

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

Le pressiomètre dans les normes de dimensionnement
Gilles Valdeyron, Cerema

Incorporation du pressiomètre dans les normes de dimensionnement

Historique

Place du pressiomètre dans les règles actuelles

- Portance des fondations

- Classes conventionnelles de sol (abaque de JP Baud)

- Déplacements des fondations

- Tirants d'ancrage et clous

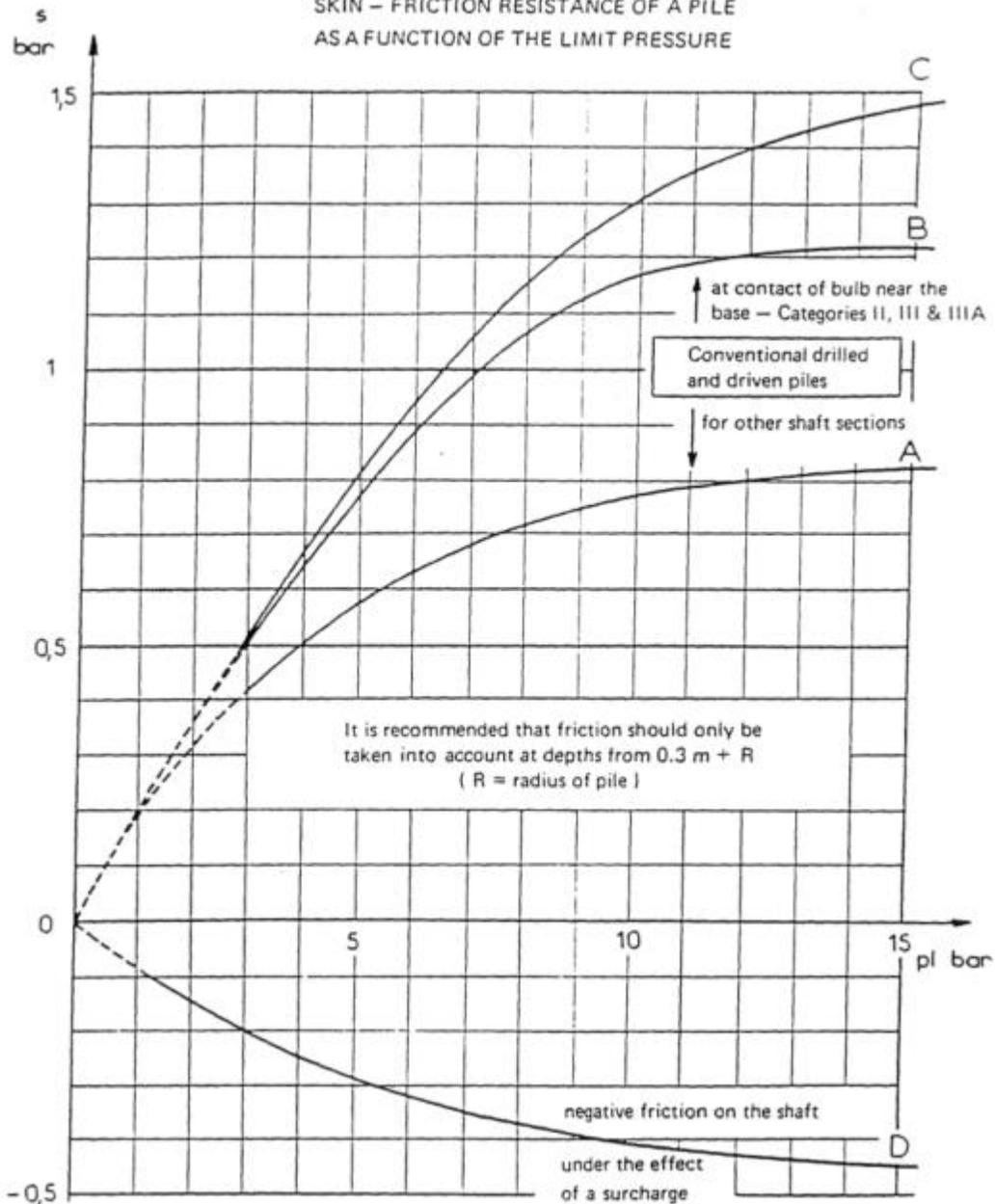
Les évolutions en cours / à venir

- NF P94-261 : nouvelles règles de calcul des tassements superficielles

► Historique

- 1967 : Règles Ménard – D60/67 Règles d'utilisation des techniques pressiométriques et d'exploitation des résultats obtenus pour le calcul des fondations (revue Sols Soils n°26) :
 - Corrélation entre résistance pointe (pénétromètre statique) et pression limite
 - Premières règles de portance pour les semelles et les pieux
 - Règle de calcul du tassement sous les semelles
- Octobre 1972 : Les premières règles de dimensionnement intégrant le pressiomètre : FOND72 (fondations courantes d'ouvrages d'art)
- Décembre 1993 : Fascicule 62 – Titre V du CCTG : Circulaire n°93-66 du 20 décembre 1993
- 2012/2013 : Normes « fondations superficielles » et « fondations profondes » - Eurocode 7
- 2027...

SKIN - FRICTION RESISTANCE OF A PILE
AS A FUNCTION OF THE LIMIT PRESSURE



Ranges of pressures limit p_l	Nature of soil	Soil categories
0 - 12 bars 0 - 7	Clay Silt	category I
18 - 40 12 - 30 4 - 8 10 - 30	Firm clay or marl Compact silt Compressible sand Soft or weathered rock	category II
10 - 20 40 - 100	Sand and gravel Rock	category III
30 - 60	Very compact sand and gravel	category IIIA

The maximum values of k which are obtained for a depth greater than the critical depth of embedment are given below and are used for calculating the end bearing capacity of foundations (rules R1 for piles, R2 for cast in-situ walls).

$$q_l \cdot q_0 = k (p_l \cdot p_0)$$

Soil categories	Bearing factor		
	Drilled pile	Driven pile	Cast in-situ walls
I	1.8	2	1.4
II	3.2	3.6	2.1
III	5.2	5.8	2.9
III bis	7	9	4

► Eurocode 7 (juin 2005 – différentes façons de justifier un ouvrage géotechnique :

- Dimensionnement géotechnique par le calcul portance ⇒ **Méthode pressiométrique** ;
- Dimensionnement par mesures prescriptives ;
- Dimensionnement par essai de chargement et essai sur modèle ;
- Méthode observationnelle.

- ▶ Norme NF P94-261 – Fondations superficielles – Justifications à mener :
 - ELU de portance ⇒ **Méthode pressiométrique** ;
 - ELU de glissement sur la base ;
 - ELU de stabilité générale ;
 - ELU/ELS d'excentrement (sans objet) ;
 - ELS de tassement ⇒ **Méthode pressiométrique** ;
 - ELS de limitation de la contrainte transmise à la fondation ⇒ **Méthode pressiométrique** ;
 - ELU Structural – cas des radiers ⇒ Module d'Young / **Module pressiométrique** ;

► Norme NF P94-262 – Fondations profondes – Justifications à mener :

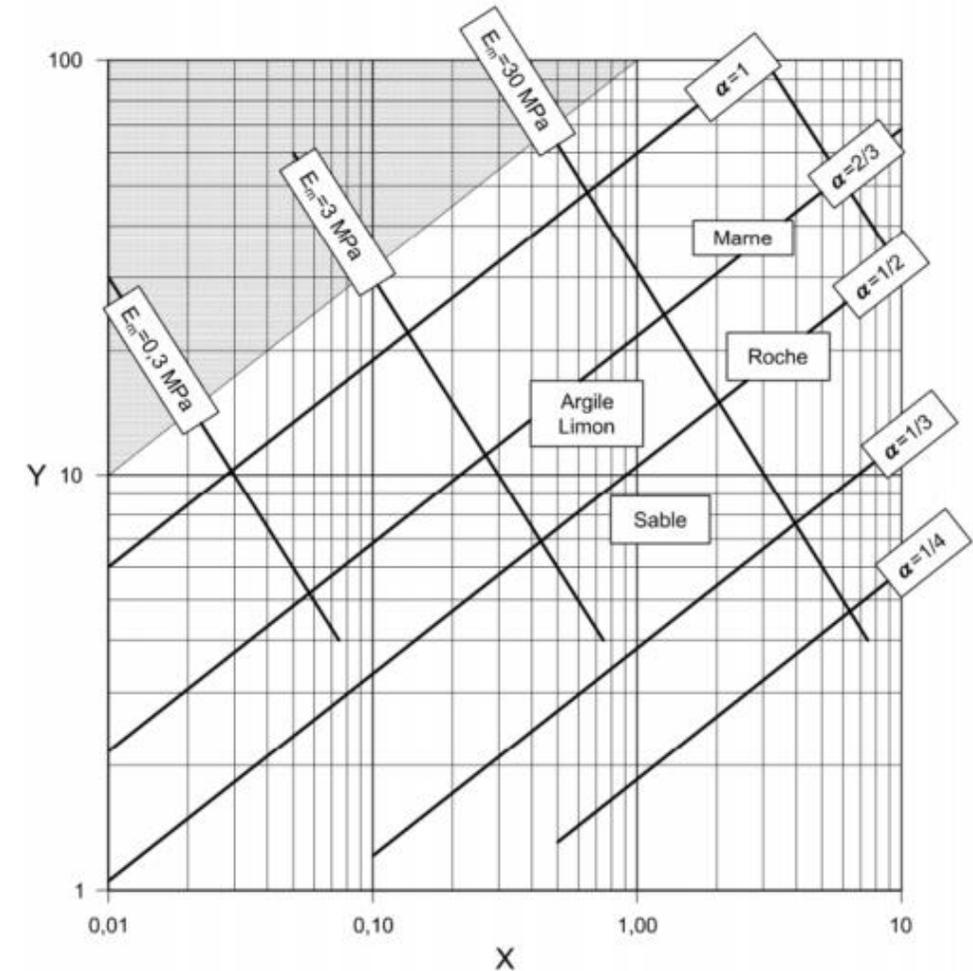
- ELU de portance ⇒ **Méthode pressiométrique** ;
- ELU de sollicitations transversales ⇒ **Méthode pressiométrique** ;
- ELU Structural ;
- ELU de stabilité générale ;
- ELS de déplacement/déformation du (des) pieu(x) ⇒ **Méthode pressiométrique** ;
- ELS de mobilisation du sol support ⇒ **Méthode pressiométrique** ;

► Normes NF P94-261 et NF P94-262 – Justification des fondations

- La classification des terrains en fonction des caractéristiques pressiométriques :

Tableau A.2.1 — Classement des sols selon différents critères

Classes de sol		I_c	p_i^* (MPa)	q_c (MPa)	$(N_{1,60})$	c_u (kPa)
Argiles et limons	Très mous à mous	0,0 – 0,50	< 0,4	< 1,0		< 75
	Fermes	0,50 – 0,75	0,4 à 1,2	1,0 à 2,5		75 à 150
	Raides	0,75 – 1,00	1,2 à 2	2,5 à 4,0		150 à 300
	Très raides	> 1,00	≥ 2	$\geq 4,0$		≥ 300
Sols intermédiaires (sable limoneux, sable argileux, argile sableuse)		Classement à réaliser selon les indications des Figures A.2.1 à A.2.4				
Sables et graves	Très lâches		< 0,2	< 1,5	< 3	
	Lâches		0,2 à 0,5	1,5 à 4	3 à 8	
	Moyennement denses		0,5 à 1	4 à 10	8 à 25	
	Denses		1 à 2	10 à 20	25 à 42	
	Très denses		> 2	> 20	42 à 58	
Craies	Molles		< 0,7	< 5		
	Altérées		0,7 à 3	5 à 15		
	Saines		≥ 3	≥ 15		
Marne et calcaire marneux	Tendres		< 1	< 5		
	Raides		1 à 4	5 à 15		
	Très raides		> 4	> 15		
Rocher	Altéré		2,5 à 4			
	Fragmenté		> 4			



