

Chap.5. Détermination de la capacité portante à l'aide des essais in-situ.

4.1. Remarque préliminaire :

- Les essais in-situ sont des essais à court terme. Ils ne pourront donc fournir que la capacité portante à court terme d'une fondation. Toute fois nous avons vus, que dans la majorité des cas le calcul à court terme étaient le plus défavorable pour les sols fin.
- Les essais in-situ sont donc très largement utilisées pour déterminer la capacité portante des fondations superficielles, compte-tenu du fait qu'ils intègrent mieux les hétérogénéités du sol et qu'ils sont moins couteux que les essais de laboratoire.
- La gamme des essais in-situ est très grande, nous n'indiquerions ici que les essais les plus courants.

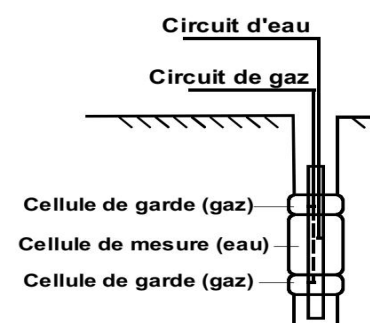
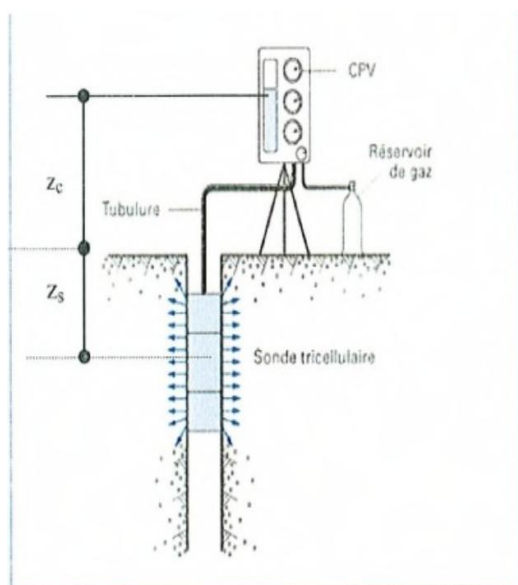
4.2. Essai pressiométrique.

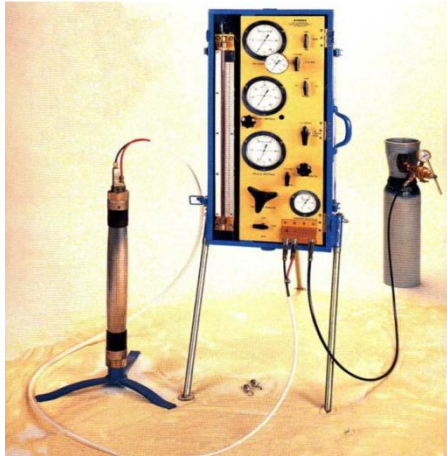
- Le pressiomètre Louis Menard à été conçu pour évaluer directement les caractéristiques mécaniques des sols pour mesure directe du sol en place.

4.2.1. Principe de l'essai.

- L'essai pressiomètre est un essai de chargement du terrain in-situ, il consiste à gonfler dans le sol une sonde cylindrique, dilatable radialement, placée dans un forage préalable, on réalise un chargement rapide du sol sous contraintes radiales du sol sous contraintes radiales uniforme.

