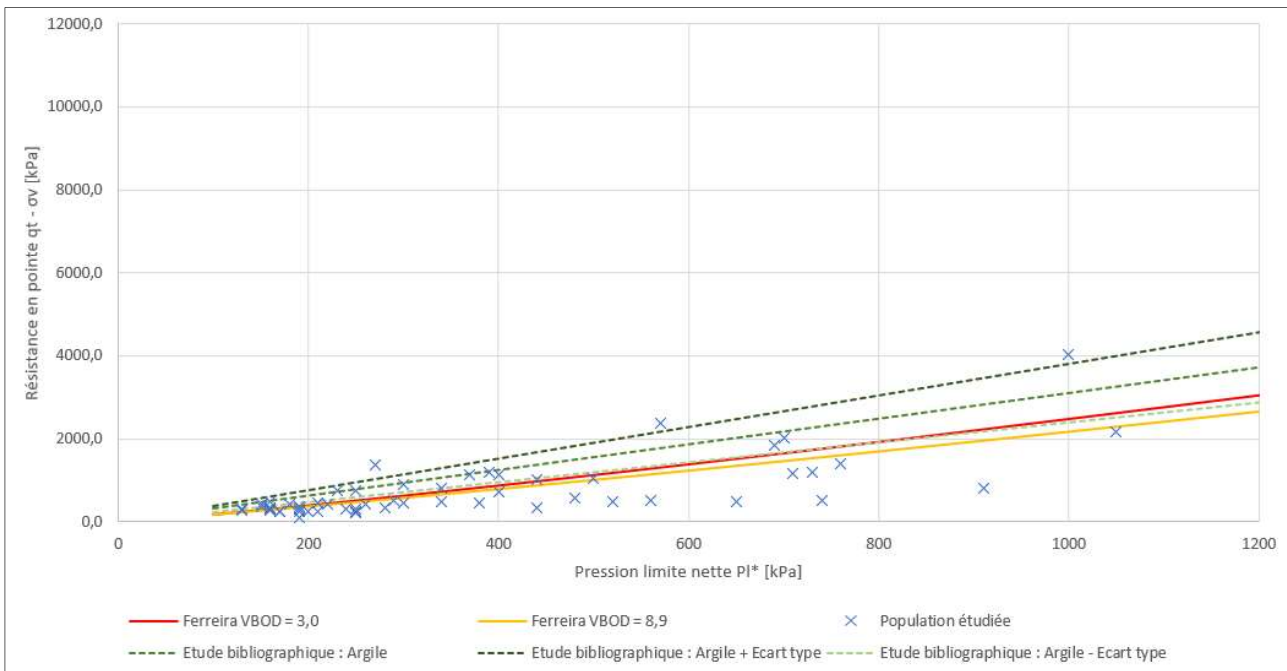


Figure 4. Relation entre $q_T - \sigma_v$ et P_i^* pour des argiles ($3.0 < VB_{OD} < 8.9$).

On retrouve ici la tendance exprimée par (Vaillant, 2014) dans le cadre de sa synthèse générale, avec une corrélation légèrement en deçà des résultats de l'étude bibliographique. Cela est par ailleurs en accord également avec la population étudiée.

4. Corrélation nouvelle pour la détermination de la contrainte de pré-consolidation

Les 30 dernières années, l'évolution du cadre socio-économique, politique et environnemental (Saïd Alami et Al, 2017) a contraint le géotechnicien à une précision

toujours plus fine du modèle géotechnique et notamment dans la prédiction des déformations du sol.

La détermination de la contrainte de pré-consolidation est une étape importante dans la définition d'un modèle géotechnique. En effet, ce paramètre permet de déterminer l'état de consolidation d'un sol. Dans un calcul œdométrique notamment, ce paramètre est plus que déterminant. Différents auteurs ont cherché à estimer ce paramètre par des essais in-situ en complément des essais œdométriques. Ces différents travaux ont été initiés, pour la plupart, sur le constat que l'estimation de σ'_p via les essais œdométriques était souvent anormalement pessimistes (Said Alimi et Al, 2017, Boutonnier et Al., 2013, Coste et Al., 2014). On peut citer les quelques travaux suivants :

- (Leroueil et Al, 1985, Ladd et Al., 1974) qui proposent une relation entre σ'_p et la cohésion court terme,
- (Mayne, 2009) et (Robertson, 2015) qui proposent une relation entre σ'_p et les résultats issus du CPTu,
- (Gress, 2019) qui propose une relation entre σ'_p et la pression limite nette (P_l^*).

A partir du CTPu, (Mayne, 2009) a proposé :

$$\sigma'_p = 0,33 \times (q_T - \sigma_v)^m \quad (5)$$

Avec :

$$m = 1 - \frac{0,28}{1 + (I_c/2,65)^{25}} \quad (6)$$

Avec I_c l'indice de comportement du sol de (Robertson, 2015).

