

Directives pour l'application de l'Eurocode 7 en Belgique

Partie 1:

*Dimensionnement
géotechnique à l'état
limite ultime de pieux
sous charge axiale de
compression*



Directives pour l'application de l'Eurocode 7 en Belgique

- *Il s'agit d'un document collectif rédigé par un groupe de travail où sont représentés toutes les personnes ayant un avis motivé et dont l'activité professionnelle est directement liée à la prescription, à la conception, à l'exécution et au contrôle des fondations profondes.*
- *La mise au point de ce document a nécessité plusieurs années, car tous voulaient qu'ils soit vraiment le reflet de l'ensemble des personnes et organismes concernés.*
- *Le CSTC a joué le rôle de cheville ouvrière et organisé une grande partie des essais qui a abouti à la définition des coefficients empiriques cités.*
- *Le CSTC a publié le rapport final en 2009 (Rapport N°12).*

Directives pour l'application de l'Eurocode 7 en Belgique

- **Aspects non abordés dans le document:**
 - **Contrôle organique de l'élément de fondation**
 - **Contrôle des tassements**
 - **Actions horizontales, traction, charges cycliques, charges dynamiques, etc.**
 - **Groupes de pieux**
 - **Radiers sur pieux**
 - **Frottement négatif**
 - **Influence des excavations**
 - **Contrôle de rupture par poinçonnement**

Directives pour l'application de l'Eurocode 7 en Belgique

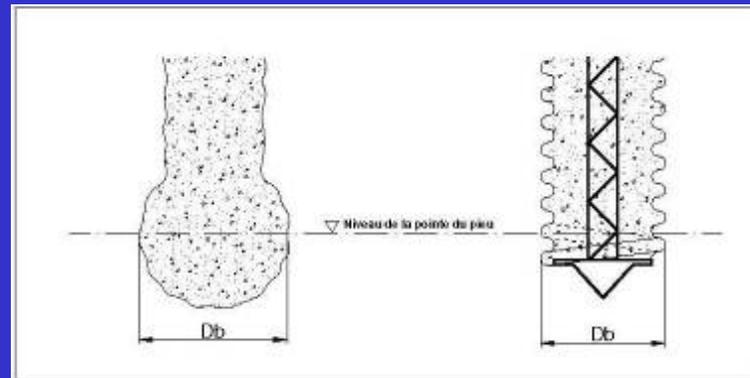
- **Sommaire du document:**
 - **Introduction**
 - **Définitions et symboles**
 - **Aperçu des la méthode de travail**
 - **Valeur de calcul de la capacité portante**
 - **Références**
 - **2 annexes**

Directives pour l'application de l'Eurocode 7 en Belgique

- **Introduction: précautions d'usage habituelles, comme:**
 - Le problème des états limites de service qui peuvent être déterminants dans certains cas
 - Il faut une reconnaissance géotechnique de bonne qualité, étendue, bien documentée
 - Les pieux sont exécutés en conformité avec les normes d'exécution, par du personnel qualifié et avec du matériel et équipements OK
 - Le bon déroulement de l'exécution a été contrôlé
 - Les valeurs des facteurs de sécurité assurent un niveau de sécurité normal et acceptable. Il y a des circonstances où il faut pouvoir les adapter.

Directives pour l'application de l'Eurocode 7 en Belgique

- **Le document reprend les définitions et symboles connus, mais qu'il est important de rappeler. Parmi les définitions, quelques exemples**
 - Le niveau de la pointe et le diamètre de la base



- La surface de la base en fonction de sa forme et la notion de diamètre équivalent
- La notion de périmètre du pieux

Détermination de la capacité portante d'un pieu sous compression axiale

Méthode de calcul

$$F_{c,d} \leq R_{c,d}$$

Valeur de calcul des actions : $F_{c,d} = F_{c,rep} * \gamma_F$

EN 1990

EN 1991

NBN EN 1990 ANB

Valeur de calcul des actions :

$$F_{c,d} = F_{c,rep} * \gamma_F$$

Action		Combinaison	
		1 (DA1/1)	2 (DA1/2)
Permanente	Défavorable ⁽¹⁾	1,35	1,00
	Favorable ⁽²⁾	1,00	1,00
Variable	Défavorable ⁽¹⁾	1,50 ⁽⁴⁾	1,10 ^{(3) (4)}
	Favorable ⁽²⁾	0,00	0,00

(1) Défavorable = déstabilisatrice

(2) Favorable = stabilisatrice

(3) Valeur différente de EN-1997-1

(4) Valeur pour ponts: DA1/1: 1,35 pour ponts routiers, 1,45 pour ponts ferroviaires

(4) Valeur pour ponts: DA1/2: 1,00 pour ponts routiers, 1,07 pour ponts ferroviaires

Approche 1/1 - déviations des actions (déterminante pour le calcul structural du pieu)

Approche 1/2 - déviations de la résistance (déterminante pour la capacité portante)

Détermination de la capacité portante d'un pieu sous compression axiale

- calcul sur base des résultats des CPT
- détermination sur base des essais de mise en charge (SLT)

