

RETRAIT ET GONFLEMENT DES ARGILES

1. Introduction

- Le terme "Argile" vient du latin argilla, emprunt probable au grec. Il pose un problème terminologique avec trois sens différents :
 - a- **L'argile granulométrique** : éléments $< 2\mu$, comprend des minéraux et divers débris de minéraux pulvérisés de taille micrométrique . De manière générale c'est une définition en fonction des dimensions, toute particule $< 2\mu$.
 - b- **Les roches argileuses** (sens pétrographique) : Une argile est une roche formée d'un ou plusieurs minéraux argileux, auquel s'associent d'autres minéraux.
 - c- **Les minéraux argileux** (sens minéralogique) : Les argiles sont des silicates hydratés d'alumines. La formule générale $\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 n(\text{H}_2\text{O})$, comprenant souvent des alcalins, des alcalino-ferreux (Ca^{++}) et de fer. Ils présentent une **structure en feuillets** ou **phylliteuse** d'où leurs nom de **phyllosilicates**.
- **La genèse des argiles obéit (cède) à trois mécanismes principaux :**
 - a) **Héritage** (local ou déplacé) à partir des silicates assemblés en roches et arrivés en surface par le jeu de la tectonique : granites, gneiss, micaschistes, schistes, laves, puis feldspaths et micas, Transformation (deuxième génération, nouveau statut en équilibre avec le nouveau milieu, dégradation)
 - b) **Néoformation** ou authigénèse : On peut ajouter la diagénèse, et le métamorphisme. L'argile n'existe pas : Grace à des processus physico-chimique (PH, T, Pression).Il ya une néoformation d'un type d'argile.
 - c) **Et Transformation** : d'une argile a une autre.

2. Minéralogie des argiles

- **Les motifs élémentaires des silicates** (représentent 95% des minéraux de la croute terrestre) :
 - **est le tétraèdre $(\text{SiO}_4)^{-4}$** ,
 - comportant un atome de (Si) au centre
 - et des atomes(O) aux quatre sommets.
- **Ces tétraèdres** sont reliés entre eux :
 - soit par des cations,
 - soit en partie par des atomes d'oxygènes (o).
- **Les liaisons entre (Si) et (O) sont :**
 - 50 % ionique c'est-à-dire {attraction d'un atome électropositif (cation +) et d'un atome électronégatifs (anion -),
 - et 50 % covalentes c'est-à-dire {union de deux atomes de même nature}.
- Les argiles sont des silicates hydratés d'alumines ou phyllosilicates hydratés, ce présentent en de très petites cristaux (quelques μ) en **forme hexagonale ou parfois en fibres.**
- La structure des **phyllosilicates** (disposition des couches) reflète la texture particulière de ces minéraux.
- Chaque phyllite est formé de **quelques dizaines ou centaines de feuillets** ;la structure des feuillets détermine celle des minéraux.
- Cette structure est caractérisée par la **superposition de feuillets** composés :
 - de couches **tétraédriques (te)**

- et des couches **octaédriques (oc)**.
- Les minéraux argileux présentent une particularité importante : ils sont constitués par l'empilement *de 3, ou 6 couches d'oxygène*.

- Chaque empilement (assemblage) forme un feuillet élémentaire ; c'est un **constituant stable**. Les cations (Si, Al ...) se situent dans les cavités tétraédriques ou octaédriques.
- Chaque feuillet d'argile renferme 2 ou 3 couches (soit octaédriques soit tétraédriques).
 - Ainsi se distinguent les argiles de type (feuille) :

Te – oc (1 couche tétraédrique + 1 couche octaédrique).

Te – oc – te (1 couche tétraédrique + 1 couche octaédrique + 1 couche tétraédrique).

