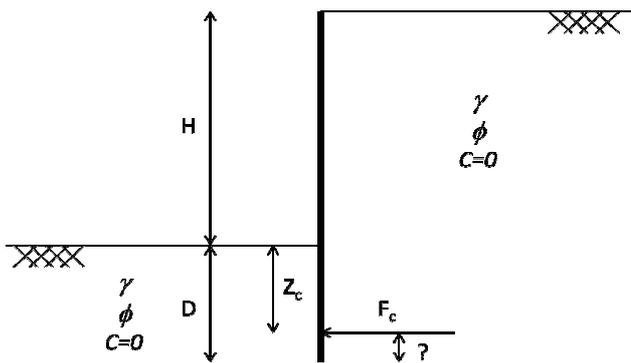


**ENTPE – MDSA (3<sup>ème</sup> année) – Durée 3 heures**  
**(Tous les documents sont autorisés)**

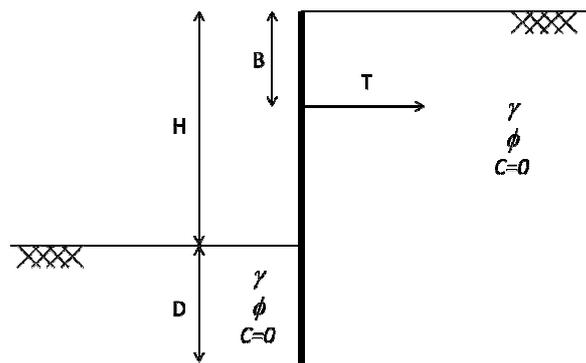
**EXERCICE 1 - Dimensionnement des écrans (6 points)**

**Partie A :**

- Calculer la répartition de la poussée et de la butée des terres en fonction des paramètres présentés sur les figures a et b. (1 point)
- Calculer les forces de poussée et de butée (configuration a et b), la force de contre butée  $F_c$  (configuration a) et la force dans le tirant T (configuration b) en fonction des paramètres présentés sur les figures a et b. Afin d'assurer la sécurité de l'ouvrage, les forces de butée seront systématiquement minorées en remplaçant la valeur de  $K_p$  par  $K_p/2$ . (1 point)



a) Ecran autostable

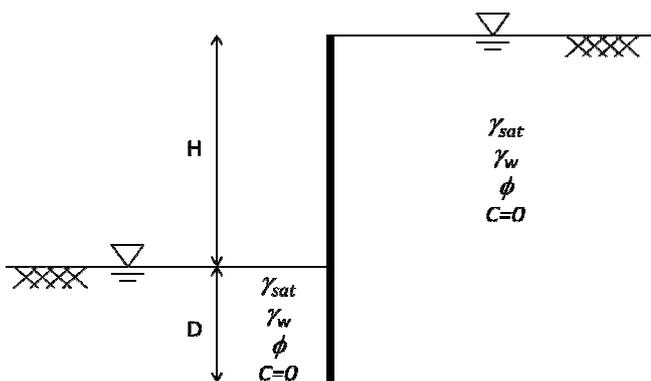


b) Ecran tiranté simplement buté

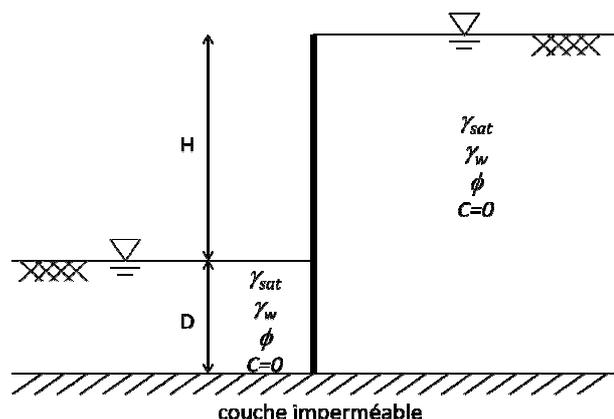
**Partie B :**

- Pour les écrans présentés sur les figures c et d calculer, s'il ya lieu, les gradients hydrauliques en fonction des dimensions présentées sur ces figures. Déterminer si besoin la longueur de fiche  $D_h$  permettant d'éviter un phénomène de renard en considérant un facteur de sécurité de 1,5. (1 point)
- Déterminer la répartition des pressions d'eau, des contraintes de poussée et des contraintes de butée autour de la palplanche en fonction de la fiche D pour les configurations c et d. Le gradient hydraulique  $i$  autour de l'écoulement sera pris en compte s'il y a un écoulement. (2 point)
- Calculer la longueur de la fiche permettant d'assurer l'équilibre de l'écran autostable présenté sur la figure c en considérant un écoulement autour de celui-ci. On prendra comme paramètre :