Légende

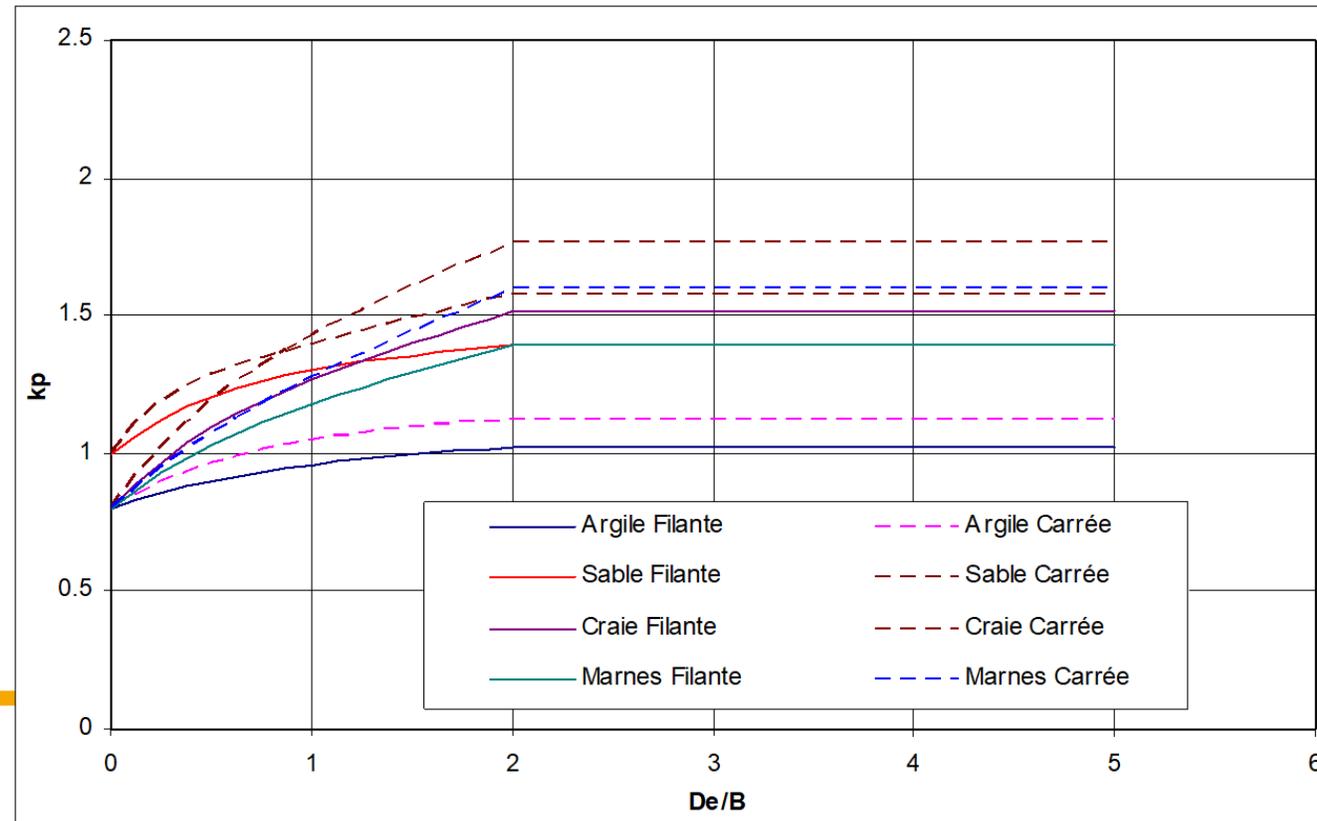
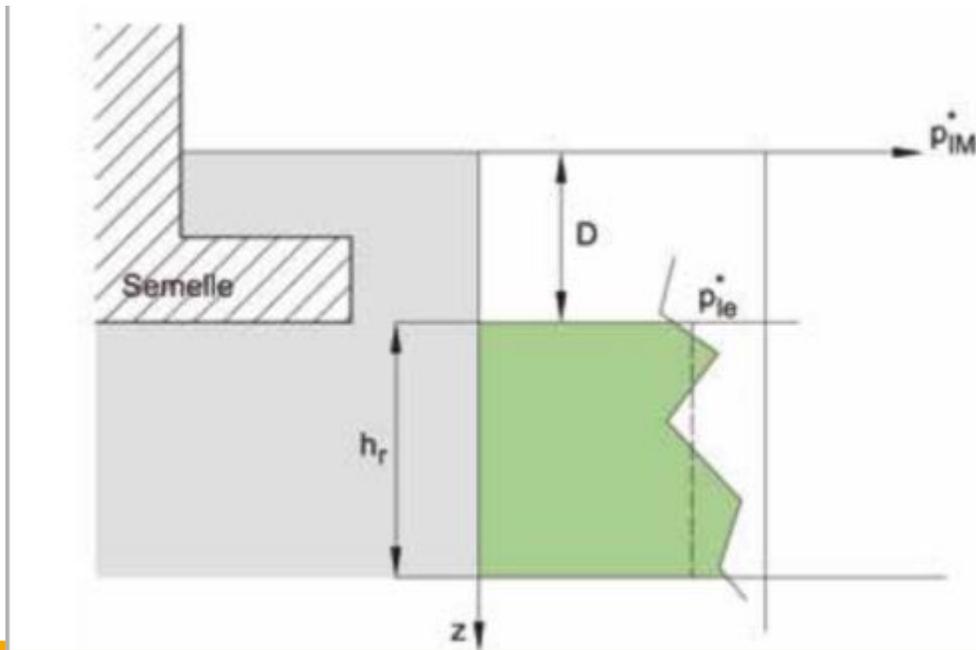
X : p_i^* [MPa] – Y : E_M/p_i^*

Figure A.2.4 — Abaque de Baud (2011) (Note 1)

► Norme NF P94-261 – Justification des fondations superficielles

- Les règles de calcul de la portance : $V_d - R_0 < R_{v;d}$

$$R_{v;d} = \frac{R_{v;k}}{\gamma_{R;v}} = \frac{R_v}{\gamma_{R;v}\gamma_{R;d;v}} \quad R_{v;k} = \frac{R_v}{\gamma_{R;d}} = \frac{A' q_{net}}{\gamma_{R;d;v}} = \frac{A i_e q_{net}}{\gamma_{R;d;v}} \quad q_{net} = k_p p_{le}^* i_\delta i_\beta \quad p_{le}^* = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n p_{l;k;i}}$$



► Norme NF P94-261 – Justification des fondations superficielles

- Le calcul des tassements pour les semelles isolées (Relations de Ménard) :

Sol homogène :

$$s_c = \frac{\alpha}{9E_M} (q' - \sigma'_{v0}) \lambda_c B$$

$$s_d = \frac{2}{9E_M} (q' - \sigma'_{v0}) B_0 \left(\lambda_d \frac{B}{B_0} \right)^\alpha$$

Sol non homogène :

$$E_c = E_1$$

$$\frac{1}{E_d} = \frac{0,25}{E_1} + \frac{0,3}{E_2} + \frac{0,25}{E_{3;5}} + \frac{0,1}{E_{6;8}} + \frac{0,1}{E_{9;16}}$$

$$\frac{1}{E_{i;j}} = \frac{1}{j-i+1} \sum_{k=i}^j \frac{1}{E_k}$$

$$\frac{1}{E_d} = \frac{0,25}{E_1} + \frac{0,3}{E_2} + \frac{0,25}{E_{3;5}} + \frac{0,2}{E_{6;8}}$$

Tableau H.2.1.1.1 – Coefficient rhéologique des sols

Type	Tourbe	Argile		Limon		Sable		Grave	
	α	E_M/p_1	α	E_M/p_1	α	α	E_M/p_1	α	
surconsolidé ou très serré	-	>	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3
normalement consolidé ou normalement serré	1	9 - 16	2/3	8 - 14	1/2	7 - 12	1/3	6 - 10	1/4
surconsolidé altéré et remanié ou lâche	1	9 - 16	2/3	8 - 14	1/2	5 - 7	1/3	-	-

Rocher	
Type	α
très peu fracturé	2/3
normal fracturé	1/2
très fracturé	1/3
très altéré	2/3

- ▶ Norme NF P94-261 – Justification des fondations superficielles
 - Corrélations avec le module d'Young :

Tableau J.2.1 — Valeurs indicatives d'un module de type Young E d'un sol par corrélation avec le module pressiométrique E_M pour le calcul des tassements des fondations superficielles à l'ELS quasi-permanent

		E/E_M
Argiles	Normalement consolidées	4,5
	Surconsolidées	3
Limos	Normalement consolidés	4,5
	Surconsolidés	3
Sables	Lâches	4,5
	Denses	3
Graves	Lâches	6
	Serrées	4,5

Notes :

a Les modules de type Young de sols comme les craies ou les marnes peuvent être déterminés par analogie avec les sols correspondants dans ce tableau.

b Dans le cas de surfaces chargées de grandes dimensions, comme les radiers où la pression de préconsolidation peut être dépassée, un module de type oedométrique sécant peut être défini à partir de la relation suivante :

$$M = \frac{E_M}{\alpha}$$

(où α est le coefficient rhéologique défini dans l'annexe H)

Des valeurs plus faibles de ce module de type oedométrique sécant peuvent être prises compte, notamment dans le cas de matériaux argileux faiblement consolidés. Dans ces cas, en l'état actuel de nos connaissances, il est par conséquent vivement recommandé de calculer les valeurs de tassement à partir de modules de déformation mesurés en laboratoire.

► Norme NF P94-262 – Justification des fondations profondes

- Approche originale pour l'édification de la méthode « pressiométrique » reposant sur :
 - Une base de données d'essais de chargements statiques de pieux (initiée en 1968, largement complétée par Bustamante et Gianeselli – LCPC) associés à des reconnaissances géotechniques (pressiomètre, nature du terrain, etc.) ;
 - Une modélisation par « courbes de transfert » et par les premières applications de la méthode aux éléments finis (Frank, Zhao, Baguelin – LCPC).

