

**1. Principe de l'essai :**

Les essais de pénétration dynamique peuvent être réalisés dans tous les sols fins et les sols grenus dont la dimension moyenne des éléments **ne dépasse pas 60 mm**.

La pénétration dynamique consiste à enfoncer dans le sol, par battage et de manière quasi-continue, un train de tiges muni à son extrémité d'une pointe débordante. Le nombre de coups de mouton correspondant à un enfoncement donné est noté au fur et à mesure de la pénétration de la pointe dans le sol.

La normalisation distingue deux types de matériel Type A et Type B

Le pénétromètre de **type A** fournit la résistance

$$qd = \frac{m \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \cdot \frac{m}{m + m'}$$

*m* : masse du mouton (kg)

*g* : accélération de la pesanteur (m.s<sup>2</sup>)

*H* : hauteur de chute du mouton (m)

*A* : section de la pointe (m<sup>2</sup>)

*e* : enfoncement moyen sous un coup :  $e = 0.1/N_{d10}$  (m)

*m'* : masse frappée (enclume, tige guide, tiges et pointe, en kg)

Le pénétromètre **de type B** permet d'apprécier qualitativement la résistance et la position des terrains traversés. La courbe fournit la valeur  $N_{d20}$  en fonction de la profondeur

Il est également d'usage de fournir **hors normalisation**, la résistance obtenue par la formule <sup>(1)</sup> et de la désigner par le symbole  $R_d$ .



**Foreuse équipée d'un pénétromètre dynamique type B**

**2. Interprétation**

A partir des courbes obtenues, il est possible de distinguer différents horizons de sol, de détecter la présence d'anomalies et de déterminer la position du toit d'une couche résistante.

Seul l'essai de type A permet d'estimer la capacité portante d'un sol vis à vis d'un système de fondation.

**ARVOR**  
Géotechnique

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE : PDB1/SP1

Lieu : BADEN

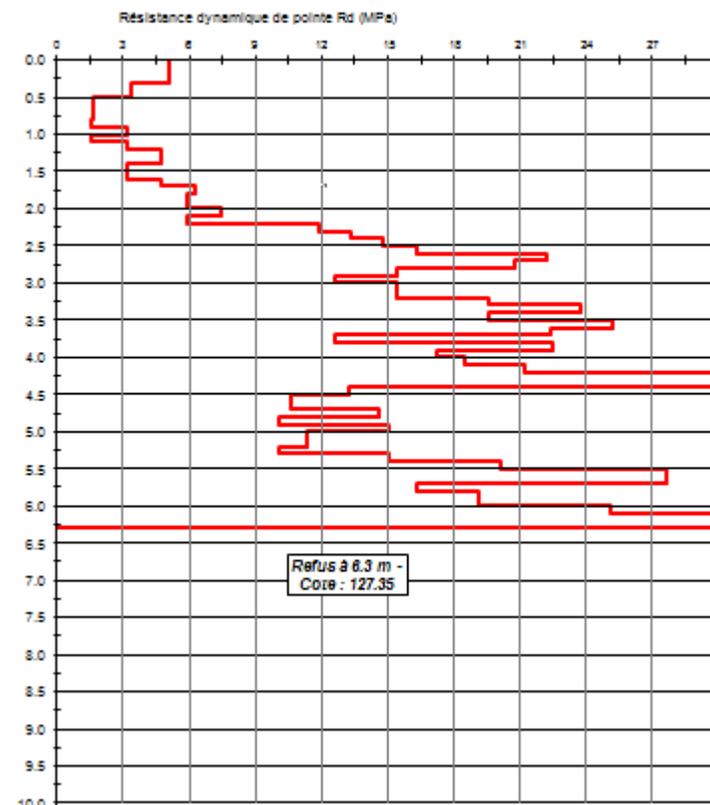
Projet : Maison

Cote : 133.65 NGF

Adresse : Route de TOULINDAC

Dossier : VA1515

Date : 12/11/2010



Pénétromètre Type B NF P 94-115	Masse du mouton (kg)	Masse enclume + guide (kg)	Masse d'unétge (kg)	Masse de la pointe (kg)	Hauteur de chute (m)	Section de la pointe (cm <sup>2</sup> )
	63,5	18	6	0,62	0,75	20

Type	H (cm)	M (kg)	Injection boue	Diamètre de la pointe (mm)	Mesure du nombre de coups pour :
A	75	32 à 128	oui	61,8	10 cm
B	75	64	non	50,5	20 cm

Ce type d'essai est complété par des essais type pressiométrique lorsque les risques de tassement sont à considérer.

**1. Principe de l'essai :**

L'essai de pénétration statique est réalisé dans tous les sols fins et les sols grenus dont la *dimension moyenne* des éléments ne *dépasse pas 20 mm*. Il consiste à enfoncer dans le sol, à vitesse constante et à l'aide d'un vérin hydraulique, une pointe terminée par un cône. Un dispositif particulier permet de mesurer la résistance à la pénétration du cône, ainsi qu'éventuellement, le frottement latéral mobilisé sur une longueur donnée.

**2. Pratique de l'essai**

La norme impose de respecter un certain nombre de conditions et fixe notamment la vitesse de pénétration dans le terrain, qui doit être de **2 cm/s**.

Les pénétromètres normalisés diffèrent par les modalités de fonçage de l'appareil et par le mode de mesure de la résistance de pointe. Tous les types de sondes sont utilisés selon les terrains et selon les nécessités des études : pointe mécanique, pointe électrique et piézocône.

