

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES , DES ÉNERGIES
RENOUVELABLES ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire De Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Géologie des Bassins Sédimentaires

- THÈME -

Etude les caractéristiques géotechniques des argiles au Sud Est de
l'Algérie (Illizi - Touggourt - Hassi Messaoud)

Présenté Par :

Dokkar Mohamed Elmokhtar

Smaili Othman

Soutenu publiquement le : 19-06-2023

Devant le jury

Président :	Haddane Abdennour	M.C.B Univ. Ouargla
Encadreur:	Guerradi Hocine	M.A.A Univ. Ouargla
Examineur :	Sahraoui Saleh	M.A.B Univ. Ouargla

AnnieUniversitaire 2022/2023

Dédicace I

Sachant que tous les mots ne peuvent exprimer la gratitude, le respect.

Je dédie ce travail

À mon cher père

Tu es pour moi l'exemple de la réussite et d'un grand cœur. Que ce souvenir symbolise le fruit de vos longues années de sacrifices consentis pour mes études et mon éducation. Que Dieu Tout-

Puissant vous protège et vous accorde une meilleure santé.

À ma chère mère

Que ce travail soit un hommage aux énormes sacrifices que vous avez consentis pour assurer mon bien-être, et que Dieu Tout-Puissant, préserve votre sourire et vous assure une bonne santé et une

longue vie afin que je puisse vous combler de mon amour.

À mes chères sœurs Et frères

À tous mes chers amis et collègues

Et à mon partenaire Dokkar Mohamed Elmokhtar

J'implore Dieu de vous apporter le bonheur et de vous aider à réaliser vos souhaits, je vous souhaite une vie pleine de joie

Smaili Othman

Dédicace II

Avec l'aide de Dieu Tout-Puissant, qui m'a donné la force et la patience pour pouvoir mener à

bien ce travail que je dédie

À mes parents bien-aimés

Pour vos prières et votre amour, et vos encouragements, votre affection, vos conseils, vos sacrifices et votre soutien continu.

J'espère que vous trouverez dans ce travail ma profonde gratitude et mon respect pour vous deux.

À mes grands-parents, Mes cousins et tous les membres de ma famille.

À tous mes amis

Que je considère comme mes frères et sœurs qui méritent également mes sincères remerciements.

À Tous ceux qui m'ont enseigné et soutenu pendant mon parcours d'études

Que Dieu bénisse votre santé et votre durée de vie et soyez assuré que je ne vous décevrai jamais.

Et à mon partenaire Smaili othman

J'implore Dieu de vous apporter le bonheur et de vous aider à réaliser vos souhaits, je vous souhaite une vie pleine de joie.

Dokkar Mohamed Elmokhtar.

Remerciement

Tout d'abord, nous voudrions remercier Dieu Tout-Puissant, qui tout au long des années d'éducation nous a donné la santé, le courage et la patience jusqu'à ce jour.

C'est un grand honneur de présenter cette thèse, nous tenons également à adresser nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, dans la réalisation et l'étude de ce magnifique projet.

Avec un grand plaisir et un profond sentiment de gratitude, nous exprimons notre appréciation et nos sincères remerciements à notre encadreur, Guerradi Hocine, pour son encadrement, son soutien continu et ses conseils prodigués de manière efficace tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements aux :

- Mr **Haddane Abdennour**, pour avoir accepté d'être président dans le membre de jury.
- Mr **Sahraoui Saleh**, pour avoir accepté d'étudier et d'évaluer cette mémoire.
- L'ingénieur d'Etudes Monsieur **Hafsi Nouh**, qui nous a aidés à créer cette mémoire.

Enfin, à nos parents, familles, professeurs et collègues de l'Université de Ouargla, et à tous ceux qui ont coopéré de près ou de loin à la réussite de cette thèse, trouvez à travers ces quelques lignes l'expression de notre profonde gratitude pour leur soutien et leurs encouragements à tous fois.

Summaries

Introduction générale	1
Chapitre I	2
I.1. Introduction :	3
I.2. Origine et Définition des Argiles :	3
I.3. La formation de l'argile :	3
I.3.1. La roche mere :	5
I.3.2. La topographie :	5
I.3.4. Le climat :	5
I.4. La Transformation des minéraux argileux	6
I.5. Minéralogie et Structure cristalline des argiles :	7
I.6. Classification des minéraux :	10
I.7. Les principales familles des argiles :	10
I.7.1. Les Kaolinites :	10
I.7.2. Les illites :	12
I.7.3. Les Montmorillonites :	13
I.7.4. Les chlorites :	15
I.7.5. Les vermiculites :	15
I.8. Classification selon la couleur :	16
I.8.1 Verte :	16
I.8.2. Blanche :	16
I.8.3. Rose :	16
I.8.4. Rouge :	17
I.8.6. Jaune :	17
I.9. Propriétés des argiles :	17
I.9.1. Forme et surface spécifique :	17
I.9.2. Capacité d'échange en cation CEC :	19
I.9.3. Degré d'hydratation :	20
I.9.4. Activité des argiles :	20
I.10. Texture des Argiles :	21
I.11. Mécanismes de gonflement	22

I.11.1. Gonflement au sens physico-chimique :	22
I.11.2. Gonflement au sens mécanique :	24
I.12. Domaines d'utilisation des argiles :	24
Chapitre II	26
II.1. Essais de laboratoire :	27
II.1. Identification :	27
II.2. Types de Essais d'analyse granulométrique :	27
II.2.1. Analyse granulométrie par tamisât :	27
II.2.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie:	29
II. 3 . Limite d'Atterberg :	30
II.3.1. Définition :	30
II.3.2. Appareillage:	31
II.3.3.Diagramme de Casagrande :	31
II.5. Les essais de cisaillement(Norme NF P 94 - 071-1) :	32
II.5.1. Définition :	32
II.5.2. Principe de l'essai :	
II.5.3 .Appareillage :	32
II.6. Essai Œdometrique :	33
II.6.1. Principe de l'assai :	33
II.6.2.Appareillage :	34
Chapitre III	35
III.1. Introduction :	36
III.2. Généralités Sur les régions d'étude :	36
III.2.1. Situation géographique et géologique :	36
III.2.1.1. Illizi- (Ain Amenas) :	36
III.2.1.2. Touggourt :	37
III.2.1.3. Hassi Messaoud :	37
III.3. Campagne de reconnaissance (par LTPS) :	38
III.3.1.La région de Touggourt :	38
III.3.1.1.Les coordonnées des sondages :	38
III.3.1.2.Description lithologique des sondages :	39

III.3.1.3. Essais D'identification :	39
III.3.1.4. Essais Mécaniques :	42
III.3.2. La région de Hassi Messaoud :	42
III.3.2.1. Les coordonnées des sondages :	42
III.3.2.2. Description lithologique des sondages :	42
III.3.2.3. Essais Identification :	43
III.3.2.4. Essais Mécaniques :	46
III.3.3. la Région d' Illizi-Ain Amenas :	47
III.3.3.1. Les coordonnées des sondages :	47
III.3.3.2. Description lithologique des sondages :	47
III.3.3.3. Essais D'identification :	48
III.3.3.4. Essais mecaniques :	50
III.3.4. Comparaison entre les régions :	51
Conclusion	52

Liste de Figure

- Figure I.1 :** Schéma Processus de formation de l'argile.
- Figure I.2 :** Types de phyllo silicates formés au cours de l'altération.
- Figure I.3 :** Transformations des minéraux argileux.
- Figure I.4 :** structure générale des phyllo silicates.
- Figure I.5 :** Croquis schématique montrant (a) un seul tétraèdre de silice et (b) Structure d'une feuille de tétraèdres de silice disposés en réseau hexagonal
- Figure I.6 :** Croquis schématique montrant (a) une seule unité octaédrique (b) Structure de la feuille des unités octaédriques.
- Figure I.7 :** Croquis schématique de la structure de la kaolinite.
- Figure I.8 :** Croquis schématique de la structure de l'Illite.
- Figure I.9 :** Croquis schématique de la structure d'une smectite.
- Figure I.10 :** Croquis schématique de la structure de chlorites.
- Figure I.11 :** Croquis schématique de la structure de vermiculite montrant des couches d'eau.
- Figure I.12 :** Forme des particules argileuses.
- Figure I.13 :** Surface des particules argileuses: interne et externe
- Figure I.14 :** Photographie MEB de texture matricielle (a : Argile Verte de Romainville) et texture agrégé (b : Argile de Bavent).
- Figure I.15 :** Schéma de la double couche d'eau entourant une particule argileuse.
- Figure II.1 :** Classification générale de la granulométrie
- Figure II.2 :** Essai granulométrique (tamisage).
- Figure II.3 :** Analyse granulométrie par voie humide.
- Figure II.4 :** Appareillage de l'essai analyse granulométrique par sédimentométrie.
- Figure II.5 :** Appareil de Casagrande
- Figure II.6 :** diagramme d'Abaque de Casagrande
- Figure II.7 :** Appareil de l'essai de cisaillement
- Figure II.8 :** Principe d'essai Oedométriques.
- Figure III.1 :** Localisation des régions d'Illizi (Ain Amenas), Hassi Messaoud et Touggourt
- Figure III.2 :** Coupes lithologiques des sondages N°01 et N°02 (Touggourt).
- Figure III.3 :** L'Abaque de Skempton
- Figure III.4 :** Coupes lithologique des sondages de N°01 et N°02 et N°03 (HassiMessaoud)
- Figure III.5 :** Histogrammes des limites d'atterberg, et pourcentages d'argile
- Figure III.6 :** Histogrammes des insoluble, sulfates, et les carbonates

Liste de Tableau

Tableau I.1: Surface spécifique des particules argileuses.

Tableau I.2 : Capacité d'échange de cations (C.E.C) et surface spécifique totale (SST) de quelques argiles.

Tableau I.3 : les activités des différents minéraux.

Tableau II.1 : Interprétation des limites d'Atterberg.

Tableau III.1 : Les coordonnées des sondages(Touggourt) .

Tableau III.2 : Analyse Granulométrique(Touggourt) .

Tableau III.3 : les limites d'Atterberg(Touggourt) .

Tableau III.4 : l'activité de l'argile (Touggourt) .

Tableau III.5 : Tableau présentant d'analyse chimique(Touggourt).

Tableau III.6 :Coordonnées des sondages (HassiMessaoud)

Tableau III.7: les résultats d'analyse granulométriques(HassiMessaoud).

Tableau III.8 :Les limites d'atterberg. (HassiMessaoud)

Tableau III.9: les calculs de l'activité des argiles analysées (HassiMessaoud).

Tableau III.10 : Tableau présentant les résultats d'analyses chimiques (HassiMessaoud).

Tableau III.11 : les résultats des essais de cisaillement de type (UU) . Hassi Messaoud)

Tableau III.12 : Les résultats des essais Oedométriques. (HassiMessaoud)

Tableau III.15 : coordonnées (Ain amenas).

Tableau III.16 : les résultats d'analyse granulométrique (Ain amenas).

Tableau III.17 : Les limites d'atterberg(Ain amenas) .

Tableau III.18 : l'activité de l'argile (Ain amenas).

Tableau III.19 : analyse chimique (Ain amenas) .

Tableau III.20 : les résultats des essais de cisaillement de type (UU) (Ain amenas).

Tableau III.21 : essais Géométriques (Ain amenas).

Tableau III.22: Comparaison entre les régions

Liste des symboles

OH⁻ : Ion de Hydroxydes

O⁻² : Ion d'oxygène

Fe⁺² : Ion de fer

SST : surface spécifique totale

Ac : Activités des argiles

C.E.C : Capacité d'échange cationique (meq/100g)

Ip : Indice de plasticité

W_L : Limite de liquidité (%)

W_P : Limite de plasticité (%)

PC : Pression de consolidation

CT : Coefficient de tassement

CG : Coefficient de gonflement

φ : Angle de frottement

UU : Essai de cisaillement non consolidé - non drainé.

