



Journée Technique du CFMS

Paris - 26 mars 2014

Le battage des pieux. Le point de vue du Contrôleur Technique.



Patrick BERTHELOT

patrick.berthelot@fr.bureauveritas.com

*Move Forward with Confidence**



1^{er} rappel

Les 3 principes de la loi Spinetta (du 4 janvier 1978 + Modification du 28 juillet 2008)

⇒ *Présomption de responsabilité [Décennale]* pour

Tout constructeur d'un Ouvrage

⇒ *De l'assurance obligatoire*

Des Travaux de Bâtiment

(Assurance de responsabilité "décennale" + assurance de dommages)

⇒ *Contrôle Technique obligatoire* sur la solidité de l'ouvrage et la sécurité des personnes pour :

*Selon l'article R 111-38 du Code de la Construction et de l'Habitation :
(Sous section 2 - Contrôle technique obligatoire)*

- **les Etablissements Recevant du Public (ERP)**
- **Ouvrages sur pieux > 30 m.**
- ...

NF P 03-100 (09/1995) : *"Critères généraux pour la contribution du contrôle technique à la prévention des aléas techniques dans le domaine de la construction".*

*La notion de contrôle technique implique l'existence **d'un objet à contrôler et d'un référentiel** par rapport auquel s'exerce ce contrôle.*

► **Référentiel**

*Constitué par les dispositions techniques concernées par **la mission de contrôle** et figurant dans les documents relatifs au domaine de la construction.*

- Normes françaises
- D.T.U.
- Règles professionnelles

→ Les missions de base : **L + S**

L = Légale = Solidité des ouvrages finis

S = Sécurité Incendie et des personnes

Mission L : (= *solidité des ouvrages*)

Les aléas techniques à la prévention desquels le C.T. contribue au titre de la mission L sont ceux qui découlant de **défauts dans l'application des textes techniques à caractère réglementaires ou normatifs** sont susceptibles de compromettre la solidité de la construction achevée...

⇒ La **mission L** porte sur les ouvrages d'éléments d'équipements suivants :

- les ouvrages de VRD
- **les ouvrages de fondation**
- les ouvrages d'ossature...

⇒ Les ouvrages de **fondation** relèvent :

- **des normes**
- **des DTU**
- **des règles professionnelles**

Pour les Fondations profondes
NF P 11-212 Ref DTU 13.2
et NF P 94-262



2^{ème} rappel

Principe de dimensionnement :

En France les pieux battus sont calculés comme les pieux forés à partir d'essais in situ. Les formules de battage ne sont pas utilisées pour dimensionner les pieux battus.

Termes de pointe et frottements sont fonction de p_i et q_c + abaqués.

Les formules de battage interviennent comme suivies d'exécution et sont classées dans les "essais d'information" (DTU 13.2 Chapitre 1 § 1.2)

"le nombre des essais d'information ne doit pas être inférieur à 1 sur 20 pieux, ou fraction de 20 pieux, par ouvrage".

DTU 13.2 Chapitre 2 § 2.133.4

Commentaire

Le refus au battage n'a qu'un caractère relatif et ne peut être utilisé qu'à titre de vérification des prévisions résultant de l'étude de sols préalable. Il permet alors de s'assurer que le pieu a atteint la couche portante ou qu'il a obtenu dans celle-ci l'ancrage nécessaire.

NF P 11-212 Ref DTU 13.2 septembre 1992 Chapitre 1 § 1.2 Essais

1,211 Dans le cas des pieux battus

A l'établissement d'une courbe de battage complète établie en portant en ordonnées les profondeurs et en abscisses la **résistance dynamique calculée** par la formule des Hollandais sans coefficient de réduction :

$$R_d = \frac{M^2 h}{e(M + P)}$$

dans laquelle :

R_d = résistance dynamique

M = poids du mouton

h = hauteur de chute du mouton

P = poids des pièces mobiles intéressées au battage

e = enfoncement moyen par coup de mouton.

Sur les trois derniers mètres, tous les 1 m de profondeur, on relève le refus élastique e^1 et on porte sur le graphique de battage les quatre points représentatifs obtenus par la formule de Crandall sans coefficient de réduction :

$$R_d = \frac{M^2 h}{\left(e + \frac{e^1}{2}\right)(M + P)}$$

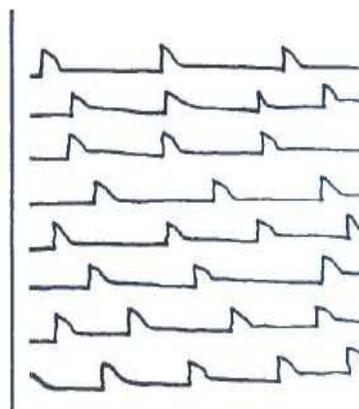
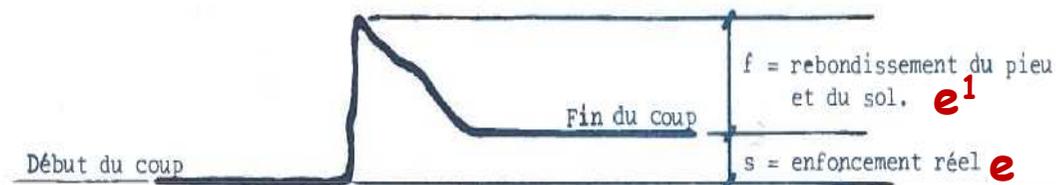
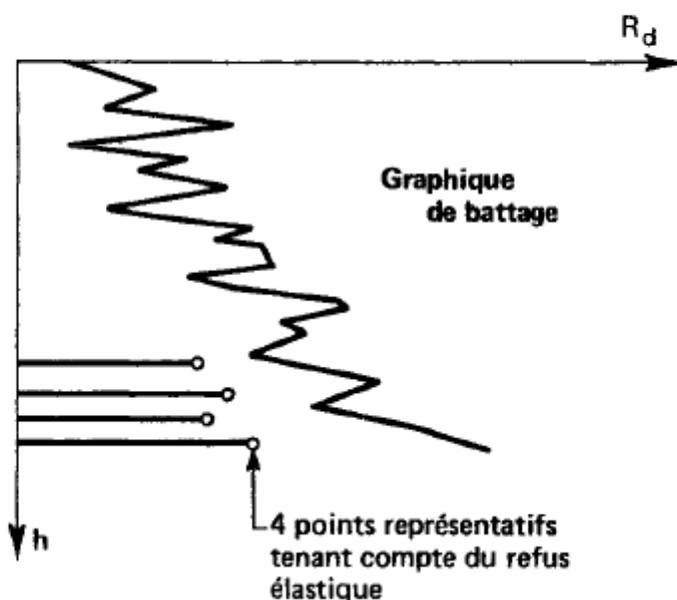
dans laquelle e^1 = refus élastique

DTU 13.2 septembre 1992 Chapitre 10 § 10,221 Le battage

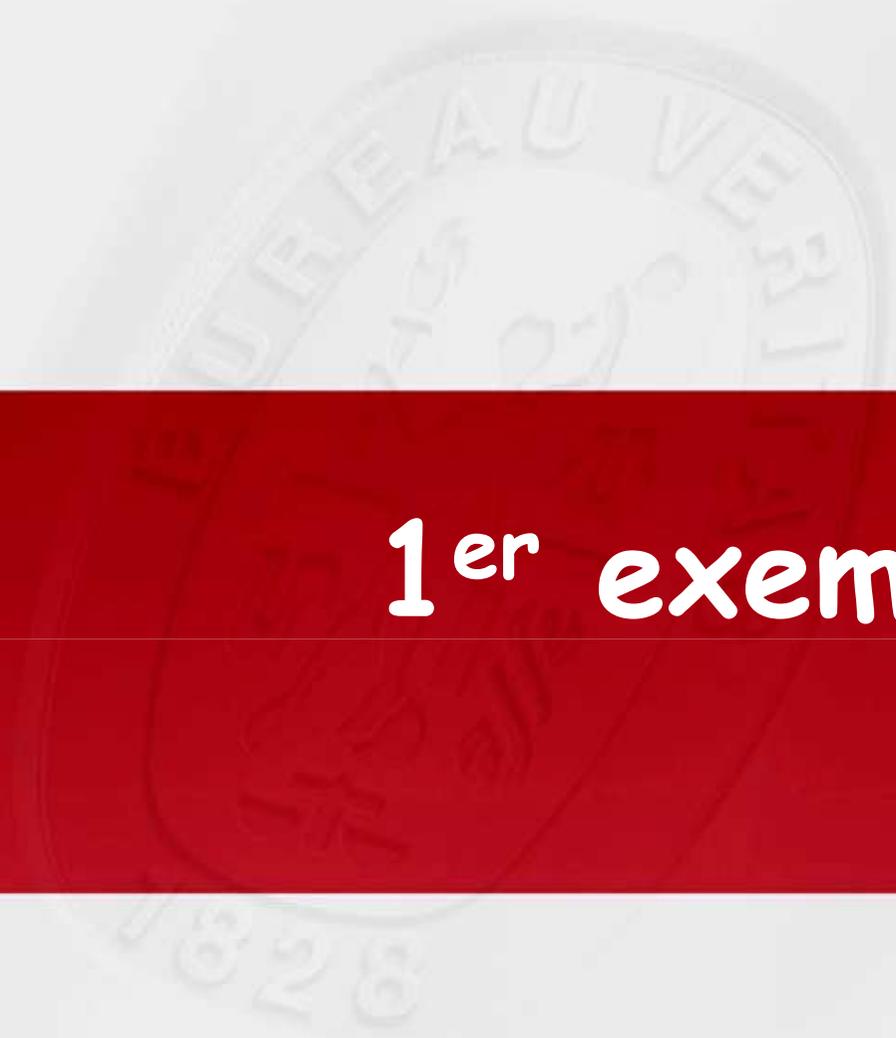
- les refus sous les trois dernières volées de 10 coups de mouton.