► Norme NF P94-262 – Justification de la portance

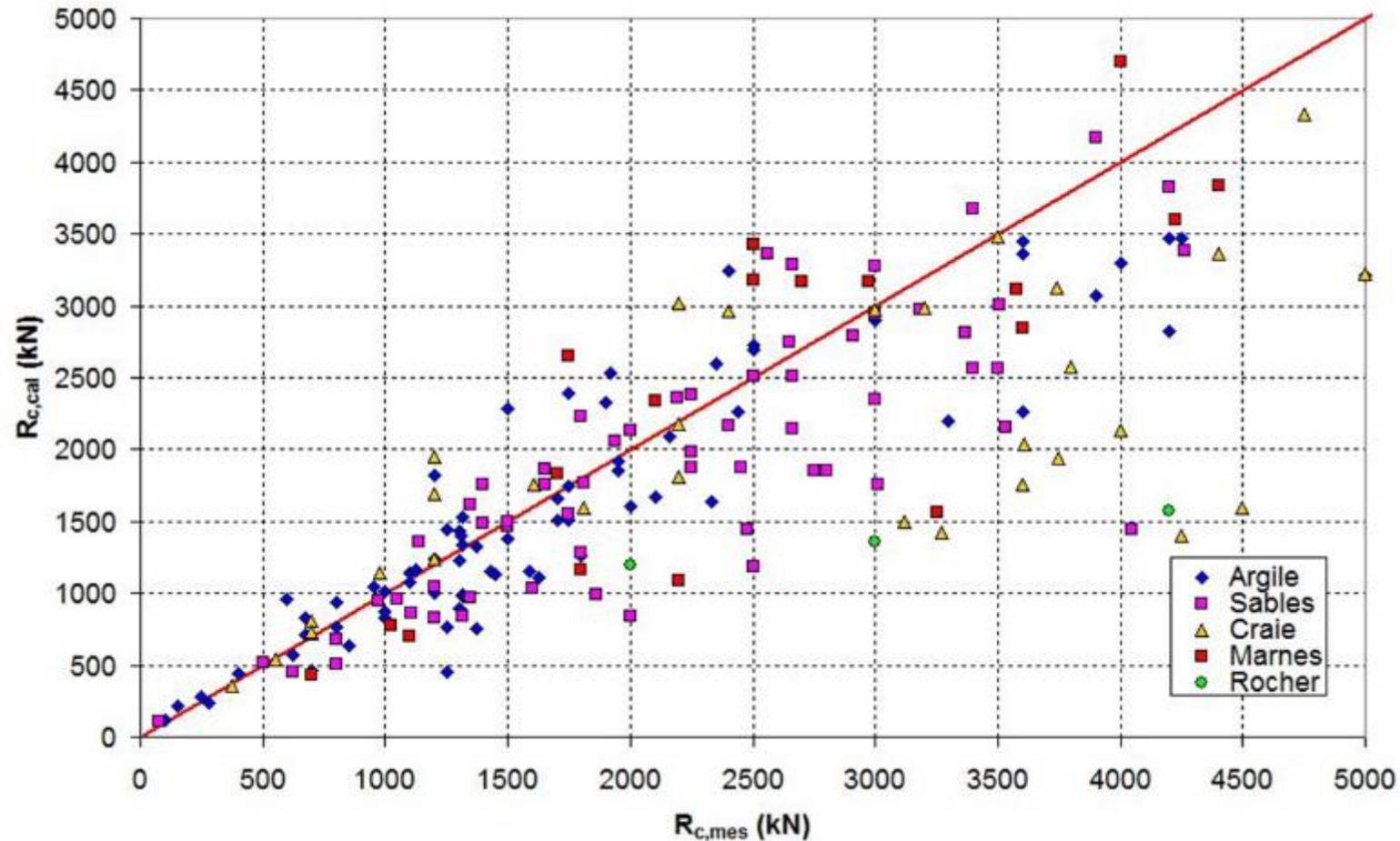
- La base de données :

Tableau 2 . Répartition des essais par type de sol et type de pieu

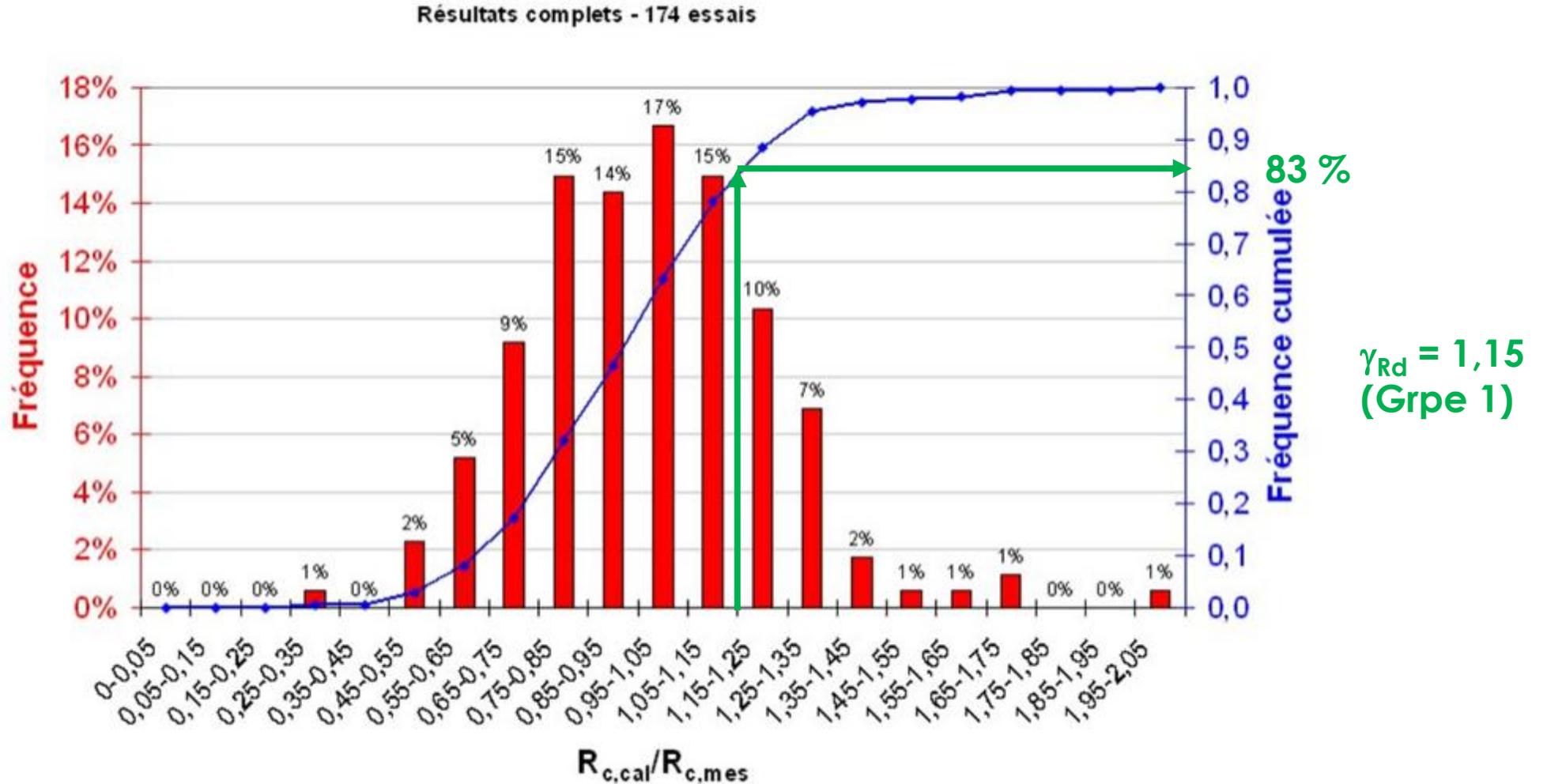
Type de sol	Classe du pieu								Groupe de pieux		Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	
Argile Limon	10	13	8	18	9	4	8	0	67	3	70
Sable Grave	4	8	14	14	5	1	4	3	48	5	53
Craie	4	0	4	9	1	2	4	0	21	3	24
Marne et Calcaire Marneux	8	1	3	0	0	1	3	4	15	5	20
Roche altérée et fragmentée	4	0	0	0	0	0	0	3	4	3	7
Total	30	22	29	41	15	8	19	10	155	19	174

Catégorie	Technique de mise en œuvre	Classe	Groupe
1	Foré simple (pieux et barrettes)	1	G1
2	Foré boue (pieux et barrettes)		
3	Foré tubé (virole perdue)		
4	Foré tubé (virole récupérée)		
5	Foré simple ou boue avec rainurage ou puits	2	
6	Foré tarière continue simple rotation, ou double rotation		
7	Vissé moulé	3	
8	Vissé tubé		
9	Battu béton préfabriqué ou précontraint	4	G2
10	Battu enrobé (béton – mortier – coulis)		
11	Battu moulé		
12	Battu acier fermé	5	G1
13	Battu acier ouvert		
14	Profilé H battu	6	G2
15	Profilé H battu injecté		
16	Palplanches battues	7	G1
17	Micropieu type I	1	G2
18	Micropieu type II		
19	Pieu ou micropieu injecté mode IGU (type III)	8	
20	Pieu ou micropieu injecté mode IRS (type IV)		