$H=4 \text{ m}$ ,  $\phi=30^\circ$ ,  $\gamma_{sat}=21 \text{ kN/m}^3$  et  $\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$  (1 point)



c)



d)

## EXERCICE 2 - Stabilité des pentes (6 points)

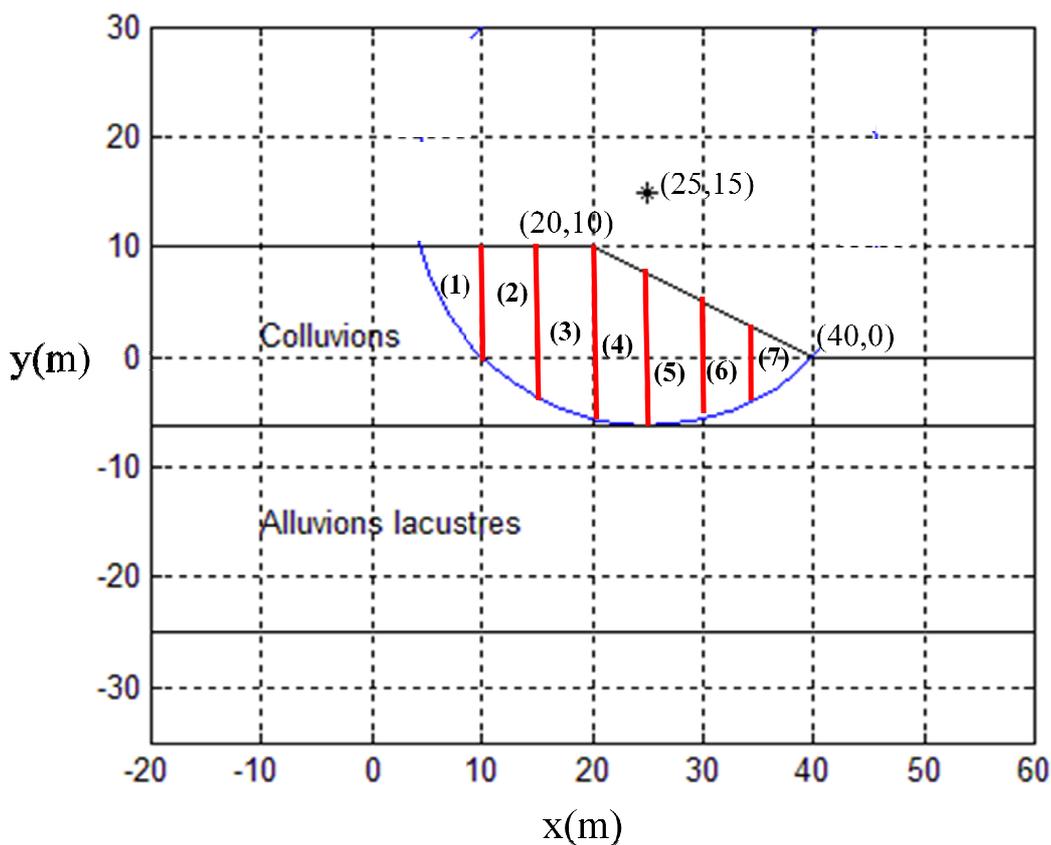
On cherche à évaluer la stabilité du talus représenté dans la figure ci-dessous pour différentes conditions de site.

Ce talus a pour hauteur 10 m et pour pente 1V / 2H. Sa crête a pour coordonnées (20 m, 10 m) et le pied de la pente a pour coordonnées (40 m, 0 m). Le talus est composé de deux matériaux : des colluvions et des alluvions lacustres. La position de la nappe coïncide avec l'interface entre ces deux matériaux (à la cote  $y = -6,2$  m).