- *Chaque feuillet d'argile se caractérise aussi par la distance interfoliaire exprimé en Å (l'épaisseur d'un ensemble (te – oc ou te – oc – te) + l'espace interfoliaire).*

a) Le tétraèdre de silice SiO₄ (Te)

- **Quatre (4) atomes d'oxygène** disposés au sommet d'un **tétraèdre** régulier enserrent **un atome de silicium**.
- Les tétraèdres se combinent entre eux pour former des **couches planes dites couches tétraédriques** (Fig.1).

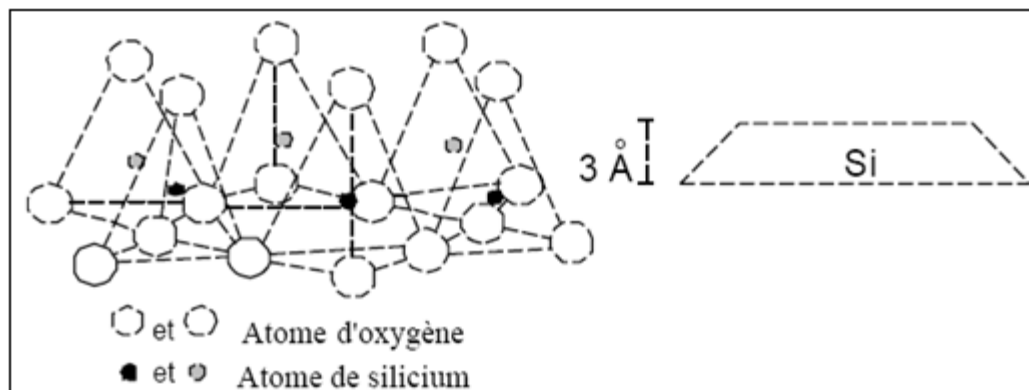


Fig. 1: Couche tétraédrique

b) L'octaèdre d'alumine Al₂(OH)₆ et éventuellement de magnésium : Mg₃(OH)₆ (Oc)

- **Six(6) ions hydroxydes (OH)** enserrent un **atome d'aluminium ou de magnésium**.
- Les octaèdres se combinent également pour former des couches planes dites **couches octaédriques** (Fig.2).

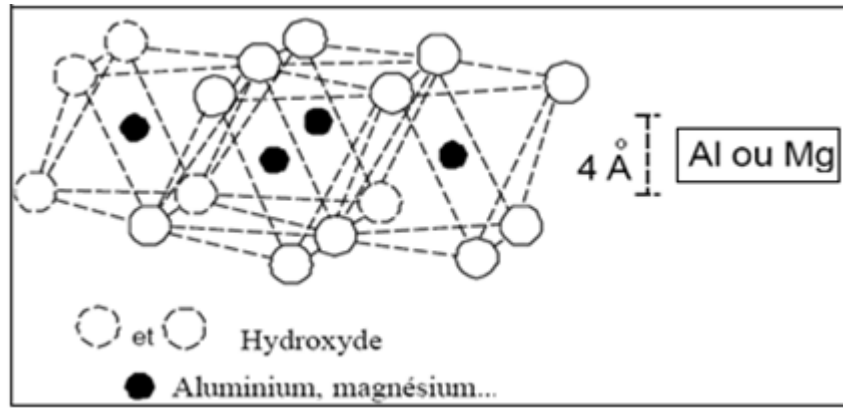


Fig .2. Couche octaédrique

3. Typologie des argiles

➤ Les types d'argile les plus couramment rencontrés sont la kaolinite, l'illite, et la montmorillonite.