► Norme NF P94-262 – Justification de la portance

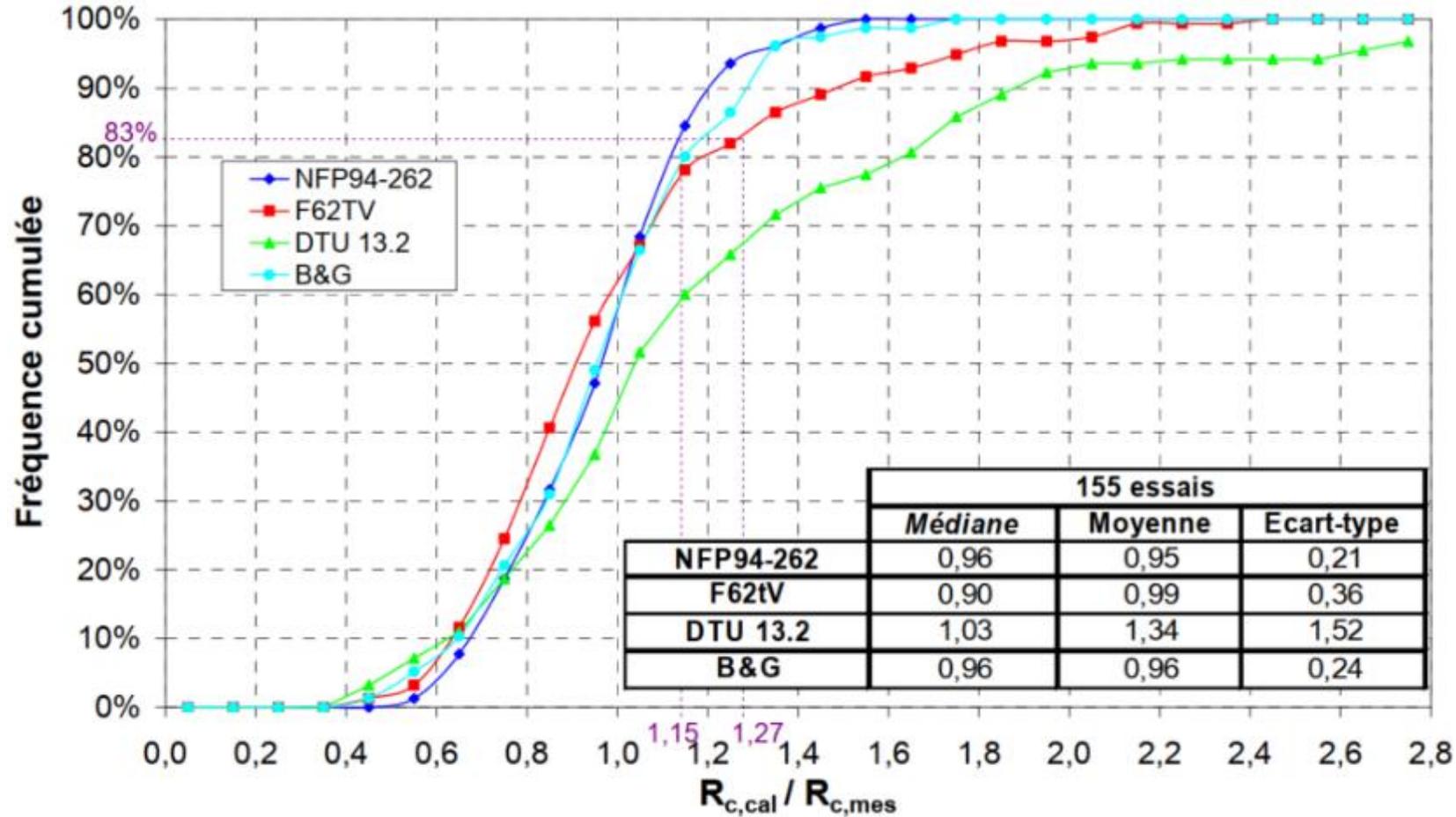


► Norme NF P94-262 – Justification de la portance



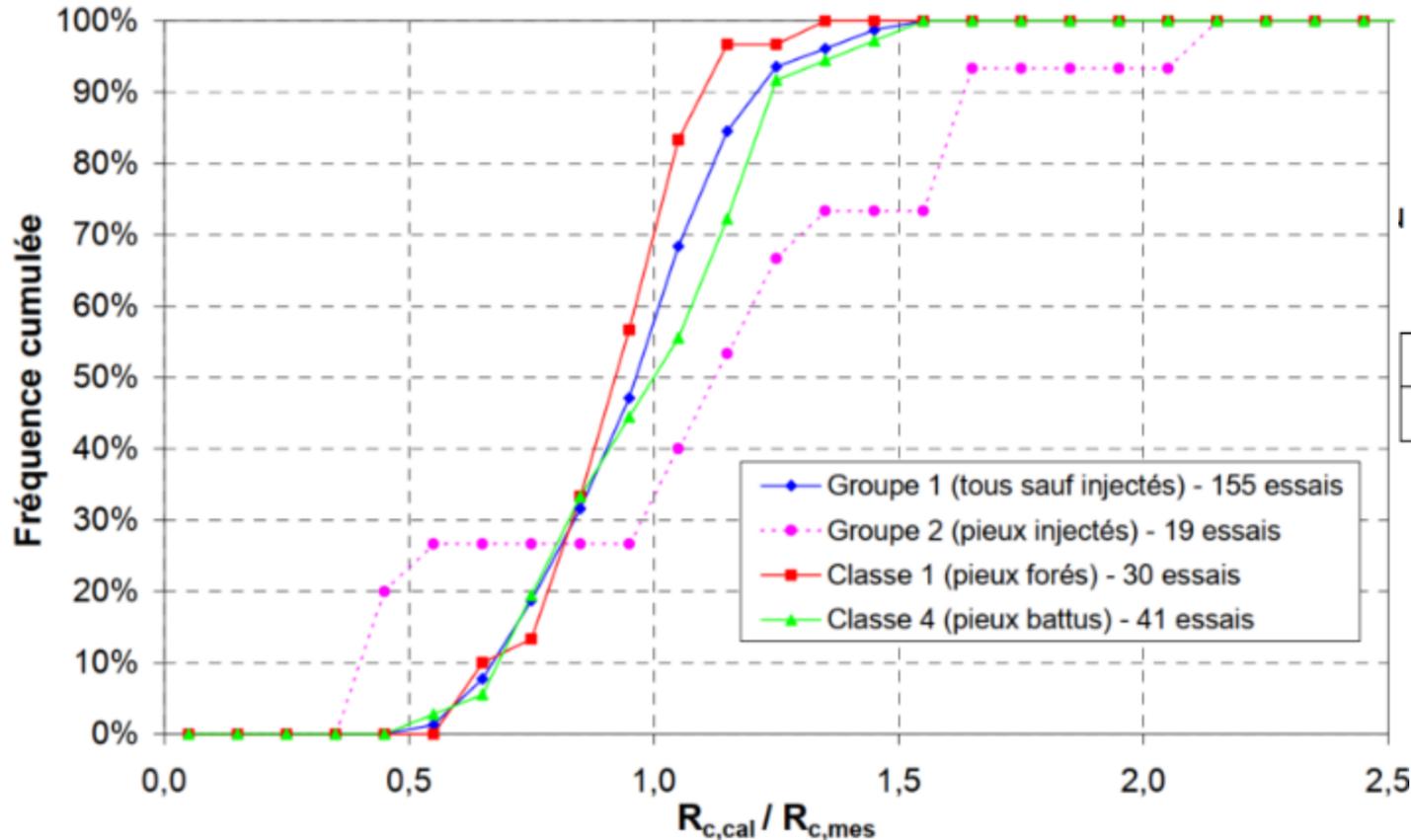
► Norme NF P94-262 – Justification de la portance

- Baguelin, Burlon, Bustamante, Frank, Gianeselli, Habert, Legrand (JNGG 2012) :



► Norme NF P94-262 – Justification de la portance

- Baguelin, Burlon, Bustamante, Frank, Gianeselli, Habert, Legrand (JNGG 2012) :

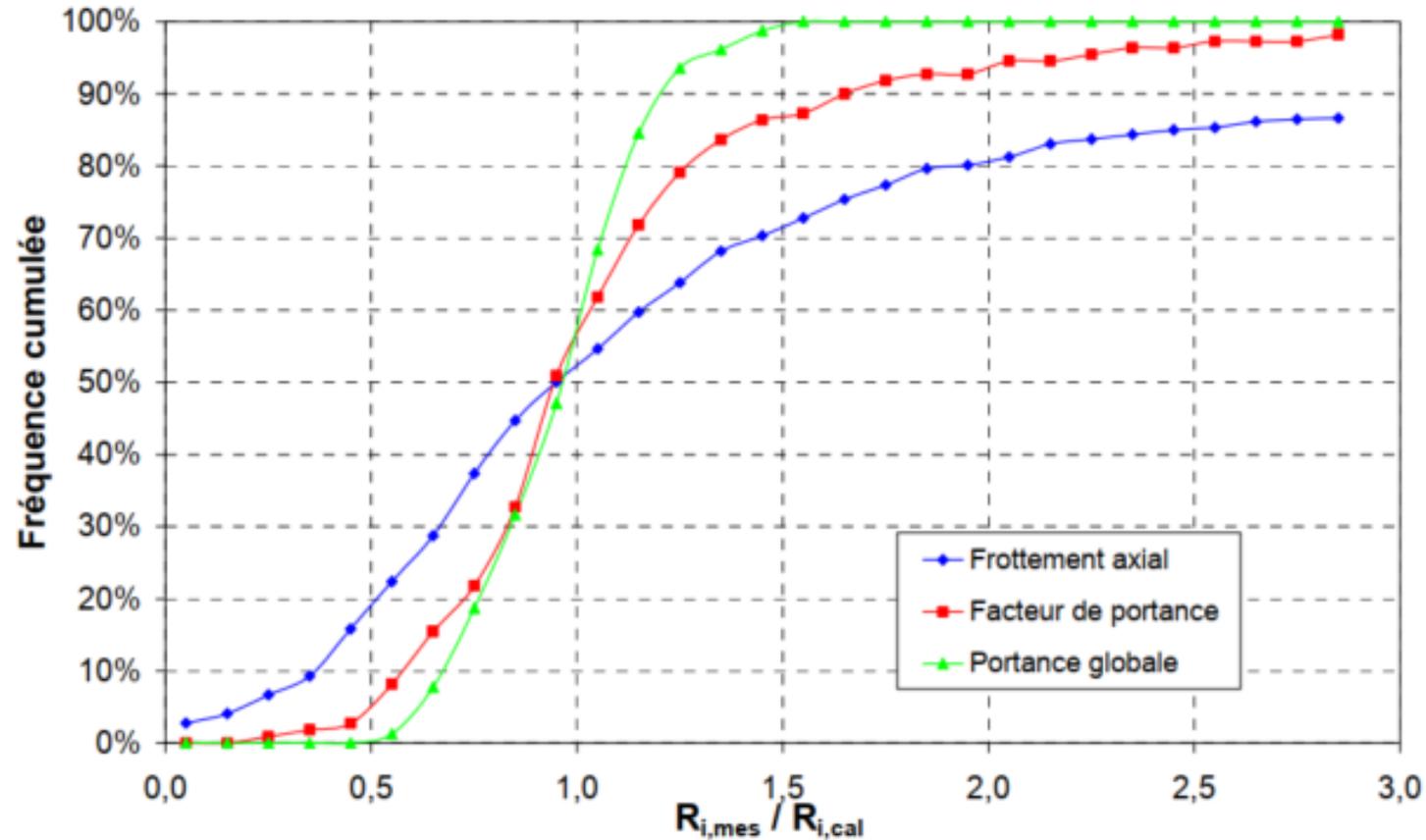


3 . Valeurs des coefficients de modèle à considérer (NF P 94-262)

	Groupe 1	Groupe 1 ancrés dans la craie	Groupe 2
$\gamma_{R;d}$	1,15	1,40	2,00
γ_t	1,10		

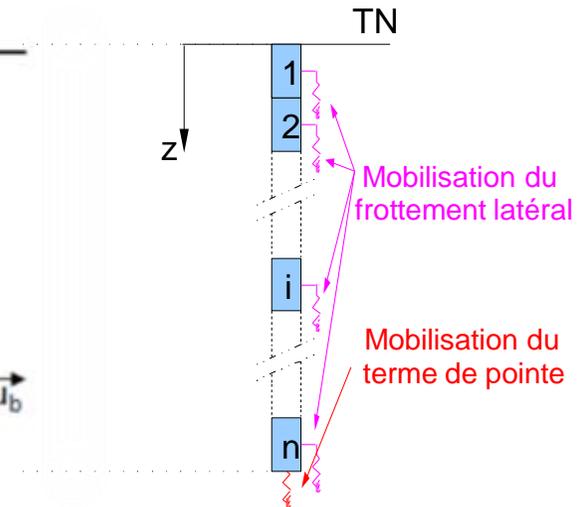
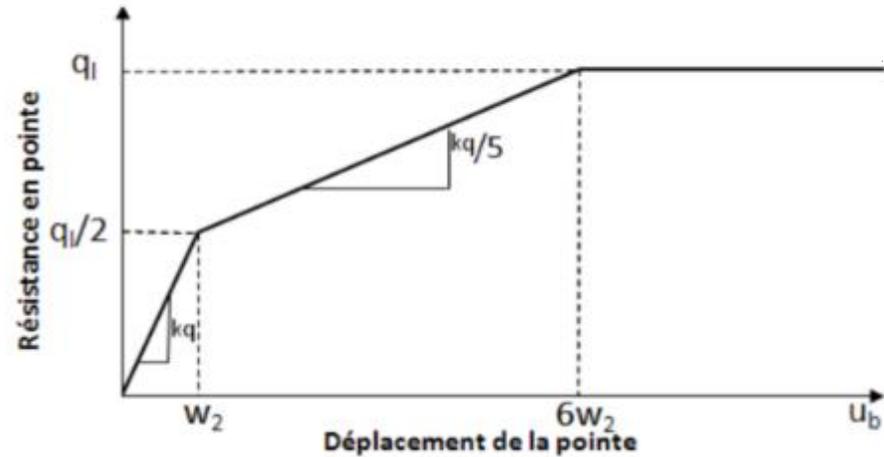
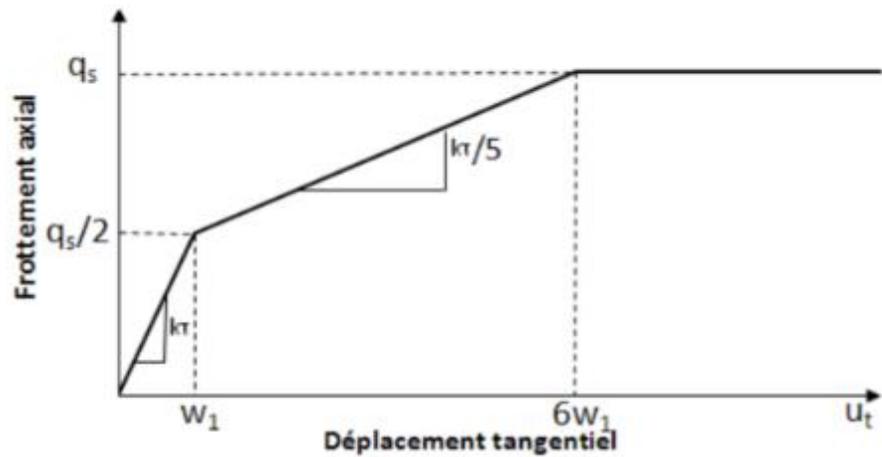
► Norme NF P94-262 – Justification de la portance

