



Ressources Éducatives Libres

ESSAIS IN SITU

Université Nationale des Sciences,
Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey



Novembre 2023

L'importance et le choix des méthodes de reconnaissance des sols varient en fonction de l'importance de l'ouvrage (routes, barrages, ouvrages d'art, bâtiments, ...), sa destination et la nature du sol. Ce chapitre donne un aperçu des principaux procédés utilisés.

1- Reconnaissance ponctuelle

Par opposition à la reconnaissance globale qui donne une idée générale complète mais localement peu précise des profils de sols, la reconnaissance ponctuelle donne des renseignements précis en un nombre très restreint d'endroits.

1-1- Exécution de puits, galeries ou tranchées

Ce sont des ouvertures qui permettent une reconnaissance in situ du sol. Cette méthode présente des difficultés dans les sols sans cohésion et en présence d'une nappe d'eau. La pelle mécanique permet leur réalisation jusqu'à 6 m de profondeur et même plus si l'on travaille en escalier. Les avantages principaux sont :

- l'observation directe du terrain (examen de la structure des différentes couches en place),
- des prélèvements très représentatifs.

L'inconvénient majeur est de provoquer des dégâts. Il en résulte qu'elle n'est pas adaptée aux reconnaissances préliminaires.

1-2- Forage et sondage

Le forage consiste à perforer le sol à la plus grande vitesse possible sans chercher à connaître la nature des couches traversées.

Le sondage a pour but essentiel la détermination de la nature des couches traversées. Ainsi, il est réalisé avec beaucoup plus de soin que le forage et avec des outils spéciaux (carottiers) permettant de ramener à la surface du sol des échantillons prélevés à différentes profondeurs.

1-3- Prélèvements d'échantillons

L'exécution des essais mécaniques nécessite le prélèvement d'échantillons dits intacts, c'est-à-dire aussi peu remaniés que possible. Le type de carottier à utiliser varie en fonction de la nature du sol. On distingue entre autres :

