

TP 5 : Essai pressiométrique

1. Objectif de l'essai

Il s'agit d'un essai de chargement statique du terrain en place, effectué grâce à une sonde cylindrique dilatable radialement introduite dans un forage. Cet essai fait l'objet de la norme française **NF P 94-110-1**.

Les informations recueillies grâce au forage ainsi que les caractéristiques mécaniques obtenues lors des essais permettent :

- D'apprécier la succession des couches de sol et éventuellement leur nature ;
- De définir l'aptitude des terrains à recevoir certains types de constructions et d'orienter le choix des fondations d'ouvrages ;
- De dimensionner les fondations ;
- D'évaluer les déplacements des structures en fonction des sollicitations auxquelles elles sont soumises.

2. Principe de l'essai

Le procédé consiste à introduire dans le sol, une sonde cylindrique dilatable (**figure 1**). Cette sonde est reliée à un appareil de mesure pression-volume, appelé Contrôleur Pression Volume (CPV), situé à la surface du sol. L'essai permet d'obtenir une courbe "pression appliquée-volume injecté", représentative de la relation contrainte-déformation jusqu'à la rupture du sol en place. Pour cela on injecte de l'eau sous pression dans la sonde de mesure qui vient déformer le sol. Le volume injecté et la pression appliquée sont mesurés. Le volume d'eau injecté nous renseigne sur la déformation du sol, et la pression de l'eau nous renseigne sur la contrainte reprise par le sol.

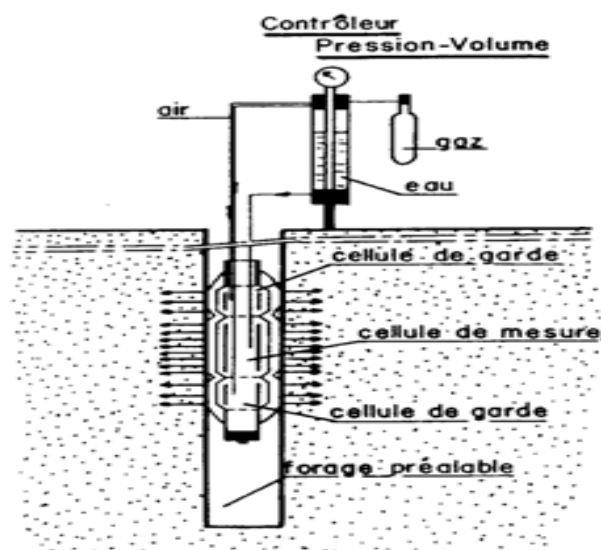


Figure 1 : Schéma de principe de l'essai pressiométrique Ménard.

L'exploitation des résultats permettra de connaître deux caractéristiques pressiométriques importantes du sol que l'on utilise pour le dimensionnement des fondations :

- p_l : **pression limite du sol (caractéristique de rupture du sol) ;**
- E_M : **module pressiométrique Ménard (caractéristique de déformabilité du sol).**

3. Appareillage

L'ensemble du matériel pressiométrique comprend :

3.1 Contrôleur pression-volume CPV

Il est rempli d'eau et connecté à la sonde de mesure par des tubulures coaxiales en rilsan. Il permet d'envoyer l'eau, jusqu'à une pression d'au moins 5 MPa, d'un gaz comprimé et de mesurer le volume injecté par un tube gradué (**figure 2**).



Figure 2 : Contrôleur pression volume.

3.2 Sondes

Les plus utilisées sont les sondes AX de 44 mm et BX de 58 mm. Elles comportent trois cellules fermées par un unique cylindre métallique revêtu dans sa partie centrale d'une membrane en caoutchouc. Le cylindre étant lui-même recouvert par une gaine (**figure 3**). La division en trois cellules, deux cellules de garde entourant la cellule de mesure, permet d'assurer une déformation cylindrique plane de cette dernière. On distingue les sondes à gaine souple, des sondes avec tubes fendus. La sonde avec tube fendu est une sonde du type décrit précédemment, placée à l'abri d'un tube fendu longitudinalement selon six génératrices. L'usage du tube fendu ne doit pas être systématique mais réservé aux cas où les autres méthodes s'avèrent très difficiles à mettre en œuvre.



Figure 3 : Sonde pressiométrique.

3.3 Tubulures

Elles assurent les connections entre le CPV et les cellules de la sonde. L'une sert au passage de l'eau, l'autre sert au passage du gaz.

4. Déroulement de l'essai

Le mode de mise en place de la sonde, est lié à la nature des sols, à leur état, à la présence ou non d'une nappe et descendre la sonde dans un trou de forage réalisé préalablement de diamètre d_t tel que $d_t < 1,15d_s$ (d_s = diamètre extérieur maximal de la cellule centrale).