- Baguelin, Burlon, Bustamante, Frank, Gianeselli, Habert, Legrand (JNGG 2012) :



► Norme NF P94-262 – Calcul du tassement et interaction sol-structure

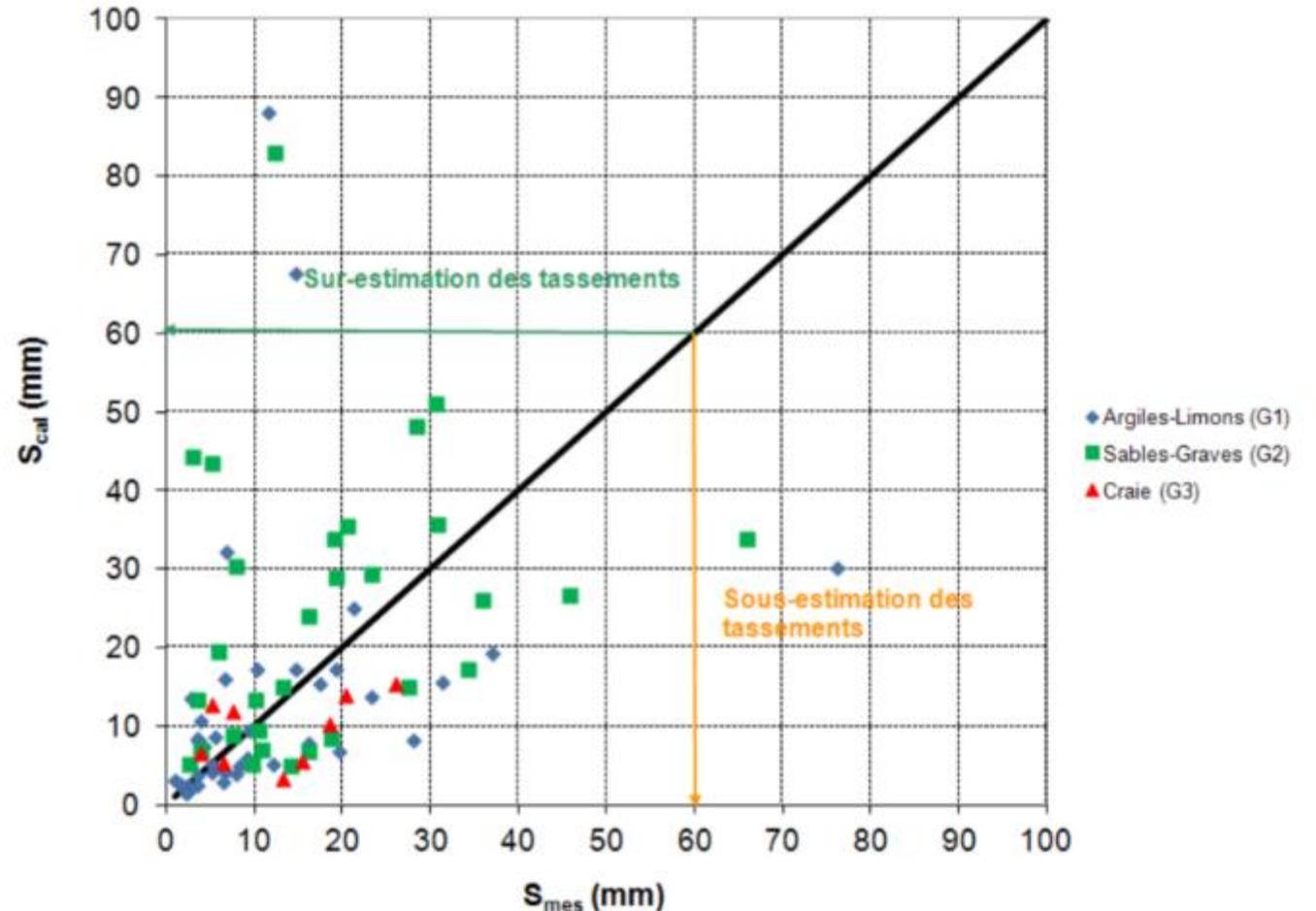
- Fonctions de transfert de Frank et Zhao (1982) pour la mobilisation du frottement axial et de la résistance de pointe :



ζ	Symbole ζ	Sols cohérents ζ	Sols frottants ζ
Terme de pointe ζ	$k_{v\zeta}$	$11 \frac{E_m}{B} \zeta$	$4,8 \frac{E_m}{B} \zeta$
Frottement latéral ζ	$k_{s\zeta}$	$2 \frac{E_m}{B} \zeta$	$0,8 \frac{E_m}{B} \zeta$

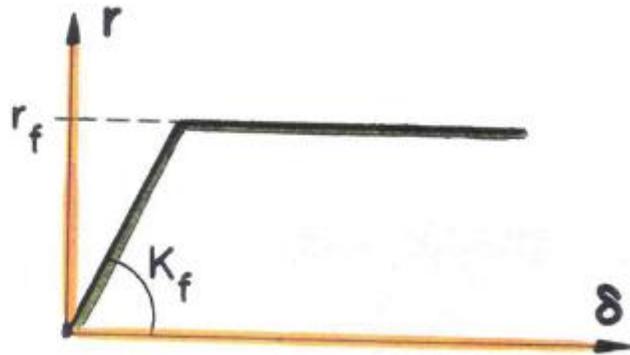
► Norme NF P94-262 – Calculs du tassement et interaction sol-structure

- Vérifications sur la base de données (Abchir, Habert, Legrand, Burlon) :
 - Le modèle de Frank et Zhao permet d'estimer de manière « fiable » le tassement pour une charge allant de la charge de service à 80% de la charge limite.



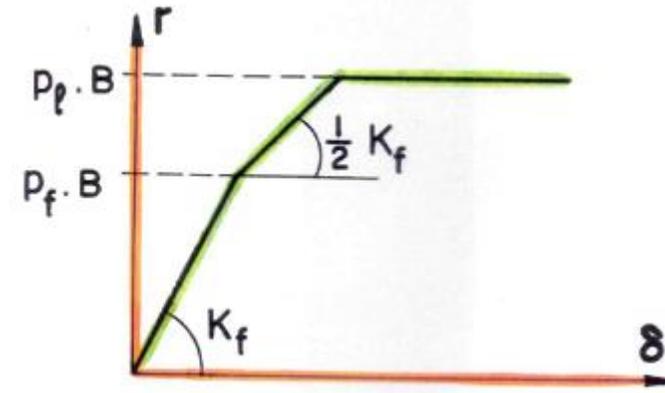
► Norme NF P94-262 – Vérifications de la résistance transversale et des déplacements horizontaux

- Exemples de fonctions de transfert de Frank et Zhao pour les courtes durées d'application et actions accidentelles :



Courte durée

$$K_f = \frac{12E_M}{\frac{4}{3} \frac{B_0}{B} \left[2,65 \frac{B}{B_0} \right]^\alpha + \alpha} \text{ lorsque } B \geq B_0$$



actions accidentelles

$$K_f = \frac{12E_M}{\frac{4}{3} [2,65]^\alpha + \alpha} \text{ lorsque } B \leq B_0$$

► Norme NF P94-262 – Justification des fondations profondes

- La méthode pressiométrique – terme de pointe :

$$R_b = A_b q_b$$

$$q_b = k_p p_{le}^*$$

$$p_{le}^* = \frac{1}{b+3a} \int_{D-b}^{D+3a} p_l^*(z) dz$$

$$D_{ef} = \frac{1}{p_{le}^*} \int_{D-h_D}^D p_l^*(z) dz$$

lorsque l'encastrement relatif D_{ef}/B est supérieur à 5 :

$$k_p(D_{ef}/B) = k_{pmax}$$

lorsque l'encastrement relatif D_{ef}/B est inférieur à 5

$$k_p(D_{ef}/B) = 1,0 + (k_{pmax}-1,0)(D_{ef}/B)/5$$

Tableau F.4.2.1 — Valeur du facteur de portance pressiométrique k_{pmax} pour un encastrement effectif $D_{ef}/B > 5$

Terrain	Argile % CaCO3 < 30% Limon Sols intermédiaires	Sols intermédiaires Sable Grave	Craie	Marne et calcaire- mameux	Roche altérée et fragmentée (a)
1	1,15 (b)	1,1 (b)	1,45 (b)	1,45 (b)	1,45 (b)
2	1,3	1,65	1,6	1,6	2,0
3	1,55	3,2	2,35	2,10	2,10
4	1,35	3,1	2,30	2,30	2,30
5 #	1,0	1,9	1,4	1,4	1,2
6 #	1,20	3,10	1,7	2,2	1,5
7 #	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
8	1,15 (b)	1,1 (b)	1,45 (b)	1,45 (b)	1,45 (b)

(#) pour les pieux de type BAO, HB et PP, mis en œuvre par vibrofonçage, au lieu de battage, il y a lieu de faire un abattement de 50% sur le facteur k_p .

(a) La valeur de k_p pour les roches altérées et fragmentées doit être prise égale à celle de la formation meuble du tableau à laquelle le matériau concerné s'apparente le plus. Dans le cas des roches saines, il convient (F.1 (2) Note 1) d'apprécier si une justification basée sur les méthodes de la présente annexe F et à l'évidence pessimiste est suffisante, ou bien s'il convient d'avoir recours aux méthodes spécifiques de la mécanique des roches.

(b) Pour les micropieux, le terme de pointe n'est normalement pas pris en compte.

(c) Il convient de se référer à l'article A.10 pour le choix des périmètres et des aires des pieux à considérer dans les calculs.

(d) D'autres valeurs de k_{pmax} peuvent être utilisées à condition de satisfaire les conditions de la clause 9 de la section 1.