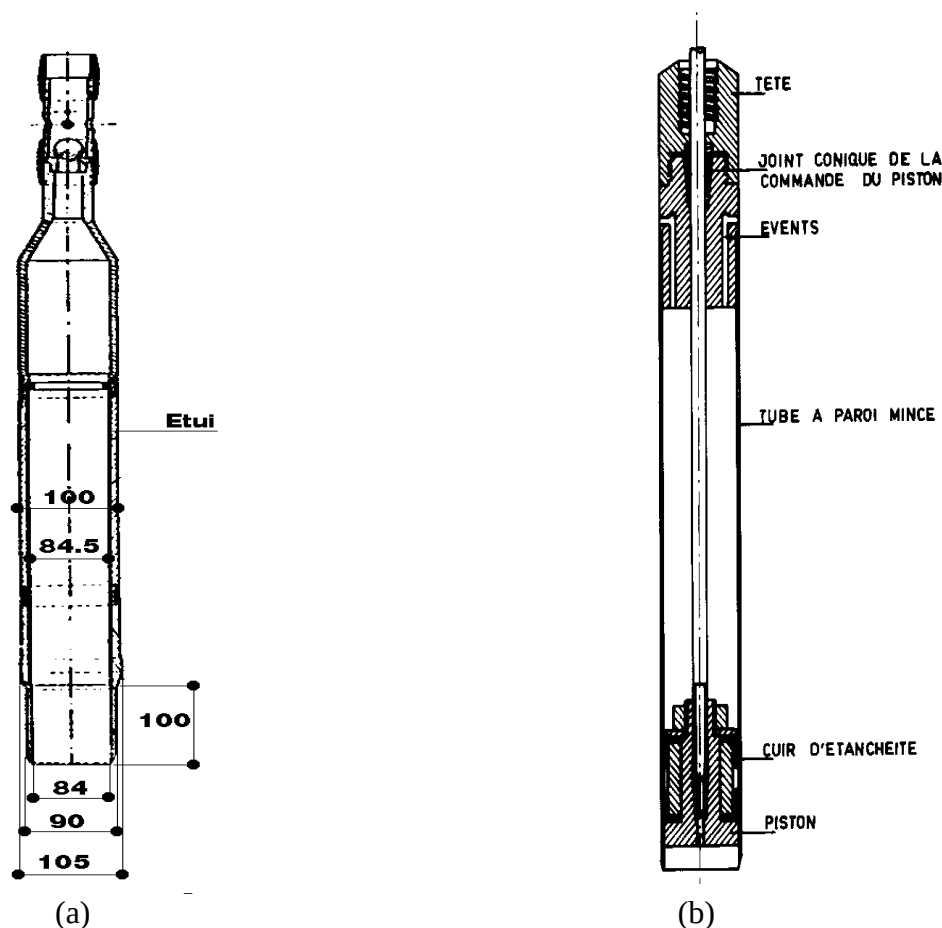


Figure 1: Exemples de carottiers

a. Le carottier ordinaire (Figure-1-a)

C'est un carottier robuste en acier doux qui possède des parois de 8mm. On peut l'équiper d'une trousse simple, ce qui lui confère un coefficient de paroi élevé.

b. Le carottier à paroi mince (Figure 1-b)

Cet appareil est conçu pour satisfaire aux exigences d'un prélèvement géotechnique. La tête de carottier doit présenter d'une part des événements d'évacuation d'eau présentant le minimum de pertes de charge, et d'autre part un siège de clapet ou de soupape assurant une étanchéité absolue en dépression.

1-4- Emballage d'échantillon

Quels que soient le mode de prélèvement et le carottier utilisé, il est indispensable que l'échantillon soit placé, en cours de perforation, dans un emballage rigide, pour éviter que les manipulations détériorent la carotte.

On place dans le tube de prélèvement un étui en laiton d'environ 5/10 de millimètre d'épaisseur ou un étui en plastique de 2 mm d'épaisseur que l'on extrait du carottier après prélèvement. S'il y a lieu, on comble les vides avec un piston de paraffine ou produit similaire), puis on ferme hermétiquement l'étui soit à l'aide de bouchons en néoprène ou en plastique collés au scotch

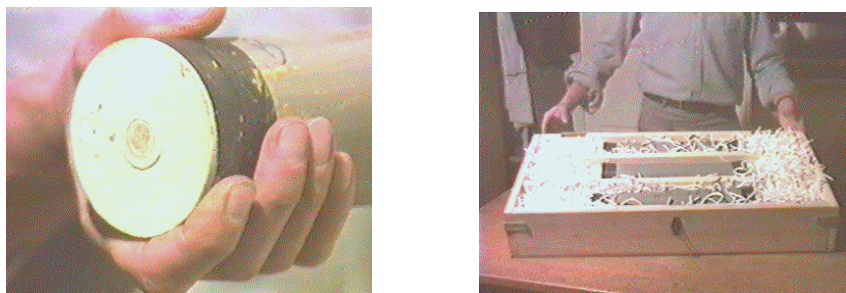


Figure 1 : Emballage d'échantillons

Les étuis ainsi fermés sont placés dans une caisse préalablement remplie de frise de papier ou copeaux de bois pour réaliser une protection anti-chocs, afin que le transport ne détruise pas le matériau par vibrations.

2- Les essais in-situ ou en place

Il existe plusieurs types d'essais en place dont quatre sont classiquement utilisés pour déterminer la résistance au cisaillement des sols et/ou estimer la capacité portante d'un sol vis-à-vis d'un système de fondation. Il s'agit des essais de pénétration dynamique ; des essais au pénétromètre statique ; des essais au pressiomètre et des essais au scissomètre.

