



**Cerema**

Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

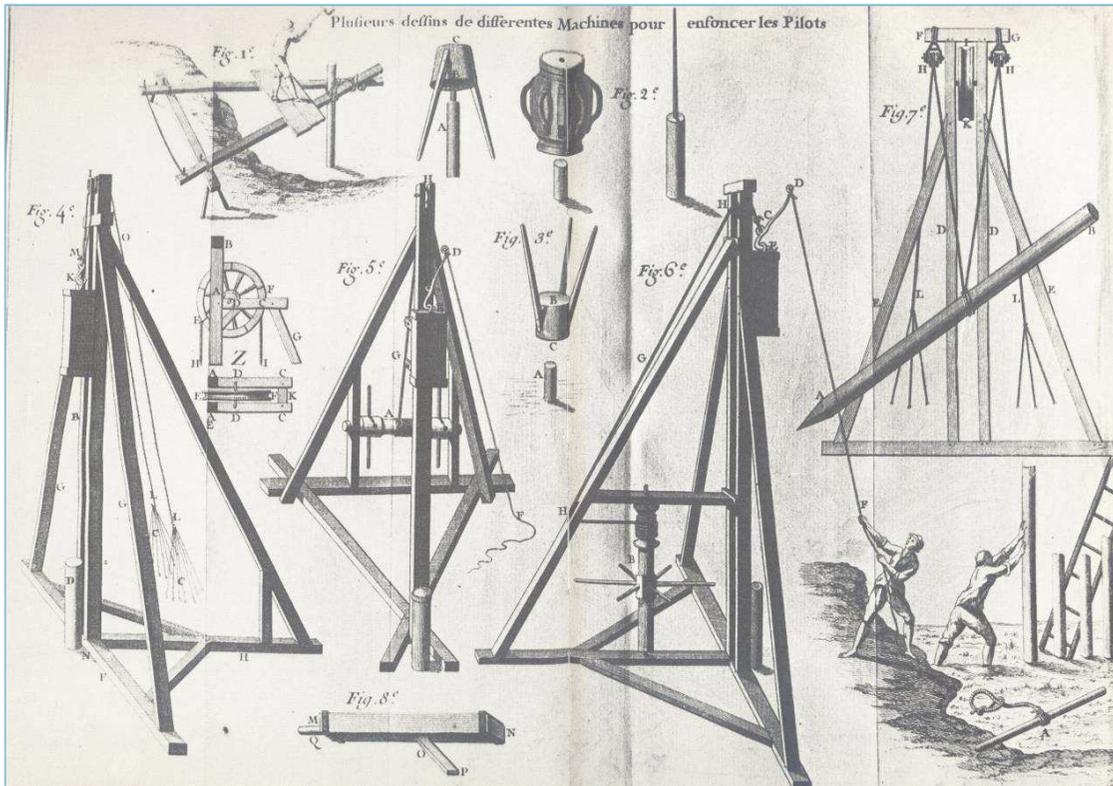
# *Étude en vraie grandeur de la capacité portante des pieux vibrofoncés*

**Par Frédéric ROCHER-LACOSTE**

***Le 26 mars 2014***



# Battage



Différentes machines pour fonder des pieux  
(Bélidor, 1750), (Kruizinga, 1997)



Marteau hydraulique

Battage à Merville 2003

# Vibrofonçage



Vibrofonçage en ville dans les années 60  
(Photographie de PTC)