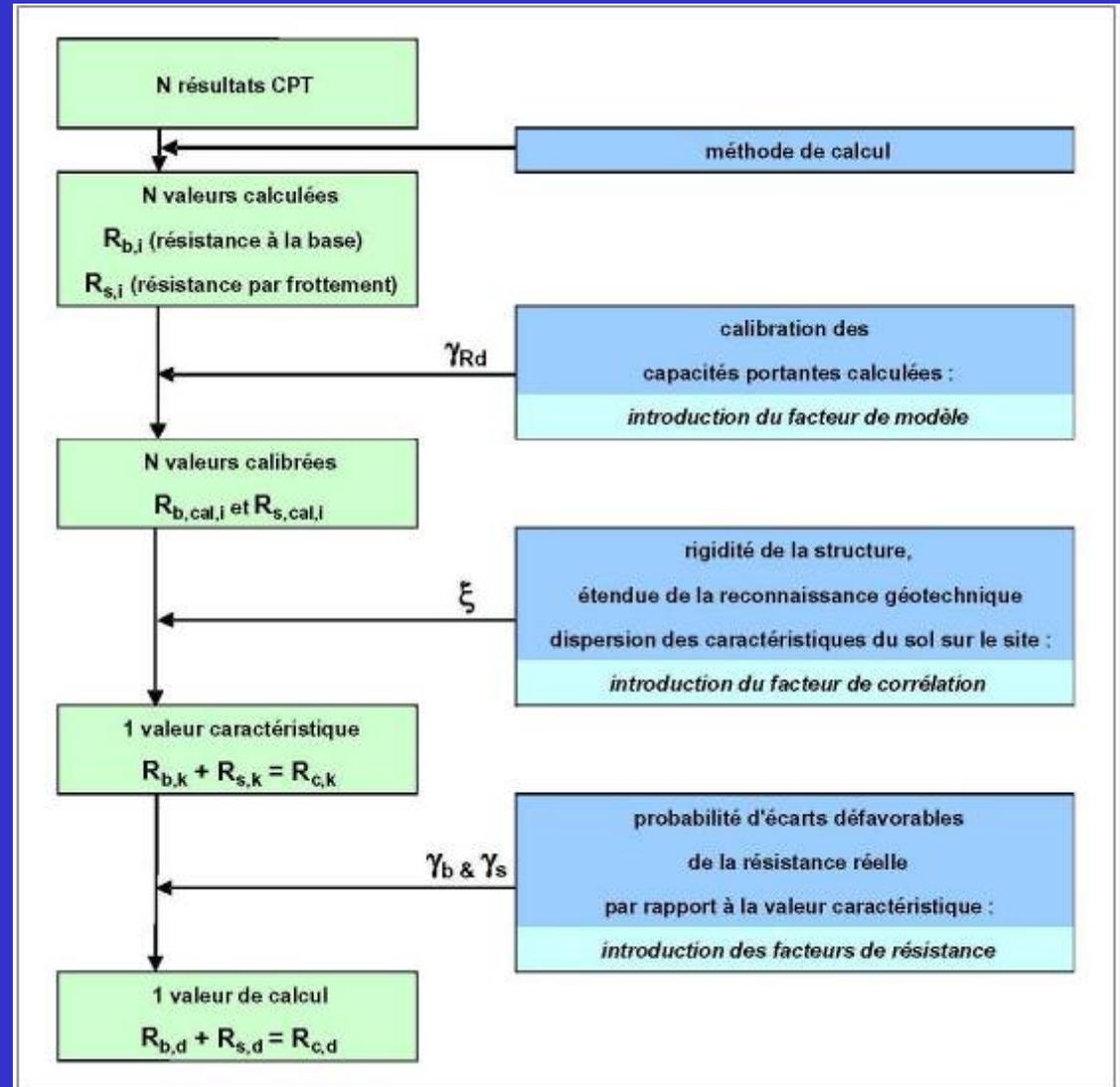
- méthode de calcul
- sécurité (EC7)

- résistance à la pointe
- résistance au frottement

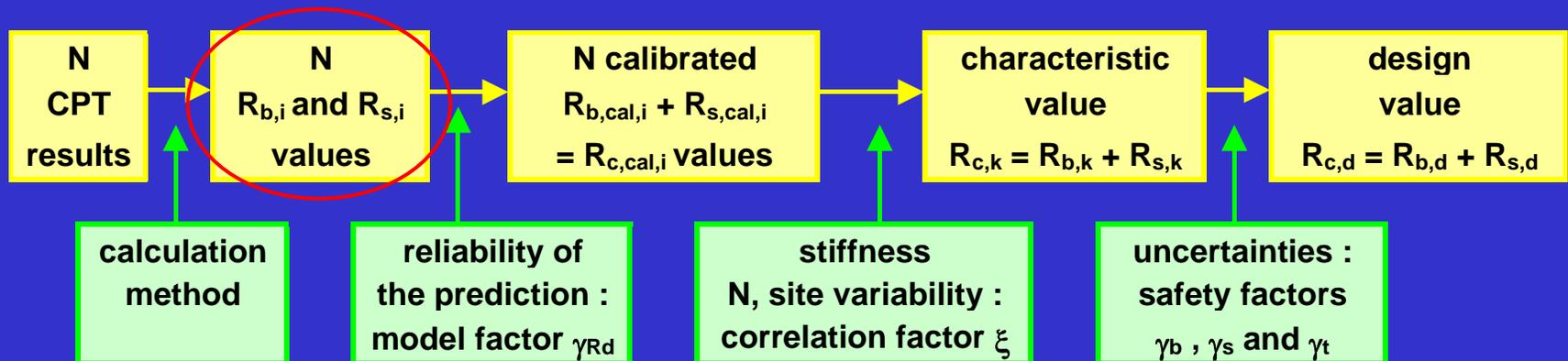
Procédure de calcul de la capacité portante

Il y a donc 4 facteurs à déterminer:

γ_{Rd} , facteur de modèle
 ξ , facteur de corrélation
 γ_b , facteur de sécurité de la résistance à la base,
 γ_s facteur de sécurité par frottement sur le fût



Procédure de calcul de la capacité portante :