Pour obtenir les refus élastiques, on peut placer une feuille de papier sur le fût du pieu et déplacer horizontalement un crayon sur ce papier pendant l'application du coup de mouton ;

Delmag France mars 1974 et
DTU 13.2 mars 1966 et juin 1978



C'est à partir de cette feuille d'essai qu'est établi le graphique de battage prescrit en 1,211 du Cahier des Clauses Techniques.

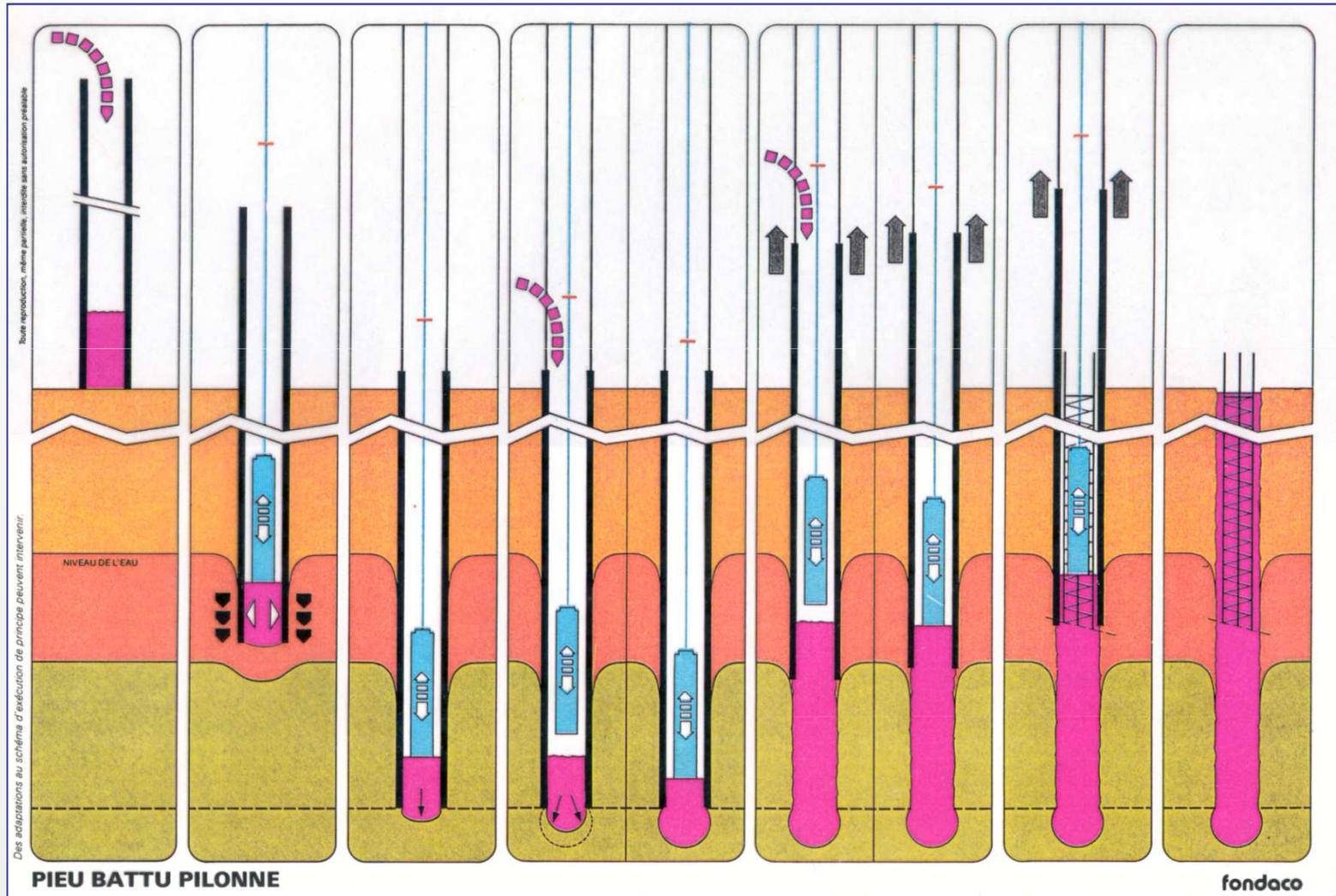


1^{er} exemple

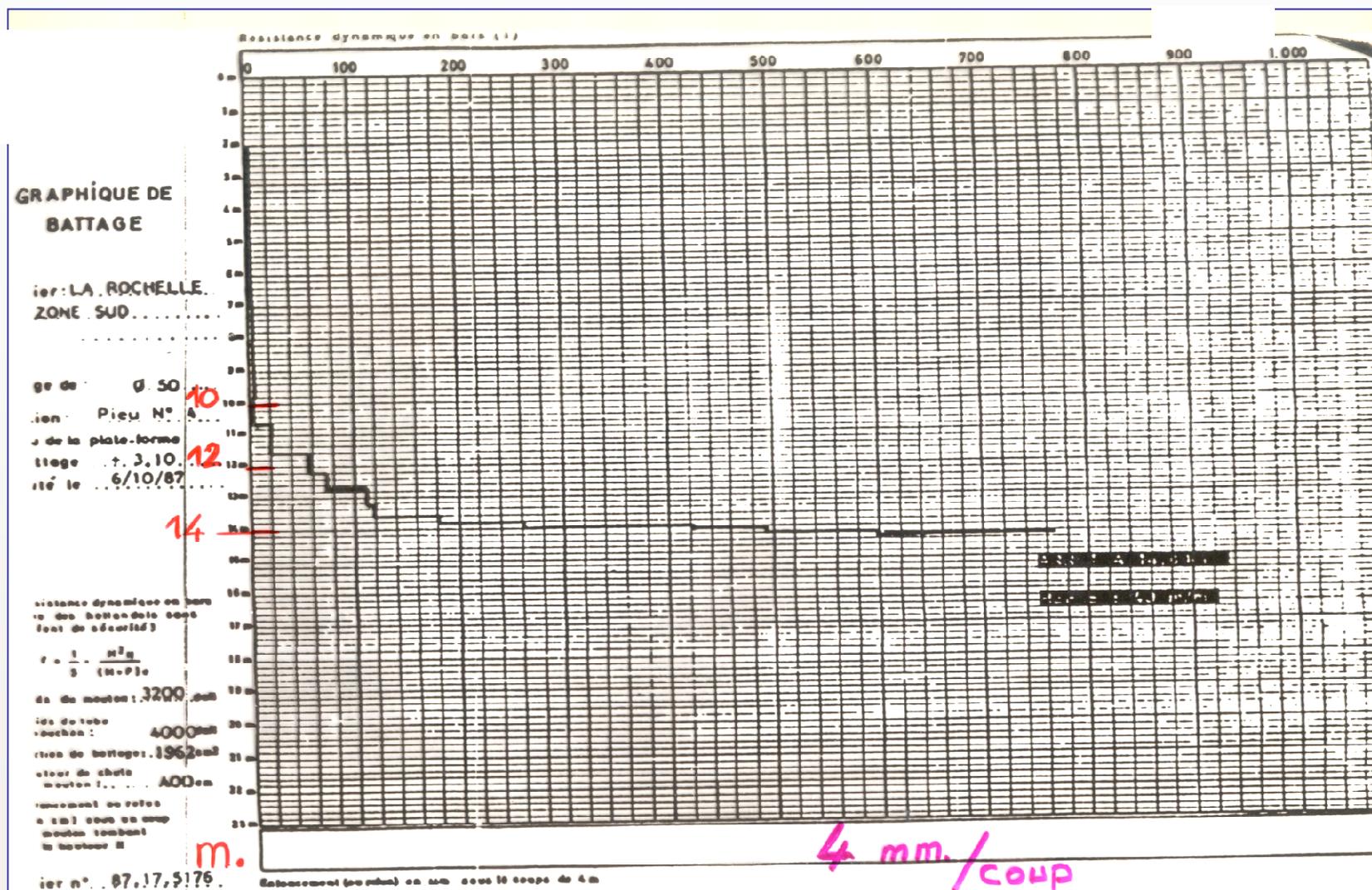
Pieu battu pilonné § 3.1 DTU 13.2

Mouton = pilon intérieur 3200 Kg comprimant un bouchon de béton ferme.