SO₄⁻² : Ion du sulfate

C: Coefficient de cohésion ;

Introduction générale

L'expansion urbaine est l'un des plus importants, les problèmes auxquels sont confrontés les spécialistes dans l'organisation et la création du champ urbanisation en général et en expansion urbaine, surtout dans les villes du désert d'Algérie qui Témoin du développement et de l'expansion du logement mais cette expansion n'a pas été sans problèmes que nous avons remarqués fissures dans certains murs tombent certains bâtiments sont dus à la base de ce problème construire sur un sol instable par exemple, construire sur des terrains en argiles .

Notre étude base sur 3 régions du sud-est algérien, représentées par Illizi, Hassi Messaoud, et Touggourt. Car ces régions connues par des argiles à faible profondeurs et des importances quantités par conséquent, nous donnerons une image illustrative sur les caractéristiques géotechniques de l'argile et les types présents dans chacun d'Illizi, Hassi Messaoud, et Touggourt, et les comparerons.

Les particules d'argiles sont généralement très petites ($< 2\mu\text{m}$), elles sont composées de silicates hydratés d'aluminium et partiellement de magnésium....etc. Se présentant sous différentes formes qui peuvent êtres :

- Kaolinite.
- Illites.
- Montmorillonite.

Ce sont des silicates lamellaires ou phyllo silicates qui résultent de l'empilement de deux formes minéralogiques de base, les feuillets tétraédriques et les feuillets octaédriques.

L'objectif du travail Consiste à :

- Chapitre I : Généralité sur les argiles.
- Chapitre II : Essais au laboratoire.
- Chapitre III : identification les caractéristique géotechniques des argiles.

Chapitre I

Généralité sur les argiles

I.1.Introduction :

Le mot “argile” vient du mot grec “argilos” dérivé de “argos” qui signifie blanc, puis sa traduction en latin: “argilla”. Il n’y a pas de définition unique du terme “argile”. Le mot “argile” englobe deux connotations, l’une liée à la taille des grains et l’autre à la minéralogie. La définition dépend de la discipline concernée.

I.2. Origine et Définition des Argiles :

Les argiles sont des matériaux sédimentaires de la couche superficielle de l’écorce terrestre. Ils sont obtenus par dégradation et altération par l’hydrolyse des minéraux des roches éruptives et magmatiques sous l’action physique et chimique des eaux de surface. Ces résidus détritiques sont déplacés par voie glaciaire, fluviale ou éolienne et se déposent dans les bassins de sédimentation. Le terme “argile” possède différents sens qui ne se recouvrent que globalement. [1]

Le terme “argile” peut désigner des minéraux de structures et propriétés particulières, des roches argileuses composées pour l’essentiel de ces minéraux ou bien la partie la plus fine d’une analyse granulométrique d’un sol meuble inférieur à 2 μm . Cependant, cette dernière est constituée de minéraux argileux résultant de la destruction des roches (les roches sédimentaires contiennent 50 %, les schistes 50 à 80 % et les roches éruptives donnent, par décomposition, des argiles).

Un sol est considéré comme argileux s’il contient plus de 50% de minéraux argileux. Les minéraux d’argiles sont fondamentalement constitués de silicium, d’aluminium, d’oxygène et d’ions hydroxyles. Ce sont des phyllo silicates d’alumine hydratés. Le préfixe “phyllo” désigne des minéraux qui prennent des formes de feuillets. Cette structure leur confère des propriétés absorbantes et plastiques. Plusieurs facteurs jouent un rôle sur le type d’argile résultant, à savoir la nature de la roche mère, la topographie et le climat. (Figure I.1).

I.3. La formation de l’argile :

Les argiles naissent du sol en constant mouvement. Elles apparaissent selon trois grands processus de formation, juxtaposables :

- ✚ Le premier est relatif à la simple décomposition des roches par érosion. Les phénomènes caractérisant une érosion des sols sont nombreux. La pluie, le vent, le gel, le dégel, les vagues et bien d'autres sont autant de phénomènes naturels à l'origine de la formation des argiles.
- ✚ Le deuxième processus est appelé néoformation. Il s'agit de la formation de minéraux à partir de substances transportées par l'eau du sol qui se combinent pour former une structure minérale.
- ✚ Le troisième mécanisme correspond au processus de transformation des minéraux évoluant par dégradation (perte d'équilibre du sol) ou aggradation (accumulation de sédiments dans un cours d'eau par excès de transport par l'eau) d'ions minéraux argileux.[2]

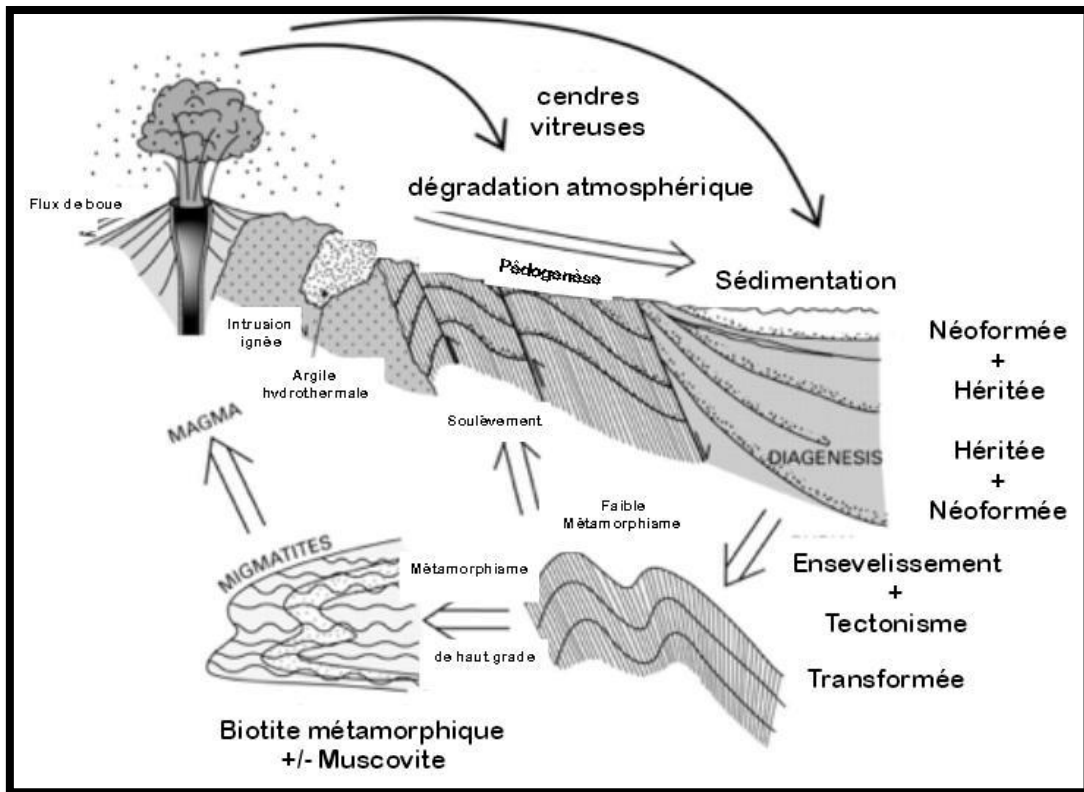


Figure I.1 : Schéma Processus de formation de l'argile[2].

Les roches argileuses sont présentes presque partout à la surface de la planète, mais leurs propriétés et leur composition diffèrent selon les conditions dans lesquelles elles se sont formées.

L'altération de diverses roches, de par les temps géologiques, sont à l'origine des différentes argiles. C'est un ensemble qui caractérise l'argile, le type de roche dont elle est issue, le climat, la topographie du sol...

I.3.1. La roche mere :

- ✚ L'altération d'une roche acide, comme le granite, donne plutôt de la kaolinite.
- ✚ L'altération d'une roche basique, comme le basalte, donne plutôt des smectites

I.3.2. La topographie :

Elle commande le drainage et elle intervient également :

- ❖ Sur une pente, où le drainage et le lessivage sont bons, la formation de kaolinite est favorisée.
- ❖ Dans une cuvette, milieu confiné où se concentrent les solutions, se forment plutôt des smectites.

I.3.4. Le climat :

En fonction des roches mères et du climat, les minéraux argileux résultant sont différents :

- ❖ En climat froid :l'altération est faible, les minéraux sont argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine.
- ❖ En climat chaud et humide: l'hydrolyse est poussée, la kaolinite se forme en milieu drainé, les smectites en milieu confiné.
- ❖ En climat tempéré et humide: l'altération est modérée, il apparaît des inter-stratifiés, des illites et chlorites dégradées, de la vermiculite.

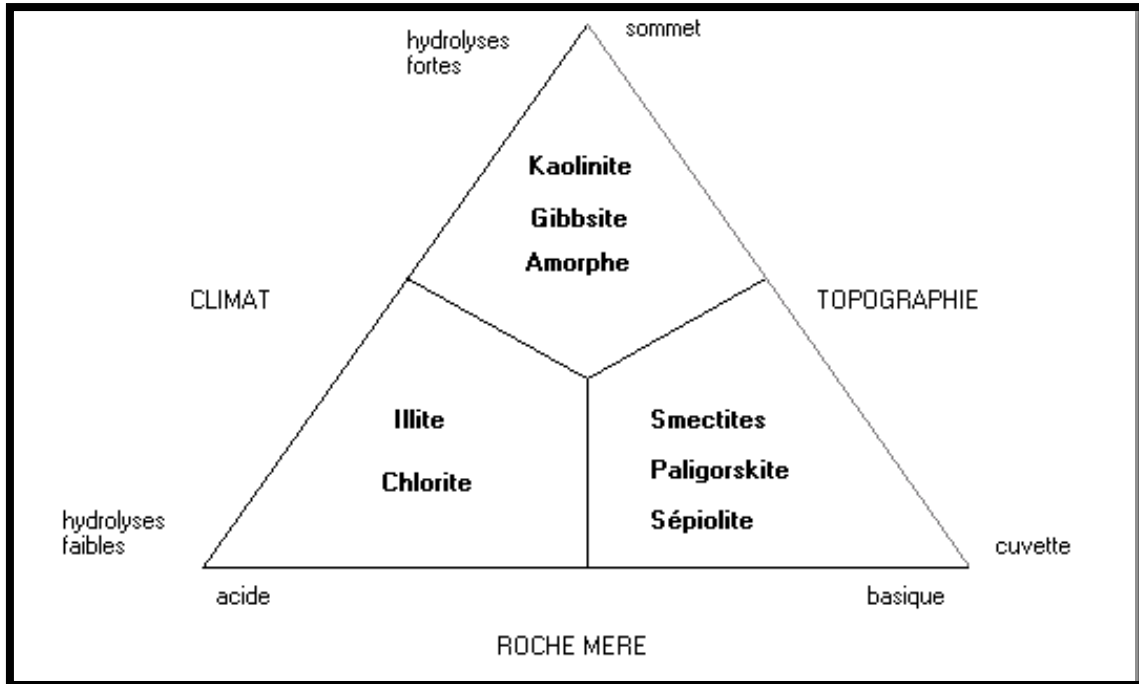


Figure I.2 : Types de phyllo silicates formés au cours de l'altération. [1]

Du point de vue chimique, il s'agit de réactions tendant à faire acquérir aux combinaisons d'éléments chimiques constituant les minéraux ou les roches, un état plus stable que leur état initial, au contact de l'atmosphère. C'est ainsi que les micas se chloritisent, que les feldspaths se Kaolinisent, que les sulfures se transforment en sulfates. Ce sont toujours des oxydations ou des hydrolyses. [1]

I.4.La Transformation des minéraux argileux :

Les minéraux néoformés ou hérités peuvent évoluer pour prendre un nouveau statut en équilibre avec le nouveau milieu (Figure I.3). On distingue les transformations par dégradation (soustraction d'ions) et par aggradation (par fixation d'ions supplémentaires).

