

Propriétés physiques des sols.

1. Indice des vides:

Porosité: l'air et l'eau peuvent se substituer l'un à l'autre sans déformer l'édifice (vide) des particules solides. On considère souvent le volume total occupé par l'ensemble des éléments et l'on appelle volume des vides.

Soit  $V$  le volume total de l'échantillon du sol et  $V_s$  le volume total des particules solides.  
le volume des vides  $(V - V_s)$ .

• le porosité ( $n$ ) c'est le rapport du volume des vides au volume total  $\left(\frac{V_v}{V}\right)$ .

• Indice des vides ( $e$ ): c'est le rapport du volume des vides au volume du solide.

$$n = \frac{V - V_s}{V} = 1 - \frac{V_s}{V}$$

$$\Rightarrow V_s = V(1 - n)$$

$$e = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1 \Rightarrow V = V_s(1 + e)$$

$$(1 - n)(1 + e) = 1 \Rightarrow n = \frac{e}{1 + e}$$

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

Pour un sol théorique formé de grains sphériques égaux. L'indice des vides est compris entre 0,35 et 0,82, alors que la porosité est comprise entre 0,26 et 0,48 suivant l'arrangement des sphères. L'expérience montre que c'est les grains sont l'indice des vides minimale lorsque les diamètres des sphères sont en progression géométrique de raison comprise entre  $\frac{1}{4}$  et  $\frac{1}{5}$ .

Dans les argiles l'indice des vides peut atteindre une grande valeur. On connaît les argiles à la limite de liquidité le volume des vides est 13 fois celui des grains donc  $e = 13$  et  $n = 0,83$ .

### Poids volumique et la densité des sols.

Dans la mécanique des sols, on considère souvent les forces pesanteur. On fait l'usage de la notion du poids volumique et on emploie dans le même sens la notion de la densité.

En considérant les volumes et les poids de l'échantillon du sol. on définit 3 poids volumiques différents.

1. Densité humide: de  $\gamma = \frac{P_s + P_e}{V}$  :

C'est le rapport du poids total de l'échantillon au volume total



2. Densité sèche:  $\gamma_d = \frac{P_s}{V}$ .

Elle représente le rapport du poids des éléments solides seulement au volume total  $V$ .

3. Poids volumique solide:  $\gamma_g = \frac{P_s}{V_s}$ .

C'est le rapport du poids des éléments solides au volume sec des éléments solides.

Notion de teneur en eau ( $\omega$ ).

La teneur en eau définit la proportion en poids des phases liquides et solides.

La mesure de la teneur en eau s'effectue comme suite :

1. On pèse l'échantillon naturel.
2. On chauffe l'échantillon à  $105^\circ$  et on le pèse. La valeur de teneur en eau <sup>que</sup> peut contenir. L'échantillon peut être considéré comme sec. La différence entre le poids humide et le poids sec, divisé par le poids sec.

$$\omega = \frac{P - P_s}{P_s}$$

## Relation entre porosité et la densité :

$$V = V_s(1+e), \quad V_s = (1-n)V.$$

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V} = \frac{P_s}{(1+e)V_s} = \frac{P_s(1-n)}{V_s}.$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e} = \gamma_s(1-n). \quad (\text{C'est la formule qui})$$

permette de calculer l'indice des vides et la porosité si on connaît  $\gamma_s$  et  $\gamma_d$ , on retrouve facilement cela dans le graphe.

Dans le schéma  $V_s$  (volume) du solide est égale à l'unité (1).

Le volume des vides est (e).

Le volume total  $1+e$  et le

poids volume du solide, on

tire 
$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}.$$

Dans le schéma (b), le volume total qui égale à (1), le volume des vides est égale à (n).

Le volume du solide  $1-n$  et connaissant le poids du solide  $\gamma_s$ , on tire  $\gamma_d = \gamma_s(1-n)$



### • Saturation:

On dit que le sol est saturé d'eau c'est-à-dire tout les vides sont remplis d'eau.

Le poids de l'eau est le produit du volume des vides par le poids volumique de l'eau.

$$P_w = V_w \cdot \gamma_w \quad , \quad P_s = \gamma_s (1 - n).$$

• On connaît que le poids de solide d'eau est  $n \cdot \gamma_w$ .

• Le poids de l'eau étant  $n \cdot \gamma_w$ .

• En calculant la densité humide d'un sol saturé est donné par l'expression  $\gamma = \gamma_s (1 - n) + n \gamma_w$ .