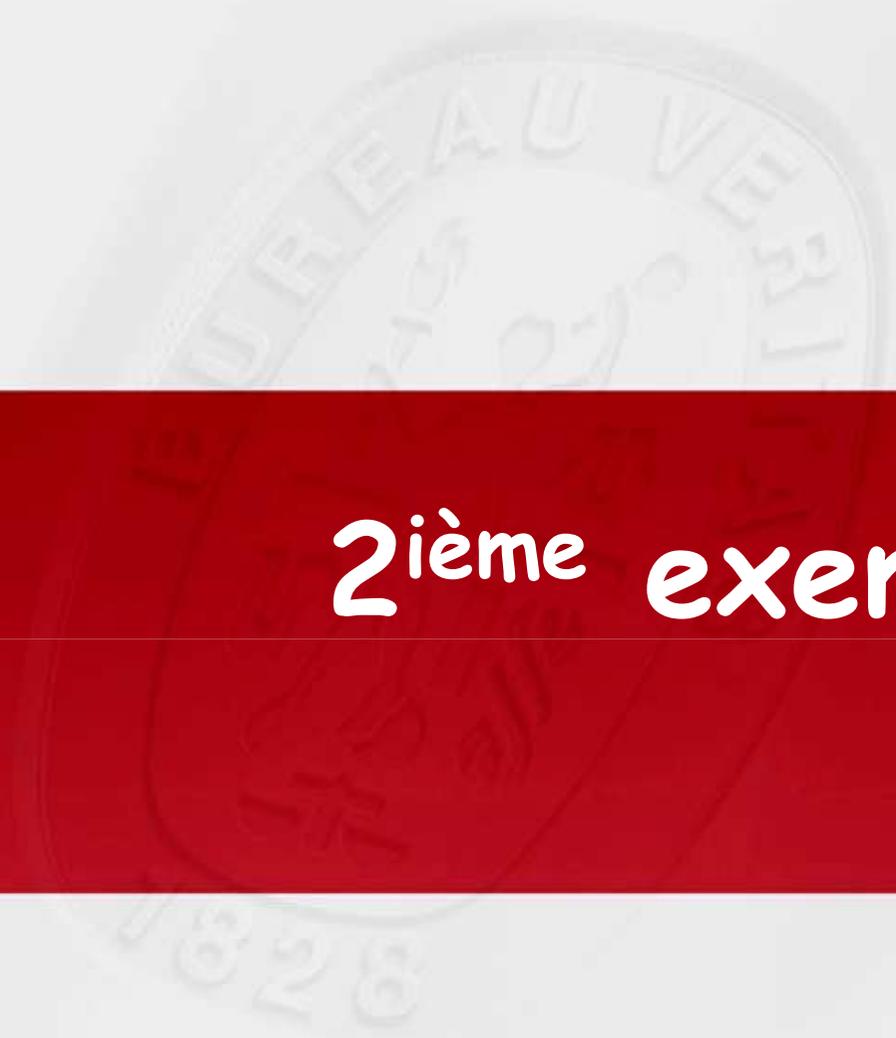
Mesure d'un enfoncement total.



Graphique de battage



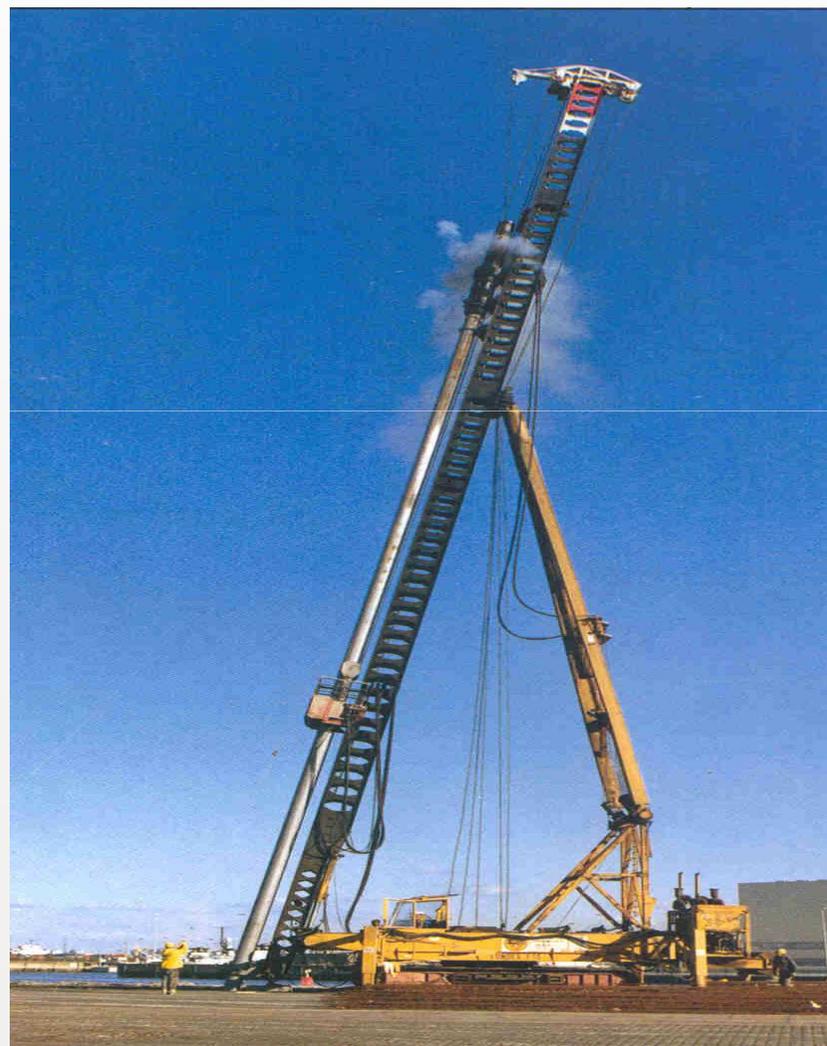
Formule des Hollandais $R_d = \frac{3200^2 \times 4}{4 \times (3200 + 4000)} = 1440 \text{ t} = 14 \text{ MN}$

