

Les essais de pénétration statiques
APPLICATION À LA RECONNAISSANCE
ET
PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES

Henri C. van de Graaf

LANKELMA GEOTECHNIEK
Pays-Bas
Les spécialistes du pénétromètre statique

Sujets:

- 
- La place du pénétromètre dans d'autres pays
 - Histoire du pénétromètre en dehors de La France
 - Comparaison entre la nouvelle norme CEN et les normes AFNOR
 - Applications spéciales: essais non-verticaux
 - Paramètres et correlations

Pays, region	Utilisation estimative du CPT (pénétromètre statique) pour			CPT en % du budget de la reconnaissance in-situ et des sondages
	Identification des couches pénétrables	Paramètres des couches molles	Force portante des pieux	
Belgique, Pays-Bas	95%	10%	100%	80%
France	15%	10%	5%	2%
Scandinavie	60%	70%	80%	40%
Angleterre	40%	30%	20%	20%
Allemagne	5%	5%	20%	10%
Europe méridionale	5%	5%	10%	5%
Ameriques	5%	10%	10%	5%
Asie	20%	30%	20%	15%

Ces pourcentages sont commandés non seulement par la nature du sol, mais également par la tradition des pays et regions.

Aux Pays-Bas 10.000 ml de CPT / jour, rien que pour le bâtiment (maille de 25 m)

HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

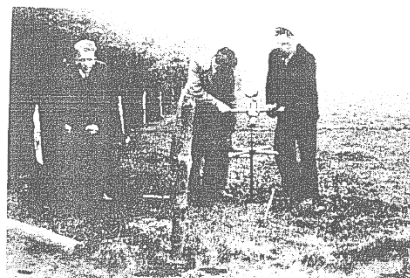
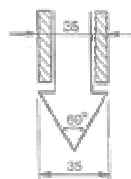
1931 Pays-Bas Pénétromètre statique

Poussée directe 800 N (poids de l'homme)

Barentsen

Pointe "simple"

OLD TYPE DUTCH CONE
(FROM SANGLERAT, 1972)



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1935 Pénétrromètre statique lourd

Crique actionnée à la main Poussée 100 kN

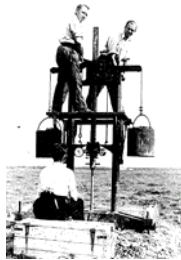
Pointe "simple"

Mesure de la poussée totale pour obtenir le parameter frottement latéral

Réaction par plancher sousterrain lesté

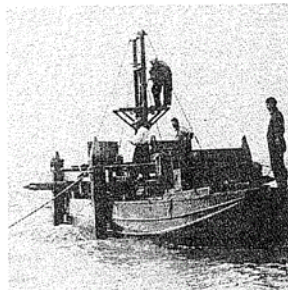
3 jours pour un seul essai

Vitesse max. attent à 100 kN: 2 cm/s"

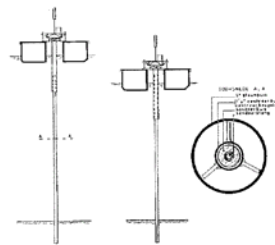


HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1937 Premier essai sur l'eau (Huizinga)



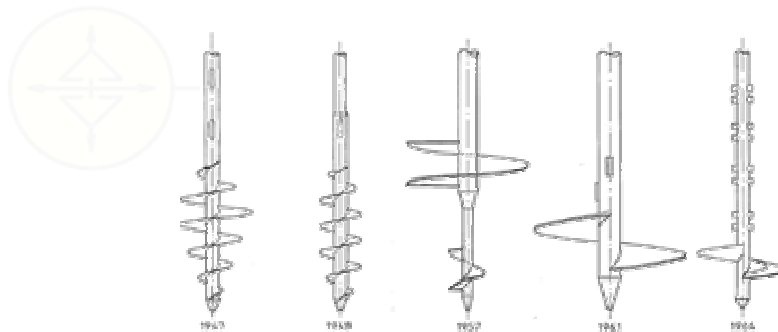
Figuur 33. Het eerste sonderingsvaart op het IJsselmeer
Figure 33. The first cone penetration barge on the IJsselmeer



Figuur 34. Telescopische boortuist met centertuist
Figure 34. Telescopic drilling casing with wing casing (centralland)