4.2.2. Description de l'appareillage.



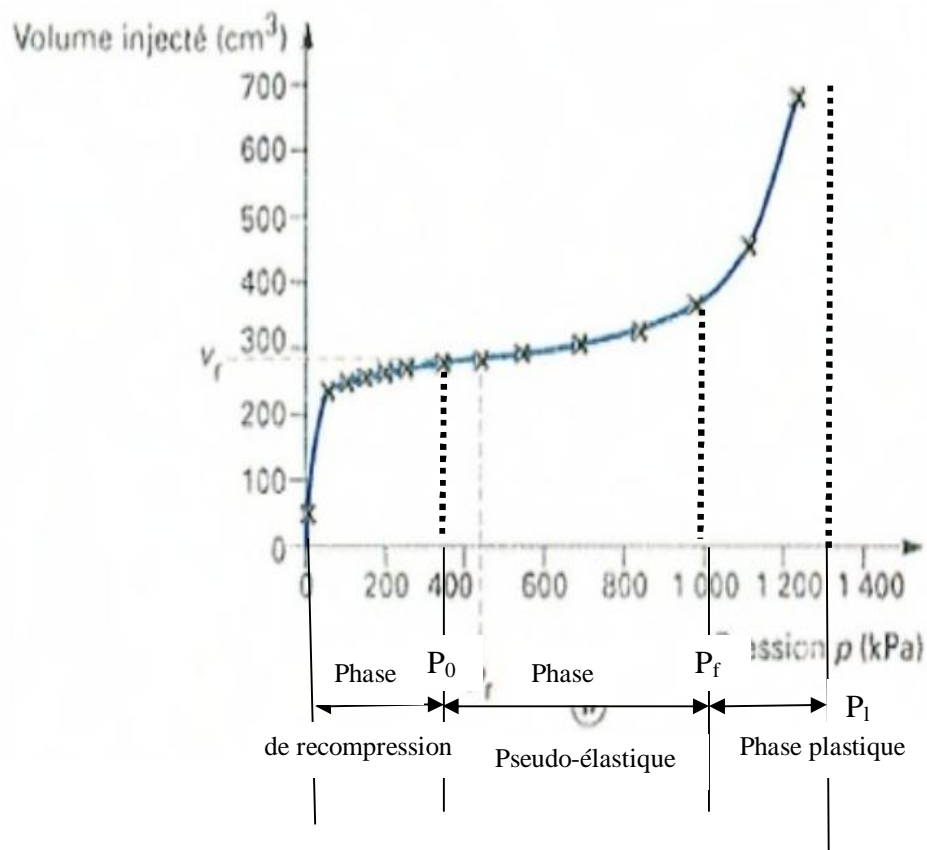


IL se compose de :

- Un contrôleur pression volume placé en surface.
- Une sonde pressiométrique placée dans le forage.
- Des circuits tubulaires d'alimentation en eau et gaz.

4.2.3. Réalisation de l'essai.

- On met en place la sonde pressiométrique dans un forage réalisé préalablement soit par enfouissement soit par battage direct dans certains terrains.
- On met les cellules en pression par injection d'eau et on effectue les mesures jusqu'à rupture du terrain, selon un mode opératoire très précis, de la pression et du volume injecté dans la cellule principale.
- En conséquence il est souhaitable d'effectuer des mises en pression tout les 1,5 m.
- On obtient le graphe suivant, permettant de définir trois phases.



- **Phase de recompression :** $P < P_0$

- L'exécution du forage produit une décompression du sol. La mise en pression de la sonde le recomprime et la pression est nulle au début de l'essai, atteint P_0 pression latérale du sol au repos.

-

- **Phase de Pseudo-élastique:** $P_0 < P < P_f$

- La pression contenue d'augmenter, la déformation radiale de la cellule principale variant à peu près linéairement en fonction de la pression extérieure, cette phase P_f est appelé pression de fluage.

- **Phase plastique :** $P_f < P < P_1$

- Pour des pressions supérieures à P_f on atteint la phase des grands glissements pour la quelle les déformations deviennent très importantes. La pression tend alors vers une limite P_1 appelée pression limite.

4.2.4. Caractéristiques de l'essai.

- Cet essai est un essai rapide (10 mn – 15 mn) qui ne donne que des efforts à court terme.
- L'essai ne peut être interprété qu'en contrainte totales, il ne permet pas d'obtenir des pressions interstitielles.

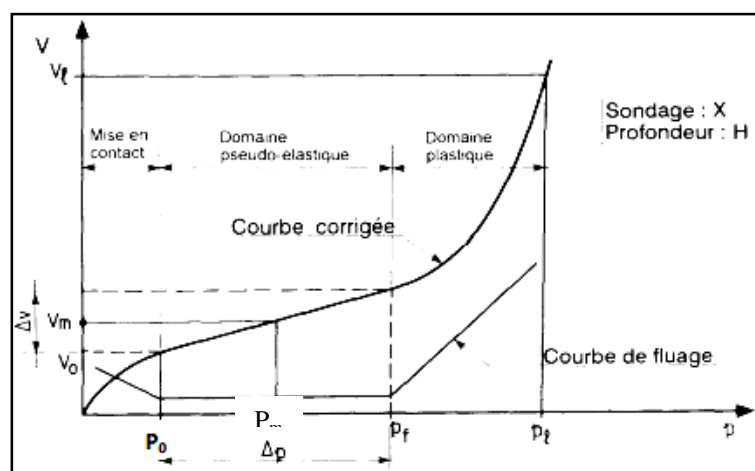
4.2.5. Présentation des résultats.

- Le module de déformation pressiométrique est défini par :

$$E = K \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

E : module pressiométrique dit module de distorsion du terrain, mesurer dans un champs de contraintes déviatorique, il caractérise la phase pseudo-élastique.

K : étant la constante géométrique de la sonde.



$$E = K \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad ; K = 2,66 (V_0 + V_m)$$

d'où V_0 : est le volume de la cellule de mesure au repos.

V_m : est le volume de liquide introduit dans la cellule de mesure pour la pression moyenne P_m appliquée.

4.3. Calcul de la capacité portante des fondations superficielles.

- Le Calcul de la capacité portante des fondations superficielles résulte directement de l'interprétation des essais pressiométrique.
- La contrainte limite est obtenue selon MENARD, par la formule suivante :

$$Q_{ul} = Q_0 + K (P_{le} - P_0)$$

- Et la contrainte admissible est obtenue par la formule suivante :

$$Q_{ad} = Q_0 + \frac{K}{3} (P_{le} - P_0)$$

avec :

Q_0 : Contrainte verticale totale au niveau de la fondation après achèvement des travaux.

$$Q_0 = \gamma \cdot D$$

P_0 : Contrainte horizontale totale au niveau et au moment de l'essai pressiométrique.

