

L'optimisation  
de la conception  
des procédés  
et des performances



nouvelles **A**pproches de **R**econnaissance  
des **S**ols et de **C**onception des **O**uvrages  
géotechniques avec le **P**ressiomètre



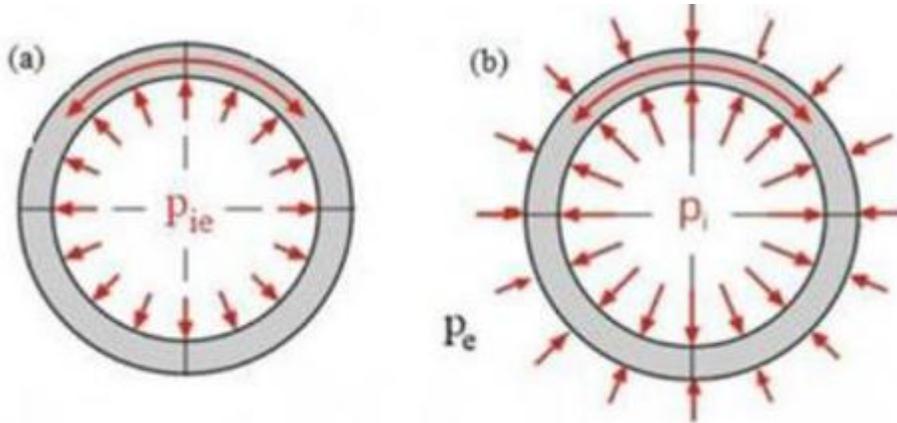
# Journée de restitution

## Réflexions à propos de l'interprétation de l'essai pressiométrique

*Jacques Monnet (Gaiatech)*



1. Influence de la géométrie de la Sonde
  - a) Corrections sur la géométrie
  - b) Conséquence 1 : Analyse des essais de Messange
2. Calcul d'Erreur et précision
  - a) Principe du calcul d'erreur, précision des modules  $E^e$ ,  $E_M$
  - b) Conséquence 2 : Application aux essais de référence
  - c) Précision des modules de  $p_{LM}$
  - d) Conséquence 3 : Application aux essais de référence
3. Perspectives et conclusions
  - a) Perspectives
  - b) Conclusions

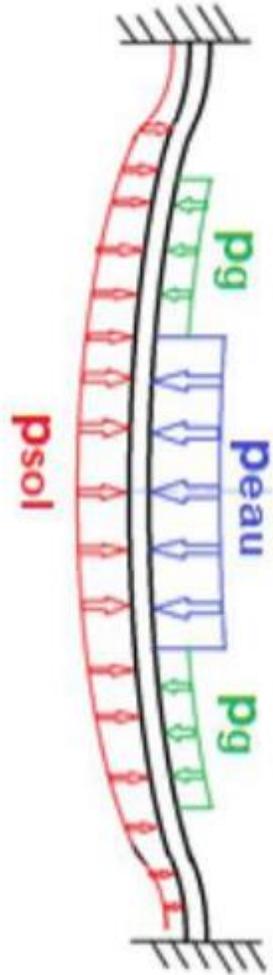


- ▶ Le pressiomètre mesure une pression interne dans la sonde et l'épaisseur de la membrane + lanterne (de 4mm à 16mm) diminue la pression appliquée au sol selon (1)