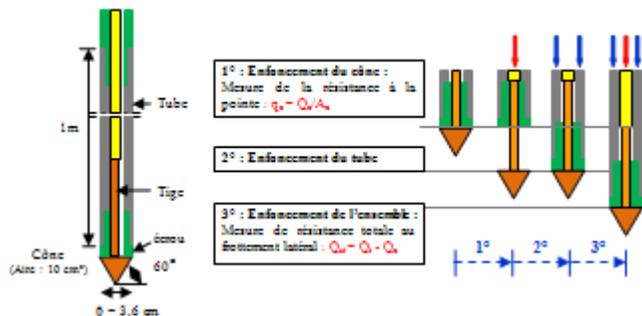
**2.1 Fonçage dans le terrain**

Il est nécessaire de disposer d'une réaction d'au moins 100 kN, mais il existe des appareils prévus pour 250 kN. Cette réaction est obtenue généralement à l'aide d'un camion lesté. Le camion contient un abri de mesure et un ensemble d'appareils pouvant inclure un ordinateur et un traceur reproduisant en temps réel la courbe de pénétration.

**2.2 Mesure de la résistance de pointe**

**Pointe mécanique :** l'effort de pointe est mesuré par l'intermédiaire d'un train de tiges centrales au train de tubes et poussant sur le cône. *La mesure est discontinue*

*Pénétromètre statique mécanique à cône simple*



**Pointe électrique :** l'effort de pointe est mesuré par un peson à jauges de contraintes ou à corde vibrante incorporé à cette pointe. Du point de vue opérationnel, cela implique l'utilisation de tiges de fonçage creuses, à l'intérieur desquelles on doit faire passer le câble électrique conducteur des informations. *La mesure est continue.*



**3. Résultats**

**- Effort total de pénétration  $Q_t$  :**

Force totale nécessaire pour enfoncer dans le sol, sans choc, ni vibration, ni rotation le train de tiges avec à sa base une pointe terminée par un cône, exprimée en kN. L'effort total est donné pour la profondeur atteinte à la base du cône.

**- Effort apparent sur le cône  $Q_c$  et résistance apparente à la pénétration du cône  $q_c$  :**

L'effort total apparent sur le cône  $Q_c$  est la force nécessaire pour enfoncer dans le sol, sans choc ni vibration, ni rotation, le cône seul de la pointe pénétrométrique.

La résistance apparente à la pénétration du cône  $q_c$  est obtenue en divisant l'effort total apparent  $Q_c$  sur le cône par la surface  $A_c$  de la base du cône :  $q_c = \frac{Q_c}{A_c}$  (MPa)

**- Effort total de pénétration  $Q_{st}$  :**

Force obtenue par différence entre l'effort total de pénétration du train de tige  $Q_t$  et l'effort total apparent

$Q_c$  sur le seul cône :  $Q_{st} = Q_t - Q_c$  Ces valeurs sont affectées à la profondeur atteinte par la base du cône.

**- Effort de frottement latéral local  $Q_s$  et frottement latéral unitaire local  $f_s$  :**

Le frottement latéral unitaire local  $f_s$  est obtenu conventionnellement en divisant la force  $Q_s$  nécessaire à l'enfoncement du manchon de frottement par sa surface

latérale  $A_s$  :  $f_s = \frac{Q_s}{A_s}$  (MPa ou kPa)

Cette valeur attribuée à la profondeur correspond au milieu du manchon de frottement. Le diamètre du manchon ( $d_s$ ) est supérieur ou égal au diamètre de la partie cylindrique du cône ( $d_c$ ).

**Rapport de frottement  $R_f$  :**

Le rapport  $R_f$  est le quotient du frottement latéral unitaire local  $f_s$  par la résistance apparente à la pénétration du cône  $q_c$  mesurée à la même profondeur (et non au même instant)

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} (\%)$$

**Indice de frottement  $I_f$**

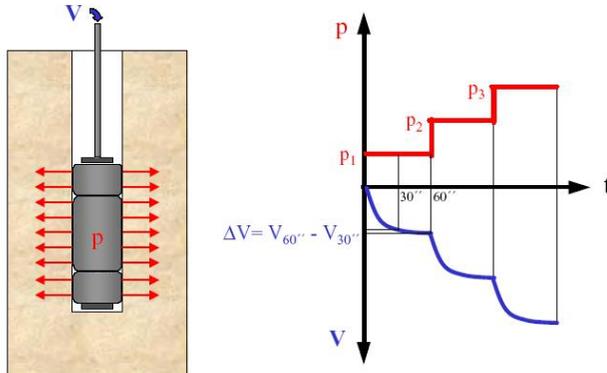
$I_f$  est le quotient de la résistance apparente à la pénétration du cône  $q_c$  par le frottement latéral unitaire local  $f_s$  mesuré à la même profondeur (et non au même instant).

$$I_f = \frac{q_c}{f_s} (\%)$$

**1. Principe de l'essai :**

L'essai pressiométrique consiste à descendre, à une profondeur donnée, une sonde cylindrique gonflable dans un forage soigneusement calibré. Les variations de volume du sol au contact de la sonde sont mesurées en fonction de la pression radiale appliquée.

Dans un même forage, la distance minimale entre deux essais consécutifs ne doit pas être inférieure à 0,75 m. La distance usuelle entre le milieu des emplacements de deux cellules de mesure est de 1,0 m. La profondeur minimale d'un essai dans un forage pressiométrique est de 0,75 m.