On analyse la stabilité de ce talus par la méthode des tranches : la surface de rupture la plus critique est représentée par le cercle bleu sur la figure ci-dessous. Le centre de ce cercle a pour coordonnées  $x = 25$  m,  $y = 15$  m. On découpe le volume potentiellement instable en 7 tranches assimilées à des parallélogrammes. Les données géométriques caractérisant ces tranches sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tranche	1	2	3	4	5	6	7
Hauteur moyenne (m)	5,00	11,90	14,70	14,70	12,20	8,40	3,10
Largeur b (m)	5,60	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Angle $\alpha$ (°)	27,00	36,50	20,80	6,80	-6,80	-20,80	-36,50

Avec hauteur moyenne : hauteur moyenne de la tranche au centre de celle-ci ;  
 largeur : largeur de la tranche ;  
 angle  $\alpha$  : inclinaison de la base de la tranche par rapport à l'horizontale.



Caractéristiques :

	Masse volumique ( $\text{kN/m}^3$ )	Cohésion C (kPa)	Angle de frottement $\phi$ (°)
Colluvions	18	1	18
Alluvions lacustres	20	10	30

On considère que  $g = 10 \text{ m/s}^2$  (accélération de la gravité).

### PARTIE A : conditions statiques (3 points)

1- Calculer le coefficient de sécurité statique  $F$  du talus par la méthode de **Fellenius**. On donnera l'expression analytique de  $F$ .

2- Comment évolue le coefficient de sécurité statique lorsque la cohésion des colluvions diminue (à démontrer sur un exemple) ? Même question lorsque la cohésion des alluvions lacustres diminue.

3- Un bâtiment est construit sur une zone de 15,6m de large en amont de la crête du talus. Ce bâtiment applique un chargement réparti de 250 kN/m sur cette zone. Vérifier qu'on est en limite de stabilité. On donnera l'expression analytique de  $F$  (méthode de Fellenius). Quel chargement maximal ce bâtiment peut exercer sur cette même zone pour que le coefficient de sécurité statique du talus sec soit égal à 1,2 ?

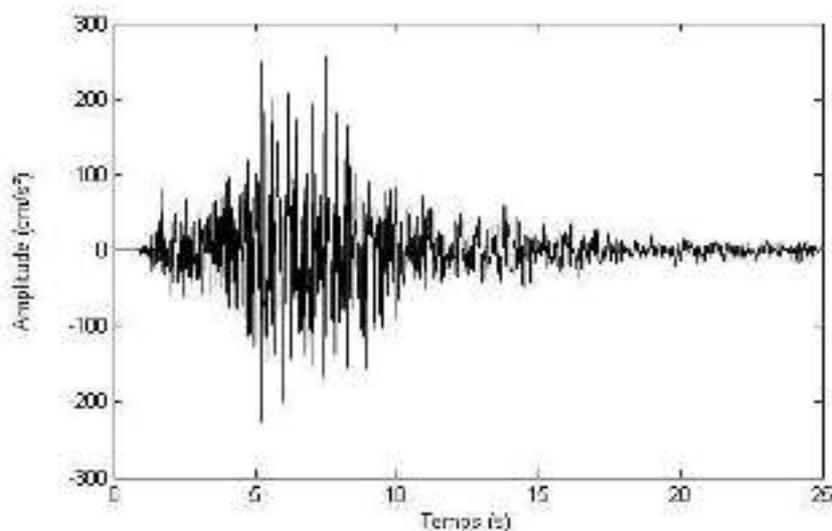
4- On suppose qu'il n'y a pas de bâtiment sur ce talus et que la nappe a une position variable. Tracer la courbe du coefficient de sécurité statique  $F$  en fonction du paramètre  $r_u$  pour les valeurs admissibles de  $r_u$  (taux de pression interstitielle ; paramètre adimensionnel pris constant pour tout le talus). Quelle est la valeur de  $r_u$  qui conduit à l'équilibre limite du talus ?