Ces transformations ont lieu aussi bien au cours de l'altération que de la diagenèse. Il existe aussi des minéraux transformés par recristallisation. On comprend que leur statut est intermédiaire, puisque leur substance est héritée et leur structure néoformée. [3]

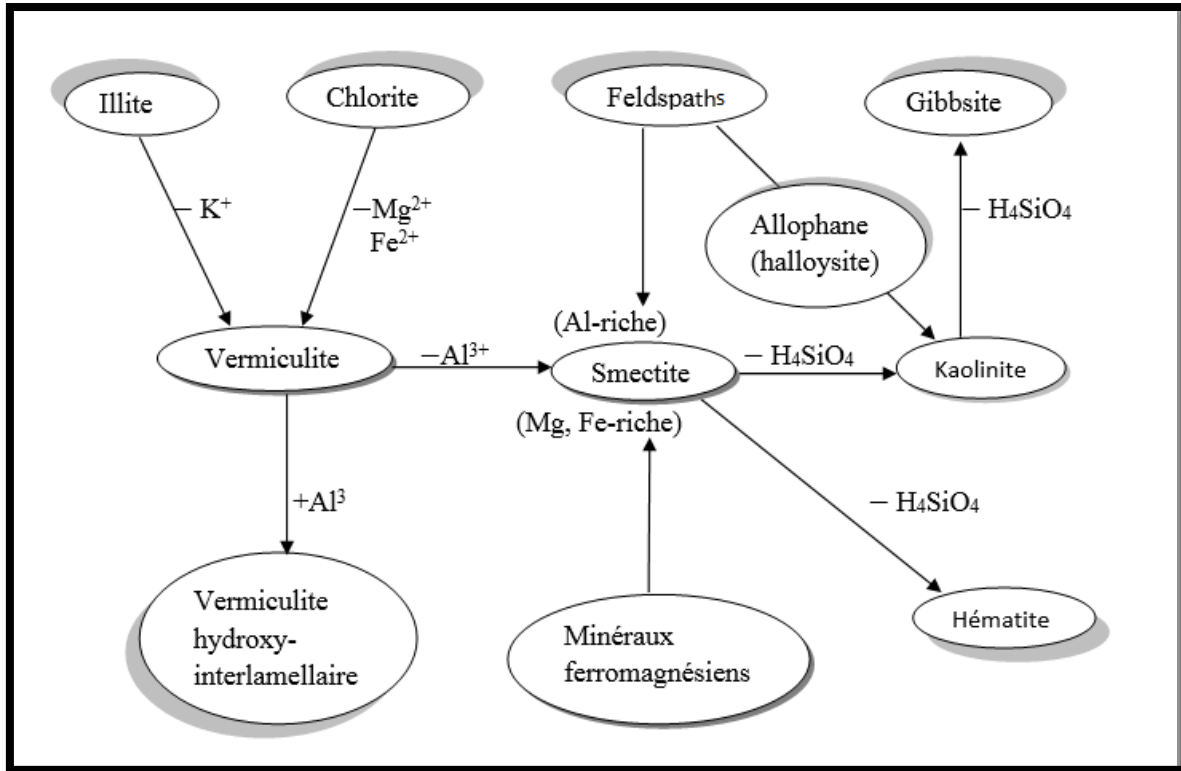


Figure I.3 : Transformations des minéraux argileux [3].

I.5. Minéralogie et Structure cristalline des argiles :

Les argiles sont des matériaux lamellaires constitués par l'empilement de Feuillet, elles ont quatre niveaux d'organisation :

- ✚ Les plans sont constitués par les atomes.
- ✚ Les feuillet, tétraédriques ou octaédriques, sont formés par une combinaison de plan.
- ✚ Les couches correspondent à des combinaisons de feuillet.
- ✚ Le cristal résulte de l'empilement de plusieurs couches.

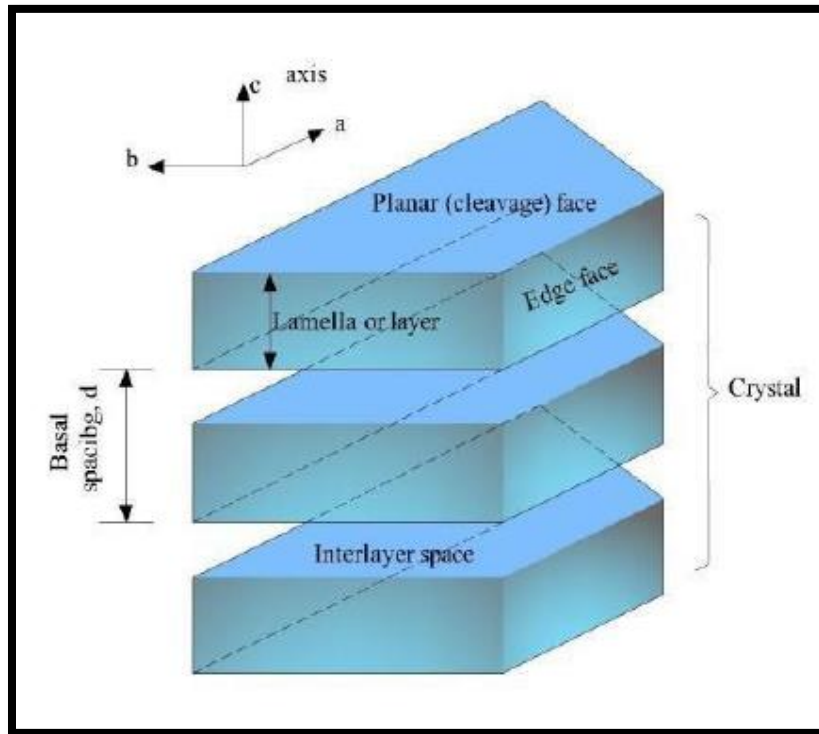


Figure I.4 : structure générale des phyllo silicates .

La structure cristallographique de ces feuillets est caractérisée par la superposition de deux couches :

- ✚ Couche tétraédrique : tétraèdre de quatre oxygènes avec un atome de silicium au centre. Il s'agit de l'anion orthosilicate qu'on retrouve dans le quartz ; ici seuls 3 atomes d'oxygène sont partagés avec des atomes de silicium. Ils s'allient en formant des hexagones dans le plan, ce qui donne la formule de la couche $n(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$, les atomes d'oxygène des sommets supérieurs sont chargés (Figure I.5).

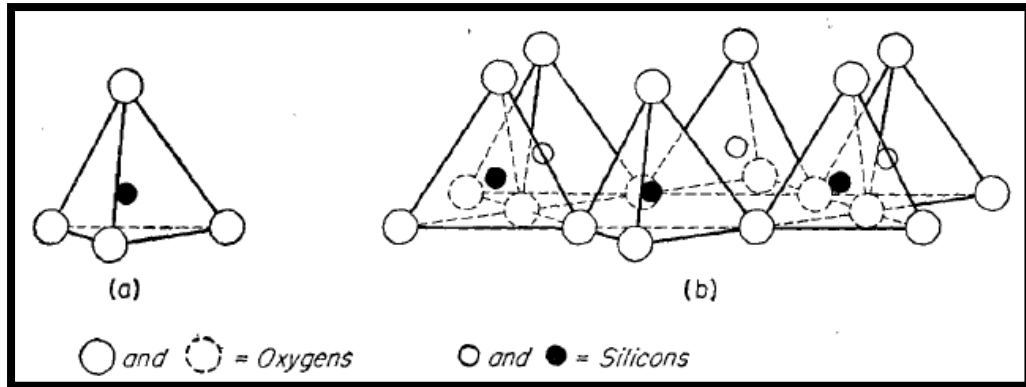


Figure I.5 : Croquis schématique montrant (a) un seul tétraèdre de silice et (b) Structure d'une feuille de tétraèdres de silice disposés en réseau hexagonal

- + Couche octaédrique : à base d'octaèdres de gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$, octaèdre de 6 hydroxyles OH^- avec un ion aluminium au centre. Un octaèdre est le volume formé par deux pyramides de base carrée, assemblées par des bases. De nouveau, ces octaèdres s'associent en formant des hexagones selon un plan (Figure I.6). On peut aussi trouver de la brucite $\text{Mg}(\text{OH})_2$ à la place de gibbsite.

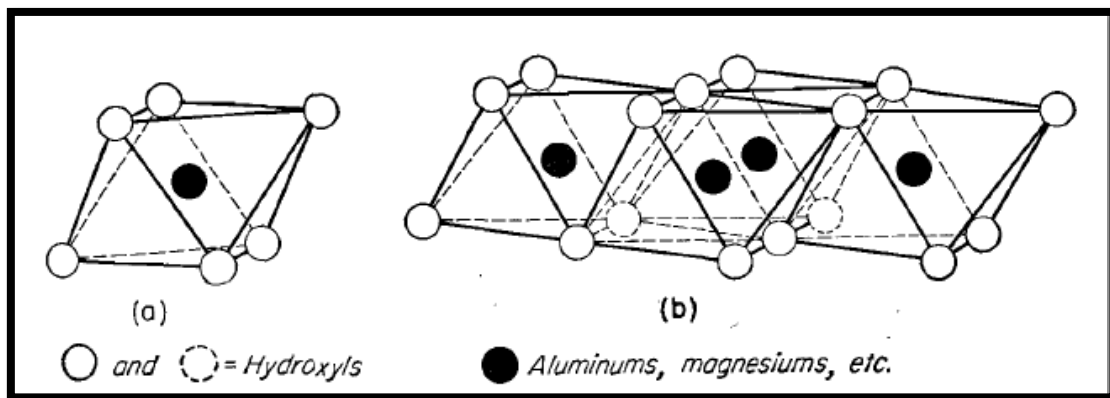


Figure I.6 : Croquis schématique montrant (a) une seule unité octaédrique (b) Structure de la feuille des unités octaédriques.

Les différents groupes de minéraux argileux se différencient par l'arrangement de ces deux couches.

I.6. Classification des minéraux :

Plusieurs classifications ont été proposées :

- ✚ La première classification de l'AIPEA (Association Internationale Pour l'Etude des Argiles) de 1966-1972 se fonde sur la charge du feuillet et le nombre d'atomes métalliques présents dans la couche octaédrique.
- ✚ La deuxième, La classification établie par Mering et Pedro en 1969 prend en considération la position des substituants, leur répartition ainsi que la nature des cations compensateurs.
- ✚ La classification basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet on distingue 4 groupes :

- 1) Minéraux à 7 Å: Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T/O ou de type 1/1. Son épaisseur est d'environ 7 Å.
- 2) Les minéraux à 10 Å sont constitués d'un feuillet formé de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique, appelé T/O/T ou de type 2/1. Leur épaisseur est d'environ 10 Å.
- 3) Les minéraux à 14 Å sont constitués d'un feuillet formé par l'alternance de couches T/O/T et de couches octaédriques inter-foliaires.
- 4) Les minéraux inter-stratifiés ont une épaisseur de feuillet variable et sont le résultat d'un mélange régulier ou irrégulier de différents minéraux argileux.

✚ La classification la plus classique est basée principalement sur les paramètres suivants :

- 1) la combinaison de feuillets (T/O ou 1/1; T/O/T ou 2/1; T/O/T/O ou 2/1/1).
- 2) le type de cations dans l'octaèdre.
- 3) la charge de la couche.
- 4) le type de matériel dans l'espace inter-foliaire.

I.7. Les principales familles des argiles :

Les trois types d'argiles les plus couramment rencontrés sont la kaolinite, l'illite et la Montmorillonite.

I.7.1. Les Kaolinites :

La formule structurale est : $(\text{OH})_4 \text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5$. Son nom vient de Kao ling, lieu géographique en Chine. Parmi cette famille, nous avons : Kaolinite, Bertierine, Dickite, Nacrite et Halloysite.

Une particule d'argile est formée d'un empilement de plusieurs feuillets d'équidistance fixe de 7 \AA , elle est composée d'une couche tétraédrique siliceuse et d'une couche octaédrique alumineuse.

Le contact entre les feuillets se fait suivant un plan contenant des ions d'hydroxyles OH^- de l'octaèdre et des ions d'oxygène O^{2-} du tétraèdre. Les liaisons inter-foliaires, résultant de l'effet combiné de liaisons d'hydrogène et de la force de Van Der Waals, confèrent un lien assez fort avec une grande stabilité vis-à-vis de l'eau. Les feuillets sont alors soudés les uns aux autres par des forces de liaisons très importantes rendant la kaolinite presque insensible au gonflement. les substitutions isomorphes sont peu fréquentes dans ce type d'argile grâce à la stabilité physique de sa structure et le pouvoir de fixation des cations ne dépasse pas 15 milliéquivalent/100g.

Les particules de kaolinite sont des plaquettes hexagonales rigides de grande taille, mesurant de quelques dizaines à une centaine de nanomètres d'épaisseur et de quelques centaines à un millier de nanomètres en extension latérale. Les feuillets sont empilés de manière ordonnée et en contact les uns avec les autres. Dans ce type d'argiles, l'eau inter-foliaire n'existe pas théoriquement.

La kaolinite est un minéral fréquent dans les sédiments argileux issus de l'altération de roches riches en feldspath, comme les granites. Elle contient une forte proportion d'alumine (46%) et possède des propriétés de plasticité ainsi qu'un faible retrait lors du séchage et de la cuisson.

[1]

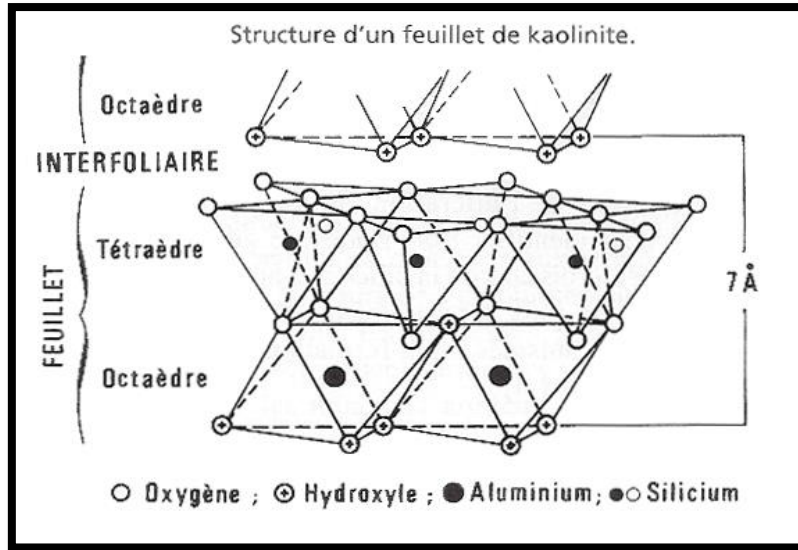
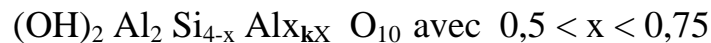


Figure I.7 : Croquis schématique de la structure de la kaolinite. D'après Gruner(1932)

I.7.2. Les illites :

Le feuillet élémentaire de l'illite est formé d'une couche d'alumine entre deux couches de silice et mesure environ 10 Å d'épaisseur. L'illite est le minéral argileux le plus répandu dans la nature et est considéré comme une argile potentiellement gonflante. Les liaisons entre les feuillets sont moins fortes que celles des kaolinites.[1]

Les analyses chimiques ont montré dès le début remplacé par un ion d'aluminium, ce qui diminue d'autant la quantité d'alcalins entre les feuillets. Un remplacement partiel des ions Al octaédriques par des ions Mg, Fe²⁺ et Fe³⁺ fréquent. Le déficit de charge qui en résulte est compensé par l'eau et les cations de potassium K⁺ (sauf qu'on a plus d'eau, moins de K). La présence de ces cations contribue à renforcer les liaisons inter-feuillets. Le comportement des illites se rapproche alors de celui des kaolinites. La formule structurale est variable selon le model suivant :



Le groupe des micas présente aussi des feuillets à trois couches T-O-T. Un exemple de mica est la muscovite $\text{K Al}_2 [\text{Si}_4 \text{Al O}_{10}](\text{OH})_2$. Elle fait intervenir des ions K²⁺ qui sont absorbés dans les liaisons inter foliaires afin de compenser le déséquilibre des charges. Cependant ces ions sont liés de façon très stable et la plupart ne sont pas échangeables.

La structure des micas se rapproche de celle des illites sauf qu'elles sont plus grandes.

Leur formule chimique est la suivante:

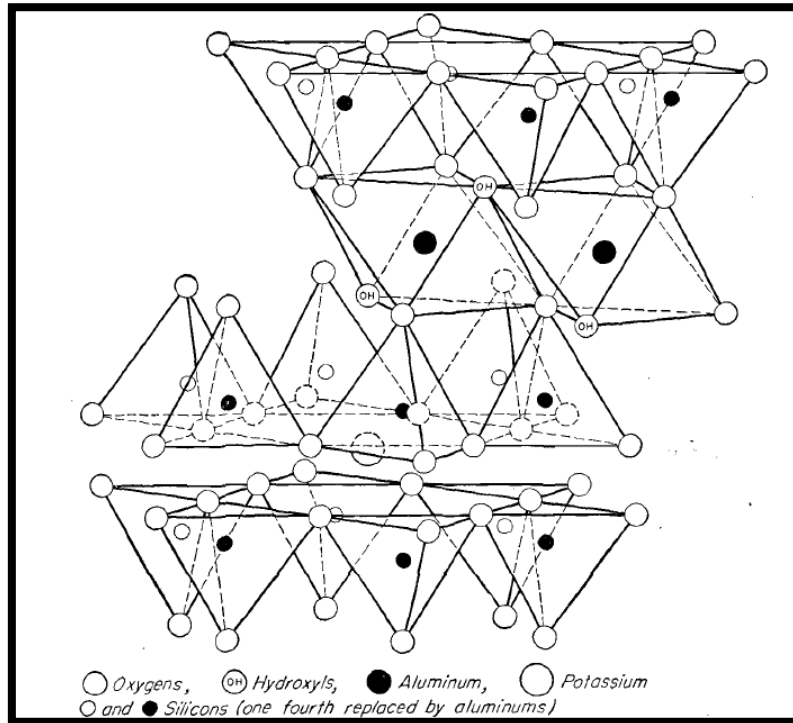
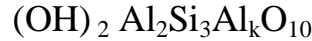


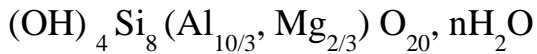
Figure I.8 : Croquis schématique de la structure de l'Illite. (Muscovite. D'après Gruner(1962).

I.7.3.LesMontmorillonites :

La Smectite, la Beidellite, la Nontronite, la Hectonite, la Saponite et la Sauconite sont des argiles dites potentiellement très gonflantes. Le représentant le plus important de cette famille des minéraux est la montmorillonite.

Le terme de montmorillonite a été proposé par Damour et Salvétat (1847) d'après le nom de la ville de Montmorillon (Vienne, France). La montmorillonite se compose comme suit: une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques. Les tétraèdres de la couche tétraédrique sont occupés par le silicium, et l'aluminium de la couche octaédrique est remplacé partie par le magnésium. L'empilement des feuillet est désordonné ; chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent et a une extension latérale extrêmement grande par rapport à son épaisseur qui est d'environ 9.6 Å. Ce désordre est constitution des faces

inferieures et supérieures de ce type d'argile, ne permettent pas le développement d'une liaison hydrogène entre les feuillets, ce qui facilitent leur écartement et l'absorption des molécules variées (eau, cations ou molécules organiques) au niveau de l'espace inter-foliaire qui s'écarte. De ce fait, parvient la sensibilité de ces argiles à l'eau qui se glisse entre ces feuillets en quantité variable et donne à la périodicité de l'empilement une valeur également variable souvent voisine de 14 Å. Ceci crée un déficit de charge compensé par des ions, situés entre les feuillets et qui sont changeables et fréquemment représentés dans la nature par Na et Ca. [1]



Les feuillets des smectites peuvent s'intercaler régulièrement ou irrégulièrement avec d'autre feuillets argileux, l'ensemble forme des inter-stratifiés, le comportement peut s'avérer gonflant, c'est le cas de la corrensite, la torudite, la kaolinite -montmorillonite, etc.

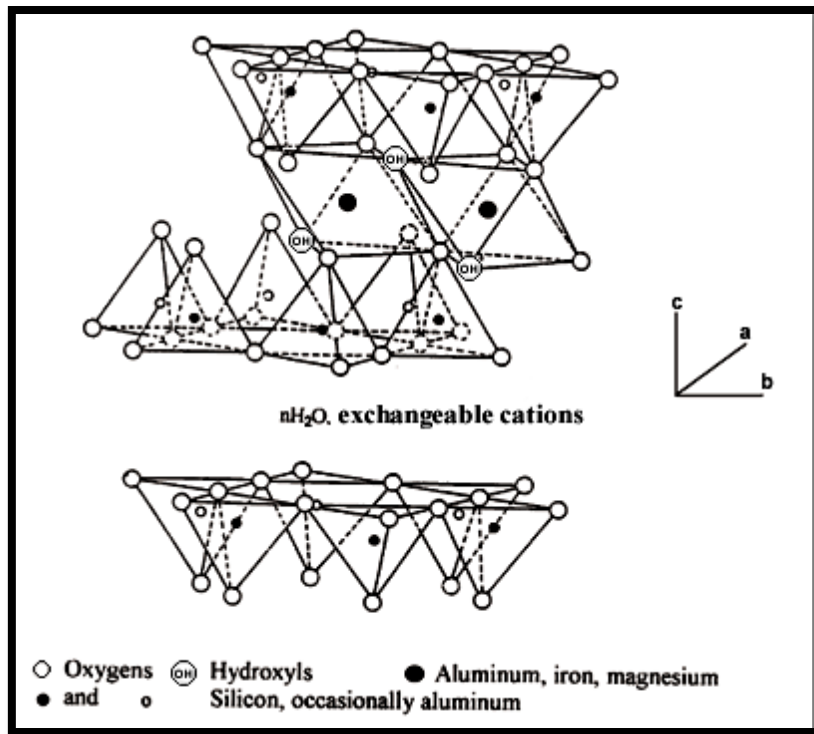


Figure I.9. Croquis schématique de la structure d'une smectite. Adapté par Grim (1962).

I.7.4. Les chlorites : La formule structurale est : $(OH)_4 (Si Al)_8 (Mg, Fe)_6 O_{20}$. Ce nom leur a été attribué pour leur couleur verdâtre, du grec « chloros ». Des chlorites de couleur jaune, rouge ou blanche sont également retrouvés.

Les chlorites sont composés à trois couches T-O-T. Ici, l'espace inter foliaire est garni par des composés de Mg et OH qui forment pratiquement une quatrième couche stable, proche de la brucite. On parle parfois d'une structure T-O-T.O. La capacité d'échange est limitée et l'écart réticulaire reste constant (14,1 Å). Les chlorites sont assez fréquents dans les argiles pour terre cuite.

