

CHAPITRE 2

STRUCTURE DES SOLS FINS

- 2.1 Introduction
- 2.2 Comportement des sols fins (en présence de l'eau)
- 2.3 Les argiles
- 2.4 Les limons et silts
- 2.5 Les sols organiques

2.1 Introduction

D'après le chapitre précédent, la distinction entre un sol grenu et un sol fin se fait à partir de la plus grande dimension des grains qui les constituent. Lorsque cette dimension est supérieure à 80μ il s'agit d'un sol grenu, dans le cas contraire il s'agit d'un sol fin.

Une autre manière de distinguer ces deux catégories de sols consiste à étudier d'une part la structure de chacun d'eux c.à.d. la forme des grains leur couleur et leur arrangement, d'autre part le comportement de chaque sol en présence de l'eau.

Pour un sol grenu les grains ont des dimensions variées, et en fonction de leur arrangement l'état de compacité change. Le sol est dit lâche si le volume des vides est très grand, dans le cas contraire le sol est dit compact (ou serré). En présence de l'eau les propriétés géotechniques d'un sol pulvérulent ne varient pas beaucoup. Par comparaison aux sols fins, il n'existe pas d'eau adsorbée dans les sols grenus.

Pour un sol fin on verra, dans ce chapitre, que le comportement dépend de sa composition minéralogique, de sa teneur en eau, et de sa structure: notamment la façon dont les particules sont disposées les unes par rapport aux autres. Un petit aperçu sera consacré aux sols organiques qui présentent une classe particulière des sols fins.

2.2 Comportement des sols fins

Le comportement d'un sol fin dépend beaucoup de sa teneur en eau en fonction de laquelle il peut varier de l'état solide à l'état liquide. L'état solide d'un sol fin peut être avec retrait ou sans retrait, ce phénomène est la diminution de volume qui a pour conséquence l'élimination de l'eau adsorbée {7}.

Dans les sols en place la teneur en eau naturelle est généralement située entre la limite de plasticité et la limite de liquidité, souvent elle est plus proche de la limite de plasticité. On donne dans le tableau 1 quelques valeurs de la limite de liquidité, l'indice de plasticité, et la teneur en eau pour des sols tunisiens (les données sont choisies du laboratoire de géotechnique de l'E.N.I.T.).

Sols et provenance	Limite de liquidité	Indice de plasticité	Teneur en eau
Argile de Tunis	59	39	35
Vase du lac sud	71	43	60
Argile de Mateur	85	56	35
Argiles de Béja	48 – 56	25 – 31	25 – 27
Argile de Bizerte	78	41	32
Argile du sud tunisien	130	92	95

Tableau 1

*géotechnique
mécanique des
sols*

L'eau joue un rôle important par son influence sur les forces qui s'exercent entre les particules. Pour étudier ce phénomène on fait intervenir la notion de surface spécifique: c'est la somme des surfaces des grains contenus dans un gramme de sol, elle est exprimée en m^2/gr {7}.

On distingue deux familles de sols fins, la première correspond aux sols non organiques à savoir les argiles et limons (ou silts). La deuxième famille correspond aux sols organiques tels que les vases et tourbes.

2.3 Les argiles

La granulométrie de tels sols est inférieure à 2μ . Le comportement mécanique d'une argile saturée est fortement influencé par le type de sa structure cristalline de base. Les caractéristiques d'une argile peuvent être connues avec précision par l'intermédiaire d'une analyse minéralogique.