K : facteur appelé facteur de portance, fonction : de la nature du sol que l'on classe selon les catégories suivante.

4.3.1. Détermination de la Pression limite équivalent P_{le} .

$$P_{le} = \sqrt[3]{P_{L1} \cdot P_{L2} \cdot P_{L3}}$$

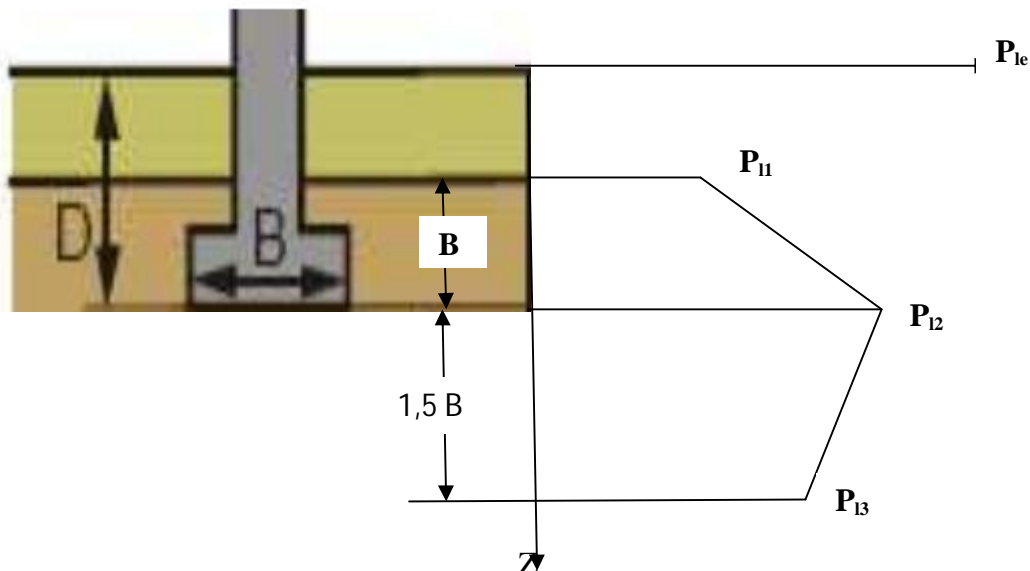


Tableau 4.3. Catégorie des sols suivant la pression limite.

Nature du sol	Pressions limites (bars)	Catégories du sol
Argile	0 - 12	I
Limon	0 - 17	
Argile raide et Marne	08 - 10	II
Limon compact	12 - 30	
Sable compressible	04 - 08	
Roche tendre et altéré	10 - 30	
Sable et gravier	10 - 20	III
Roche	40 - 100	III bis
Sable et gravier très compact	30 - 60	

4.3.2. Détermination du facteur de portance K.

- MENARD a déterminé expérimentalement les valeurs de K à adopter en fonction du type de sol et de l'encastrement relatif de la semelle.
- Les catégories de terrain (de I à III bis) sont données en fonction des pressions limites et de la nature du sol par le tableau 4.3.
- L'encastrement relatif $\frac{h_e}{R}$ (avec $h_e = D$ et $R = \frac{B}{2}$).
- Donc $K = f(D ; B ; \text{catégorie du sol})$.
- La valeur de K est obtenue selon l'abaque de MENARD.

