

Université de Abdelhafid Boussouf - Mila
Faculté Science et Technologie
Département de Génie Civil et Hydraulique



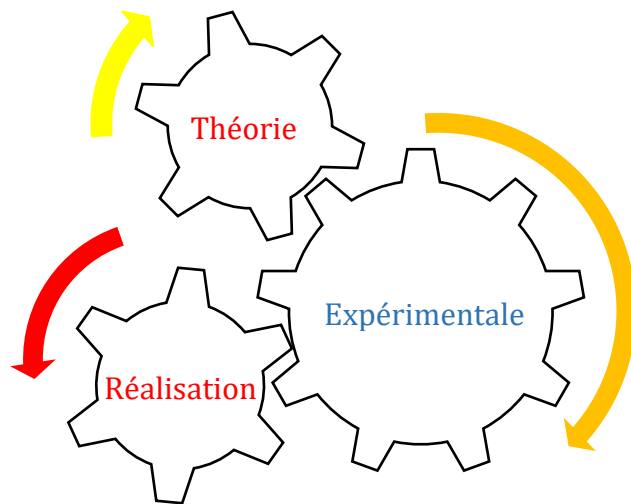
TRAVEAUX PRATIQUE

MECANIQUE DES SOLS 1

2^{ème} Année Génie Civil

Dr : TALEB. H A

Année 2021/2022



2^{ème} année GC

Matière 1: TP Mécanique des sols

Crédits: 2 / Coefficient: 1

TP: 1h30

Contenu de la matière :

- Mesure des caractéristiques pondérales (masse volumique – teneur en eau)
- Mesure des paramètres de consistance (limites d'Atterberg)
- Analyse granulométrique (par tamisage et sédimentométrie)
- Mesure des caractéristiques de compactage et de portance (essais Proctor et CBR)
- Mesure de la densité in-situ (essai au densitomètre à membrane)

Mesure des Caractéristiques Pondérales

TP N: 01	TENEUR EN EAU (Méthode par Etuvage)	Réf : NF P 94-050
-----------------	---	-----------------------------

La teneur en eau peut constituer un indice important pour établir la relation entre le comportement du sol et ses propriétés, (un sol se déforme en fonction de la variation de la quantité d'eau qu'il contient). La maîtrise de quantité d'eau, revient à maîtriser la portance du sol et donc à protéger nos ouvrages.

But de TP :

L'essai de teneur en eau permet de détermination de la quantité (teneur) d'eau contenue dans un sol.

Domaine d'application

Intervenir dans d'autres essais ; travaux de terrassement de compactage pour réaliser un bon compactage de remblai, couche de forme ou corps de chaussée.

Equipements :

- Echantillon du sol
- Etuve sèche
- Récipient
- Balance



Balance



Étuve



Récipient

Mode Opérateur

- 1 Peser le récipient vide
- 2 Placer l'échantillon du sol à l'état naturel dans le récipient et peser l'ensemble (échantillon + récipient)
- 3 Places l'ensemble (échantillon + récipient) dans l'étuve avec température réglée à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- 4 Après 24h retirer le récipient avec le sol sec, et peser (échantillon + récipient) en utilisant la même balance.
- 5 Déterminer la teneur en eau W exprimée en pourcentage

Calculs

Calculer la teneur en eau (notée W en (%)) de l'échantillon en utilisant la formule appropriée :

$$w (\%) = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Soit

Mh : masse humide de l'échantillon ;

Ms : masse sec de l'échantillon ;

