

Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

1. DEFINITION ET BUT DE L'ESSAI :

- La particularité des sols **fins** est que, leur **consistance** varie fortement en fonction de leur **teneur en eau**. 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) (Figure 1),
- Les limites d'Atterberg (Figure 1) 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)
- Ces limites ont été élaborées en 1911 par l'agronome suédois **Atterberg**. Les essais mis au point à cette époque ont été repris et modifiés par **Casagrande** en 1932.
- 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.
- Il existe d'autres limites d'Atterberg, mais les deux ici mentionnées sont les principales et les autres, quoique intéressantes, sont peu utilisées. Ces deux limites sont utilisées afin de déterminer la classification des sols.

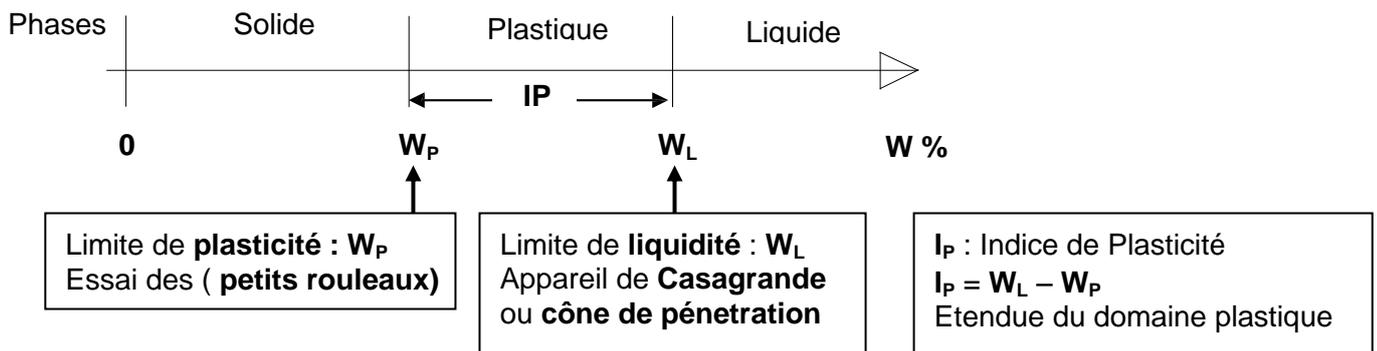


Figure 1 : Représentation des limites d'Atterberg

- A partir de ces limites on détermine deux paramètres :
 1. **Indice de plasticité I_P** : Cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité (Figure 1): $I_P = W_L - W_P$
 2. **Indice de consistance I_c** : Cet indice prend la teneur en eau W du sol à l'état naturel pour la fraction inférieure à 0.4mm :

$$I_c = \frac{W_L - W}{I_P}$$

2. PRINCIPE DE LA METHODE :

- L'essai s'effectue en deux phases :
 1. Recherche de la limite de liquidité à l'aide de l'appareil de Casagrande ou le cône de pénétration.
 2. Recherche de la limite de plasticité par formation de rouleaux de **3 mm** de diamètre.

3. Equipement nécessaire

3.1. Pour la préparation du sol :

- Tamis à mailles carrées de 0.4 mm d'ouverture,
- Bac de manutention (30 x 20 x 8 cm).
- Récipient de 2 l.