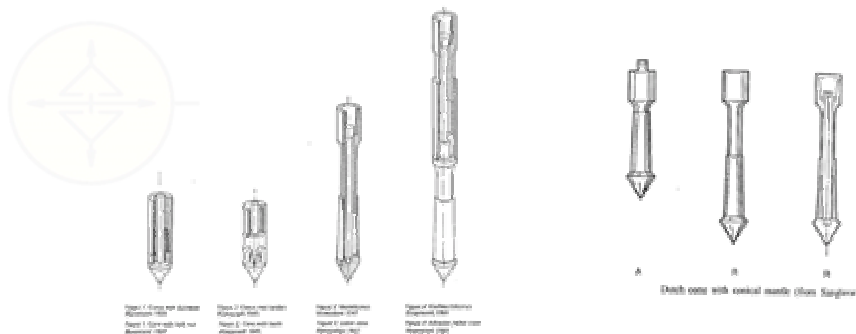
HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1948 Tarières d'ancrage au sol



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1948 Pointe à manchon (Vermeiden)



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1948 Vérin monté sur remorque lourd



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

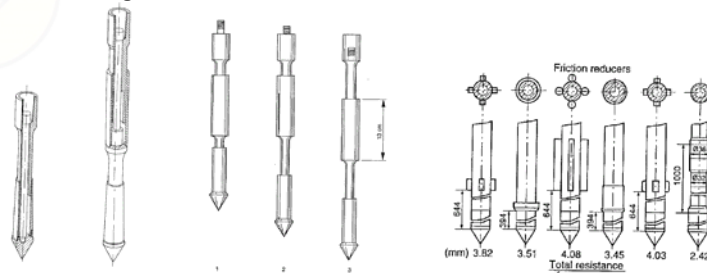
1948 Pointe électrique expérimentale qc (Bakker, Ville de Rotterdam)

1953 Pointe à manchon de frottement (Begemann)

Indice de frottement > type de sol

Plus besoin de mesure de poussée

Possibilité d'utiliser le destructeur de frottement en bas des tiges pour aller plus loin à 100 kN



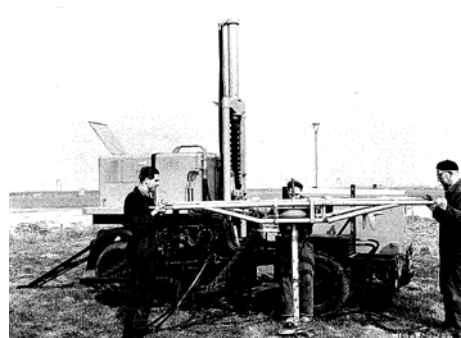
Begemann-type cone with friction sleeve (Dress Tanglefoot, 1972)

Five types of friction reducers used by Delft, Soil Mechanics Laboratory (after de Gouff and Vermeulen, 1988).

HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1957 Pointe électrique expérimentale $q_c + f_s$ (GEODELFT)

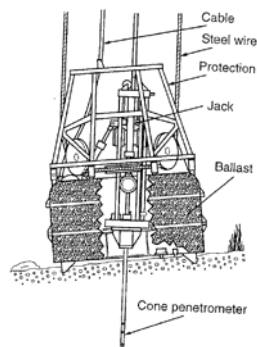
1958 Vérin hydraulique 100 kN, montée sur camion



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

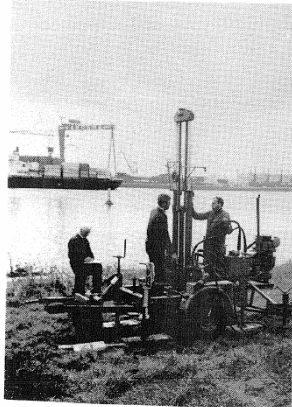
1965 Pointe électrique routine Fugro

1970 Vérin télécommandé submersible pour offshore Zuidberg



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1970 Vérin, poussée 200 kN (Gouda)



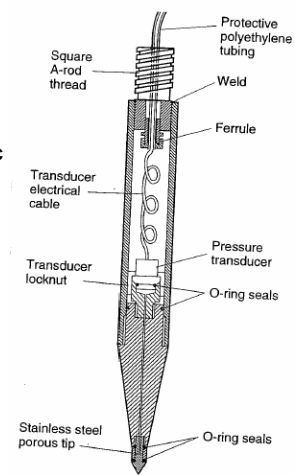
Figuur 26. Los extra zwaar sondeerapparaat (200 kN)

HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1971 Inclinomètre (De Ruiter)

1974 Piézocone

Mesure du u sous l'effort, sans qc
Norvège: Janbu et Senneset
EU: Schmertmann



The Wissa piezometer probe (from Wissa *et al.* 1974).