2.3.1 La structure cristalline

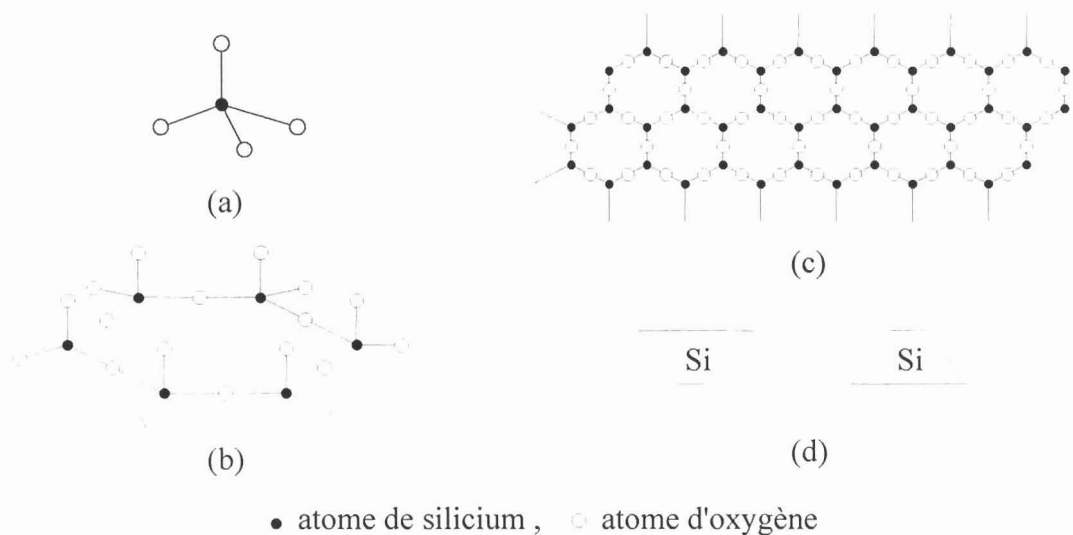
Les particules d'argiles se présentent sous forme d'empilements de feuillets. Les minéraux qui les constituent sont des silicates d'alumine hydratés provenant de la décomposition des feldspaths et des micas (minéraux constitutifs des roches éruptives). Deux structures de base interviennent dans la constitution des argiles:

- la silice tétraédrique: SiO_2 ;
- l'hydroxyde d'aluminium octaédrique: $Al(OH)_3$.

Les feuillets de base octaédrique et tétraédrique sont des ensembles cristallins plans.

Le feuillet tétraédrique: sa structure est constituée à partir de la silice, un atome de silicium entouré de quatre atomes d'oxygène (figure 1a); ces derniers sont situés aux sommets d'un tétraèdre. Six molécules de silice forment une maille élémentaire (figure 1b).

Un feuillet tétraédrique est constitué par un grand nombre de mailles dont la vue en plan est représentée sur la figure 1c. La représentation symbolique de ce feuillet est donnée sur la figure 1d.



● atome de silicium , ○ atome d'oxygène

○ atome d'oxygène pouvant être mis avec ceux d'une autre couche

en liaison

Figure 1. Le feuillet tétraédrique : Constitution - schématisation

Le feuillet octaédrique: Son élément de base est l'hydroxyde d'aluminium. Chaque atome d'aluminium est entouré de six autres atomes qui peuvent être soit d'oxygène, soit de groupements (OH). Dans ce feuillet il existe des atomes d'oxygène, possédant une valence libre, qui se superposent à ceux du feuillet tétraédrique. Ainsi ils permettent d'avoir des liaisons covalentes entre les deux feuillets. *octaédrique est en contact avec le feuillet tétraédrique*

Le feuillet octaédrique est représenté par le symbole: *un rectangle.*

2.3.2 Les différents types d'argiles

Il existe trois types qui sont les plus rencontrés : la kaolinite, la montmorillonite, et l'illite. La bentonite, boue artificielle, constitue une variété de montmorillonite.

L'argile est utilisée souvent lors de l'exécution des forages destructifs

2.3.2.1 La kaolinite :

Son feuillet résulte d'une liaison entre un feuillet tétraédrique et un feuillet octaédrique. Cette liaison est assurée par les atomes d'oxygène (figure 2a).