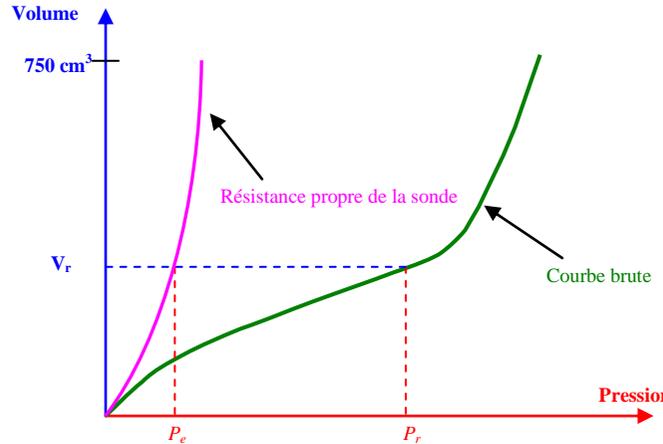
L'essai pressiométrique peut-être considéré dans les sols fins (de faible perméabilité) sous la nappe comme **un essai non drainé et n'intègre donc pas le phénomène de consolidation.**

Cet essai **n'est pas adapté** aux sols **très mous**.

L'essai pressiométrique doit comprendre au **minimum 8 paliers**.

Par ailleurs, l'une des conditions suivantes doit être **obligatoirement** satisfaite :

- la pression de **50 bars** a été atteinte
- le volume injecté dans la cellule centrale est d'au moins **600 cm<sup>3</sup>** (ou **450 cm<sup>3</sup>** pour la sonde courte avec sa protection)



**2. Interprétation :**

Les caractéristiques suivantes du sol sont ainsi déduites :

- **G** : *module de cisaillement* qui définit le comportement pseudo-élastique du sol :  $G = V_s \cdot \frac{\Delta p}{\Delta V}$
- **EM** : *module pressiométrique Ménard*. Le module de cisaillement G est lié au module d'Young E par le coefficient de poisson ν par la relation :  $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$ . On en déduit sur la plage pressiométrique définie entre les pressions p1 et p2 :

$$E_M = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left[ V_s + \left( \frac{V_1 + V_2}{2} \right) \right] \cdot \frac{(p_2 - p_1)}{(V_2 - V_1)}$$

- **p1** : *pression limite* qui caractérise la résistance de rupture du sol, est par convention la pression qui correspond au volume de liquide injecté V1 tel que :

$$V_1 = V_s + 2 \cdot V_l$$

- Vs : *volume de la cellule centrale*
- V1 est le *volume injecté dans la cellule centrale de mesure, après corrections, correspondant au début de la plage pressiométrique.*
- **pf** : *pression de fluage* qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et l'état plastique

**3. Détail sur l'appareillage :**



L'appareil se compose de 3 éléments principaux :

- **Le contrôleur pression-volume** (CPV) qui permet de régler avec précision la pression dans la sonde en vue de réaliser le chargement statique du sol en place, et de suivre l'évolution des paliers de chargement
- **Les tubulures** coaxiales ou jumelées souples haute résistance qui relient le CPV à la sonde, sans déformation parasite.
- **La sonde** qui possède en son centre une cellule dilatante radialement par injection d'eau, dont la variation de volume est mesurée au volumètre. Elle est entièrement recouverte d'une gaine en caoutchouc qui, gonflée au gaz, forme deux cellules de garde de part et d'autre de la cellule centrale. Deux principaux types de sondes peuvent être employés selon la nature et l'état du terrain :
  - sonde à gaine souple ;
  - sonde à gaine souple solidarifiée à une protection ou placée dans un tube fendu.

Nature des terrains	Forage préalable									Refolement
	Rotation *					Battage et autres				
	TAM	T IN	THC	O DG IN	CAR	ROTOP	CAR / BAT	CAR / VBF	TF EM	
Vases et argiles molles		R°		O°			O CPMF			
Argiles moyennement compactes	R	R°	R	R°		O°			O	
Argiles compactes, marnes raides			R	R°	R°	O°				
Limons :	R	O°	R	O°		O°	O	O	O	
- au-dessus de la nappe		R°		O°	O°	O°			O*	
- sous la nappe										
Sables lâches :	R	R°	O	O°		O°			O	
- au-dessus de la nappe		R°		O°		O°				O
- sous la nappe										
Sables moyennement compacts et compacts	R	R°	R	R°		R°	O	O	O*	O+
Sols grossiers : graviers, galets ; argiles à silex, etc.			O	O°		R°	O	O	O	O+
Roches altérées Roches tendres			R	R	O	R°	O	O		O+

**R** : Recommandé

**O** : Toléré



Non toléré



Inadapté

\* : vitesse de rotation < 60 tr/min. et diamètre de l'outil inférieur ou égal à 1,15 d<sub>s</sub>

+ : éventuellement, forage préalable en petit diamètre (d<sub>t</sub> < d<sub>s</sub>)

° : injection avec boue (pression < 500 kPa, débit < 15 l/min.)

Dans le cas où le forage est fait par rotation, la pression (en tête du train de tiges) transmise sous l'outil doit être inférieure à 200 kPa.

