

Module :
Géologie de l'ingénieur

Chapitre 1 : propriétés physiques des sols :

1. Définition :

Un sol est un complexe de trois éléments :

- 1.1. Des grains de sols
- 1.2. Eau
- 1.3. Aire (ou gaze)

L'assemblage des grains solides forme le squelette du sol

Lorsque l'eau remplit tous les vides, il n'y a pas d'aire, le sol est dit saturé.

Dans le cas contraire, l'eau se dépose par attraction capillaire en un film plus au moins épais autour des grains solides.

2. Structure des soles :

2.1. Classification des grains solides

Les grains solides sont classés selon leur taille (D)

On distingue :

1. Blocs rocheux..... $D > 200\text{mm}$
2. Cailloux..... $200 > D > 20\text{mm}$
3. Graviers..... $20 > D > 2\text{mm}$
4. Sables grossiers..... $2 > D > 0.2\text{mm}$
5. Sables fins..... $0.2 > D > 20 \cdot 10^{-3}\text{mm}$
6. Limons $20 \cdot 10^{-3} > D > 2 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$
7. Argiles..... $2 \cdot 10^{-3} > D$

3. Classification géotechnique des sols :

- Il est habituel de caractériser les sols à l'aide d'essais relativement simples.

- Ces essais sont appelés essais d'identification.
- Les principaux essais sont les suivantes :
 1. L'analyse granulométrique
 2. Détermination des limites d'Atterberg.
 3. Valeur de bleu (méthode de la tache)
 4. Equivalent de sable
 5. Teneur en eau

3.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions de différentes tailles dans le sol.

Elle s'effectue par :

1. Tamisage pour les grains $> 80 \cdot 10^{-3}$ mm
 2. Sédimentométrie pour les grains les plus fins
- L'essai consiste à laisser une suspension de sol se déposer au fond d'une éprouvette pleine d'eau
 - Plus les grains sont fins plus la vitesse de décantation est lente.
 - La mesure de densité de la suspension à des intervalles de temps variables permet de calculer la proportion de grains de chaque diamètre.
 - Les résultats sont exprimés sous forme d'une courbe appelé courbe granulométrique qui donne le pourcentage cumulé d'élément de dimension inférieur à chaque diamètre.

3.2. Limite d'Atterberg (activité des argiles)

-Les limites d'Atterberg ont pour but de définir les états d'humidité correspondant aux limites entre ces trois états : l'état d'humidité du sol étant exprimé par sa teneur en eau.

-la teneur en eau d'un sol est le rapport entre le poids d'eau contenu dans un certain volume de sol et le poids des grains solides contenus dans le même volume

-elle s'exprime en % et symbole : W

a) la limite de liquidité WL , traduit le passage entre l'état liquide et plastique

b) la limite de plasticité WP, correspond au passage entre l'état plastique et l'état solide

c) ces caractéristiques sont complétées par l'indice de plasticité $IP = WL - WP$

Les valeurs de IP, WL, et WP sont fonction de la proportion et de l'activité des particules argileuse contenues dans le sol.

La mesure de limite d'Atterberg se fait par la méthode de la coupelle et du rouleau.

L'activité d'une argile AC , se définit comme suite :

$AC = IP / \%$ (éléments inférieur $0.2 \cdot 10^{-3}m$)

3.3. Valeur au bleu :

Cet essai est une mesure indirecte de la surface spécifique des grains solides par adsorption d'une solution de bleu de méthylène jusqu'au saturation

-les valeur de VBS s'exprime en grammes de bleu pour 100g de sol

VBS < 0.2 : sol sableux

$0.2 < VBS < 2.5$: sol limoneux

2.5 < VBS < 6 : sol limono-argileux

6 < VBS < 8 : sol argileux

VBS < 8 : sol très argileux

3.4. Equivalent de sable :

L'équivalent de sable n'est s'intéresse que pour caractériser les sols sableux contenant très peu de particules fines.