Il s'agit d'une méthode permettant d'approcher σ'_p à partir du CPTu en complément des essais en laboratoire et notamment des essais œdométriques. (Gress, 2019) a proposé une amélioration de cette relation en introduisant la notion de contrainte verticale effective dans la relation :

$$\sigma'_p = \frac{1}{[\sigma'_{v0}]^{0,25}} \times (q_T - \sigma_v)^m \quad (7)$$

m étant défini en (6) et σ'_{v0} étant la contrainte effective du poids des terres.

Par la même occasion, (Gress, 2019) propose :

$$m = 0,72 + \frac{0,28}{1 + e^{-1,5 \cdot (VB_{0D} - 3,35)}} \quad (8)$$

De (3) et (7), nous proposons de retenir (paramètres en [kPa]) :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma'_p = \frac{1}{[\sigma'_{v0}]^{0,25}} \times (q_T - \sigma_v)^m \\ q_T - \sigma_v = [P_l^*]^n \end{array} \right. \rightarrow \sigma'_p = \frac{1}{[\sigma'_{v0}]^{0,25}} \times (P_l^*)^{m \times n} \quad (10)$$

Avec m défini en (6) et (8) et n défini en (4). Ces deux relations étant alors fonction de l'argilosité du matériau (VB_{0D}). On propose donc ici une nouvelle corrélation, inspirée des travaux sur le CPTu, pour estimer la contrainte de pré-consolidation d'un sol à partir d'un profil pressiométrique.

Comme évoqué précédemment, le paramètre n varie de 1,11 à 1,16 pour une VB_{0D} variant respectivement de 8,9 à 2,7 et m varie 1,00 à 0,76 sur ce même ensemble. Cela nous amène à une variation du facteur $n \times m$ de la relation (10) respectivement de 1,11 (matériaux type Argiles plastiques) à 0,88 (matériaux moyennement plastique) :

$$\sigma'_p = \frac{1}{[\sigma'_{v0}]^{0,25}} \times (P_l^*)^{0,88 \text{ à } 1,00} \quad (11)$$

5. Conclusions

La présente étude a permis de proposer une relation unique entre la résistance en pointe du pénétromètre statique (paramètre q_T) et la pression limite nette (P_l^*) en prenant en compte l'argilosité du sol (VB_{0D}). Celle-ci permettra au géotechnicien de faire le lien entre les différents essais in-situ et s'assurer de la robustesse de son modèle géotechnique.

La réflexion a été poursuivie en utilisant les travaux de (Mayne, 2009) et (Gress, 2019) pour donner une nouvelle méthode d'estimation de la contrainte de pré-consolidation du sol (σ'_p). Celle-ci vient en complément des résultats des essais en laboratoire et permet une fois de plus au géotechnicien de s'assurer de la robustesse de son modèle de calcul.

Ces relations devront être affinées dans la durée par l'expérience et l'exploitation des campagnes géotechniques de tous les jours.

6. Références bibliographiques

- Boutonnier L, Hajouai F (2013) : LGV Est Lot 41 : tassements calculés puis mesurés sous remblais, *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013*
- Coste P, Deluzarche R, Boutonnier L, Hansen N, Chardard P (2014) : Tassements et temps de consolidation mesurés et calculés sur projets LGV, *JNGG 2014, Beauvais*.
- Gress JC, Cuinet JM, Ferreira M (2019) : 10ème colloque national de l'AFPS, Strasbourg. *Mise en cohérence de l'estimation du module de cisaillement G_{max} par les paramètres CTPu, PMT et confrontation avec les essais en laboratoire*.
- Gress JC (2019) : Preconsolidation pressure, CPT'u tip resistance, Menard net limit pressure and undrained shear strength. *Proceedings of the XVII ECSMGE-Reykjavik*.
- Ladd CC, Foott R (1974) : a new design procedure for stability of soft clay. *JGED, ASCE 100, GT7, 783-786*.
- Leroueil S, Magnan JP, Tavenas F (1985) : Remblais sur argiles molles. *Techniques et documentation Lavoisier*.
- Mayne PW (2009) : Geomaterial Behaviour and testing. *Compte-rendu de la 17ème conférence internationale de mécanique des sols, Alexandria SOS Press*.
- Robertson PK (2015) : *guide to cone penetration testing, 6th edition*.
- Said Alami S, Reiffsteck P, Cuira F (2017) : Méthode d'estimation des tassements des sols fins sous les remblais d'infrastructures ferroviaires pour lignes à grande vitesse. *Revue Française de Géotechnique, Volume 153*.
- Vaillant JM, Aubry-Kientz J, Ung Seng Y (2010) : Journées Nationales de géotechnique et géologie de l'Ingénieur, *JNGG 2010. Étude de corrélation entre les résultats d'essais pressiométriques et de pénétration statique*.
- Vaillant JM, Aubrion P (2014) : Journées Nationales de géotechnique et géologie de l'Ingénieur, *JNGG 2014. Étude de corrélation entre les résultats d'essais pressiométriques et de pénétration statique*.