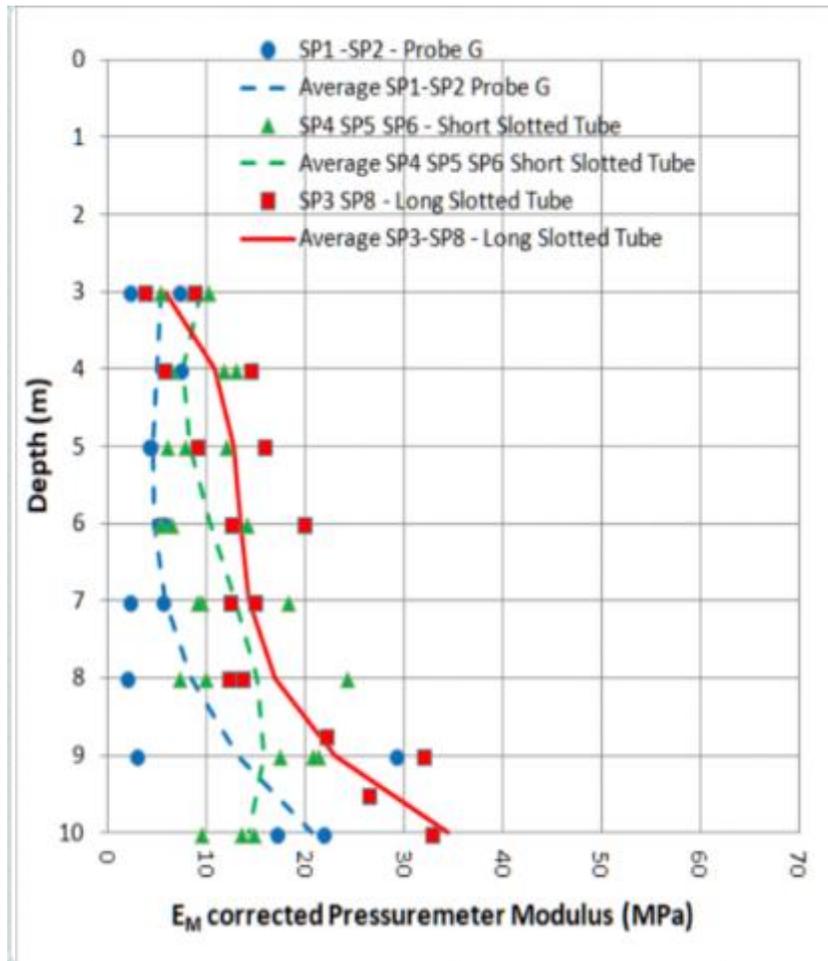
- ▶ 
$$p_e = p_i \cdot \frac{R_e - e_p}{R_e} \quad (1)$$

- La différence entre la pression mesurée et la pression réelle appliquée sur le sol est de l'ordre de -5% à -23%.

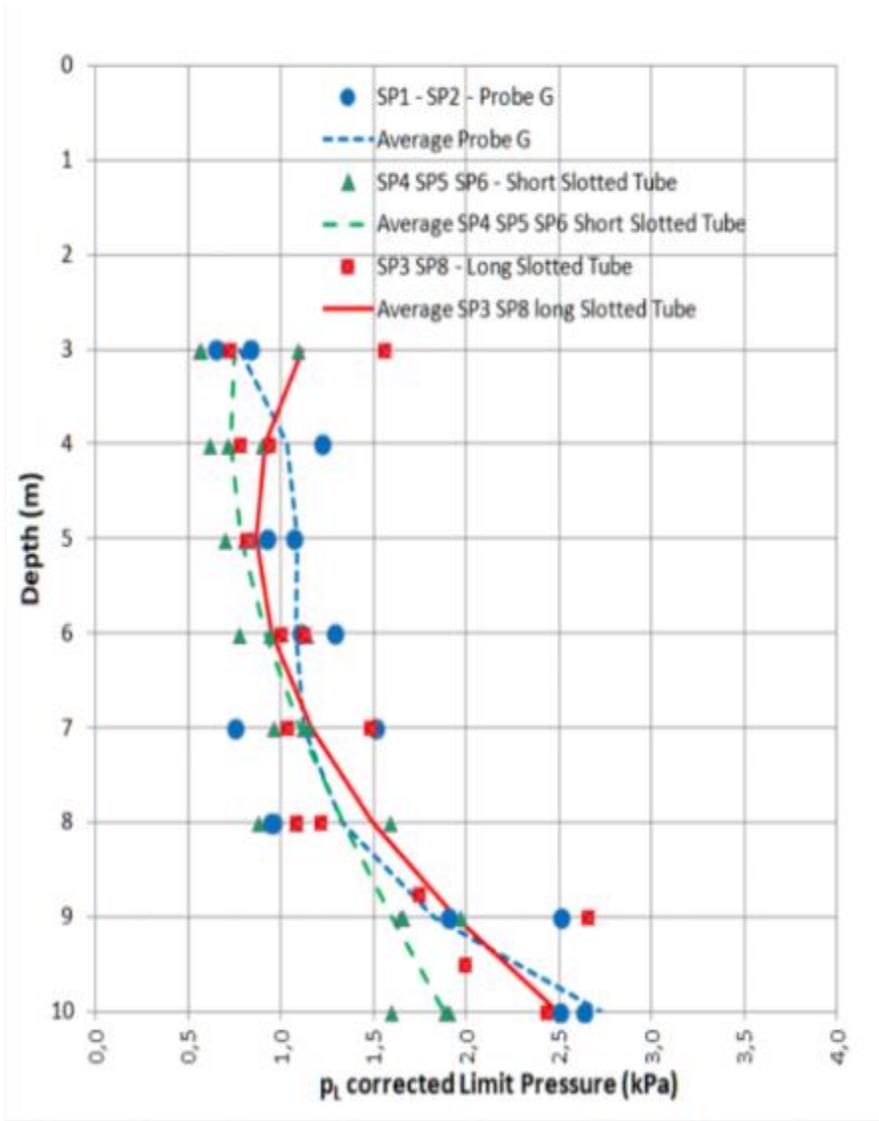
*NB : La norme suppose que l'épaisseur n'a aucune influence sur la pression appliquée au sol*