L'essai consiste à appliquer progressivement par palier, une pression uniforme sur la paroi du forage et à mesurer l'expansion de la sonde V en fonction de la pression appliquée p .

La pression p mesurée à l'indicateur de pression est augmentée progressivement par paliers de pression de pas Δp constants. Chaque pression est maintenue constante dans les cellules de mesure et de garde pendant une durée Δt de 60 secondes. Le temps pour appliquer le pas de pression Δp doit être inférieur à 10 secondes. Une fois l'essai terminé, le déchargement se fait sans palier.

Un essai d'expansion est conduit jusqu'à l'obtention de la pression limite. Si cette pression ne peut être atteinte, l'essai est considéré comme terminé s'il comporte un minimum de huit paliers et la pression de 5 MPa a été atteint dans la cellule centrale de la sonde.

À chaque palier il faut noter la pression appliquée et le volume injecté dans la sonde au moins aux temps $t=15 s$; $t=30 s$; $t=60 s$.

Deux sondages consécutifs ne doivent pas être réalisés à une distance inférieure à 0,75 m.

5. Exploitation des résultats

Pour un essai à une profondeur donnée, la courbe pressiométrique brute est la représentation graphique du volume d'eau injecté dans la sonde en fonction de la pression d'eau $V = f(p_r)$. p_r est la pression d'eau lue au manomètre du CPV et V le volume de liquide injecté dans la sonde et mesuré à la fin de chaque palier de pression.

Cette courbe brute doit être corrigée en prenant en compte la **résistance propre de la sonde**, et la **pression hydrostatique** dans les tubulures.

La **courbe pressiométrique corrigée (figure 4)** est la représentation de $V = f(p)$ et prend donc en compte la pression réellement appliquée au sol.

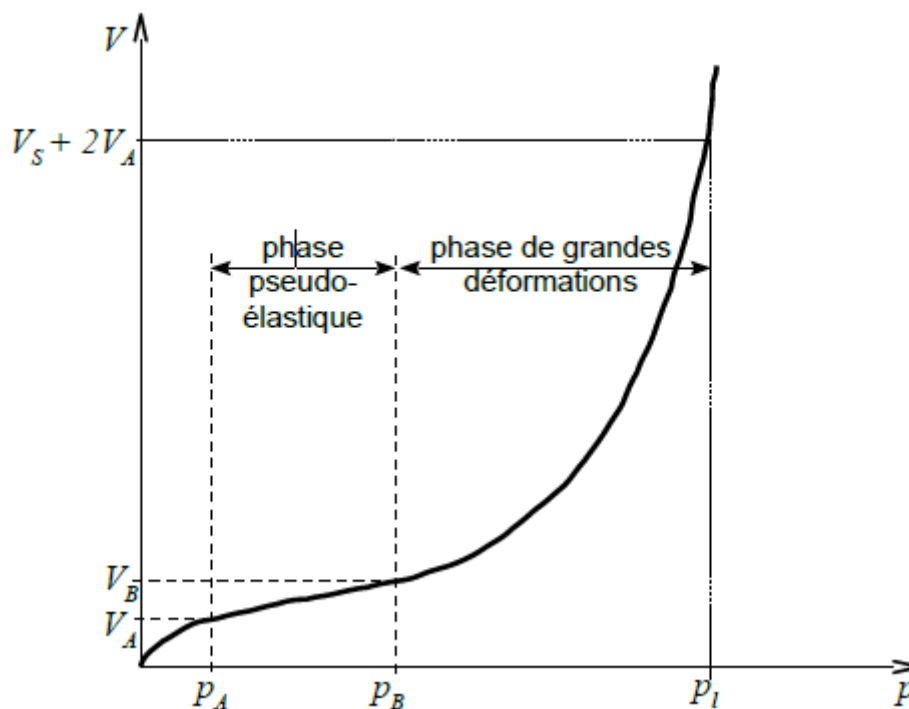


Figure 4 : Courbe type d'un essai pressiométrique Ménard.

On repère sur cette courbe les points A ($p_A ; V_A$) et B ($p_B ; V_B$) marquant les limites inférieures et supérieures de la partie linéaire (pseudo-élastique, voir la figure ci-dessous)

A partir de cette courbe trois phases sont identifiables :

- Partie OA: phase de **mise en contact de la sonde** avec le sol,
- Partie AB: phase **pseudo-élastique**,
- Partie BC: phase de **grandes déformations** et de développement de la **rupture**.

Le module pressiométrique E_M est déterminé dans la plage **pseudo élastique** qui a pour origine ($p_A ; V_A$) et pour extrémités ($p_B ; V_B$).

