



Hommage à Pierre Foray

Interprétation des CPTs à faible profondeur dans des sables et corrélation avec des données géophysiques

Elisabeth Palix

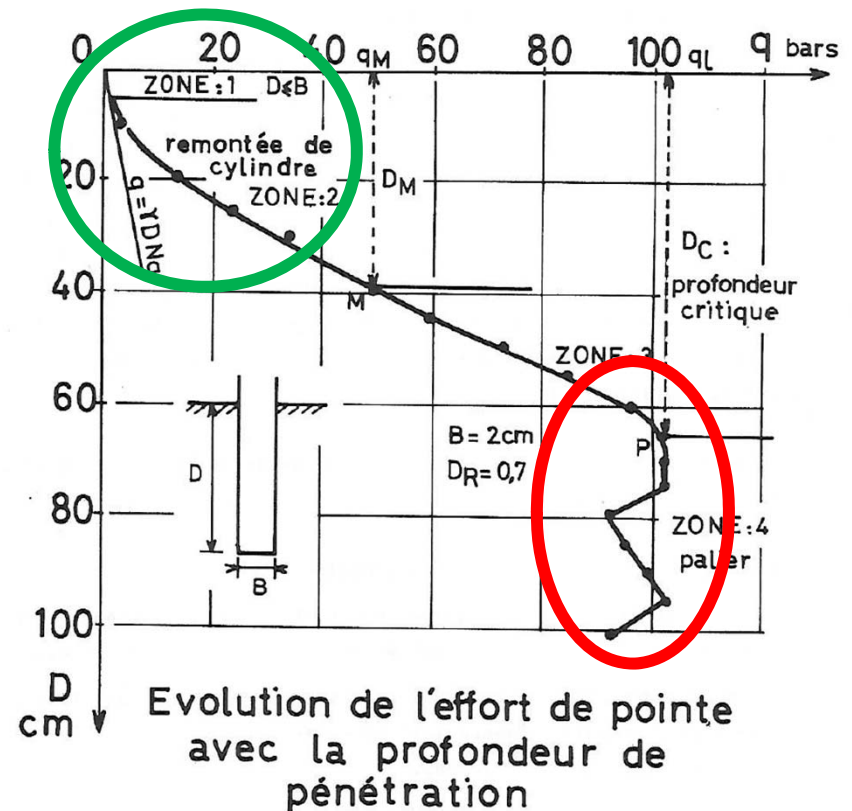
27 Janvier 2015

1970-1975 Les essais en grande cuve

Thèses Foray (1972) et Puech (1975)

Deux zones principales

- **Faible profondeur:**
 - ✓ croissance parabolique de q_c ;
 - ✓ remontée de cylindre de sol (matériau incompressible)
- **Grande profondeur:**
 - ✓ palier de q_c
 - ✓ rôle de la compressibilité



Nouveau défis: comment prédire les efforts de charriage de câble sur des milliers de kilomètres?

- Fin des années 90: marché des routes de câbles de télécommunication en expansion fulgurante.



- Câbles ensouillés (0.5 à 1m) sur le plateau continental et jusqu'à 800m de profondeur d'eau: reconnaissances sur plusieurs milliers de km pour prévoir conditions d'ensouillage (type de machine, vitesse d'avancement, etc.)

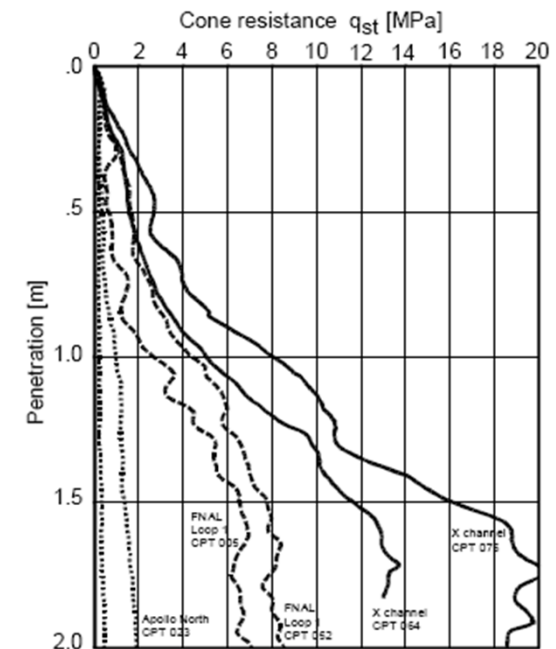
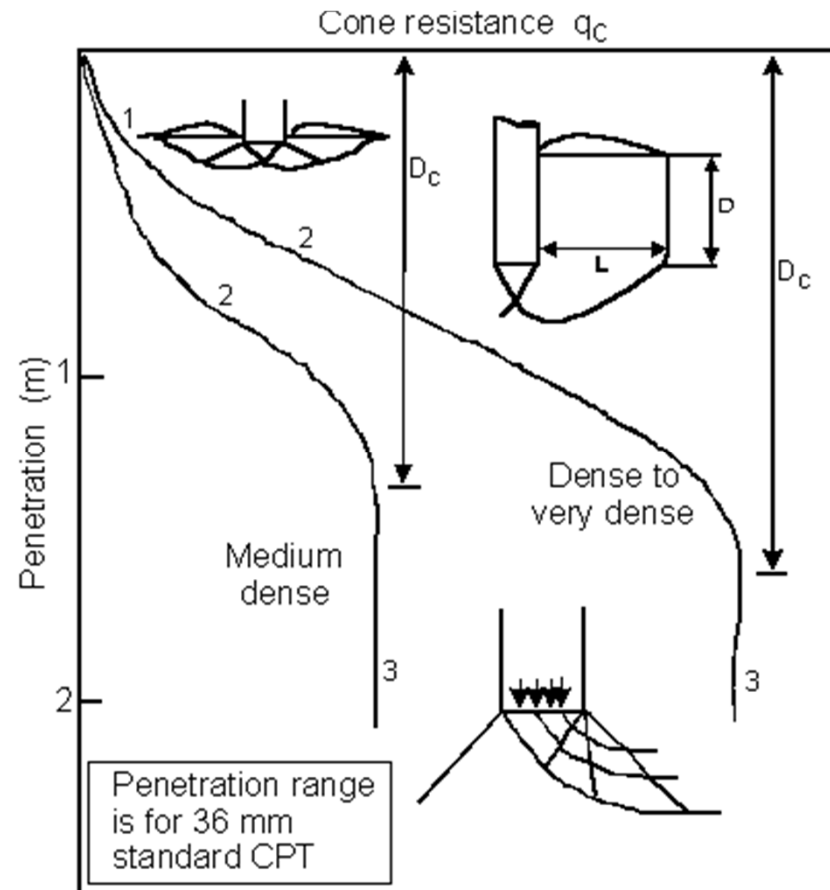


