

ANNEXE II

L'ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE [11]

II.1. Introduction :

Sur le plan historique, l'idée de l'essai d'expansion latérale du sol revient à KOEGLER (1930), mais c'est Louis MENARD (1957) qui a repris et développé cet essai en mettant au point un appareil nommé « **pressiomètre** ». Le mérite de Louis MENARD est d'être le pionnier de la théorie pressiométrique qui a donné une impulsion à la mécanique des sols, notamment dans les domaines du calcul des fondations et l'étude des lois de comportement du sol.

L'essai pressiométrique 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. Les contraintes dans le sol sont uniformes et l'essai est réalisé rapidement.

II.2. Appareillage :

Le pressiomètre MENARD est constitué de trois éléments principaux (*Figure II.1.c*):

- 1- Le contrôleur pression/volume (CPV) placé en surface (*Figure II.1.a*).
- 2- La sonde pressiométrique placée dans le forage (*Figure II.1.b*).
- 3- Les tubulures de liaison (en eau et gaz).



a) Contrôleur pression/volume (CPV)



b) Sondes pressiométriques

Figure II.1 : CPV et sondes

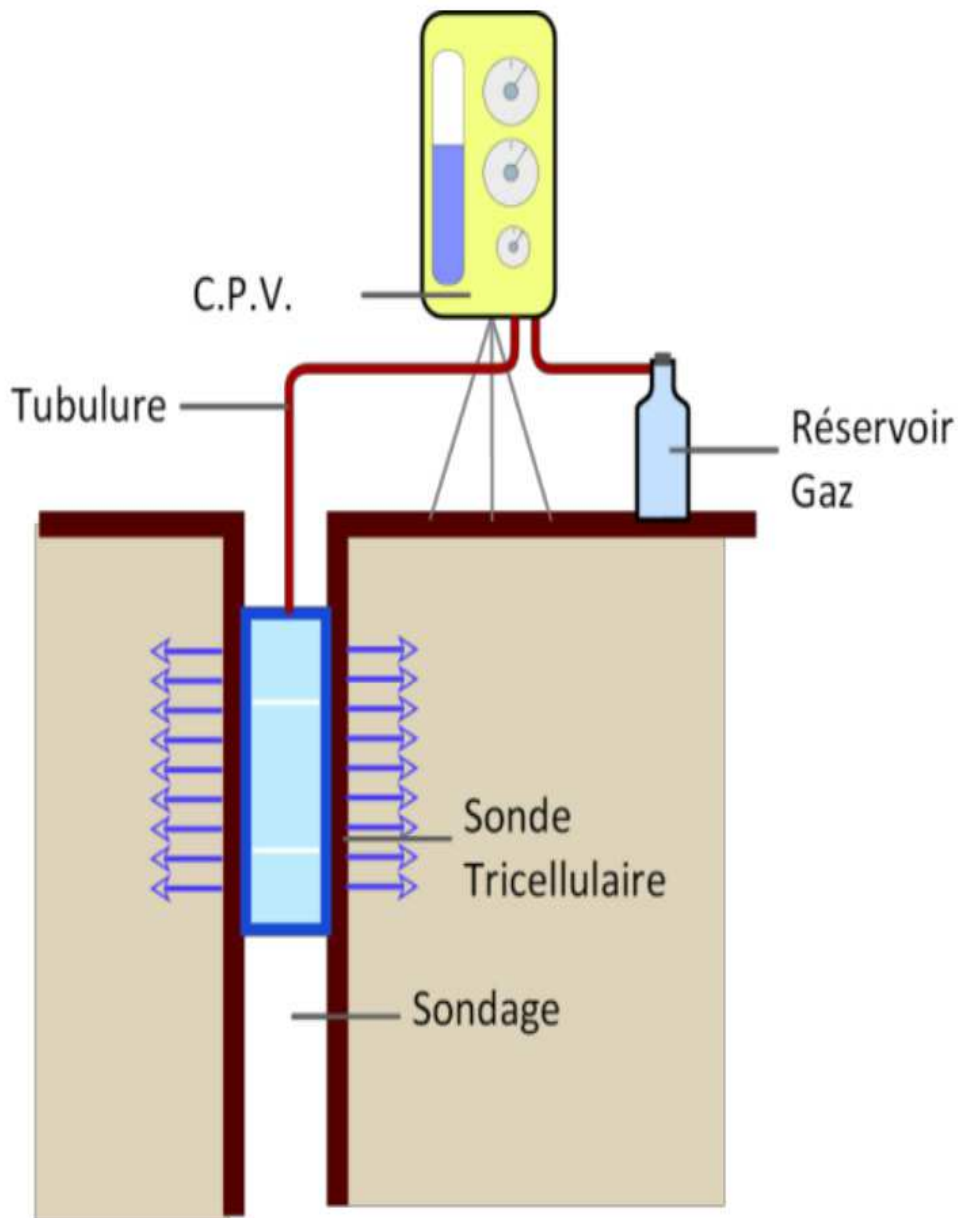


Figure II.1.c : Dispositif typique pour l'essai pressiométrique

II.3. Principe de l'essai :

L'essai pressiométrique est un essai de chargement. Le dispositif de chargement peut être descendu dans un forage et donner ainsi des indications sur le sol à toute profondeur.

Les essais sont toujours effectués systématiquement mètre par mètre, de manière à suivre avec précision les variations de résistance du terrain avec la profondeur. Les mesures sont ainsi pratiquement continues et permettent d'obtenir des renseignements complets sur les différentes couches.

II.4. But de l'essai :

Le but de l'essai est déterminer la capacité portante d'un sol et son tassement sous une fondation donnée, et ce en tirant trois caractéristiques fondamentales et qui sont :