► Justification des fondations profondes

- Le terme de frottement latéral :

$$R_s = P_s \int_0^D q_s(z) dz \quad q_s(z) = \alpha_{\text{pieu-sol}} f_{\text{sol}} [p_l^*(z)]$$

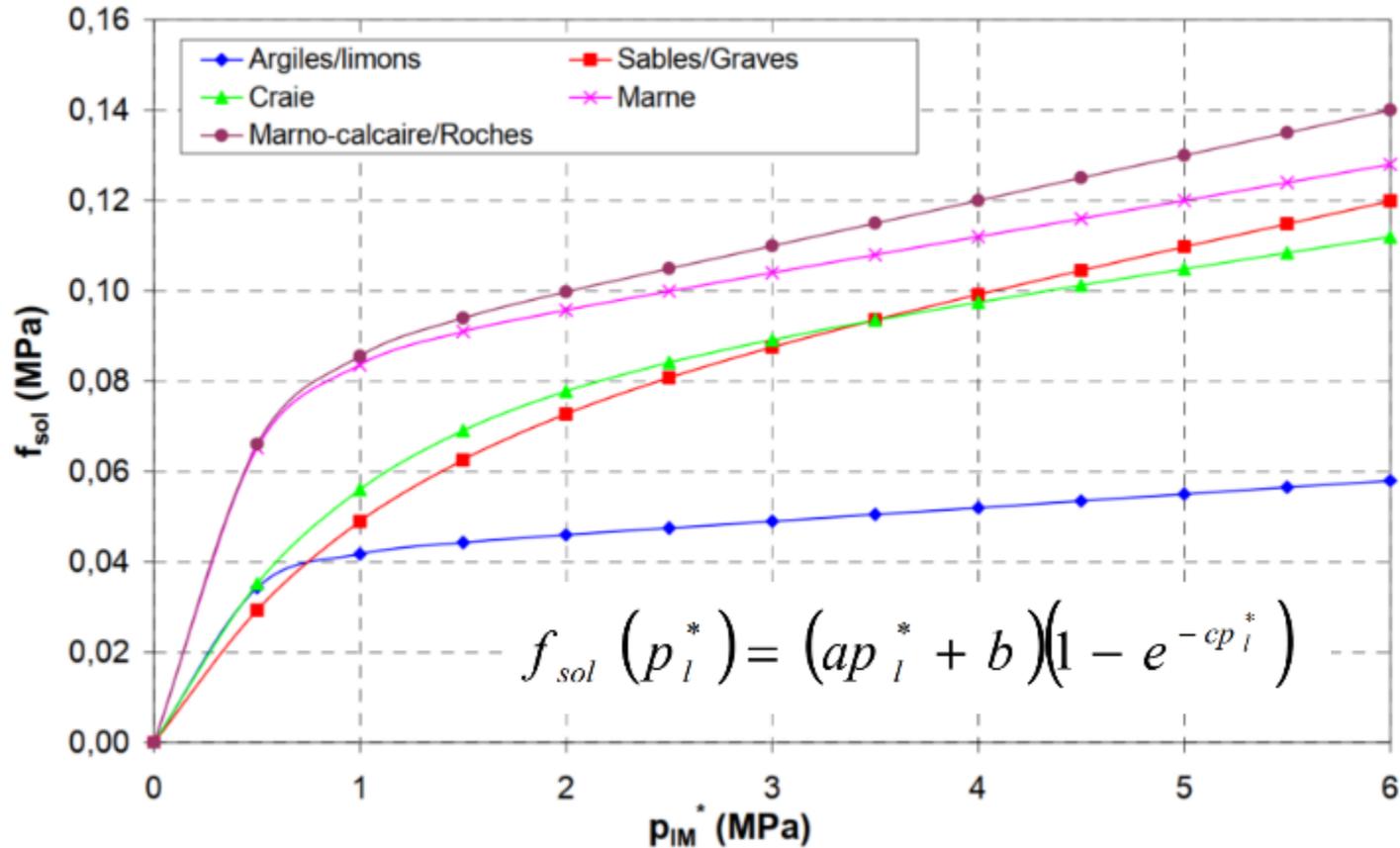


Tableau F.5.2.1 — Choix des valeurs de $\alpha_{\text{pieu-sol}}$ — Méthode pressiométrique

N°	Abréviation	Technique de mise en œuvre	Argile % CaCO ₃ < 30% Limon Sols intermédiaires	Sols intermédiaires Sable Grave	Craie	Marne et Calcaire-Marneux	Roche altérée ou fragmentée
1	FS ##	Foré simple (pieux et barrettes)	1,1	1	1,8	1,5	1,6
2	FB ##	Foré boue (pieux et barrettes)	1,25	1,4	1,8	1,5	1,6
3	FTP	Foré tubé (virole perdue)	0,7	0,6	0,5	0,9	—
4	FTR	Foré tubé (virole récupérée)	1,25	1,4	1,7	1,4	—
5	FSR, FBR, PU ##	Foré simple ou boue avec rainurage ou puits	1,3	—	—	—	—
6	FTC, FTCD (c)	Foré tarière continue simple rotation ou double rotation	1,5	1,8	2,1	1,6	1,6
7	VM	Vissé moulé	1,9	2,1	1,7	1,7	—
8	VT	Vissé tubé	0,6	0,6	1	0,7	—
9	BPF**, BPR**	Battu béton préfabriqué ou précontraint	1,1	1,4	1	0,9	—
10	BE**	Battu enrobé (béton - mortier - coulis)	2	2,1	1,9	1,6	—
11	BM**	Battu moulé	1,2	1,4	2,1	1	—
12	BAF**	Battu acier fermé	0,8	1,2	0,4	0,9	—
13	BAO** #	Battu acier ouvert	1,2	0,7	0,5	1	1
14	HB** #	H battu	1,1	1	0,4	1	0,9
15	HBI**	H battu injecté IGU ou IRS	2,7	2,9	2,4	2,4	2,4
16	PP** #	Palplanches battues	0,9	0,8	0,4	1,2	1,2
17	M1	Micropieu type I	—	—	—	—	—
18	M2	Micropieu type II	—	—	—	—	—
19	PIGU, MIGU	Pieu ou micropieu injecté (type III)	2,7	2,9	2,4	2,4	2,4
20	PIRS, MIRS	Pieu ou micropieu injecté (type IV)	3,4	3,8	3,1	3,1	3,1

- ▶ Norme NF P94-282 – Ecrans de soutènement – Justifications à mener :
 - ELU et ELS Structuraux ⇒ **Utilisation du module pressiométrique Ménard (Méthode aux coefficients de réaction) ;**
 - ELS de déplacement/déformation de l'écran ⇒ **Utilisation du module pressiométrique Ménard (Méthode aux coefficients de réaction) ;**
 - ELU de résistance géotechnique des tirants d'ancrage ⇒ **Méthode pressiométrique ;**

► Norme NF P94-282 – Ecrans de soutènement – Tirants d'ancrage

Argile et limon

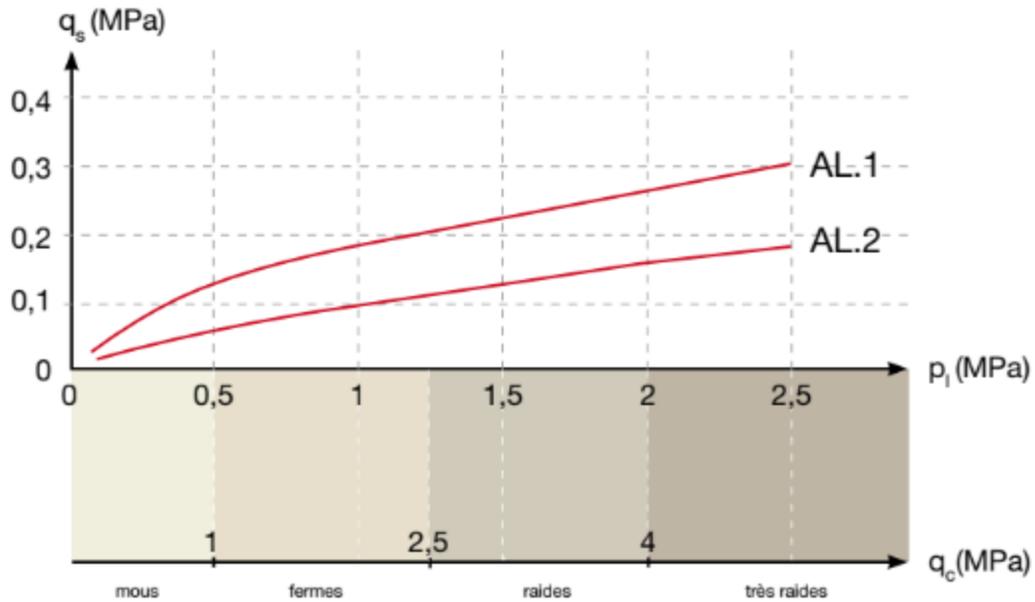


Figure H.2 : abaque de pré-dimensionnement pour les tirants d'ancrage scellés dans les argiles et lim