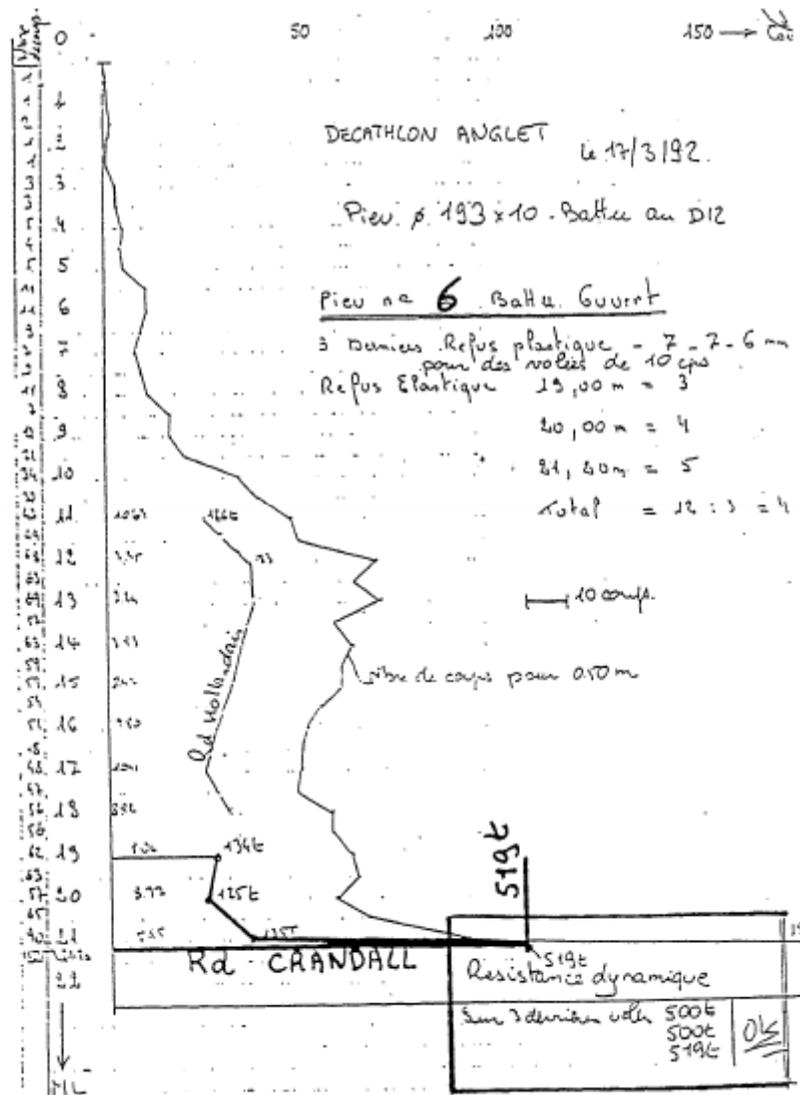


2^{ème} exemple



Mouton Diesel





Mouton Diesel Delmag D12

$$M = 1250 \text{ Kg} \quad h = 2,5 \text{ m.}$$

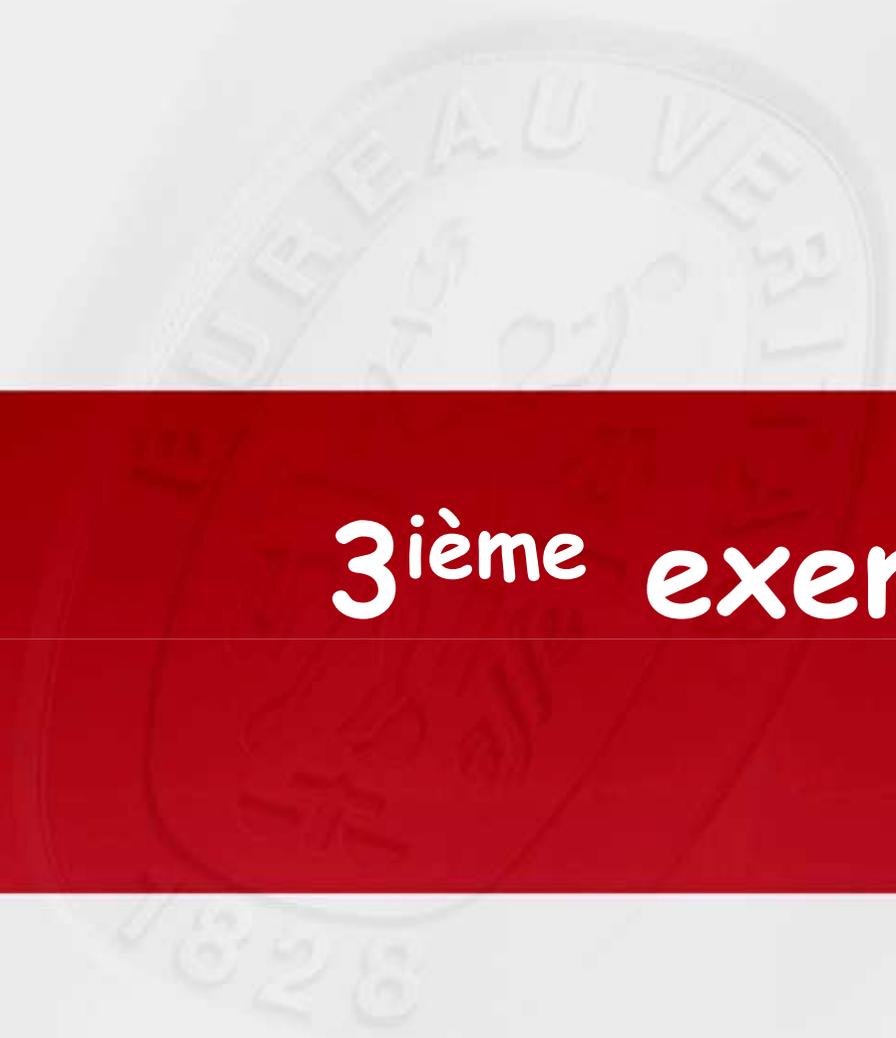
$$e = 0,7 \text{ mm} \quad e^1 = 4 \text{ mm}$$

$$e + e^1 / 2 = 2,7 \text{ mm}$$

Crandall

$$R_d = 1250^2 \times 2,5 / 2,7 \times (1250 + 1644)$$

$$R_d = 500 \text{ t}$$



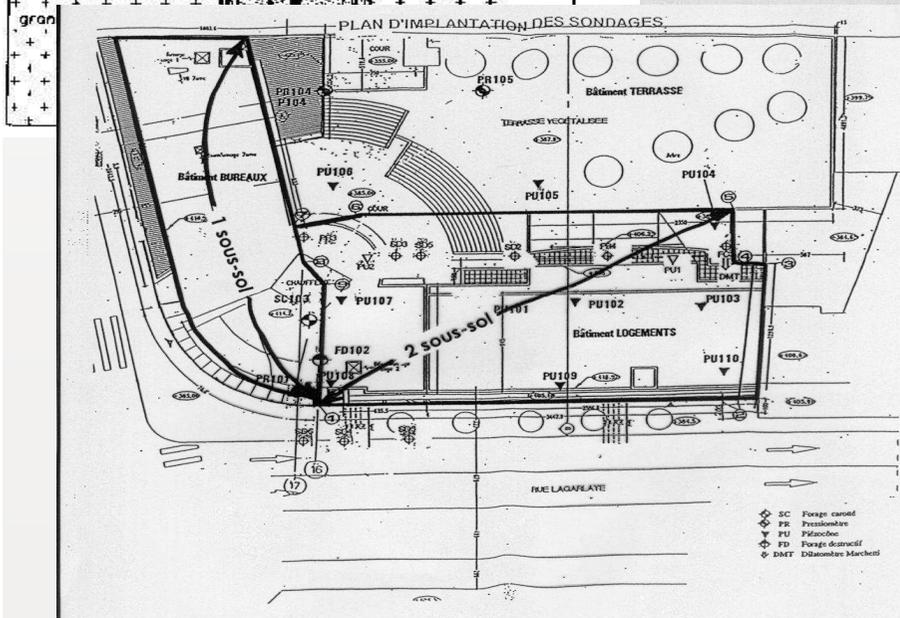
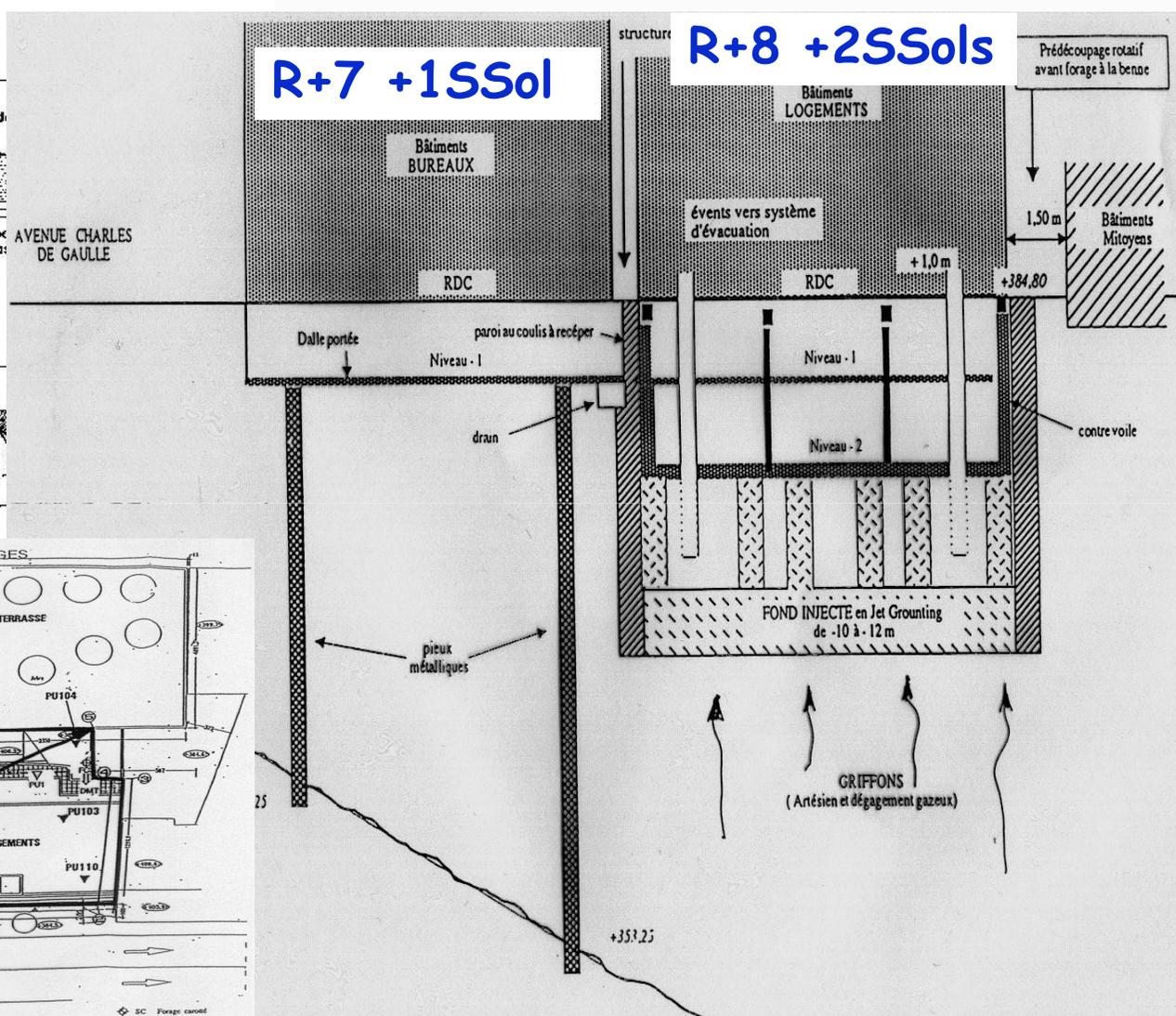
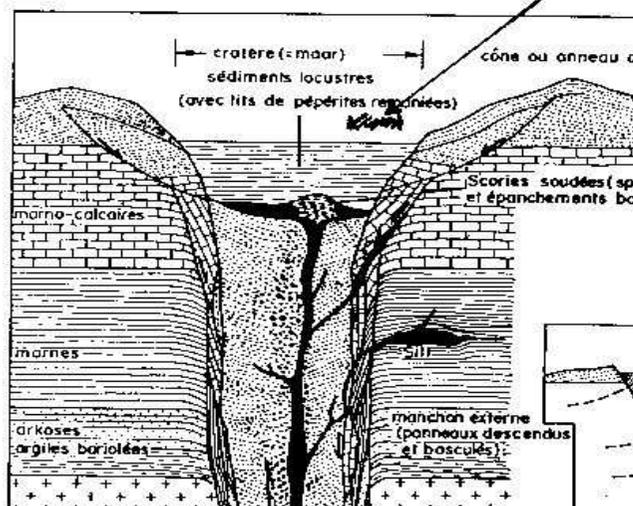
3^{ième} exemple