2-1- Essai de pénétration dynamique

2-1-1- Définitions - Principe

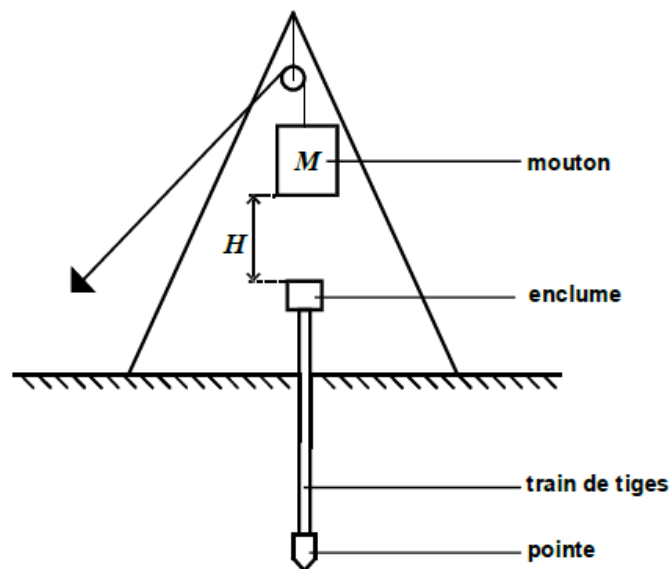
L'essai de pénétration dynamique est un essai qui teste le terrain en place et fournit une caractéristique du sol dénommée résistance dynamique. Il consiste à enfoncer dans le sol, par battage de manière continue, un train de tiges muni, en partie inférieure d'une pointe débordante puis à noter le nombre de coups nécessaires (N) pour faire pénétrer dans le sol la pointe d'une hauteur h cm donnée.

Limité à une profondeur de 30 m, l'essai peut être réalisé dans tous les sols fins et les sols grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 60 mm. Il permet d'apprécier entre autres :

- La succession de différentes couches de terrain,
- L'homogénéité d'une couche ou la présence d'anomalies,
- La position d'une couche résistante dont l'existence est déjà connue.

Cet essai peut servir à orienter le choix des fondations et à évaluer un ordre de grandeur des capacités portantes lorsque l'on dispose d'informations complémentaires. Il doit être complété par d'autres essais comme l'essai au pressiomètre notamment lorsque des risques de tassement sont à considérer.

2-1-2- Appareillage



Le pénétromètre dynamique se compose d'un dispositif de battage et de guidage, d'un train de tiges, d'une pointe, d'un matériel d'injection et d'un système de mesure.

On adapte la masse du mouton afin que l'enfoncement h soit compris entre 2 et 30 coups.

2-1-3- Résistance dynamique de pointe q_d

La résistance dynamique de pointe à la pénétration sous l'action du choc du mouton est donnée

conventionnellement par la relation suivante : $q_d = \frac{mgH}{Ae} \times \frac{m}{m + m'}$ où :

- q_d est exprimé en pascals,
- m est la masse du mouton en kilogrammes,
- g est l'accélération de la pesanteur en mètres par seconde carrée,
- H est la hauteur de chute libre du mouton en mètres,
- A est l'aire de la section droite de la pointe en mètres carrés,
- e est l'enfoncement par coup en mètres, $e = \frac{h}{N}$ avec N désignant le nombre de coups

de mouton nécessaire pour un enfoncement de h cm de la pointe.

• m' est la masse cumulée, exprimée en kilogrammes, de l'enclume et de la tige-guide, si celle-ci est solidaire de l'enclume, des tiges, du porte-pointe, de la pointe (masses frappées).

2-1-4- Contrainte admissible q_a

Elle est obtenue en appliquant à la résistance dynamique un coefficient de sécurité variant de 20 à 30 selon l'appareil utilisé.

2-2- Essai de pénétration statique

2-2-1- Définitions - Principe

L'essai de pénétration statique est un essai qui consiste à enfoncer verticalement dans le sol, sans choc, ni vibration, ni rotation, à vitesse constante imposée, une pointe munie d'un cône en partie inférieure par l'intermédiaire d'un train de tiges qui lui est solidaire et à mesurer la résistance à la pénétration de ce cône.

À partir des paramètres mesurés, l'essai de pénétration statique permet d'apprécier entre autres:

- La succession des différentes couches de terrain, et éventuellement leur nature ;
- L'homogénéité d'une couche ou la présence d'anomalies ;
- Certaines caractéristiques des sols traversés.

Cet essai donne de bons résultats pour le dimensionnement des fondations superficielles. Il est réalisé dans les sols fins et les sols grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 20 mm.