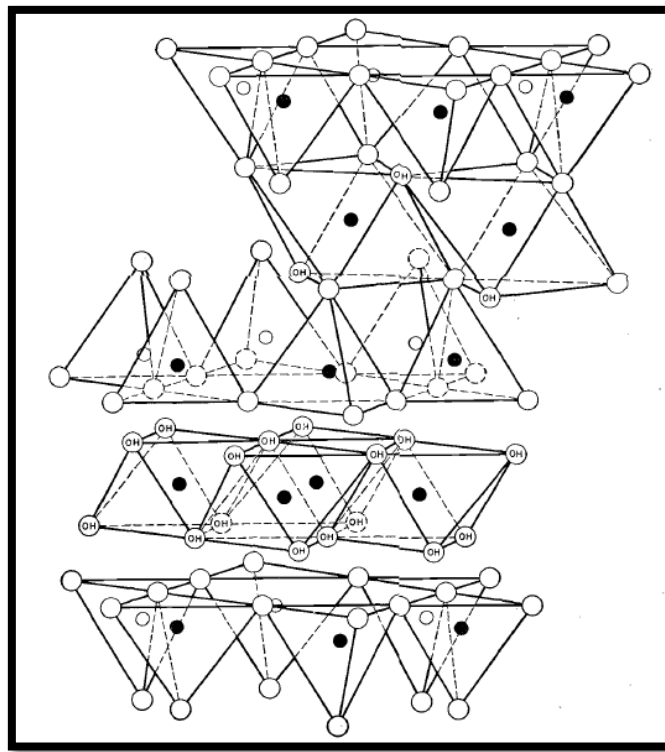


Figure I.10. Croquis schématique de la structure de chlorites. D'après Mc Murchy. (1934)

I.7.5. Les vermiculites :

$Mg_3 [AlSi_3O_{10}] (OH)_2 \cdot nH_{20}$: Elles sont majoritairement trioctaédriques. Fréquente dans les sols de la zone tempérée. Elles constituent une famille proche de celle des smectites, mais les feuillets sont caractérisés par un déficit de charge plus important. La couche octaédrique contient du Fe et du Mg. La vermiculite est proche des illites et chlorite mais montre des propriétés gonflantes. [3]

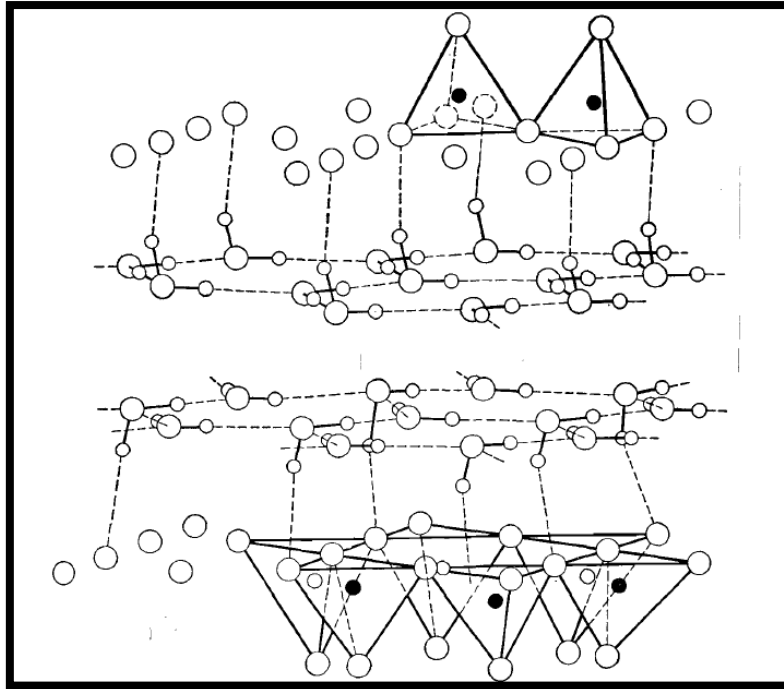


Figure I.11 : Croquis schématique de la structure de vermiculite montrant des couches d'eau, d'après Hendricks et Jefferson. (1938).

I.8. Classification selon la couleur :

La couleur des argiles ne permet pas de les identifier car une même couleur peut être attribuée à différents types d'argiles. Par exemple, la couleur verte peut être retrouvée chez la montmorillonite, l'illite ou la chlorite. La variation de couleur observée dépend de la concentration en oxyde de fer. [4]

I.8.1 Verte :

Les argiles vertes, qui ont généralement une faible teneur en fer, sont souvent des montmorillonites, des illites ou des smectites.

I.8.2. Blanche :

Ces argiles ne contiennent aucune substance colorée. Leur formation n'a donc pas été perturbée, elle a été uniforme. On retrouve le plus souvent des kaolinites mais également des smectites. [4]

I.8.3. Rose :

Ces roches argileuses ne sont pas retrouvées au naturel, telles quelles. Il s'agit d'un mélange d'argile rouge et d'argile blanche. Ce mélange a pour but d'augmenter la concentration en oligo-éléments de l'argile blanche tout en diminuant la concentration en fer de l'argile rouge.

I.8.4. Rouge :

Généralement des illites, ces argiles sont riches en oxyde de fer. Très reminéralisantes, elles sont idéales en usage externe pour les peaux irritées, fatiguées ou ternes qu'elles adoucissent et purifient. [4]

I.8.6. Jaune :

Ces illites riches en oxyde de fer et magnésie vont apaiser de nombreuses douleurs (articulaires, musculaires) et tonifier la peau. Appliquées en masques, la peau et les cheveux normaux l'apprécient tout particulièrement. [4]

I.9. Propriétés des argiles :

Les minéraux argileux se caractérisent par quatre propriétés principales :

1. formes et surfaces spécifiques.
2. capacités d'adsorption d'eau et de gonflement.
3. multiples possibilités d'échanges cationiques.
4. activité des argiles.

I.9.1. Forme et surface spécifique :

I.9.1.1. La forme :

Les argiles se présentent sous trois formes (voir Figure I.12) :

- en flocons, caractérisés par une même dimension dans les deux directions et une épaisseur équivalente à $1/20^{\text{ième}}$ de la longueur.
- en latte, avec une dimension plus longue, épaisseur toujours équivalente $1/20^{\text{ième}}$ de la longueur.
- en aiguilles, deux dimensions identiques et la $3^{\text{ième}}$ beaucoup plus grande (assez rare).

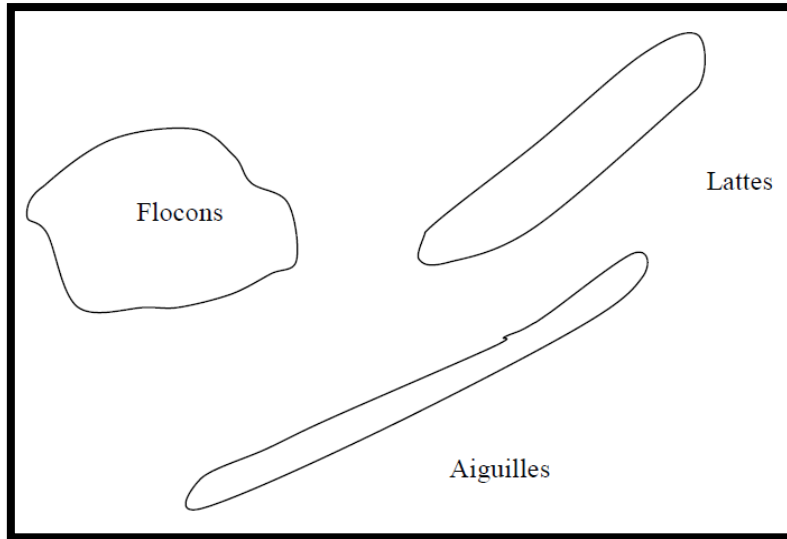


Figure I.12: Forme des particules argileuses .[5]

I.9.1.1. la Surface spécifique :

La dimension des particules aura une influence importante. En effet, la surface spécifique des minéraux argileux croit avec la diminution de la taille des particules, ce qui donne un pouvoir d'absorption plus important et, par conséquent, un potentiel de gonflement plus grand. Le tableau I.2 et la figure I.13 résumant la surface spécifique des particules argileuses.

Tableau I.2 : Surface spécifique des particules argileuses. [5]

Argile	Surface spécifique (m ² /g)		
	Interne	Externe	Totale
Smectite	750	50	800
Vermiculite	750	>1	750
Illite	5	25	30
Kaolinite	0	15	15
Chlorite	0	15	15

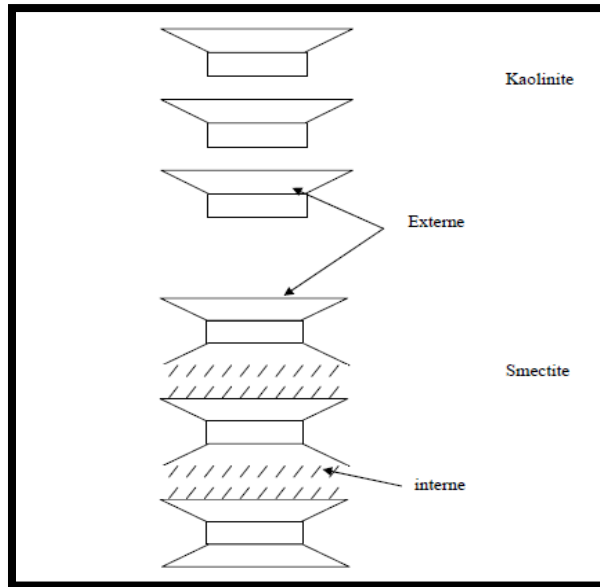


Figure I.13: Surface des particules argileuses: interne et externe.[5]

I.9.2.Capacité d'échange en cation CEC :

C'est principalement les propriétés électriques de surface de la particule argileuse et les cations dont le comportement dépend de leurs positions, de leurs possibilités d'échanges et leurs caractéristiques électriques et géométriques. Pour un même type de minéral et d'une manière générale, le gonflement va en décroissant suivant les ions suivants Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , H^+ et Fe^{3+} .le tableau I.3 résume les CEC et la surface spécifique totale SST de quelques argiles.

Tableau I.3 : Capacité d'échange de cations (C.E.C) et surface spécifique totale (SST) de quelques argiles d'après.[Lautrin.1987][6]

Argiles	C.E.C (meq/100g)	SST (m ² /g)
Montmorillonite Na ⁺	150	800
Montmorillonite Ca ⁺⁺	80	300
Illite	10-40	40-60
Kaolinite	3-15	40-60
Élément non argileux	-	1-3

I.9.3.Degré d'hydratation :

Le degré d'hydratation varie d'une famille argileuse à une autre. Certains minéraux argileux ont la capacité d'introduire dans leur structure des molécules d'eau. Cette eau modifie la dimension de la couche en provoquant son gonflement. Ces argiles ont une appellation d'argiles gonflantes.[5]

I.9.4.Activité des argiles :

Skempton (1953), a considéré que les valeurs des limites d'Atterberg sont liées à la quantité d'eau retenue à la surface des particules et donc à la quantité d'argile présente dans le sol. L'auteur a défini l'activité d'une argile par le rapport de l'indice de plasticité (I_p) et du pourcentage des éléments inférieurs à deux microns ($<2 \mu\text{m}$).

L'activité « A_c » d'une argile se définit comme étant le rapport :

$$A_c = \frac{I_p}{\% \text{ éléments} < 2 \mu\text{m}}$$

Skempton a proposé la nomenclature suivante [7] :

- ✚ Argiles inactives : les argiles qui ont une activité inférieure à 0,75. Ces argiles sont à base de Kaolinite, ou des argiles contenant peu de minéraux argileux.
- ✚ Argiles normales : qui ont une activité comprise entre 0,75 et 1,25.
- ✚ Argiles actives : qui ont une activité comprise entre 1,25 et 2.
- ✚ Argiles très actives : qui ont une activité supérieure à 2.

Tableau I.3 : les activités des différents minéraux.

Minéral	Activité
Montmorillonite Na^+	4 - 7
Montmorillonite Ca^+	1,5
Illite	0,5 - 1,3
Kaolinite	0,3 - 0,5

I.10. Texture des Argiles :

Tout comme la structure cristalline des argiles, la texture est un paramètre important car il conditionne les propriétés physiques du minéral (Caillère & Hénin, 1959). La texture concerne l'assemblage des minéraux (argileux ou pas) sous forme d'agrégats ainsi que l'arrangement ou la distribution spatiale de ces agrégats (Audiguier, 1979). Aubouin et al.

(1968) définissent la texture comme «la forme, la dimension et la disposition d'un certain nombre de minéraux naturellement groupés en une population au sein de la roche ».

Cette organisation peut faire l'objet de différentes classifications (Van Olphen, 1963 ; Collins & Mc Gown, 1974 ; Le Roux, 1975 ; Sergejev et al. 1978), citées par Maison, 2011, et elles sont valables pour les sols argileux.

Gens et Alonso (1992) ont établi une classification pour les sols gonflants, à partir des travaux de Collins et McGown (1974). Cette classification se base sur l'organisation des particules élémentaires argileuses :

- ✚ Texture « matricielle » (Figure I.15 a) : texture dont la base est une pâte homogène avec les particules élémentaires disséminées dans cette pâte. Cette texture est caractéristique des sols naturels ou des sols compactés du côté humide de l'optimum Proctor.
- ✚ Texture « agrégée » ou « compactée » (Figure I.15 b) : texture compactée avec les particules élémentaires assemblées sous forme de mottes ou d'agrégats. (Wakim, 2005).

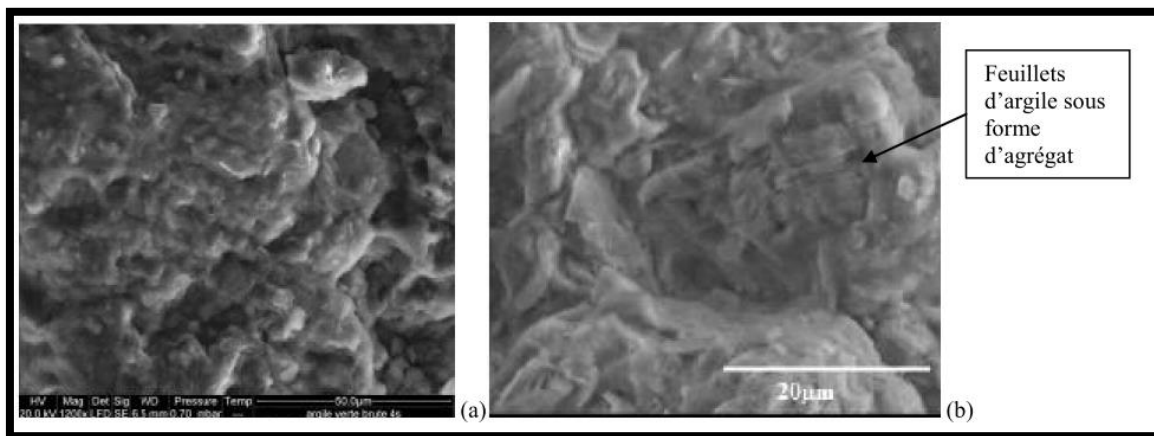


Figure I.14: Photographie MEB de texture matricielle (a : Argile Verte de Romainville) et texture agrégée (b : Argile de Bavent) (Vincent et al. 2009, cité par Maison, 2011).

Il est rare de rencontrer des sols argileux composés uniquement d'argile, et au sein même de la fraction argileuse, plusieurs types d'argiles peuvent coexister. La texture des sols argileux peut

varier fortement en fonction du type de minéraux argileux, du mode de sédimentation et de l'état de consolidation (Windal, 2001). Une roche argileuse qui présente une organisation serré et orientée des particules d'argiles n'a pas le même gonflement qu'un sol argileux dont la sédimentation a été rapide et récente et pour lequel la distance entre les plaquettes est maximale. Cette organisation des minéraux argileux est la principale cause du gonflement anisotrope.

La texture des matériaux argileux se superpose donc aux organisations des autres minéraux non argileux. Cette hétérogénéité rend la structure et la texture extrêmement complexes, surtout lorsque les minéraux argileux sont cimentés par d'autres minéraux carbonatés.

I.11. Mécanismes de gonflement

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 Inter-particulaire 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, comme on le montrera dans la suite. On présentera aussi le cas de l'anhydrite dont la transformation en gypse, en présence d'eau, provoque un gonflement notable. [8]

I.11.1. Gonflement au sens physico-chimique :

Compte tenu de la structure ionique présentée précédemment, il apparaît d'importantes interactions physico-chimiques entre une particule argileuse et l'eau, généralement illustrées par le modèle de la double couche. Avec des hypothèses très précises, cette théorie permet de quantifier le phénomène de gonflement par rapport aux différents paramètres de l'eau. [8]

I.11.1.1. Modèle de la double couche :

La particule d'argile présente généralement une charge nette négative due à des substitutions isomorphes au niveau des feuillets. Ce déficit de charges se traduit par la fixation de cations et par l'orientation des molécules polaires (d'eau, par exemple) dans l'espace périphérique de la particule et éventuellement entre les feuillets. A l'attraction des cations par la surface des particules d'argile s'oppose la tendance des ions à diffuser et à se distribuer d'une manière

homogène dans l'eau. Le résultat de cette interaction est un nuage d'ions entourant la particule, appelé double couche électrique diffuse (Figure I.15).

On a ainsi, autour de chaque particule, formation d'une double couche d'origine électrique, dite "couche de Gouy-Chapman", composée :

- d'une couche fixe liée au solide,
- d'une couche diffuse en affinité avec cette particule.

La théorie de Gouy-Chapman présentait l'inconvénient de prédire des concentrations d'ions extrêmement élevées à proximité de la surface. Elle a été modifiée par Stern (1924) pour prendre en compte une quantité finie d'ions aux abords des particules argileuses. La couche de Stern consiste en une quantité finie d'ions à côté de la surface (Figure I.15) ; elle est fixe tandis que la couche de Gouy est mobile. Cette dernière fait la transition entre la solution perturbée par la particule et la zone plus éloignée, non perturbée. La figure I.15 donne une représentation schématique de ce phénomène. [8]

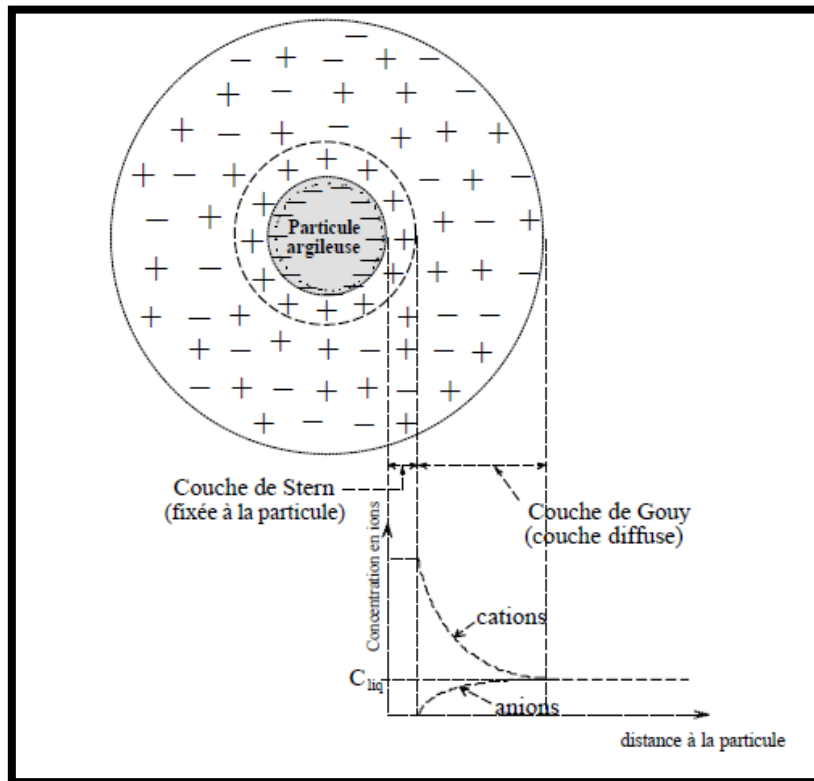


Figure I.15:Schéma de la double couche d'eau entourant une particule argileuse. [8]

I.11.2. Gonflement au sens mécanique :

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. [8]

I.12. Domaines d'utilisation des argiles :

- ❖ L'industrie de la céramique : par sa remarquable plasticité, l'argile est employée depuis toujours pour les poteries, les porcelaines.
- ❖ L'industrie du papier : Le papier est fabriqué à partir de fibres de bois réduites en pâte, de poudre, de pigments et d'additifs. Des charges (ou poudres) telles que l'argile ou la craie sont ajoutées pour rendre le papier opaque.
- ❖ L'industrie du bâtiment : L'argile est aussi un excellent minéral et mélangé à d'autres matériaux comme le calcaire, par exemple, il permet d'obtenir du ciment. Briques et tuiles peuvent en effet être fabriquées à partir d'un mélange d'argile et d'eau moulé sous pression, et cuit à une température suffisamment élevée (1200°C).
- ❖ L'industrie minière : L'argile peut être utilisée comme dépolluant dans l'épuration des eaux usées grâce à son grand pouvoir d'adsorption. Elle est particulièrement efficace pour adsorber les métaux lourds tels que le zinc présents dans les eaux polluées. Son utilisation pour traiter les eaux chargées en métaux lourds provenant de l'industrie minière est actuellement à l'étude.
- ❖ L'industrie pétrolière: L'argile est couramment utilisée dans l'industrie pétrolière comme boue de forage, mais elle peut également servir de catalyseur dans le raffinage du pétrole.
- ❖ L'élevage: Dans l'élevage des bovins, l'argile bentonite (argile colloïdale) est utilisée pour traiter les animaux souffrant de maladies graves telles que les infestations de parasites internes et d'autres formes d'intoxication. Des études ont montré qu'une alimentation contenant 5% d'argile peut stimuler la croissance des ovins et avoir un effet sur le métabolisme du rumen.

- ❖ L'industrie agricole : L'argile est un matériau naturel qui possède un pouvoir absorbant exceptionnel. Elle permet de retenir l'eau dans la terre et sert ainsi de réservoir d'eau et d'engrais aux plantes. En plus de son pouvoir absorbant, l'argile a également un pouvoir adsorbant (retenant les ions positifs) et constitue un véritable réservoir d'éléments nutritifs car il échange en permanence des ions avec la solution du sol environnante. La présence de ces ions échangeables entre les feuillets d'argile est importante car elle permet la nutrition des plantes. Elle cède en effet les cations retenus et les végétaux peuvent donc puiser l'eau contenue dans les pores. De plus, les processus d'échange ionique permettent de réaliser la fixation d'ions indésirables tels que des pesticides ou des déchets toxiques ou radioactifs.
- ❖ L'industrie pharmaceutique : Comme la poudre de (smecta), qui est utilisée pour traiter les douleurs abdominales, et aussi (actapulgite) qui est utilisé pour traiter les problèmes qui affectent les fonctions intestinales.

Chapitre II

Essais de laboratoire

II.1. Essais de laboratoire :

II.1. Identification :

Identifier un sol, c'est déterminer un ensemble de propriétés physiques, mécaniques ou chimiques qui permettent de le caractériser. Ces propriétés sont déterminées par des essais simples et rapides, appelés « essais d'identification ». Les essais d'identification conduisent à une description précise et chiffrée, et non seulement descriptive, du sol. Une définition chiffrée est nécessaire car des sols d'aspects très voisins peuvent présenter des comportements (mécaniques, en particulier) très différents.