a- La montmorillonite $(OH)_4 Si_8 (Al_{10/3}, Mg_{2/3}) O_{20}, nH_2O$

- Le feuillet élémentaire est composé comme pour l'illite, d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice. Un ion Al^{3+} est remplacé par un ion Mg^{2+} dans les couches d'alumine. Le déficit de charge qui en résulte est équilibré par des ions Ca^{2+} (montmorillonite calcique) ou par des ions Na^+ (montmorillonite sodique),(Fig .3).
- La valence des ions sodium étant plus faible que celles des ions calcium, c'est la montmorillonite sodique qui aura la plus grande surface spécifique et la plus grande C.E.C(capacité d'échange cationique ou bien la capacité de l'argile a fixer des éléments nutritifs comme $Ca^{2+} Mg^{2+} K^+ Na^+$).
- Les liaisons entre feuillets étant très faibles, ces argiles sont très sensibles à la teneur en eau et ont un fort potentiel de gonflement. L'épaisseur d'une particule de montmorillonite peut être très faible puisque, contrairement aux autres argiles, on peut isoler un feuillet élémentaire. La montmorillonite fait partie de la famille plus générale des smectites définies comme les "argiles gonflantes" .

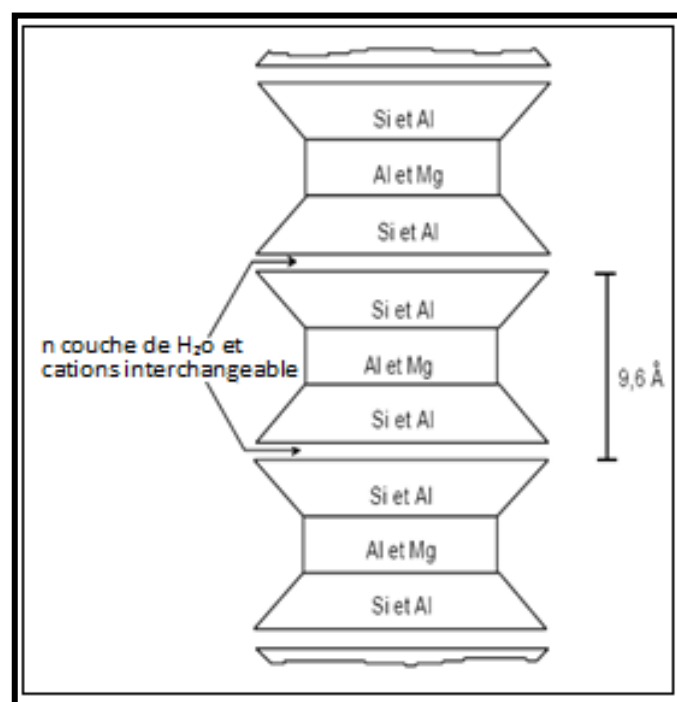


Fig .3. Schéma de la particule de montmorillonite

b- L'illite $(K, H_2O)_2 Si_8 (Al, Fe, Mg)_{4,6} O_{20} (OH)_4$

- Le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice (Fig..4). Dans les couches de silice, un ion Si^{4+} sur quatre est remplacé par un ion Al^{3+} .
- Le déficit de charge qui en résulte est compensé par les ions potassium K^+ qui assurent des liaisons assez fortes entre les feuillets.
- La particule d'illite comportera, par exemple, une dizaine de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques centièmes de micromètres.
- L'espace créé à l'intérieur du feuillet de silice est occupé par un ion K^+ qui, par sa présence, induit un lien fort entre les couches .