3.2. Pour la détermination de W_L :

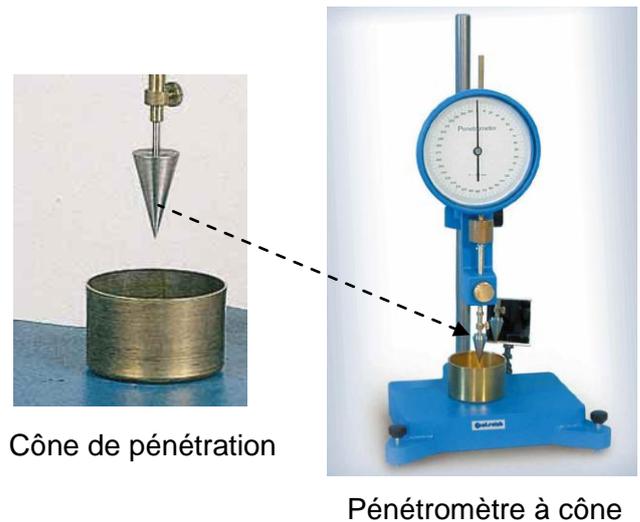
- Appareil de Casagrande (NF P 94-051) (figure 2), il est constitué d'une coupelle normalisée (coupelle lisse pour la majorité des essais et coupelle rugueuse pour les échantillons sableux qui ont tendance à glisser sur la surface de la coupelle lors de chaque choc), montée sur un support métallique avec manivelle, le tout étant fixé sur un socle en bois dur . L'ensemble permet de faire tomber la coupelle d'une hauteur de 10 mm sur le socle, chaque choc entraînant la fermeture progressive de la rainure pratiquée dans l'échantillon de sol , celle-ci ayant été effectuée à l'aide de l'outil à rainurer.



Figure 2 : Appareil de Casagrande et Outil à rainurer

- Cône de pénétration (NF P 94-052-1) (figure 3) , un socle avec son dispositif de réglage de l'horizontalité ,une tige verticale sur laquelle coulisse une pince de blocage,un dispositif de mesure de déplacement du cône et un récipient cylindrique rigide (verre, métal...).

Figure 3 : Cône de pénétration



3.3. Pour la détermination de W_p :

- une plaque lisse en marbre pour le malaxage du sol et la confection des rouleaux de sol, une plaque de verre et sa cale pour l'évaluation du diamètre du rouleau de sol.
- une plaque de verre et sa cale pour l'évaluation du diamètre du rouleau de sol (figure 4).

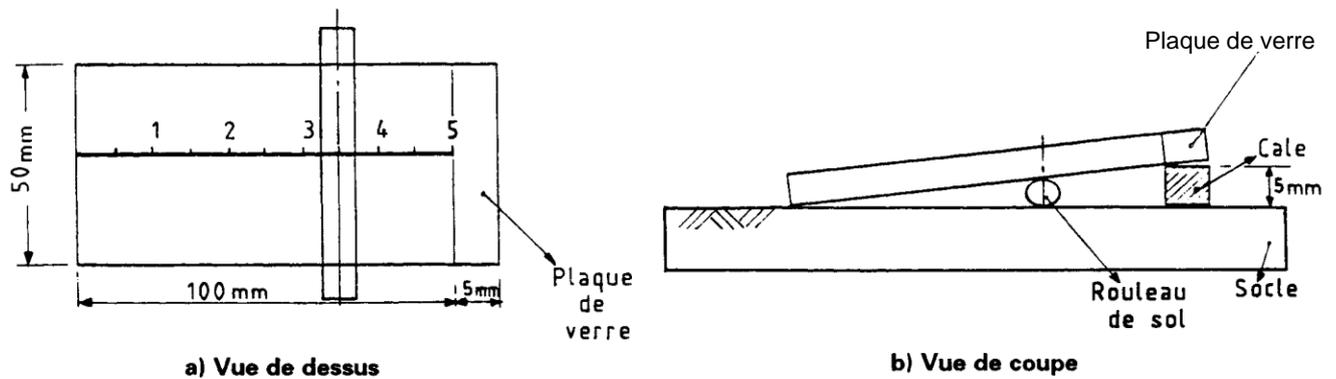


Figure 4 : Système d'évaluation du diamètre du rouleau de sol

4. CONDUITE DE L'ESSAI

4.1. 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 ce matériau 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.
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.
 - L'échantillon ainsi préparé doit contenir environ 200 g de particules solides.

4.2. Détermination de la limite de liquidité W_L avec l'appareil de Casagrande (NF P 94-051) :

- **Mise en place de l'échantillon.** Il 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 (figure 5).

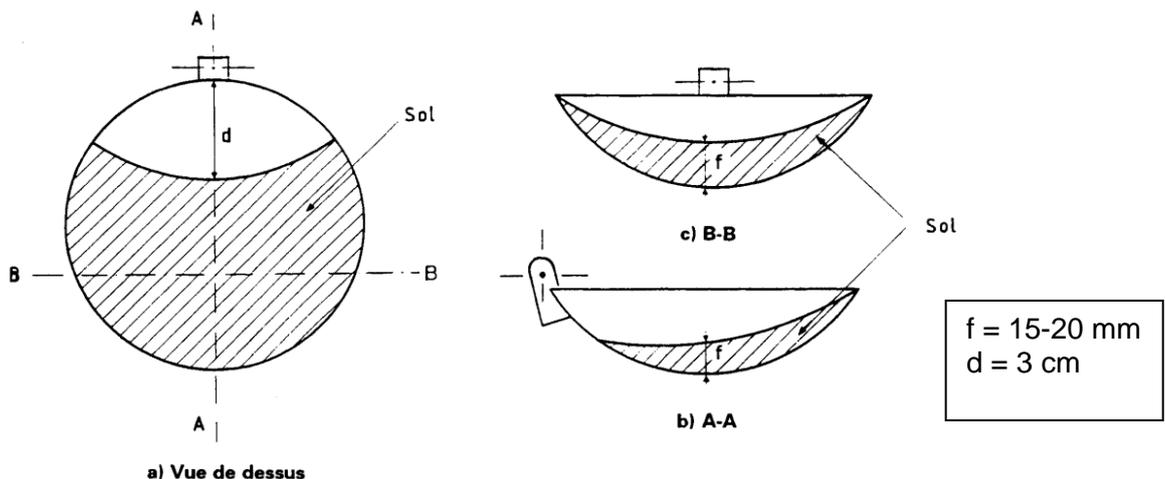


Figure 5 : Mise en place de l'échantillon dans la coupelle

- **Description de l'essai :**

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 (figure 6).

2. 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.

- Par définition, la **limite de liquidité** est la **teneur en eau** qui correspond à la fermeture de la rainure sur **1 cm** de longueur en **25 chocs** (figure 7)..

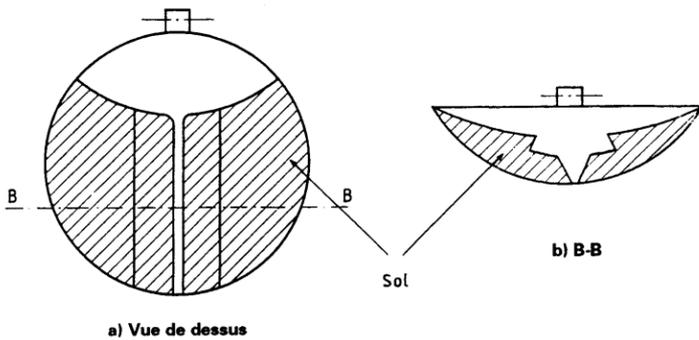


Figure 6 : Réalisation de la rainure

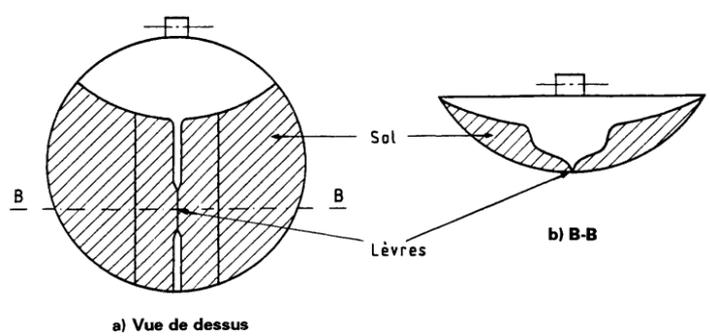


Figure 7 : Fermeture de la rainure

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).