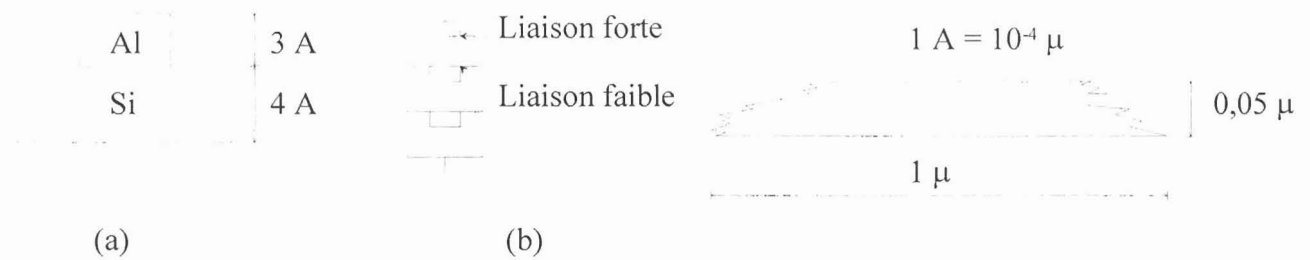


Figure 2. La particule de kaolinite

2.3.2.2 La montmorillonite :

Une particule de montmorillonite résulte de l'empilement de feuillets types dont la constitution est indiquée sur la figure 3a. La liaison entre deux feuillets est du type hydrogène, donc elle est très faible de manière que les molécules d'eau peuvent s'intercaler entre les feuillets (figure 3b). Il peut y avoir même cinq à six couches de molécules d'eau, d'où les sols dont la teneur en montmorillonite est élevée sont susceptibles de gonflements ou de retraites importants selon la variation de la teneur en eau. Les particules de montmorillonite sont chargées électriquement à leurs extrémités. *leur*

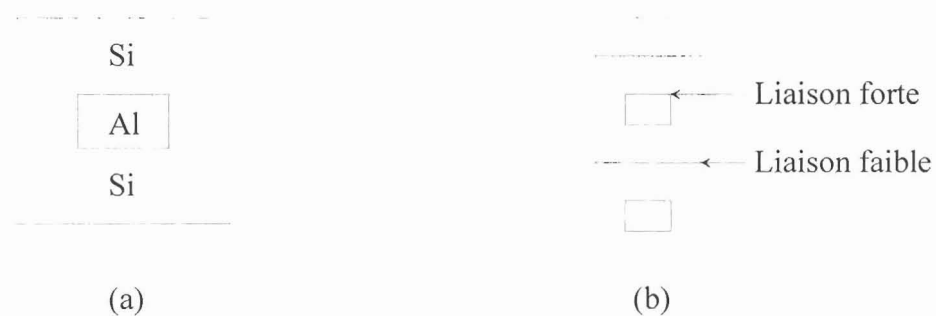


Figure 3. La particule de montmorillonite

2.3.2.3 L'illite :

Sa structure est semblable à celle de la montmorillonite, mais en plus des ions potassium sont intercalés entre les feuillets tétraédriques (figure 4). Grâce à ces ions, la liaison entre les feuillets types est relativement forte, par conséquent les molécules d'eau ne peuvent pratiquement plus s'y intercaler. *(K⁺)*

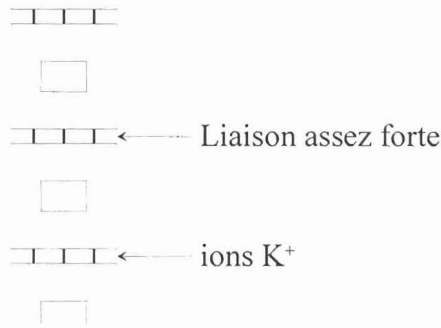


Figure 4. Une particule d'illite

Remarque :

Il y a aussi la chlorite dont la structure est analogue à l'illite mais au lieu des ions K^+ s'intercalent les ions de la brucite ou de la gibbsite.

Remarques :

Pour la montmorillonite et l'illite l'atome d'aluminium dans le feuillet octaédrique se trouve sous forme de Al^{3+} , il peut être remplacé par d'autres ions tels que Mg^{2+} . Il en résulte un déséquilibre électrique qui sera compensé par l'adsorption sur la surface de cations Ca^{2+} , K^+ , Fe^{2+} .

Aux extrémités des particules il y a également des déséquilibres électriques et adsorption de cations, ces derniers dits "échangeables" jouent un rôle important dans le comportement des argiles.