- 1- La pression limite P_l et qui correspond à la rupture du terrain sur la parois de la cavité cylindrique, et qui est directement liée à la capacité portante.
- 2- Le module de déformation pressiométrique E_M qui caractérise la phase de déformation pseudo-élastique de l'essai. Il intervient dans le calcul du tassement.
- 3- La pression de fluage P_f qui correspond au passage du domaine des déformations pseudo-élastiques du terrain au domaine des déformations plastiques.

II.5. Exécution de l'essai :

- La sonde est mise en place soit par réalisation d'un forage à l'aide d'outils adaptés au sol, soit par fonçage ou battage de la sonde pressiométrique, protégée par un tube lanterné, jusqu'à la profondeur désirée.
- La réalisation du forage pressiométrique dépend de la nature du sol, de son état et de la présence éventuelle d'une nappe d'eau. Le **tableau II.3** récapitule les recommandations de la norme française concernant la mise en place de la sonde pressiométrique.

Tableau II.3 : Modes d'installation de la sonde

Nature du sol	Mode d'installation
Argile molle et vases	Forage par tarière avec injection de boue
Argile moyennement compacte	Forage par tarière à sec ou injection de boue de forage, ou par outil désagréateur avec injection de boue
Argile compacte et marne raide	Forage par tarière à sec, carottage ou par outil désagréateur
Limon : -au dessus de la nappe -sous la nappe	-Forage par tarière à sec -Forage par tarière avec boue de forage
Sable lâche : -au dessus de la nappe -sous la nappe	-Forage par tarière à sec ou avec injection de boue -Forage par tarière avec injection de boue
Sable moyennement dense ou dense	Forage par tarière à sec ou avec injection de boue, battage de la sonde par roto percussion
Gravier, galets.....	Battage de la sonde par roto percussion
Roche : - altérée -saine	-Forage par tarière à sec, ou par outil désagréateur avec injection de boue, ou battage de la sonde par roto percussion. -Forage par carottage, ou outil désagréateur avec boue de forage injectée, battage de la sonde par roto percussion