• **Expression des résultats :**

• La limite de liquidité est déterminé à partir de la représentation graphique et la teneur en eau w , mesurée à chaque essai, en fonction du logarithme du nombre de coups correspondant.

• La limite de liquidité est la teneur en eau lue sur le graphique pour $N= 25$ coups. Elle s'exprime en pourcentage arrondi au nombre entier le plus proche (figure 8).

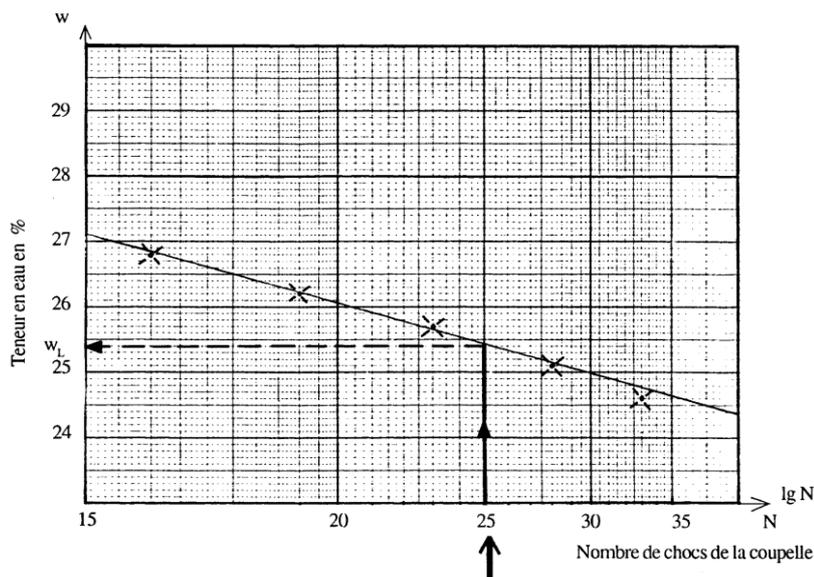


Figure 8 : Exemple de représentation de $w = f(\log N)$. Détermination de W_L

5. Indice de plasticité I_p

- Rappelons que : $I_p = W_L - W_P$
- 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 matériau.

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	$5 < I_p < 15$

Remarque :

- Si $I_p = W_L - W_P$ se trouve à la limite entre le mortier non-plastique et le mortier limoneux, c'est à-dire quand $5 < I_p < 10$. Dans cet intervalle, les résultats entre deux essais peuvent être assez dispersés suivant la préparation et suivant l'opérateur. Il faut donc tenir compte dans ce cas précis de l'analyse granulométrique complète et de l'équivalent de sable pour caractériser le matériau.

En dessous de **5**, l'indice de plasticité perd toute signification. Faire l'essai d'équivalent de sable.

6. Indice de consistance I_c :

- Rappelons que :

$$I_c = \frac{W_L - W}{I_p}$$

- 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 .
- L'indice de consistance croît en même temps que la consistance du sol. A partir de 1, le sol peut être éventuellement réutilisé en remblai (on peut travailler).

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

Laboratoire de mécanique des sols

RAPPORT D'ESSAI

1. But :

.....

.....

.....

2. Intérêt en génie civil :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Résultats :

3.1. La limite de liquidité W_L avec l'appareil de Casagrande (NF P 94-051) :

Essai №	1	2	3	4	5
Numéro de la tare					
Nombre de coups					
Masse totale humide (Tare+sol humide) : m_2 (g)					
Masse totale sèche (Tare+sol sec) : m_3 (g)					
Masse de la tare : m_1 (g)					
Masse d'eau évaporé : $m_w = m_2 - m_3$ (g)					
Masse de sol sec : $m_d = m_3 - m_1$ (g)					
Teneur en eau en W %					
Limite de liquidité W_L %					