2-2-3- Appareillage

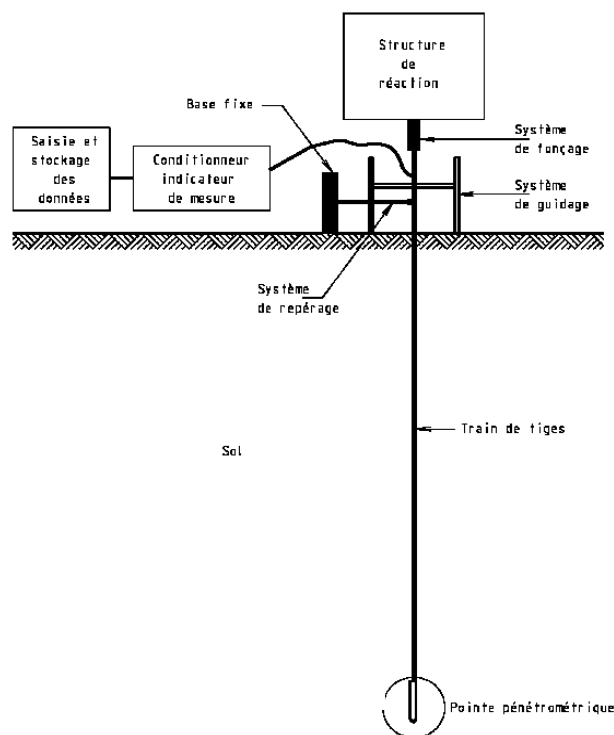


Figure 3 : Schéma du pénétromètre statique

Le pénétromètre statique se compose d'une structure de réaction, de tiges, d'un système de fonçage et de guidage des tiges, d'une pointe, d'un conditionneur-indicateur de mesure incluant un système de mesure de la longueur des tiges par rapport à un repère fixe et d'un dispositif de saisie et de stockage des données.

2-3- Essai pressiométrique

2-3-1- Définitions – Principe

L'essai pressiométrique Ménard est un essai de chargement du sol en place qui peut être réalisé dans tous les types de sols naturels saturés ou non, depuis les vases et argiles molles jusqu'au sol dense.

Les informations obtenues 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, d'orienter le choix des fondations d'ouvrages, de dimensionner les fondations, et d'évaluer les déplacements des structures en fonction des sollicitations auxquelles elles sont soumises.

L'essai pressiométrique consiste pour chaque palier c'est-à-dire à chaque profondeur de mesure (environ tous les mètres), de mesurer les variations de volume au bout de 15s, 30s et 1mn pour chaque pression appliquée sur le sol ; ensuite on passe au palier de chargement suivant (une autre pression). Le volume injecté en fin de palier est mesuré afin de tracer la courbe $V = f(P)$.

2-3-2- Appareillage

Le pressiomètre comprend une sonde, un contrôleur de pression et de volume appelé CPV et des tubulures.

2-3-3- La courbe d'étalonnage

Avant d'introduire la sonde dans le forage, on la fait monter en la disposant à l'air libre à côté du contrôleur de pression et de volume (CPV) et on prend les mesures comme précédemment décrit (Cf. § 3-3-1). Ces mesures intègrent tous les frottements et la rigidité propre de la sonde et des dilatations parasites des tubulures et du système de mesure.

2-3-4- La courbe pressiométrique

La courbe pressiométrique est la représentation graphique du volume de liquide injecté dans la sonde (à la fin du palier de pression P) en fonction de la pression réellement appliquée.