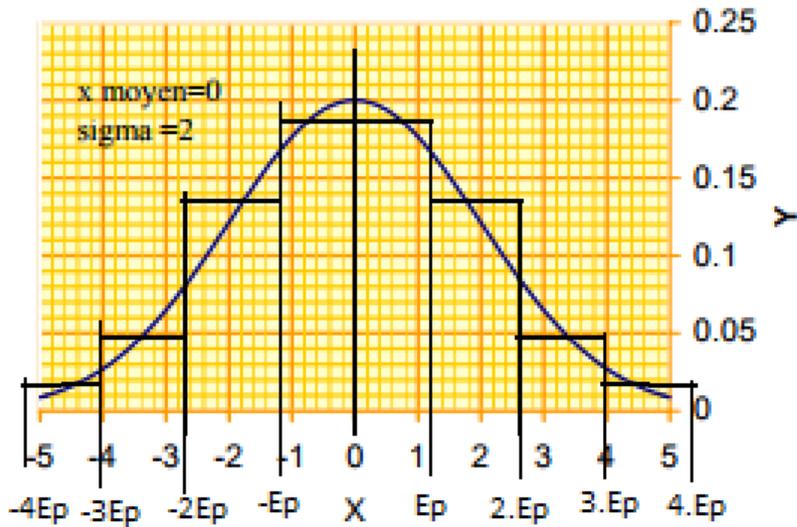
- La sonde se déforme comme un ballon de rugby, ce qui peut être modélisé par une poutre sur deux appuis simples.
- Le tube fendu se déforme avec une extrémité fixe, ce qui peut être modélisé par une poutre sur deux appuis fixes.
- La pression de réaction du sol est supposée proportionnelle à sa déformation.
- ▶ NB : La norme suppose une déformation cylindrique et une pression uniforme.



- ▶ Le projet ARSCOP a réalisé 59 essais pressiométriques avec différentes sondes qu'on peut regrouper en 3 types différents (Sonde Nue type G; Tube Fendu Court; Tube Fendu Long)
- ▶ On voit que le module pressiométrique standard dépend du type de sonde utilisée ( $E_{M\_SST} \approx 3.E_{M\_G}$  ;  $E_{M\_LST} \approx 2.E_{M\_G}$ )
- ▶ Le module pressiométrique corrigé est moins affecté par le type de sonde utilisée ( $E_{M\_SST} \approx 2.E_{M\_G}$  ;  $E_{M\_LST} \approx 1,5.E_{M\_G}$ )
- ▶ Le module pressiométrique corrigé est entre 1,5 à 2 fois plus faible que le module standard
- ▶ La dispersion des résultats est beaucoup plus faible.