- Il est donc surtout utilisé pour les granulats routiers et les sables pour béton.
- Il varié pratiquement de 10 à 100
- Equivalent de sable de 100 correspond à un sol qui ne contient ni argile ni limon
- ES chute très rapidement dès qu'il y a un faible pourcentage de limon et argile dans le sol.
- A titre d'exemple : une valeur minimale de ES est imposé pour les sables utilisés dans la fabrication des bétons, cette valeurs min ES = 60 à 50

3.5. Teneur en matière organiques

La présence de matière organique en quantité notable modifié considérablement le comportement des sols et remet en cause leur stabilité volumique dans le temps.

Les sols organiques comprennent notamment les vases, alluvions récentes ainsi que la terre végétale.

Les mesures de pourcentage pondéral de matières organiques se fait par analysé chimiques.

Un sol peut être considéré comme organique lorsque $MO > 3\%$

4. Caractéristiques pondérales des sols

4.1. Représentation pondérale du sol

Les essais précédents ne concernent que les propriétés de la phase solides

Ces essais peuvent être réalisés sur des échantillons remaniés tels que ceux prélevés à la pioche et la pelle dans un puits et places en vrac dans des sacs

- Pour mesurer les caractéristiques pondérales d'un sol, il est nécessaire de préserver la structure du squelette ainsi que la teneur en eau du sol telle qu'elles existent in-situ.
- Les échantillons présentant ces propriétés sont appelés échantillons non remaniés.
- Un sol étant composé de grains solides, d'eau et d'air, on peut mentalement, rassembler chaque phase en un volume partiel unique de section unité.
- Les notations suivantes sont adoptées :

V_s = volume occupé par les grains solides,

V_w = volume occupé par l'eau,

V_a = volume occupé par l'air,

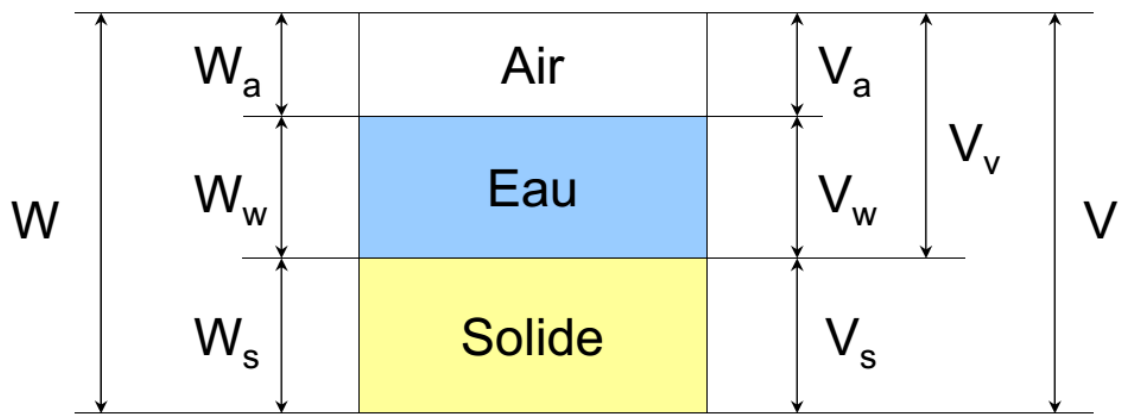
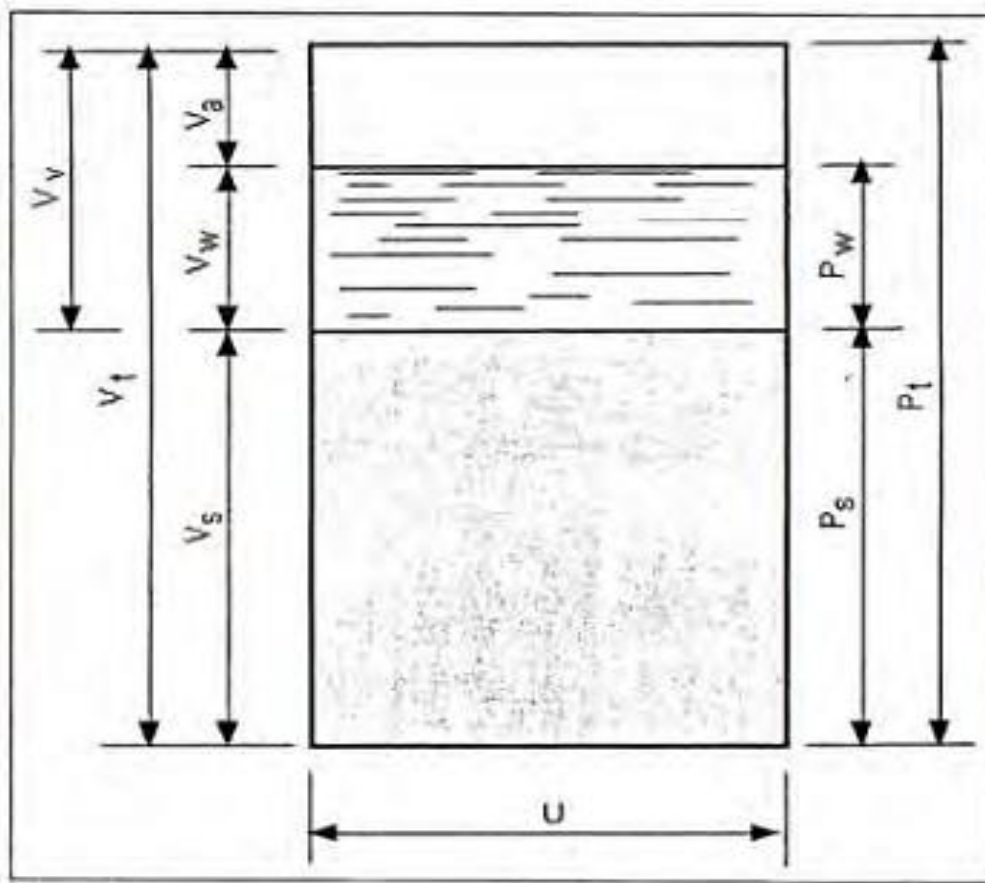
V_v = volume total des vides = $V_w + V_a$,