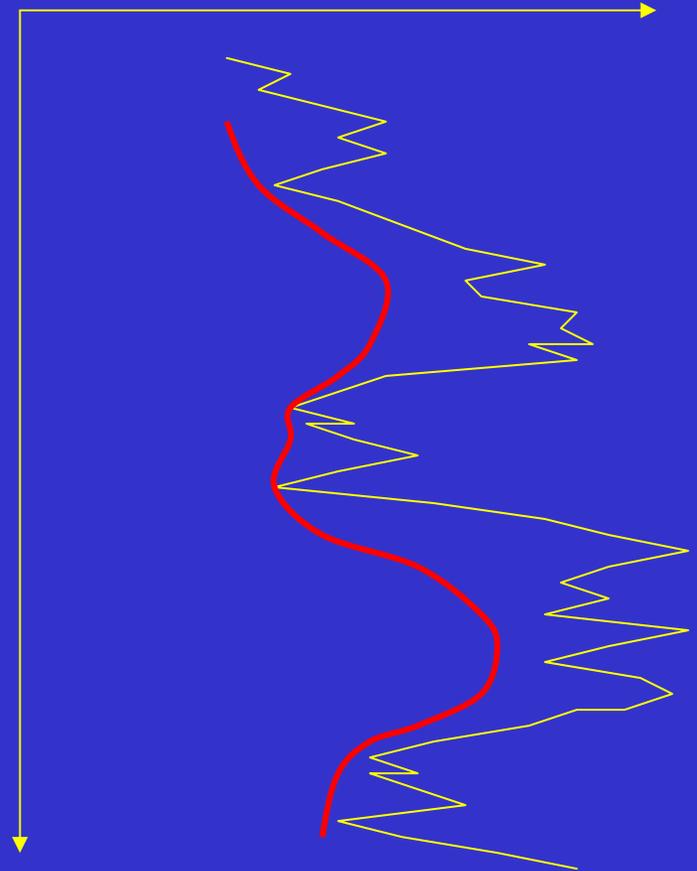
Capacité portante d'un pieu sous compression :

$$R_{TOT} = R_{BASE} + R_{FROTTEMENT}$$

- CPT = « pieu modèle »
- Les règles de calcul consistent à transformer les mesures obtenues du CPT en résistance au frottement et à la pointe.
- Tenir compte des différences entre le CPT et le pieu
- Il y a plusieurs types d'équipements (section du cône, type de cône, procédure de mesure)
- La procédure retenue utilise le cône électrique.
- Moment où l'essai a été réalisé (niveau de l'essai)

Différences CPT – pieu :

1. dimensions cône – pieu : effet d'échelle
2. Vitesse d'exécution
3. CPT = refoulement → coefficient d'installation pour chaque type de pieu

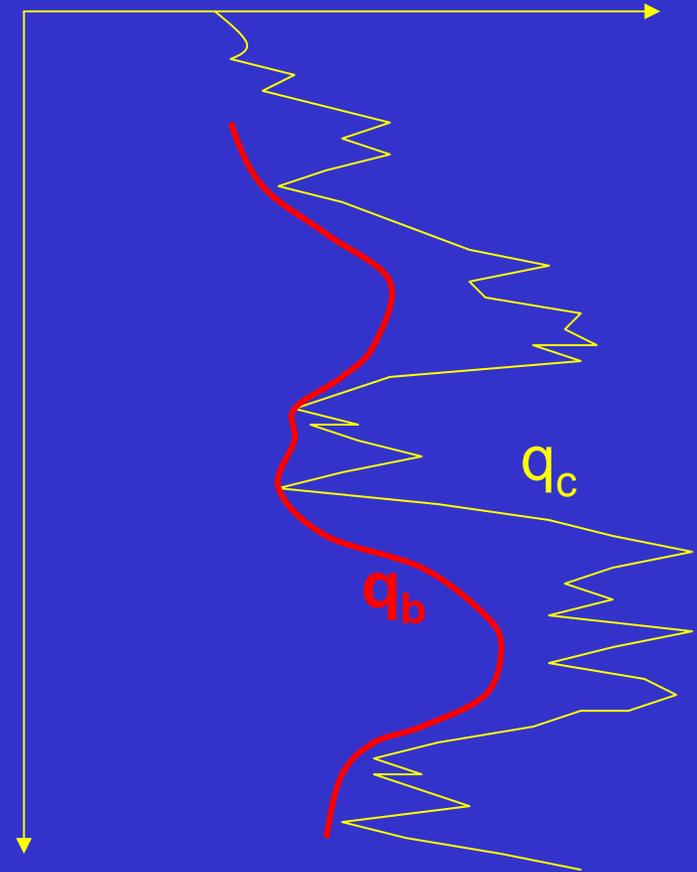


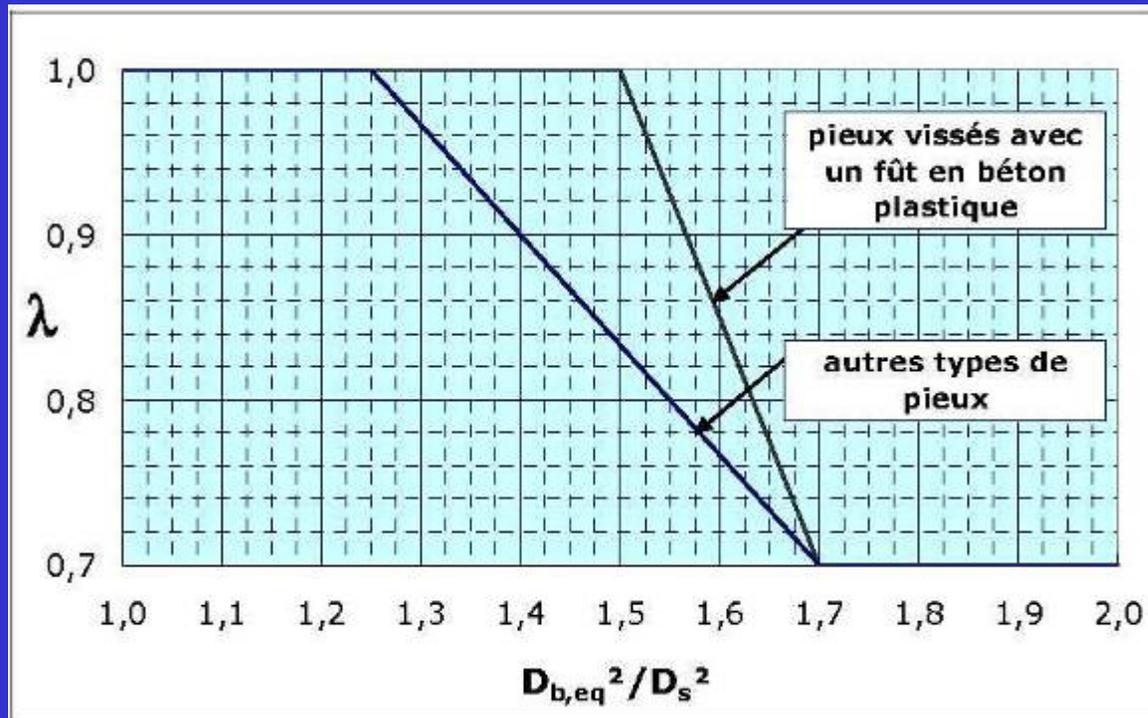
ω	Argiles tertiaires	Autres sols
M1	1.30	1.00
M2	1.30	1.00
M4	1.15	1.00