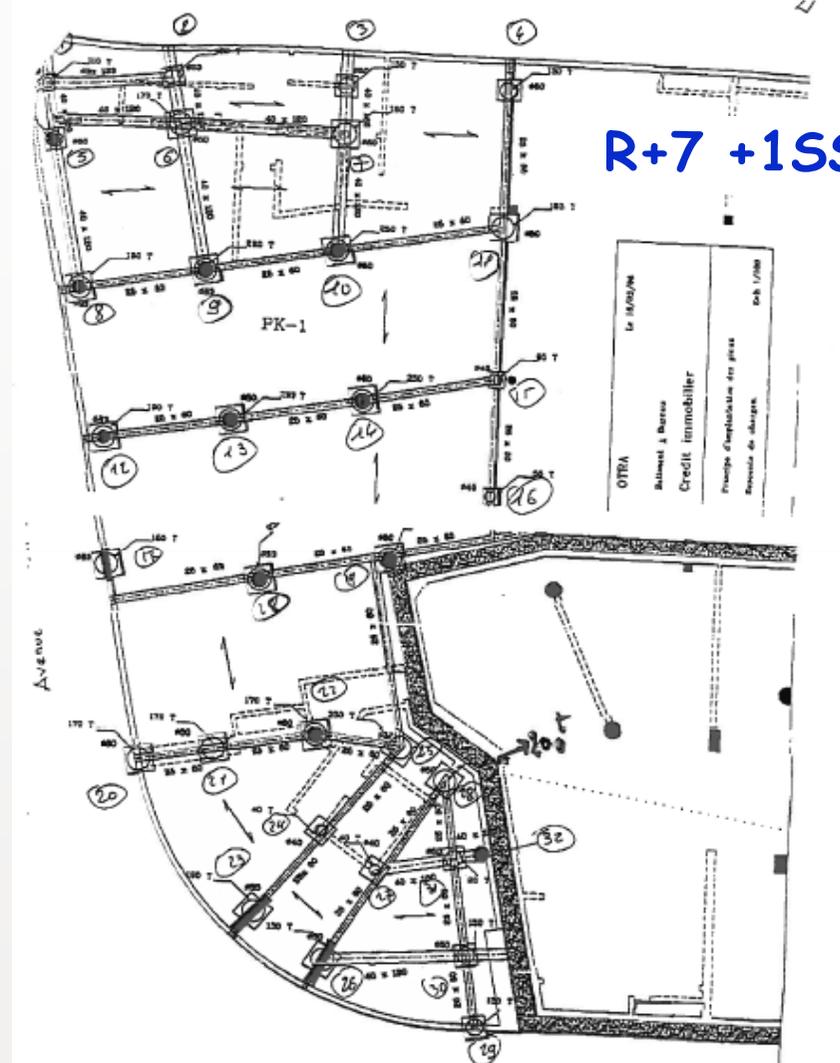
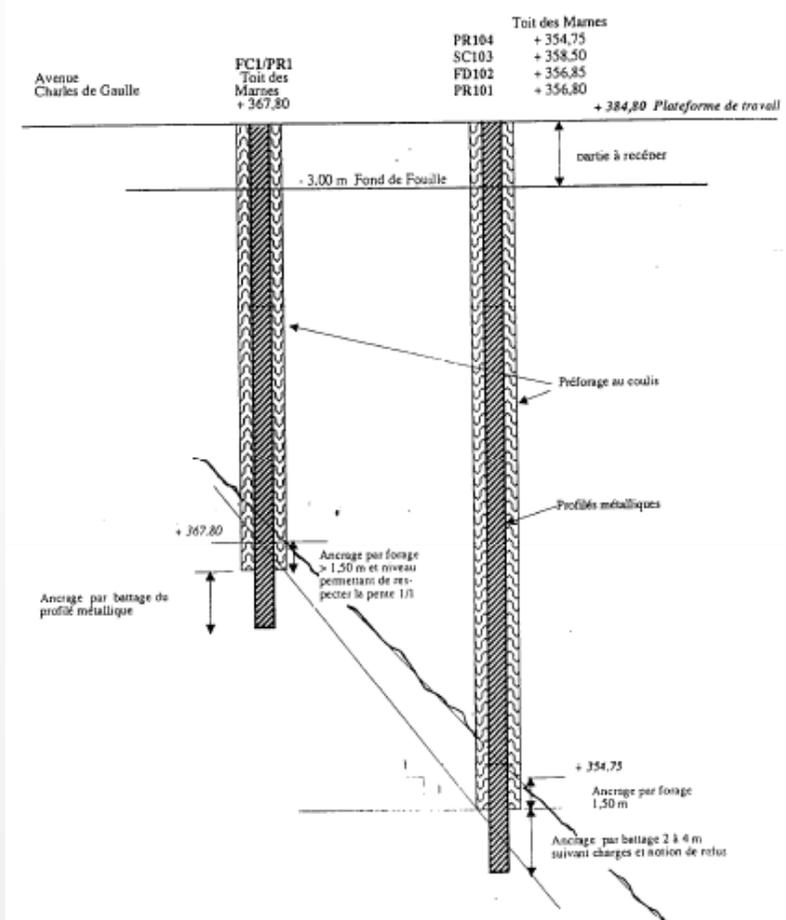


Mouton Hydraulique
IHC S35 [et S70]

Mise en fiche
initiale des H par
vibreux et
préforage au coulis

Emprise du projet





Pieux PH 400x176

24 pieux de 110 t ± 20 t

8 pieux de 230 t ± 20 t

Longueurs entre 20 et 35 m.