Légende :
 AL1 : abaque pour les tirants IRS
 AL2 : abaque pour les tirants IGU

Sable et grave

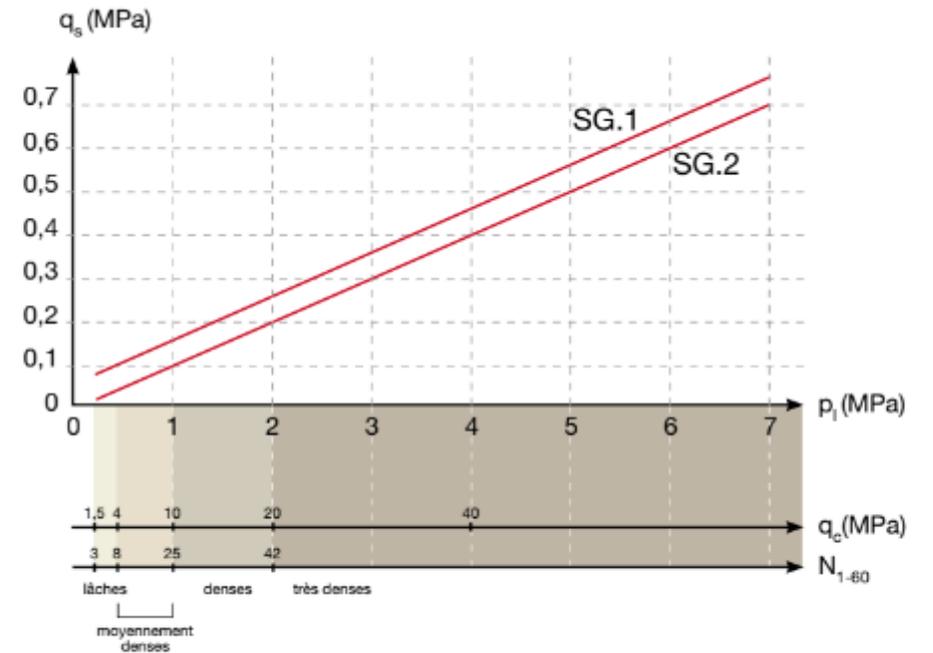
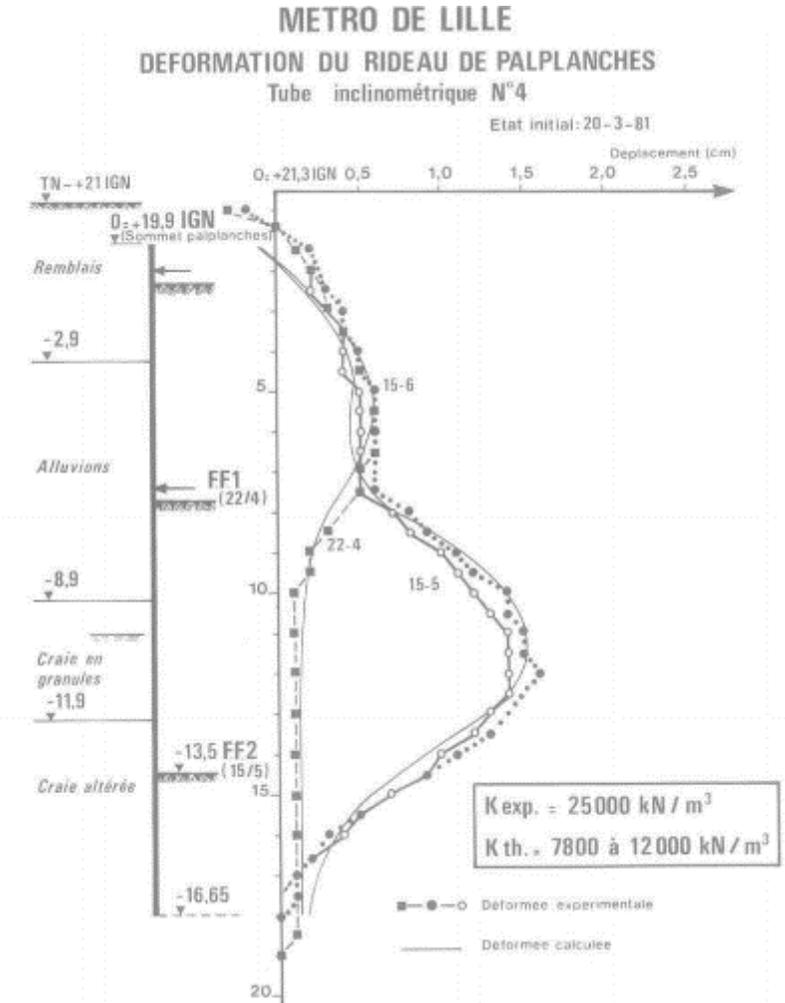
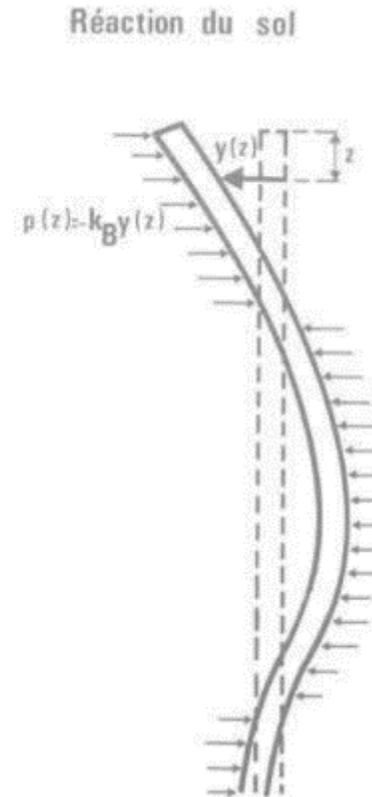
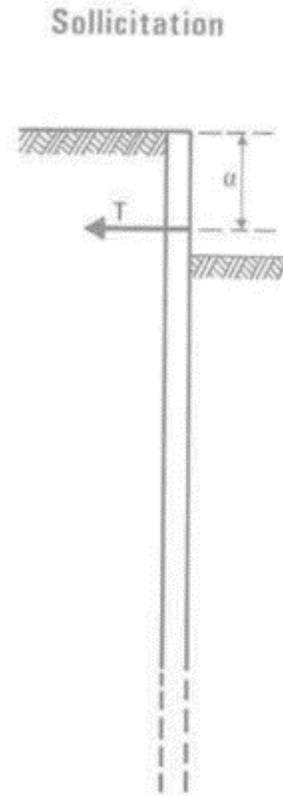


Figure H.1 : abaque de pré-dimensionnement pour les tirants d'ancrage scellés dans les sables et graves

Légende :
 SG1 : abaque pour les tirants IRS
 SG2 : abaque pour les tirants IGU

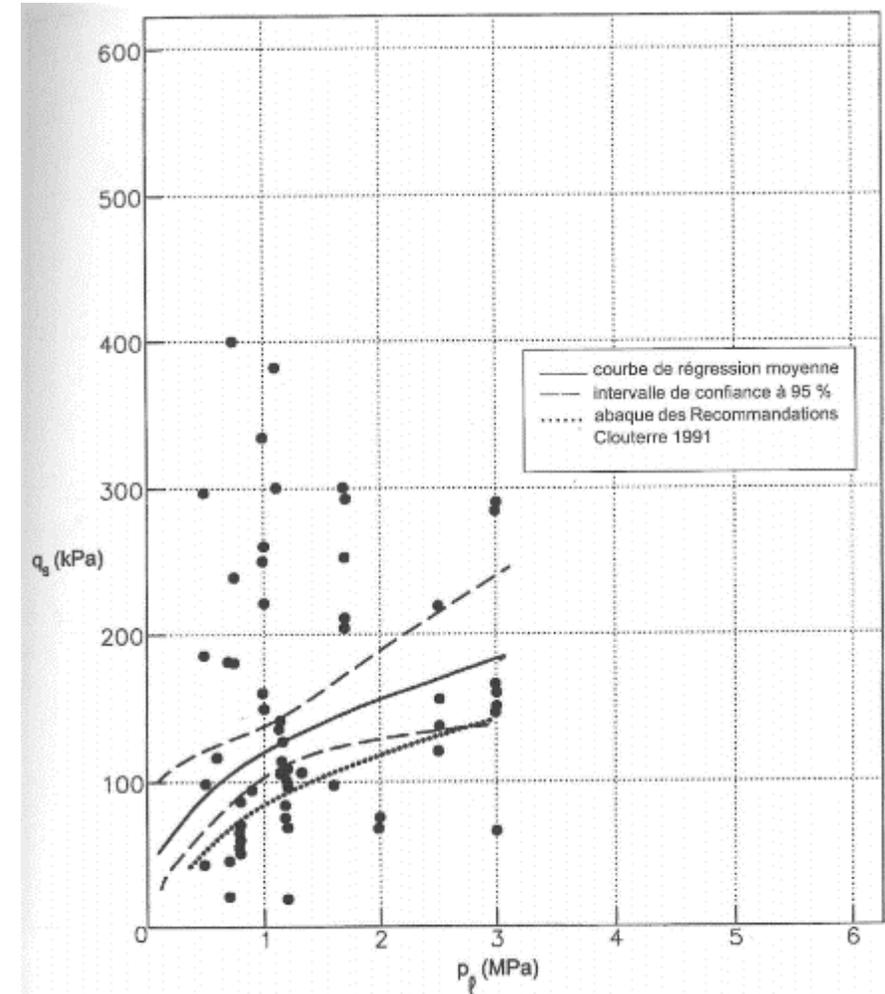
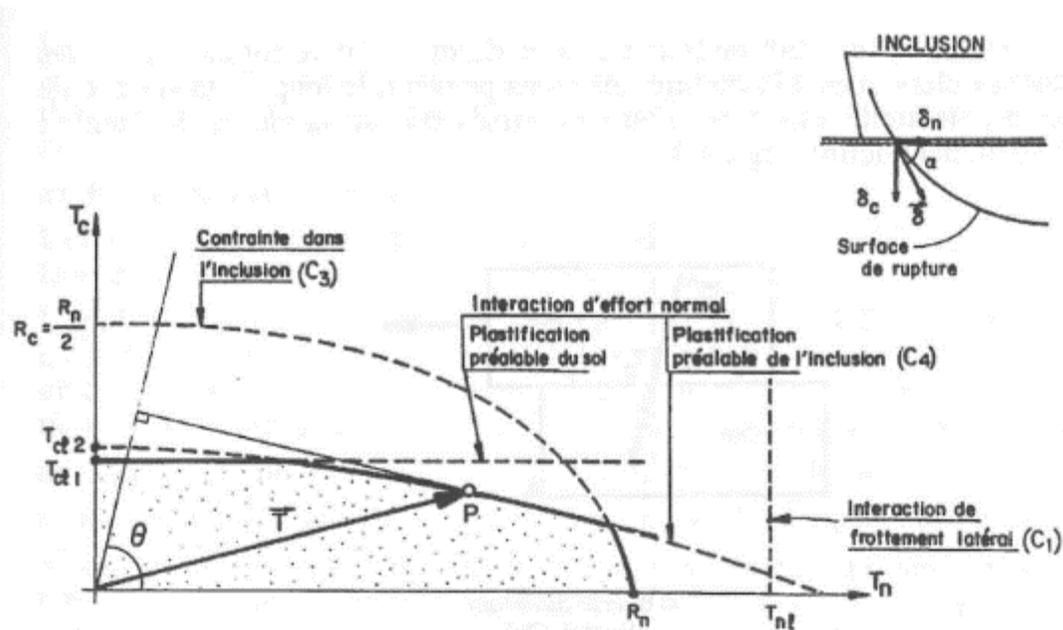
- ▶ Norme NF P94-282 – Ecrans de soutènement – Méthode aux coefficients de réaction :
 - Etude expérimentale et notion de coefficient de réaction (P. Schmitt) :

$$k_h = 2 \frac{\left(\frac{E_M}{\alpha}\right)^{\frac{4}{3}}}{\left(\frac{E_{str} I_{str}}{B_0}\right)^{\frac{1}{3}}}$$



- ▶ Norme NF P94-270 – Massifs de sols cloués – Justifications à mener :
 - ELU de stabilité mixte, interne ⇒ **Méthode pressiométrique** ;
 - ELS de déplacement/déformation de l'écran ⇒ **Méthode pressiométrique** ;

► Norme NF P94-270 – Massifs de sols cloués – Détermination de la résistance géotechnique :



► Norme NF P94-270 – Massifs de sols cloués – les lois de transfert :