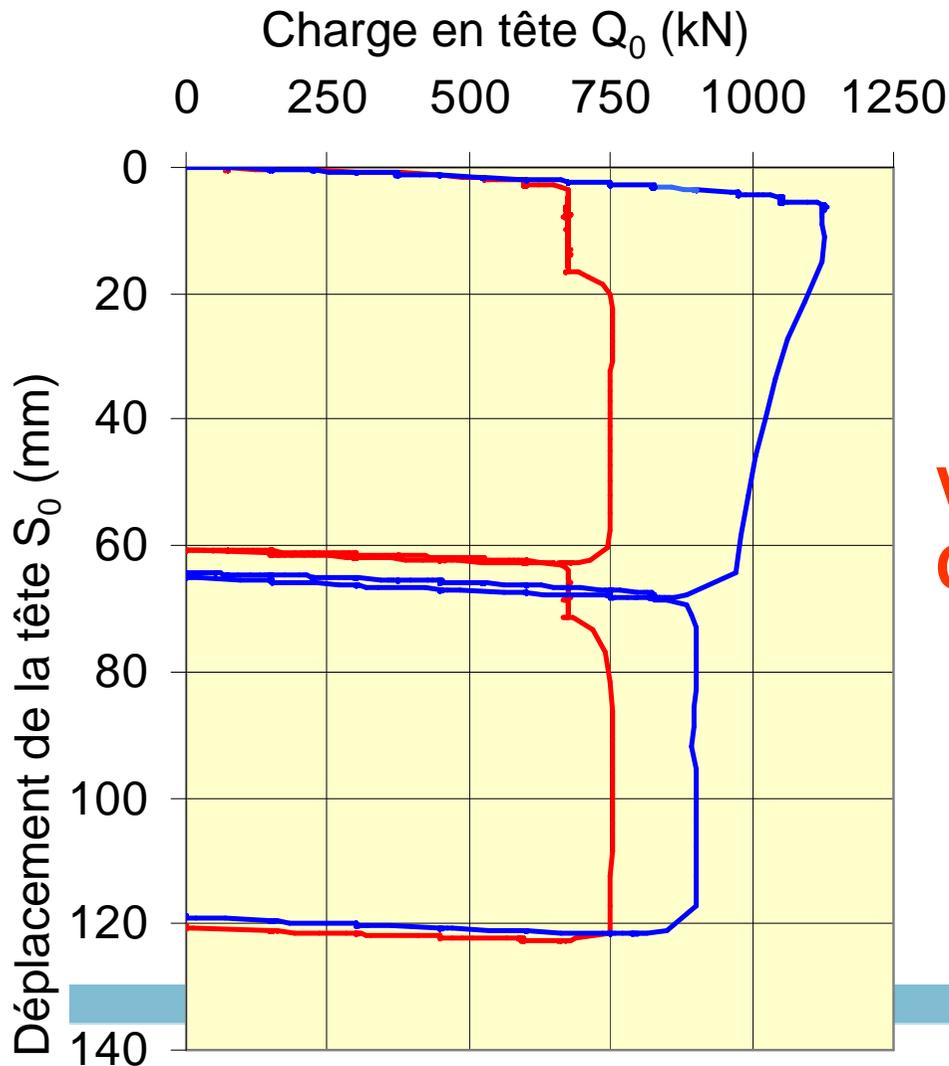
Vibrofonçage à Merville 2003

# Essais en vraie grandeur



Site de Merville

# Tube ouvert Ø 508 mm

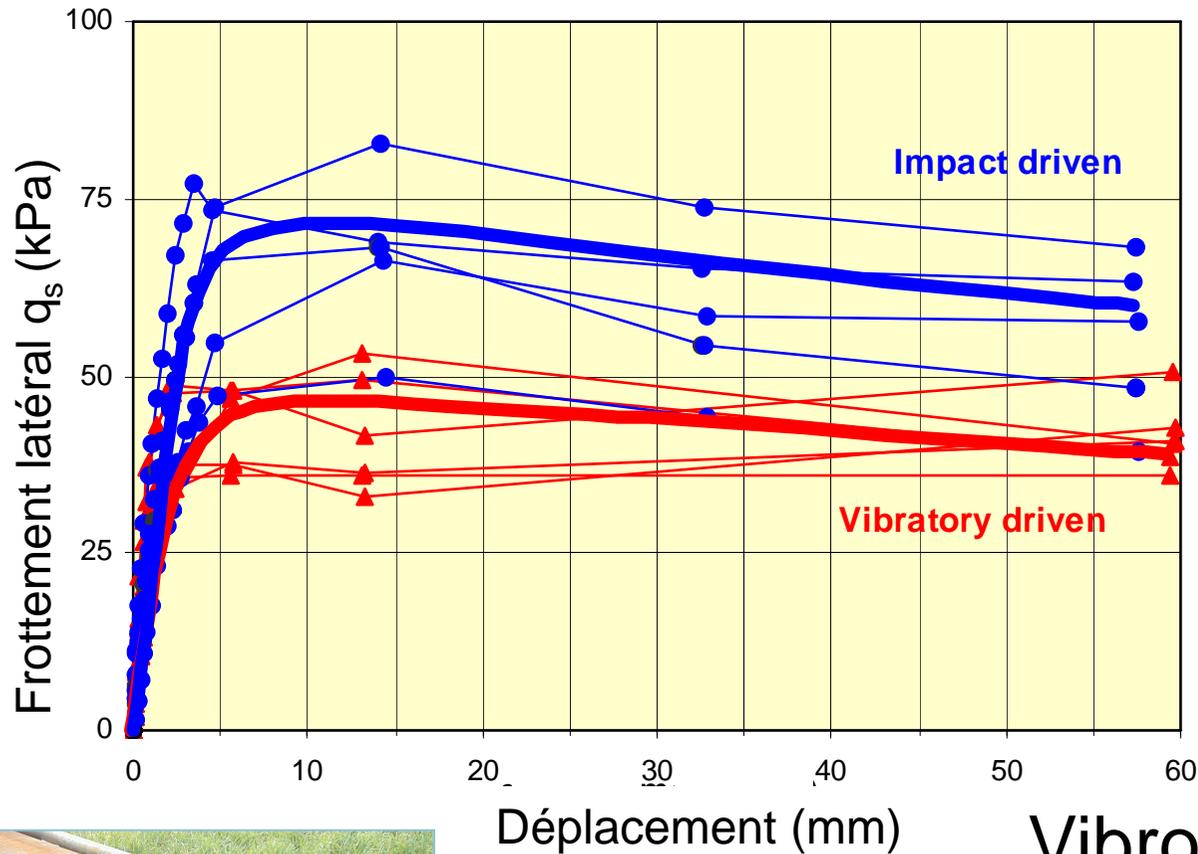


**Vibrofonçage**  
 $Q_u = 675 \text{ kN}$

**Battage**  
 $Q_u = 1100 \text{ kN}$

Vibrofonçage / Battage  