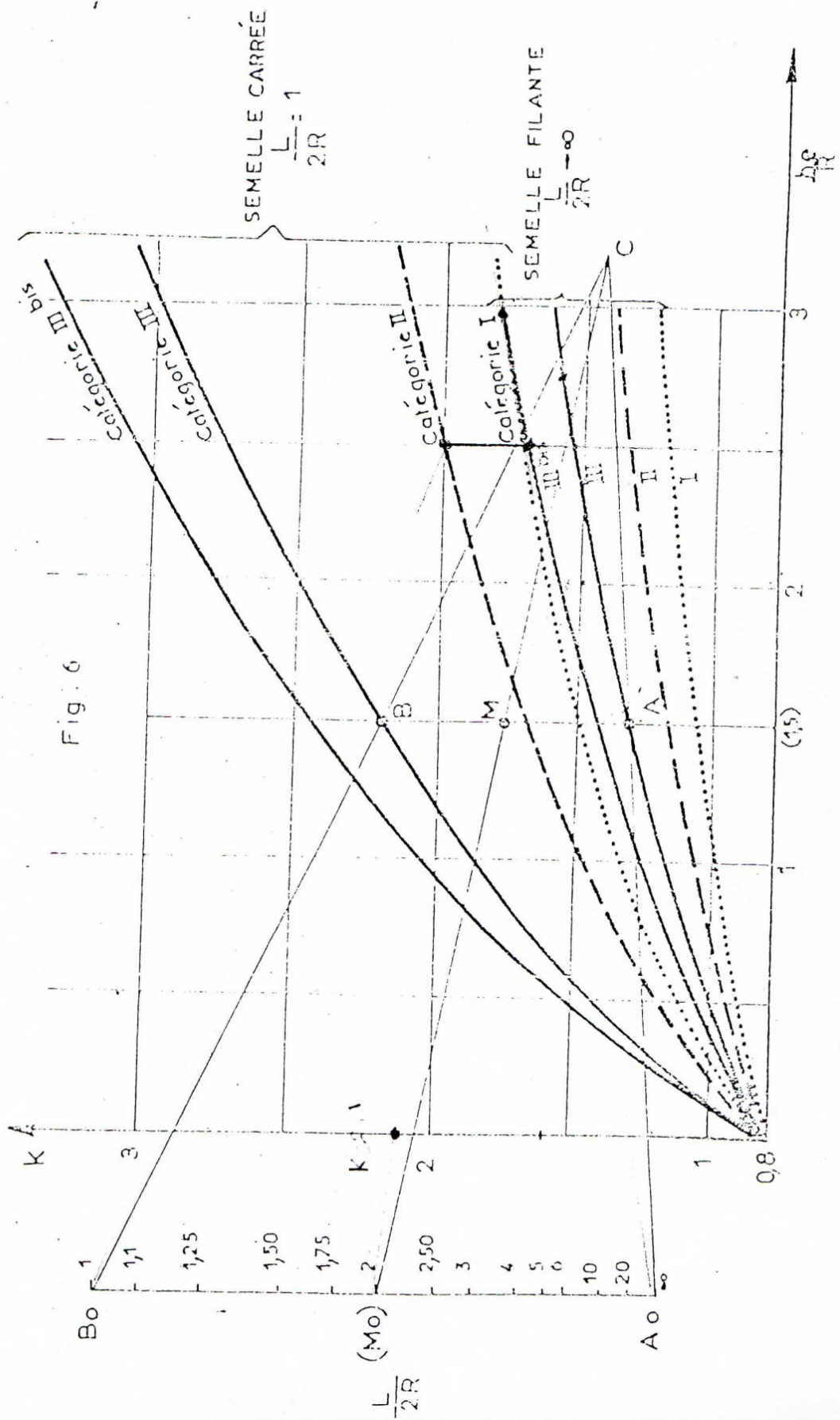


Fig. 6

(45)

4.4. Essai de pénétration statique (Cône pénétration test – C.P.T).

4.4.1. Principe de l'essai.

- L'essai de pénétration statique appelé maintenant C.P.T. d'après l'expression anglaise est très répandue dans le monde.
- *L'essai de pénétration statique* s'applique à tous les sols fins et les sols grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 20 mm. La longueur de pénétration est *limitée à la force de réaction* de l'appareillage.
- L'essai de pénétration statique consiste à enfoncer dans le sol, à vitesse constante, un train de tiges terminé par une pointe munie d'un cône et à mesurer de manière continue la résistance à la pénétration q_c de ce cône (Fig.4.4).

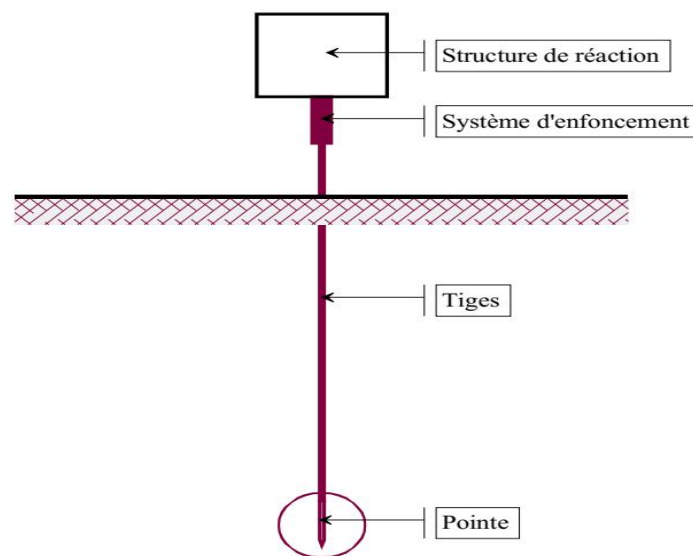


Fig. 4.4.1. Schéma du pénétromètre statique.

- On peut, en plus, mesurer : l'effort total de pénétration Q_t et l'effort de frottement latéral local Q_s sur un manchon situé au-dessus du cône.
- L'effort total Q_t est la force nécessaire, à une profondeur donnée, pour enfoncer le train de tiges muni à sa base de la pointe conique.
- L'effort apparent total sur le cône Q_c , à une profondeur donnée, est la force nécessaire pour enfoncer la pointe conique.

- La contrainte q_c est égale à $q_c = \frac{Q_c}{A_c}$

A_c : surface de la base du cône.

