

## Chapitre I

# Caractéristiques physiques des sols

### **I-1 Définition de la Géotechnique**

La géotechnique c'est une science qui englobe toutes les activités liées aux applications de la mécanique des sols, de la mécanique des roches et de la géologie de l'ingénieur

Le sol et la roche font partie des matériaux étudiés par la Géotechnique en vue de les exploiter en tant que matériaux de construction (Barrage, remblai routier, assise pour les fondations, etc) ou en tant que milieu de stockage (déchets ménager et industrielle) et encore comme milieu d'insertion des ouvrages souterrains (tunnel, galeries minières, etc).

L'étude des sols permet le dimensionnement des ouvrages (ponts, bâtiments, etc...) : il a pour objectif de bien choisir les matériaux et les outils à utiliser lors de la construction.

La formation d'un sol résulte en général du dépôt de couches de matériaux souvent différents, correspondant à plusieurs âges Géologiques. Dans un projet de construction, l'étude de l'histoire Géologique d'un sol est importante et peut expliquer plusieurs propriétés physiques et mécaniques d'un sol, ainsi que certains phénomènes dont on doit tenir compte lors de dimensionnement des fondations et des poteaux pendant l'étude.

Un bureau d'études en géotechnique est constitué par des équipes d'ingénieurs et de techniciens spécialisées dans ces domaines, et qui maîtrisent les techniques de construction. Dans ce cours on s'intéressera que de la Mécanique des sols

### **I-2 Formation de sols**

Les sols sont des formations naturelles d'épaisseurs variés constitués suite à l'altération des roches mère à la surface de l'écorce terrestre, sous à l'action de processus physique, chimique et biologique. Les sols contiennent aussi des déchets de nature végétale ou organique. Il y a un sol qui se forme sur place sans transport, ce qui correspond alors à un sol résiduel ou être transporté par l'eau ou le vent appelé sol transporté (sol meuble de faible portance). Dans la nature les sols les plus répandus sont les sables et les Argiles.

### **I-3 Objet de la Mécanique des sols MDS**

L'MDS s'intéresse à l'étude de la stabilité des ouvrages. Le comportement du sol, sous l'action des charges transmises dépend sensiblement des propriétés physiques et mécaniques du sol, ce qui explique l'importance de la MDS dans tout projet de construction. L'étude permet de trouver des solutions techniques avant la réalisation. C'est pourquoi l'ingénieur Civil doit avoir le rapport Géotechnique, c'est l'étude du sol qui se fait au niveau des Laboratoires de Géotechnique.

Certains sols qui contiennent le minéral la Montmorillonite ont tendance à absorber de l'eau ce qui fait qu'ils ont tendance à gonfler. Dans le cas d'une diminution de l'eau, ce type d'argile manifeste un retrait. C'est-à-dire que son volume diminue. Les cycles de gonflement-retrait engendrent des désordres à l'Ouvrage (En premier lieu la Fissuration).

## I-4 Propriétés physiques des sols

Une couche de sol est généralement constituée d'un squelette granulaire, formé de grains de différentes tailles et formes, et de vide, qui peut être rempli d'air, d'eau ou d'air et eau, comme le schématise la figure 1.

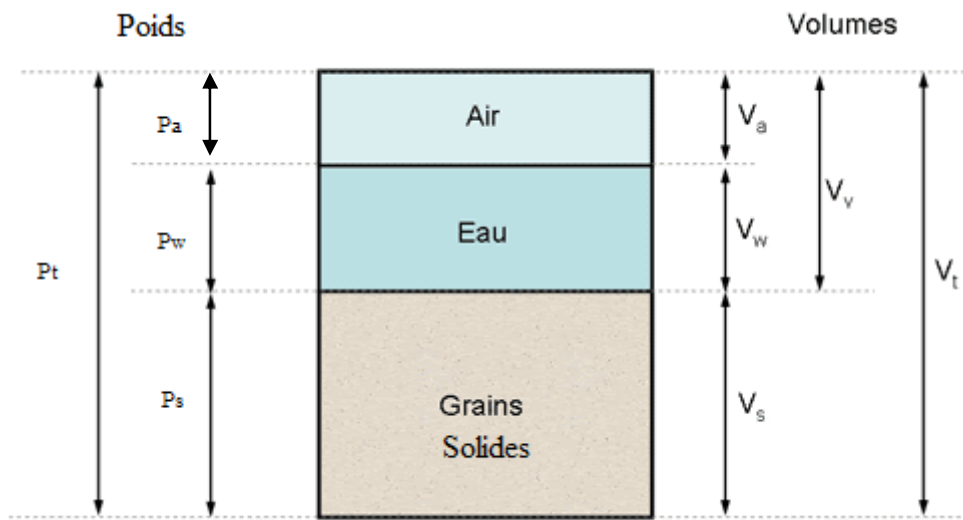


Figure 1

Soient :