♦ : avec dispositions particulières (par exemple imposer un gradient vertical descendant, réaliser les essais en descendant, prolonger le tube fendu par un tube de garde)

**TAM** Tarière à main (cuillère)

**T IN** Tarière avec injection de boue de forage

**THC** Tarière hélicoïdale continue à sec

**O DG** Outil désagrégateur

**CAR** Carottier

**ROTOP** Rotopercussion

**IN** Avec injection de boue

**BAT** Battage

**CPMF** Carottier à parois minces foncé

**TF** Tube fendu

**TF EM** Tube fendu avec enlèvement simultané des matériaux

**VBF** Vibrofonçage

### 1. Longueur maximale de la passe de forage

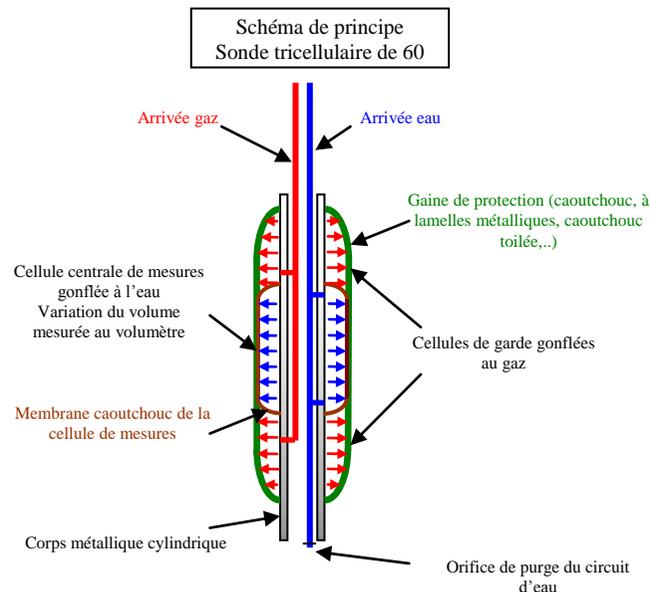
Les longueurs maximales de forage pressiométrique à réaliser avant l'introduction de la sonde dépendent des propriétés des terrains, de l'existence d'une nappe et de la présence ou non d'un tubage. Les règles sont regroupées dans le tableau ci-après :

Nature des terrains	Longueur maximale de forage fait avant l'essai (m)
Vases et argiles molles	1 **+
Argiles moyennement compactes	3 +
Argiles compactes, marnes raides	5
Limons :	
- au-dessus de la nappe	5
- sous la nappe	3 +
Sables lâches :	
- au-dessus de la nappe	3
- sous la nappe	1 **+
Sables moyennement compacts et compacts	5
Sols grossiers : graviers, galets ; argiles à silex, etc.	5
Roches altérées, Roches tendres	5

\*\* Ou intervalle entre deux essais consécutifs  
+ Un tubage est recommandé au delà de 10 mètres de profondeur

### 2. Choix de la sonde pressiométrique

La **membrane** caoutchouc de la **cellule centrale de mesures** (entre 1,5 et 2 mm d'épaisseur) est protégée par une **gaine** dont le choix doit être guidé par la nature et les valeurs de résistance mécanique des terrains à tester.



La **résistance limite propre de la sonde pressiométrique**, y compris tube fendu éventuel, doit être la plus faible possible par rapport à la **pression limite pressiométrique du terrain**. Selon la norme, le choix de la sonde et de son habillage est guidé par le respect des conditions suivantes :

$$p_{el} = p_l/4 + 25 \text{ kPa pour } p_l \leq 900 \text{ kPa (9 bars)}$$

$$p_{el} = \text{valeur inf. } \{ p_l / 18 + 200 \text{ kPa ; } 350 \text{ kPa} \} \text{ pour } p_l \geq 900 \text{ kPa}$$

avec :

- $p_l$ : pression limite du terrain
- $p_{el}$ : résistance limite propre de la sonde pressiométrique correspondant à un volume de liquide injecté de 700 cm<sup>3</sup> (550 cm<sup>3</sup> pour la sonde courte placée dans un tube fendu)

#### Application numérique :

$p_{el}$ (kPa) de la sonde	80	150	200
Pression limite minimale requise du sol (kPa)	≥ 220	≥ 500	≥ 700

Deux principaux types de sondes peuvent être employés selon la nature et l'état du terrain avec de nombreux modèles dans le commerce.

#### - sonde de 60 à gaine souple



1 : Gaine toilée haute pression	2 : Gaine toilée Standard	3 : Gaine à lamelles métalliques
4 : Gaine caoutchouc 4 mm	5 : Gaine caoutchouc 3 mm	6 : Gaine caoutchouc 2 mm

- **sonde de 44 avec tube fendu**. La sonde de plus petit diamètre est placée dans un tube (diamètre de 56 mm ou 63 mm) en acier portant 6 fentes longitudinales équidistantes qui doivent, après dilatation, retrouver leurs formes initiales.



7 : Gaine caoutchouc 3 mm	8 : Gaine caoutchouc 4 mm
9 : Gaine toilée haute pression	10 : Gaine toilée super Haute pression

#### Remarque : Selon les critères de la norme :

- les sondes les plus fines vendues actuellement dans le commerce présentent des valeurs de résistance propre  $p_{el}$  trop élevées pour pouvoir réaliser des essais dans les sols très mous à très lâches. On se méfiera donc des interprétations des essais dans les sols très médiocres.
- dans un même sondage, le géotechnicien peut être conduit à utiliser plusieurs modèles de sonde en adéquation avec les résistances mécaniques des couches de sols traversées.

**1. Principe et domaine d'application**

Le phicomètre permet de mesurer in situ les caractéristiques mécaniques  $\varphi_i$  (angle de frottement) et  $c_i$  (cohésion) des sols par cisaillement rectiligne. Les essais peuvent être réalisés sur des sols non ou difficilement prélevables. Cet essai est applicable à tous les sols à l'exception :

- des vases, argiles molles et autres sols lâches ( $p_l < 0.3 \text{ MPa}$ )
- des roches et sols raides ( $p_l > 4.0 \text{ MPa}$ ) dans lesquels les dents de la sonde ne peuvent pénétrer
- des sols grossiers présentant de très gros éléments en proportion importante, de diamètre supérieur à **150 mm**.