Les essais d'identification servent de base aux divers systèmes de classification des sols. Leurs résultats permettent aussi d'estimer au moyen de corrélations des ordres de grandeur des propriétés mécaniques des sols et d'établir un redimensionnement grossier des ouvrages au stade des premières études. On distingue classiquement deux grandes catégories d'essais d'identification :

- Les essais qui répondent de l'arrangement et de la répartition des phases (squelette solide, eau, air). Ces essais caractérisent l'état du sol et ne peuvent être réalisés que sur des échantillons intacts :
- Les essais qui traduisent les propriétés des particules du sol et l'intensité de leurs liaisons avec l'eau. Ces essais caractérisent la nature du sol et sont réalisés sur des échantillons intacts ou remaniés (dont l'état a été perturbé lors du prélèvement ou du transport).

II.2. Types d'Essais d'analyse granulométrique :

La granularité est un paramètre qui permet de classer les sols naturels en fonction de la dimension des éléments qu'ils contiennent et de déterminer la répartition des grains de sol selon leur dimension dans un échantillon. Il existe deux méthodes pour effectuer une analyse granulométrique:

- Analyse granulométrie par tamisât : Pour les graviers et les sables;
- Analyse granulométrie par Sédimentation : Pour les sols à grains fins.

II.2.1. Analyse granulométrie par tamisât :

II.2.1.1. Définition :

L'analyse granulométrique se propose de définir la répartition des grains constitutifs d'un sol selon leurs dimensions. On étudie la granulométrie en tamisant le matériau sur une série normalisée de tamis à mailles carrées, les grains sont ainsi séparés selon leur taille.[9]

Généralement, on admet la classification granulométrique suivante :

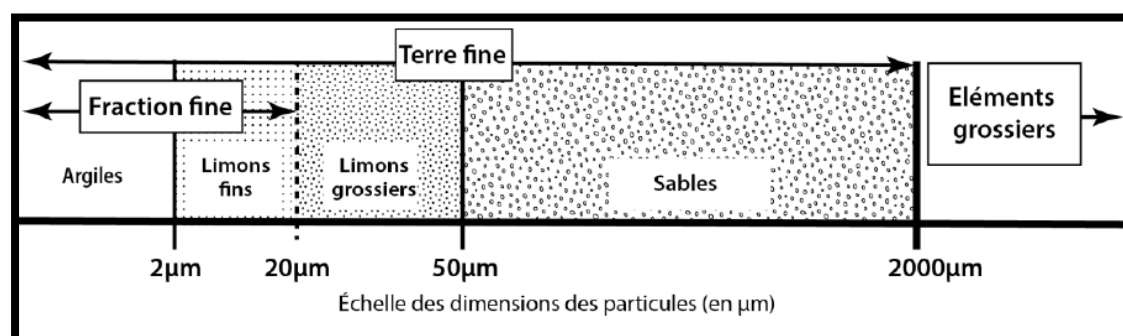


Figure II.1 :Classification générale de la granulométrie

II.2.1.2. Principes du l'essai :

L'essai consiste à séparer par lavage les grains agglomérés d'un échantillon d'une masse connue de matériau puis à les fractionner, au moyen d'une série de tamis et à peser successivement après séchage le refus cumulé sur chaque tamis.[9]

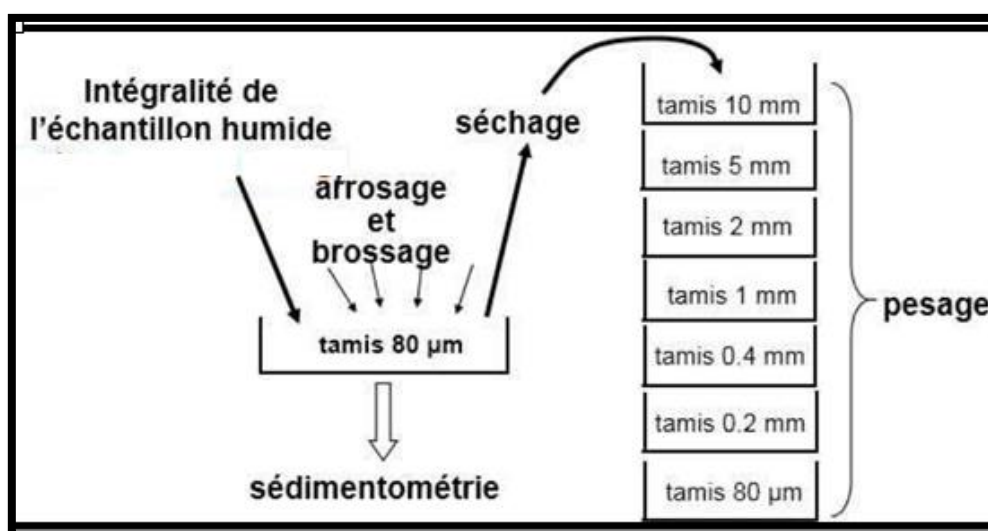


Figure II.2: Essai granulométrique (tamisage).

II.2.1.3. Appareillage:

- Un dispositif de lavage avec arroseur et, éventuellement, de trempage et de malaxage.
- Un jeu de tamis emboîtables à mailles d'ouvertures carrées.
- Couvercles et fonds de tamis de diamètre compatible avec celui des tamis.
- Récipients en matériau non altérable, brosse, pinceau.
- Balances.
- Une enceinte thermique ou une étuve.



Figure II.3 : Analyse granulométrie par voie humide.

II.2.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie:

II.2.2.1. Définition :

L'analyse granulométrique par sédimentométrie permet de déterminer la distribution en poids des particules fines (de diamètre inférieur à $80\mu\text{m}$) d'un sol en fonction de leurs dimensions, donc elle complète l'analyse par tamisage.

II.2.2.2 Principe de l'essai:

La séparation par décantation consiste à déterminer les diamètres équivalents des particules sphériques en fonction de leur vitesse de chute dans un environnement visqueux, afin d'obtenir le tracé d'une courbe granulométrique pour des particules inférieur à $0,08\text{mm}$.

II.2.2.3 : Appareillage:

- Balance, étuve.
- Agitateur mécanique, bac.
- Un tamis de $80\mu\text{m}$.

- Eau distillée ou déminéralisée et défloculant, deux éprouvettes.
- Un densimètre gradué de 0.995 à 1.035 g/cm³ de forme torpille avec des graduations tous les 0.005 g/cm³.
- Thermomètre, chronomètre, thermomètre de la salle d'essai.
- Des éprouvettes de 2L de contenance.



Figure II.4 : Appareillage de l'essai analyse granulométrique par sédimentométrie.

II. 3. Limite d'Atterberg :

II.3.1. Définition :

En géotechnique les limites d'Atterberg définissent la plasticité d'un sol, mais aussi l'essai qui permet de définir ces indicateurs. Cet essai a été établi par l'agronome suédois Atterberg. Une limite d'Atterberg correspond à la teneur en eau à laquelle un échantillon de sol passe d'une consistance à une autre. Deux de ces limites présentent un intérêt particulier : la limite de liquidité (L.L ou WL) et la limite de plasticité (Lp ou Wp). Ces limites apportent un précieux élément pour la classification des sols.

LL : c'est la limite de liquidité qui caractérise la transition entre un état liquide et un état plastique.

LP : c'est la limite de plasticité qui caractérise la transition entre un état plastique et un état solide. [10]

II.3.2. Appareillage:

- Appareil de casagrande
- Balance de 5kg (précision 1g)
- Etuve ventilé
- Planche à roulets
- Capsules en verre
- Spatules
- Mortier et pilon en porcelaine



Figure II.5:Appareil de Casagrande

II.3.3.Diagramme de Casagrande :

Il s'agit d'un diagramme qui permet de classer les sols fins en 4 catégories selon les valeurs de W_L , et I_P .

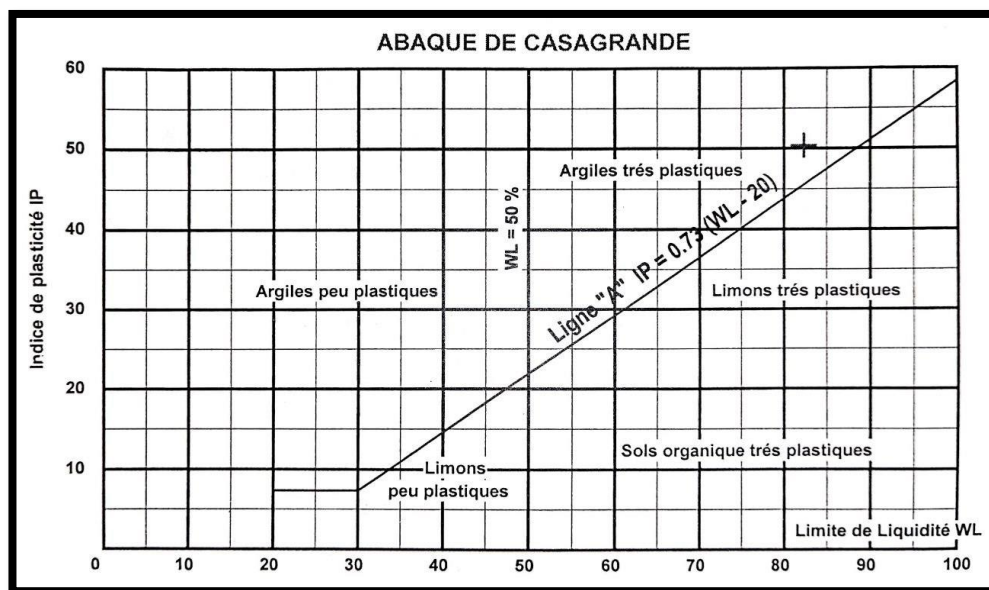


Figure II.6 : diagramme d'Abaque de Casagrande

II.5. Les essais de cisaillement (Norme NF P 94 - 071-1) :

II.5.1. Définition:

L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer ces paramètres de résistance au cisaillement, l'angle de frottement interne et la cohésion C . [11]

La résistance au cisaillement des terrains influence la conception des différents ouvrages tels que les talus, les soutènements et les fondations. Cette conception doit permettre d'éviter les ruptures ou les déformations excessives lorsque les ouvrages sont soumis à des charges maximales. Il est donc crucial de connaître la résistance ultime ou limite des terrains.

II.5.2. Principe de l'essai:

- ❖ L'échantillon de sol à étudier est placé entre deux demi-bottes qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport à l'autre.
- ❖ L'essai consiste à appliquer une charge verticale constante N par l'intermédiaire d'un piston. Puis on tire horizontalement la demi-botte inférieure par une vitesse constante jusqu'à la rupture complète de l'échantillon. La force totale de cisaillement T est mesurée à l'aide d'un anneau dynamométrique fixé à la demi-botte supérieure. On mesure les déplacements horizontaux Δl et verticaux Δh . [11]
- ❖ L'échantillon subit donc un cisaillement direct et rectiligne suivant un plan imposé sur lequel on exerce une contrainte normale déterminée.
- ❖ La détermination de τ et σ lors de la rupture permet de préciser un point de la courbe intrinsèque du sol étudié. En réalisant plusieurs essais avec différentes valeurs de contraintes verticales, on peut déterminer le critère de rupture de Mohr-Coulomb et définir ses valeurs de cohésion c et d'angle de frottement φ . [11]

II.5.3 .Appareillage:

- Le bâti,
- La boîte de cisaillement,
- Le dispositif d'application de l'effort normal sur l'éprouvette,
- Le dispositif produisant le déplacement relatif horizontal entre les deux demi-bottes,
- Le système de mesurage des efforts, des déplacements et du temps,
- Série de poids,
- Balance précise au 1/100 g. [11]



Figure II.7:Appareil de l'essai de cisaillement

II.6.Essai Œdométrique :

L'essai œdométrique pour évaluer les tassements d'un sol sous le poids d'une charge (fondation, remblai, etc.), il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques du sol qui sont déterminées à l'aide de l'essai de compressibilité à l'œdomètre. Cet essai permet de prévoir l'amplitude des tassements des sols ainsi que leur évolution dans le temps sous une charge donnée en fournissant les caractéristiques du sol suivantes :

- L'indice de compression.
- L'indice de gonflement.
- La contrainte de préconsolidation du sol.
- Le module œdométrique.
- Le coefficient de consolidation.