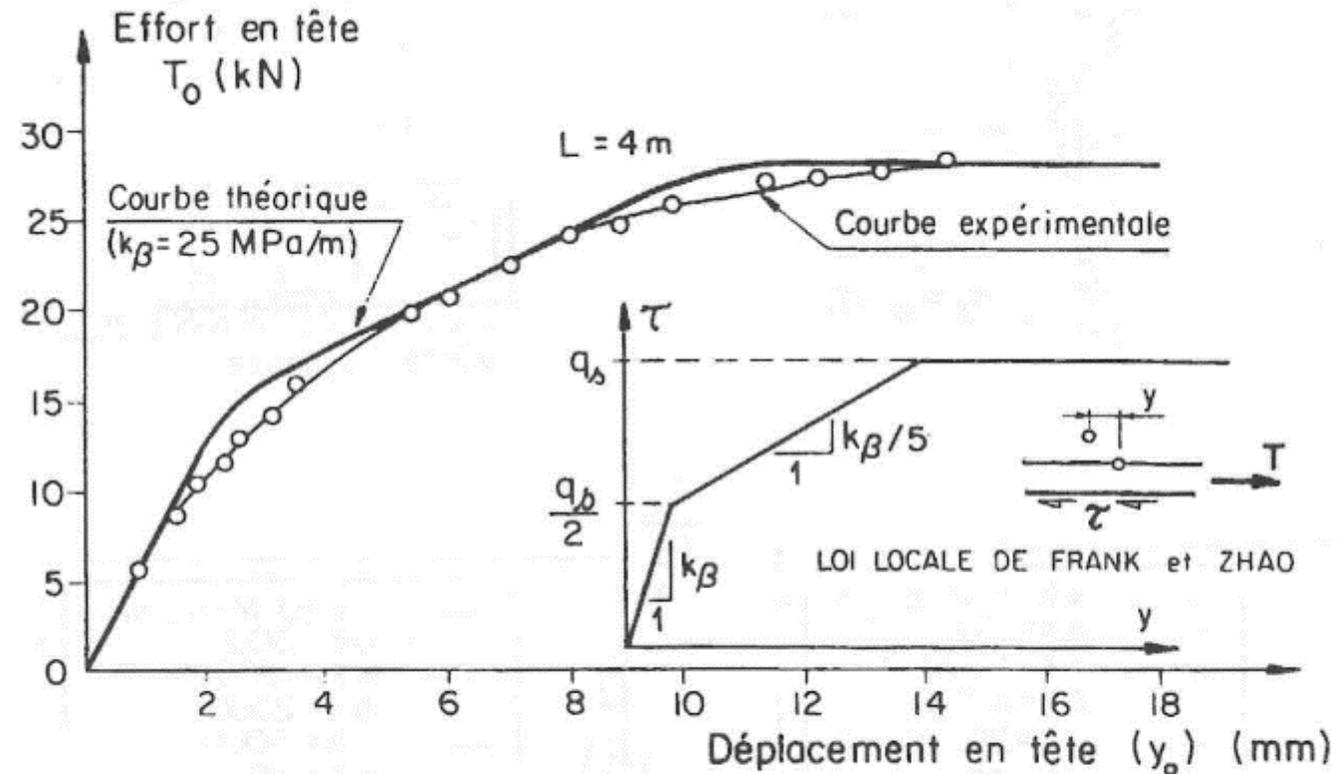


Fig. 8 – Approche de la courbe d'arrachement expérimentale par une loi de type Frank et Zhao (CEBTP, CLOUTERRE, 1988).

► Intégration de nouvelles règles pour le calcul des tassements des semelles superficielles :

Annex H
(informative)

Procédures d'estimation du tassement d'une fondation superficielle à partir des modules pressiométriques Ménard – Méthode ARSCOP

H.1 Préambule

(1) On donne dans cette annexe, des procédures alternatives nommées ARSCOP (Note 1) à celle de Ménard qui peuvent être utilisées pour estimer le tassement d'une fondation superficielle rigide (filante ou isolée) à partir des valeurs de module pressiométrique E_M déduites des essais pressiométriques réalisés conformément à la norme NF EN ISO 22476-4. La procédure directe de calcul du tassement dite « méthode pressiométrique » est présentée.

NOTE 1 ARSCOP est un projet national de recherche dédié au pressiomètre et à ses applications pour le calcul des ouvrages géotechniques : il a permis le développement d'une méthode alternative à celle historique de Ménard afin de pérenniser l'utilisation du pressiomètre en France.

(2) Cette méthode permet d'estimer le tassement final d'une fondation superficielle en considérant l'amortissement des contraintes avec la profondeur au droit de la fondation (Note 1).

NOTE 1 Cette méthode est adaptée à l'estimation des tassements pour des chargements proches de ceux de l'ELS quasi-permanent. Elle fournit pour des chargements très faibles des valeurs trop importantes.

(3) Cette méthode de calcul des tassements d'une fondation superficielle constitue un ensemble indissociable à considérer dans son intégralité (Note 1).

NOTE 1 Par exemple, les valeurs de tassements sont à calculer avec des modules pressiométriques Ménard et non avec des modules d'élasticité.

- Intégration de nouvelles règles pour le calcul des tassements des semelles superficielles :

Approche A

$$s = \frac{B}{2} \sum_{i=1}^{16} \frac{\eta_i \times a}{1 - \eta_i \times b} \quad \text{avec} \quad \eta_i = \frac{q}{E_{M,i}} I(z)$$

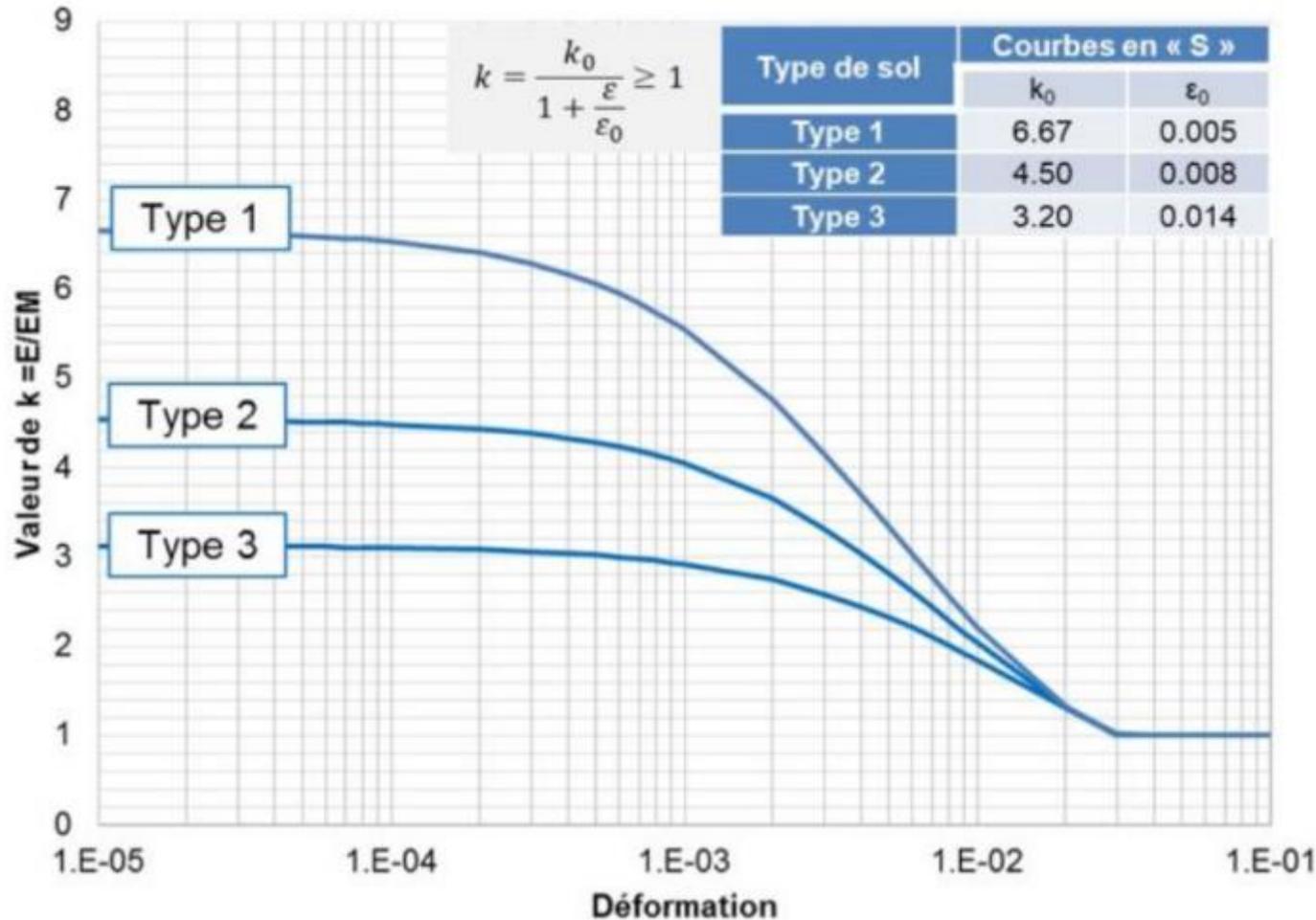
Approche B

$$s = \frac{B}{2} \sum_{i=1}^{16} \frac{\mu_i \times a}{1 - \mu_i \times b} \quad \text{avec} \quad \mu_i = \frac{q}{E_{M,i}} F(z)$$

i	z/B	I(z)						F(z)					
		L/B						L/B					
		1	2	3	4	5	20	1	2	3	4	5	20
1	0.0 – 0.5	0.353	0.354	0.355	0.363	0.370	0.395	0.335	0.308	0.311	0.316	0.322	0.343
2	0.5 – 1.0	0.265	0.309	0.319	0.325	0.330	0.351	0.365	0.392	0.392	0.393	0.396	0.417
3	1.0 – 1.5	0.148	0.212	0.233	0.241	0.246	0.261	0.222	0.301	0.319	0.322	0.324	0.336
4	1.5 – 2.0	0.088	0.142	0.169	0.181	0.187	0.200	0.134	0.210	0.242	0.253	0.257	0.265
5	2.0 – 2.5	0.057	0.099	0.124	0.138	0.146	0.160	0.087	0.148	0.183	0.199	0.206	0.216
6	2.5 – 3.0	0.039	0.071	0.094	0.108	0.117	0.132	0.061	0.108	0.140	0.158	0.168	0.181
7	3.0 – 3.5	0.029	0.054	0.073	0.086	0.095	0.112	0.044	0.082	0.109	0.127	0.139	0.156
8	3.5 – 4.0	0.022	0.042	0.058	0.070	0.078	0.097	0.034	0.063	0.087	0.104	0.116	0.136
9	4.0 – 4.5	0.017	0.033	0.046	0.057	0.065	0.084	0.027	0.051	0.070	0.086	0.097	0.120
10	4.5 – 5.0	0.014	0.027	0.038	0.048	0.055	0.074	0.021	0.041	0.058	0.072	0.083	0.106
11	5.0 – 5.5	0.011	0.022	0.032	0.040	0.047	0.066	0.018	0.034	0.049	0.061	0.071	0.095
12	5.5 – 6.0	0.010	0.019	0.027	0.034	0.040	0.059	0.015	0.029	0.041	0.052	0.061	0.085
13	6.0 – 6.5	0.008	0.016	0.023	0.030	0.035	0.052	0.013	0.024	0.035	0.045	0.053	0.077
14	6.5 – 7.0	0.007	0.014	0.020	0.026	0.031	0.047	0.011	0.021	0.031	0.039	0.047	0.069
15	7.0 – 7.5	0.006	0.012	0.017	0.023	0.027	0.043	0.009	0.018	0.027	0.034	0.041	0.063
16	7.5 – 8.0	0.005	0.010	0.015	0.020	0.024	0.039	0.008	0.016	0.024	0.030	0.037	0.057

Type de sol (coefficient rhéologique)	Famille A	Famille B
$\alpha = 1/3$	a = 0,15 et b = 30	a = 0,15 et b = 16
$\alpha = 1/2$	a = 0,22 et b = 27	a = 0,20 et b = 15
$\alpha = 2/3$	a = 0,32 et b = 22	a = 0,28 et b = 12
$\alpha = 1$	a = 0,60 et b = 15	a = 0,46 et b = 10

► Corrélation entre module d'élasticité (Young) et module Ménard :



($E_M = E_0$)

Type de sol	Type
Sables et graves Roche très fracturée	1
Sables, graves serrés Limons	2
Argiles, argiles surconsolidées Roche peu fracturée	3

(Projet National ARSCOP, 2018)