- ▶ On voit que la pression limite standard dépend du type de sonde utilisée ( $p_{LM\_SST} \approx 1,5 \cdot p_{LM\_G}$  ;  $p_{LM\_LST} \approx 1,6 p_{LM\_G}$ )
- ▶ La pression limite corrigée est indépendante du type de sonde utilisée ( $p_{LM\_SST} \approx p_{LM\_G}$  ;  $p_{LM\_LST} \approx p_{LM\_G}$ )
- ▶ La pression limite corrigée est entre 1,5 et 2 fois plus faible que la pression limite standard
- ▶ La dispersion des résultats est beaucoup plus faible



- ▶ On admet en général, que le nombre de mesures répétées pour un même mesurande se répartit selon une courbe de Gauss (ou loi normale)
- ▶ On peut déduire de la courbe de Gauss :

- La moyenne (2)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2)$$

- L'écart type (3)

$$\sigma = E_{mq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

- ▶ On utilise la loi de composition des erreurs (4) pour calculer l'incertitude composée

$$\sigma_F^2 = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial F}{\partial X_i} \right]^2 \sigma_{X_i}^2 \quad (4)$$

- Précision de  $E_M$  (5) se calcule selon la loi de propagation (4) des erreurs :

$$\sigma_{Em} = \left\{ 7,08 \cdot \frac{(p_2 - p_1)^2}{(V_2 - V_1)^2} \cdot \sigma_{Vs}^2 + 3,54 \cdot \frac{(p_2 - p_1)^2}{(V_2 - V_1)^2} \cdot \left\{ 1 + \frac{2}{(V_2 - V_1)} \left[ V_s + \frac{V_1 + V_2}{2} \right] \right\}^2 \cdot \sigma_V^2 + 14,15 \cdot \left[ V_s + \frac{V_1 + V_2}{2} \right]^2 \cdot \frac{\sigma_p^2}{(V_2 - V_1)^2} \right\}^{0.5} \quad (5)$$

- ▶ La précision de  $E_M$  dépend de la précision des grandeurs unitaires :
- ▶ Sur les essais types fournis par Fondasol, avec le processus A de type lecture visuelle la précision est **entre 4 et 17%**
- ▶ Avec le processus B de type saisie numérique la précision est **entre 2 et 10%**
- ▶ Avec le processus C de type saisie numérique améliorée la précision est **entre 1 et 10%**
- ▶ La précision du Module Elastique (mesuré sur le cycle décharge-recharge) est similaire à celle du module pressiométrique

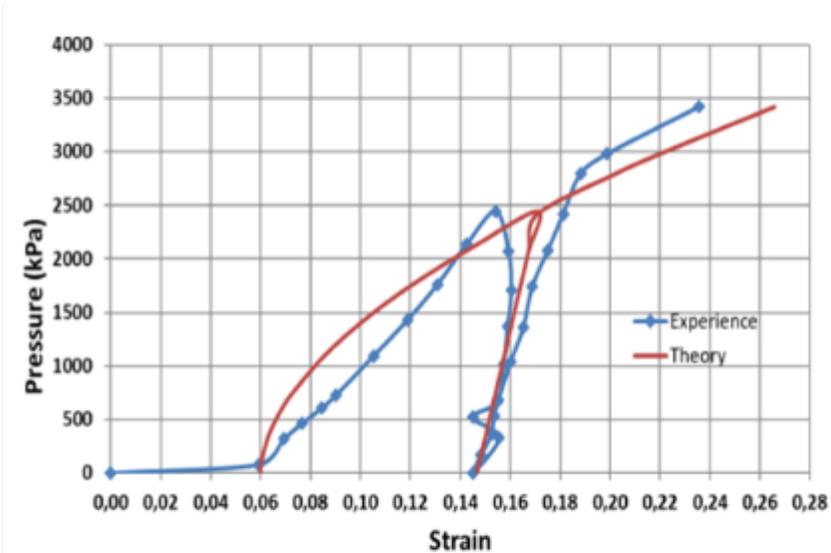
Forage	Prof. m	$\sigma_r$ cm <sup>3</sup> (32)	$\sigma_{vD}$ cm <sup>3</sup> (33)	$\sigma_{vS}$ cm <sup>3</sup> (34)	a cm <sup>3</sup> /kPa (18)-(27)	$\sigma_a$ cm <sup>3</sup> /MPa	$E_M$ MPa (11)	$\sigma_{EM}$ MPa (52)	Erreur relative %	Tolérance MPa (4)	$E_{ExpMoy}$ MPa	$\sigma_{exp}$ MPa
A	29	1.2	1.7	5.8	3,380	0.1891	152,3	1.4	0.8	4,0	133	13,3
B	21	1.8	2.6	6.7	3,470	0.2793	21.6	0.2	2,2	1,3	24	4,4
B	22	1.8	2.6	6.7	3,470	0.2793	20,6	0.6	4,9	2,7	21,8	5,35
E	1,5	0.4	0.7	4.8	1.411	0.1282	5.3	0.4	9,9	1,4	4,99	0,3

