

GEOTECHNIQUE

Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech

Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

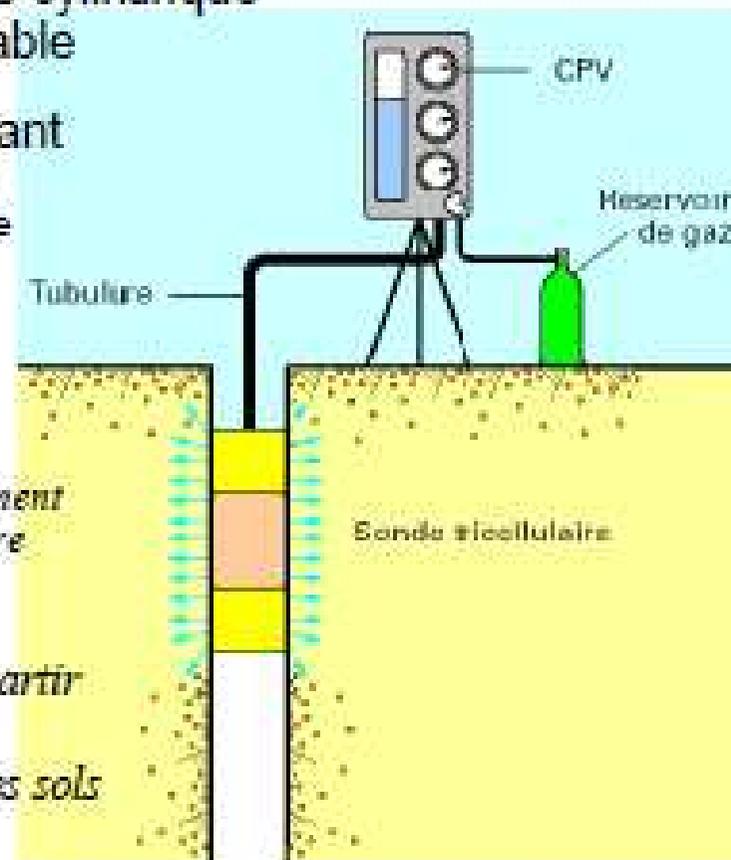
1.1 Principe de l'essai

- dilatation radiale d'une cellule cylindrique placée dans un forage préalable
- obtention d'une courbe donnant
 - la variation de volume de la cellule
 - en fonction de la pression appliquée



- déduction d'au moins deux paramètres principaux
 - module pressiométrique → tassement
 - pression limite → rupture

dimensionnement des fondations à partir de règles d'interprétation des caractéristiques pressiométriques des sols



Essai in-situ :

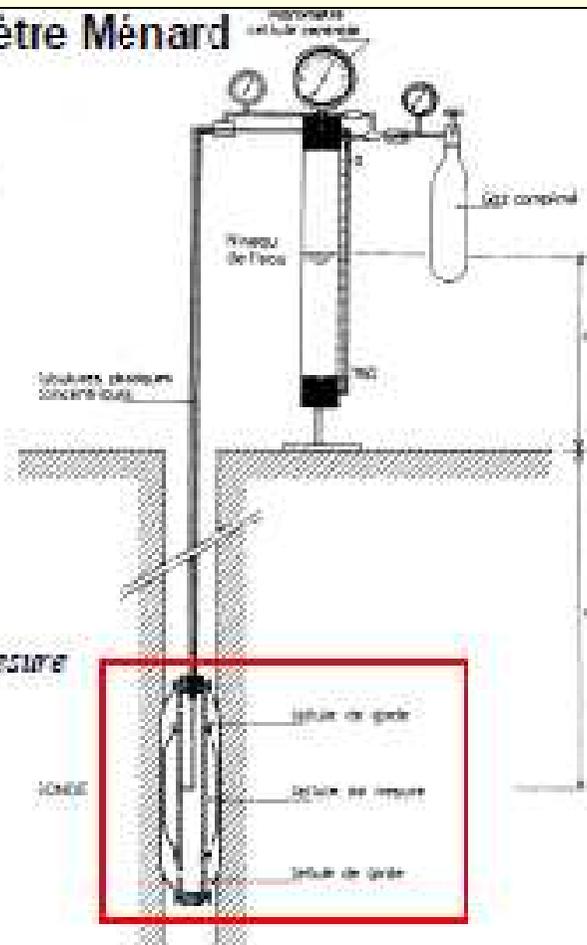
1- Essai pressiométrique Ménard

1.1 Principe de l'essai

Les trois parties d'un pressiomètre Ménard

La sonde

- introduite dans un forage ou mise en place par battage
- dilatation par la cellule de mesure
↓
gaine de caoutchouc
injection d'eau sous pression
- cellules de garde
 - aux deux extrémités de la cellule de mesure
 - remplies de gaz
 - assurer une répartition uniforme des contraintes et des déformations provoquées par la cellule de mesure



Essai in-situ

1- Essai pressiométrique Ménard

1.1 Principe de l'essai

Les trois parties d'un pressiomètre Ménard

Le contrôleur pression - volume

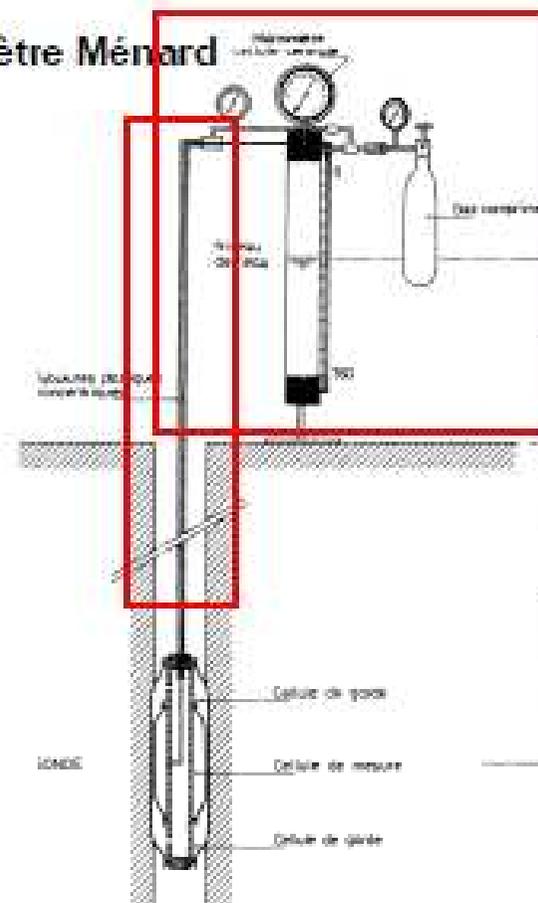


CPV

- à la surface du sol
- sollicitation de la sonde
- réalisation des mesures

Les tubulures de connexion

- conduits en plastique semi-rigide
- transmission des fluides (eau et gaz) du CPV à la sonde



Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.2 Réalisation de l'essai

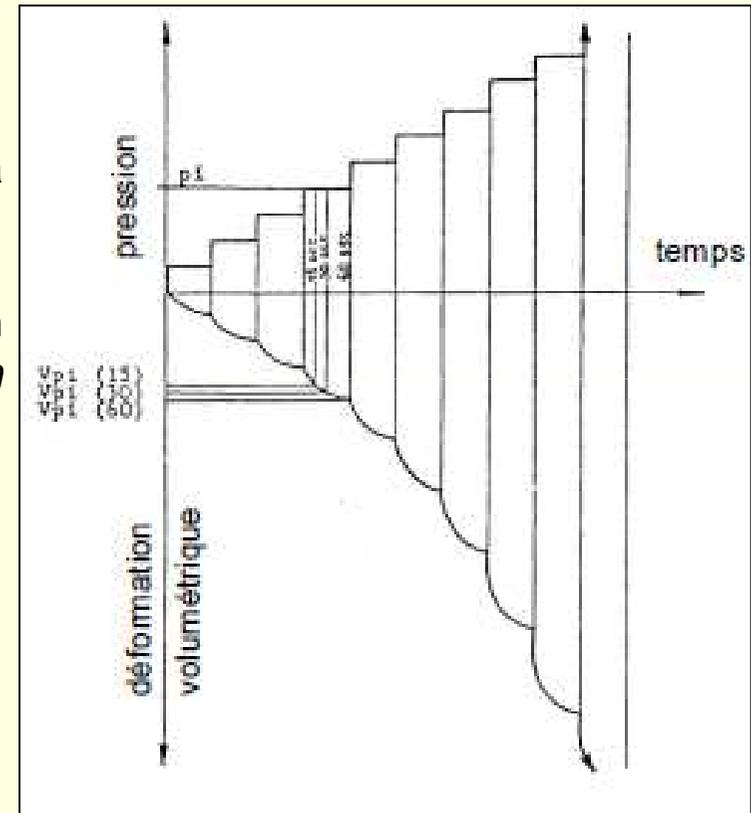
- variation de la résistance du terrain avec la profondeur : *essai effectué tous les mètres.*
- dilatation de la sonde par application d'une pression p : *augmentation progressive par paliers de pression Δp .*
- à chaque palier, mesure du volume de la cellule à :

15 sec

30 sec

60 sec

après la fin de chaque mise en pression



Essai in-situ :

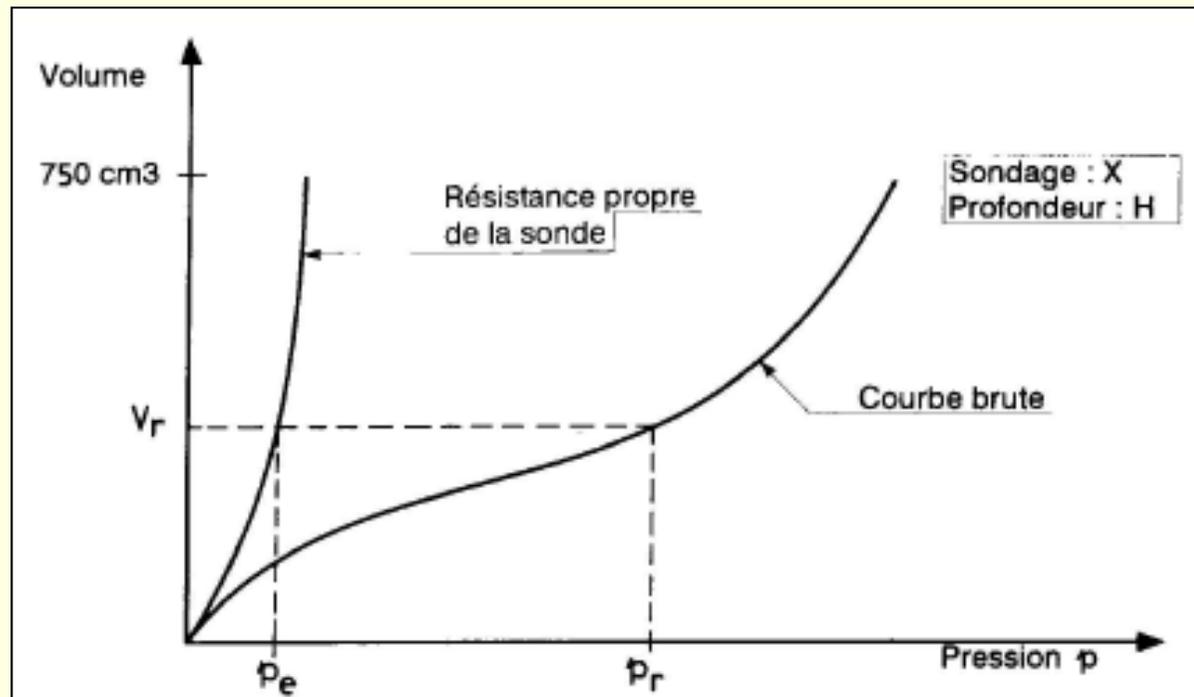
1- Essai pressiométrique Ménard

1.2 Réalisation de l'essai

corrections des valeurs lues sur le CPV

- hauteur piézométrique
- inertie de la sonde
- variations de volume parasites (tubulures, CPV)

courbe pressiométrique corrigée (volume corrigé et pression corrigée):