Pieu H métallique battu § 2.2 DTU 13.2

63 - CLERMONT FERRAND - Siège du Crédit Immobilier

BAT011.X

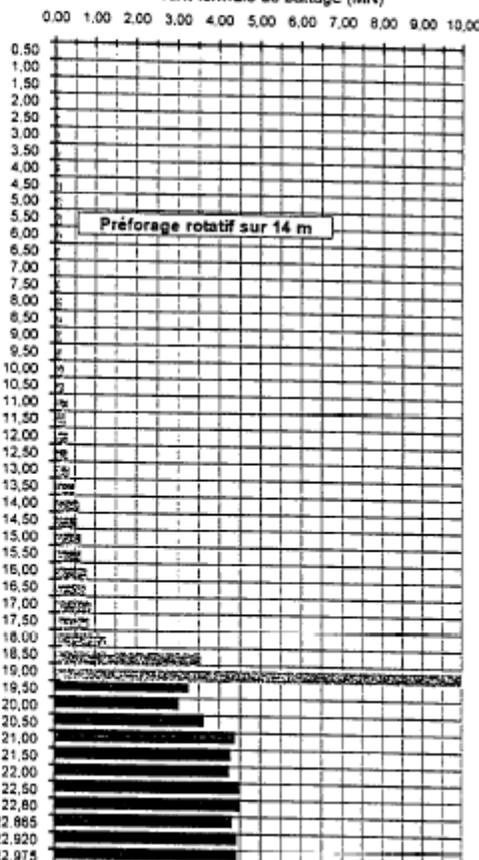
Pieu n°:	1	Type du marteau:	I. H. C. S. 35 (hydraulique)
Charge:	1,10 MN		
Battage du:	10/09/1997 au 10/09/1997		
Profil:	H.P. 400 x 176	Rd = force portante limite =	(calculée) MN
Section d'acier:	224,3 cm ²	En = énergie nominale (utilisation à 90 %) =	32 KJ=MN.mm
Nuance d'acier:	E. 360	Wr = poids du piston =	0,032 MN
Niveau plate-forme:	385,1 moyen	Wp = poids du profilé =	0,040 MN
Niveau pointe:	362,1	C = coefficient suivant tableau =	1,9
Longueur:	22,975 m	f = constante de rendement relatif =	2,5
Poids / ml:	0,176 T/ml	e = enfoncement moyen par coup =	(mesuré) mm
		e1 = enfoncement élastique 3 dernières volées (mesuré)	mm
		e1 = enfoncement élastique estimé = (C x En) + 2,5	mm

FORMULE DE BATTAGE:
(type Crandall adaptée au marteau hydraulique)

$$Rd = \frac{f \times En}{e + \frac{1}{2}(e1)} \times \frac{Wr}{(Wr + Wp)}$$

Prof. m	VIBROFONÇAGE		BATTAGE		
	temps (minutes)	Nb de coups	e (mm)	e1 (mm)	Rd MN
0,00					
0,50	0,00				
1,00	0,00				
1,50	0,00				
2,00	0,05				
2,50	0,05				
3,00	0,05				
3,50	0,05				
4,00	0,05				
4,50	0,10				
5,00	0,10				
5,50	0,10				
6,00	0,10				
6,50	0,05				
7,00	0,05				
7,50	0,05				
8,00	0,10				
8,50	0,10				
9,00	0,10				
10,00	0,15				
10,50	0,15				
11,00	0,25				
11,50	0,20				
12,00	0,25				
12,50	0,25				
13,00	0,30				
13,50	0,45				
14,00	0,55				
14,50	0,50				
15,00	0,60				
15,50	0,60				
16,00	0,75				
16,50	0,70				
17,00	0,85				
17,50	0,80				
18,00	1,20				
18,50	3,50				
19,00	10,00				
19,50		114	4,4	13,2	3,21
20,00		95	5,3	13,2	2,97
20,50		154	3,2	13,2	3,58
21,00		322	1,6	13,2	4,32
21,50		289	1,7	13,2	4,23
22,00		272	1,8	13,2	4,18
22,50		364	1,4	13,2	4,42
22,80		231	1,3	13,2	4,46
22,865		50	1,3	14,0	4,26
22,920		50	1,1	14,0	4,36
22,975		50	1,1	14,0	4,36

Temps de vibrofonçage (minutes) & force portante limite calculée suivant formule de battage (MN)



1 courbe de battage pour chaque pieu.

Mouton IHC S 35 (32KJ)

Formule de Crandall

Pieu n°1 [1,10 MN]

Rd = 450 MN

Pieu H métallique battu § 2.2 DTU 13.2

#Y.F. - SUD
Dr : 16 763

63 - CLERMONT FERRAND - Siège du Crédit immobilier

BATCH.XLS

Pieu n°:	9	Type du marteau:	I, H, C, S, 35 (hydraulique)
Charge:	2,20 MN		
Battage du:	04/09/1997	à:	08/09/1997
Profil:	H.P. 400 x 176		
Section d'acier:	224,3	cm ²	
Nuance d'acier:	E. 360		
Niveau plate-forme:	385,1	moyen	
Niveau pointe:	355,4		
Longueur:	29,66	m	
Poids / ml:	0,178	T/m ³	

Rd = force portante limite =	(calculée)	MN
En = énergie nominale (utilisation à 90 %) =	32	KJ=MN.mm
Wr = poids du piston =	0,032	MN
Wp = poids du profil =	0,052	MN
C = coefficient suivant tableau =	1,9	
f = constante de rendement relatif =	2,5	
e = enfoncement moyen par coup =	(mesuré)	mm
e1 = enfoncement élastique 3 dernières volées (mesuré)		mm
e1 = enfoncement élastique estimé = (C x En) = 2,5		mm

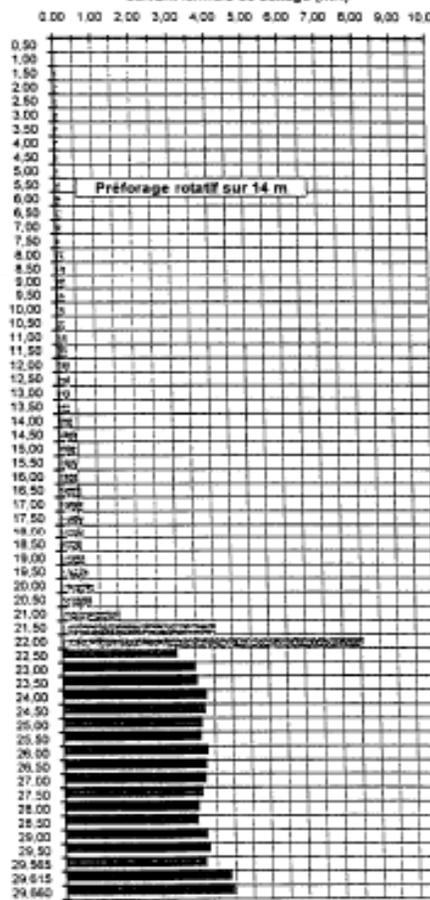
FORMULE DE BATTAGE

(Type Crandall adaptée au marteau hydraulique)

$$Rd = \frac{f \times En}{e + \frac{1}{2}(e1)} \times \frac{Wr}{(Wr + Wp)}$$

Prof. m	VIBROFONÇAGE		BATTAGE		Rd MN
	Temps (minutes)	Nb de coups	e (mm)	e1 (mm)	
0,00					
0,50	0,00				
1,00	0,00				
1,50	0,05				
2,00	0,05				
2,50	0,05				
3,00	0,05				
3,50	0,05				
4,00	0,05				
4,50	0,05				
5,00	0,05				
5,50	0,10				
6,00	0,10				
6,50	0,10				
7,00	0,10				
7,50	0,10				
8,00	0,15				
8,50	0,20				
9,00	0,20				
9,50	0,15				
10,00	0,15				
10,50	0,15				
11,00	0,20				
11,50	0,20				
12,00	0,25				
12,50	0,25				
13,00	0,25				
13,50	0,25				
14,00	0,30				
14,50	0,40				
15,00	0,40				
15,50	0,45				
16,00	0,45				
16,50	0,50				
17,00	0,55				
17,50	0,55				
18,00	0,65				
18,50	0,60				
19,00	0,65				
19,50	0,60				
20,00	0,75				
20,50	1,30				
21,00	4,30				
21,50	8,00				
22,00					
22,50		1,38	3,6	13,3	2,07
23,00		1,28	2,2	13,2	4,44
23,50		1,42	2,1	13,2	3,50
24,00		1,50	1,8	13,2	3,75
24,50		1,11	1,8	13,2	3,88
25,00		2,70	1,8	13,2	3,81
25,50		2,89	1,8	13,2	3,58
26,00		3,40	1,5	13,2	3,70
26,50		3,23	1,6	13,2	3,72
27,00		3,68	1,6	13,2	3,68
27,50		2,14	1,8	13,2	3,60
28,00		2,41	2,1	13,2	3,50
28,50		2,22	2,3	13,2	3,43
29,00		3,16	1,6	13,2	3,70
29,50		3,45	1,4	13,2	3,77
30,00		3,0	1,3	14,0	3,66
30,50		3,0	1,3	12,5	4,34
31,00		3,0	0,8	12,5	4,41

Temps de vibrofonçage (minutes) & force portante limite calculée suivant formule de battage (MN)



Mouton IHC S 35 (32KJ)

Formule de Crandall

Pieu n°9 [2,20 MN]

Rd = 400 MN



Exploitation des courbes de battage

Au sens du DTU 13.2 de mars 1966 et
du document Delmag de mars 1974

il est proposé de prendre un coefficient de réduction :

- De 6 sur la formule des Hollandais
- De 4 sur la formule de Crandall

- Pour les pieux battus pilonnés de La Rochelle

La formule des Hollandais donnait $R_d = 14 \text{ MN}$ soit $R_d/6 = 2,3 \text{ MN} \approx 230 \text{ t}$

La charge admissible à l'ELS (G+Q) était de $1 \text{ MN} \approx 100 \text{ t}$.

Après 2 ans d'exploitation l'ouvrage a tassé de l'ordre de 400 mm !!