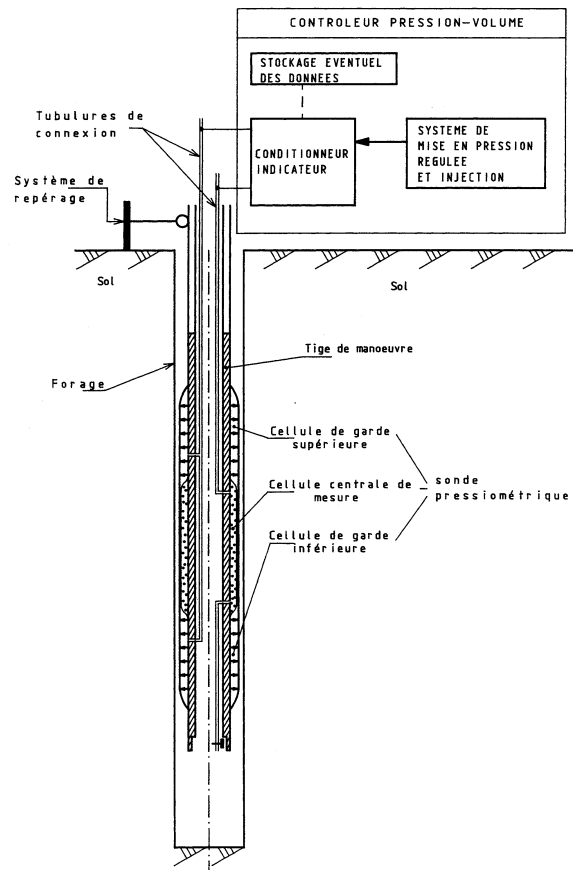
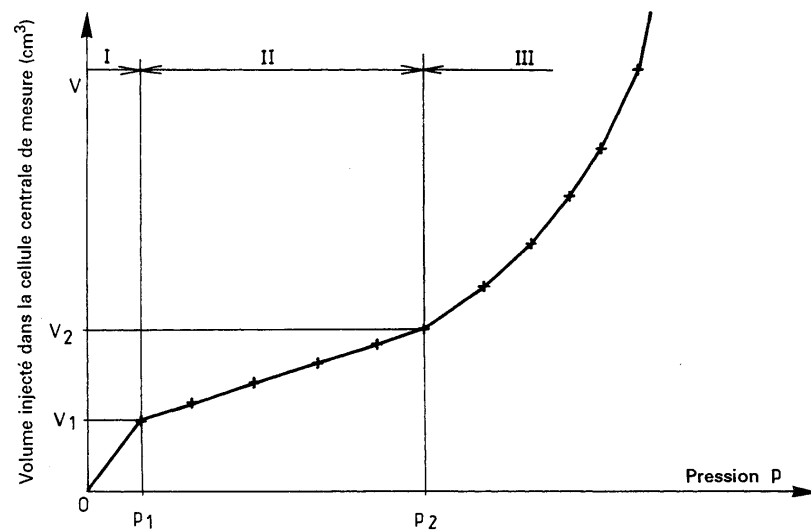


Figure 4 : Schéma du pressiomètre



- I phase de mise en contact de la paroi de la sonde avec le sol
- II phase pseudo-élastique
- III phase des grands déplacements

Figure 5 : Courbe pressiométrique corrigée en fin de palier

2-3-5- Caractéristiques

Les essais pressiométriques sont fréquemment utilisés pour les calculs de fondations, tant pour la vérification de la stabilité que pour le calcul des tassements.

Trois caractéristiques du sol sont déduites :

- Le **module pressiométrique** E_p est déduit de la pente de la partie de la courbe de déformation qui précède la rupture du sol ($E_p = \frac{\Delta P}{\Delta V}$ en MPa). Il définit le comportement pseudo-élastique du sol ; Il est utilisé directement dans la formule de calcul du tassement associée à la méthode pressiométrique.
- La **pression limite** p_l qui caractérise la résistance de rupture du sol ; C'est la pression corrigée (pression appliquée par la sonde sur le sol) qui correspond à un volume injecté V égal au volume initial V_s de la sonde plus deux fois la variation de volume correspondant au début de la plage linéaire (pseudo-élastique) de la courbe d'expansion $V = V_s + 2V_1$. On a souvent $V_s = 530 \text{ cm}^3$.
- La **pression de fluage** p_f qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et l'état plastique. La pression de fluage p_f correspond au début de l'augmentation des déformations différées (entre 30 s et 60 s) sous chaque palier de chargement.

2-4- Essai scissométrique

2-4-1- Définitions – Principe

L'essai scissométrique consiste à introduire dans le sol un moulinet et à lui transmettre un mouvement de rotation selon un programme imposé. Ceci permet d'établir la relation entre la rotation du moulinet et la résistance au cisaillement opposée par le sol. Il peut être réalisé dans tous les types de sols fins cohérents de résistance faible à moyenne.