**- 40 %**

# Mobilisation du frottement latéral



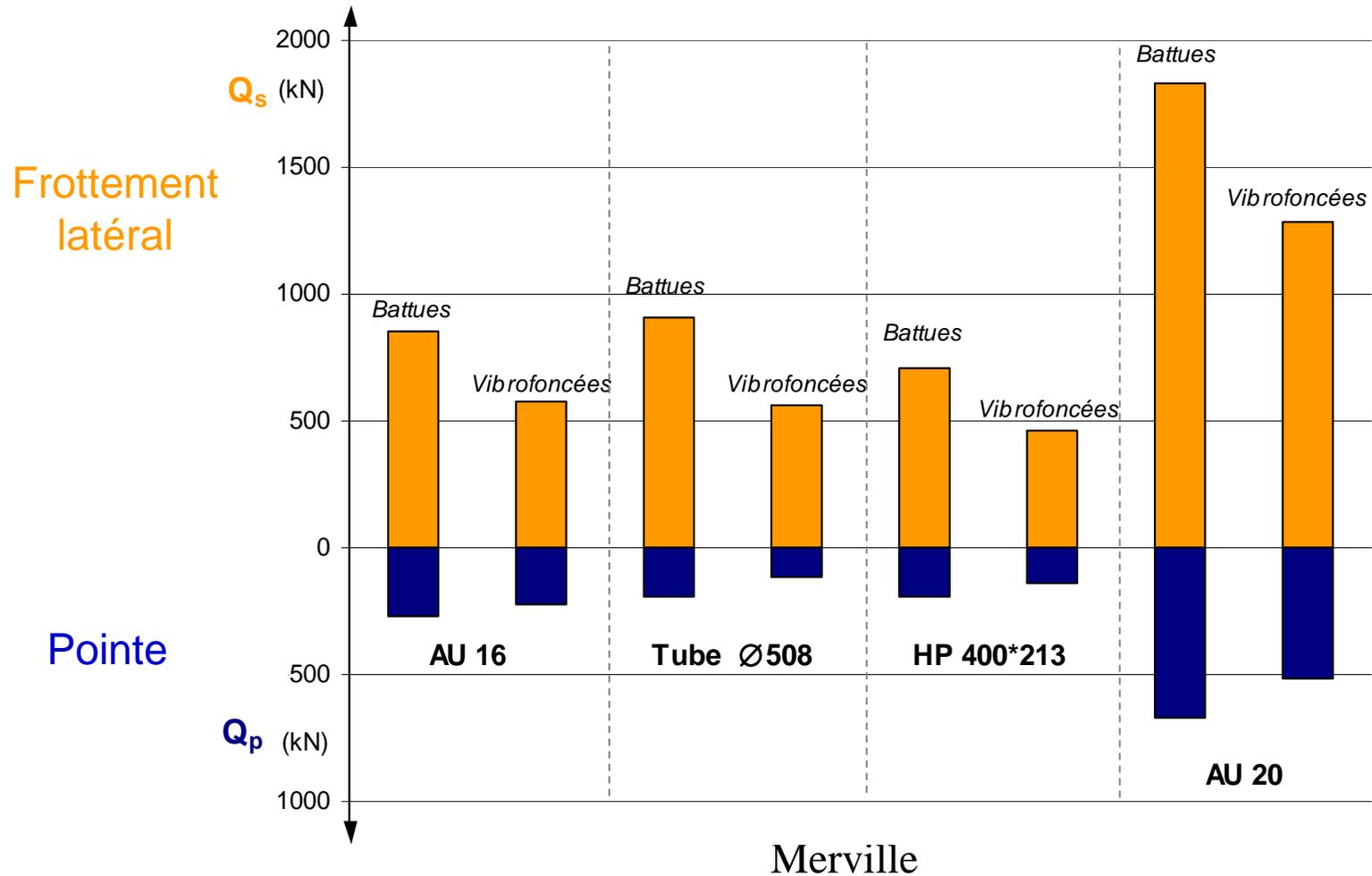
**Battage**  
 $q_s = 67$  kPa

**Vibrofonçage**  
 $q_s = 42$  kPa

Vibrofonçage / Battage  
**- 35 %**



# Synthèse des essais



# Synthèse des essais

## Monchy Saint-Eloi

Pieux	charge limite $Q_u$ (kN)	frottement latéral $Q_s$ (kN)	$q_s$ moyen Tourbe (kPa)	$q_s$ moyen Sable (kPa)	résistance en pointe $Q_p$ (kN)	$k_p$
Pieu sur-Battu	2100	285	30	75	1815	2,8
Pieu Vibrofoncé	1800	240	22	70	1560	2,4
<i>facteur réducteur <math>\alpha</math> (%)</i>	15	16	27	14	14	

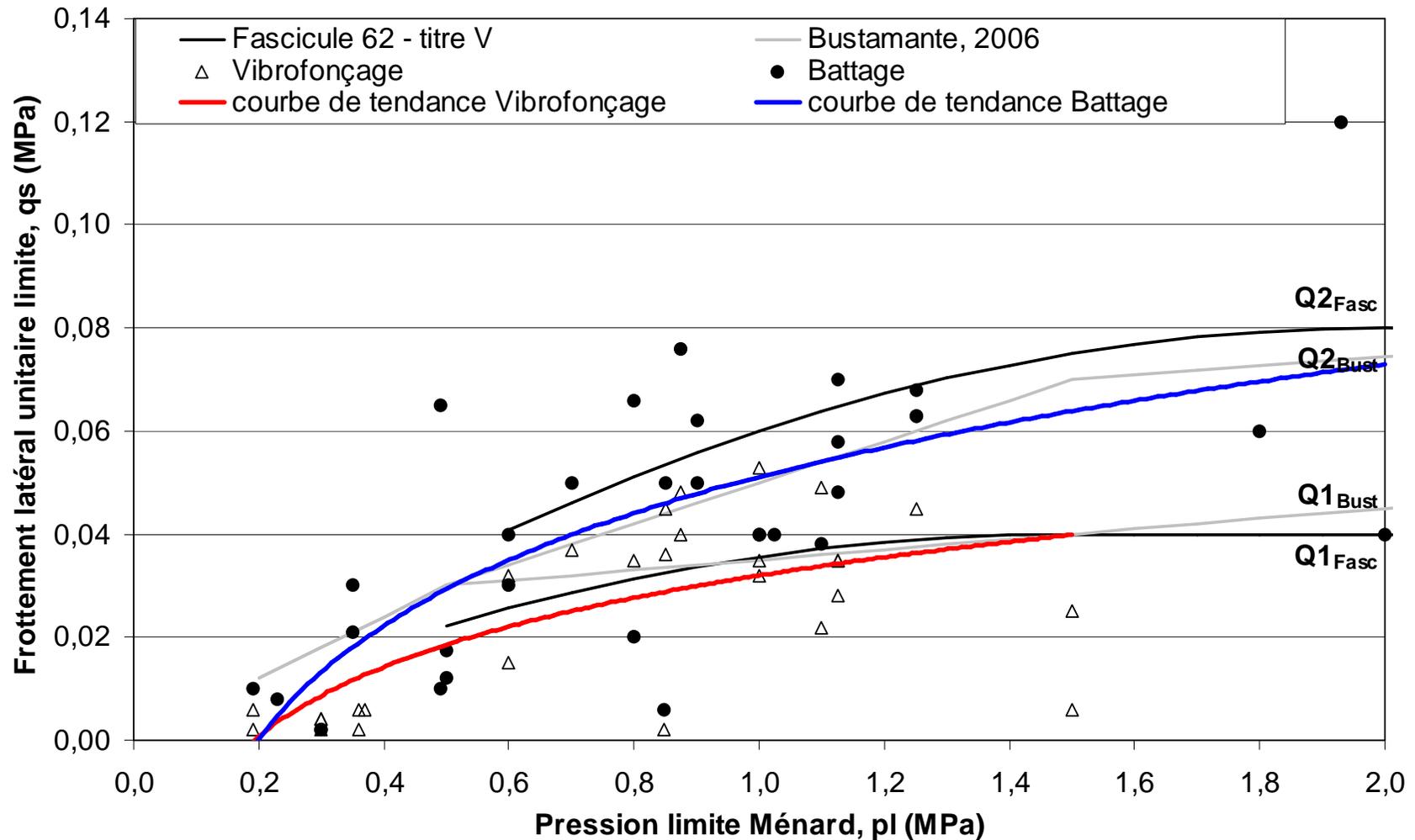
facteur réducteur  $\alpha$  : valeur vibrage =  $(1 - \alpha) * \text{valeur battage}$