L'essai au phicomètre est réalisé dans un forage préalable d'un diamètre équivalent à celui d'un essai pressiométrique.

Il consiste à introduire dans un forage une sonde cylindrique présentant des dents annulaires, à gonfler cette sonde pour faire pénétrer les dents dans le sol et, enfin, à cisailier le sol en arrachant la sonde à vitesse constante, selon la direction axiale.

Le cisaillement est effectué sous différents paliers croissants de la pression radiale.

Constituée de coquilles métalliques rigides munies d'indentations, la sonde est soumise à une pression normale  $\sigma$ .

La surface sollicitée de la sonde est  $S = \pi \cdot d \cdot l$  avec :

- $d$  : diamètre extérieur des dents
- $l$  : longueur de la sonde de mesure

L'effort limite mobilisable  $T$  sous la contrainte  $\sigma$  donne la contrainte de cisaillement correspondante :  $\tau = \frac{T}{S}$

Des couples  $(\tau_i, \sigma_i)$  seront relevés par paliers de pressions croissantes

**2. Présentation de l'appareillage**

L'appareil comprend trois organes principaux :

- la sonde du phicomètre



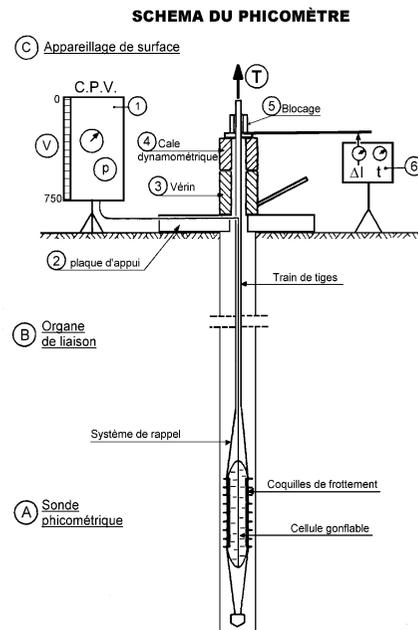
- un organe de liaison
- un appareillage de surface.



**3. Programme de chargement de l'essai de cisaillement au phicomètre et interprétation**

L'essai est réalisé par paliers d'incrément  $\Delta p$ . Chaque cisaillement comporte deux étapes successives :

- 1) application sur la surface cylindrique de mesure d'une contrainte radiale maintenue constante pendant 60 s,



- 2) arrachement de la sonde (phase de cisaillement) à vitesse de déplacement constante  $v$  en maintenant constant la contrainte radiale.

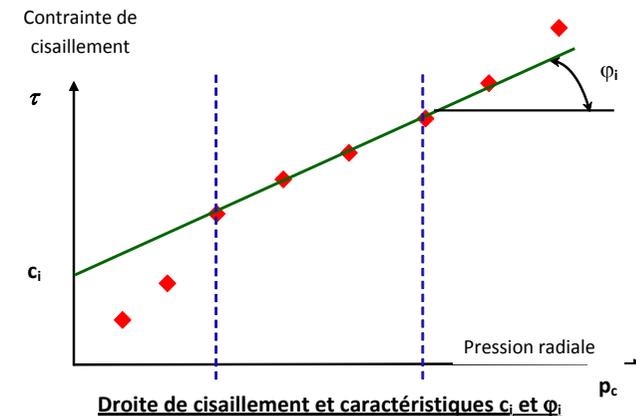
Le programme de chargement est défini en fonction de la pression limite pressiométrique estimée du sol au niveau d'essai. Les mesures effectuées permettent de déterminer sous une pression radiale  $p_c$ , un effort d'arrachement limite conventionnel  $T_l$

La contrainte de cisaillement limite conventionnelle  $\tau$  sous cette pression radiale  $p_c$  est donnée par la formule :

$$\tau = \frac{T_l}{\pi l_s \cdot d_s}$$

- $l_s$  : longueur conventionnelle de la zone de mesure
- $d_s$  : diamètre extérieur hors tout de la sonde après injection d'un volume  $V$ .

Sur un premier graphique  $\tau(p_c)$  sont reportés les points de résistance maximale obtenue à chaque palier de cisaillement. L'alignement de ces points donne une droite permettant de définir les caractéristiques  $\varphi_i$  et  $c_i$ , l'indice  $i$  indiquant qu'il s'agit de caractéristiques *in-situ*



La deuxième graphique donne la variation de volume intervenue en cours de cisaillement pour chaque palier de pression

Les deux derniers graphiques permettent de cerner le domaine dans lequel les couples  $\tau, p_c$  sont significatifs pour déterminer  $\varphi_i$  et  $c_i$