- L'effort total de frottement latéral Q_{St} , à une profondeur donnée, est la différence entre Q_t et Q_c .

$$Q_{St} = Q_t - Q_c$$

- Le frottement latéral unitaire local, à une profondeur donnée, est la force Q_s nécessaire à l'enfoncement du manchon par sa surface latérale A_s .

$$f_s = \frac{Q_s}{A_s}$$

- Le rapport de frottement R_f (friction ratio), à une profondeur donnée, est défini par

$$R_f = \frac{f_s}{q_c}$$

4.4.2. Appareillage.

- La structure de réaction transmet au train de tiges un effort de fonçage qui, pour les pénétromètres statiques classiques, est de 100 kN.
- La **pointe a un diamètre égal à celui des tiges** et est enfoncée dans le sol à une vitesse constante généralement de **20 mm/s**.
- Les systèmes de mesure enregistrent au moins la longueur de pénétration et la résistance à la pénétration du cône et éventuellement le frottement latéral local.

4.4.3. Réalisation de l'essai de pénétration statique.

- L'essai consiste pendant l'enfoncement du train de tiges à enregistrer simultanément, en continu, la résistance à la pénétration du cône Q_c en fonction de la profondeur de la pointe. On peut éventuellement enregistrer également : l'effort total de fonçage Q_t et l'effort de frottement latéral local Q_s .

4.4.4. Expression des résultats.

- Les résultats sont présentés sous forme de graphiques, avec au moins la courbe de résistance à la pénétration du cône q_c en fonction de la profondeur. La figure 4.4.4. donne la variation de q_c et de R_f , (FR: friction ratio chez les Anglo-saxons), en fonction de la profondeur.