## Merville

Pieux	charge limite $Q_u$ (kN)	frottement latéral $Q_s$ (kN)	$q_s$ moyen (kPa)	résistance en pointe $Q_p$ (kN)	$k_p$	$k_c$
AU16 Battues	1125	852	45	273	0,93	0,46
AU16 Vibrofoncées	800	575	34	225	0,76	0,38
<i>facteur réducteur <math>\alpha</math> (%)</i>	29	33		8		
Tube 508 Battu	1100	910	67	190	0,76	0,36
Tube 508 Vibrofoncé	675	563	42	112	0,45	0,22
<i>facteur réducteur <math>\alpha</math> (%)</i>	39	38		42		
HP Battu	900	705	50	195	1,06	0,44
HP Vibrofoncé	600	465	35	135	0,73	0,31
<i>facteur réducteur <math>\alpha</math> (%)</i>	33	40		31		
AU20 Battues	2500	1829	50	671	1,03	0,46
AU20 Vibrofoncées	1700	1200	32	500	0,77	0,34
<i>facteur réducteur <math>\alpha</math> (%)</i>	32	35		7		

facteur réducteur  $\alpha$  : valeur vibrage =  $(1 - \alpha) * \text{valeur battage}$

# Résultats de portance



# Synthèse des comparaisons

Auteurs	Nombre de pieux	Type de pieux	Sol	Comparaison de la résistance ultime en %		
				R <sub>c</sub> Capacité portante ultime	R <sub>s</sub> Frottement latéral ultime	R <sub>b</sub> Résistance en pointe ultime
Paunescu et Mateescu (1970)	8	Béton préfabriqué	pointe dans un sable graveleux	+ 25 à + 40%		
Mazurkiewicz (1975)	11	Béton préfabriqué	Sable Sable limoneux Sable argileux	- 40. %		
Braaker (1986)	> 20	Pieux acier et Palplanches	Sable lâche et sable moyen	-10 à - 30 %		
Briaud et al. (1990)	6	Pieux H	Sable lâche	égal	+ 75 %	- 75 %
Mosher (1990)	12	Béton préfabriqué	Sable moyennement compact	- 30 %	- 20 %	- 35 %
Mosher (1990)	10	Béton préfabriqué	Sable dense & argile	- 15 à - 50 %	- 50 - 55 %	- 10 à - 70 %
Rollins (2001)	40	Tube acier ouvert	Sable dense	- 35 à - 55 %	- 15 à - 75 %	- 35 à - 50 %
Borel & al. (2002)	2	Palplanche	Marnes et caillasses	- 35 %	- 20 %	- 75 %
Borel & al. (2002)	2	Caisson de palplanches	Graves compactes	- 25 %	- 25 %	
Lammertz & al. (2006)	2	Tube acier ouvert	Sable moyennement compact	+ 10 %		
Lammertz & al. (2006)	6	Tube acier ouvert	Sable dense	0 à - 10 %		
Rocher-Lacoste & al. (2004) Rocher-Lacoste & al. (2006)	8	Palplanches, pieux HP et Tube acier ouvert	Argile raide	- 30 à - 40 %	- 35 à - 40 %	- 20 à - 50 %
Rocher-Lacoste & al. (2008)	2	Béton préfabriqué	Sable	- 15 %	- 16 %	- 14 %