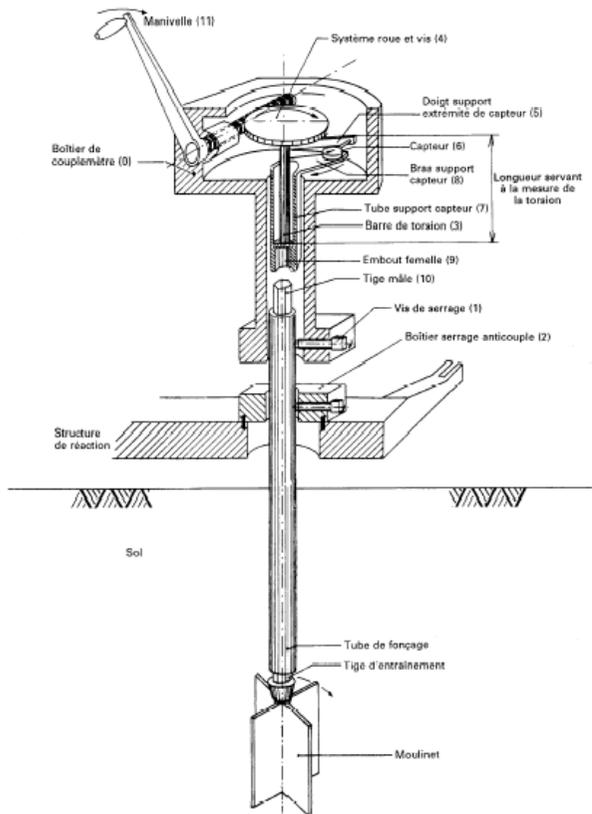
### 1. Principe et domaine d'application

L'essai consiste à introduire par fonçage dans le sol un moulinet comprenant quatre pales. Un couple de torsion  $T$  est alors appliqué au moulinet par l'intermédiaire du train de tiges. Sous l'effet de ce couple, le sol est cisailé selon une surface cylindrique.

La résistance au cisaillement du sol  $\tau$  dépend directement du moment de torsion et s'écrit

$$\tau = \frac{T}{K}$$

$K$  étant un coefficient tenant compte des caractéristiques du moulinet.



Pour être interprétable, l'essai au scissomètre doit donc être réalisé dans un **sol saturé faiblement perméable** de manière à ce que, pour une durée d'essai raisonnable, la sollicitation soit **non drainée**. Il faut en outre que l'appareil puisse être foncé dans le terrain, ce qui implique en plus que celui-ci soit relativement mou.

Ces conditions réunies font que le domaine d'action du scissomètre de chantier est **limité aux sols fins cohérents** (argiles, limons et vases) de raideur limitée. En pratique, on admet que l'essai ne peut être réalisé que dans des sols dont la cohésion est inférieure à 0,1 MPa.

### 2. Méthodologie de l'essai

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

La **seconde** à :

- entraîner par 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.

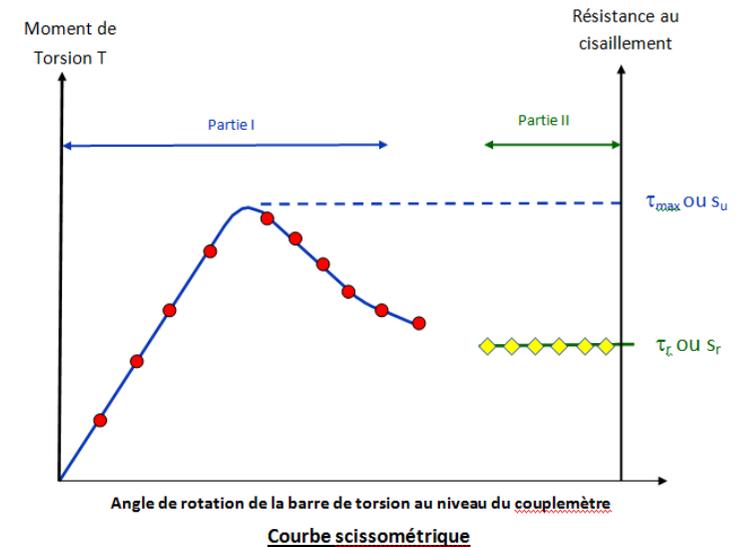
Les lectures de rotation ont lieu toutes les 10 secondes. Une fois la rotation maximale atteinte ou dépassée, six lectures espacées de 10 s sont encore effectuées. Puis il est procédé à une rotation rapide des tiges de transmission afin que le moulinet fasse 10 tours dans le sol.

L'essai est poursuivi et six lectures espacées de 10 s 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  $\theta$  permet de déterminer

- la résistance maximale au cisaillement; **cohésion scissométrique**  $s_u$
- La résistance résiduelle : **cohésion remaniée**  $s_r$ . 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 :

$$S_t = \frac{s_u}{s_r}$$

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** du sol  $I_p$  afin de déduire la cohésion non drainée  $c_u$  de  $s_u$ , avec :  $c_u = k \cdot s_u$

**Remarque :** Il existe de nombreux types de scissomètre, non normalisés, avec un choix de pales. On attirera l'attention sur le fait que **la vitesse de cisaillement des sols influe beaucoup sur le résultat des essais.**

## 1 Principe

L'essai de pénétration au carottier s'applique dans tous les sols fins et les sols grenus dont la *dimension moyenne* des éléments ne *dépasse pas 20 mm*.

L'essai nécessite l'appareillage suivant :

- un équipement de forage et de tenu de paroi
- un dispositif de battage (15 à 30 coups / minute)
- un train de tiges et son guidage
- un carottier
- un système de mesure.