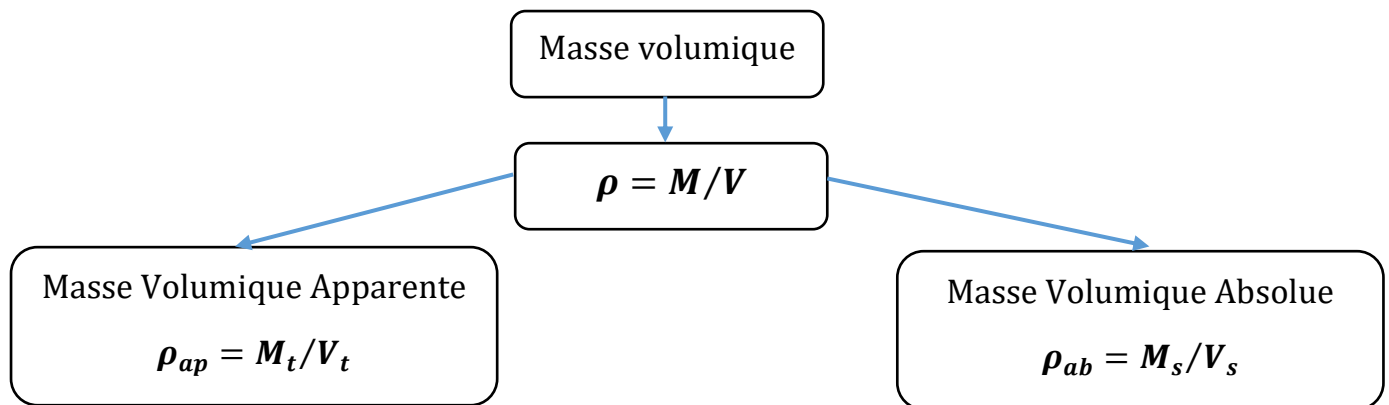
W (%) : La teneur en eau de l'échantillon.

Tableau 1 : Teneur en eau d'un sol

désignation	M_h (gr)	M_s (gr)	W %	W % (Moyenne)
Essai 1	100	92	8.69 %	
Essai 2	100	93		
Essai 3	100	92.5		

TP N: 01	MASSE VOLUMIQUE (Absolu* Apparente)	Réf : NF P 94-054
----------	--	-----------------------------

- Masse volumique Apparente
- Masse volumique Absolue **Par méthode d'éprouvette gradué et Pycnomètre**



2.1 Masse volumique Apparente

La masse volumique apparente c'est le rapport de la masse du sol à son volume, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du sol et les vides qu'elle contient.

$$\rho_{ap} = M_t/V_t$$

Objet :

Détermination de la masse volumique apparent d'un sol.

- Connaitre la masse volumique apparente d'un sol nous aide à calculer la quantité de sol pour les remblayages

Matériel nécessaire

- Etuve sèche
- Un récipient de volume (V) et masse (M₀) connu
- Un entonnoir
- Une balance
- Une règle métallique.



Entonnoir



Balance



Règle métallique



Récipient



Étuve

Préparation des échantillons

Enlevez la couche superficielle du sol et débarrasser la couche exposée à l'évaporation et puis nous allons forer à une certaine profondeur et l'échantillon prélevé bien désintégré afin de séparer les particules de sol les unes des autres

Mode opératoire

- Peser le récipient après le nettoyage et le séchage (M_0)
- Verser dans le récipient le sol, par couches successives et sans tassement avec une vitesse moyenne (utiliser l'entonnoir ou les mains).
- Araser à l'aide de la règle métallique.
- Peser le récipient rempli (M_1)
- Calculer la masse volumique apparente : $\rho_{ap} = M_t/V_t = \left(\frac{M_1 - M_0}{V_t}\right)$
- Refaire la mesure 3 fois.

$$\text{Trois } \rho_{ap} \text{ ----- } \rho_{ap} \text{ (moyenne)} = \frac{\text{trois } \gamma_{ap}}{3}$$

Tableau 2 : Masse volumique absolue d'un sol

désignation	M_0 (gr)	M_1 (gr)	V (L)	ρ_{ap}	ρ_{ap} (Moyenne)
Essai 1	2531	7578	3		
Essai 2	2531	7572	3		
Essai 3	2531	7579	3		

2.2 Masse volumique Absolue :

C'est le rapport de la masse de solides, après séchage, au volume de sol

$$\rho_{ab} = M_s / V_s$$

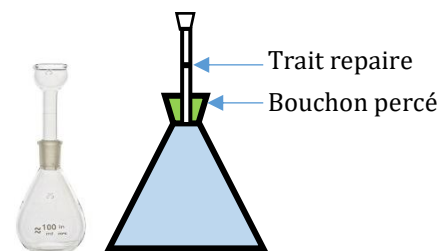
Connaitre le volume absolue d'un sol nous aider à mieux connaitre comment et combien compacter le sol.

But du TP

Mesurer la masse volumique absolue d'un sol.

Matériel nécessaire

- Etuve sèche
- Un entonnoir
- Une balance
- Éprouvette graduée



Pycnomètre



Entonnoir



Éprouvette graduée



Balance



Étuve

2.2.1 Principe de l'essai Par éprouvette gradué :

Mettons un échantillon du sol d'un poids connu dans un éprouvette gradue contient un volume d'eau bien connu V_1 et lire le nouveau volume V_2 .