Fig. 1: Typical cone resistance profiles obtained at shallow penetration in marine sands

Effet de la pression de confinement sur l'évolution du schéma de rupture sous la pointe avec la profondeur

- Pénétrations en milieu homogène

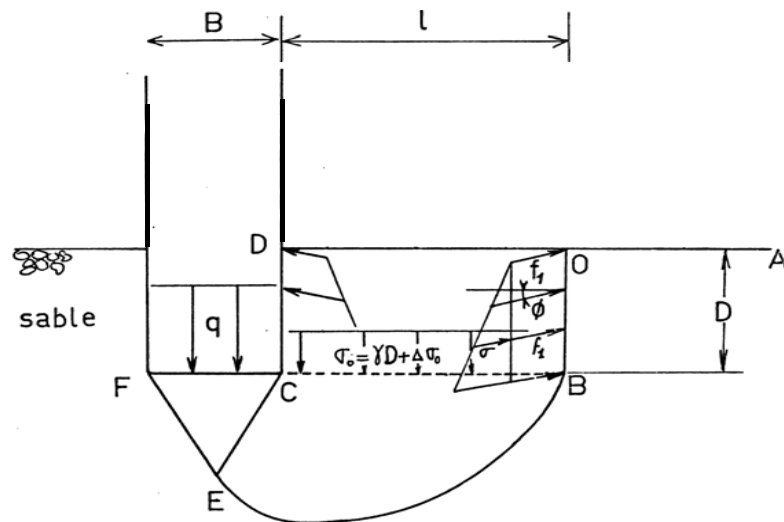


- A faible profondeur, les contraintes sont faibles, on a un mécanisme de refoulement latéral (dilatance)
- Lorsque la profondeur augmente, le sol sous la pointe commence à se comprimer, d'où un refoulement partiel
- A grande profondeur, mécanisme de poinçonnement (expansion de cavité)
- Le passage au régime des grandes profondeurs peut être relié à la pression critique

Modèle conceptuel

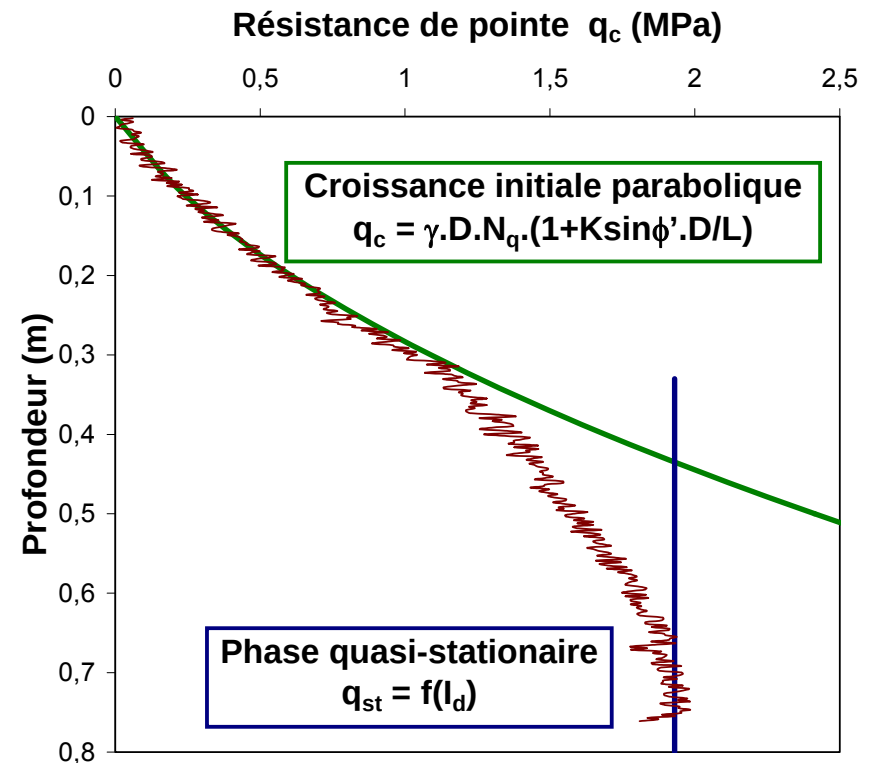
Modèle de capacité portante de Biarez & Grésillon (1972)