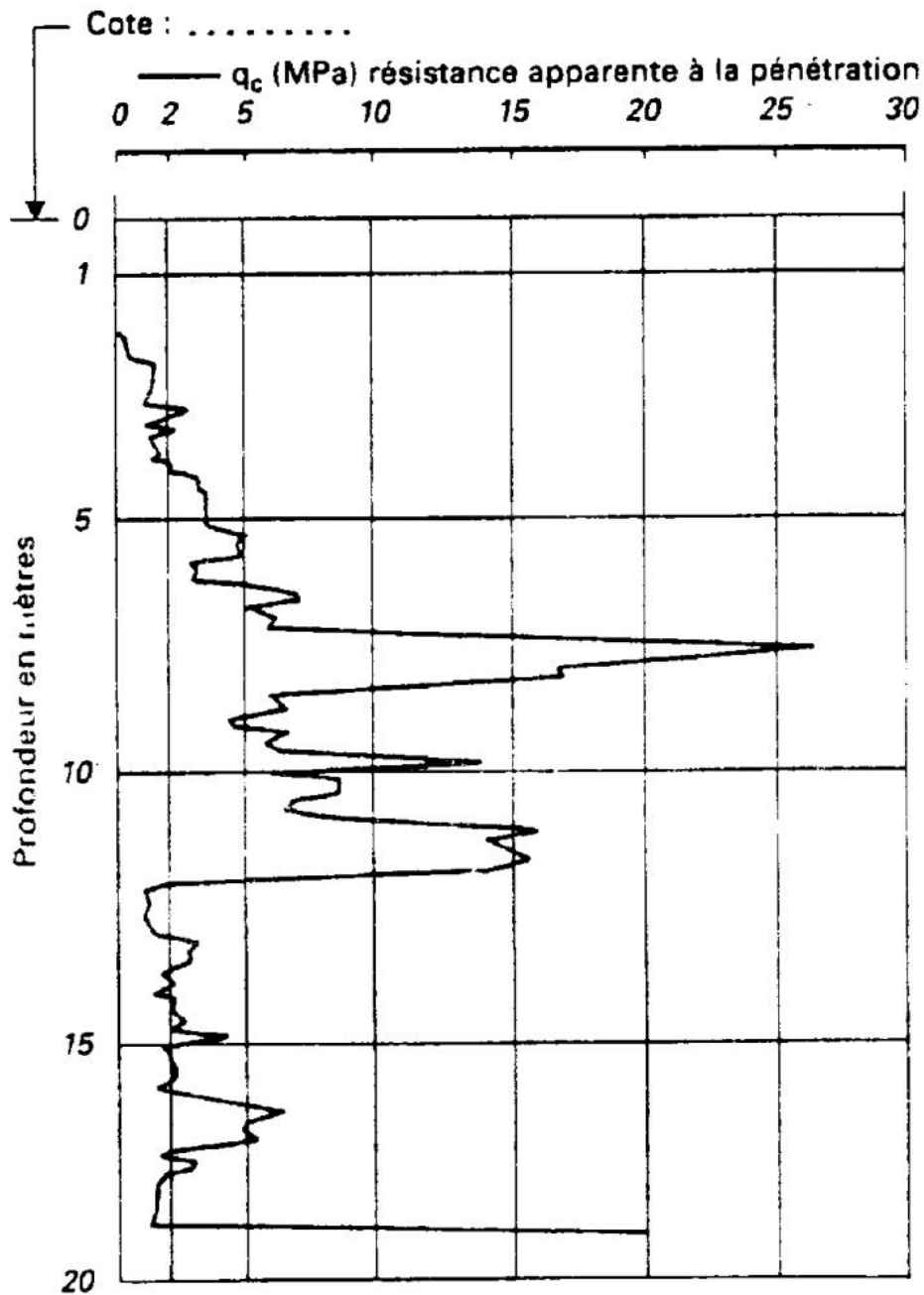


Fig. 4.4.4. Essai de pénétration statique

4.5. Essai de pénétromètres dynamiques.

- Deux pénétromètres dynamiques, type **A** et **B**, ont été normalisés. Ces deux types de pénétromètres permettent d'apprécier :
 - la succession de différentes couches de terrain,
 - l'homogénéité d'une couche,
 - la position d'une couche résistante ou d'un bed-rock connus.
- *Ces essais doivent être exécutés parallèlement avec d'autres essais qui leur serviront d'étalonnage.* Il déconseillé de calculer la capacité portante de fondations avec les seuls résultats des essais de pénétration dynamique.

En accompagnement d'autres essais, *seuls les résultats du pénétromètre dynamique A permettent d'évaluer un ordre de grandeur de la capacité portante de fondations.*

- Les résultats de l'essai au pénétromètre dynamique B permettent seulement d'orienter le choix des fondations.

4.5. 1. Pénétromètre dynamique A (Dynamic penetration A tip).

4.5. 1. 1. Principe de l'essai.

- L'essai de pénétration dynamique consiste à enfoncer dans le sol, par battage de manière continue, un train de tiges muni, en partie inférieure, d'une **pointe débordante**, tout en injectant une boue de forage entre la paroi de sondage et les tiges (Fig.14) et à noter le nombre de coups nécessaires pour faire pénétrer dans le sol la pointe d'une hauteur h de 10 cm.
- L'injection de la boue de forage permet de supprimer le frottement latéral des tiges dans le sol.

4.5. 1. 2. Domaine d'application.

- Les essais de pénétration dynamique type A peuvent être réalisés dans tous les sols fins et grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 60 mm.
- L'essai est limité à une profondeur de 30 m.

4.5. 1. 3. Appareillage.

- Le pénétromètre dynamique A se compose d'un dispositif de battage, d'un train de tiges creuses muni d'une pointe débordante, du matériel d'injection et d'un système de mesures.
- **Le mouton a une masse adaptable** de 32, 64, 96 et 128 kg et une hauteur de chute de 0,75 m. Il tombe à une cadence de 15 à 30 fois par minute.