(l'ouvrage a été entièrement repris sur micropieux)

- Pour les pieux tube battu ouvert d'Anglet

La formule de Crandall donnait $R_d = 5 \text{ MN}$ soit $R_d/4 = 1,25 \text{ MN} \approx 125 \text{ t}$

La charge admissible à l'ELS (G+Q) était de $0,6 \text{ MN} \approx 60 \text{ t}$.

Pas de soucis (depuis 20 ans).

Dans les années 1990 avec le développement des Moutons Hydrauliques, la connaissance plus précise de l'énergie de battage "utilisée" et l'enregistrement systématique

il est proposé de prendre un coefficient de réduction :

- De 3 sur la formule de Crandall adaptée (ou Hiley)

[En adoptant des méthodes basées sur la théorie de la propagation des ondes IHC propose, dans sa documentation interne, de réduire le coefficient à 2 en utilisant leurs abaques]

- Pour les pieux H battus de Clermont-Ferrand

La formule de Crandall adaptée donnait R_d entre 4 et 4,5 MN
(pour un mouton hydraulique S 35 avec 32 KJ) [et $e^1 = Cx\sqrt{En} + 2,5$]

soit avec $R_d/4$ entre 1 MN et 1,125 MN

soit avec $R_d/3$ entre 1,3 MN et 1,5 MN

Pour les 24 pieux

dont la charge admissible à l'ELS (G+Q) était de 1,1 MN \approx 110 t.
les battages ont été acceptés.

Pour les 8 pieux

dont la charge admissible à l'ELS (G+Q) était de 2,2 MN \approx 220 t.
les battages n'ont pas été acceptés.

Les 8 pieux ont été rebattus avec un mouton hydraulique S 70.

Mouton IHC S 70 (63 KJ)

E.T.F. - SUD
Dr : 16 763

63 - CLERMONT FERRAND - Siège du Crédit Immobilier

BATC9B.XLS

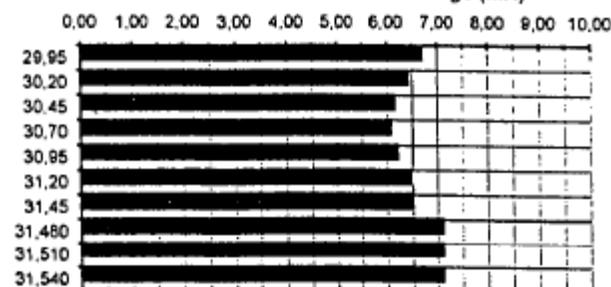
Pieu n°:	9		Type du marteau:	I. H. C. S. 70 (hydraulique)
Charge:	2,20	MN		
Rebattage le	23/10/1997			
Profil:	H.P. 400 x 176		Rd = force portante limite =	(calculée) MN
Section d'acier:	224,3	cm ²	En = énergie nominale (utilisation à 90 %) =	63 KJ=MN.mm
Nuance d'acier:	E. 360		Wr = poids du piston =	0,035 MN
Niveau plate-forme:	385,1	moyen	Wp = poids du profilé =	0,056 MN
Niveau pointe:	353,6		C = coefficient suivant tableau =	1,88
Longueur:	31,54	m	f = constante de rendement relatif =	2,5
Poids / ml:	0,176	T/ml	e = enfoncement moyen par coup =	(mesuré) mm
			e1 = enfoncement élastique 3 dernières volées (mesuré)	mm
			e1 = enfoncement élastique estimé = (C x En) + 2,5	mm

FORMULE DE BATTAGE:
(type Crandall adaptée au marteau hydraulique)

$$Rd = \frac{f \times En}{e + \frac{1}{2}(e1)} \times \frac{Wr}{(Wr + Wp)}$$

Prof. m	VIBROFONÇAGE		BATTAGE		
	Temps (minutes)	Nb de coups	e (mm)	e1 (mm)	Rd MN
29,70					
29,95		608	0,4	17,4	6,68
30,20		311	0,8	17,4	6,40
30,45		209	1,2	17,4	6,15
30,70		188	1,3	17,4	6,07
30,95		225	1,1	17,4	6,20
31,20		344	0,7	17,4	6,45
31,45		368	0,7	17,4	6,49
31,480		50	0,6	16,0	7,08
31,510		50	0,6	16,0	7,08
31,540		50	0,6	16,0	7,08

Temps de vibrofonçage (minutes) & force portante limite
calculée suivant formule de battage (MN)



Pénétration d'environ 2 m. supplémentaires et Rd de l'ordre de 7 MN
Soit Rd/3 de l'ordre de 2,3 MN.

Les pieux ont été acceptés.

Abaques IHC pour Hydrohammer

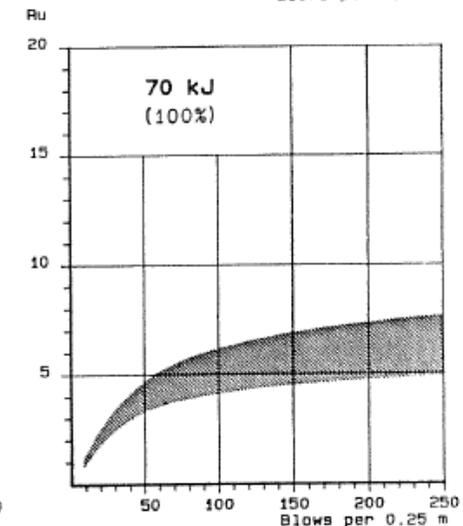
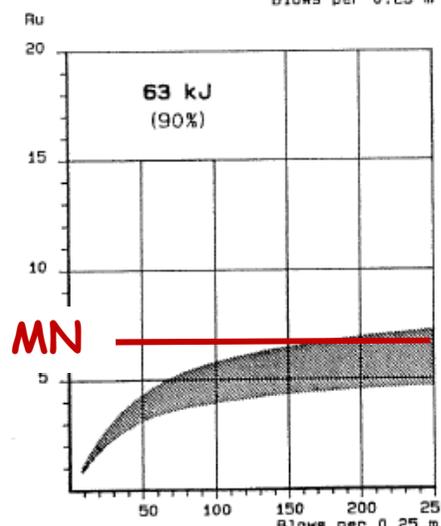
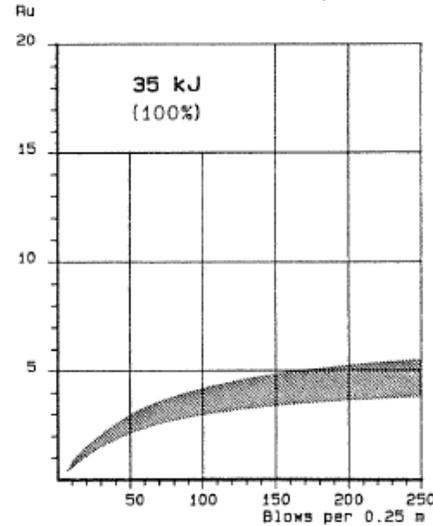
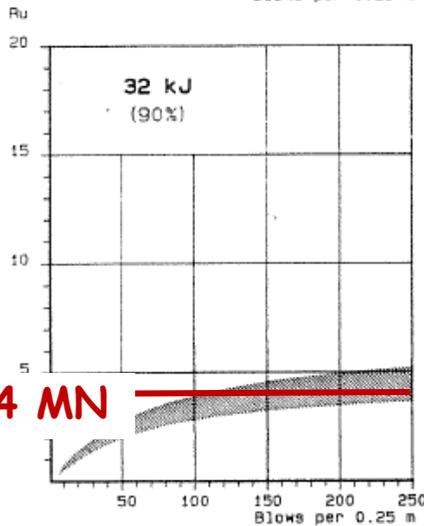
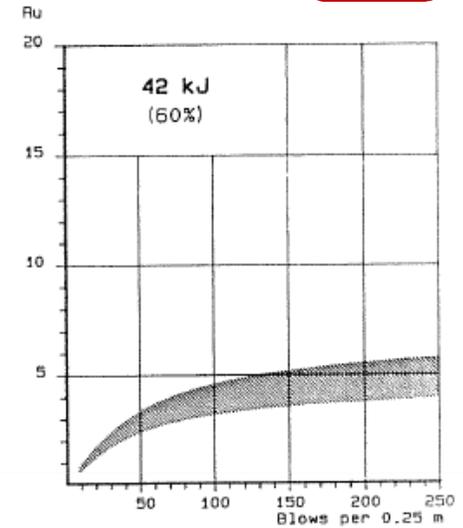
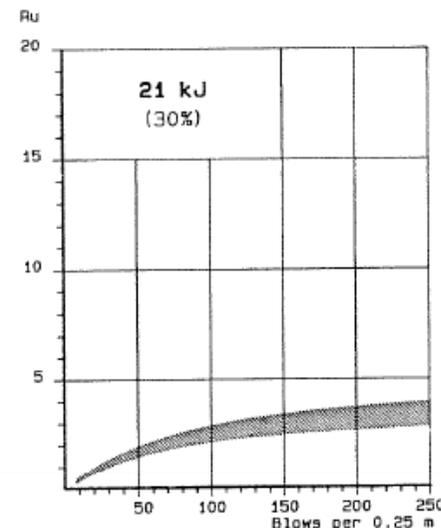
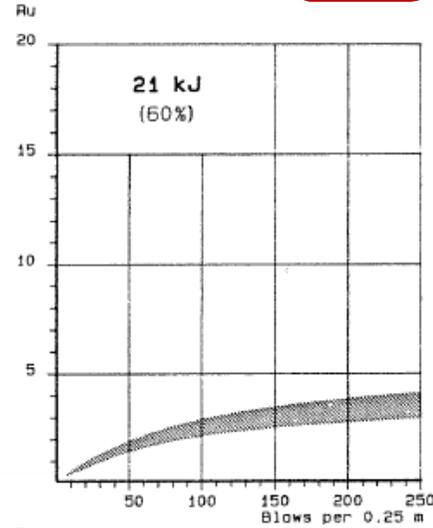
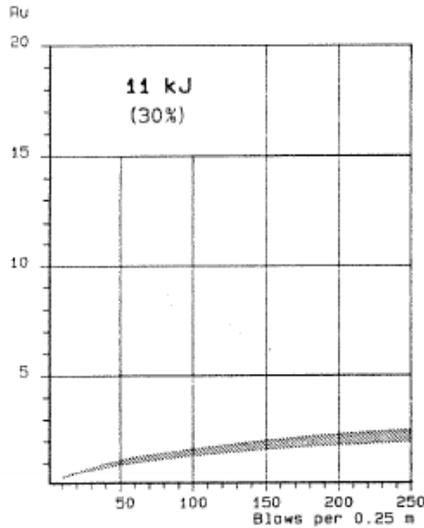
Hydrohammer S-35