### PARTIE B : conditions pseudo-statiques (3 points)

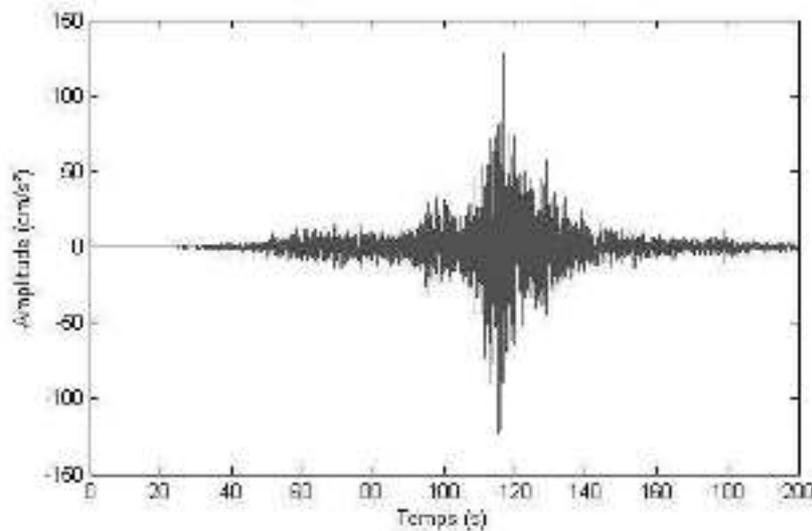
1- On suppose que la position de la nappe coïncide avec l'interface entre les colluvions et les alluvions lacustres et qu'il n'y a pas de bâtiment sur ce talus. On prend en compte une sollicitation sismique telle que les coefficients pseudo-statiques horizontal et vertical sont respectivement égaux à  $k_h = 0.1$  et  $k_v = 0.0$ . Quel est le coefficient de sécurité pseudo statique du talus (méthode de **Fellenius**) ? On donnera l'expression analytique de  $F$ .

2- Quelle est la valeur de l'accélération critique pour ce talus ?

3- Pour les deux accélérographes donnés ci-dessous, un déplacement est-il susceptible de se produire dans le talus d'après la méthode de Newmark « bloc rigide » ? Commenter les résultats.



Accélérogramme n°1.



Accélérogramme n°2.

### **EXERCICE 3 – Fondations (8 points)**

Fondations d'un bâtiment industriel

Le bâtiment a été construit dans d'anciens marécages dans les années 90. Il a été fondé sur des pieux tubulaires métalliques ouverts qui ont été foncés dans le sol par vibrofonçage puis sur-battage sur les 7 derniers mètres. Du coulage du radier à l'inauguration, quatre années ont été nécessaires.

La fondation est constituée de 150 pieux battus ouverts (diamètre  $d = 0,50\text{m}$  et longueur  $L = 14\text{m}$ , épaisseur du tube battu  $e = 0,02\text{m}$ ) répartis dans une maille carrée régulière espacés de 2 m. Ces pieux sont reliés entre eux par un radier coulé au contact direct du sol.

Le poids total du bâtiment sans le radier s'élève à  $Q_0 = 105\text{ MN}$ .

A l'occasion de ce chantier, un essai de chargement a été réalisé sur un pieu isolé identique aux pieux de la fondation. La courbe de chargement est présentée sur la figure 2.

Les tassements du bâtiment ont été suivis tout au long de sa construction. Les tassements moyens mesurés sont représentés sur la figure 3.

Quelques éléments sur le dimensionnement des pieux sont rappelés dans les figures 4,5 et 6 mais l'ensemble des éléments est disponible dans le cours.

1) Quelle est la charge moyenne par pieu en fin de construction ?

Comparer cette charge moyenne à la charge limite d'un pieu isolé connaissant les caractéristiques pressiométriques du sable du port (Figure 1).

Pour déterminer le frottement limite  $q_s$ , il faudrait diviser les 14 m du pieu en au moins quatre sous-couches homogènes.

- 2) Déterminer la charge de service  $Q_N$  sachant que les coefficients de sécurité usuels sont de 2 pour le frottement latéral et 3 pour la résistance en pointe.
- 3) Commenter et comparer les charges précédemment calculées entre elles et avec les résultats de la courbe de chargement obtenue sur le pieu d'essai.