Préparation des échantillons

Séchage l'échantillon du sol dans une étuve et après séparé les grains solides du sol les unes des autres.

Mode opératoire

- Remplir l'éprouvette graduée avec un volume d'eau V_1 .
- Peser un échantillon sec M_s du sol.
- Introduire le sol dans l'éprouvette graduée en chassant les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume V_2 .
- Calculer la masse volumique apparente : $\rho_{ab} = M_s / (V_2 - V_1)$
- Refaire la mesure 3 fois.
- **Trois ρ_{ab} ----- ρ_{ab} (moyenne) = $\frac{\text{trois } \rho_{ab}}{3}$**

Tableau 3 : Masse volumique absolue d'un sol par Éprouvette graduée

désignation	M_s (gr)	V_1 (ml)	V_2 (ml)	ρ_{ab}	ρ_{ab} (Moyenne)
Essai 1	600	500	730		
Essai 2	600	500	731		
Essai 3	600	500	730.5		

2.2.2 Principe de l'essai Par Pycnomètres

Mode opératoire

- Déterminer avec précision la masse M_1 d'un pycnomètre rempli d'eau jusqu'au niveau de trait repaire
- Peser avec précision la masse M_2 d'un échantillon de matériau sec (environ 50 g) ;
- Introduire la totalité du matériau dans le pycnomètre avec remplir ce pycnomètre par d'eau jusqu'au trait repaire ;
- Peser le pycnomètre M_3 , après la vérification qu'il n'y a aucune bulle d'air dans ce pycnomètre.
- Donc en peu déterminer la masse volumique absolue par

$$\rho_{ab} = \frac{M_2}{M_2 + M_1 - M_3} \rho_w$$

Tableau 4 : Masse volumique absolue d'un sol par pycnomètre

désignation	M1 (gr)	M ₂ (gr)	M ₃ (gr)	ρ_w (g/cm ³)	ρ_{ab}	ρ_{ab} (Moyenne)
Essai 1				1		
Essai 2						
Essai 3						

Mesure des Paramètres de Consistance

TP N: 02	LIMITES D'ATTERBERG	Réf : NF P 94-51/052
----------	---------------------	--------------------------------

Les limites d'Atterberg sont déterminées uniquement pour les éléments fins d'un sol (fraction passant au tamis de 0,4 mm), car ce sont les seuls éléments sur lesquels l'eau agit en modifiant la consistance du sol. Les résultats obtenus à partir des essais permettent de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau. Classification des sols- études de compactage.

But :

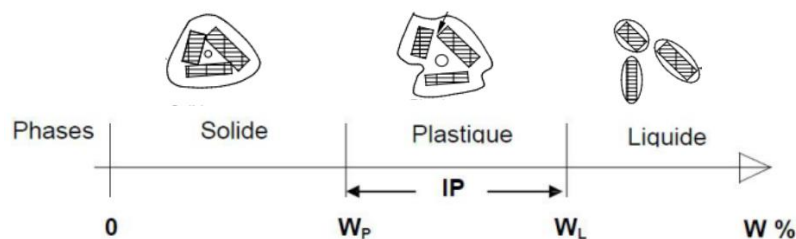
Détermination des états de consistance d'un sol.

La particularité des sols fins est que, leur **consistance** varie fortement en fonction de leur teneur en eau (W). Leur état va du solide s'ils sont desséchés, à l'état liquide s'ils sont détrempés. Entre ces 2 états, il existe un état intermédiaire dit plastique (pâte à modeler).

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles (teneur en eau pondérale) qui marquent les seuils entre :

Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité W_L).

Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité W_P).



A partir de ces limites on détermine deux paramètres :

Indice de plasticité IP : Cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité.

$$I_p = W_L - W_P$$

Indice de consistance IC : Cet indice prend la teneur en eau W du sol à l'état naturel pour la fraction inférieure à 0.4mm.

$$I_c = (W_L - W) / I_p$$

Principe de l'essai :

La consistance d'un sol varie de façon continue selon la teneur en eau : lorsque celle-ci augmente, le sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique puis à l'état liquide. L'essai définit conventionnellement les limites entre ces états.