### • Notion de densité immergée:

On appelle densité immergée  $\gamma'$  le poids volumique du sol immergé dans une nappe d'eau, situation fait de la poussée hydrostatique qu'elle subit ainsi. On trouve facilement la densité immergée d'un solide selon la formule suivante

$$\gamma' = \frac{P_s + P_w - \gamma_w \cdot V}{V}$$

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w \quad \text{avec : } \gamma : \text{poids volumique humide (solide + liquide)}$$

Preons usol saturé.

la densité humide du sol saturé est:

$$\gamma = \gamma_s (1-n) + n \gamma_w.$$

et la densité immergée  $\gamma' = \gamma - \gamma_w$   
 $= \gamma_s (1-n) + n \gamma_w - \gamma_w.$

$$\gamma' = (\gamma_s - \gamma_w) (1-n).$$

$\gamma'$ : c'est la densité immergée représente le poids des éléments solides soumis à la poussée d'Archimède.

• Poids volumique apparent et définies par  $\gamma_s - \gamma_w$

$$\gamma_{app} = \gamma_s - \gamma_w.$$

• Poids volumique apparent contenir dans l'unité de volume.

• Poids de l'eau  $P_w = e \cdot \gamma_w.$

$$w = \frac{e \cdot \gamma_w}{\gamma_s}$$



Saturation.

$$e = \frac{w \cdot \gamma_s}{\gamma_w}$$

$$\gamma' = \frac{\gamma_s}{1+e} = \frac{\gamma_s \gamma_w}{\gamma_s w + \gamma_w}$$



## des éléments solides dans le sol :

Les parties solides des sols proviennent des roches de la croûte terrestre plus ou moins fragmentées, altérées et transformées. Elles sont constituées en majeure partie de silicate et d'aluminate (argile), de silice (sable) et de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), d'oxyde de fer ( $\text{FeO}_{2-3-4}$ ).

Le  $\text{SiO}_2$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : ces deux éléments constituent à seule près  $\frac{3}{4}$  des oxygène libre ou combiné dans les roches.

Masses volumiques : les minéraux, la croûte terrestre présente tous les particules d'avoir tous une même masse volumique très voisine (très proche) de  $2.65 \text{ g/cm}^3$ . Cela tient à la prépondérance des éléments simples  $\text{O}_2$ , silicium, Aluminium à l'exception de quelques roches gypse de masse volumique quelque feldspaths (2,5), olivine (3,5), hématite (5,2) (minéraux ferreux).

## Granulométrie :

Les sols sont généralement composés des particules solides de dimension très variées et leurs propriétés mécaniques dépendent de la grande ou petite mesure de propriété des éléments.

La distribution en poids des particules solides d'un sol suivant leur dimension est appelée granulométrie.

Si donc la recherche de cette distribution qui est l'objet de la granulométrie.



La granulométrie se fait par tamisage et dont la majorité des cas et compléter par la sédimentométrie. Une caractéristique très utiles pour la connaissance des sols. permet d'identifier les matériaux pulvérulent et cohérent en % en grains de  $\neq$  grosseurs qui compose les matériaux. On sait que les éléments solides se distinguent, en premier lieu par leurs dimensions.

### Classification des matériaux:

Selon leurs dimensions ( $\phi \downarrow$ ) on distingue:

- Les cailloux  $\phi > 20 \text{ mm}$ .
- Graviers  $\phi [20 - 2] \text{ mm}$ .
- Sables gros  $\phi (2 - 0,2 \text{ mm})$
- Limons et silts  $\phi (20 \mu - 0,2 \mu)$
- Ultraréguliers  $\phi < 0,2 \mu$ .

Ces termes ici que une linéification géométrique et ne fournissent aucune indication d'ordre minéralogique.

On appelle mortier d'un sol l'ensemble des éléments posent de tamis de  $0,42 \text{ mm}$ . On appelle fine l'ensemble des éléments passent aux tamis de  $20 \mu$ .

La granulométrie consiste à analyser l'aspectologie, et son résultat permet de prévoir certain propriété des matériaux comme la perméabilité, et l'aptitude de compactage.





. Coefficient d'uniformité : parfois on utilise

coefficient d'uniformité (coe. Hazzen) qui représente  
le rapport  $\frac{\sigma_{60}}{\sigma_{10}}$ .

. Coe de courbure:  $C_c = \frac{(\sigma_{30})^2}{\sigma_{60} \sigma_{10}}$ .

### Tamisage:

Les passoirs et les tamis sont définis  
par des normes. Les diamètres des trous des passoirs  
et les intervalles entre les fils : (ouverture, mailles  
de tamis) sont des termes d'une progression  
géométrique de raison :

$$\sqrt[10]{10} = 1,259.$$

### Sédimentométrie:

Le classement de particule pour tamisage devient  
difficile pour les grains de  $\phi < 100 \mu$ . L'utilisation des tamis  
devient délicate.

On utilise alors la sédimentométrie basée sur  
le phénomène de décentration uniquement pour les particules  
 $\phi < 4 \text{ mm}$ .

On fait appel au phénomène de décentration.  
des particules suspension de l'eau.