Il consiste à battre dans le sol, au fond d'un forage, un carottier de caractéristiques et de dimensions définies

Longueur	> 450 mm
Diamètre extérieur	51 mm
Diamètre intérieur	35 mm
Masse du mouton	64 kg
Hauteur de chute	75 cm
Diamètre extérieur tige	42,5 mm

Après avoir réalisé le forage maintenu par une boue ou par un tubage, le carottier y est descendu puis battu en trois étapes. Le nombre de coups de mouton  $N_i$  nécessaires à chaque enfouissement de 15 cm est relevé, soit :

- $N_0$  : enfouissement d'amorçage de 0 à 15 cm
- $N_1$  : premier enfouissement d'essai de 15 à 30 cm
- $N_2$  : deuxième enfouissement d'essai de 30 à 45 cm

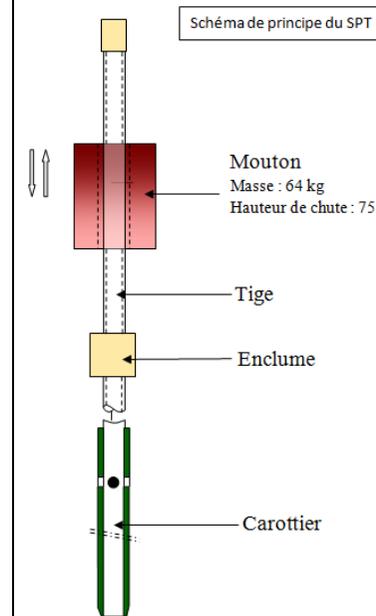
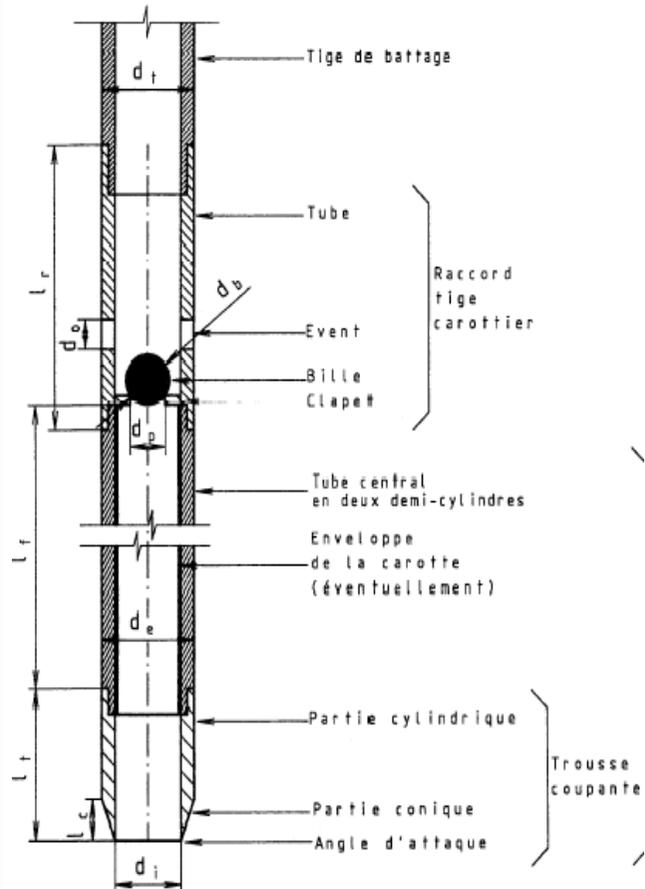
Le nombre  $N = N_1 + N_2$  est appelé *résistance à la pénétration*.

La profondeur de l'essai correspond à la position de la base de la trousse coupante après l'enfoncement d'amorçage.

Lorsqu'un nombre de coups supérieur à 50 ne permet pas d'obtenir un enfouissement de 15 cm, l'essai est arrêté et l'enfoncement correspondant est noté.

Exemple :

Profondeur		Nombre de coups				
Tubage (m)	Essai (m)	Amorçage		Essai		N
		$N_0$	$N_1$	$N_2$		
3,85	4,0	2	3	4	7	
4,85	5,0	3	4	5	9	
5,85	6,0 Arrêt 6,27	20	23	> 50	> 73	



En fin de battage, la carotte est récupérée afin d'apprécier la nature du sol testé.

**Remarque :** Le fond du trou de forage ne doit pas être trop modifié par la succession des opérations, qui peuvent entraîner éboulements ou décompression, notamment dans les sols placés sous la nappe.

## 2 Interprétation

A partir de milliers d'essais, réalisés en particulier aux Etats-Unis, des corrélations ont été établies entre  $N$  et les caractéristiques suivantes :

- la compacité des sables et leur angle de frottement interne
- la résistance des sols à la compression simple
- la capacité portante pour les fondations
- le risque de liquéfaction des sables

Cet essai doit donc être utilisé avec prudence dans les sols cohérents.

## Recommandations sur la consistance des investigations géotechniques pour les études géotechniques de conception (G2) – USG / SYNTEC - Mai 2016

