



HAL
open science

Module MXG4 T.P. Terrain: Reconnaissance de sol in situ Génie Civil et Construction Durable

Luc Sibille

► **To cite this version:**

Luc Sibille. Module MXG4 T.P. Terrain: Reconnaissance de sol in situ Génie Civil et Construction Durable. Licence. France. 2016. cel-01795511

HAL Id: cel-01795511

<https://hal.science/cel-01795511>

Submitted on 18 May 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

I. Introduction

Les caractéristiques d'un sol sont définies à partir d'essais *in situ* ou d'essais au laboratoire. Ces derniers devant être réalisés, si possible, à partir d'échantillons de sol non remaniés.

Ce TP Terrain, introductif aux modules de géotechnique MXG4 et MXG5, a pour but d'établir une reconnaissance du sol à partir d'essais au pénétromètre dynamique, au pressiomètre, et d'un profil établi à la tarière à main.

Une synthèse de l'ensemble des résultats recueillis sur le terrain vous permettra de préciser la nature du sous sol ainsi que ces caractéristiques pour son utilisation en génie civil, comme sol de fondation par exemple.

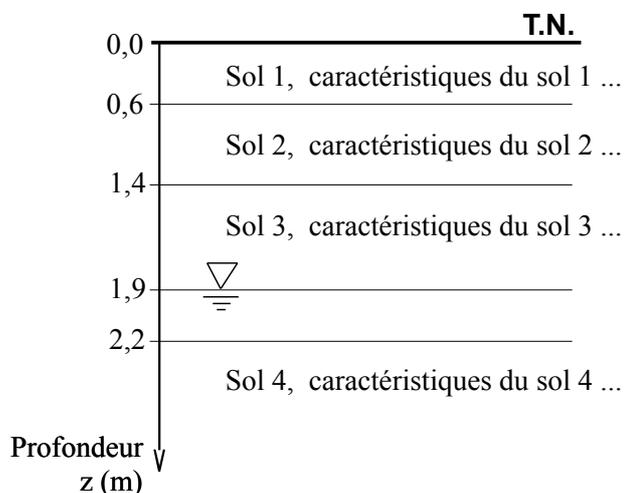
II. Obtention d'un profil à la tarière à main

La réalisation d'une coupe terrain à l'aide de la tarière à main est possible dans le cas des sols meubles: pour un faible coût, elle permet d'avoir très rapidement une connaissance de la nature des différentes couches de sol traversées. Un prélèvement d'échantillons, même remaniés, pourrait permettre de connaître la teneur en eau du sol.

Cette identification du sol se fera sur une profondeur de 2,00 m environ.

II.A) Questions

1. Tracer schématiquement une coupe du sol rencontré en indiquant, pour chaque couche, la nature du sol et ses propriétés physiques dont vous avez connaissance. N'oubliez pas de mentionner la position de la nappe phréatique. Par exemple:



III. Essai pressiométrique

L'appareil pressiométrique fut mis au point en 1930 par Kogler et Scheidig mais son développement est dû à un ingénieur français, Ménard, à partir de 1957. **C'est un des essais *in situ* les plus couramment utilisés en France pour les dimensionnement des fondations** (il est reconnu par l'Eurocode 7 Géotechnique). Le pressiomètre est assez polyvalent, il permet d'estimer la résistance de sols argileux jusqu'aux sols graveleux. C'est un essai *in situ* avec ses qualités (sol non prélevé, conditions de nappe naturelle...) et ses défauts (précision moyenne, champ de contraintes imparfaitement défini ...).

III.A) PRINCIPE ET OBJECTIFS DE L'ESSAI

Le procédé consiste à introduire dans le sol, une sonde cylindrique dilatable. 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 mesurées. 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.

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 de Ménard** (caractéristique de déformabilité du sol)

III.B) PRESENTATION DU MATERIEL

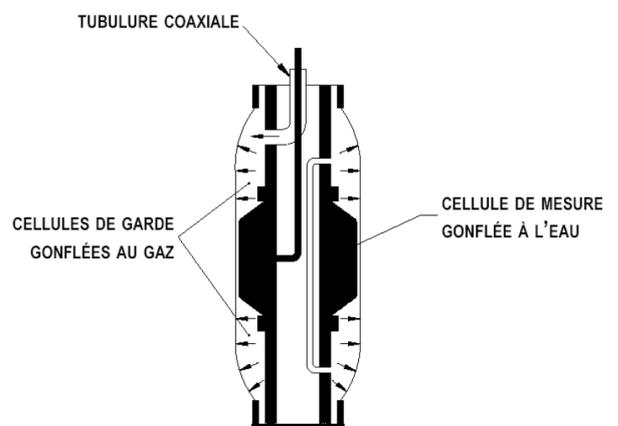
L'ensemble du matériel comprend (identifier les parties avec le matériel disponible):

- **une sonde à membrane souple**

Elle se présente sous la forme de trois cellules cylindriques agissant en même temps sur les parois du forage au cours de l'essai. Elle comprend (voir figure page suivante):

- une **cellule centrale de mesure**, gonflé avec de l'eau et capable de se déformer radialement dans le forage sous l'action de l'eau (incompressible) et d'appliquer une pression uniforme sur le sol.

- deux **cellules de garde**, au-dessus et au-dessous de la cellule centrale, gonflées à l'azote. Leur rôle est d'assurer une déformation cylindrique (et non en tonneau) de la cellule centrale de mesure, condition nécessaire à l'application d'un champs de contrainte homogène au sol.

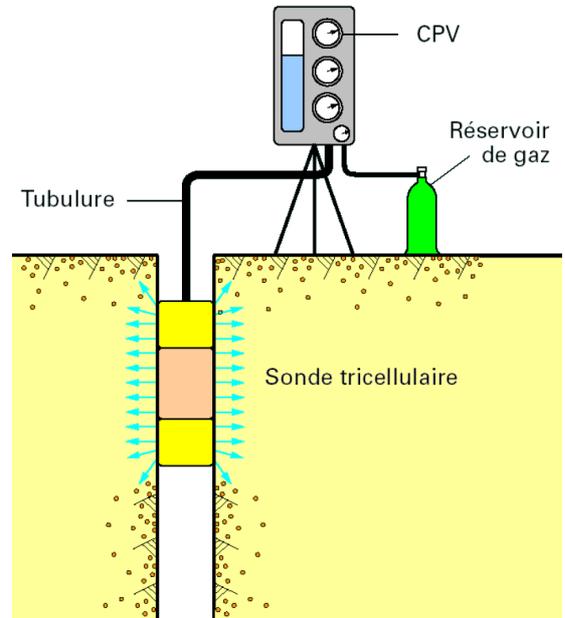


- **Ensemble Contrôleur Pression-Volume (CPV)**

Placé à la surface du sol, le CPV commande la dilatation des sondes.

- **Pour la cellule de mesure:** la pression de gaz agit sur un réservoir d'eau alimentant la cellule centrale. On peut imposer une pression (par le détendeur principal) et mesurer le volume injecté (baisse de niveau dans le réservoir).

- **Pour les cellules de garde:** la pression de gaz est imposée par le clapet différentiel (permettant de régler une différence par rapport à la cellule de mesure).



- **Tubulures**

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

III.C) MODE OPERATOIRE

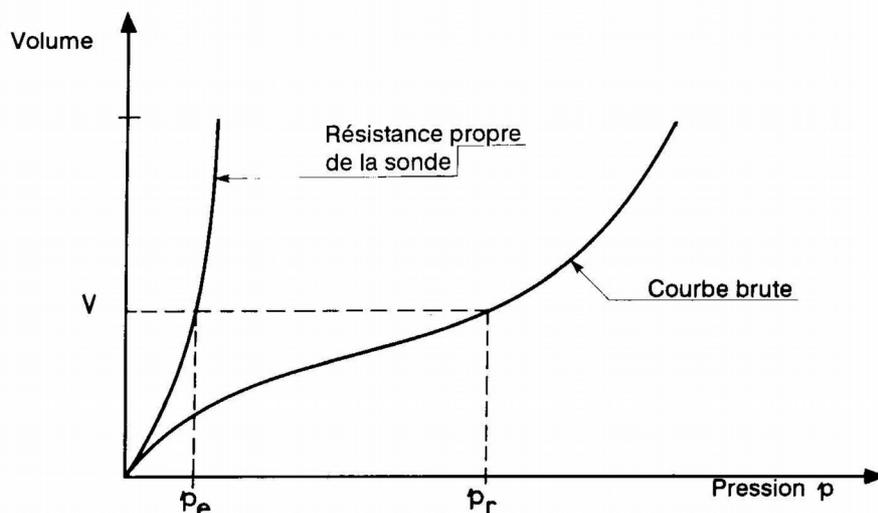
Voir si besoin le détail du mode opératoire en annexe.

III.D) EXPLOITATION DES RESULTATS

Courbe pressiométrique brute

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.



- **Résistance propre de la sonde:** la sonde est constituée d'une membrane élastique reprenant une certaine part de la pression d'eau qui n'est pas transmise au sol. La perte de pression due à la membrane dépend du volume d'eau V injecté. Elle est déterminée lors d'un essai d'étalonnage à vide qui permet de tracer la courbe $V = f(p_e)$ représentant la résistance propre de la sonde.
- **Pression hydrostatique:** la sonde se situe en générale à une altitude plus basse que le manomètre indiquant la pression d'eau p_r . Entre les deux il y a dans les tubulures une colonne d'eau créant une pression hydrostatique p_h à prendre en compte pour connaître la pression réelle régnant dans la cellule.

Ainsi, la pression p réellement appliquée au sol est donnée par la relation:

$$p = p_r + p_h - p_e$$

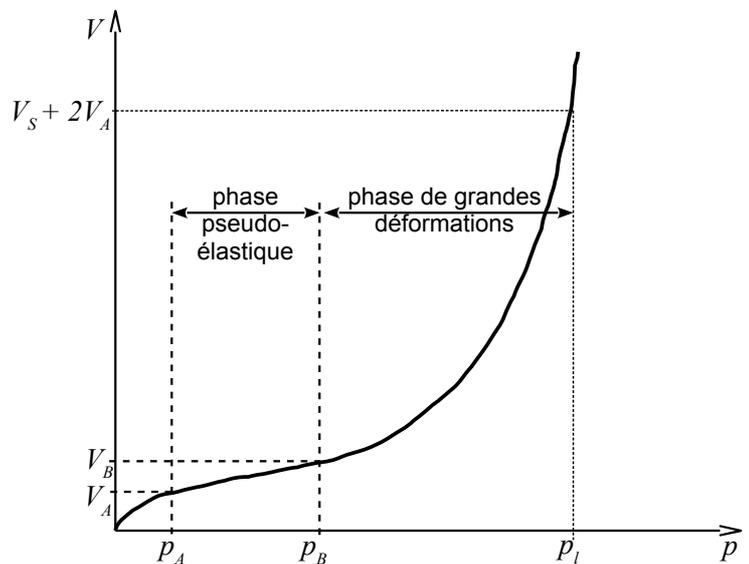
Courbe pressiométrique corrigée

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

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**.