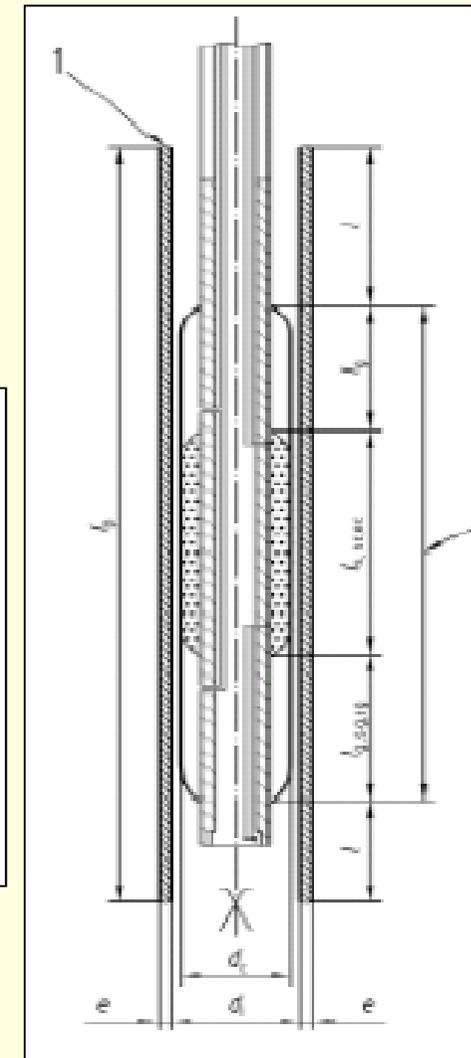
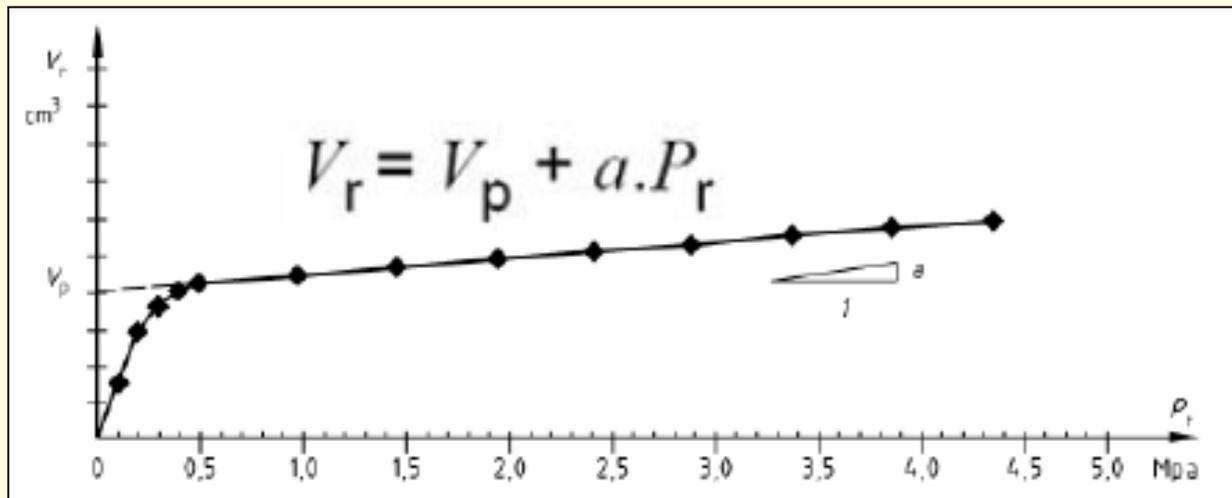


Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.2 Réalisation de l'essai

Essai de tubulure : Le volume est toujours corrigé en diminuant le volume de $a \times p$ où a coefficient de dilatation CPV + tubulures



Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.2 Réalisation de l'essai

Essai d'inertie :

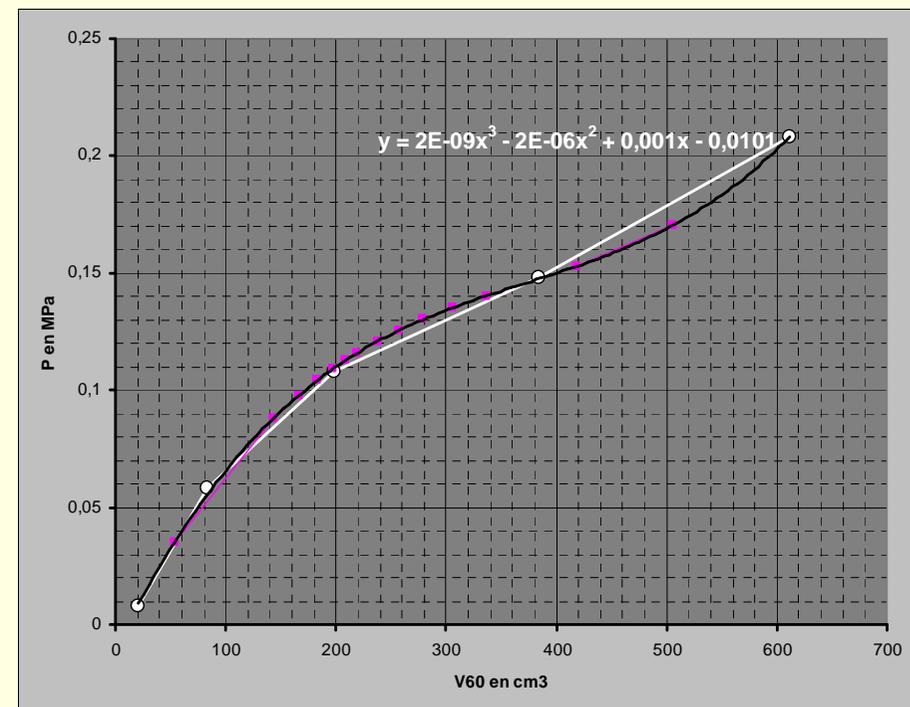
Les valeurs de pression p lues au manomètre du CPV sont également à corriger pour permettre de tracer la courbe pressiométrique corrigée.