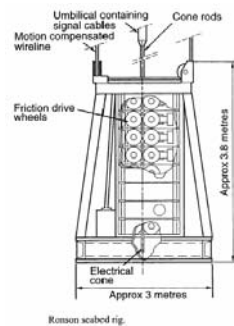
HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1975 Suède: Essai de dissipation, Torstensson
 1975 Suède: Pénétration sans interruption BORROS
 1980 Canada: Mesure du qc, fs et u (Roy)
 1980 Suède: Transmission des signaux de mesure sans fil
 (signal acoustique par les tiges)
 1982 Suède: Point à memoire (Elmgren)



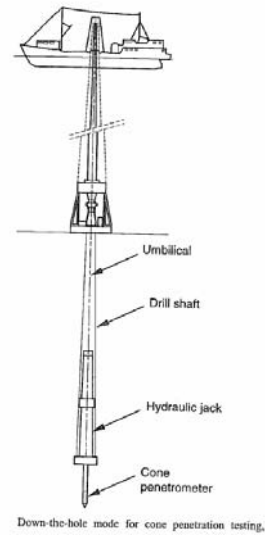
HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1983 Pays-Bas: Pénétration sans interruption ROSON (Van de Berg)



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1985 Pénétromètre fond de trou offshore WISON (Zuidberg)



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1990 Camion-chenillard (Van den Berg)



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

1995 Mini-pointe (Power, Geise)

Surface 1 à 5 cm²

Avantage: peu de poussée



HISTOIRE DU CPT À L'ÉTRANGER

2003 Transmission de données par optique



COMPARAISON ENTRE LES DEUX NORMES

**Nouvelle norme CEN prEN ISO 22476-1
POINTE ÉLECTRIQUE ET PIÉZOCÔNE**

**Face au
NF P 94-119 de décembre 1995
(la première norme du monde sur le piézocône)**



EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

DRAFT
prEN ISO 22476-1

January 2005

ICS

English version

Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 1:
Electrical cone and piezocene penetration tests (ISO/DIS
22476-1:2005)

Recommandation de norme géotechnique - Essais en place
Part 1: Essais de pénétration de pointe électrique et de piézocône (ISO/DIS 22476-1:2005)

This draft European Standard is submitted to CEN members for possible enquiry. It has been drawn up by the Technical Committee
ISO/TC 247.

It may also become a European Standard. CEN members are invited to submit comments to the CEN/ISO/JTC 1 secretariat, which will
forward them to the ISO/JTC 1 secretariat for consideration.

This draft European Standard was submitted to CEN in three official versions (English, French, German). A version in any other language
may be translated under the responsibility of a CEN member into one language and subject to the Management Centre for the draft
being used in the official version.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France,
Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia,
Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

Warning: This document is not a European Standard. It is distributed for review and comments. It is subject to change without notice and
shall not be referred to as a European Standard.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPEAN STANDARD FOR NORMALIZATION

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

© 2005 CEN. All rights of reproduction in any form and by any means reserved
without the prior written permission of CEN National Members.

Ref No: prEN ISO 22476-1:2005 B

norme française
HOMMAGE DE L'ÉDITEUR

REÇU LE 26 NOV 1995
G. M. N.
NFP 94-119
Décembre 1995
Niveau de consultation : P 94-119
ICS : 93.029

Essais : reconnaissance et essais
Essai au pénétromètre

E : Soil : Investigation and testing — Penetration test — CPTU
D : Boden : Erkundung und Prüfungen — Penetrometerversuch und Messung des Fuvorwiderstandes

Norme française homologuée
par décision du Directeur Général de l'AFNOR le 5 novembre 1995 pour prendre effet le 5 décembre 1995.