- Le chargement se fait par paliers de pression, chacun durant 60 secondes, il est par contre recommandé de maintenir la durée du palier à 2 minutes.
- L'essai continu jusqu'à atteindre la pression limite
- Certaines corrections sont à faire sur la pression P_m lue sur le manomètre et le volume V_m dans la sonde, pour tenir compte de la surcharge apportée par la pression hydrostatique de l'eau surtout lorsque la sonde se trouve à des profondeurs importantes, et la compressibilité de la sonde. La pression corrigée sera comme suit :

$$P = P_m + \gamma_w (z + a) - P_i \text{ avec}$$

- a : est le niveau d'eau dans le CPV
- z : la profondeur d'essai par rapport à la surface
- P_i : la pression mobilisée par la sonde pour un volume V donné en dehors du forage. (cette pression peut être mesurée lors d'un essai pressiométrique en plein air, appelé « **essai d'inertie de la sonde** »).

- La quantité d'eau V_m injectée n'est pas exactement égale à la variation du volume de la sonde, particulièrement aux grandes valeurs de la pression P , à cause de la déformabilité des différents éléments de l'appareil (tubulure, corps du CPV...). Un étalonnage de la sonde, dans une enceinte cylindrique indéformable, permet de mesurer le volume V_i de la sonde pour une pression donnée. Le volume corrigé V sera calculé comme suit :

$$V = V_m - V_i$$

- Enfin, on obtient une courbe nette appelée « **courbe pressimétrique $V = f(P)$** , V étant le volume de la cavité cylindrique après **une minute** d'application du palier de pression, et P est la pression radiale nette appliquée sur les parois. (voir **Figure II.12**)

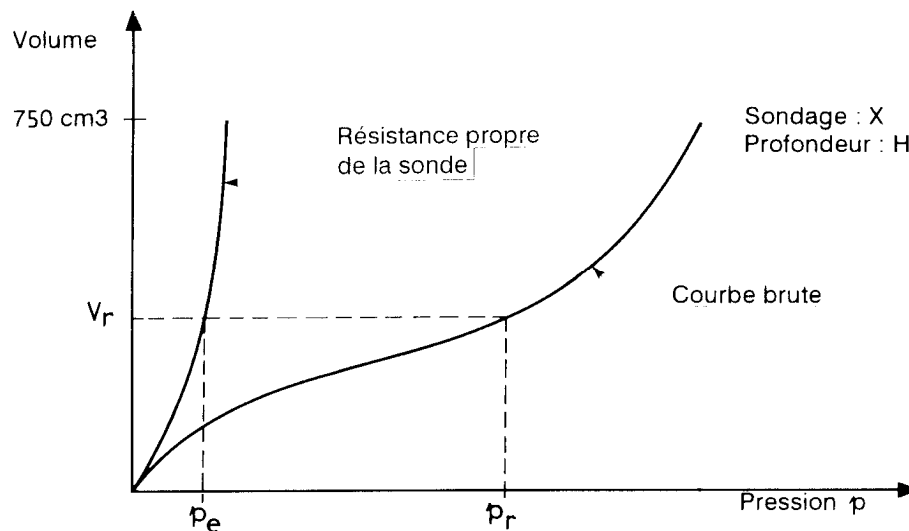


Figure II.2 : Résultats bruts (nettes) des mesures

Remarque :

- Il est souhaitable d'effectuer des mises en pression toutes les 1,0 ou 1,5 m.
- Cet essai est un essai rapide (10minute environ) qui donne des efforts à court terme.
- L'essai ne permet pas d'obtenir des pressions interstitielles. Ses résultats ne peuvent être interprétés qu'en contraintes totales.