## La loi de Stokes:

Elle exprime que les particules sphérique de  $\phi$  (d) en suspension dans un liquide sous entraînement avec une vitesse est.

et on utilise une autre méthode pour prolonger:

- granulométrie au du de 0.1 mm.
- fait appelle au phénomène de décontation des particule en suspension. sous l'eau.

La loi de Stokes: exprime que la particule de  $\phi$  en suspension dans un liquide sous entraînées

(Déposé) avec une vitesse est suivant la formule.

de Stokes:

$$V_{\text{cm/s}} = \frac{g_{\text{cm/s}}}{18\eta} = \frac{\rho_p - \rho_{\text{liquide}}}{18\eta} d^2$$

$\rho_p$ : masse volumique des particule solide.

$\rho_o$ : " " de liquide

$\eta$ : viscosité de liquide

$d$ :  $\phi$  des particules.

Cette loi est applicable à des particules de  $\phi$  compris de 0.2 et le mouvement Brownien. modifie la décontation.

D'après la formule on que la vitesse de décontation est proportionnelle au carré de  $\phi$ .

La loi de Stokes est expérimenté sur des particules sphériques, alors que les argiles, les limons fin, on a

plutôt la forme de disque.

Les particules sont entourées d'une très mince couche d'eau adsorbée qui apparemment les  $\phi$  des particules très fines ce n'est pas exactement le  $\phi$  des particules qui mesuré mais le  $\phi$  des sphères qui démonte.

Si la min vitesse, on dit alors que l'on mesure le  $\phi$  équivalent si le liquide contient en suspension des sphères de même nature et de m<sup>e</sup>  $\phi$  par unité de volume de liquide au bout d'un temps "t" tout les sphères de "d" sont descendues à la m<sup>e</sup> hauteur

$$v_i = \frac{H}{t} \quad , \quad v_i = g \frac{\rho_p - \rho_0}{18\eta} d_i^2 \quad , \quad d_i = \sqrt{\frac{18\eta H}{g(\rho_p - \rho_0)t}}$$

Aeromètre.

### Remarque:

La forme des grains des argiles.

Le granulomètre et le tamisage indique les diamètres des cercles, en la côté des carrés des grains cela veut dire que le granulomètre ne se préoccupe pas de la forme des grains.

Le sédimentométrie ne peut déterminer que les  $\phi$  équivalent. généralement, et les gros limons s'écarte peut des formes cubique ou sphériques. par contre, il est autrement pour les argiles.



L'étude des particules très fines ou microscopiques.  
électronique est par la diffraction des rayons.

On montre que les argiles sont composées de grains ont  
fréquemment la forme de disques plats de l'ordre  $2-0,2\mu$

Les atomes des argiles seraient disposés en couche  
serrées et les couches empilées à la liaison lâche  
on distingue 3 familles d'argile.

- Les kaolinites : utilisée en céramique ont des grains  
compris entre  $2-0,2\mu$ . Les feuillet sont distants  
d'environ  $7\text{\AA}$  ( $0,0007\mu$ ). Les feuillet sont plus  
écartés les uns des autres  $15\text{\AA}$ , en plus de ces 2  
familles, il existe des argiles, les illites qui  
ont des feuillet distants de  $10\text{\AA}$ .

### Surface spécifique:

On appelle surface spécifique  $\Sigma$  la surface totale  
des grains solides par unité de masse. Le rapport  
de la surface totale à la masse de solide,  $\Sigma$  est  
exprimé en  $\text{cm}^2/\text{g}$  ou  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Cette grandeur joue  
un rôle important dans la liaison des matériaux  
solides.

La surface spécifique est très utilisée dans l'étude des  
bétons bitumineux et de la prise du ciment, elle varie en  
raison de l'inverse de la masse volumique ( $\rho$ ) et la  
dimension des grains.

• Pour une sphère de  $\phi$  (d).

$$\Sigma = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{G}{d} = \frac{4.83}{\rho^3 \sqrt{V}}$$

• Pour un cube d'arête  $\Sigma = \frac{1}{\rho} \frac{G}{a} = \frac{G}{\rho^3 \sqrt{V}}$

• Pr disque circulaire: de rayon R et d'épaisseur h.

$$h = \frac{R}{m}$$

$$\Sigma = \frac{2(m+1)}{\rho \cdot R} = \frac{2.8(m+1)}{\rho^3 \sqrt{V}}$$

Cette formule montre que la sp. croît rapidement avec l'aplatissement. m

Application de  $\Sigma$ : ds la technique des noëles bitumineux  $\Sigma_{\text{moy}}$  est de  $135 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

• Les kaolinites  $\Sigma \approx 20$  et  $30 \text{ m}^2/\text{g}$ .

• Les montmorillonites  $\Sigma \approx 150 \text{ m}^2/\text{g} = 150,000 \text{ m}^2/\text{g}$

• Les argiles  $\Sigma$ : est déterminé par l'absorption d'azote à des basses températures

• Poussée de la butée:

