

Filière Génie Civil – 3^e année

Cours de

GÉOTECHNIQUE 1

Préparé par : Mme. Asmae Hakim

Plan du cours :

- Généralités
- Propriétés physiques des sols.
- Identification des sols.
- Classification des sols.
- Compactage des sols.
- Hydraulique souterraine
- Contraintes dans le sol.
- Déformation des sols : Tassement et consolidation

Généralités

La Géotechnique ou la mécanique des sols est la science qui étudie les propriétés du sol et son comportement sous l'effet des actions et charges qui lui sont appliquées.

À partir d'essais in-situ ou au laboratoire, elle fournit aux constructeurs les données nécessaires pour étudier les ouvrages de génie civil et assurer leur stabilité en fonction des sols sur lesquels ils doivent être fondés, ou avec lesquels ils seront construits (barrages en remblais).

Les sols peuvent :

- Supporter les ouvrages : fondations superficielles ou profondes...
- Être supportés : Talus (murs de soutènement), rideaux de palplanches
- Constituer l'ouvrage lui-même : remblais, digues, barrages...

Étapes d'une étude géotechnique

- Visite du site (observations, topographie, végétation, signes d'instabilité...)
- Investigations géotechniques in-situ (Sondages, forages, essais in-situ)
- Prélèvement des échantillons.
- Essais au laboratoire
- Interprétation des résultats.
- Recommandations (Types de fondations adaptées, précautions en fonction des risques.)

Objectif de la géotechnique

Résultats des essais

```
graph TD; A[Résultats des essais] --> B[Données nécessaires pour étudier les ouvrages de génie civil (stabilité) :  
Nature du sol, capacité portante, présence et niveau de la nappe phréatique,... etc.];
```

Données nécessaires pour étudier les ouvrages de génie civil (stabilité) :
Nature du sol, capacité portante, présence et niveau de la nappe phréatique,... etc.

Chapitre 1:

Propriétés physiques des sols

Éléments constitutifs d'un sol

1- Éléments constitutifs d'un sol :

Les sols sont des matériaux meubles, poreux, hétérogènes et souvent anisotrope. Ils sont composés par un mélange de :

- ❑ **Éléments solides** : matériaux, minéraux ou organiques. Ils proviennent de la désagrégation mécanique et/ou chimique d'une roche mère.
- ❑ **Eau** : existe sous différentes formes ; liées ou libres.
- ❑ **Gaz** : Contenu dans les vides qui existent entre les grains solides. C'est l'air pour un sol sec ou mélange d'air et de vapeur d'eau pour un sol humide.

Sol = phase liquide + phase solide + phase gazeuse.

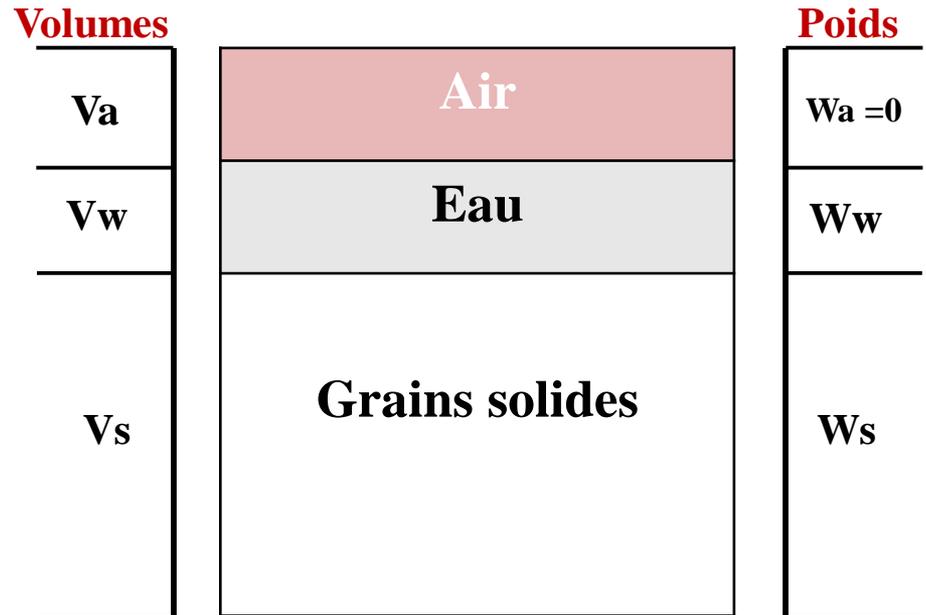
Caractéristiques physiques

2- Caractéristiques physiques des sols :

2-1- Modèle élémentaire d'un sol :

Avant d'analyser le comportement mécanique des sols, il est nécessaire de définir certains paramètres intrinsèques aux sols, qui se rapportent à ses différentes phases.

Pour cela, on peut rassembler chaque phase en un volume partiel de l'échantillon de sol, et on considère la représentation suivante :



Caractéristiques physiques

2- Caractéristiques physiques des sols :

2-1- Modèle élémentaire d'un sol :

Notations conventionnelles :

W: Poids total du sol

Ws : Poids des particules solides

Ww: Poids de l'eau

Avec les relations :

$$W = W_s + W_w$$

V: Volume total (apparent)

Vs: Volume des particules solides

Vw: Volume de l'eau

Va: Volume de l'air

Vv: Volume des vides

$$V_v = V_w + V_a$$

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

Caractéristiques physiques

2- Caractéristiques physiques des sols :

On peut classer les caractéristiques physiques du sol dans deux catégories : paramètres *dimensionnels* et *sans dimensions (d'état)*.

2-2- Paramètres dimensionnels (de nature) :

Autre que le poids et le volume, on définit les poids volumiques :

- **Poids volumique (spécifique) total ou humide :**

$$\gamma = \frac{W}{V} \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

- Sable $\approx 17\text{-}20 \text{ kN/m}^3$
- Argile $\approx 16\text{-}22 \text{ kN/m}^3$

- **Poids volumique des grains solides :**

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

- Sable et argile $\approx 26\text{-}27 \text{ kN/m}^3$

- **Poids volumique de l'eau :**

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w} = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

(On prend souvent $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$)

Caractéristiques physiques

2- Caractéristiques physiques des sols :

2-2- Paramètres dimensionnels (de nature) :

- **Poids volumique du sol sec γ_d (d: dry):**

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Si le sol est sec $\gamma = \gamma_d$.

- **Poids volumique du sol saturé γ_{sat} :**

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + \gamma_w V_v}{V}$$

Lorsque tous les vides sont remplis d'eau ($V_v = V_w$)

- **Poids volumique du sol déjaugé γ' :**

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

Il est pris en compte lorsque le sol est entièrement immergé. Il tient compte de la présence de l'eau qui remplit tous les vides et de la poussée d'Archimède.

Parfois on utilise les densités par rapport à l'eau : $G_i = \gamma_i / \gamma_w$

Caractéristiques physiques

2- Caractéristiques physiques des sols :

2-3- Paramètres sans dimensions (d'état) :

Ils indiquent dans quelles proportions existent les différentes phases d'un sol.

- **Porosité η** : pourcentage des vides dans le sol \Rightarrow Sol lâche ou serré

$$\eta = \frac{V_v}{V} (< 1)$$

- **Indice des vides e** :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

L'indice des vides peut être supérieur à 1.

- **Teneur en eau ω** : Quantité d'eau dans le sol

$$\omega(\%) = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

- **Degré de saturation S_r** : degré d'eau présent dans les vides

$$S_r(\%) = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 \quad (0 \leq S_r \leq 100\%)$$

 Sol saturé

Caractéristiques physiques

2- Caractéristiques physiques des sols :

2-4- Relations entre les paramètres :

Les paramètres précédemment définis ne sont pas indépendants.

En effet, afin de caractériser un sol, il est nécessaire de déterminer au moins 3 paramètres indépendants (le poids volumique de l'eau γ_w étant connu) de la manière suivante :

- Un paramètre quantifiant le poids volumique : γ ou γ_s ou γ_d .
- Un paramètre quantifiant l'importance des vides : e ou η .
- Un paramètre quantifiant la présence de l'eau : ω ou S_r .

⇒ Le reste des caractéristiques physiques du sol est déduit des relations reliant les paramètres.

Ces relations sont résumées dans la figure ci-après :

$$[1] \quad n = \frac{V_v}{V} \quad *$$

$$[2] \quad n = \frac{e}{1+e}$$

$$[3] \quad n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$$

$$[4] \quad n = \frac{\gamma_s - \gamma_{sat}}{\gamma_s - \gamma_w}$$

$$[13] \quad S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad *$$

$$[16] \quad \gamma = (1+w)(1-n)\gamma_s$$

$$[19] \quad \gamma = \gamma_d + n \cdot S_r \cdot \gamma_w$$

$$[22] \quad \gamma_d = (1-n)\gamma_s$$

$$[25] \quad \gamma' = (1-n)(\gamma_s - \gamma_w)$$

$$[5] \quad e = \frac{V_v}{V_s} \quad *$$

$$[6] \quad e = \frac{n}{1-n}$$

$$[7] \quad e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$$

$$[8] \quad e = \frac{\gamma_s - \gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w}$$

$$[14] \quad S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{w}{e}$$

$$[17] \quad \gamma = \frac{1+w}{1+e} \cdot \gamma_s$$

$$[20] \quad \gamma = \frac{\gamma_s + e \cdot S_r \cdot \gamma_w}{1+e}$$

$$[23] \quad \gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}$$

$$[26] \quad \gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e}$$

$$[9] \quad w = \frac{W_w}{W_s} \quad *$$

$$[10] \quad w = e \cdot S_r \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$$

$$[11] \quad w = \frac{\gamma}{\gamma_d} - 1$$

$$[12] \quad w = S_r \cdot \gamma_w \left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right)$$

$$[15] \quad S_r = \frac{w}{W_{sat}} \quad (\gamma_d \text{ constant})$$

$$[18] \quad \gamma = (1+w)\gamma_d$$

$$[21] \quad \gamma = (1-n)\gamma_s + n \cdot S_r \cdot \gamma_w$$

$$[24] \quad \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad *$$

$$[27] \quad \gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_s} \cdot \gamma_d$$

Caractéristiques physiques

EXERCICE : Démontrer les relations suivantes :

$$1. e = \frac{\eta}{1-\eta}$$

$$2. \eta = \frac{e}{1+e}$$

$$3. \omega = e \cdot S_r \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$$

$$4. e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$$

$$5. \omega = \frac{\gamma}{\gamma_d} - 1$$

$$6. S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{e}$$

$$7. \gamma = (1 + \omega)(1 - \eta) \cdot \gamma_s$$

$$8. \gamma = \frac{1+\omega}{1+e} \cdot \gamma_s$$

$$9. \gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_s} \cdot \gamma_d$$

$$10. \gamma = \gamma_d + \eta S_r \gamma_w$$

$$11. \gamma = (1 - \eta) \cdot \gamma_s + \eta S_r \cdot \gamma_w$$

$$12. \gamma' = (1 - \eta) \cdot (\gamma_s - \gamma_w)$$