Méthode de calcul de la résistance à la base :

$$R_b = \alpha_b \cdot \varepsilon_b \cdot \beta \cdot \lambda \cdot A_b \cdot q_b$$

- q_b : résistance à la base unitaire d'un pieu calculé par la méthode De Beer
- α_b : facteur d'installation empirique, dérivé d'essais de chargement statique, dépendant de la méthode d'installation
- ε_b : facteur d'échelle sur le frottement = 1 ou pour les argiles tertiaires fissurées):
 $\max \{1 - 0.01 (D_b / D_c - 1); 0.476\}$
- β : coefficient de forme pour des bases de pieux non-circulaires
 $\{(1 + 0.3 a/b)/1.3\}$
- A_b : surface de la base
- λ : facteur de réduction pour des pieux à base élargie (décompression du sol)





Exemples de calcul de la méthode De Beer sur :
<http://www.geotechbel.com>, rubrique GBMS - BGGG

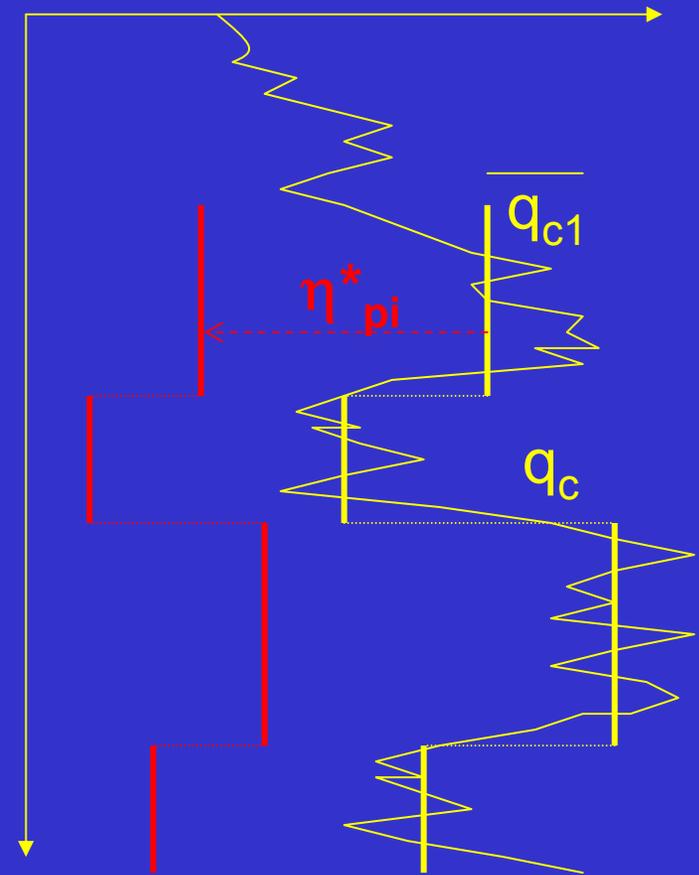
Méthode de calcul pour la capacité portante due au frottement

Deux méthodes usuelles jusqu'à présent:

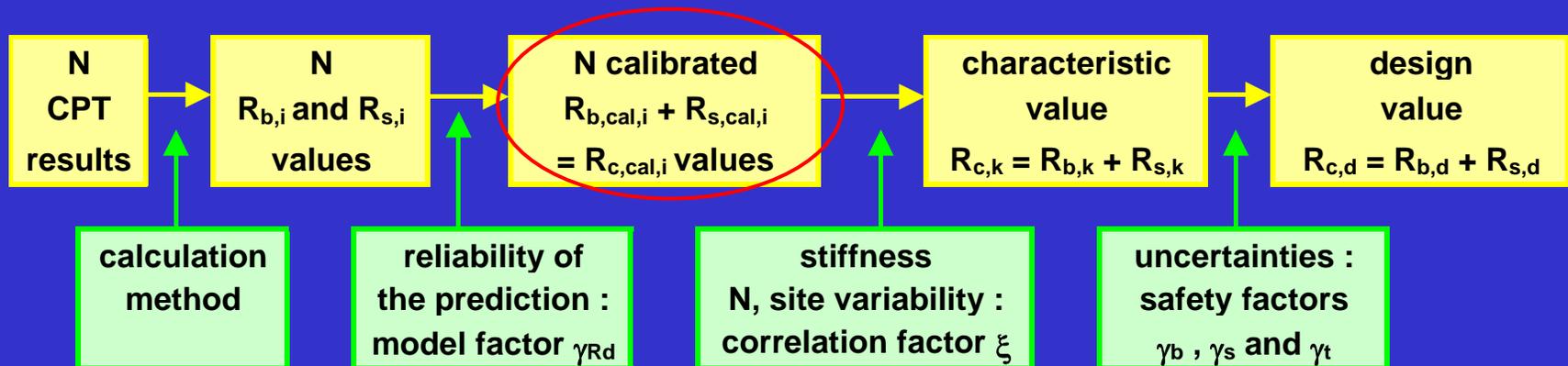
1. Méthode de frottement total (CPT mécanique, grande dispersion)
2. Frottement local déduit de q_c (CPT électrique, seule méthode retenue)

$$R_s = \chi_s \cdot \Sigma (\alpha_{s,i} \cdot h_i \cdot q_{s,i})$$

- $q_{s,i} = \eta_{p,i}^* \cdot q_{c,i}$
- $q_{c,i}$: résistance au cône dans couche i
- $\eta_{p,i}^*$ paramètre dépendant du type de sol ; transpose q_c vers frottement unitaire
- χ_s : circonférence du fût
- h_i : épaisseur couche i
- $\alpha_{s,i}$: facteur d'installation : facteur empirique déduit des essais de mise en charge statique, qui introduit l'influence de la méthode d'installation et la nature du fût