Correspondance À la date de publication du présent document, il n'existe pas de norme ou de projet de norme existante ou imminente sur le même sujet.

Analyse Le présent document traite de l'essai au pénétromètre qui mesure en place la pression interstitielle ainsi que les caractéristiques du sol comme dans un essai de pénétration statique. Il définit la terminologie, spécifie les caractéristiques de l'appareillage, fixe le mode opératoire et précise les résultats à présenter.

Descripteurs Théaurus International Technique : essai en place, essai de pénétration, cône, pression interstitielle, appareillage, mode opératoire.

Modifications

Corrections

États et diffusion des Résolutions Techniques de Normalisation (RTN), Tour Euro 2006 Paris La Défense Cedex — Tél. : (33) 1 41 91 19 11
© AFNOR 1995 AFNOR 1995 1^{re} édition 95-12

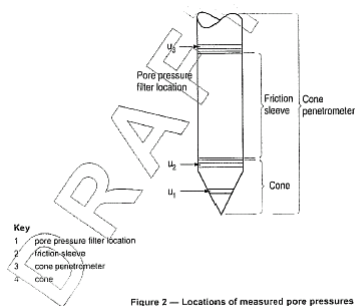


Figure 2 — Locations of measured pore pressures

COMPARAISON ENTRE LES DEUX NORMES

sujet	Norme NF P 94-119	Norme prEN ISO 22476-1	
Diamètre pointe	36 mm	Entre 25 et 50 mm	
Filtre	u_2	u_1 OU u_2	
vitesse	20 mm/s +/- 10%	20 mm/s +/- 25%	
Paramètres obligatoires	q_c	classe	paramètre
		1	q_c - f_s - u -inclin.
		2	q_c - f_s - u -inclin.
		3	q_c - f_s - u -inclin.
		4	q_c - f_s
Paramètres optionnels	u (fonçage) u (arrêt) Q_t f_s inclinaison	-	

COMPARAISON ENTRE LES DEUX NORMES

sujet	Norme NF P 94-119	Norme prEN ISO 22476-1	
Incertitudes		Suivant la classe	
profondeur	1%	1% ou 0,1 à 0,2 m	
paramètres	5% de la valeur mesurée ET 1% domaine de mesure	q_c	35 à 500 kPa OU 5% de la valeur mesurée
		f_s	5 à 50 kPa OU 10 à 20% de la valeur mesurée
		u	5 à 50 kPa OU 10 à 20% de la valeur mesurée
		inclin.	2 à 5 %

Table 2 — Application Classes

Application Class	Test type	Measured parameter	Allowable minimum accuracy ^a	Maximum length between measurements	Soil ^b	Use interpretation ^c
1	TE 2	Cone resistance	35 kPa or 5 %	20 mm	A	G, H
		Sleeve friction	5 kPa or 10 %			
		Pore pressure ^d	10 kPa or 2 %			
		Inclination	2°			
		Penetration length	0.1 m or 1 %			
2	TE1 TE2	Cone resistance	100 kPa or 5 %	20 mm	A B C D	G, H ^e G, H G, H G, H
		Sleeve friction	15 kPa or 15 %			
		Pore pressure ^d	25 kPa or 3 %			
		Inclination	2°			
		Penetration length	0.1 m or 1 %			
3	TE1 TE2	Cone resistance	200 kPa or 5 %	50 mm	A B C D	G G, H ^e G, H G, H
		Sleeve friction	25 kPa or 15 %			
		Pore pressure ^d	50 kPa or 5 %			
		Inclination	2°			
		Penetration length	0.2 m or 2 %			
4	TE1	Cone resistance	500 kPa or 5 %	50 mm	A B C D	G ^f G ^f G ^f G ^f
		Sleeve friction	50 kPa or 20 %			
		Penetration length	0.2 m or 1 %			

NOTE 1 Guidance on the use of Table 2 is given in Annex F.

NOTE 2 For extremely soft soils even higher demands on the accuracy may be needed.

^a The allowable minimum accuracy of the measured parameter is the larger value of the two quoted. The relative accuracy applies to the measured value and not the measurement type.