Pour les pressions, la pression réelle p_{cor} appliquée par la cellule centrale au sol est égale à : $p_{cor} = p + p_h - p_e$

- p_h : la pression hydrostatique au niveau de la cellule centrale
- p_e : résistance propre de l'ensemble membrane-gaine et éventuellement du tube lanterné, pour un volume donné.

p_e est déterminée par un essai d'inertie.

$$P = aV^3 + bV^2 + cV + d$$

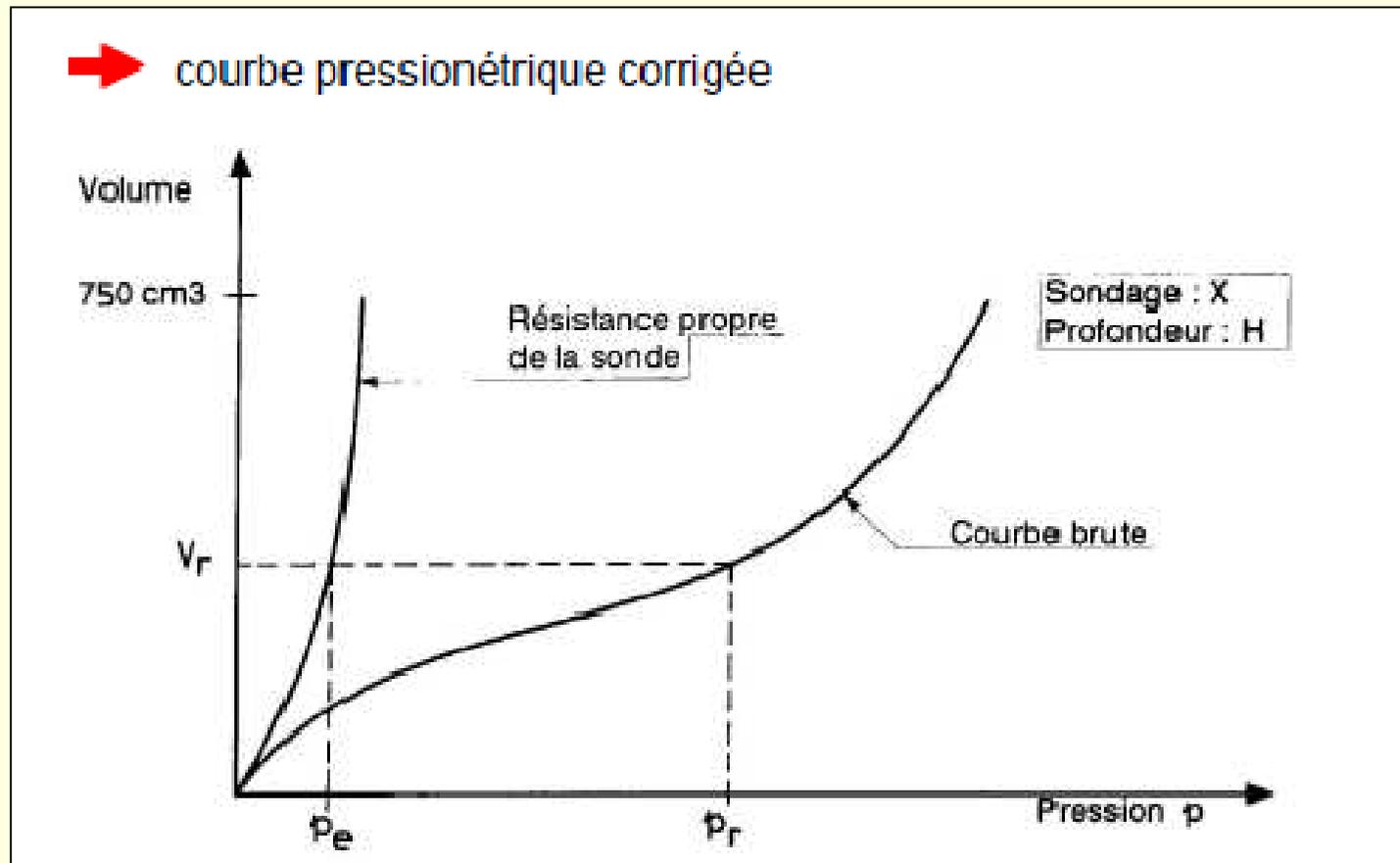


Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.2 Réalisation de l'essai

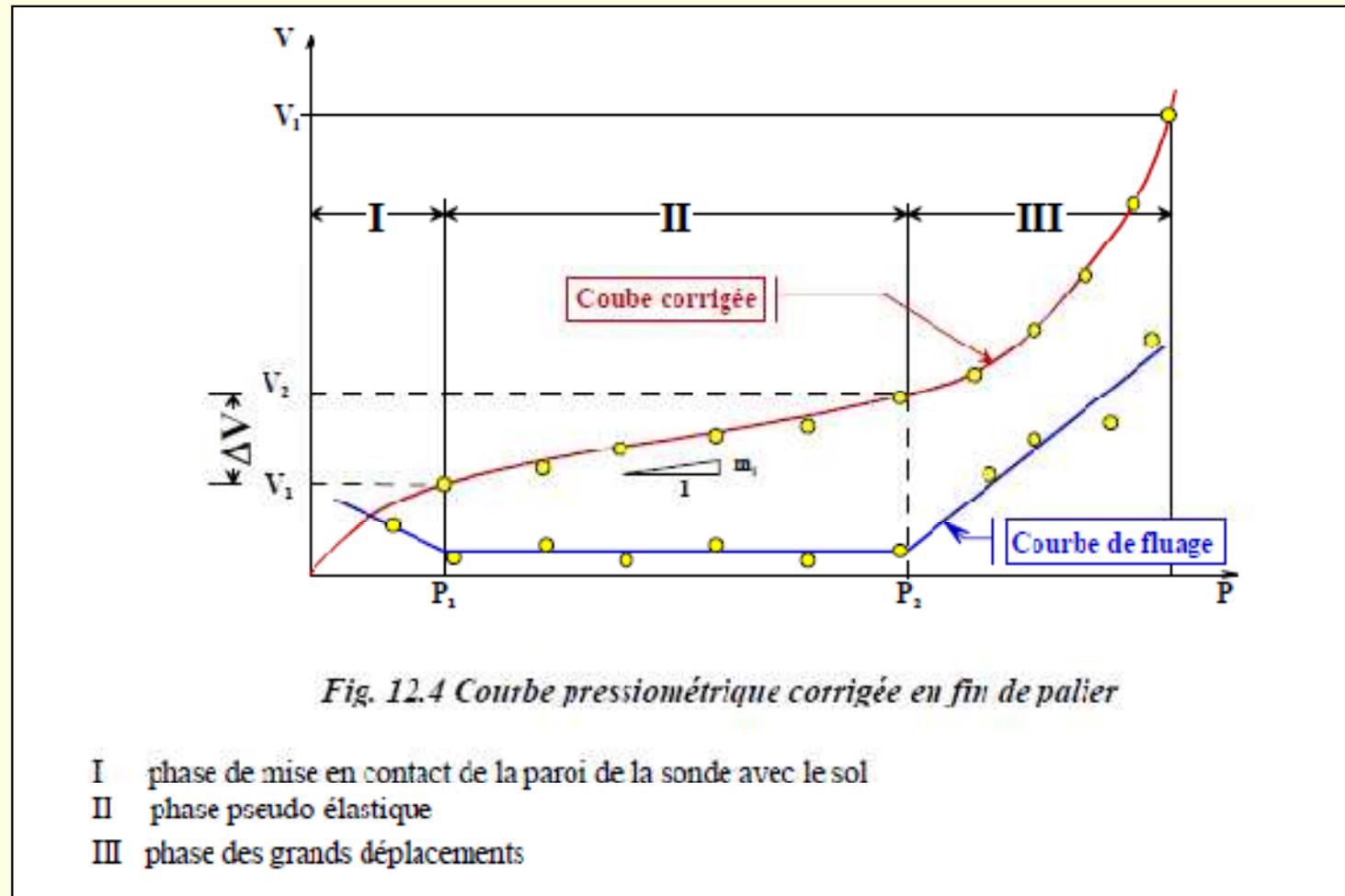
Essai d'inertie :



Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.3 Courbe pressiométrique :



Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.4 Présentation et interprétation des résultats : Module pressiométrique de Ménard E_M .

phase pseudo-élastique (AB)

- proportionnalité entre les variations de volume et les pressions
↳ - comportement du sol considéré élastique
- module pressiométrique (module de déformation)

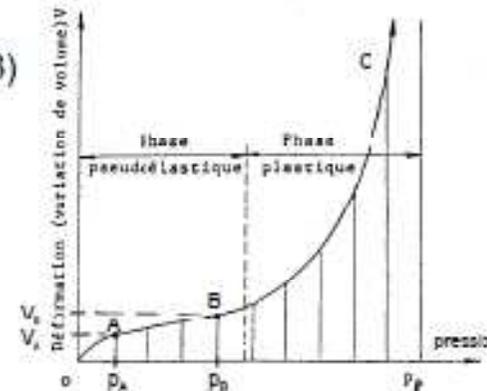
$$E_M = 2(1 + \nu) \cdot \left(V_0 + \frac{V_A + V_B}{2} \right) \cdot \left(\frac{p_B - p_A}{V_B - V_A} \right) = K \cdot \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

V_0 : volume de la cellule centrale au repos (593 cm³ pour une cellule de 58 mm)

$\left. \begin{matrix} p_B, V_B \\ p_A, V_A \end{matrix} \right\}$ pression et volume $\left\{ \begin{matrix} \text{à l'extrémité} \\ \text{à l'origine} \end{matrix} \right\}$ de la phase pseudo-élastique

ν : coefficient de Poisson du sol (habituellement 0,33)

utilisé pour le calcul des tassements



Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.4 Présentation et interprétation des résultats : Module pressiométrique de Ménard E_M .

La détermination de la plage élastique se fait selon la procédure de la norme NF P94-110.

La courbe pressiométrique corrigée est constituée par une succession de segments de pente m_i . m_E est la valeur m_i la plus faible. La plage pseudo-élastique est l'ensemble des segments consécutifs qui ont une pente inférieure ou égale à β fois la pente m_E .

Avec :

$$\beta = 1 + \frac{1}{100} \times \frac{P'_E + P_E}{P'_E - P_E} + \frac{6}{V'_E - V_E}$$

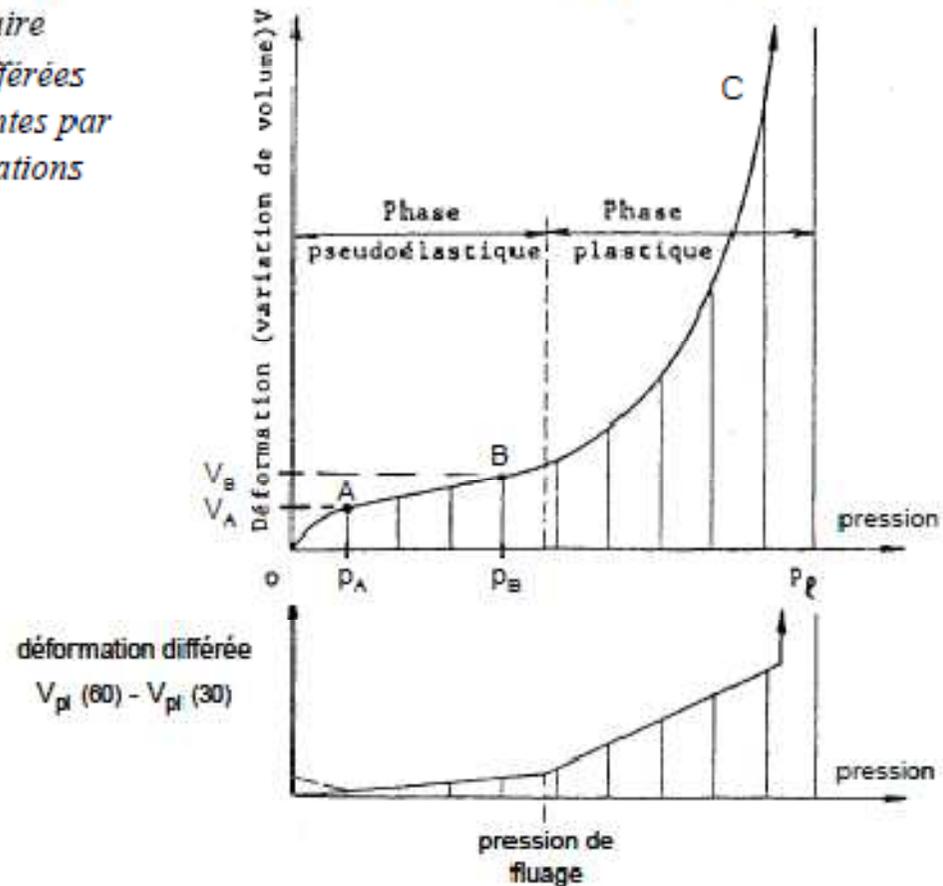
Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.4 Présentation et interprétation des résultats : pression de fluage p_f :