- ▶ Précision de  $p_{LM}$  (6) selon la loi de propagation (4) des erreurs pour la relation en inverse du volume :

$$\sigma_{p_{lm}} = \left\{ \frac{1}{A^2 \cdot (V_s + 2 \cdot V_1)^4} \cdot \sigma_{V_s}^2 + \frac{4}{A^2 \cdot (V_s + 2 \cdot V_1)^4} \cdot \sigma_{V_1}^2 + \frac{1}{A^4} \left[ B + \frac{1}{(V_s + 2 \cdot V_1)} \right]^2 \cdot \sigma_A^2 + \frac{1}{A^2} \cdot \sigma_B^2 \right\}^{0.5} \quad (6)$$

- ▶ La précision de  $p_{LM}$  dépend de la précision des grandeurs unitaires :
- ▶ Sur les essais types fournis par Fondasol, avec le processus A, B ou C de type lecture visuelle la précision reste **entre 0,1 et 32%**
- ▶ Il n'y a pas d'influence de la précision des mesures principales sur la précision de la pression limite

Forage	Profondeur <u>m</u>	$p_{LM}$ Ma (59)	$\sigma_{EM}$ MPa (63)	Erreur relative %	Tolérance MPa	$p_{LMMoy}$ MPa	$\sigma_{exp}$ MPa
A	29	15,4	5.2	32.4	13.8	11,2	2,19
B	21	3,9	0,1	1,3	0,1	3,8	0,29
B	22	3,1	0,2	0,1	0,1	3,0	0,34
E	1,5	0.74	0,01	0,1	0,1	0,77	0,06



L'évolution de la mesure pressiométrique corrigée permet :

- De mesurer l'angle de frottement :
  - Par la correspondance entre la pression limite théorique et celle corrigée.
  - Par la correspondance entre la courbe pressiométrique théorique et la courbe réelle.
  - La précision de la mesure de  $\Phi'$  est proche de  $1,5^\circ$ .
- De mesurer le module d'élasticité moyen sur le cycle

*NB : L'interprétation standard procède par corrélation entre la pression limite et la friction avec une erreur plus grande et sans correction de mesure.*

Les contributions de Gaiatech incluent :

- La détermination de la correction de membrane ( épaisseur et forme)
- La détermination de la précision liée aux grandeurs mesurées au pressiomètre ( $E_M$ ,  $E^e$ ,  $p_{LM}$ )

Les bénéfices pour le projet ARSCOP :

- Une réduction de la dispersion des mesures et homogénéisation des résultats obtenus avec des sondes différentes,
- Une mesure de la précision des résultats pressiométriques,

Perspectives :

- En optionnel il est possible de déterminer l'angle de frottement du sol, directement par superposition de la courbe expérimentale corrigée et de la courbe théorique pressiométrique (Monnet, 2012)

Merci de votre attention