Valeur de calcul de la résistance :



Méthode de calcul pour la capacité portante due au frottement

- Facteur empirique qui indique le rapport entre le frottement unitaire et la valeur de la résistance au cône, selon le type de sol. Il s'agit bien de CPT électriques

Type de sol	q_c (MPa)	η^*_{p} (-) ou q_s (MPa)	R_f^* (%)
Argile	1 - 4,5	$\eta^*_{p} = 1/30$	3 - 6 %
	> 4,5	$q_s = 0,150$	
Limon	1 - 6	$\eta^*_{p} = 1/60$	2 - 3 %
	> 6	$q_s = 0,100$	
Argile/Limon sableux Sable/Limon argileux	1 - 10	$\eta^*_{p} = 1/80$	1 - 2 %
	> 10	$q_s = 0,125$	
Sable	1 - 10	$\eta^*_{p} = 1/90$	< 1 %
	10 - 20	$q_s = 0,110 + 0,004 * (q_c - 10)$	
	> 20	$q_s = 0,150$	

$$R_b = \alpha_b \cdot \varepsilon_b \cdot \beta \cdot \lambda \cdot A_b \cdot q_b$$

Catégories de pieux et facteurs d'installation

$$R_s = \chi_s \cdot \sum (\alpha_{s,i} \cdot h_i \cdot q_{s,i})$$

Type de pieu	Base α_b		Fût α_s	
	Argile tertiaire	Autres sols	Argile tertiaire	Autres sols
CATÉGORIE I : PIEUX À REFOULEMENT				
PIEUX VERINÉS ET BATTUS				
Pieu préfabriqué en béton sans base élargie	1	1	0,9	1
Pieu moulé dans le sol sans base élargie ^(a) , fût en béton plastique	1	1	0,9	1
Pieu moulé dans le sol à base élargie ^(a) , fût en béton plastique	1	1	0,65	0,8
Pieu moulé dans le sol à base élargie moulée dans le sol, fût en béton sec	1	1	1,15	1,15
Pieu tubé fermé sans base élargie ^(a)	1	1	0,6	0,6
Pieu tubé fermé à base élargie ^(a)	1	1	- ^(d)	- ^(d)
Pieu tubé ouvert avec formation de bouchon ^(b)	0,7	0,7	0,6	0,6
PIEUX VISSÉS ^(c)				
Fût en béton plastique	0,8	0,7	0,9	1
Avec tubage perdu	0,8	0,8	0,6	0,6
CATÉGORIE II : PIEUX AVEC PEU DE REFOULEMENT OU DÉCOMPRESSION DU SOL				
PIEUX BATTUS				
Pieu tubé ouvert sans formation de bouchon ^(b)	1	1	0,6	0,6
profils en I et palplanches	1	1	0,6	0,6
PIEUX CFA AVEC DISPOSITIFS VISANT À LIMITER LA DÉCOMPRESSION DU SOL				
Avec surpression	0,8	0,5	0,6	0,6
Tubé	0,8	0,5	0,3	0,5
Tarière avec un tube central de grand diamètre et de petites hélices	0,8	0,7	0,6	0,7
CATÉGORIE III : PIEUX AVEC ENLÈVEMENT DU SOL				
PIEUX CFA SANS DISPOSITIFS VISANT À LIMITER LA DÉCOMPRESSION DU SOL				
	- ^(e)	- ^(e)	- ^(e)	- ^(e)
PIEUX FORÉS				
Exécuté avec un tubage temporaire	0,8	0,5	0,3	0,5
Exécuté sous boue bentonitique	0,8	0,5	0,5	0,5
Exécuté sans boue bentonitique ni tubage temporaire	0,8	- ^(e)	0,5	- ^(e)

Pieux vissés à refoulement

Pieux vissés à
refoulement latéral :

Pieu Atlas

Pieu Oméga

Pieu Fundex

Pieu Olivier

Pieu GVS De Waal

Exécution sans bruit ni
vibration

Avec transport vertical
partiel ou nul de sol.



Pieux Vissé

Bétonnage:

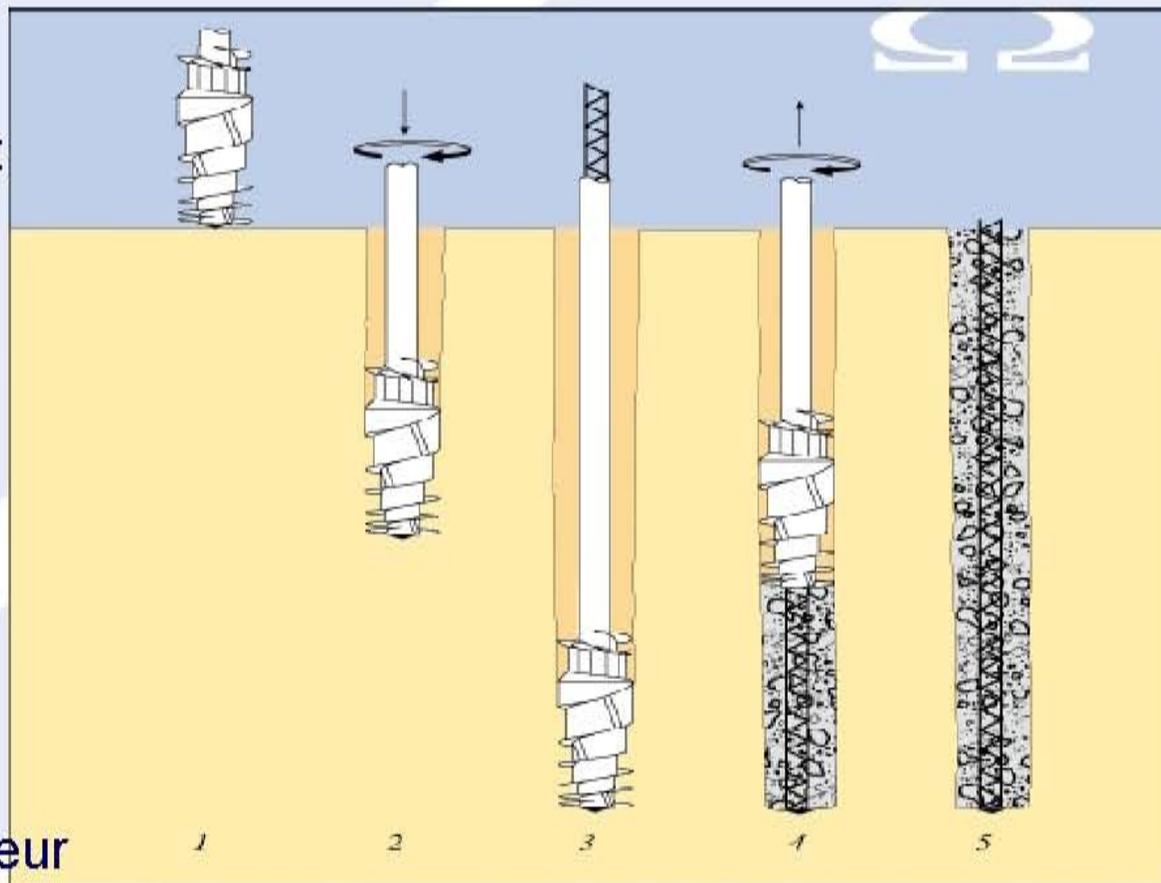
- Gravitaire
- Pompé circuit ouvert
- Pompé circuit fermé

Armature placée:

- Avant bétonnage
- Après bétonnage

Béton:

- C25/30 ; C30/37
- S4
- Granulométrie!
- Phénomène de chaleur
- Ouvrabilité
- Bleeding



Pieux Tarière :

diamètre 350 à 1200 mm

Longueurs jusqu'à 32.00 m



Capacité portante totale, calibrée

$$R_{c,cal} = (R_d + R_s) / \gamma_{Rd}$$

(γ_{Rd} est le facteur de modèle qui permet de s'assurer que la capacité portante est fiable)

Types de pieux	sans SLT γ_{Rd1}	avec SLT γ_{Rd2}
Pieux battus et vérinés	1.00	1.00
Pieux vissés	1.25	1.00
Pieux CFA	1.35	1.15
Pieux forés	1.15	1.15

Une annexe précise de la mise en œuvre de ce facteur réduit

Valeur caractéristique de la capacité portante totale

- La détermination de la valeur caractéristique de la capacité portante totale se fait à partir des diverses valeurs calibrées de la capacité portante.
- On utilise un ensemble de facteurs de corrélation ξ_3 et ξ_4 qui sont appliqués sur des valeurs moyennes et sur des valeurs minimum.

NOMBRE DE PIEUX	DENSITÉ DES ESSAIS DE PÉNÉTRATION				
	<u>1 CPT</u> 10 m ²	<u>1 CPT</u> 50 m ²	<u>1 CPT</u> 100 m ²	<u>1 CPT</u> 300 m ²	<u>1 CPT</u> 1000 m ²
1	1,25	1,29	1,32	1,36	1,40
2	1,21	1,25	1,28	1,32	1,36
3	1,18	1,21	1,24	1,28	1,32
4-10	1,15	1,19	1,21	1,25	1,29
> 10	1,14	1,17	1,20	1,24	1,27

ξ_3

NOMBRE DE PIEUX	DENSITÉ D'ESSAI DE PÉNÉTRATION				
	<u>1 CPT</u> 10 m ²	<u>1 CPT</u> 50 m ²	<u>1 CPT</u> 100 m ²	<u>1 CPT</u> 300 m ²	<u>1 CPT</u> 1000 m ²
1	1,08	1,17	1,23	1,31	1,40
2	1,05	1,13	1,19	1,28	1,36
3	1,02	1,10	1,16	1,24	1,32
4-10	1,00	1,07	1,13	1,21	1,29
> 10	1,00	1,06	1,12	1,20	1,27

ξ_4

Valeur de calcul pour la capacité portante totale

$$R_{c,d} = R_{b,k} / \gamma_b + R_{s,k} / \gamma_s$$

Types de pieux	Combinaison 1				Combinaison 2			
	Sans garantie de qualité		Avec garantie de qualité		Sans garantie de qualité		Avec garantie de qualité	
	γ_b	γ_s	γ_b	γ_s	γ_b	γ_s	γ_b	γ_s
Pieux battus et vérinés	1,00	1,00	1,00	1,00	1,35	1,35	1,35	1,35
Pieux vissés	1,00	1,00	1,00	1,00	1,45	1,35	1,35	1,35
Pieux CFA	1,10	1,00	1,00	1,00	1,50	1,35	1,35	1,35
Pieux forés	1,20	1,00	1,00	1,00	1,65	1,35	1,35	1,35

Méthode de calcul pour la capacité portante totale

- Les valeurs de γ_b diffèrent selon le type de pieu afin de tenir compte d'une moins bonne exécution qui n'aurait pas été remarquée.
- Quand ce risque est fortement limité par des mesures qui offrent une garantie de qualité en ce qui concerne l'exécution, on peut appliquer les mêmes γ_b que ceux retenus pour les pieux préfabriqués (CFA : 10 % de bénéfice à la pointe; pieux forés : 18 % de bénéfice à la pointe).
- Si l'entrepreneur a exécuté au moins 4 essais de chargement statique sur des pieux instrumentés, dans le type de sol en question, essais surveillés par un organisme indépendant, il peut utiliser, en plus du facteur γ_{Rd2} d'autres facteurs α_b et α_s qui répondent mieux au type de pieux concerné.