- la pression de fluage (p_f) sépare les phases pseudo-élastique et plastique

- fin de la partie linéaire
- les déformations différées deviennent importantes par rapport aux déformations instantanées



Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.4 Présentation et interprétation des résultats : pression limite p_l :

phase de grands déplacements (BC) → *équilibre limite*

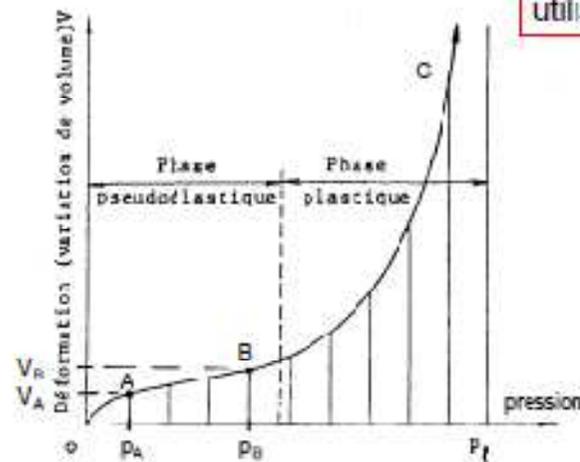
• déformations

- très grandes
- tendent vers l'infini pour une valeur asymptotique de p

↘ pression limite p_l

pression correspondant au doublement de volume de la sonde par rapport à son volume initial

utilisée pour le calcul de stabilité des fondations



Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.4 Présentation et interprétation des résultats : pression limite p_l :

- Détermination directe :

Par convention, la pression limite est la pression qui entraîne le doublement de la cellule centrale de mesure après la pression p_1 . Elle correspond à un volume injecté $V_l = V_s + 2 V_A$

- Détermination de la pression limite conventionnelle :

Si le volume injecté est insuffisant, la pression est extrapolée, à condition que le nombre de paliers au-delà de p_B soit au moins égal à 3, sauf si la pression est ≥ 5 MPa, auquel cas on notera $p_l > p$ (p : dernière valeur corrigée).

On utilise conjointement deux méthodes d'extrapolation, la méthode de la courbe inverse qui permet de déterminer p_{li} et la méthode d'extrapolation hyperbolique p_{lh} .

La pression limite conventionnelle est la plus faible des deux valeurs p_{li} et p_{lh}

$p_l = \inf(p_{li}, p_{lh})$.

Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.4 Présentation et interprétation des résultats : pression limite p_l et pression de fluage p_f :

Les pressions nettes p^* sont comptées par rapport à la contrainte totale horizontale qui régnait dans le sol avant introduction de la sonde pressiométrique.

$$p_l^* = p_l - \sigma_h$$

$$p_f^* = p_f - \sigma_h$$

avec $\sigma_h = K_0 (\sigma_v - u) + u$

u : pression interstitielle

K_0 est le coefficient des terres au repos, par rapport aux contraintes effectives horizontale et verticale.

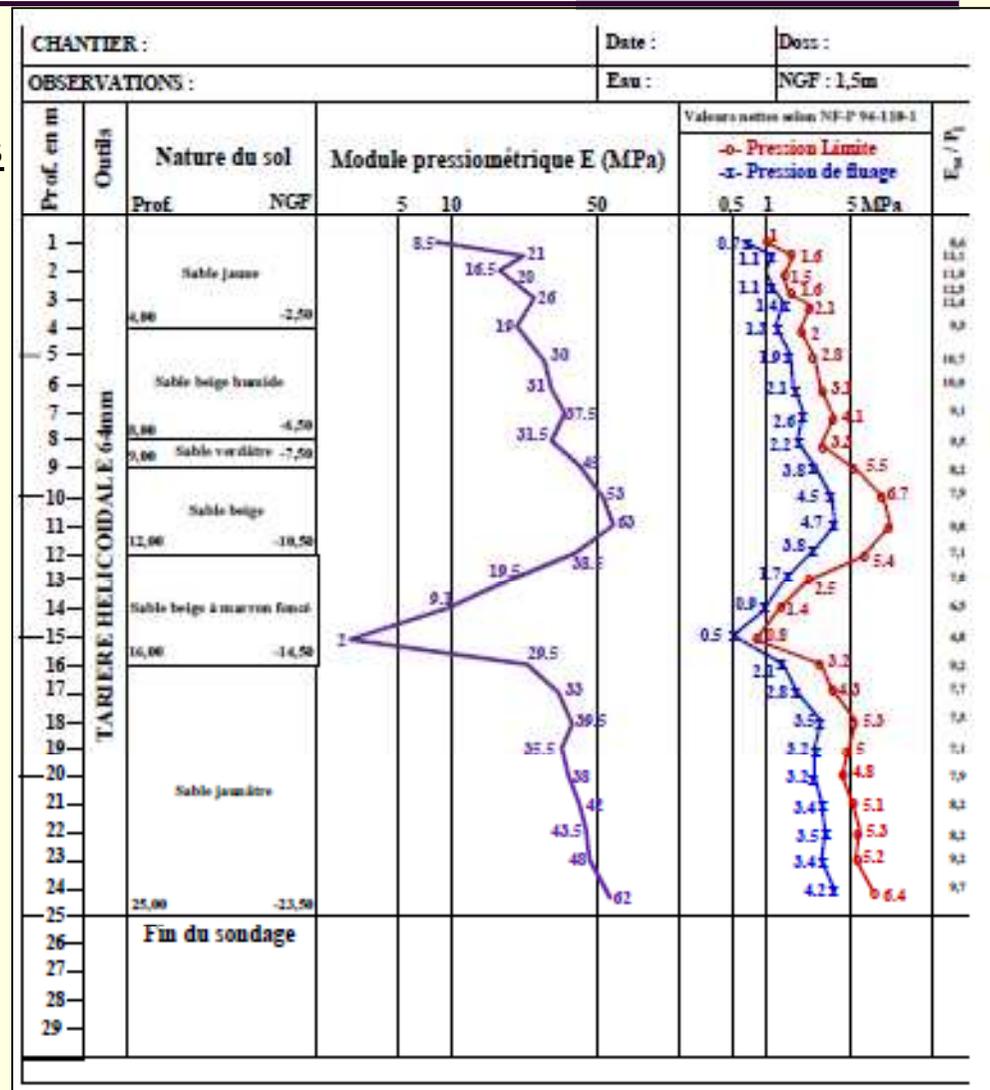
Si la masse volumique du terrain n'est pas mesurée, on pourra l'estimer (généralement $\approx 1,8 \text{ Mg.m}^{-3}$).