Calcul du module pressiométrique E_M (à partir de la phase pseudo-élastique)

$$E_M = 2(1+\nu) \cdot V_M \cdot \frac{p_B - p_A}{V_B - V_A}$$

avec :

p_A, V_A : pression et volume correspondant au début de la phase pseudo-élastique

p_B, V_B : pression et volume correspondant à la fin de la plage pseudo-élastique

V_M : volume de référence de Ménard, $V_M = V_s + \frac{V_A + V_B}{2}$ où V_s est volume de la cellule centrale (550 cm^3)

ν : coefficient de Poisson du sol (par défaut = 0,33)

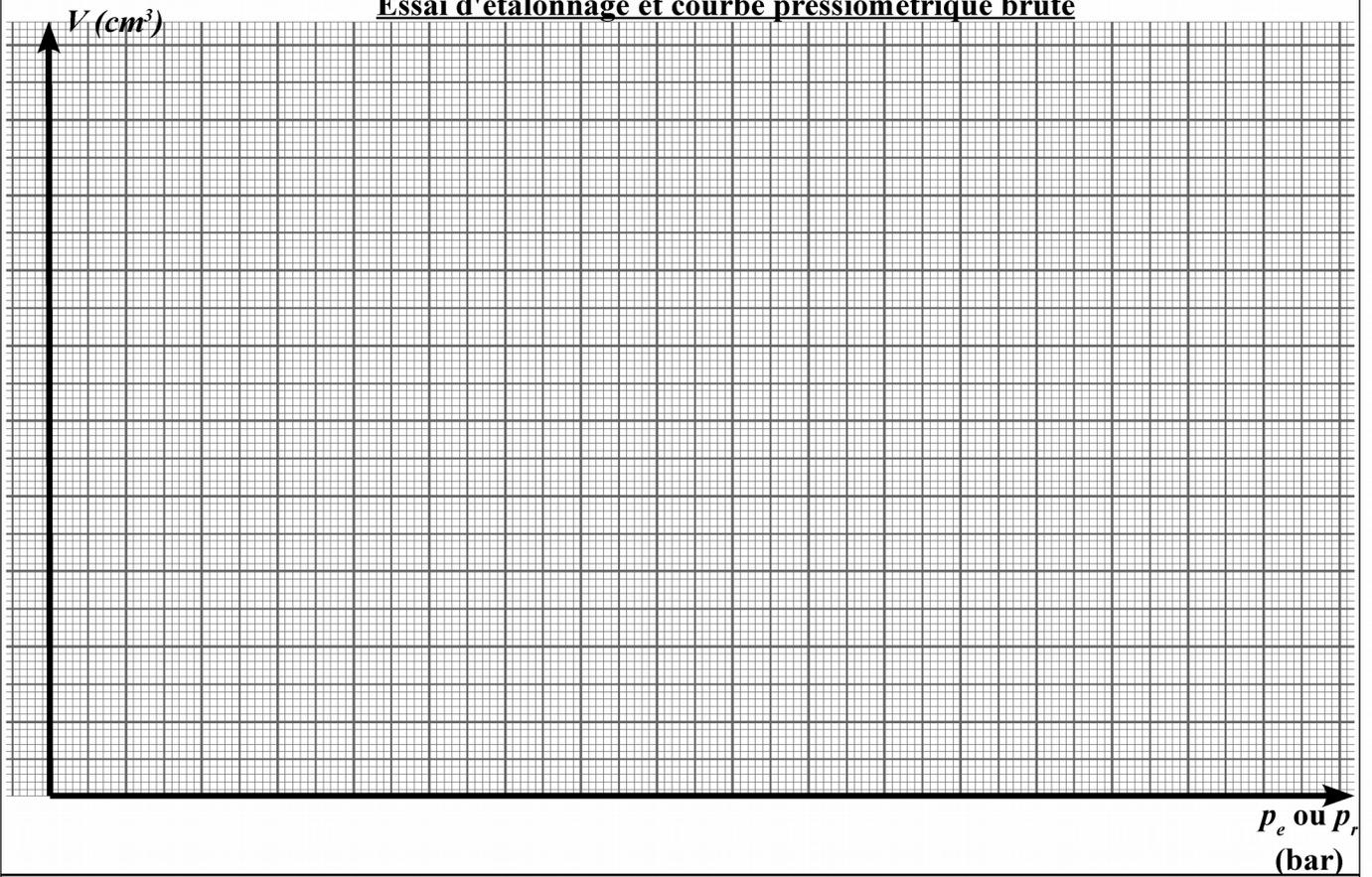
ESSAI PRESSIOMETRIQUE

Groupe : _____

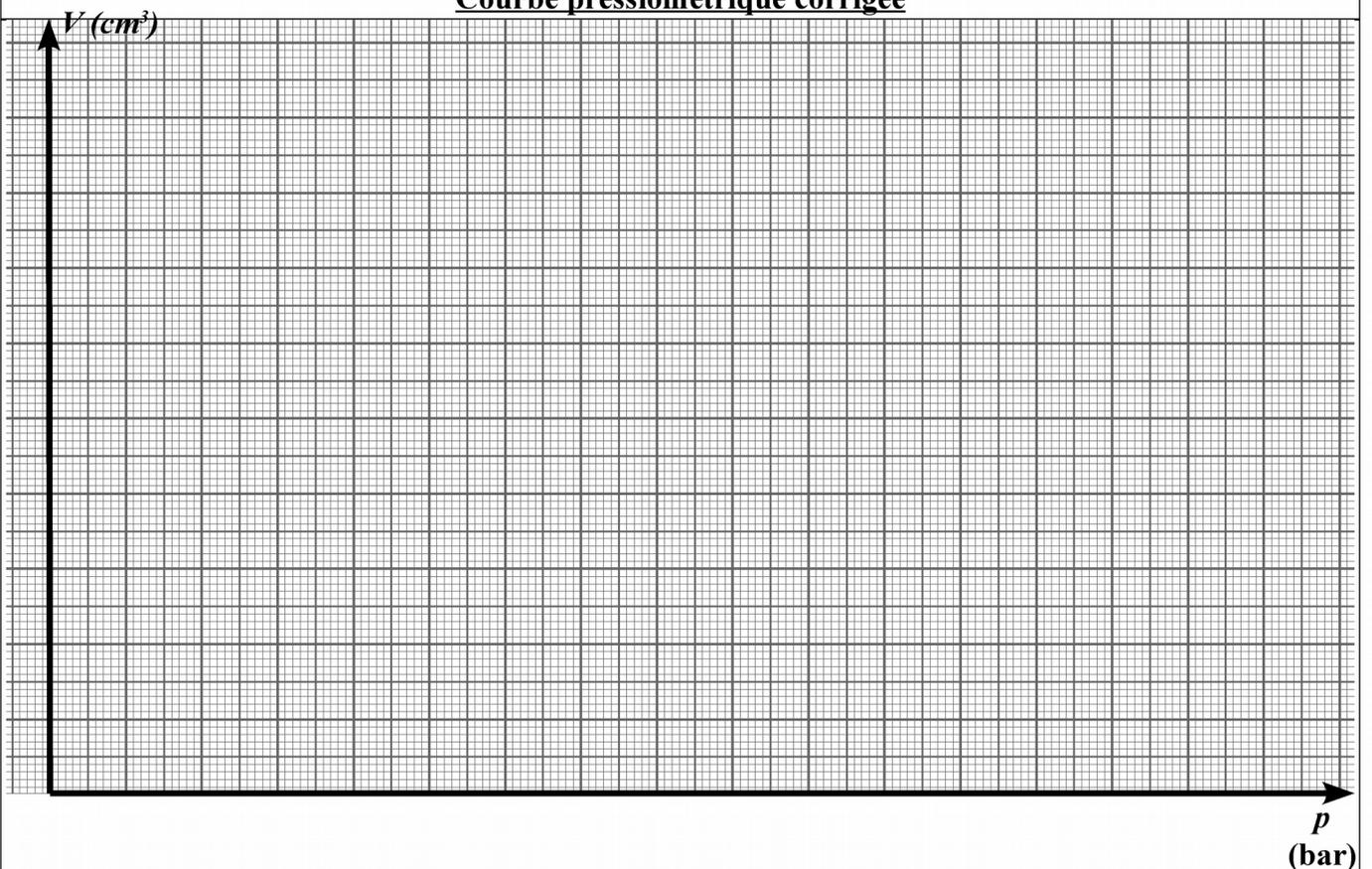
Date : _____

Noms: _____

Essai d'étalonnage et courbe pressiométrique brute



Courbe pressiométrique corrigée



Calcul de la pression limite p_l (à partir de la phase de grande déformation)

- La **pression limite p_l** est par convention la pression qui entraîne le doublement du volume de la cavité initiale :
 - le volume de la sonde est initialement $V_S = 550 \text{ cm}^3$ (sans que l'on ait injecté d'eau),
 - le volume de la cavité est localement estimé à $V_S + V_A$ (plaquage de la membrane sur les parois du forage)
 - le volume limite de la cavité est donc $2.(V_S + V_A)$ (doublement de son volume)