A noter, pour les pieux vibrofoncés,

- Pour le frottement  $q_s$  des pieux mis en œuvre par vibrofonçage, il y a lieu de faire un abattement de 30% par rapport au frottement calculé avec la méthode utilisée pour les pieux battus
- Pour la résistance en pointe, voir la remarque dans le tableau (Figure 6)

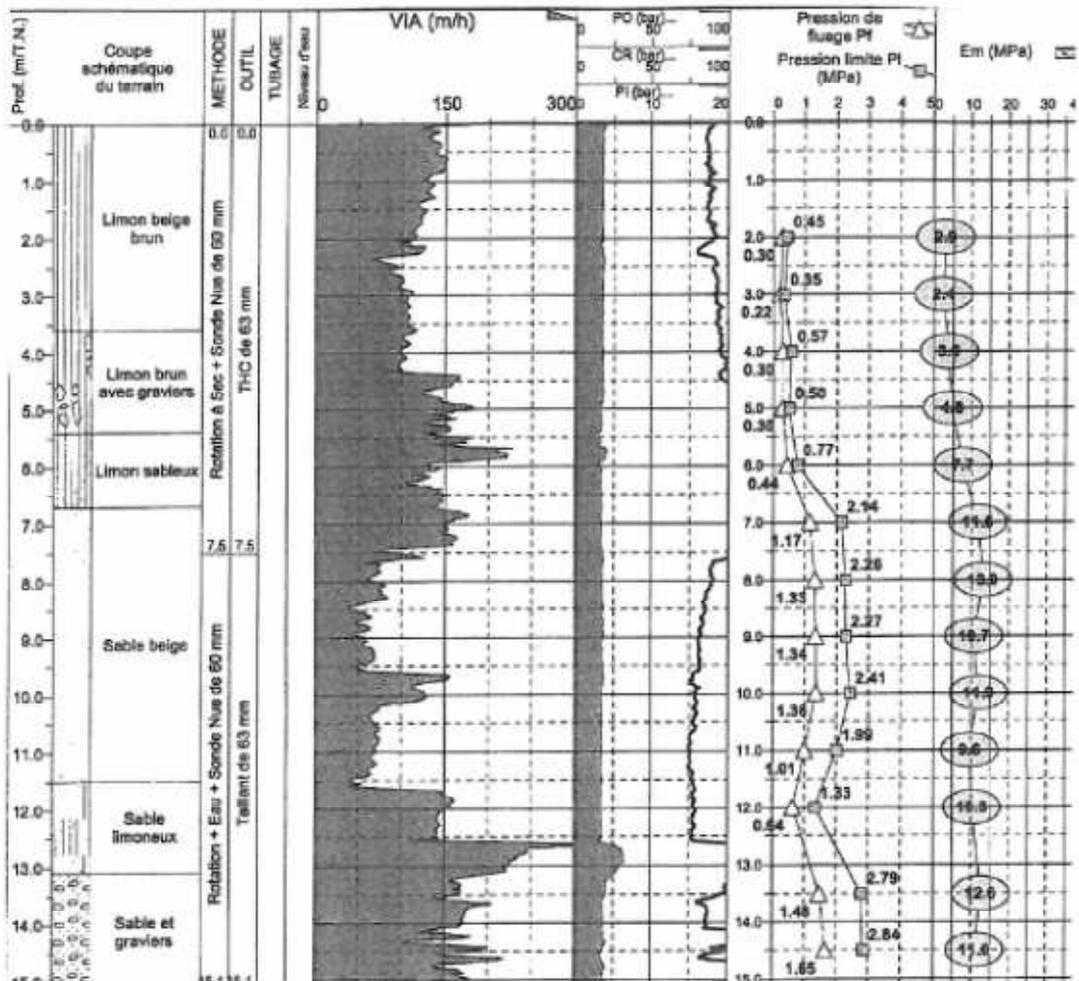


Figure 1 : sondage pressiométrique

Tassement (mm)	Force en tête (kN)
0	0
-0,34	200
-0,7	400
-1,03	600
-1,4	800
-2,4	1000
-4,9	1200
-9,8	1400
-17,4	1600
-28,6	1800
-41	2000
-55	2200