Si K_0 n'est pas mesuré, c'est très généralement le cas, on l'estimera en fonction de la nature géologique du terrain, pour un sol normalement consolidé on pourra prendre $K_0 \approx 0,5$.

Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

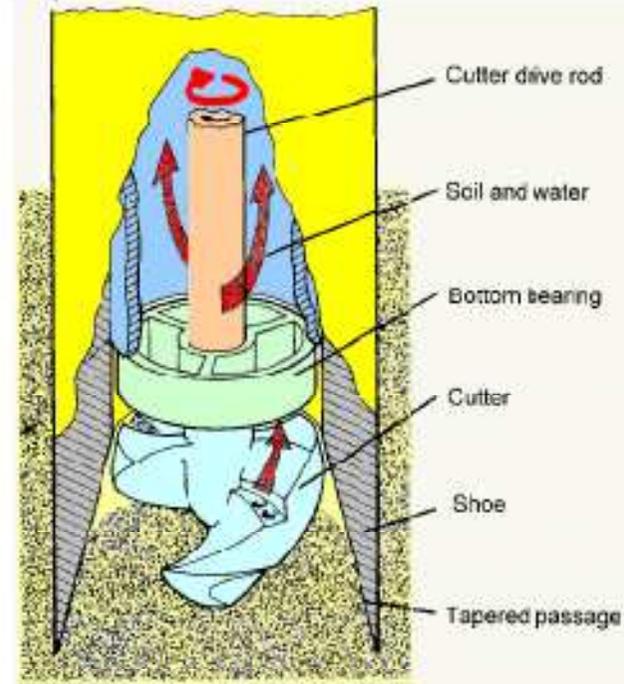
1.4 Présentation et interprétation des résultats :



Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.5 Mode opératoire et mise en oeuvre :



Instabilité des parois de forage

- introduction de la sonde par battage à l'intérieur d'un tube de protection
 - *tube fendu pour permettre les dilatactions radiales*
- stabilisation des parois par ajout de bentonite

Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.6 Domaines d'utilisation et interprétation des résultats :

On estime empiriquement la cohésion non drainée avec $C_u = (p_1 - p_0)/5,5$

Sol	E_M (MPa)	$p_1 - p_0$ (MPa)	Constructibilité
Vase et tourbe Argile molle Sables vasards Remblais récents non compactés	0,2 à 3 0,5 à 3 0,5 à 2 0,5 à 5	0,02 à 0,3 0,05 à 0,3 0,1 à 0,5 0,05 à 0,3	Sols de très médiocre qualité ne convenant pas comme assise de fondation Etudes complémentaires pour appréhender la compressibilité
Limons Argile de consistance faible à moyenne	2 à 10 3 à 8	0,2 à 1,5 0,3 à 0,8	Variations importantes de compacité en fonction de la nappe. Déterminer la portance à partir des valeurs mesurées sous la nappe. Fondations peu chargées
Remblais anciens non compactés	4 à 15	0,4 à 1	Sols souvent très hétérogènes Risques de tassements différentiels
Sables et graviers denses	8 à 40	1 à 5	Excellent sol de fondation. Sujétion d'exécution éventuelle liée à la nappe. Sols perméables
Sable molassique	40 à 80	> 3	Excellent sol de fondation, sensible au remaniement en présence d'eau
Marne molassique	> 100	> 4	Excellent sol de fondation

Essai in-situ :

1- Essai pressiométrique Ménard

1.6 Domaines d'utilisation et interprétation des résultats :

Nature de l'ouvrage	Sols pulvérulents non prélevables $\phi' \neq 0, c' = 0$	Sols cohérents		Roches altérées différemment prélevables (sols hétérogènes)	Tassement maximal
		mou	moyen à raide		
Fondations sur semelles superficielles	bon	non adapté	bon	bon	< 3 cm > 3 cm
Fondations sur pieux	bon	X	bon	bon	si 1 à 3 cm si > 3 cm
Fondations sur radiers	acceptable Etude par méthode œdométrique				
Remblais sur sols mous		non	X	X	
Barrage en terre	non	non	non	non	
a) Mur de soutènement b) Parois moulées c) Rideau de palplanches	Mesure de c' et ϕ' indispensable Le pressiomètre peut être utilisé en complément pour (b) et (c) (Méthode de dimensionnement faisant intervenir le module de réaction k_H)				
Stabilité des pentes	non	non	non	non	
Poussée-butée	non	non	non	non	
Tunnel	Essai complémentaire - Recherche du module d'élasticité				
Fondations de massifs vibrants	Mesure du module de réaction statique (K) E alterné # 3 E_p (essai complémentaire)				
Fondations profondes soumises à \vec{H} ou \vec{M}	excellent	excellent	excellent	excellent	