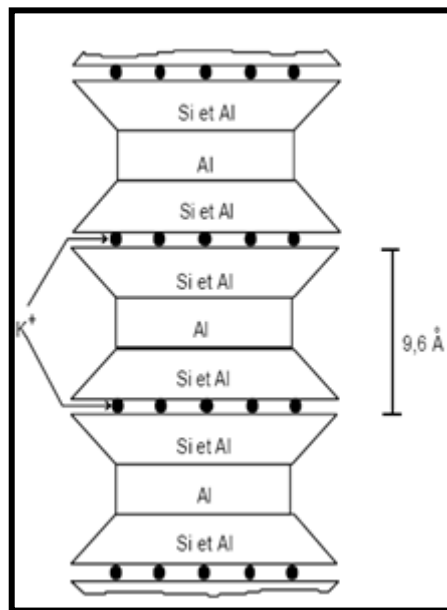


Fig .4 .Schéma de la particule d'illite

c- La kaolinite $(Si_4O_{10}) Al_4 (OH)_8$

- Le feuillet élémentaire est composé d'une couche de silice et d'une couche d'alumine.
- Entre différents feuillets de kaolinite, le contact se fait entre un plan contenant les ions hydroxyles OH^- de l'octaèdre, et celui contenant les ions d'oxygène O^{2-} du tétraèdre ; ce qui se traduit par un lien assez fort.
- Ainsi une particule de kaolinite sera constituée, par exemple, de quelques centaines de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques dizaines de micromètres.(Fig .5).
- Ces particules sont stables et leur structure élémentaire n'est pas affectée par la présence d'eau.

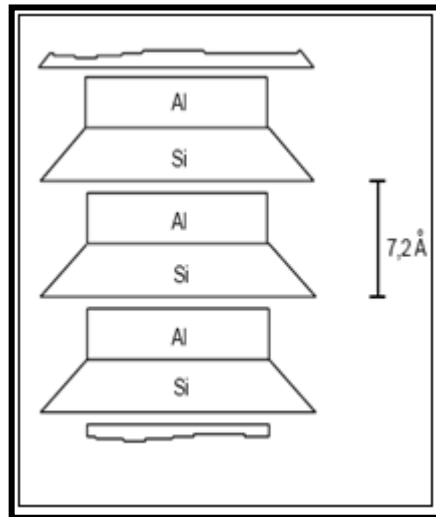


Fig .5.Schéma de la particule de kaolinite

d- Les chlorites (OH) 4 (Si Al) 8 (Mg, Fe) 6O20

➤ La structure des chlorites est cependant plus complexe, et se compose :

- de deux feuillets de micas (T.O.T +(O feuillets supplémentaire) comme Muscovite.

- entre lesquels s'insère un feuillet de brucitique(composé surtout de Mg(OH)2 ou parfois Fe.Al).

- En fait, le déficit du feuillet de mica est rarement comblé par le feuillet de brucite et des cations interchangeables se logent dans les espaces créés au sein du feuillet de mica.
- De l'eau peut alors pénétrer entre les feuillets, provoquant ainsi un accroissement de l'interdistance et donc un gonflement.(Fig.6).
- Cependant, les édifices de brucite tendent à coller les feuillets les uns aux autres et donnent ainsi aux chlorites une certaine cohésion, contrairement aux feuillets des minéraux argileux, qui sont libres de glisser les uns par rapport aux autres.

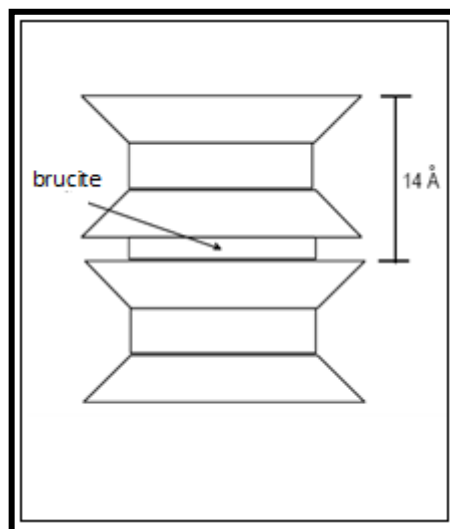


Fig .6.Schéma de la particule de chlorite

➤ *Les caractéristiques de ces argiles sont résumées dans le tableau ci dessous :*

Tableau .1. Caractéristiques des argiles, Kaolinite, Illite et Montmorillonite.

Nom	Type	Nombre de feuillets par particule	Diamètre d'une particule (µm)	Epaisseur d'une particule (µm)
Kaolinite	1:1	100 - 200	0,1 - 4	1 - 10
Illite	2:1	1 - 10	0,1 - 1	0,003 – 0,01
Montmorillonite (smectite)	2:1	1	0,1	0,001
Chlorite	2:1:1	1	0,1	0,005

➤ *La photo ci-dessous (01) présente des Photographies de ces argiles prises au microscope électronique à balayage.*

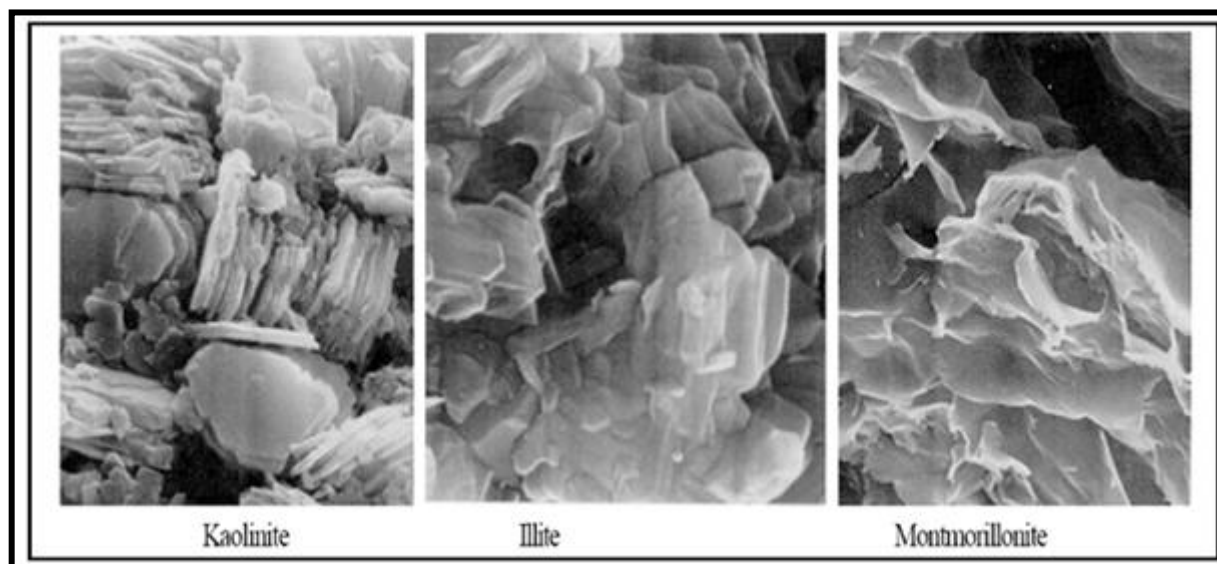


Photo.1. Microscope Electronique à Balayage des argiles (Mitchell, 1976)

❖ **Les interstratifiés :**

➤ **(plusieurs types des couches sont alternés dans une même structure)**

- Il existe bien entendu des minéraux interstratifiés, formés d'un empilement régulier ou irrégulier de feuillets de deux types différents.
- Lorsque l'un des feuillets est de type smectite, le comportement peut s'avérer gonflant.
 - **C'est le cas de la corrensite, (association régulière de 02 types de feuillets : feuillet chlorite et feuillet smectite)**
 - la tosudite : **(association régulière de 02 types de feuillets : feuillet smectite et feuillet chlorite)**
 - la kaolinite-montmorillonite,
 - la saponite-chlorite, (la saponite est un minéral argileux appartenant au groupe des smectite).
 - la montmorillonite-mica, l'illite-montmorillonite.

4. Gonflement interfoliaire et interparticulaire

- L'analyse minéralogique précédente montre que certaines argiles, pour lesquelles les liaisons interfeuillets sont très faibles, ont la propriété de fixer les molécules d'eau entre deux feuillets voisins (c'est le cas de smectites telles que la montmorillonite, et de certaines chlorites).
 - L'eau pénètre à l'intérieur des particules et s'organise en couches monomoléculaires, il s'agit alors d'un **gonflement** intraparticulaire ou interfoliaire (Didier, 1972).
- Il apparaît à l'échelle la plus petite de la structure argileuse mais peut présenter une ampleur très importante.

a. Évolution de la texture au cours du gonflement

- La variation de texture des sols au cours du gonflement peut être étudiée à l'aide de deux techniques complémentaires :
 - la microscopie électronique à balayage (M.E.B.)
 - et la porosimétrie par injection de mercure voir (Fig.7).
- ✓ La microscopie électrique à balayage (M.E.B) permet de visualiser :
 - la texture des sols, donc d'obtenir des informations générales (arrangement des particules,
 - estimation de rayons de pores,
 - de tailles de particules,
 - et détermination de certains minéraux...) Photo.(2).
- ✓ La porosimétrie par injection de mercure :
 - permet de quantifier le réseau poreux par la mesure des rayons de pores.
 - L'étude du réseau poreux est fondamentale puisque c'est la dilatation volumique qui cause le gonflement macroscopique.

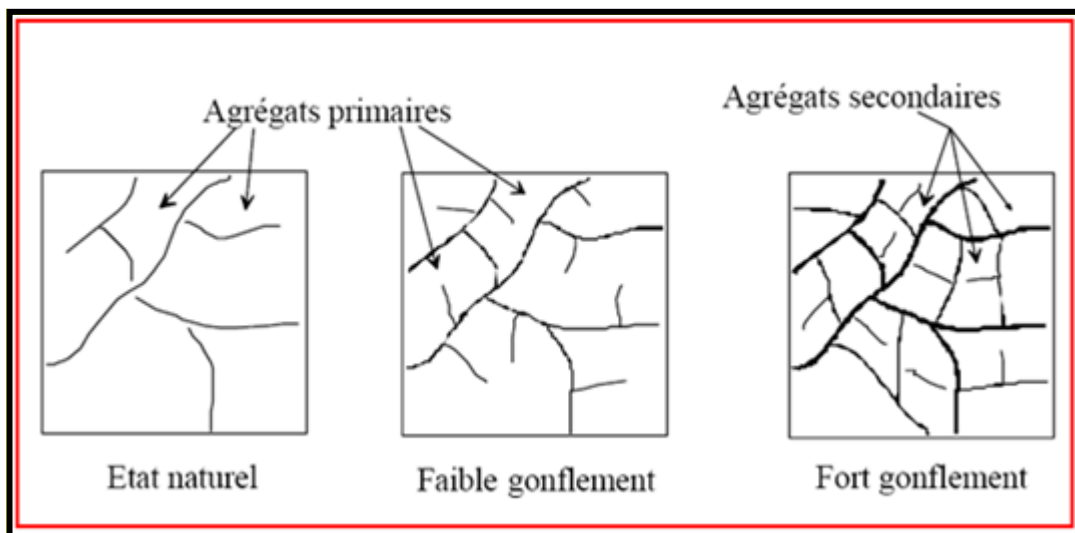


Fig .7. Evolution de texture des sols au cours du gonflement- microscopie électrique à balayage (M.E.B)