DESIGNERS'
GUIDES TO THE
EUROCODES

EUROCODES
BOOK 7
an ICE initiative

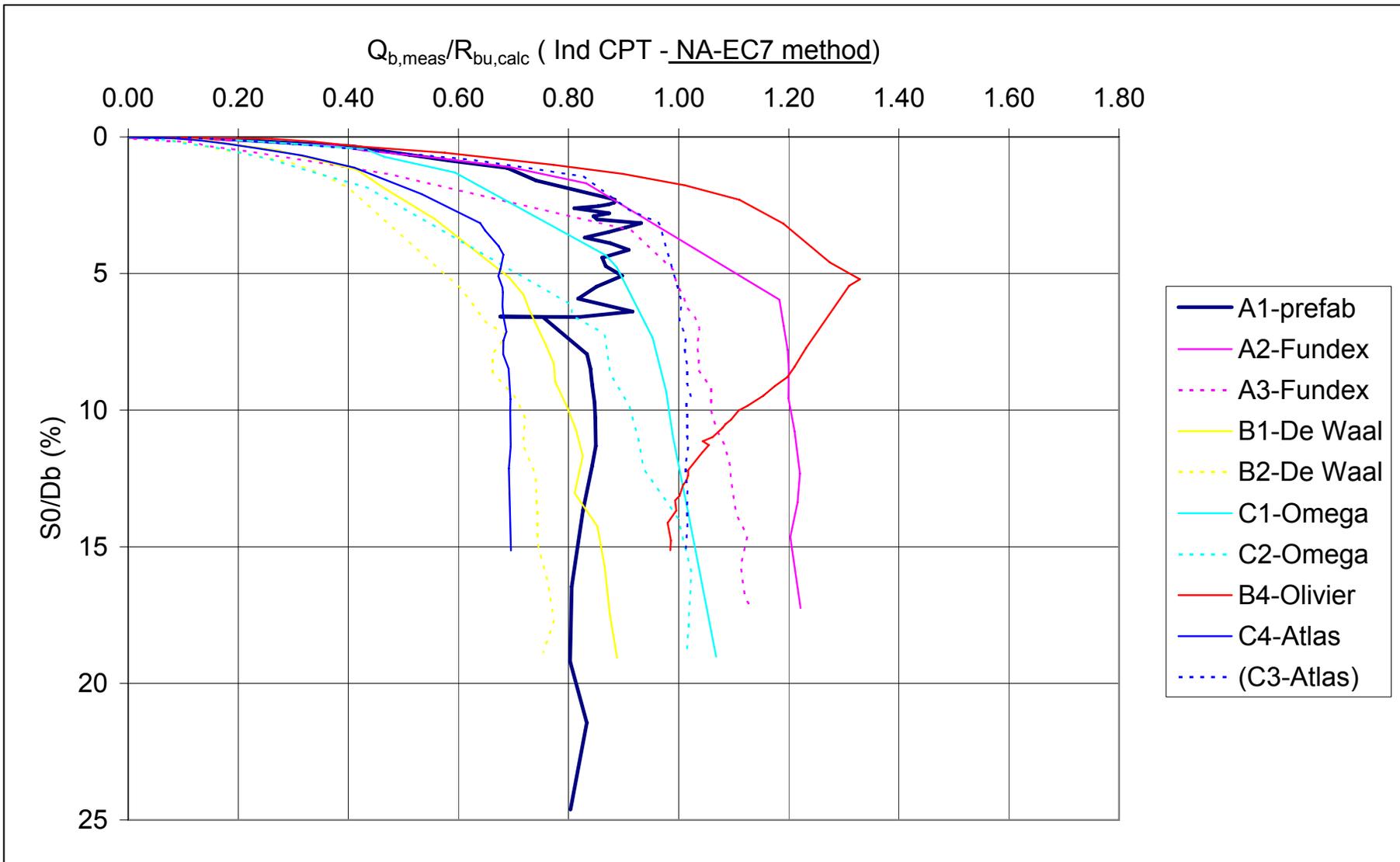
Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – General rules

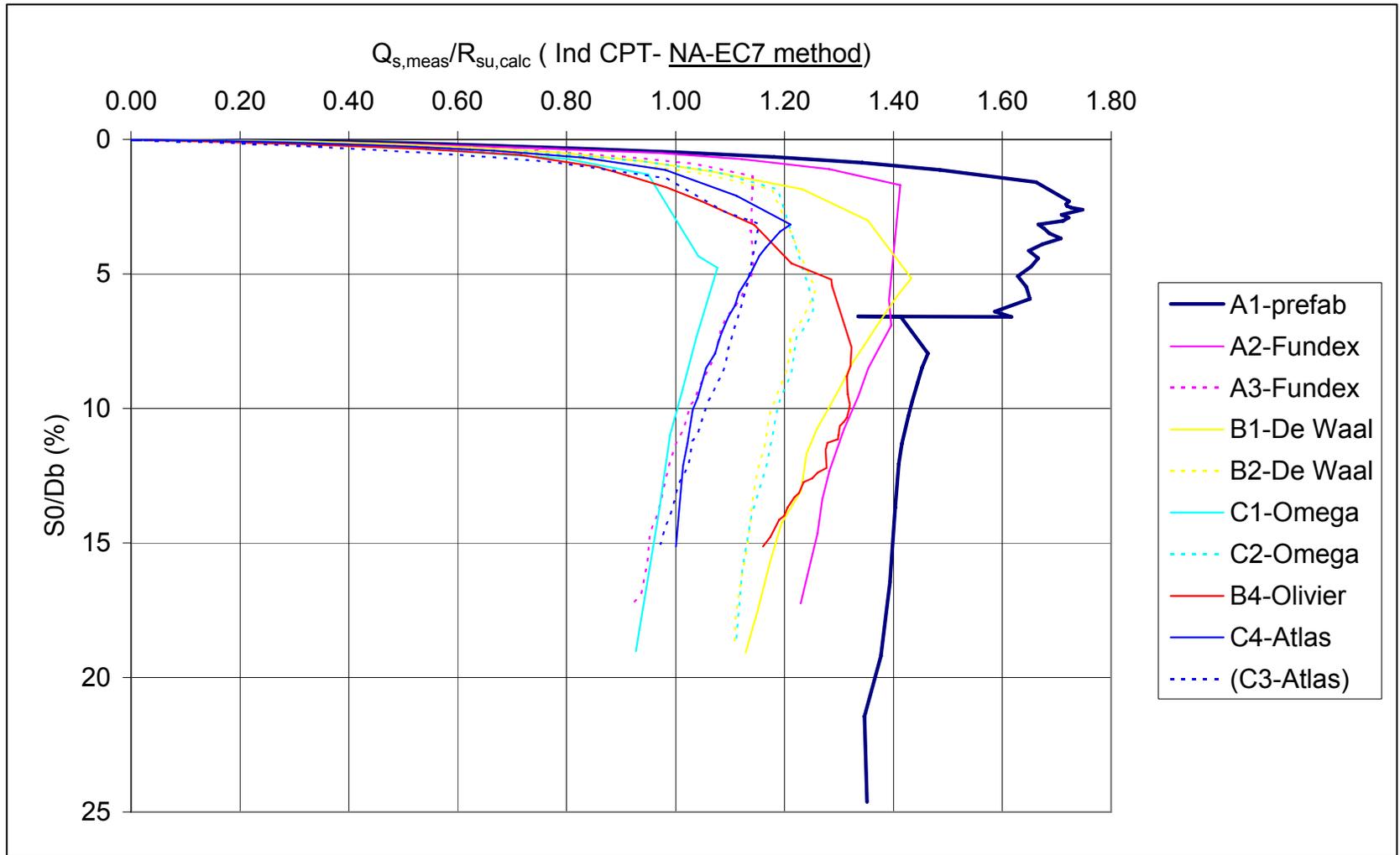
R Frank, C Bauduin, R Driacoli, M Kavvasas, N Krebs Olesen,