- Schéma de rupture avec remontée d'un cylindre de sol



$$q_c = f(\phi', K, B, D^2)$$

- Croissance parabolique
- Influence du diamètre du cône



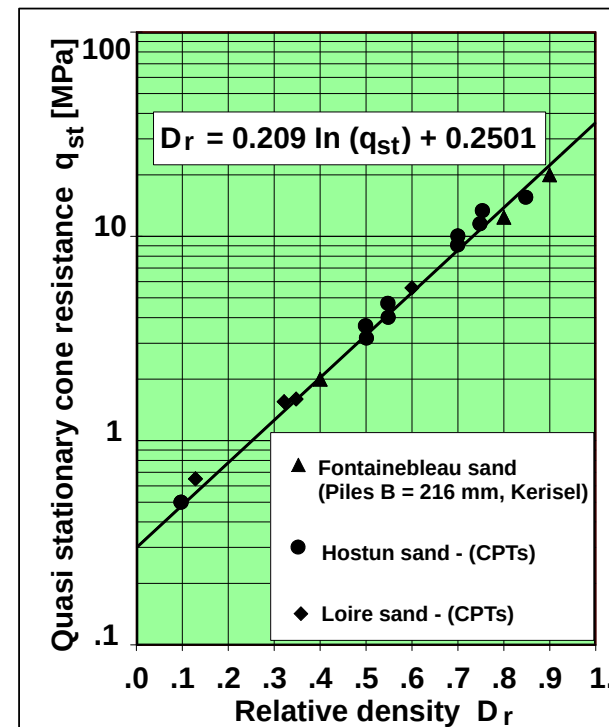
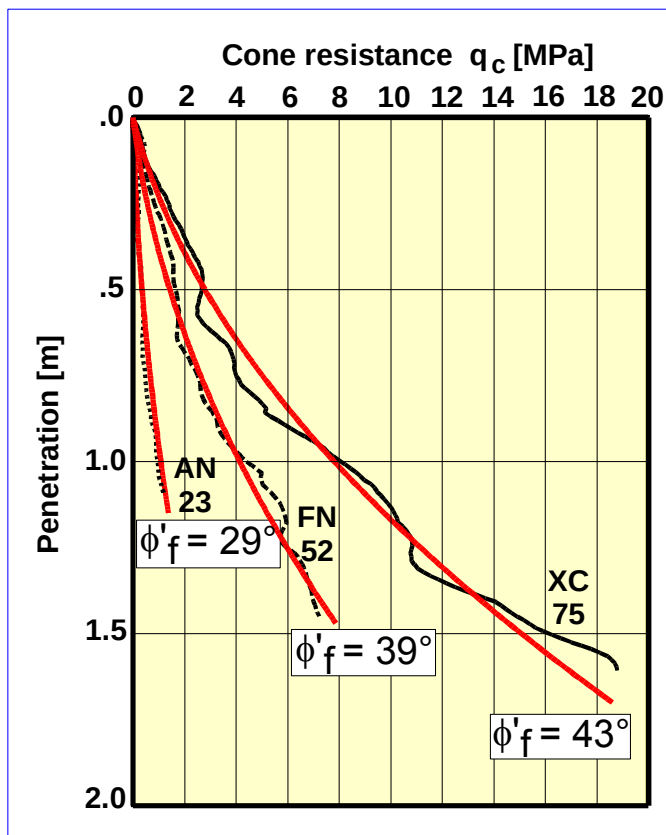
$$q_c \rightarrow \phi'$$

Refined Model for Interpreting Shallow Penetration CPTs in Sands

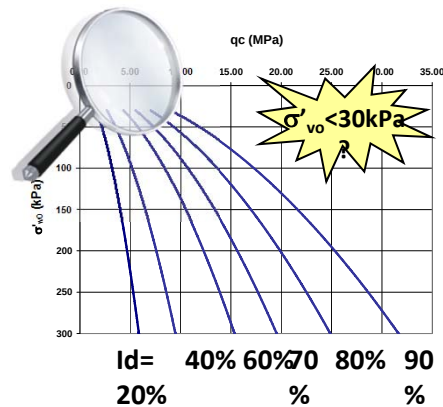
Alain PUECH & Pierre FORAY



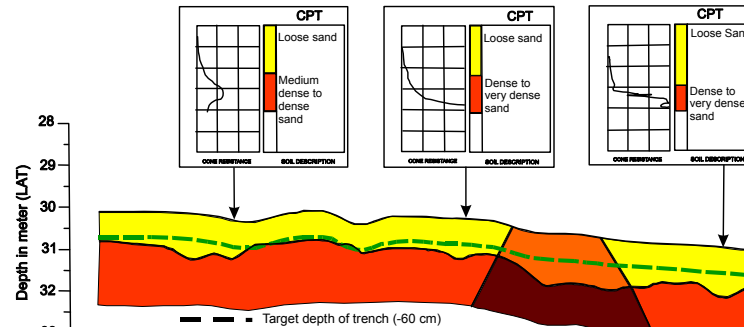
Houston, May 2002



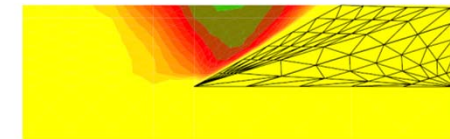
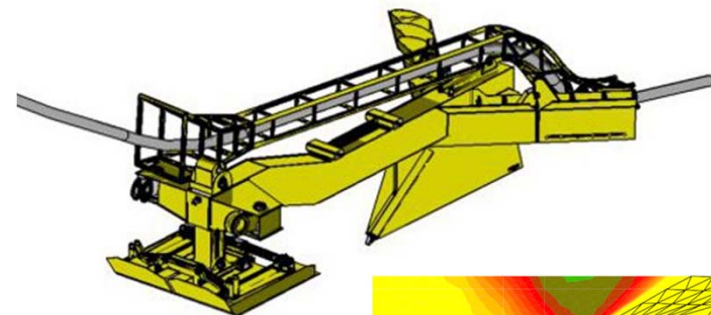
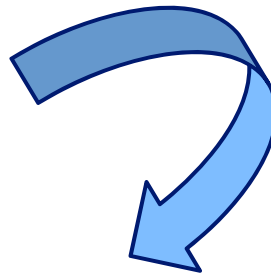
Thèse de Mark Emerson: Corrélations entre données géotechniques et géophysiques à faible profondeur dans des sables



Comment faire le lien entre le modèle hyperbolique de surface et le modèle Jamiolkowski à plus forte profondeur?



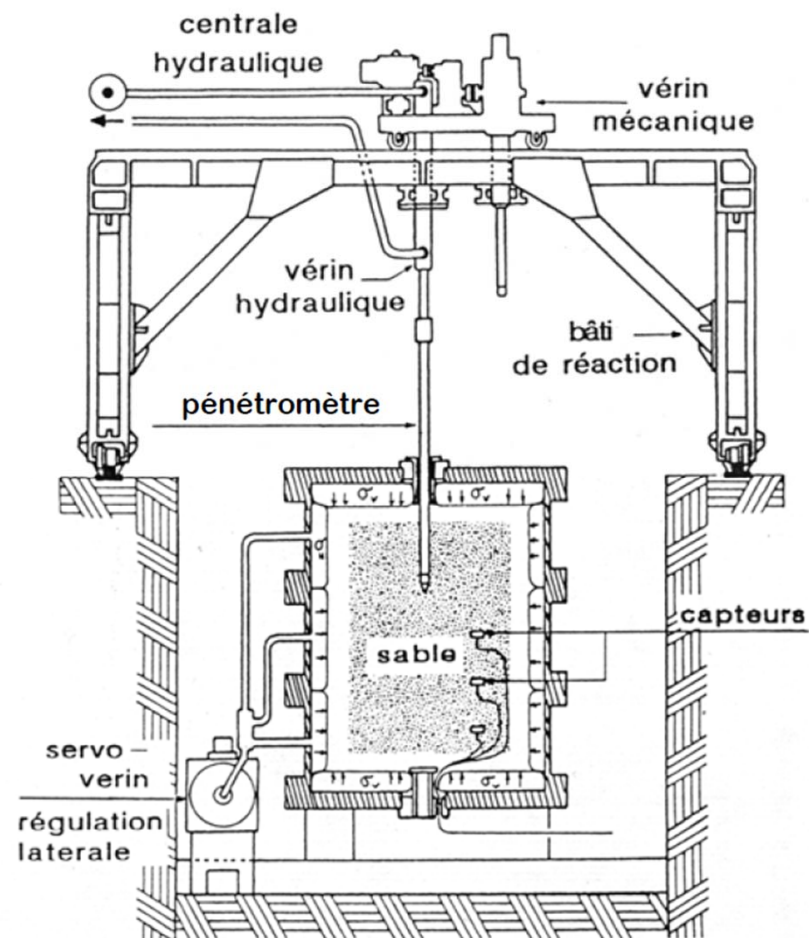
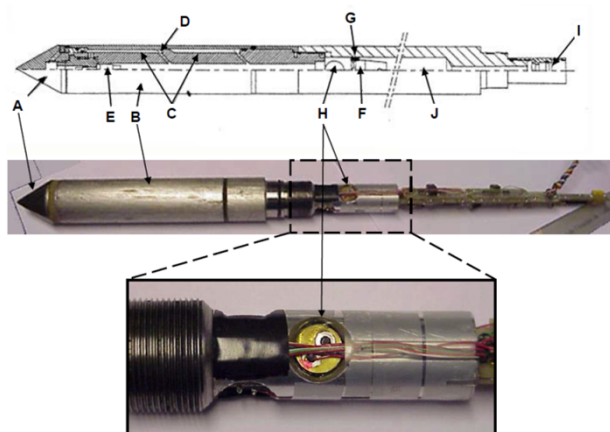
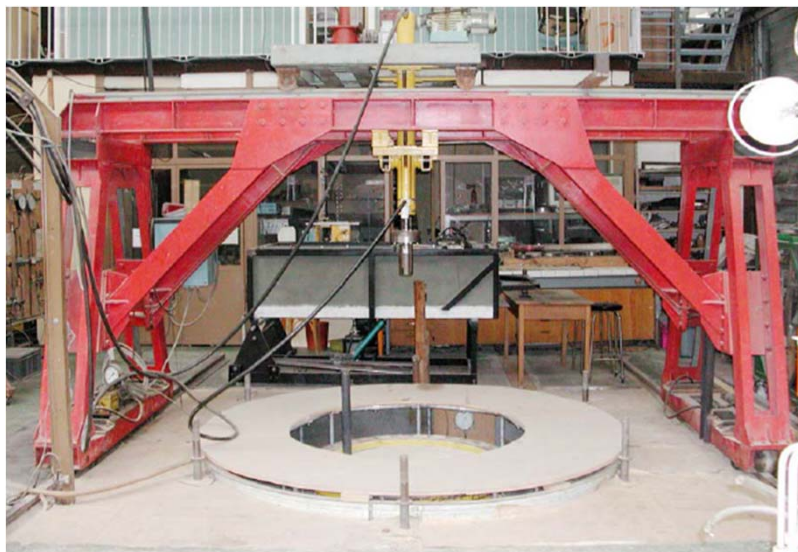
Comment passer de mesure discrètes de CPTs à un modèle géotechnique continu le long d'une route de câble ou de pipeline?



Comment prédire l'effort de charriage en fonction du q_c ?

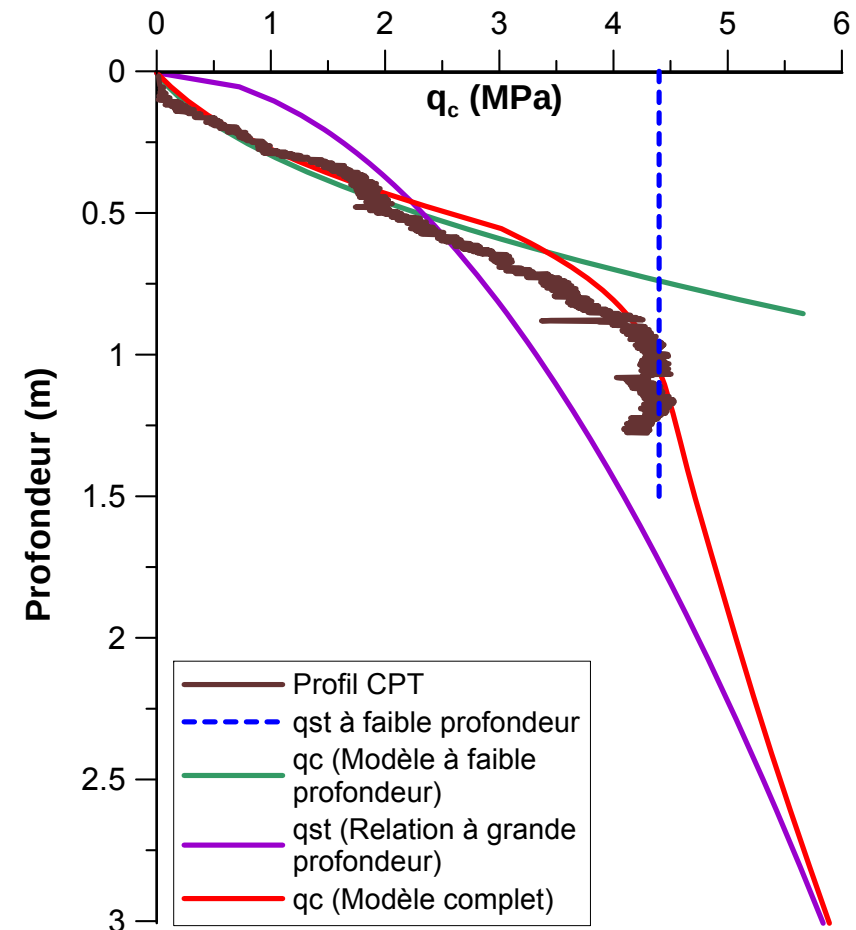
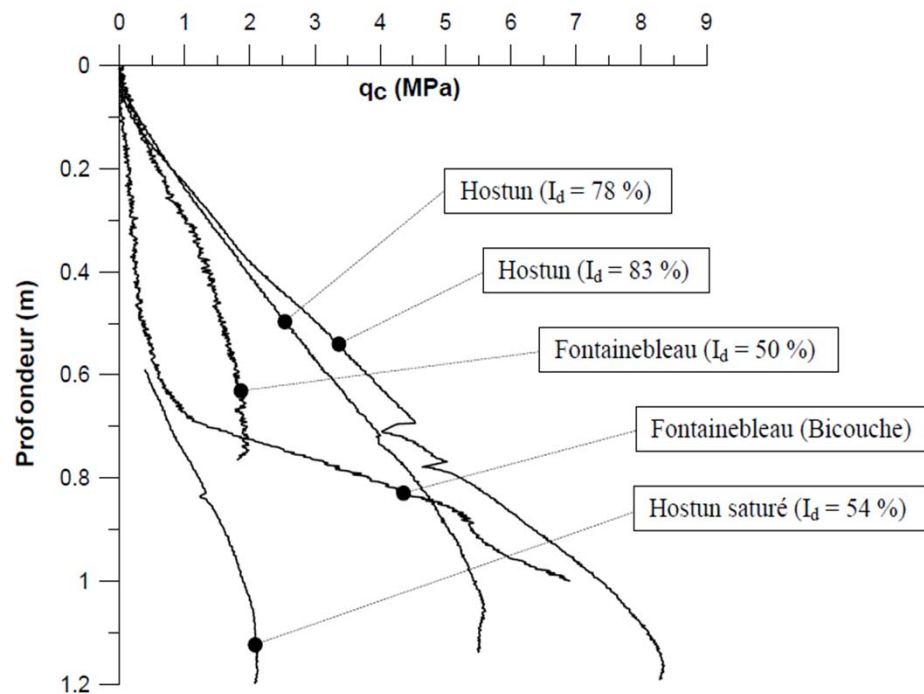