^b According to EN ISO 14688-2:

- A Homogeneously bedded soft silts, very soft (s) silty clays and silts (typically $q_c < 3$ MPa)
- B Mixed bedded soils with soft (s) silty clays (typically $q_c < 3$ MPa) and medium dense sands (typically 5 MPa $< q_c < 10$ MPa)
- C Mixed bedded soils with stiff clays (typically 1.5 MPa $< q_c < 3$ MPa) and very dense sands (typically $q_c > 20$ MPa)
- D Very stiff to hard clays (typically $q_c > 3$ MPa) and very dense coarse soils ($q_c > 20$ MPa)

^c G: probing and material identification with low associated uncertainty level

G^f: indicative profiling (pilot measurement) identification with high associated uncertainty level

H: interpretation in terms of design (with low associated uncertainty level)

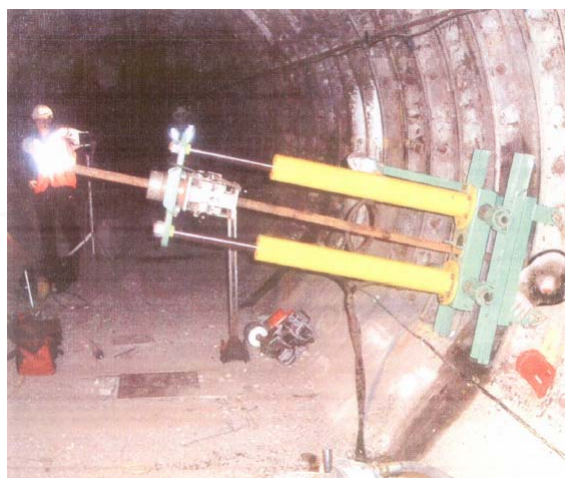
H^f: indicative interpretation (in terms of design) with high associated uncertainty level

^d Pore pressure can only be measured if TE2 is used.

ESSAIS NON-VERTICAUX

Une inclinaison forte de l'essai est en général un défaut.

Mais on peut dans certains cas en faire une qualité!



COMPARAISON ENTRE q_c VERTICAL ET q_c HORIZONTAL et ENTRE f_s VERTICAL ET f_s HORIZONTAL

(chambre d'étalonnage Université de Delft)

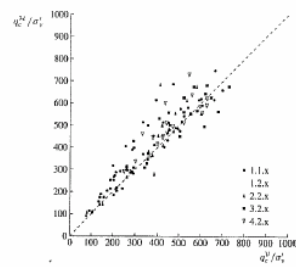


Figure 3.14: Normalised horizontal vs vertical cone resistance

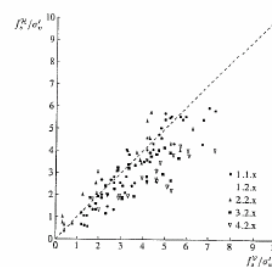


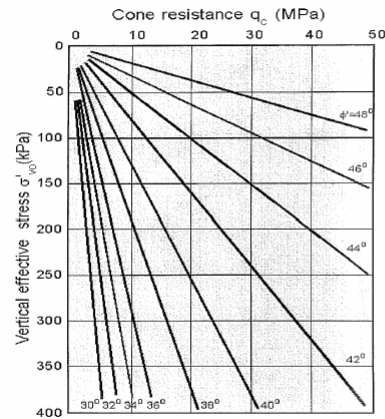
Figure 3.15: Normalised horizontal vs vertical sleeve friction

W. Broere, 2001

CORRÉLATIONS ET PARAMÈTRES



σ_v', q_c, ϕ' relationships



Based on
Calibration
Chamber
Data

From Robertson and
Campanella(1983)

ϕ' in sands

EXAMPLE :

Depth=10 m ; $q_c = 10$ MPa ; $\sigma_{v0}' = 70$ kPa ; $K_o = 0.4$; $\sigma_{mo}' = 42$ kPa

• $\phi' = f(D_r, \sigma_{mo}')$ gives $\phi' = 40^\circ$

Fig. 5.54

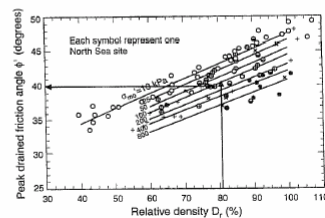
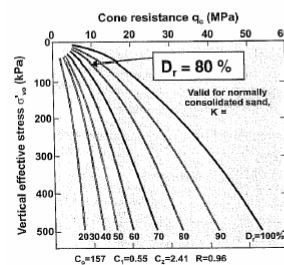