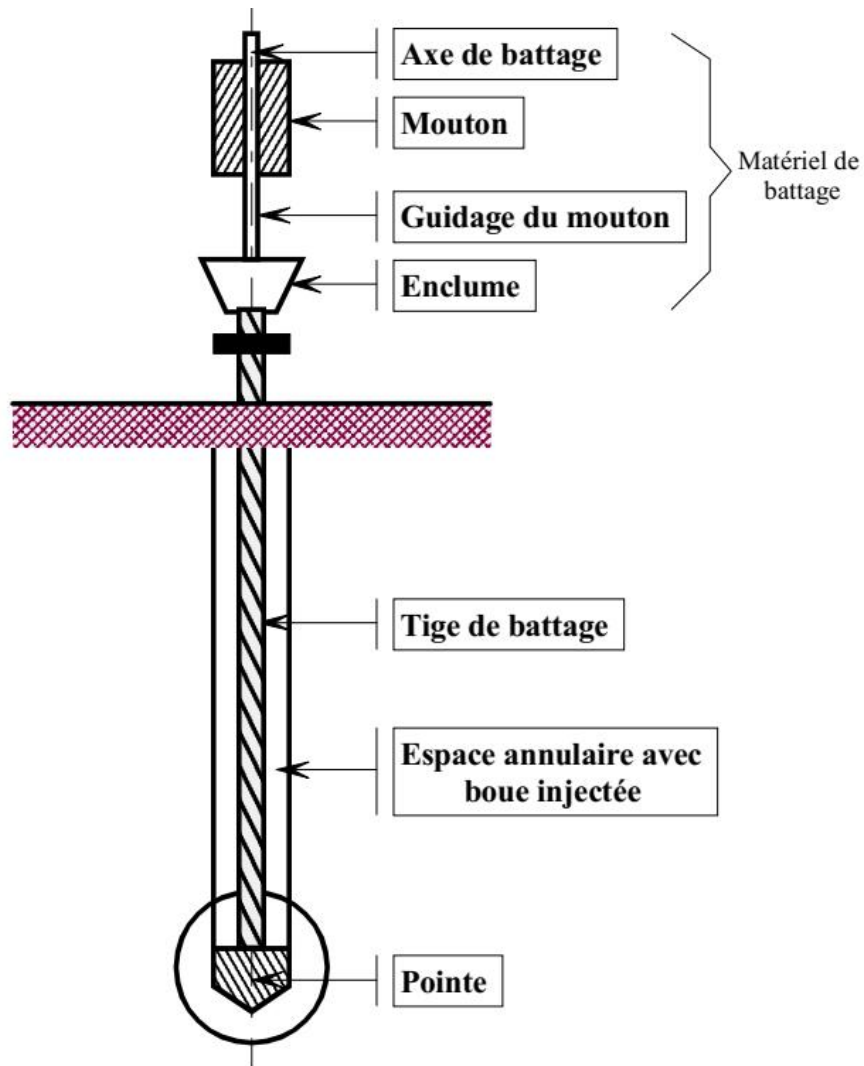


Fig. 4.5. Pénétrömètre dynamique PDA

4.5. 1. 3. Réalisation de l'essai.

- Le train de tiges est battu d'une manière continue sous la chute du mouton à la cadence de 15 à 30 coups par minute. Le nombre de coups de mouton nécessaire pour enfoncer la pointe de 10 cm est noté en fonction de la longueur totale des tiges introduites dans le sol.
- **La masse du mouton doit être adaptée en cours de battage** et choisie parmi l'une des quatre masses 32, 64, 96, 128 kg, afin que le nombre de coups, pour un enfoncement de 10 cm, soit compris entre 2 et 30 inclus.
- La fin de l'essai correspond à la satisfaction de l'une des conditions suivantes :
la profondeur déterminée préalablement est atteinte,
l'enfoncement sous 30 coups de mouton est inférieur ou égal à 10 cm avec la masse de 128 kg,
le rebond du mouton est supérieur à 5 cm.

4.5. 1. 4. Expression des résultats.

- La résistance dynamique de pointe à la pénétration Q_d sous l'action du choc du mouton est donnée **conventionnellement** par l'expression suivante (formule des Hollandais).

$$q_q = \frac{m \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \cdot \frac{m}{m + m'}$$

m : masse du mouton

g : accélération de la pesanteur

H : hauteur de chute libre du mouton

A : aire de la section droite de la pointe

e : enfoncement par coup

m' : masse cumulée, de l'enclume, des tiges, de la pointe.

- Les résultats sont présentés sous forme de graphiques, avec la courbe de la résistance à la pénétration dynamique en fonction de la profondeur.