Problématique géotechnique	Sondages		Essais en laboratoire		Essais in situ		
Modèle géologique	Sondage carotté	R	Essais d'identification et de classification	R	Pénétrömètre statique, piézocône Standard Penetration Test Pénétrömètre dynamique	S	
	Pelle mécanique	S		S			
	Tarière	S		I			
	Sondages destructifs avec diagraphies	I					
Terrassement/réemploi Déblai/Remblai Stabilité générale	Echantillon intact ou remanié représentatif, prélevé dans les sondages précédents	R	Essais d'identification, Essais Proctor, de traitements Essai triaxial, Cisaillement rectiligne	R	Scissomètre Phicomètre	S	
				R		S	
				R			
Capacité portante	Sondage carotté + Echantillon intact Sondage pour essais pressiométriques	S	Essai triaxial Compression simple Cisaillement rectiligne	S	Pressiomètre Pénétrömètre statique Standard Pénétration Test Pénétrömètre dynamique Scissomètre ou phicomètre	R	
		R		S		R	
				S		I	
Tassement (fondations, dallages,...)	Sondage carotté + Echantillon intact Sondage pour essais pressiométriques	R	Oedomètre Essai triaxial	R	Pressiomètre Pénétrömètre statique, piézocône Dilatomètre type DMT	R	
		R		R		R	
				R		S	
Soutènement	Sondage carotté + Echantillon intact Sondage pour essais pressiométriques	R	Essai triaxial Cisaillement rectiligne	R	Scissomètre ou phicomètre Pressiomètre Piézocône	R	
		S		R		S	
Eau souterraine 1-Niveau des nappes	Forage pour piézomètre	R			Piézomètres avec suivi automatique Piézomètres avec suivi manuel Cellules de pression interstitielle	R	
						S	S
						S	S
2- Rabattement	Forage pour essai de pompage et essais d'eau Sondage carotté + Echantillon intact	R			Essai de pompage, piézomètre Essai d'eau (dont micromoulinet) Piézocône	R	
		S				S	
Aléa sismique	Sondage carotté + Echantillon intact	R	Essai triaxial cyclique Granulométrie	R	Cross-hole Standard Pénétration Test Pénétrömètre statique, piézocône	R	
				R		R	
Retrait gonflement	Sondage carotté + Echantillon intact	R	Essais de retrait, essai de gonflement Essais d'identification	R			
		I					
Reconnaissance de fondations existantes	Fouilles de reconnaissance	R	Résistance à la compression du béton ou de la maçonnerie	R	Essais Micro-Sismique Parallèle Essai d'impédance Ferroscan, radar	R	
	Sondage carotté	S					
	Sondage destructif	S					

**R** : sondages/essais **recommandés**

**S** : sondages/essais **satisfaisants**

**I** : sondages/essais **indicatifs** après calibrage

**TABLEAU 1 : ANALYSE DE LA PERTINENCE DES TECHNIQUES USUELLES DE RECONNAISSANCE**

**Programme minimal des investigations géotechniques lors des études géotechniques de conception G2**

Ouvrage concerné		Maille en phase PRO (intégrant reconnaissances des phases et missions précédentes)	Dont Maille en phase AVP	Profondeur
Pavillon isolé		1 point de reconnaissance tous les <b>50 m<sup>2</sup></b> avec un minimum de 3 points	1 point de reconnaissance tous les <b>50 m<sup>2</sup></b> avec un minimum de 3 points	5 m sous la base des fondations prévisibles
Bâtiments de logements, bureaux, tertiaires, publics, pavillons en bande, ...		1 point de reconnaissance tous les <b>200 m<sup>2</sup></b> avec un minimum de 3 points et une distance maximale de 20 m entre points	1 point de reconnaissance tous les <b>300 m<sup>2</sup></b> avec un minimum de 3 points et une distance maximale de 25 m entre points	5 m sous la base des fondations prévisibles
Bâtiments industriels, commerciaux, logistiques,...	jusqu'à 10 000 m <sup>2</sup>	1 point de reconnaissance tous les <b>400 m<sup>2</sup></b> avec un minimum de 3 points et une distance maximale de 30 m entre points	1 point de reconnaissance tous les <b>600 m<sup>2</sup></b> avec un minimum de 3 points et une distance maximale de 40 m entre points	2 m dans horizon peu compressible ou 1,5 fois la largeur du bâtiment
	au-delà de 10 000 m <sup>2</sup>	1 point de reconnaissance supplémentaire tous les <b>800 m<sup>2</sup></b>	1 point de reconnaissance supplémentaire tous les <b>1 200 m<sup>2</sup></b>	2 m dans horizon peu compressible ou 1,5 fois la largeur du bâtiment
Voiries (parkings aériens et voiries liées au bâtiment)		1 point de reconnaissance tous les <b>1 500 m<sup>2</sup></b> , avec un minimum de 2 points	selon contexte	3 m sous le niveau définitif de la voirie et 2 m sous le terrain naturel
Ouvrage isolé et ponctuel	Pylônes	1 point de reconnaissance par pylône	1 point de reconnaissance par pylône	5 m sous la base des fondations prévisibles
	Eoliennes terrestres	Suivant Recommandations CFMS du 5/07/2011	Suivant Recommandations CFMS du 5/07/2011	
Ouvrages linéaires	Réseaux enterrés	1 point de reconnaissance tous les <b>100 ml</b>	selon contexte	1 m sous fond de fouille prévu
	Route / Tramway / digue < 3 m	1 point de reconnaissance tous les <b>100 ml</b>	selon contexte	5 m sous niveau fini, avec 5m minimum sous TN initial
	Autoroute / Ligne ferroviaire	1 point de reconnaissance tous les <b>100 ml</b>	selon contexte	5 m sous niveau fini, avec 5m minimum sous TN initial
	Quai / Port / digue > 3 m mur soutènement > 3 m	2 points de reconnaissance (profil) tous les <b>50 ml</b>	selon contexte	5 m dans substratum
Stations d'épuration		2 à 3 points de reconnaissance par ouvrage, suivant taille de l'ouvrage	1 point de reconnaissance par ouvrage et 1 point de reconnaissance tous les <b>500 m<sup>2</sup></b>	5 m dans horizon peu compressible ou 1,5 fois la largeur de l'ouvrage
Silos, réservoirs		1 point de reconnaissance tous les <b>150 m<sup>2</sup></b> avec un minimum de 3 points	1 point de reconnaissance tous les <b>250 m<sup>2</sup></b> avec un minimum de 2 points	6 m dans horizon peu compressible ou 1,5 fois la largeur de l'ouvrage
Ouvrages d'art	Ponts	1 point de reconnaissance par appui	1 point de reconnaissance tous les 2 appuis	6 m sous la base des fondations prévisibles
ZIG		1 reconnaissance par mitoyen	au cas par cas	au cas par cas

TABLEAU 2