Dispositif experimental

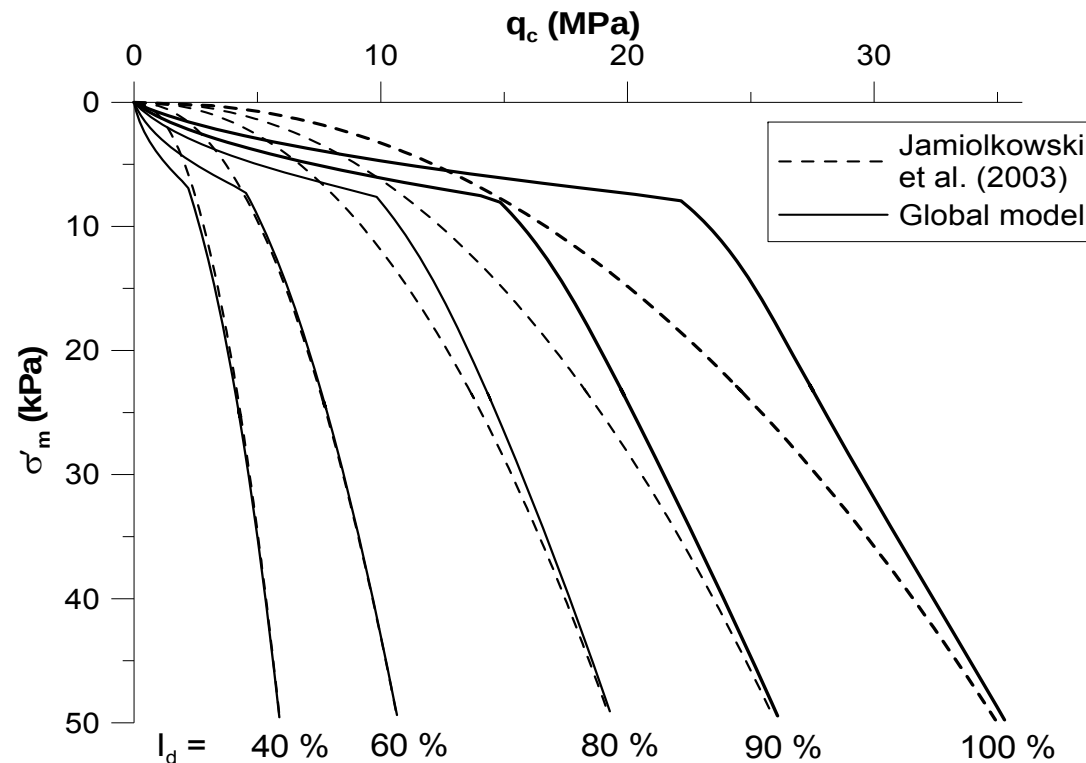


Modèle complet (Emerson et al 2008)

- Deux types de sables: Hostun et Fontainebleau
- Essais en milieux sec et saturé
- Densité relative entre 40 et 88%
- 14 campagnes d'essais CPT



Modèle complet (Emerson et al 2008)



$$q_c = \min \left[\gamma' z N_q \left(1 + \frac{K \sin \phi'}{L} z \right), F \cdot q_c (\text{Jamiolkowski et al.}) \right]$$

$$F = 1 - (R_C - 1) \exp \left(\frac{\sigma'_{m \text{ crit}} - \sigma'_m}{11} \right)$$

$$\sigma'_{m \text{ crit}} = \frac{(1 + 2K)}{3} \gamma' z_{\text{crit}}$$

$$\frac{z_{\text{crit}}}{\sqrt{d_C \cdot d_{C0}}} = 9.579 \ln \left(\frac{q_{\text{st}}}{\gamma' \cdot d_{C0}} \right) - 59.4$$

$$\phi' = 4.26 \ln(q_{\text{st}}) + 30.1$$

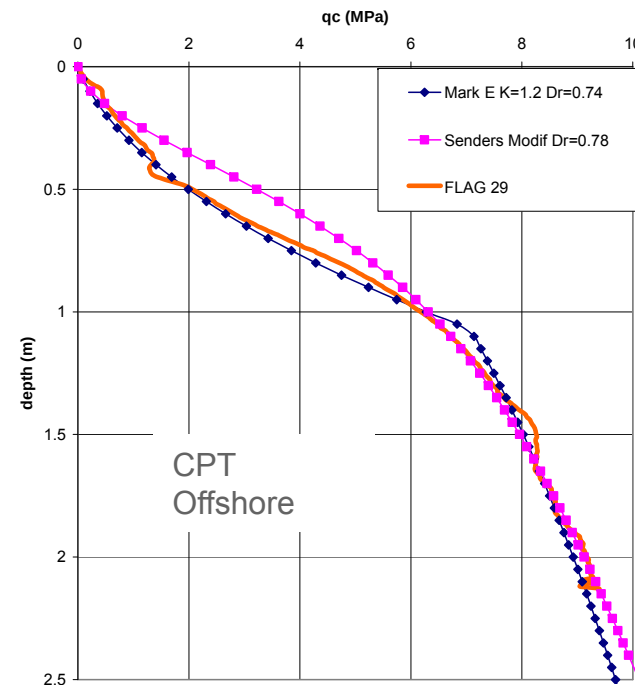
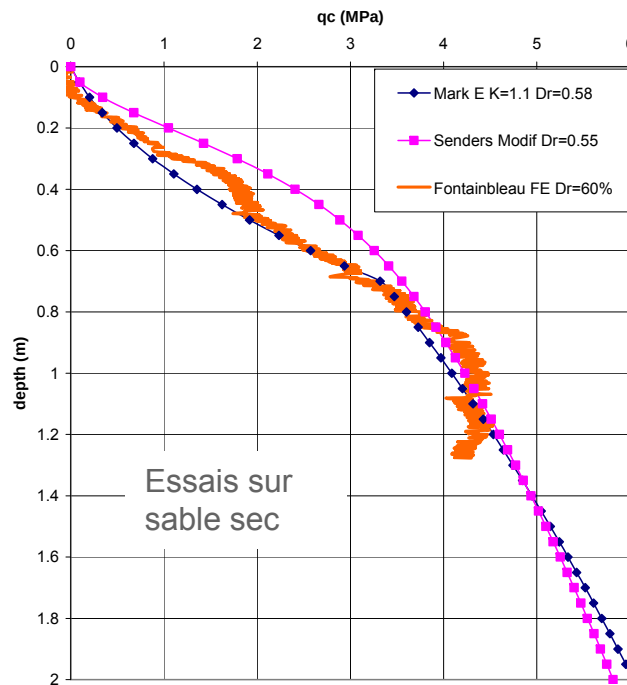
Calibré à la fois sur des essais en chambre de calibration et des essais offshore

Mais formulation compliquée basée sur des relations empiriques

Emerson (2008) vs Senders (2010) (modifié Jamiolkowski, 2001)

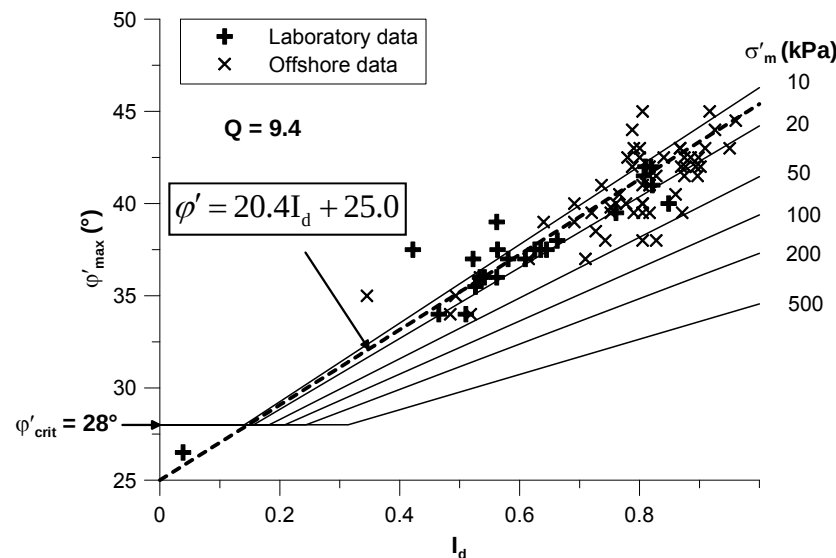
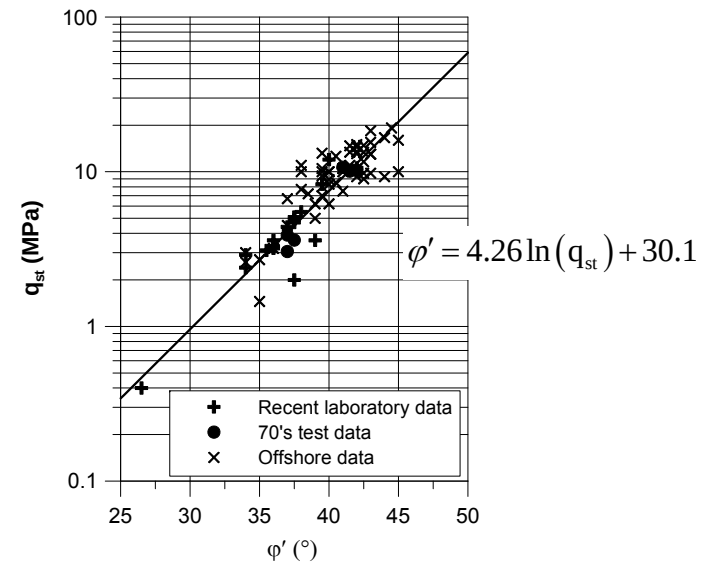
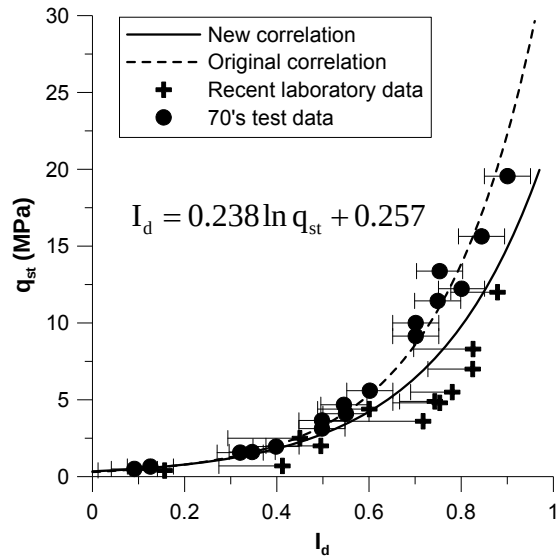
Formulation proposée par
Senders en 2010

$$q_c(z) = 22.5 \left(\frac{\sigma'_m}{p_a} \right)^{-0.5} e^{2.93 D_r} \sigma'_m \left(1 - e^{-\left(\frac{z}{d_{cone}} \frac{0.095 \left(\frac{\sigma'_m}{p_a} \right)^{0.5}}{D_r^2} \right)} \right)$$



Formulation plus simple proposée par Senders en 2010, mais le modèle de Mark Emerson rend mieux compte de la forme hyperbolique initiale

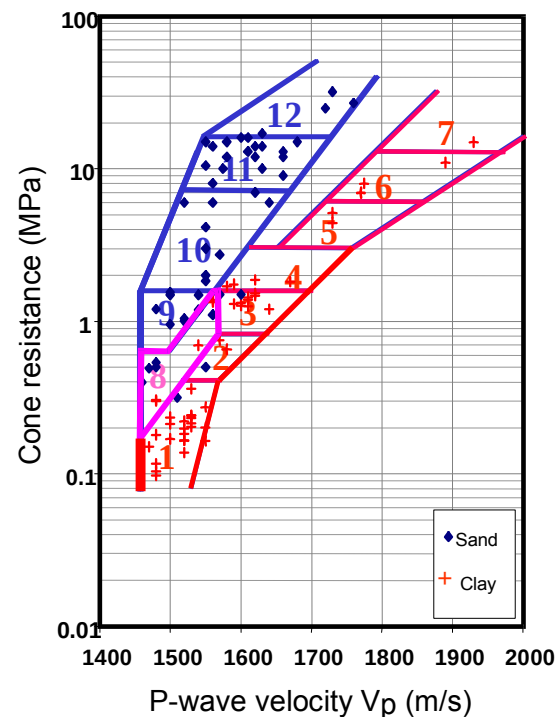
Mise à jour des corrélations entre q_{st} – Dr – Φ' (sables normalement consolidés)



très bonne correspondance
avec l'équation de
dilatation de Bolton (1986)
pour $\sigma'_m = 13$ kPa

Corrélations entre qc et vitesses sismiques : Paradoxe scientifique?

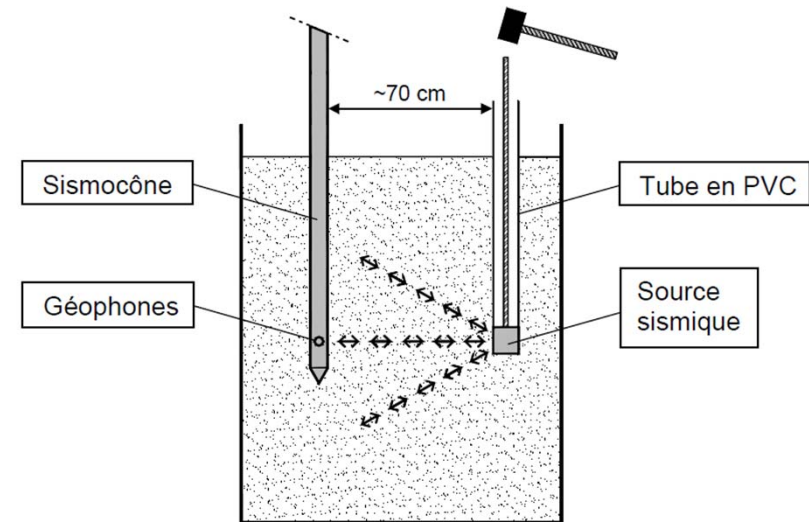
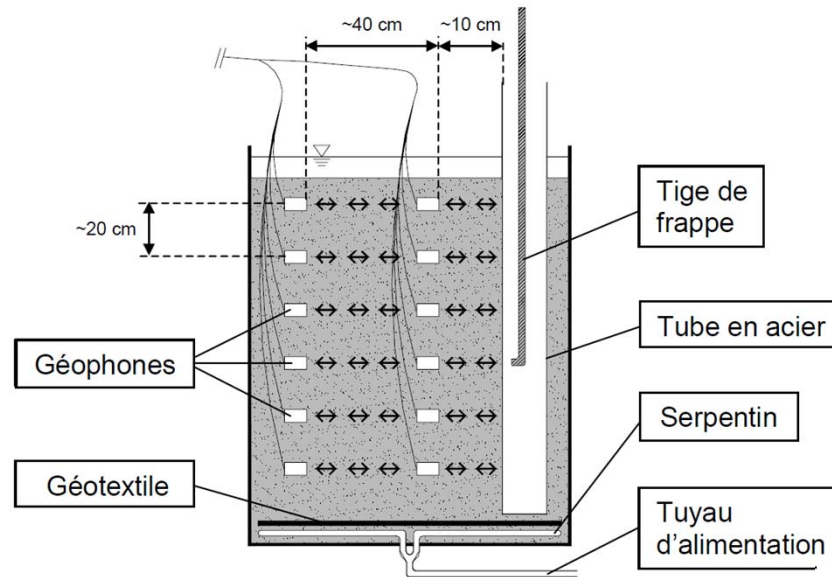
- CPT engendre des grands déplacements versus ondes sismiques induisant une très faible déformation ($\epsilon < 10^{-5}$)
- le fait que G_{max} et la résistance de pointe dépendent des mêmes paramètres essentiels, contrainte effective et densité, signifie que des corrélations sont possibles et, bien qu'il s'agisse de deux domaines de déformations opposés, un fondement scientifique existe pour justifier les corrélations.