Pt : Poids total du sol

Ps : Poids des grains solides,

Pw : Poids de l'eau dans le vide (interstitiel)

Pa : Poids de l'air dans le vide (qui égale à zéro)

Vt : Volume total du sol

Vv : Volume total des vides ( $V_a + V_w$ )

Vs : Volume occupé par les grains solides

Vw : Volume occupé par d'eau

Va : Volume occupé par l'air

a- Poids volumique humide ( $\gamma$ ,  $\gamma_h$ )

On appelle Poids volumique humide le rapport :  $\gamma_h = \frac{P_t}{V_t} \dots (1)$

b- Poids volumique des grains solides ( $\gamma_s$ )

Poids volumique des grains solides le rapport :  $\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \dots (2)$

c- Poids volumique sec ( $\gamma_d$ )

On appelle Poids volumique sec le rapport :  $\gamma_d = \frac{P_s}{V_t} \dots (3)$

d- Teneur en Eau (W)

On appelle Teneur en Eau le rapport :  $W = \frac{P_w}{P_s} \dots (4)$

e- Porosité( $\eta$ )

On appelle porosité le rapport :  $\eta = \frac{v_v}{v_t} \dots (5)$

f- Indice des vides (e)

On appelle indice des vides le rapport  $e = \frac{v_v}{v_s} \dots (6)$

g- Degré de saturation (Sr)

On appelle degré de saturation le rapport :  $Sr = \frac{v_w}{v_v} \dots (7)$

Remarque :

Pour un sol saturé  $Sr = 1$  c'est-à-dire  $Sr = 100\%$

Pour un sol sec  $Sr = 0$

Le poids volumique de l'eau est égale à :  $W = 10 \text{ Kn/m}^3$  ou  $1 \text{ g/cm}^3$

I-5 Classement des sols d'après leur degré de saturation

Sol peu humide	$Sr \leq 0.5$
Sol humide	$0.5 < Sr \leq 0.8$
Sol saturé	$Sr > 0.8$

Densité humide, densité sèche et densité des grains solides

La densité humide est :  $Dh = \frac{\gamma_h}{\gamma_w}$

La densité sèche est :  $Dd = \frac{\gamma_d}{\gamma_w}$

La densité des grains solide est :  $Ds = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$

## 1-6 Poids volumique déjaugé : $\gamma$

Si la phase solide est plongée dans une nappe d'eau continue, d'après le principe d'Archimède, le poids de l'unité de volume est égale à :  $\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$

$\gamma = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$   $\gamma_{\text{sat}}$  est le Poids volumique de saturation