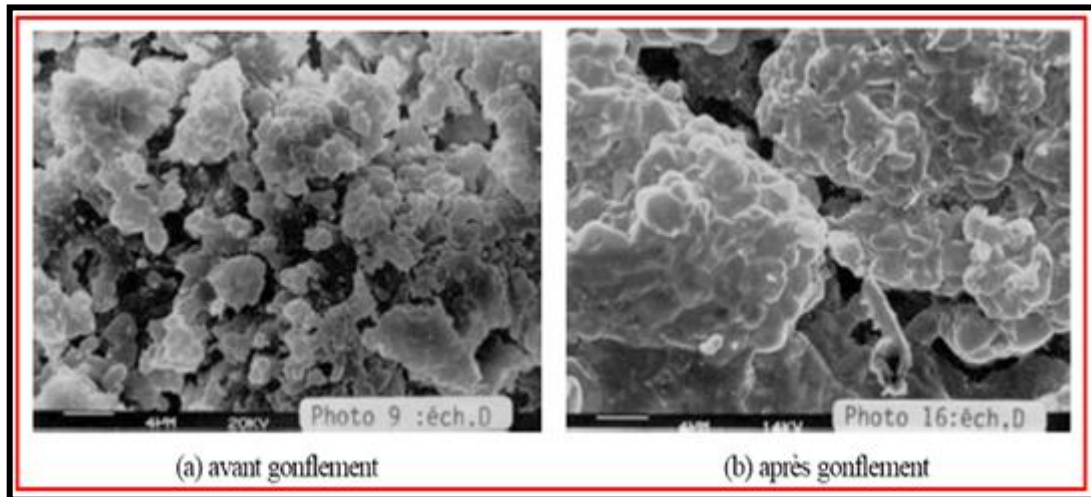


Photo .2. Observation au **microscopie électrique à balayage** MEB d'une texture argileuse (Troalen et al., 1984)

b. Influence des sels (Gypse) sur le comportement physique des argiles :

- Une grande attention a été accordée par de nombreux auteurs, au rôle joué par le gypse dans l'augmentation de conductivité hydraulique et la stabilité de la structure, lors de lessivage des sels solubles dans les sols salsohydriques.
- Le mécanisme invoqué est généralement d'ordre physico-chimique : il implique une augmentation de la conductivité en électrolyte et un phénomène d'échange . Cependant avant sa solubilisation dans le sol , le gypse aurait un effet défavorable sur la conductivité hydraulique en obturant (fermé, bouché) principalement les pores responsables de circulation de l'eau .(KEREN 1980) .
- L'absence d'adhésion des quasicristaux sur les cristaux de gypse explique la plus faible rétention de l'eau du mélange argile-gypse , par rapport au mélange calcite- argile.
- L'espace entre l'argile et le gypse doit permettre également la fissuration du matériau lors de la réhumectation . (ce qui permet la diminution des valeurs des densités).
- En effet , la présence d'un film d'eau entre le gypse et les quasicristaux constitue une zone de séparation préférentielle et donc de structuration préférentielle .
- Le taux de réhydratation des montmorillonites est levés avec la calcite et plus encore avec le gypse.
- Les observations microscopiques aussi bien que l'examen du comportement hydrique, montrent que les relations calcite –argile, et gypse –argile sont fondamentalement différentes ; il ya lieu d'opposer l'action de cimentation du matériau pour le calcite, à celle qui conduit à l'écartement de la structure par le gypse. (Halitim 1983)
- **L'anhydrite :** $SO_4Ca + 2H_2O \text{ ----- } SO_4Ca,2H_2O$ (gypse)
- Les matériaux susceptibles de gonfler sous l'action de l'eau sont les sols argileux naturels, les marnes, les roches argileuses et les roches composées d'anhydrite. Le processus de gonflement

interparticulaire met en jeu séparément ou de façon combinée des phénomènes physico-chimiques et mécaniques variés. Il dépend aussi de la texture du matériau, c'est-à-dire de l'organisation des plaquettes entre elles.

- Le phénomène de gonflement, de même que le tassement, peut provenir d'une modification de l'état de contraintes dans le sol en présence d'eau. Il est donc important de rappeler les bases de la mécanique des sols appliquées à l'état de contraintes dans un sol.

Bibliographie

- Aoun, M., (2002). *Problèmes géologiques et géotechniques dans le bassin de Mila : leur impact sur les ouvrages d'art*. Thèse magi. Univ. Tébessa, 156 p.
- Amor Halitim : (1981) *Sols des régions arides d'Algérie*, Alger, 361p.