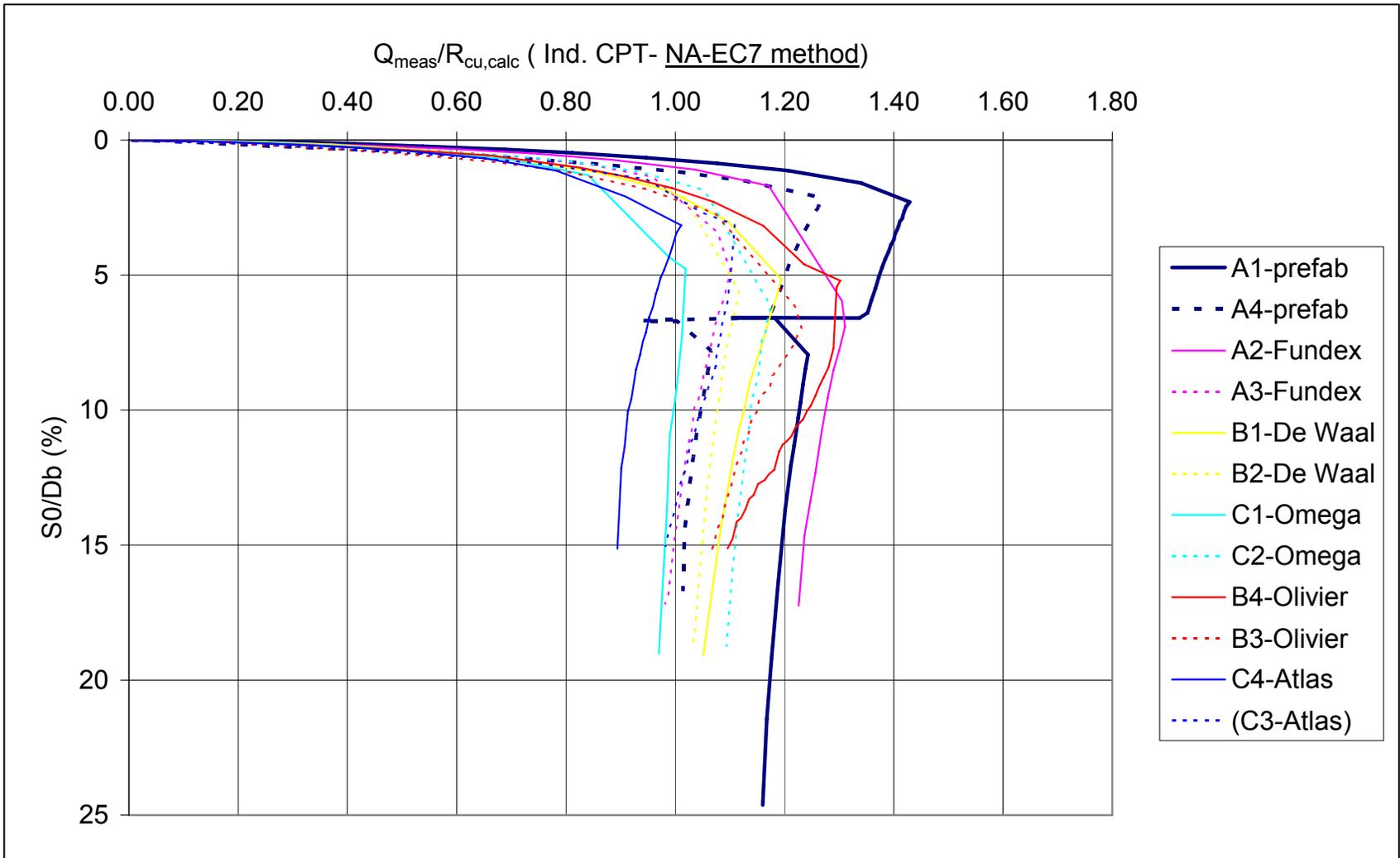
T Orr and B Schuppener

Series editor Haig Gulvanessian











SCREW PILES

INSTALLATION AND DESIGN IN STIFF CLAY



A. HOLEYMAN, EDITOR

BELGIAN SCREW PILE TECHNOLOGY

- design and recent developments -



Prof. Ir. Jan Maertens

Ir. Noel Huybrechts