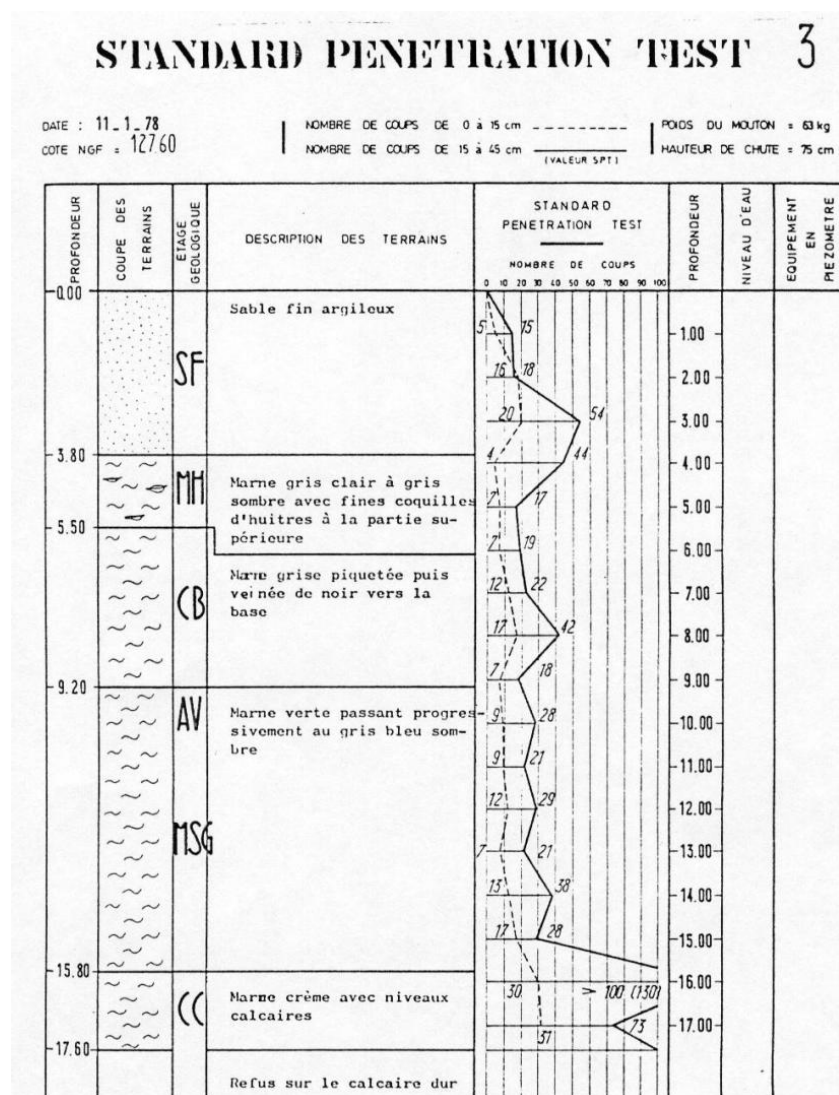
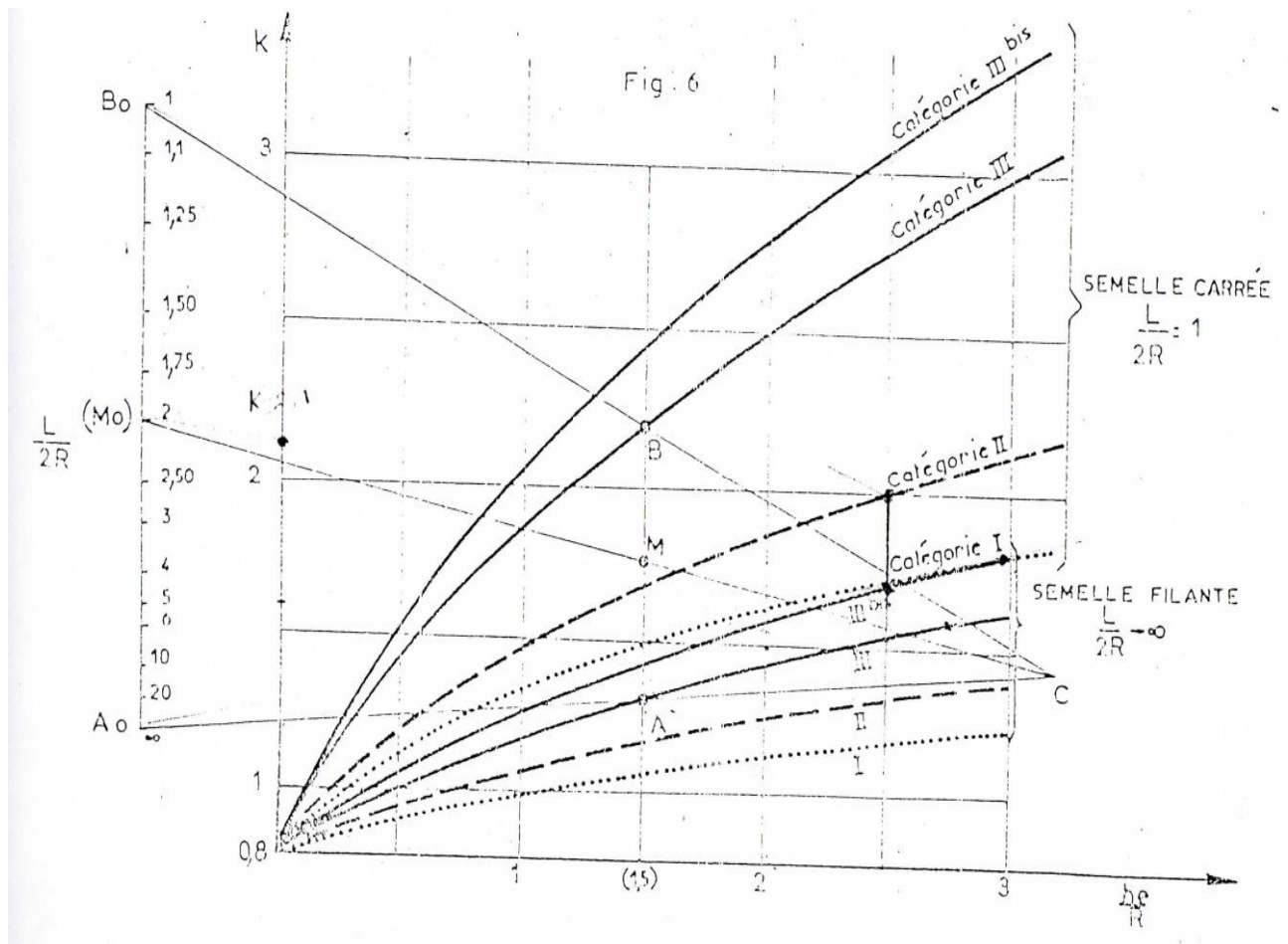


Fig.4.5. Sondage effectué au SPT.



L'échelle graduée $L/2R$ permet de calculer graphiquement le facteur de portance d'une semelle rectangulaire par interpolation entre semelle filante et semelle carrée.

Exemple : calculer la valeur de K pour $h_e / R = 1,5$; $L / 2R = 2$ (rapport courant pour une semelle isolée) et un sol de catégorie III. On trace la droite $h_e / R = 1,5$ qui coupe les deux courbes de catégorie III en A et B. Il s'agit de calculer l'ordonnée K de M de telle sorte que M divise le segment AB dans le même rapport que M_0 le segment $A_0 A$ et $B_0 B$ qui se coupent en C par où on mène une droite passant par M_0 .