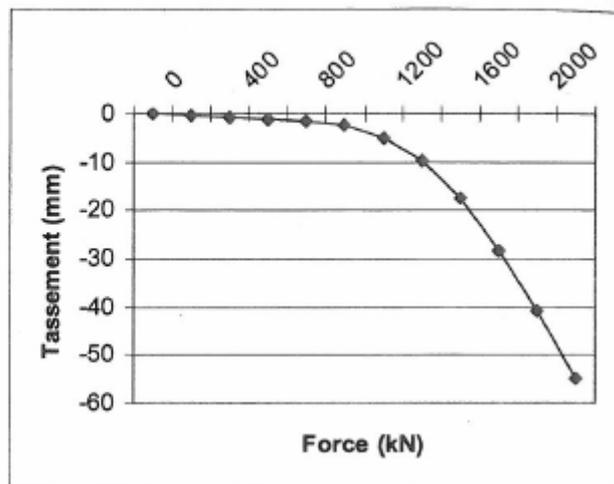


Figure 2 : courbe de chargement d'un pieu isolé du site

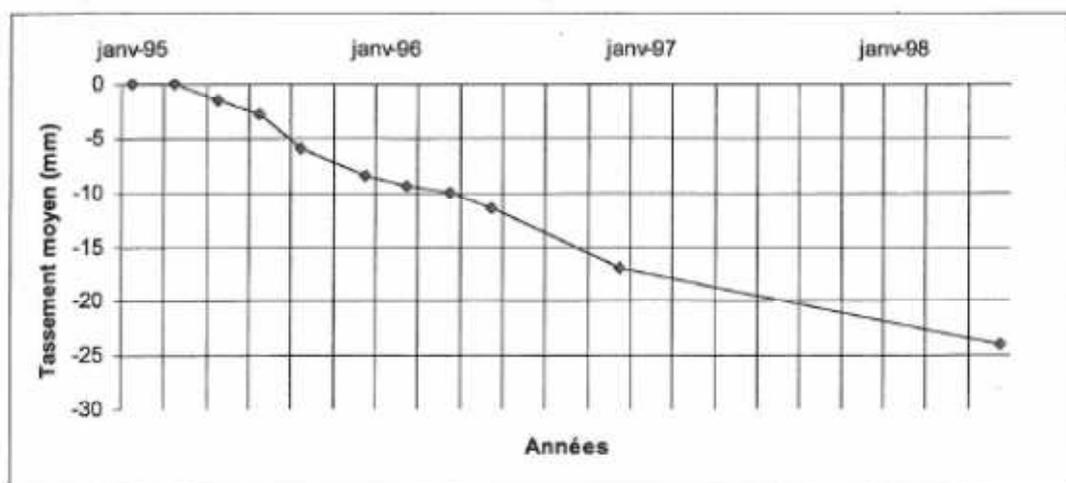
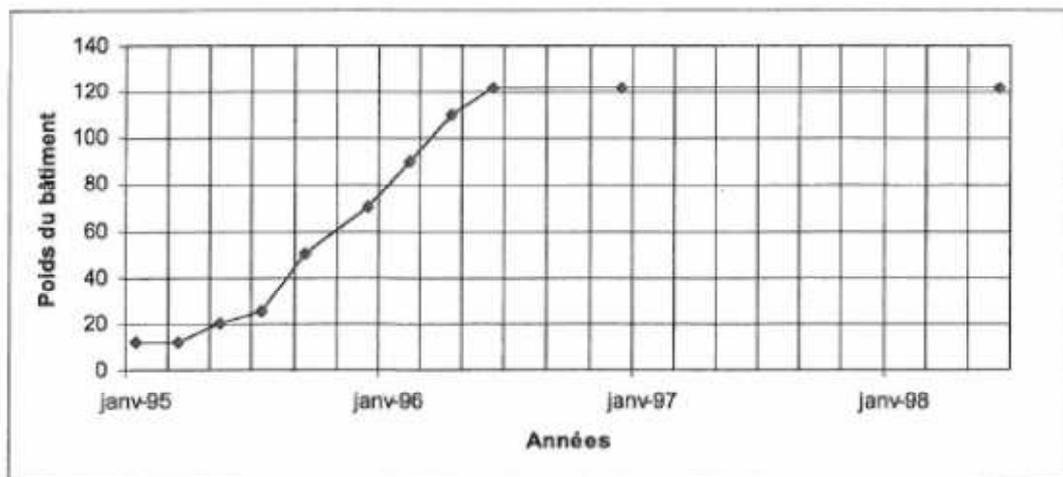