 - donc la pression limite p_l est la pression correspondant à un volume d'eau injecté:

$$V_l = 2.(V_S + V_A) - V_S = V_S + 2.V_A$$

On trouve la pression limite p_l en cherchant le point de la courbe pressiométrique corrigée pour lequel $V = V_l$, pour ce point on alors $p = p_l$.

- **Pression limite nette p_l^*** : Pour le dimensionnement des fondations on utilise la pression limite nette p_l^* qui correspond à p_l corrigée de la contrainte horizontale dans les sols (qui augmente avec la profondeur):

$$p_l^* = p_l - \sigma_{h0}$$

où σ_{h0} est la contrainte horizontale totale à la profondeur de l'essai, donnée par la relation:

$$\sigma_{h0} = K_0 . (\sigma_{v0} - u) + u$$

avec:

K_0 : coefficient de pression des terres au repos (il permet d'estimer la contrainte horizontale à partir de la contrainte verticale; par défaut $K_0 = 0,5$),

σ_{v0} : contrainte totale verticale à la profondeur de l'essai (par défaut on peut prendre $\sigma_{v0} = \gamma z$ avec $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ une approximation du poids volumique du sol en place, et z la profondeur à laquelle se trouve le centre de la sonde),

u : pression interstitielle (due à la nappe) à la profondeur de l'essai (si absence de nappe $u = 0$).

Observation fréquente: E_M est de l'ordre de 10 fois p_l^* .

III.E) TRAVAIL DEMANDE

1. Faire une représentation schématique de la sonde en place dans le sol et du CPV, faire figurer les pressions:
 - p_r la pression d'eau lue au CPV
 - p_h la pression hydrostatique due à l'eau dans la tubulure
 - p_g la pression de gaz appliquée par le CPV
 - p_s la pression dans la cellule de mesure
 - p_e la perte de pression due à la membrane de mesure
 - p la pression appliquée au sol au niveau de la cellule de mesure

Donner les relations existantes entre p_r , p_h , p_s , p_e et p .

2. Tracer sur le même graphique:
 - la courbe pression-volume $V = f(p_e)$ de l'essai d'étalonnage à vide,
 - la courbe pressiométrique brute $V = f(p_r)$ correspondant à l'essai dans le sol.
3. Estimer la hauteur de colonne d'eau dans les tubulures et en déduire p_h .
4. Déduire de ces deux premières courbes et de p_h la courbe pressiométrique corrigée $V = f(p)$.
5. A partir de cette courbe pressiométrique corrigée calculer:
 - la pression limite p_l puis la pression limite nette p_l^*
 - le module pressiométrique de Ménard E_M
6. Discuter des valeurs de p_l^* et E_M et de leur rapport (en comparant avec la nature du sol identifiée lors du forage à la tarière à main)

ECHELLE DES VALEURS DE E_M ET $p_l - p_0$
APTITUDES A LA CONSTRUCTIBILITE

Sol	E_M (MPa)	$p_l - p_0$ (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	Soils 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	Soils 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. Soils 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

IV. Essai au pénétromètre dynamique léger

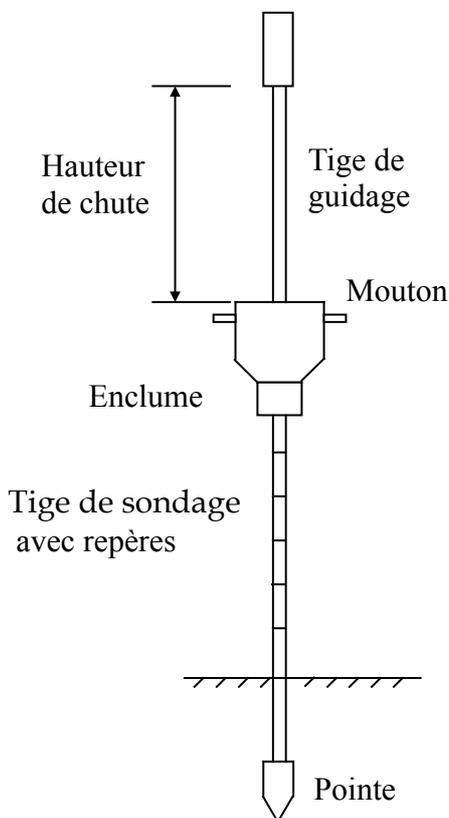
IV.A) BUT DE L'ESSAI

L'essai au pénétromètre dynamique a pour but de déterminer la résistance dynamique R_d (contrainte de rupture) du sol d'une manière simple et rapide à partir de l'enfoncement d'une pointe de forme conique. La pointe est enfoncée à l'aide d'un mouton en chute libre frappant sur une enclume avec une énergie de battage constante (car la hauteur de chute est constante). On compte alors le nombre de coups de mouton nécessaire à l'obtention d'un enfoncement constant (10 cm).

Le pénétromètre dynamique est surtout pratiqué dans des sols pulvérulents.

On relie ensuite R_d à la contrainte admissible dans un sol donné (calcul de fondations) à l'aide de formules empiriques. Ces formules ne donnent qu'un ordre de grandeur dans le cas d'un pénétromètre rudimentaire comme celui utilisé dans ce T.P.

IV.B) MANIPULATION



- **Le matériel** (Voir schéma)

Le pénétromètre utilisé (APAGÉO 10 kg) pendant cet essai est un modèle léger, manuel, destiné aux essais à faibles profondeurs dans des sols de rigidité modeste.

Il est constitué des éléments suivants :

- une pointe solidaire de la tige de sonde mais de diamètre supérieur
- des tiges qui se vissent l'une dans l'autre
- un mouton de battage transmettant son énergie au train de sonde par simple chute libre sur l'enclume d'une hauteur h
- une enclume emboîtée sur la tige de sondage.

- **Réalisation de la manipulation**

Effectuer un essai sur la pelouse, et noter le nombre de coups nécessaires à l'enfoncement de 10 cm du pénétromètre, on ajoutera une tige pour tout enfoncement total supérieur à 90 cm.

Arrêter la manipulation quand un grand nombre de coup donné n'entraîne plus qu'un enfoncement négligeable de l'ensemble (refus absolu). En pratique, N devra rester inférieur à 30 coups dans notre cas.

IV.C) EXPLOITATION DES RESULTATS

La pointe, de forme conique et de section S , vissée à l'extrémité d'un train de tiges est enfoncée dans le sol par battage. Un mouton de poids M tombant en chute libre d'une hauteur h agit sur une enclume solidaire du train tiges.