2-4-2- Appareillage

Le «scissomètre de chantier» comprend un moulinet, un système d'entraînement du moulinet et un dispositif de mesure.

L'ensemble des essais scissométriques réalisés à différentes profondeurs, sur une même verticale, à un même emplacement de fonçage, constitue un sondage scissométrique.

La nature du sol, l'épaisseur des couches et les caractéristiques mécaniques déterminées au scissomètre permettent :

- de définir l'aptitude des terrains à recevoir certains types de construction et à orienter le choix des fondations d'ouvrages,
- d'étudier la stabilité des pentes et des remblais.

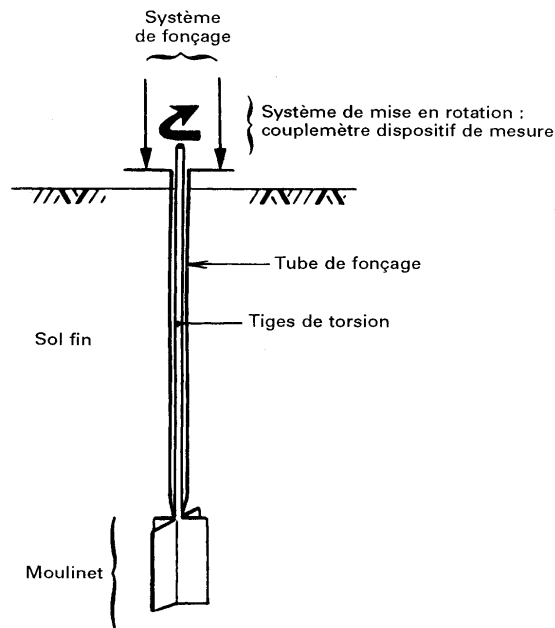


Figure 5 : Schéma du scissomètre de chantier

2-4-3- Terminologie - Symboles

L'essai fournit deux caractéristiques du sol :

- une résistance au cisaillement maximale,
- une résistance au cisaillement après grande déformation.

La première étape consiste enfoncer le moulinet jusqu'au niveau prévu. La mise en place s'effectue par fonçage, sans choc, ni vibration, ni rotation.

La seconde à :

- entraîner la rotation, par rapport à un axe vertical, les pales du moulinet ;
- mesurer le moment de torsion en fonction de l'angle de rotation imposé.

La barre de torsion du couplemètre qui transmet le mouvement au moulinet est entraînée en rotation avec une vitesse angulaire d'environ 18° par minute.

Les lectures de rotation ont eu lieu toutes les 10 secondes. Une fois la rotation maximale atteinte ou dépassée, six lectures espacées de 10 s sont à nouveau effectuées. Puis il est procédé à une rotation rapide des tiges de transmission afin que le moulinet fasse 10 tours dans le sol.

L'essai est poursuivi et six lectures espacées de 10s sont à nouveau réalisées après avoir repris la vitesse de rotation utilisée pendant l'essai.

L'essai est arrêté si le moment atteint la valeur maximale admissible pour la barre de torsion.

La courbe des valeurs de T en fonction de la rotation θ permet de déterminer :

- La résistance maximale au cisaillement, la cohésion scissométrique S_U

- La résistance résiduelle : cohésion rémanée S_r . Celle-ci est mesurée après que le moulinet ait effectué plusieurs tours dans le sol.

La sensibilité du sol S_t est le rapport entre la cohésion et la cohésion remaniée : $S_t = \frac{S_u}{S_r} S_u$

Le premier essai doit être fait à une profondeur minimale de 0.5 m par rapport au terrain naturel. Dans un même sondage, deux essais consécutifs ne doivent pas être réalisés à une distance inférieure à 0,5 m entre eux.

Il est recommandé d'appliquer un coefficient correcteur, fonction de l'indice de plasticité I_p du sol afin de déduire la cohésion non drainée C_u de S_u , avec $C_u = k \cdot S_u$