II.6. Résultats de l'essai :

Les résultats se traduisent par une courbe pressiométrique qui présente l'allure des courbes de chargement. Elle se décompose en trois parties (voir **Figure II.13**) :

1- Phase de compactage : $P < P_0$

Elle correspond à la mise en contact de la sonde sur les parois du forage. La mise en pression de la sonde re-comprime le terrain, et la pression nulle au début de l'essai atteint P_0 pression latérale du sol au repos. Dans cette partie de la courbe, l'accroissement du volume de la sonde est plus grand que l'augmentation de la pression.

2- Phase pseudo-élastique $0 < P < P_f$:

Dans cette partie, la relation volume pression est linéaire (une partie quasi rectiligne). La pression continue d'augmenter pour atteindre une valeur P_f définie comme pression de fluage

Elle peut être représentée par le « **le module pressiométrique MENARD E_M** » défini par la formule :

$$E_M = K. \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

Avec : **K** est un coefficient qui dépend du type de la sonde utilisée et de la valeur du volume moyen, **V_m** de la plage pseudo élastique.

3- Phase plastique $P_f < P < P_l$:

pour une pression supérieure à **P_f**, la courbe devient de plus en plus redressée tendant vers une asymptote verticale d'abscisse **P_l** appelée « *pression limite* ». Elle correspond aux déformations plastiques du terrain. Et par convention elle est définie comme étant la pression nécessaire pour doubler le volume de la cavité.

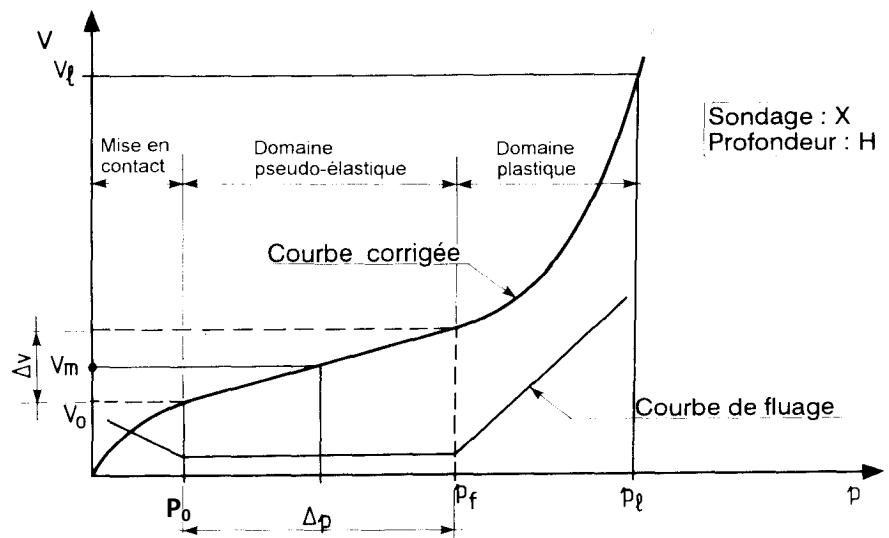


Figure II.3 : Résultats corrigés d'une courbe pressiométrique

Remarque :

La courbe de fluage traduit les variations de volume mesurées entre 30 et 60 secondes pour chaque palier de pression. Cette courbe a l'allure indiquée sur la **Figure II.13** et permet de définir la *pression de fluage*.

II.7. Présentation des résultats de l'essai :

La **Figure II.4** illustre la présentation des résultats d'un sondage pressiométrique. Chaque essai pressiométrique doit fournir les paramètres suivants :

- 1- module pressiométrique MENARD E_M
- 2- pression limite nette P_l .
- 3- pression de fluage nette P_f .
- 4- pression horizontale des terres au repos σ_{hs}

II.8. Exploitation des résultats de l'essai :

Les résultats de l'essai pressiométrique peuvent être exploités dans plusieurs calculs tels que :

- 1- La capacité portante des fondations superficielles.
- 2- La capacité portante des fondations profondes.
- 3- Le tassement des fondations superficielles.
- 4- Déformations des fondations profondes.