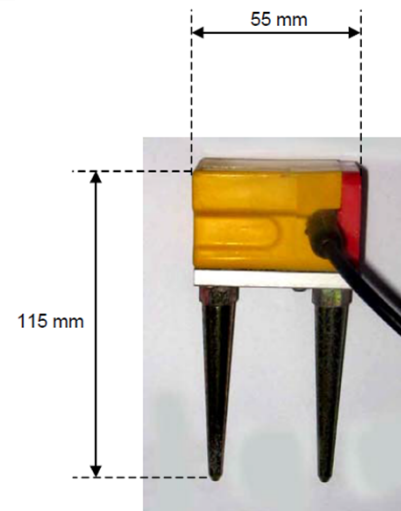
une corrélation semble exister offshore entre résistance au cone qc et onde V_p obtenue par le système Gambas (sismique-réfraction)



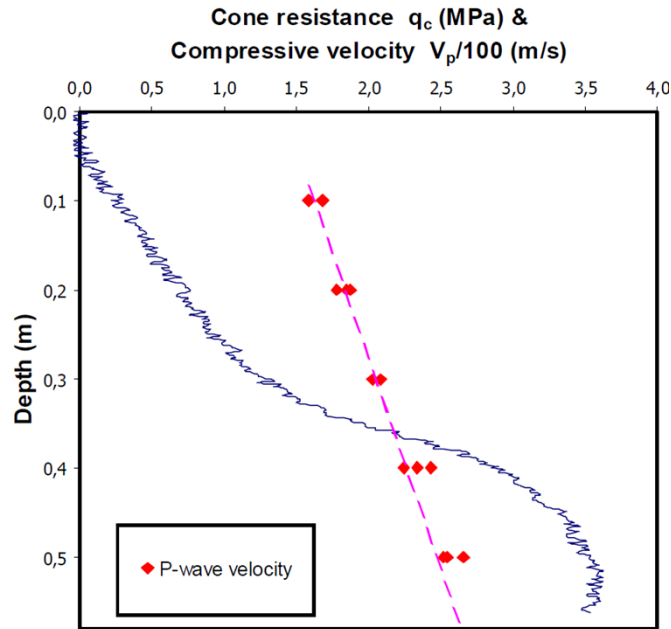
Dispositif expérimental: mesure des ondes VP



12 Géophones à fréquence naturelle de 50 Hz ont été placés dans le massif



Correlation Vp – qc sur sable sec



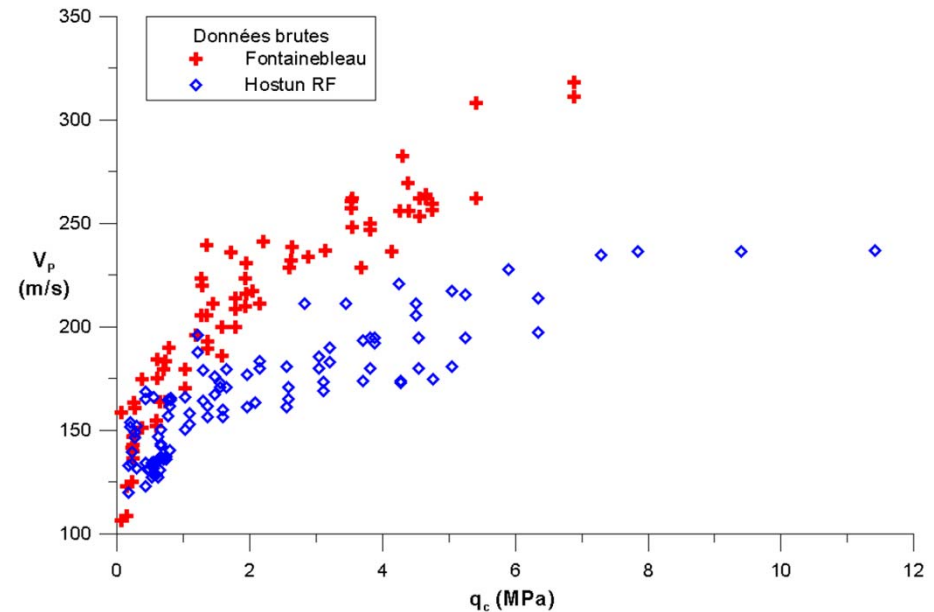
Résultat inattendu en milieu sec:

Différence d'évolution de vitesses dans les deux types de sable à la même densité relative.

=> les paramètres imposés (compaction, état de contrainte) ne sont pas les seuls facteurs qui interviennent dans les vitesses de propagation d'ondes sismiques dans un milieu pulvérulent à faible profondeur.

Résultats difficiles à interpréter en milieu saturé:

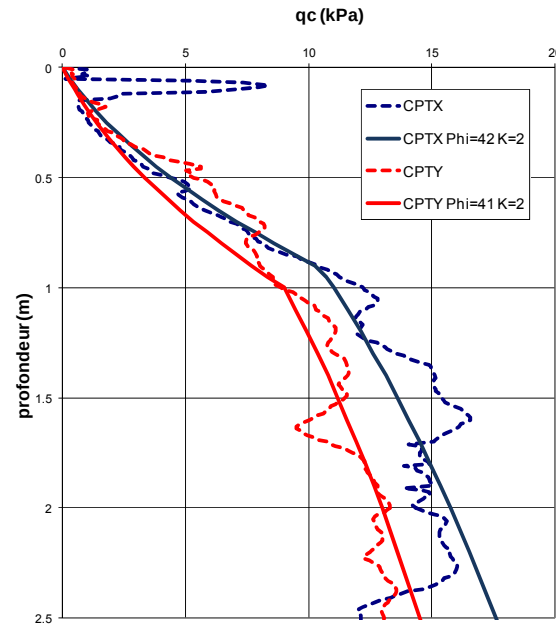
les vitesses d'ondes de compression ne changent significativement par rapport à celles mesurées en milieu sec que lorsque le degré de saturation est très élevé



Présent et futur

Juillet 2014

quelque part sur les côtes
françaises



Vitesses V_p de 1900-2000 m/s plutôt
élevées pour un sable!

Une faible cimentation susceptible d' être
peu visible après récupération (matériau
écrasable à la main) peut peut-être
expliquer des vitesses de 1800 voir 1900
m/s

2015 et après...

Il reste encore beaucoup de pistes à explorer:

- Confirmer l'application de la méthode au sols surconsolidés
- Qu'en est-il des sables carbonatés?
- Quel incidence sur la détermination du potentiel de liquéfaction?
- ...