## 1-7 Relations entre paramètres

Les paramètres physiques définissent l'état d'un sol

Etat de compressibilité  $\longrightarrow$  Poids volumique

Quantité d'eau  $\longrightarrow$  w ou Sr

Quantité de vides  $\longrightarrow$  e ou n

<p>[1] <math>n = \frac{V_v}{V_t} \cdot *</math></p> <p>[2] <math>n = \frac{e}{1+e}</math></p> <p>[3] <math>n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}</math></p> <p>[4] <math>n = \frac{\gamma_s - \gamma_{sat}}{\gamma_s - \gamma_w}</math></p>	<p>[5] <math>e = \frac{V_v}{V_s} \cdot *</math></p> <p>[6] <math>e = \frac{n}{1-n}</math></p> <p>[7] <math>e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1</math></p> <p>[8] <math>e = \frac{\gamma_s - \gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w}</math></p>	<p>[9] <math>w = \frac{P_w}{P_s}</math></p> <p>[10] <math>w = e \cdot S_r \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s}</math></p> <p>[11] <math>w = \frac{\gamma}{\gamma_d} - 1</math></p> <p>[12] <math>w = S_r \cdot \gamma_w \cdot \left( \frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right)</math></p>
<p>[13] <math>S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot *</math></p> <p>[14] <math>S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{w}{e}</math></p> <p>[15] <math>S_r = \frac{w}{w_{sat}} \quad (\gamma_d \text{ constant})</math></p>		
<p>[16] <math>\gamma = (1+w) \cdot \gamma_d</math></p> <p>[17] <math>\gamma = \gamma_d + n \cdot S_r \cdot \gamma_w</math></p> <p>[18] <math>\gamma = (1-n) \cdot \gamma_s + n \cdot S_r \cdot \gamma_w</math></p> <p>[19] <math>\gamma = \frac{1+w}{1+e} \cdot \gamma_s</math></p> <p>[20] <math>\gamma = \frac{\gamma_s + e \cdot S_r \cdot \gamma_w}{1+e}</math></p>		
<p>[21] <math>\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}</math></p> <p>[22] <math>\gamma_d = (1-n) \cdot \gamma_s</math></p>		<p>[23] <math>\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \cdot *</math></p>
<p>[24] <math>\gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e}</math></p> <p>[25] <math>\gamma' = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot (1-n)</math></p> <p>[26] <math>\gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_s} \cdot \gamma_d</math></p>		

## 1-8 Classification des sols d'après leurs grosseurs

Il existe plusieurs systèmes de classification des sols qui se fondent généralement sur la taille des particules. La classification des sols à partir des caractéristiques granulométriques est couramment utilisée.

### 1-8.1 L'analyse granulométrique

Elle permet de donner la répartition des grains du sol par classes de taille. Deux techniques sont classiquement mises en œuvre :

- le tamisage (pour les grains de taille supérieure à 80 $\mu$ m) ;
- la sédimentation (pour les grains de taille inférieure à 80 $\mu$ m).

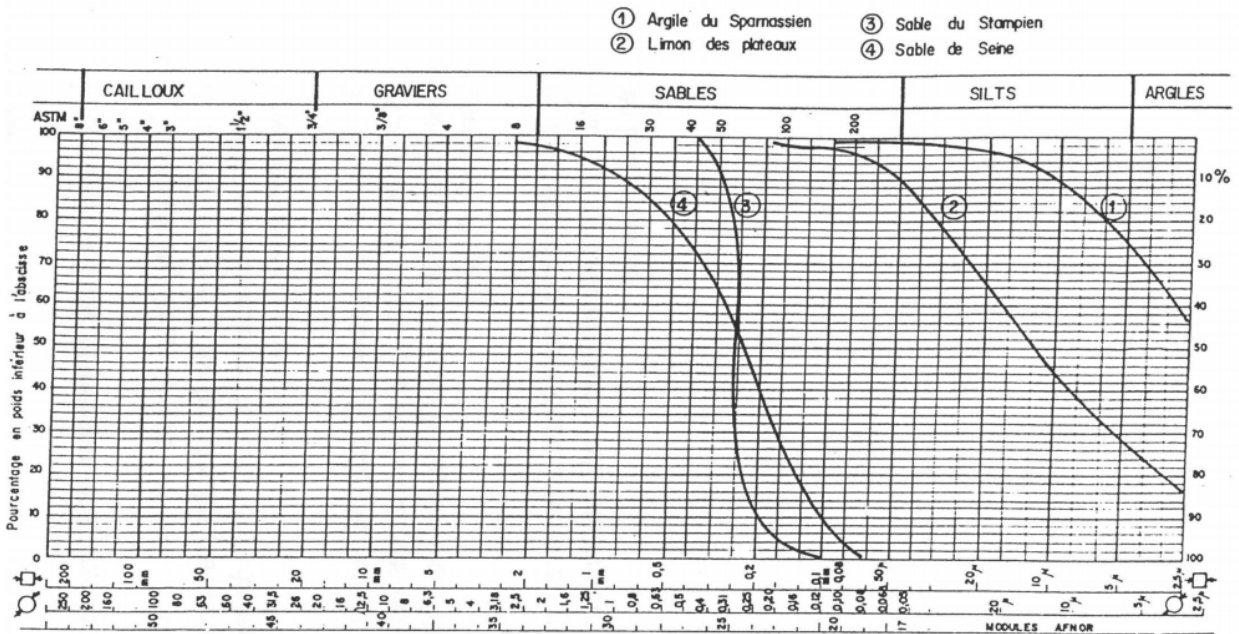


figure 2 : Courbe granulométrique (graphique semi-logarithmique)

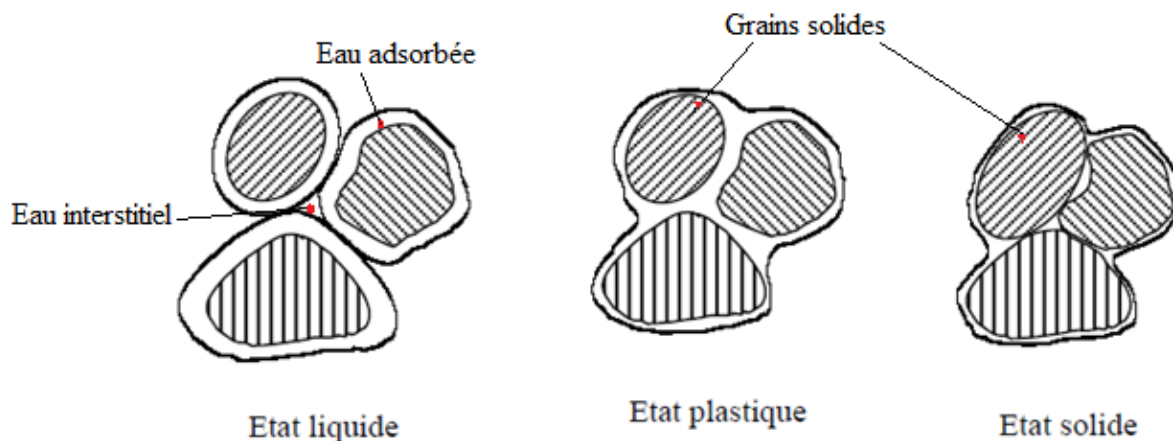
Les résultats de ces mesures sont donnés en général sous forme graphique, en mécanique des sols, on représente des courbes cumulatives de tamisat (% de grains inférieurs à une taille donnée) dans un graphique semilogarithmique. (L'essai se réalise au laboratoire avec des Tamis de différentes démentions)

La courbe granulométrique est un élément essentiel de la description géotechnique des sols, elle permet de comparer les différents sols entre eux et sert de base aux différentes classifications des sols.

### 1-9 Limites d'Atterberg

Les argiles forment des pâtes dans lesquelles chaque grain est relié aux grains voisins par des forces de cohésion dues à la présence des couches adsorbées. La consistance qui en résulte dépend en grande partie de la teneur en eau du matériau. On distingue alors trois états de la consistance des argiles : états liquide, plastique et solide (Fig. 3). A l'état liquide, les grains sont indépendants les uns des autres, le mouvement relatif entre les particules est aisé.

Fig 3 :Etats de consistance d'un sol



A l'état plastique, les grains sont plus rapprochés et ont mis en commun leurs couches d'eau adsorbées. Lorsqu'il y a mouvement, les grains restent attachés les uns aux autres sans s'éloigner. A l'état solide, les distances inter-granulaires sont encore plus petites. Les grains arrivent même au contact en quelques points chassant ainsi l'eau adsorbée. Les frottements internes sont alors importants. La transition d'un état à l'autre est très progressive. Néanmoins, on utilise de façon pratique les limites d'Atterberg (C'est des Essais de consistance au laboratoire).

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 détremés. Entre ces deux états, il existe un état intermédiaire dit plastique (comme une pâte à modeler). Les limites d'atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils suivant la teneur en Eau.

**Limite de liquidité  $W_L$**

Elle sépare l'état liquide de l'état plastique.

**Limite de plasticité  $W_P$**

Elle sépare l'état plastique de l'état solide.

**Limite de retrait  $W_R$**

Elle caractérise l'apparition du phénomène de retrait.