L'essai s'effectue en deux phases :

1. Recherche de la limite de liquidité (W_L) à l'aide de l'appareil de **Casagrande**
2. Recherche de la limite de plasticité (W_p) par formation de **rouleaux** de 3 mm de Diamètre.

ÉQUIPEMENT NÉCESSAIRE

Matériel pour la préparation du sol :

Tamis à mailles carrées de 0.4 mm d'ouverture ; Un récipient rempli d'eau ; Etuve ; Balance ; Bac de manutention (30 x 20 x 8 cm) ; Pissette ; Spatule.

Matériel pour détermination de la limite de liquidité :

Appareil de Casagrande ; Outil à rainurer ; Chronométré indiquant la seconde ; Étuve de dessiccation ; balance ; Capsules de pesée.



Outil à rainure



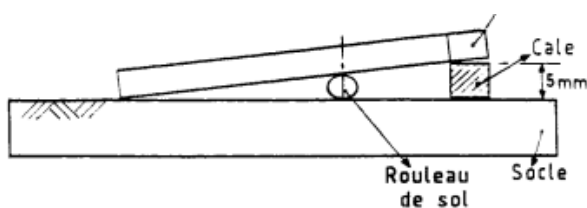
Appareil de Casagrande
(Coupelle Lisse)



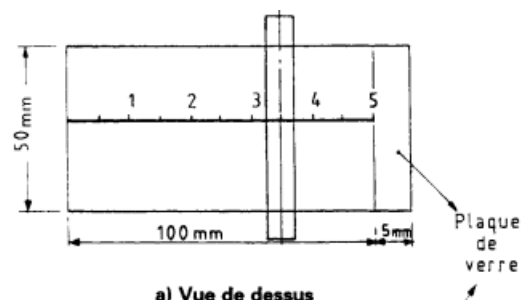
Coupelle rugueuse

Matériel pour détermination de la limite de plasticité :

Plaque de marbre ; Sèche-cheveux ; Capsules de pesée ; plaque de verre de 5 cm de largeur et de 10.5 cm de longueur.



b) Vue de coupe



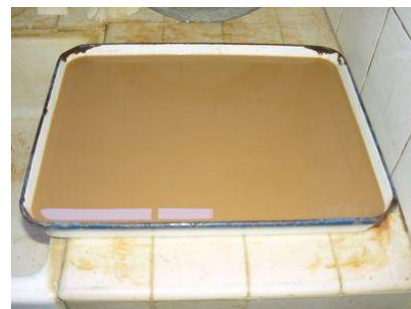
a) Vue de dessus

PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON :

- 1) Prendre un échantillon représentatif du sol et le mettre à imbiber dans un récipient plein d'eau pendant 24 heures.
- 2) Tamiser cet échantillon imbibé par voie humide sur un tamis de 0.4 mm, l'ensemble du tamisât des eaux de lavage étant ensuite décanté pendant 12 heures.



Tamisage de l'échantillon Voie Humide



Décantation du Mélange Sol + Eau

- 3) L'eau claire surnageante est siphonnée en prenant garde de ne pas entraîner de particules solides fines, l'eau excédentaire étant évaporée à l'étuve à 50 °C jusqu'à obtenir un mortier mou.



Siphonage de l'eau claire



Séchage échantillon



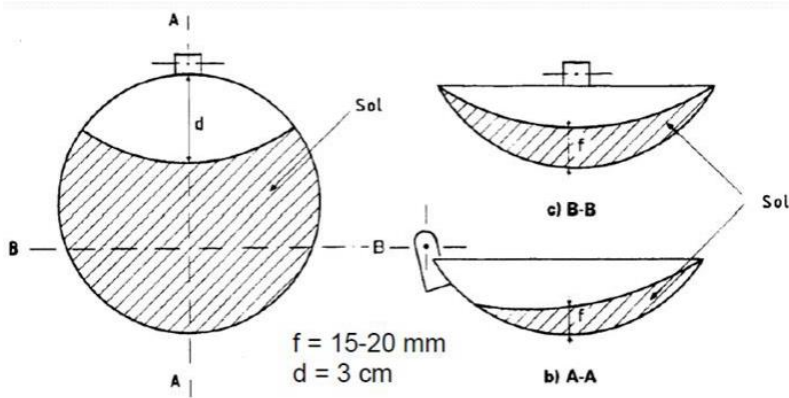
Homogénéisation par malaxage à la truelle

DÉTERMINATION DE W_L :

Détermination de la limite de liquidité : W_L Appareil de Casagrande

Mise en place de l'échantillon :

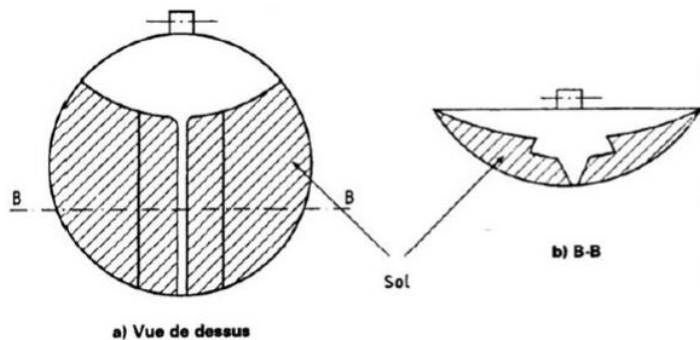
L'échantillon est mis en place à la spatule, de façon bien homogène. L'épaisseur au centre est de 15 à 20 mm, le pourtour étant sensiblement horizontal



Mise en place de l'échantillon dans la coupelle.

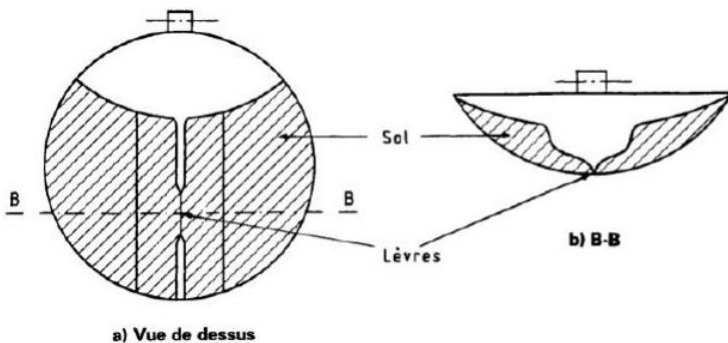
MODE OPÉRATOIRE

1) Faire une rainure dans l'axe de la coupelle à l'aide de l'outil à rainurer. L'outil étant sensiblement perpendiculaire à celle-ci.



Réalisation de la rainure.

2) Faire Tourner la manivelle de manière très régulière, raison de deux chocs par seconde. On observe le fond de la rainure et on compte le nombre de chocs nécessaires pour que celle-ci referme sur 1 cm environ.



Fermeture de la rainure

Par définition, la limite de liquidité W_L est la teneur en eau qui correspond à la fermeture de la rainure sur 1 cm de longueur en 25 chocs

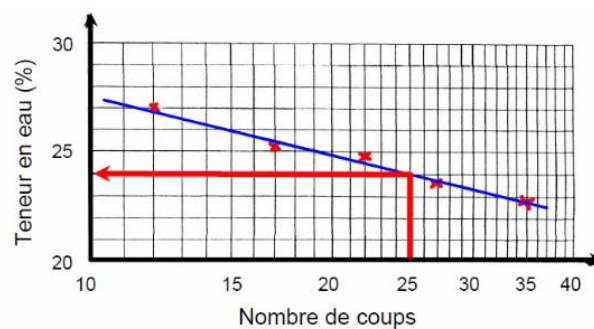
3) Recommencer l'opération 4 à 5 fois avec des teneurs en eau décroissantes et telles que le nombre de chocs à chaque essai soit compris entre 15 et 35 :

* Si le nombre de chocs (n) a été inférieur à 15, laisser sécher un peu ;

* Si le nombre de chocs n est supérieur à 35, humidifier légèrement et bien homogénéiser le sol avant de reprendre l'essai.

Pour chaque essai tel que $15 < n < 35$, déterminer la teneur en eau W (voir Essai de teneur en eau).

La limite de liquidité est déterminée à partir de la représentation graphique et la teneur en eau W, mesurée à chaque essai en fonction du logarithme du nombre de coups (N) correspondant.



DÉTERMINATION DE W_p

Détermination de la limite de plasticité : W_p

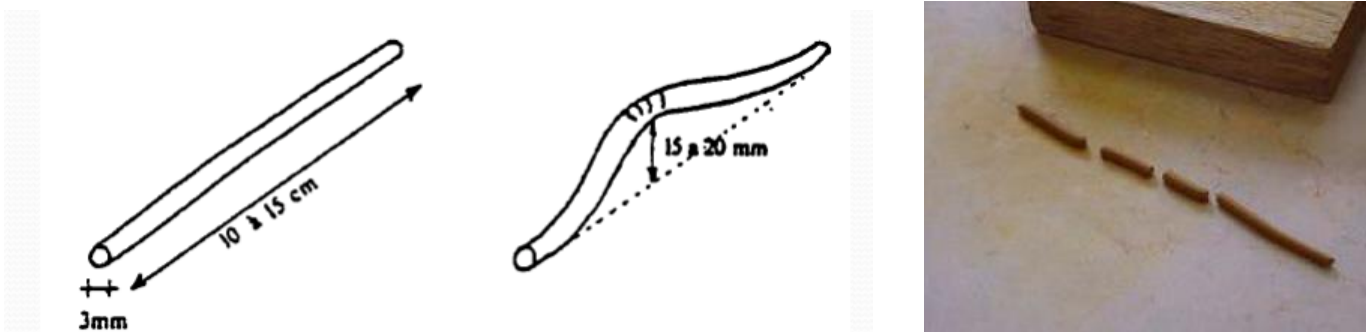
La limite de plasticité W_p est inférieure à W_L . Il faut donc laisser sécher l'échantillon un peu plus.

1) Faire une boulette de sol grosse comme une noisette (environ 12 mm de diamètre) et en faire un cylindre en la roulant sur la plaque de marbre propre ; lisse et sèche.



Cette opération se fait à la main, ou en utilisant une plaque plane, par un mouvement alternatif d'environ un aller et retour par seconde.

Par définition, la limite de plasticité W_p , est la teneur en eau du cylindre qui se brise lorsque son diamètre atteint 3 mm. Cette teneur en eau doit être déterminée immédiatement, le cylindre terminé doit avoir 10 à 15 cm de longueur.



Dans la pratique, procéder ainsi :

- 1) Confectionner le cylindre de 3 mm. S'il se brise avant d'atteindre ce diamètre, le matériau est trop sec, il faut alors le ré humidifier légèrement.
- 2) S'il ne s'est pas brisé ; le soulever en son milieu de 15 à 20 mm. La limite de plasticité est atteinte si la rupture se produit pendant ce soulèvement.
- 3) On effectue alors directement la mesure de la teneur en eau W sur le rouleau de sol
- 4) Si la rupture ne se produit pas, laisser le teneur en eau diminuer.
- 5) L'essai est effectué une deuxième fois. Les teneurs en eau obtenues ne devront pas s'écarter de plus de 2 % de la valeur moyenne, si non un nouvel essai est à effectuer.
- 6) (W_P) est la moyenne arithmétique des teneurs en eau obtenues à partir des deux essais.

INDICE DE PLASTICITÉ I_P

Rappelons que cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité.

$$I_p = W_L - W_P$$

Un sol, dont l'indice I_P est grand, est très sensible aux conditions atmosphériques, car plus I_P est grand plus le gonflement par humidification de la terre et son retrait par dessiccation seront importants.

I_P précise donc aussi les risques de déformation du Sol.

Indice de plasticité I_P	Etat du sol
0 - 5	Non plastique
5 - 15	Plastique
15 - 40	Peu plastique
> 40	Très plastique

Ordres de grandeur:

- Argile	$I_p > 30$
- Argile limoneuse	$20 < I_p < 30$
- Limon	$10 < I_p < 20$
- Sable argileux	$5 < I_p < 20$
- Sable limoneux	$5 < I_p < 15$

Interprétation de I_P et Ordre de grandeur

INDICE DE CONSISTANCE IC

Rappelons que cet indice prend la teneur en eau W du sol à l'état naturel pour la fraction inférieure à 0.4mm.

$$I_C = (W_L - W) / I_P$$

La comparaison de la teneur en eau naturelle W d'un sol et des limites d'Atterberg permet de se faire une idée de l'état d'une argile qu'on peut caractériser par son indice de consistance.

I_c croît en même temps que la consistance du sol. A partir de 1, le sol peut être éventuellement réutilisé en remblai (Matériau Utilisable).

Indice de consistance I_c	Etat du sol
$I_c > 1$	Solide
$0 > I_c > 1$	Plastique
$I_c < 0$	Liquide

Interprétation de IC et Ordre de grandeur