Figure 3 : poids et tassement moyen du bâtiment au cours du temps

Tableau A.1 – Classes et catégories de pieux

Classe	Catégorie	Technique de mise en œuvre	Abréviation	Norme de référence
1	1	Foré simple (pieux et barrettes)	FS	NF EN 1536
	2	Foré boue (pieux et barrettes)	FB	
	3	Foré tubé (vitrôle perdus)	FTP	
	4	Foré tubé (vitrôle récupérée)	FTR	
	5	Foré simple ou boue avec rainurage ou puits	FSR, FBR, PU	
2	6	Foré tarière creuse simple rotation, ou double rotation	FTC, FTCD	NF EN 1536
3	7	Vissé moulé	VM	NF EN 12699
	8	Vissé tubé	VT	
4	9	Battu béton préfabriqué ou précontraint	BPF, BPR	NF EN 12699
	10	Battu enrobé (béton – mortier – coulis)	BE	
	11	Battu moulé	BM	
	12	Battu acier fermé	BAF	
5	13	Battu acier ouvert	BAO	NF EN12699
6	14	Profilé H battu	HB	NF EN12699
	15	Profilé H battu injecté	HBi	
7	16	Palplanches battues	PP	NF EN 12699
1 bis	17	Micropieu type I	M1	NF EN 1536/14199/12699
	18	Micropieu type II	M2	
8	19	Pieu ou micropieu injecté mode IGU (type III)	PIGU, MIGU	NF EN 1536/14199/12699
	20	Pieu ou micropieu injecté mode IRS (type IV)	PIRS, MIRS	

Figure 4 : Classes et catégories des pieux

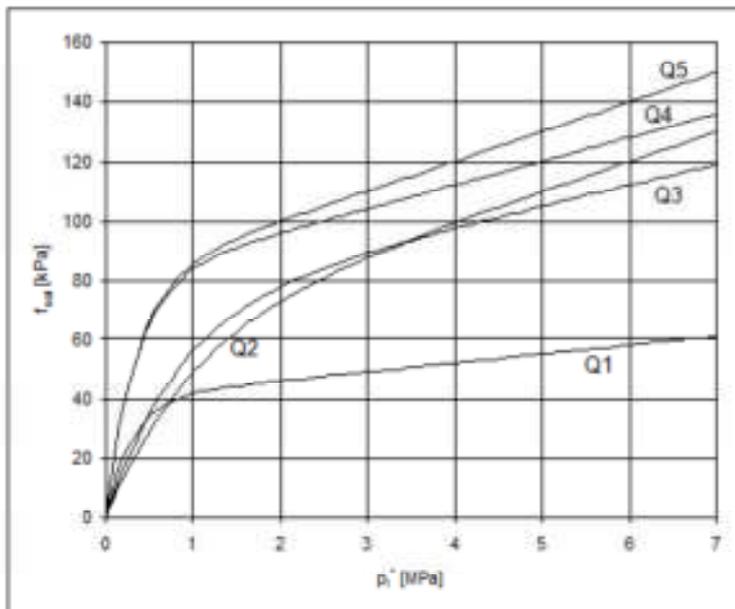


Figure F.5.2.1 — Courbes  $f_{sol}$  pour la méthode pressiométrique

Figure 5 : courbes  $f_{sol}$  pour la méthode pressiométrique

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

Terrain	Angle % CaCO <sub>3</sub> < 30% Limon Sols Intermédiaires	Sols intermédiaires Sablo Gravo	Grave	Marne et calcaire- mumeux	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 abaissement 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 et une justification basée sur les méthodes de la présente annexe F et à l'évidence possible 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 prise 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.

Figure 6 : facteurs de portance  $k_{pmax}$