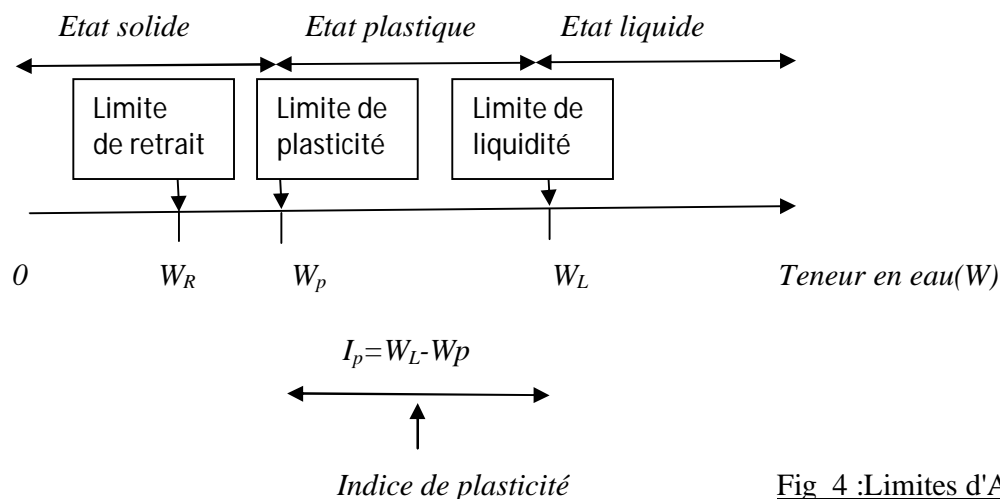


Fig 4 :Limites d'Atterberg

Sur la base de ces limites, les indices sont définis comme suit :

**Indice de plasticité  $I_p$**

Il mesure l'étendu du domaine de plasticité du sol. Il s'exprime par :

$$I_p = W_L - W_P \text{ en \%}$$

Cet indice occupe une grande place en géotechnique.

Casagrande a montré que l'indice de plasticité est une fonction linéaire de la limite de liquidité :

$$I_p = a W_L - b$$

Où a et b sont des constantes. Deux autres indices caractérisent la structure d'une argile de teneur en eau égale à W. Ils sont l'indice de consistance et l'indice de liquidité.

**Indice de consistance  $I_c$**

Il est défini par

$$I_C = \frac{WL - W}{I_p}$$

### Indice de liquidité $I_L$

Il est définie par

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p} = 1 - I_C$$

L'indice de plasticité mesure l'étendue de la plage de teneur en eau dans laquelle le sol se trouve à l'état plastique. Suivant la valeur de leur indice de plasticité, les sols peuvent se classer comme suit :

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

## 1-10 Classification suivant la minéralogie

L'étude des minéraux argileux est importante pour bien comprendre le comportement des argiles que la granulométrie seule ne saurait expliquer. La nature du minéral que constitue le grain dans le sol lui donne des propriétés physique différentes. C'est ainsi que nous classons les minéraux argileux en différents groupes : famille, espèce et variété. Les trois familles les plus connues sont la kaolinite, la montmorillonite et l'illite.

### a : La kaolinite

Les argiles de la famille de la kaolinite sont les constituants essentiels de la plus part des argiles utilisées en céramique.

### b : La montmorillonite

Les sols de la famille de la montmorillonite peuvent absorber de l'eau dans des proportions considérables, donnant lieu à des gonflements caractéristiques.

### c : L'illite

Les argiles de la famille de l'illite sont parmi les minéraux les plus répandus à la surface de la terre.

**Remarque :** Le minéral avec lequel est formé le sol joue un rôle important dans le comportement de ce dernier.

## 1-11 Le compactage des sols

Le compactage est l'ensemble des opérations mécaniques (apport d'énergie mécanique), qui conduisent à accroître la densité d'un sol (sols très compressible, très perméable et de faible consistance). En faisant, cette opération réduit les déformations et tassements et augmente la compacité du sol et améliore sa capacité portante. Les ouvrages couramment concernés par le compactage sont les remblais routiers, les plateformes des immeubles avant coulage du béton et les aérodromes.

En travaux public on utilise généralement les **Engins vibrant** (rouleaux)

C'est l'ingénieur qui précise le type d'engin et le poids du rouleau qui sera utilisé ainsi que le nombre de passages nécessaire pour chaque épaisseur de sol.

-----Fin du chapitre-----

### **Bibliographie**

**BERGA Abdelmadjid**, 2004, Elément de Mécanique des sols, Département de Génie Civil Université de Béchar.

**SCHLOSSER François**, 1988, Eléments de Mécanique des sols, Cours de l'école Nationale des Ponts et Chaussées.

**BOUAFIA Ali**, 2009 Mécanique des sols Appliquée, Problèmes résolus, Office des Publications Universitaires.

**SCHLOSSER F, MAGNAN J.P**, 1987, Mécanique des sols Appliquée a la construction