On mesure le nombre de coups N nécessaires à l'enfoncement de la pointe sur une longueur $e = 10$ cm.

Il est alors possible d'en déduire la résistance au poinçonnement dynamique R_d à partir de la formule de battage dite des Hollandais:

$$R_d = \frac{M^2 \cdot h \cdot N}{S \cdot e \cdot (P+M)} \quad (\text{kPa})$$

avec :

- M = poids du mouton (kN)
- P = poids mort battu (kN)
- h = hauteur de chute du mouton (m)
- S = section de la pointe (m²)
- e = enfoncement de la pointe (soit $e = 0,10$ m, N variant pour chacune des valeurs).

Pour le pénétromètre APAGEO utilisé :

- $M = 10$ kg soit 0,1 kN ;
- $P = P_{\text{fixe}} + P_{\text{tiges}}$,
où $P_{\text{fixe}} = 4,8$ kg (soit 0,048 kN) est le poids de l'enclume, de la pointe, des rondelles de butées, etc...,
et P_{tiges} le poids de l'ensemble des tiges assemblées à un instant donné soit $P_{\text{tiges}} = 2,9$ (kg) \times Nbtiges, (avec 2,9 kg, la masse d'une tige), soit $P_{\text{tiges}} = 0,029$ (kN) \times Nbtiges ;
- $h = 0,525$ m (avec rondelle de butée en position basse) ;
- S est déduit du diamètre de la pointe égal à 35 mm.

IV.D) QUESTIONS

1. Tracer sur un diagramme l'évolution du nombre de coups N en fonction de la profondeur.
2. Calculer la résistance dynamique R_d à l'aide du tableau sur la page suivante et tracer sur un diagramme l'évolution de R_d en fonction de la profondeur.
3. Comparer le diagramme obtenu avec la coupe de terrain identifiée avec la tarière à main, et les résultats obtenus à l'essai pressiométrique.
4. Conclure sur l'homogénéité du sous-sol et sur son utilisation comme sol de fondation.

Valeurs types de résistance dynamique R_d en fonction de la nature du sol.

Nature de sol	Vase	Limon	Argile molle	Argile raide	Sable lâche	Sable dense	Sable et graviers lâches	Sable et graviers denses
R_d (MPa)	0,1 à 1	0,6 à 1,5	0,1 à 1,5	3 à 5	0,2 à 4	5 à 30	0,5 à 4	7 à 35

ESSAI DE PENETRATION DYNAMIQUE
Pénétromètre APAGEO

Relevé du nombre de coups N et calcul de la résistance dynamique Rd

Groupe :

Date :

Noms :

Présence d'eau (oui/non, profondeur) :

Autre remarques :

Nb tiges	Profondeur (m)	Nombre coups N	P _{tiges} (kN)	Rd (kPa)	Nb tiges	Profondeur (m)	Nombre coups N	P _{tiges} (kN)	Rd (kPa)
1	0,00	0	0,029	0	4	3,00	0		0
	0,10					3,10			
	0,20					3,20			
	0,30					3,30			
	0,40					3,40			
	0,50					3,50			
	0,60					3,60			
	0,70					3,70			
	0,80					3,80			
	0,90					3,90			
2	1,00		0,058		5	4,00			
	1,10					4,10			
	1,20					4,20			
	1,30					4,30			
	1,40					4,40			
	1,50					4,50			
	1,60					4,60			
	1,70					4,70			
	1,80					4,80			
	1,90					4,90			
3	2,00				6	5,00			
	2,10					5,10			
	2,20					5,20			
	2,30					5,30			
	2,40					5,40			
	2,50					5,50			
	2,60					5,60			
	2,70					5,70			
	2,80					5,80			
	2,90					5,90			

V. Essai de perméabilité au perméamètre de Guelph

V.A) BUT DE L'ESSAI

L'essai de perméabilité a pour but de déterminer le coefficient de perméabilité k (en m/s) du sol. Ce coefficient de perméabilité représente l'aptitude du sol à laisser circuler l'eau à travers ses pores. Plus un sol sera dense ou constitué d'éléments fins, plus l'eau circulera difficilement, et plus la valeur de k sera petite. Une valeur de k élevée (et donc une perméabilité élevée) est intéressante par exemple pour la réalisation d'un épandage dans le cas d'un dispositif d'assainissement individuel. Au contraire on préférera une valeur de k petite (faible perméabilité) pour un sol constituant le noyau d'un barrage en terre.

Connaissant k il est ensuite possible de déterminer des débits d'eau circulant dans le sol (voir les futurs cours de MXG4 et MXG6).

V.B) MANIPULATIONS

- **Matériel (voir le schéma)**

Le perméamètre de Guelph est constitué d'un réservoir d'eau permettant d'alimenter en eau le forage. Ce réservoir est traversé par un tube par lequel circule l'air qui remplacera petit-petit le volume occupé par l'eau dans le réservoir lorsque cette dernière s'écoule à travers les parois du forage.

Le tube « d'air » est réglable en hauteur, sa hauteur détermine le niveau d'eau h dans le forage.

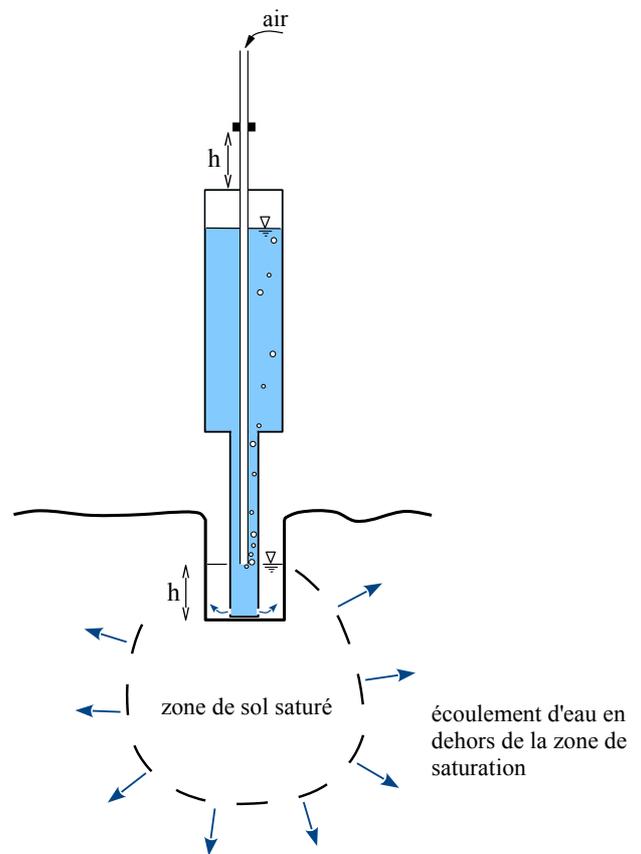
- **Mode opératoire**

1/ Réaliser un forage d'environ 30 cm de profondeur. Idéalement les 15 premiers centimètres seront réalisés avec la tarière « grossière » et les 15 derniers centimètres avec la tarière fine.

2/ Introduire la brosse dans le forage et la remonter à la verticale sans la faire tourner. **Renouveler l'opération au maximum 1 fois** (la brosse permet de rouvrir la porosité du sol par le passage de la tarière).

3/ Monter le perméamètre de Guelph, l'installer sur son trépied au dessus du forage, et le remplir d'eau.

4/ Mesurer la hauteur d'eau dans le réservoir du perméamètre en fonction du temps, ceci pour deux hauteurs d'eau h ($h_1 = 5$ cm et $h_2 = 10$ cm) maintenues constantes dans le fond du forage (utiliser les tableaux suivants).



Mesures à $h_1 = 5$ cm (avec un pas de temps $\Delta t = 5$ min, à adapter)

t (min)									
Hauteur d'eau dans le réservoir h_R (cm)									
Incrément Δh_R (cm) entre 2 mesures									
Taux de chute $RI = \Delta h_R / \Delta t$ (cm/min)									

Mesures à $h_2 = 10 \text{ cm}$ (avec un pas de temps $\Delta t = 3 \text{ min}$, à adapter)

t (min)									
Hauteur d'eau dans le réservoir h_R (cm)									
Incrément Δh_R (cm) entre 2 mesures									
Taux de chute $R2 = \Delta h_R / \Delta t$ (cm/min)									

V.C) EXPLOITATION DES RESULTATS

Au début de l'essai se crée autour et en-dessous du forage une zone de saturation. Au bout d'un certain temps cette zone de saturation se stabilise. A partir de ce moment là le débit d'eau s'évacuant à travers les parois du forage est constant, ce qui se traduit par un taux de chute du niveau d'eau dans le réservoir qui lui aussi est constant d'une mesure à l'autre.

Il vous faut donc repérer parmi les mesures réalisées celles pour lesquelles les taux de chute $R1$ et $R2$ sont à peu près stable et faire une moyennes de celles-ci pour déterminer respectivement $R1_{moy}$ et $R2_{moy}$.

Le perméabilité k est alors donnée par :

- si utilisation des **2 réservoirs** (le gros, plus le petit inclus à l'intérieur) :

$$k \text{ (cm/min)} = 0,0041 \times X \times R2_{moy} - 0,0054 \times X \times R1_{moy}$$

- si utilisation d'**un seul réservoir** (uniquement le petit situé à l'intérieur du gros) :

$$k \text{ (cm/min)} = 0,0041 \times Y \times R2_{moy} - 0,0054 \times Y \times R1_{moy}$$

où $X = 35,22 \text{ cm}^2$ est la section cumulée des gros et petit réservoirs, et $Y = 2,16 \text{ cm}^2$ la section du petit réservoir (ainsi $X \times R2$; $X \times R1$; $Y \times R2$; ou $Y \times R1$, correspondent à des débits en cm^3/min).

V.D) QUESTIONS

- Indiquer si 1 seul ou 2 réservoirs on été utilisés pour les essais.
- Identifier les mesures à utiliser pour déterminer les taux de chute moyens $R1_{moy}$ et $R2_{moy}$, et les calculer.
- Déterminer la perméabilité k du sol et discuter de la valeur obtenue en fonction de la nature du sol identifiée et des valeurs types données dans le tableau ci-dessous.

Ordres de grandeur de la perméabilité en fonction de la nature du sol (attention aux unités, ici en m/s!)

Sol	gravier	sable	limon	argile
k (m/s)	1 à 10^{-3}	10^{-3} à 10^{-5}	10^{-5} à 10^{-8}	10^{-8} à 10^{-13}

ANNEXES

DETAIL DES MANIPULATIONS DU PRESSIOMETRE

Apprentissage de l'opération de purge

LA SONDE DOIT ETRE DEBRANCHEE DU CPV

Le détendeur (ou mano-détendeur) qui permet de régler la pression d'eau n'est pas un robinet. Plus on visse, plus la pression (et non le débit) d'eau imposée est forte. **Cependant** si on dévisse le détendeur, la pression ne chute pas car le circuit reste en pression. Il faut alors faire une purge.

Pour vous familiariser avec l'opération fréquente de purge (remise à zéro normale et en cas de problème), mettre dans un premier temps les circuits du CPV sous pression. Pour cela:

1. S'assurer que la bouteille d'azote est reliée au CPV, la sonde n'est pas reliée au CPV pour l'instant.
2. Ouvrir le robinet de la bouteille d'azote (1/4 de tour suffit), visser le détendeur de la bouteille jusqu'à une pression de 3 b à la bouteille (maximum pour cet essai).
3. Visser **doucement** le détendeur principal pour augmenter la pression du circuit de mesure jusqu'à environ 1 b.

L'opération de purge à proprement parlé **consiste à**:

1. Dévisser le détendeur principal jusqu'à ce qu'il tourne librement (NE PAS FORCER), constatez que la pression dans le CPV ne chute pas.
2. Mettre **d'abord** à la pression atmosphérique (doucement) les cellules de garde (air).
3. Mettre **ensuite** à la pression atmosphérique (doucement) la cellule de mesure (eau).
4. ATTENDRE que le niveau dans le réservoir revienne à 0 (cela peut prendre. plusieurs minutes).

Recommencer l'opération si ce n'est pas clair pour vous.

Réglage de la pression différentielle

LA SONDE DOIT ETRE DEBRANCHEE DU CPV

La pression d'azote dans les cellules de garde doit être légèrement inférieure à la pression d'eau dans la cellule centrale. Nous prendrons ici par simplification une différence de pression de 1 bar.

Cette différence de pression se règle à l'aide du clapet différentiel: lorsqu'il est entièrement vissé la pression dans les cellules de garde est nulle; lorsqu'il est entièrement dévissé la pression dans les cellule de garde est égale à la pression dans la cellule centrale.

1. S'ASSURER que le CPV (circuits d'eau et d'air) n'est pas sous pression, sinon effectuer une opération de purge.
2. S'assurer que le clapet différentiel est vissé (SANS FORCER)
3. Visser **doucement** le détendeur principal pour augmenter la pression du circuit de mesure jusqu'à environ 2 b.
4. En dévissant doucement (de plusieurs tours) le clapet différentiel, imposer une différence de pression de 1 b entre le circuit des cellules de garde et celui de la cellule de mesure.
5. Faire une opération de purge.

Ne plus intervenir sur le clapet différentiel pendant la suite du TP pour conserver à tout moment une différence de pression de 1 b.

Essai d'étalonnage à vide (mesure de la résistance propre de la sonde)

La sonde est placée à l'horizontale au sol à proximité du CPV, à l'air libre. Elle est gonflée, dans les mêmes conditions que celles de l'essai, par paliers de pressions.

Injecter au maximum un volume d'eau de 600 cm³.

1. S'ASSURER que le CPV (circuits d'eau et d'air) n'est pas sous pression, sinon effectuer une opération de purge.
2. S' ASSURER que le détendeur de la bouteille est réglé à une pression de 3 b.
3. Augmenter la pression d'eau (avec le détendeur principal) par palier de 0,25 b. A chaque palier, relever après 60 secondes les valeurs V et p_r . (Observer les déformations de la sonde (cellules de garde et cellule centrale).
4. **Stopper l'opération lorsque le volume d'eau atteint 600 cm³.** En cas de dépassement important de cette valeur effectuer immédiatement une opération de purge.
5. Effectuer une opération de purge.

Essai dans le sol

Forage

1. Forer le trou à la tarière à main.
 - ne pas bouger la tarière latéralement car le trou serait déformé et les valeurs pressiométriques faussées.
 - déposer le sol extrait dans le seau.
2. Dévisser le manche de la tarière et le visser sur la sonde pressiométrique.
3. Introduire la sonde dans le forage SANS FORCER et SANS TOURNER
 - si la sonde coince dans le trou, enlever la sonde et repasser la tarière en la tournant bien.

Réalisation de l'essai

1. Régler le détendeur de la bouteille à une pression de 10 b.
2. Augmenter la pression d'eau (avec le détendeur principal) par palier de 0,5 b. A chaque palier, relever après 60 secondes les valeurs V et p_r .
3. Stopper l'opération lorsque le volume d'eau atteint 600 cm³. En cas de dépassement important de cette valeur effectuer immédiatement une opération de purge.
4. Effectuer une opération de purge et ATTENDRE plusieurs minutes que le volume d'eau injecté revienne à une valeur nulle.

Repli du matériel

1. S'ASSURER que le CPV (circuits d'eau et d'air) n'est pas sous pression, sinon effectuer une opération de purge.
2. FERMER le robinet de la bouteille d'azote.
3. Retirer la sonde du forage et REBOUCHER ce dernier avec le sol contenu dans le seau.
4. Nettoyer si nécessaire le matériel en amenant de l'eau dans le seau.
5. Ramener l'ensemble du matériel à l'intérieur du laboratoire.