Il est calculé en considérant le sol en élasticité linéaire, en déformation plane :

$$E_M = 2(1 + \nu) \left[V_s + \frac{V_a + V_b}{2} \right] \frac{p_b - p_a}{V_b - V_a}$$

Où :

V_s est le volume de la cellule centrale de mesure de la sonde

V_a est le volume correspondant à l'origine de la plage pseudo-élastique de la courbe

V_b est le Volume correspondant à l'extrémité de la plage pseudo-élastique de la courbe

P_a est la Pression correspondant à l'origine de la plage pseudo-élastique de la courbe

P_b est la Pression correspondant à l'extrémité de la plage pseudo-élastique de la courbe

ν est le Coefficient de Poisson

6. Présentation des résultats

Les résultats expérimentaux relevés par l'opérateur ou enregistrés sont interprétés soit « manuellement », soit le plus souvent par ordinateur. Dans ce dernier cas, le programme calcule la courbe corrigée qu'il présente à l'écran et sur imprimante puis les caractéristiques pressiométriques E_M et P_l .

Les valeurs de E_M et P_l déterminées sur un forage sont ensuite présentées sur un profil en fonction de la profondeur z . Ce profil est appelé profil pressiométrique (**figure 5**).

En plus des caractéristiques pressiométriques, ce profil indique la nature des sols rencontrés ainsi que le niveau éventuel de la nappe d'eau souterraine, ces informations étant obtenues lors du forage préalable nécessaire à la mise en œuvre de la sonde. L'outil de foration utilisé est également indiqué.

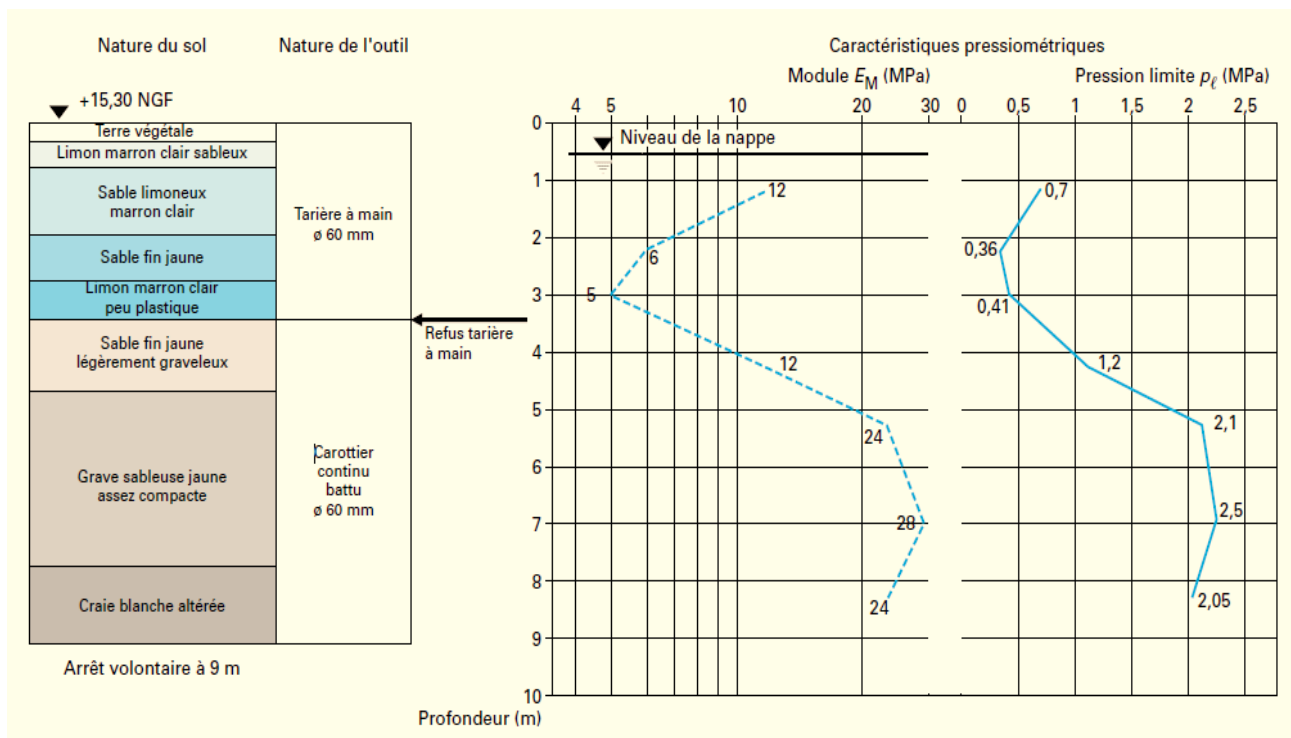


Figure 5 : Profil pressiométrique.