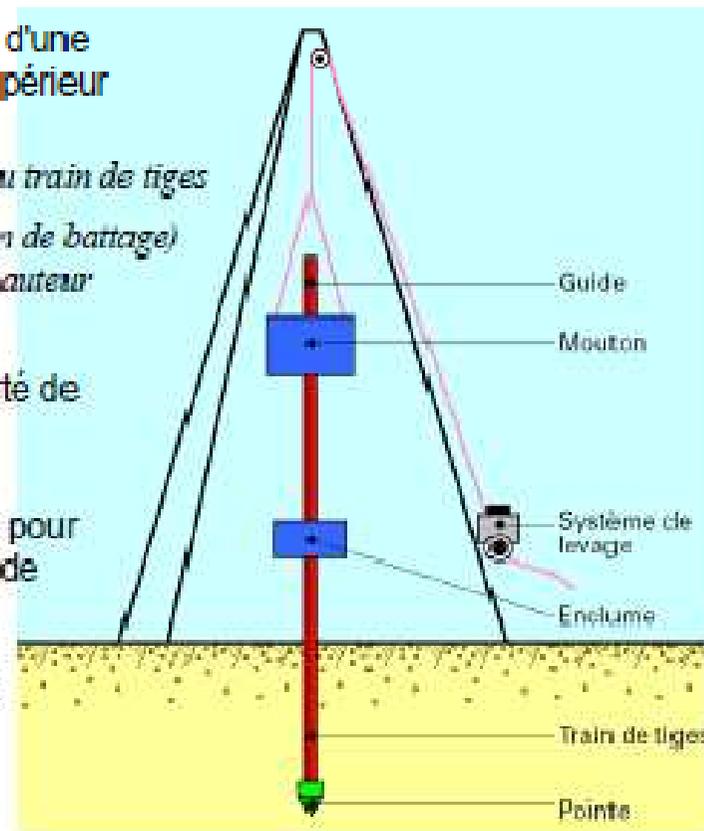
X : cas sans signification

Essai in-situ :

2- Essais pénétrométriques (dynamique) :

2.1 Principe de l'essai :

- constitué d'un train de tiges et d'une pointe conique de diamètre supérieur
- enfoncement par battage
 - chocs répétés exercés en tête du train de tiges
 - utilisation d'une masse (mouton de battage) tombant en chute libre d'une hauteur constante
- enfoncement jusqu'à la capacité de pénétration de l'appareil
- nombre de coups nécessaires pour enfoncer l'appareil sur un pas de longueur fixé (10 cm)
- traçage du profil de résistance du sol en fonction de la profondeur



Essai in-situ :

2- Essais pénétrométriques (dynamique) :

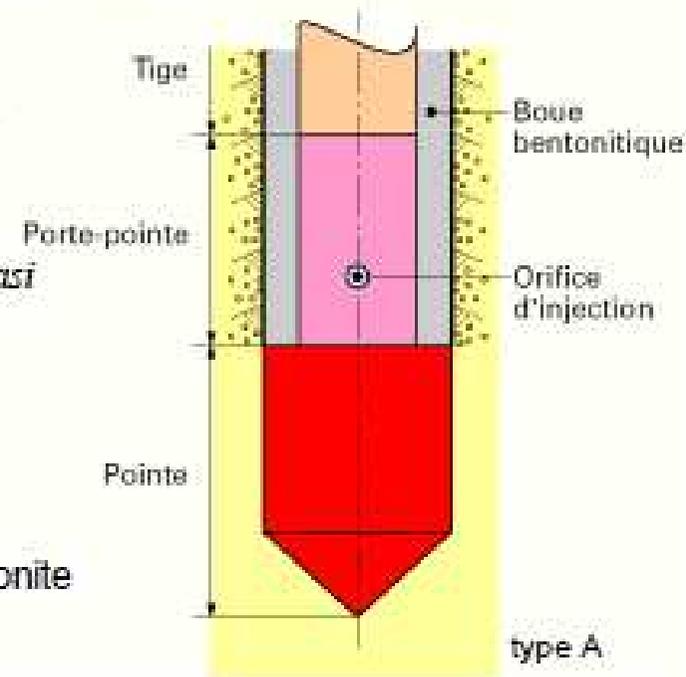
2.2 Classification des essais :

3.2.1 Pénétrètres dynamiques de type A (PDA)

- norme NF P 94-114 *énergie de battage, dimensions de la pointe, etc.*
- dispositif d'injection de bentonite
 - ↳ - éviter le resserrement ou l'éboulement du sol sur les tiges
 - limitation du contact entre les tiges et le sol
 - énergie de battage transmise quasi intégralement à la pointe

3.2.1 Pénétrètres dynamiques de type B (PDB)

- norme NF P 94-115
- pas de dispositif d'injection de bentonite



Essai in-situ :

2- Essais pénétrométriques (dynamique) :

2.3 Interpretation des mesures :

Deux types de représentation d'un profil de pénétration dynamique

- traçage en fonction de la profondeur du nombre de coups N_d nécessaire pour obtenir un enfoncement donné, en général 10 cm
- traçage en fonction de la profondeur de la résistance de pointe dynamique q_d calculée à l'aide d'une formule de battage de pieux

$$q_d = \frac{M}{e(M + M')} \frac{MgH}{A}$$

- M est le poids du mouton,
- M' le poids des parties frappées (enclume placée en tête du train de tiges et sur laquelle s'exercent les chocs, train de tiges et pointe),
- H la hauteur de chute du mouton,
- e l'enfoncement moyen par coup,
- A la section droite de la pointe,
- g l'accélération due à la pesanteur

Essai in-situ :

2- Essais pénétrométriques (dynamique) :

2.3 Interpretation des mesures :



Essai in-situ :

2- Essais pénétrométriques (dynamique) :

2.4 Domaine d'utilisation :

- Le domaine préférentiel d'utilisation des pénétromètres dynamiques est la reconnaissance qualitative des terrains lors d'une étude préliminaire.
- Ils sont donc recommandés pour résoudre les problèmes suivants :
 - contrôle de l'homogénéité d'un site ;
 - détermination des épaisseurs des différentes couches de sols ;
 - localisation des cavités ou autres discontinuités ;
 - reconnaissance du niveau du toit du rocher.
- Enfin, ils fournissent des renseignements utiles pour la prévision des conditions de battage des pieux et des palplanches.

Essai in-situ :

2- Essais pénétrométriques (dynamique) :

2.5 Limitations de la technique :

- profondeur limite d'investigation autour de 30 m (frottements parasites - flambement des tiges sous l'effet des chocs).
- compte tenu de la dimension de la pointe (diamètre 62 mm) : pas recommandé de pratiquer ce type d'essai dans des sols grenus dont la dimension moyenne des éléments est supérieure à 60 mm.
- pas de règle reconnue pour le dimensionnement des fondations à partir de la résistance dynamique q_d :
 - seulement ordre de grandeur de la portance par le biais de corrélations avec d'autres essais en place (pénétrömètre statique et pressiomètre).
 - orientation de la campagne d'essais ultérieure.