Steel pile : 250 cm²

Section réelle 224 cm²

Hydrohammer S-70

Steel pile : 250 cm²



Ru = Driving Resistance in MN (1MN = 100t)

Ru = Driving Resistance in MN (1MN = 100t)

Principe de dimensionnement :

En France les pieux battus sont calculés comme les pieux forés à partir d'essais in situ. Les formules de battage ne sont pas utilisées pour dimensionner les pieux battus.

Termes de pointe et frottements sont fonction de p_t et q_c + abaqués.

Classes 4; 5; 6; 7 et Catégories 9,10,11,12,13,14,15,16

Pieux avec refoulement de sol

NF EN 12699 norme d'exécution

9.2 Contrôles d'exécution des pieux

9.2.6 Tous les instruments utilisés pour le contrôle de la mise en place des pieux et/ou des effets de cette mise en place doivent être appropriés au but recherché, et doivent être étalonnés.

9.2.7 Toute non-conformité doit être signalée.

9.2.8 Il convient de consigner la courbe de fonçage complète d'un certain nombre de pieux, afin d'établir si les conditions de sol correspondent à celles prises en compte à la conception.

Il convient également de noter :

- pour les moutons, la hauteur de chute du piston et son poids ou l'énergie de battage ainsi que le nombre de coups de mouton pour un enfoncement donné ;
- pour les pieux vissés, le couple et la pression appliqués ;
- pour les pieux vibrofoncés, la puissance nominale, l'amplitude, la fréquence et la vitesse de pénétration ;
- pour les pieux vérinés, la force appliquée au pieu.

9.2.9 Lorsque des pieux sont foncés jusqu'au refus, l'énergie et le refus doivent être mesurés.

3.30

surbattage

unique coup de mouton, appliqué à un pieu préfabriqué instrumenté pour suivre l'énergie délivrée et mesurer la vitesse de déformation du pieu, son accélération et/ou son enfoncement, pour permettre l'estimation de sa capacité portante

En forme de conclusion

Suivi et "Courbes" de battage et/ou Surbattage suivant NF 12699
et prédiction ? [au refus tous les pieux]

- **Mouton hydraulique (énergie connue et mesurée : En)**

- * Formules et abaques déduits des Equations d'ondes

[p.e.Type IHC Hydrohammer]

Exemple : Mouton S-35
pour 150 et 750 cm² d'acier

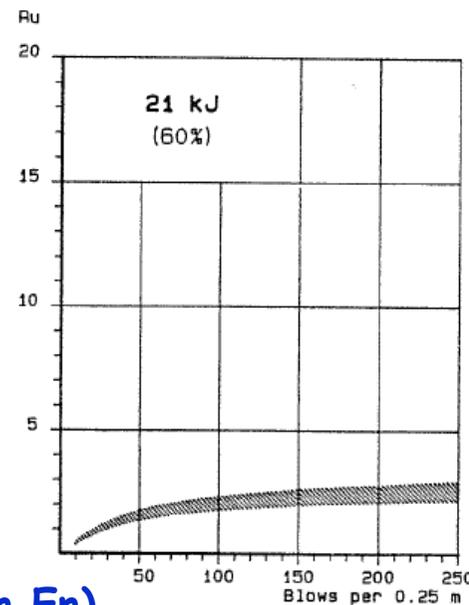
Coefficient de 2 sur Ru

- * Autre type et formule
de battage

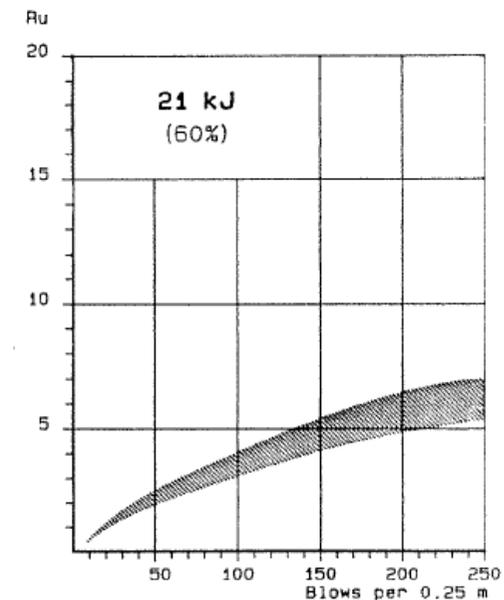
Crandall adaptée, Hiley (fonction-En)

Coefficient de 3 sur Rd (voir aussi ROSA 2000-Ouvrage Quai sur pieux)

Steel pile : 150 cm²



Steel pile : 750 cm²



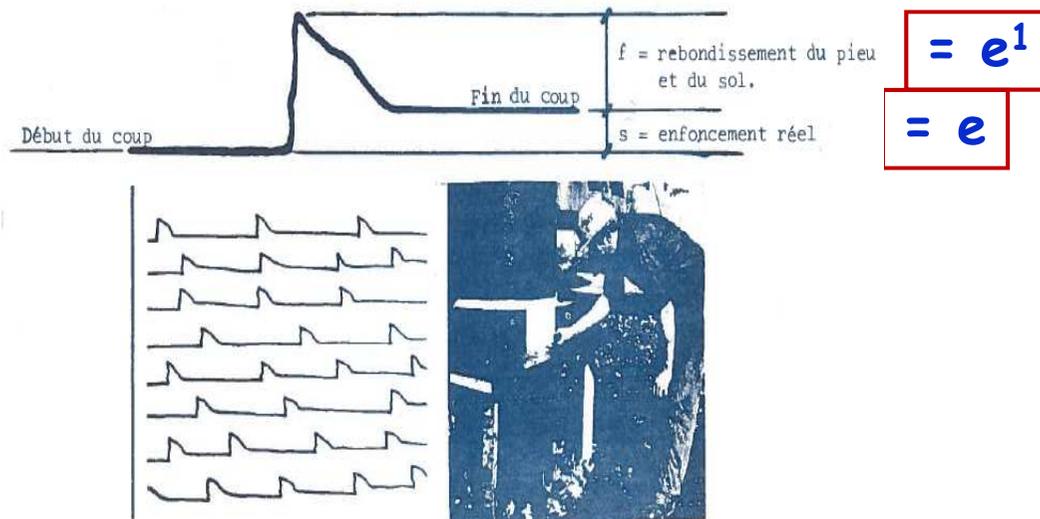
En forme de conclusion

Suivi et "Courbes" de battage et prédiction ?

[au refus tous les pieux]

. Mouton diesel (énergie "approchée")

Formule type Crandall ou Delmag avec séparation et mesure (ou estimation) des refus élastique et "plastique".



Crandall

$$Rd = \frac{M^2 h}{\left(e + \frac{e^1}{2}\right)(M + P)}$$

⇒ e^1 = refus élastique

mesuré ou estimé $e^1/2 = 0,3.L$

Coefficient de 4 sur Rdynamique



BUREAU
VERITAS

Move Forward with Confidence*

Avançons en confiance

© - Copyright Bureau Veritas