Fig. 5.54

CORRELATIONS BETWEEN CONE RESISTANCE AND CONSTRAINED MODULUS, M FOR SANDS

Rough estimate from calibration chamber tests:

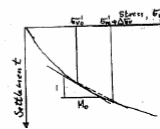
NC sands: $M_0 = 4 q_c$ $q_c < 10 \text{ MPa}$
 $M_0 = 2 q_c + 20 \text{ (MPa)}$ for $10 \text{ MPa} < q_c < 50 \text{ MPa}$
 $M_0 = 120 \text{ MPa}$ $q_c > 50 \text{ MPa}$
 OC sands: $M_0 = 5 q_c$ $q_c < 50 \text{ MPa}$
 $M_0 = 250 \text{ MPa}$ $q_c > 50 \text{ MPa}$

Ref. Lunne and Christophersen (1983)

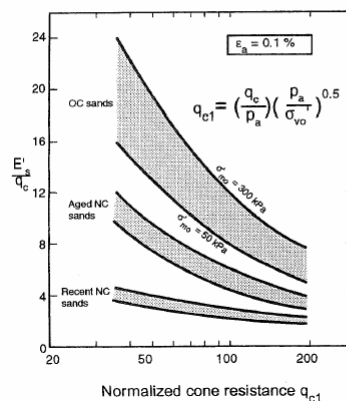
M_0 is tangent modulus at in situ stress conditions, σ_{v0}' .
 Tangent modulus applicable for stress range $\sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v'$
 is given as:

$$M = M_0 \sqrt{\frac{(\sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v')/2}{\sigma_{v0}'}}$$

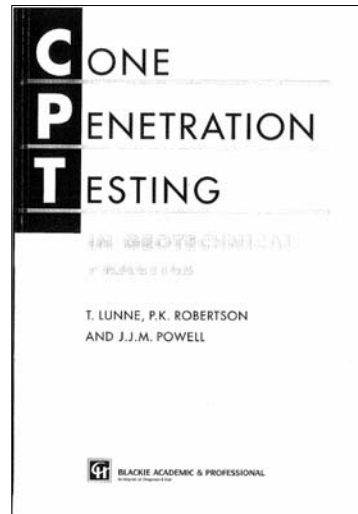
Ref. Modulus concept by Janbu(1969)



Evaluation of drained Young's modulus from CPT



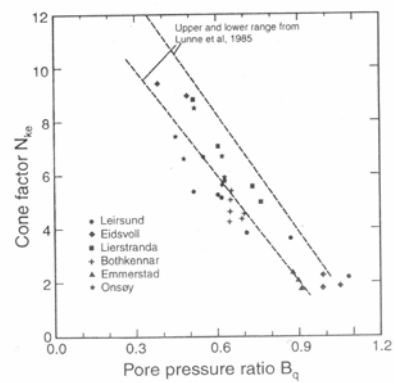
From Baldi et al. (1989)



$$S_u = \frac{q_{\text{effectif}}}{N_{ke}} = \frac{q_t - u_2}{N_{ke}}$$

S_u = résistance au cisaillement non-drainée

N_{ke} = coefficient



CORRÉLATIONS CPT - Pressiomètre Ménard

Dans la littérature on trouve très peu:



Argile	:	$q_c = 3 \times P_{\text{limite}}$
	:	$q_c = 10 \text{ à } 15 \times s_u$
Sable	:	$q_c = 10 \text{ à } 15 \times P_{\text{limite}}$
	:	$q_c = 15 (\tan \varphi) 1,75 \times P_{\text{limite}}$

PRUDENCE AVEC CES CORRÉLATIONS

Elles sont souvent basées sur 1 ou 2 sites seulement!
A valider sur chaque site voire pour chaque formation géologique



LE PÉNÉTROMÈTRE STATIQUE GAGNE DE LA VALEUR EN LE
MARIANT À D'AUTRES MÉTHODES (PRESSIOMETRE,
SCISSOMETRE, ESSAIS AU LABO)



MERCI

Pour votre attention!