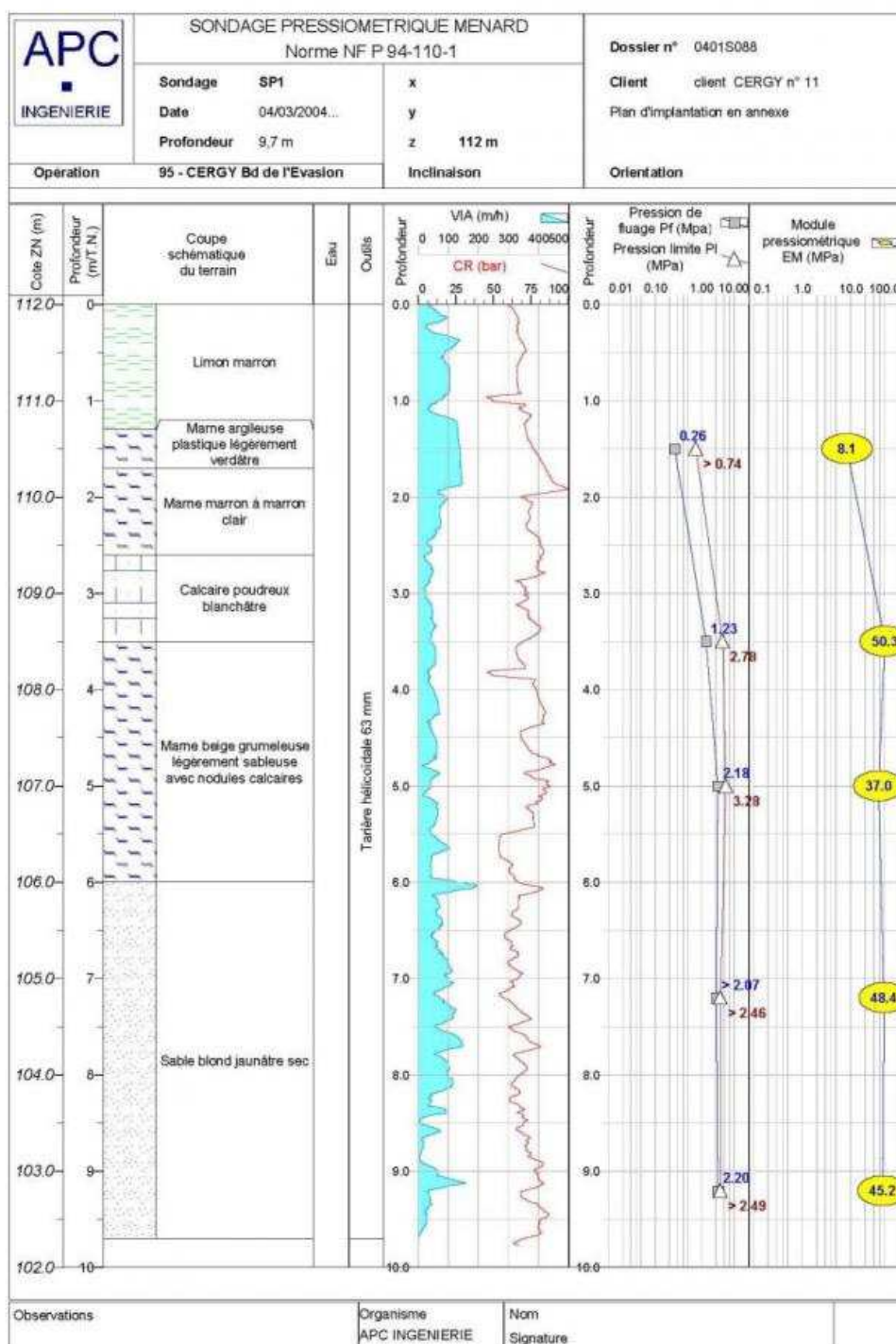


Figure II.4 : Forage pressiométrique