V_t = volume total = $V_s + V_w + V_a = V_s + V_v$,

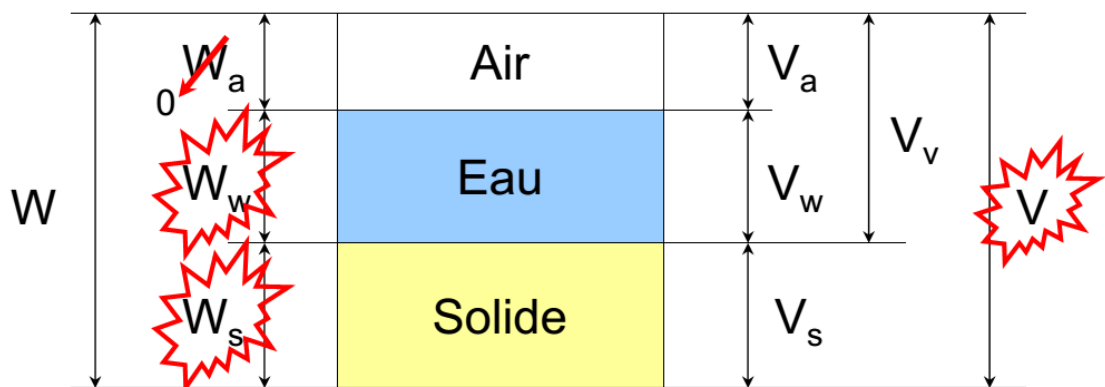
P_s = poids des grains solides contenus dans le volume V_t ,

P_w = poids de l'eau contenue dans le volume V_t , le poids de l'air étant négligé,

P_t = poids total = $P_s + P_w$.



grandeurs mesurables 



4.2. Principales caractéristiques des sols :

Appellation et définition	Symbole	Norme	Expression	Unité et ordre de grandeur des valeurs numériques
Teneur en eau (Poids d'eau/poids de sol sec)	w	NF P 94-050	$\frac{P_w}{P_s} \times 100$	Pourcentage Sable.....2 à 15 Limon.....10 à 30 Argile moyenne à raide.....20 à 50 Argile molle.....50 à 100 Vase et tourbe.....80 à 300
Poids volumique apparent	γ	—	$\frac{P_w + P_s}{V_t}$	kN/m^3 Sable.....17 à 20 Argile.....16 à 22 Tourbe.....13 à 17
Poids volumique sec	γ_d	NF P 94-053	$\frac{P_s}{V_t}$	kN/m^3 Sable.....14 à 18 Argile.....10 à 20 Tourbe.....3 à 10
Poids volumique des grains solides	γ_s	NF P 94-054	$\frac{P_s}{V_s}$	kN/m^3 Tous sols à l'exception des minerais et tourbes..... $\gamma_s \# 26 \text{ à } 30$
Degré de saturation (Volume d'eau / volume total occupé par les vides)	S_r	—	$\frac{V_w}{V_v} \times 100$	Pourcentage 0 à 100 % selon l'état d'humidité
Sol saturé Tous les vides sont remplis d'eau			$V_a = 0$	$S_r = 100 \%$
Teneur en eau de saturation Pour un sol de poids volumique sec donné, c'est la teneur en eau nécessaire pour avoir $S_r = 100 \%$	w_{sat}	—	$V_a = 0$ $S_r = 100 \%$	Pourcentage Observation : lorsque le sol est saturé, une augmentation de teneur en eau ne peut être provoquée que par un gonflement du sol.
Poids volumique saturé Poids volumique apparent du sol saturé	γ_{sat}	—	$\frac{P_w + P_s}{V_t}$ avec $V_a = 0$	kN/m^3 Tous sols à l'exception des vases et des tourbes..... $\gamma_{sat} = 19 \text{ à } 22$

Appellation et définition	Symbole	Norme	Expression	Unité et ordre de grandeur des valeurs numériques
Indice des vides (Volume des vides / volume des pleins)	e	—	$\frac{V_a + V_w}{V_s} = \frac{V_v}{V_s}$	Sans dimension Sable.....0,5 à 1 Limon.....0,4 à 1 Argile compacte.....0,3 à 0,5 Argile moyenne.....0,5 à 1 Argile molle, vase.....1 à 4
Porosité (Volume vide / volume total)	n	—	$\frac{V_v}{V_t}$	Sans dimension
Poids volumique immergé (ou poids volumique déjaugé)	γ'	—	$\gamma_{sat} - \gamma_w$	$\frac{0,1 \text{ kg}}{\text{m}^3}$ kN/m ³ Avec : γ_w = poids volumique de l'eau $\gamma_w = 10$ $\gamma' = 9$ à 12 sauf pour les vases et les tourbes
Indice de compacité des sols pulvérulents (ou densité relative) avec e_{min} et e_{max} : indices des vides minimal et maximal selon l'essai normalisé	I_d	NF P 94-059	$I_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100$	Pourcentage Sable très lâche.....0 à 20 Sable lâche.....20 à 40 Sable moyen.....40 à 60 Sable dense.....60 à 80 Sable très dense....80 à 100 Nota Dans le langage courant, le terme <i>densité relative</i> est souvent utilisé au lieu d'indice de compacité.

4.3. RELATIONS ENTRE LES PARAMÈTRES PONDÉRAUX

Les essais de laboratoire permettent de mesurer :

– la teneur en eau naturelle du sol

$$w = \frac{P_w}{P_s}$$

– le poids volumique apparent

$$\gamma = \frac{P_w + P_s}{V_t}$$

– le poids volumique des grains solides

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s}$$

Exercice

1. Une argile saturée a un poids volumique $\gamma = 20,5 \text{ kN/m}^3$ et un poids volumique des grains solides $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$. Calculer γ' , w , γ_d , e et n sachant que $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$.

RÉPONSE $\gamma' = 10,5 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_d = 16,68 \text{ kN/m}^3$; $w = 22,9 \%$; $e = 0,619$ et $n = 0,382$.