Dans le tableau 2 on donne les principales caractéristiques des trois types d'argiles ci-dessus présentées. D'après ces valeurs on remarque que les particules de montmorillonite ont des dimensions faibles à cause de la fragilité de leurs liaisons.

Type de sols	Surface spécifique (m ² /gr)	Diamètre des plaquettes (d)	Epaisseur des plaquettes	Epaisseur des feuillets (10 ⁻⁷ mm)
Kaolinite	10 à 20	0,3 μ à 3 μ	d/3 à d/10	7
Illite	80 à 100	0,1 μ à 2 μ	d/10	10
Montmorillonite	800	0,1 μ à 1 μ	d/100	10

Tableau 2. Caractéristiques des particules d'argiles, d'après Philipponat {7}

2.3.3 L'eau adsorbée

Les particules d'argiles sont très plates, leur surface spécifique est très élevée. Elles peuvent être assimilées à des agrégats où les cations Si^{3+} , Al^{3+} sont situés au centre, et les anions O^{2-} , OH^- sont situés sur toute la périphérie des agrégats. Ainsi les bords sont fortement chargés négativement et peuvent attirer des charges positives.

Dans la molécule d'eau, les centres des charges positives et négatives ne coïncident pas, la molécule est dite polaire. Donc il peut y avoir attraction et adsorption des molécules d'eau à la surface d'une particule d'argile. Après hydratation plusieurs couches de molécules d'eau peuvent être adsorbées, mais les forces d'attraction diminuent rapidement avec la distance.

A partir d'une distance égale à 1μ l'eau est considérée comme libre {7}. Ces molécules sont orientées de façon que le centre des charges positives soit dirigé vers la surface de la particule.

(existait entre les particules), sans forme de complexée H^+ / OH⁻

(4)

Cela montre bien la différence entre les propriétés physiques de l'eau adsorbée et celles de l'eau libre. Parmi les propriétés de l'eau adsorbée on cite:

- une viscosité élevée;
- une élimination difficile: il faut porter le sol à des températures élevées, entre 200° et 300° Celsius.

↳ par desiccation

2.3.4 Activité

Les caractéristiques plastiques ne reflètent pas parfois toutes les propriétés essentielles d'une argile remaniée. Bjerrum et Skempton ont introduit un coefficient appelé "activité" pour permettre de classer les argiles, ce coefficient est défini par le rapport, Leonards {6}:

$$\text{Activité} = \frac{\text{Indice de plasticité}}{\% \text{ de particules } < 2\mu}$$

On distingue trois catégories d'argiles suivant la valeur de ce rapport:

- l'activité est inférieure à 0,75: l'argile est dite inactive;
- l'activité est comprise entre 0,75 et 1,25: l'argile est dite normale;
- l'activité est supérieure à 1,25: l'argile est dite active.

D'après cette classification on voit que l'argile présente une anomalie lorsqu'elle soit active ou inactive.

2.4 Les limons et silts

Ces sols ne peuvent pas être distingués d'une argile à l'oeil nu. Leur granulométrie est comprise entre les dimensions 2 μ et 20 à 50 μ . Il faut noter que les particules dont les dimensions sont comprises entre 2 μ et 20 μ ne confèrent pas au sol des propriétés plastiques. Cependant les limons contiennent une certaine proportion d'argile et présentent des propriétés plastiques, Schlosser {9}.

2.5 Les sols organiques

Un sol organique contient en plus des grains et de l'eau une proportion appréciable de débris plus ou moins décomposés de matières d'origine animale ou végétale. Il est généralement très compressible et a une odeur caractéristique. En général il existe deux types de sols organiques: la tourbe et la vase.

La tourbe: C'est un dépôt formé de débris végétaux soumis à une décomposition rapide dans un site aquatique. La tourbe a une structure fibreuse, et une couleur brune ou noirâtre.

La vase: C'est un dépôt d'un sol fin contenant des coquillages d'origine animale en proportions variables. La vase, qui est un sol typique de la ville de Tunis, a une couleur grisâtre.

Pour des informations plus complètes sur cette classe de sols on pourra consulter {6}.