la capacité portante ultime :  
+40 % à -55 % pour les pieux foncés par vibrage vis à vis des pieux foncés par battage,

- le frottement latéral ultime :  
+75 % à -75 % pour les pieux foncés par vibrage,

- la résistance en pointe ultime : -10 % à -75 % pour les pieux foncés par vibrage.

# Conclusions

---

Le calcul de la capacité portante des profilés métalliques ouverts (tube, palplanche et pieu HP), dans les sables et les argiles, pourrait se faire en utilisant, pour la méthode dite « pressiométrique » :

- la courbe Q1, du Fascicule 62 - titre V (1993), pour les pieux foncés par vibrage,
- la courbe Q2, pour les pieux battus

Après avoir introduit les pieux vibrofoncés dans la norme d'application française de l'Eurocode 7 pour la justification du calcul des fondations profondes (NF P94-262), il serait souhaitable de pouvoir continuer à faire d'autres comparaisons avec les pieux battus.

# Calcul de la résistance en pointe - méthode pressiométrique

NF P 94-262

$$R_p = A_p k_p p_{le}^*$$

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- marneux	Roche altérée et fragmentée (a)
Classe de pieu (c)					
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, la résistance 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.

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

N°	Abreviation	Technique de mise en œuvre	Argile % CaCO <sub>3</sub> < 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 tube (virole perdue)	0,7	0,6	0,5	0,9	—
4	FTR	Foré tube (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 prefabriqué 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

\*\* Il convient de se reporter à l'article A.10 pour le calcul du périmètre.

$$R_s = P_s \int_0^D q_s(z) dz$$

$$q_s(z) = \alpha_{\text{pieu-sol}} f_{\text{sol}} [p_l^*(z)]$$

# Pour les pieux de type BAO, HB et PP, mis en œuvre par vibrofonçage, et pas par battage, il y a lieu de faire un abattement de 30% sur les valeurs de  $q_s$ .

## Pour les pieux de grande longueur, il convient d'appliquer la clause (6) de la présente section.

(a) Pour les micropieux BE, HBi, MIGU, PIGU, PIRS et MIRS, les valeurs proposées correspondent à une exécution stricte et soignée de l'injection correspondante. Les essais de conformité (Section 8.9) permettront de définir précisément les valeurs de frottement axial unitaire à considérer. Il convient ensuite d'appliquer les valeurs  $\xi_1'$  et  $\xi_2'$  du tableau C.2.3.1. On attire l'attention que cette recommandation est d'autant plus importante dans les argiles et les marnes que les performances dans ces terrains sont très sensibles à toute insuffisance lors de la mise en œuvre.

(b) Pour les micropieux et les pieux de catégorie 17 et 18, il convient de considérer les valeurs de frottement axial unitaire des techniques de pieux ou de micropieux les plus proches sur le plan de la technologie.

(c) Les valeurs mentionnées pour les fondations profondes de catégorie 6 sont données pour des pieux réalisés avec un enregistrement continu des paramètres de forage et de bétonnage (tableau 6.4.1.1 Note (1)). Dans le cas contraire, on s'expose à des discontinuités et des détériorations du pieu lors de sa réalisation.

(d) Les valeurs mentionnées pour les fondations profondes de catégorie 7 mises en œuvre avec une technique de bétonnage directement à la pompe à béton sont données pour des pieux réalisés avec un enregistrement continu des paramètres de réalisation du pieu. Dans le cas contraire, on s'expose à des discontinuités et des détériorations du pieu lors de sa réalisation.

(e) 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.

(f) D'autres valeurs peuvent être utilisées à condition de satisfaire les conditions de la clause 9 de la section 1.



Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

*Merci de votre attention*