L'essai consiste à exercer des cycles de chargement et de déchargement sur un échantillon de sol drainé sur deux faces, à l'intérieur d'une cellule rigide. [11]

II.6.1. Principe de l'essai:

Cet essai vise à étudier la consolidation d'une éprouvette de sol saturée, intacte ou remaniée, soumise à des charges verticales et drainée en haut et en bas. L'éprouvette est maintenue latéralement par une paroi rigide. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction du temps d'application de la charge. [11]

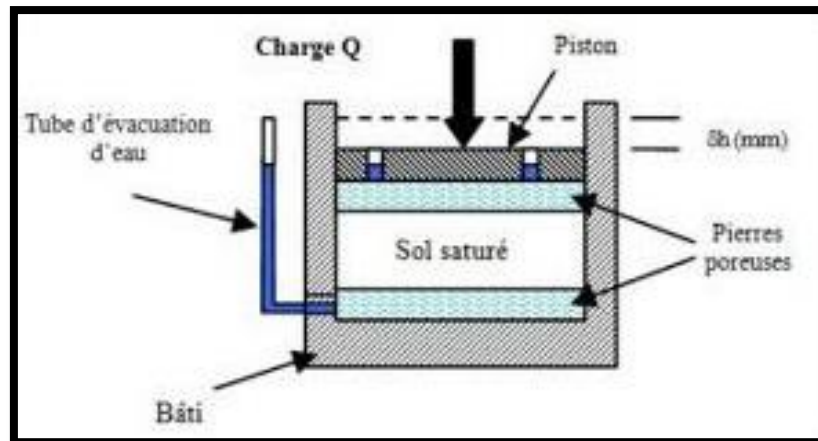


Figure II.8: Principe de l'essai œdométrique. [11]

II.6.2. Appareillage:

- Bâti de consolidation, supporte la cellule œdométrique, comportant un levier qui transmet les charges avec un rapport de 10.
- Cellule œdométrique comporte les éléments suivants :
 - Une bague œdométrique cylindrique rigide qui reçoit l'éprouvette.
 - Un piston permet de répartir l'effort appliqué sur l'éprouvette.
 - Deux pierres poreuses avec le papier filtrent. Ce dernier sert à protéger les pierres du colmatage dû aux grains fins.
- Série de poids.
- Compresseur au 1/100 mm.
- Chronomètre.
- Balance précise au 1/100. [11]

Chapitre III

**Caractéristiques géotechniques
des argiles des régions (Illizi –
Touggourt – Hassi Messaoud)**

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre on va identifier les caractéristiques géotechniques des argiles des régions de Illizi (Ain Amenas), Touggourt et Hassi Messaoud, et faire une comparaison entre elles, on basant sur les résultats des essais de laboratoire effectuées sur le sol de ces régions par le laboratoire des travaux publics au Sud algérien(LTPS).

III.2. Généralités Sur les régions d'étude :

III.2.1. Situation géographique et géologique :

III.2.1.1. Illizi (Ain Amenas) :

Ain Amenas est le chef-lieu de la daïra de la wilaya d'Illizi. Elle se situe à 250 Km au nord d'Illizi, 730 Km au sud de Hassi Messaoud et 680 Km au Nord de Djanet. Son altitude est d'environ 550 m, et elle a comme coordonnées une longitude de 9°36'' et une latitude de 28°03''.

Dans le contexte géologique le bassin d'Illizi correspond à un bassin de plate-forme stable . La couverture sédimentaire d'une épaisseur moyenne de 3000 m est essentiellement constituée de dépôts paléozoïques. L'individualisation du bassin s'est faite à la fin du Silurien et au cours du Dévonien inférieur. Le bassin d'Illizi est limité au nord par le bassin de Berkine, à l'est par le môle de Tihemboka, au sud par le massif du Hoggar, et à l'ouest par la dorsale d'Amguid-El Biod. A l'est, le môle de Tihemboka, situé près de la frontière algéro-libyenne, sépare le bassin d'Illizi du bassin de Hamra (Libye). A l'ouest, la dorsale d'Amguid-El Biod le sépare du bassin du Mouydir. Au nord, la limite entre les bassins d'Illizi et de Berkine correspond à une remontée du socle connue sous le nom du môle d'Ahara.

La couverture sédimentaire dans le bassin d'Illizi est représentée essentiellement par des terrains d'âge Paléozoïque, enfouis au centre de la cuvette et affleurant au sud-est et sur sa marge méridionale où ils forment les Tassilis. L'épaisseur de la couverture sédimentaire paléozoïque augmente grossièrement du sud (1 000 m à 1 500 m) vers le Nord (1 500 m à 2000 m). Les dépôts du Mésozoïque sont à l'inverse érodés dans la moitié Sud et affleurent au centre du bassin formant une succession de falaises orientées Est-Ouest. Ils reposent en discordance sur les terrains paléozoïques et leur épaisseur est d'environ 1000 m. Les dépôts tertiaires se développent principalement dans la partie nord-ouest du bassin au niveau de la Hamada de Tinhert

et sont relativement réduits dans le reste du bassin. Quant aux dépôts quaternaires, ils sont représentés par les dunes qui marquent la limite méridionale du grand erg oriental. La couverture sédimentaire du bassin d'Illizi repose sur un socle cristallo-métamorphique d'âge Précambrien qui serait de même nature que celui du Hoggar.

Les formations géologiques principales rencontrées dans cette région appartiennent à la série des Argiles de Zarzaitine, rattachée à la période triasique ; il s'agit donc de terrains sédimentaires très anciens

III.2.1.2. Touggourt :

Elle est située à la limite nord du grand erg oriental, à 660 km en sud-est d'Alger, à 160 km au nord-est de Ouargla et à 225 km au sud de Biskra. Cette région s'étend sur une superficie de plus 216km², elle est localisée entre les méridiens 6° 4' 42.637" E, et les parallèles 33° 5' 58.588" N .de Du point de vue géologique la région Touggourt est située dans la plateforme saharienne qui limité au nord par l'accident sud atlasique, et les premiers contreforts des monts des Aurès, au sud par la falaise méridionale du Tinhert, et les affleurements crétacés du Dahar à l'Est, et la dorsale du Mزاب à l'Ouest. La carte géologique de Touggourt met en évidence l'affleurement des formations quaternaires, il s'agit des dunes récentes à Meggarine, Sidi Slimane, erg es Sayah... Le Quaternaire continental à Merdjadja et les alluvions actuels à Temacine, Zaouïa.

III.2.1.3. Hassi Messaoud :

Il est située à 86 km au sud-est d'Ouargla; à 172 km au sud de Touggourt et à 800 km au sud-est de la capitale Alger.

Géologiquement le gisement de Hassi Messaoud est situé au sein de la plate-forme triasique, sur le haut fond Amguid, Il est limité géologiquement Au Nord par la structure Djamaa- Touggourt, au Sud par le môle d'Amguid El Biod, à l'Est par les hauts fonds de Dahar, Rhourde El Baguel et la dépression de Ghadames et à l'Ouest par la dépression d'OuedMya.

la région de Hassi Messaoud se situe à la limite occidentale du grand erg oriental, ce dernier dessine dans cette partie, un rentrant dégageant ainsi les formations du mio - pliocène.

Le mio - pliocène est très développé, dans un rayon de 40 à 70km autour de Hassi Messaoud.

Dans l'ensemble de la région on relève plusieurs formations lithologiques qui sont :

1) la hamada mio-pliocène qui est bien développée et forme des plateaux dont l'altitude moyenne varie de 150 à 180m. C'est une formation détritique continentale que traversent tous les sondages de la région . Elle débute sur une croûte d'altération formée de sable fin à ciment calcaro-gypseux ensuite viennent des alternances d'argile, de marnes sableuses et de sables grossiers.

2) les formations sableuses ; constituées de dunes en cordons dont les seuls renseignements sont fournis par leur position (cuvette , rebord de plateau, zone humide) .

3) les étendues correspondant aux anciens lits d'oueds et dont le plus important est formé par l'oued Irharrhar.

L'altitude moyenne de la région est de : 170-180m pour les plateaux de la hamada, 140-150m pour le fond des oueds avec de rares cuvettes pouvant atteindre 130m .

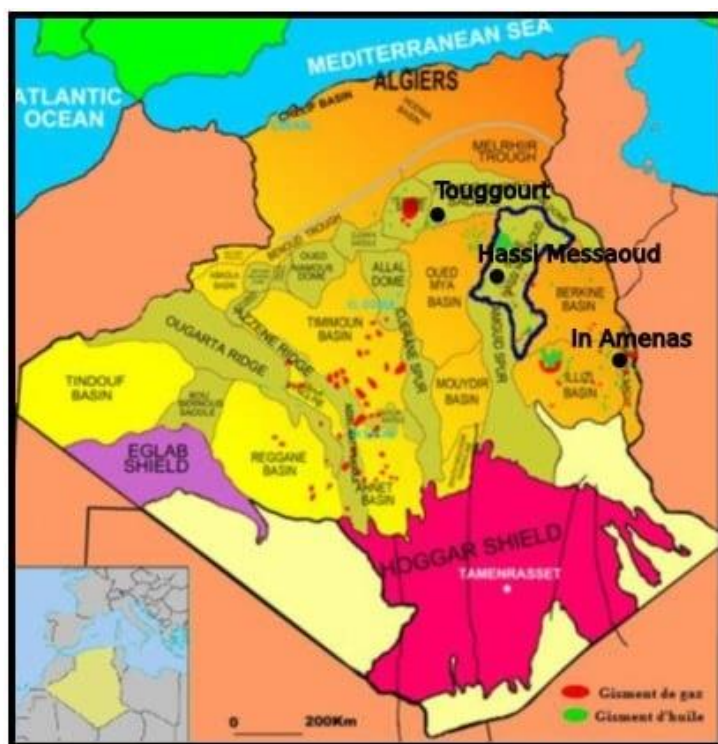


Figure III.1 : Localisation des régions d'Illizi(Ain Amenas),Hassi Messaoud et Touggourt

III.3. Campagne de reconnaissance par LTPS:

III.3.1.La région de Touggourt :

III.3.1.1.Les coordonnées des sondages :

Deux sondages carottés descendus jusqu'à six (06) mètres de profondeur à différents coordonnées (Tableau III.10) .

Tableau III.1 : Les coordonnées des sondages(Touggourt)

Coordonnées Sondages	X	Y
01	33°01'48.4"	006°01'21.5"
02	33°14'44.5"	006°02'35.5"

III.3.1.2.Description lithologique des sondages :

A travers les deux coupes lithologique des sondages, on constate que les formations des sondages est relativement hétérogène en ce qui concerne la succession verticale des dépôts.

On peut distinguer du haut vers le bas les couches suivantes :

- **SONDAGE N ° 01 :**
 - De 0.0 à 0.50 m : Sable fin limono - argileux brunâtre et peu compact.
 - De 0.50 à 5.60 m : Argile marron sableuse, gypseuse et compacte.
 - De 5.60 à 6.0 m : Argile marron / verdâtre sableuse, gypseuse et compact.
- **SONDAGE N°02 :**
 - De 0.0 à 0.70 m : Sable fin beige gypseux et compact.
 - De 0.70 à 1.90 m : Argile marron compacte, sableuse et gypseuse.
 - De 1.90 à 6.0 m : Sable fin beige consolidé.

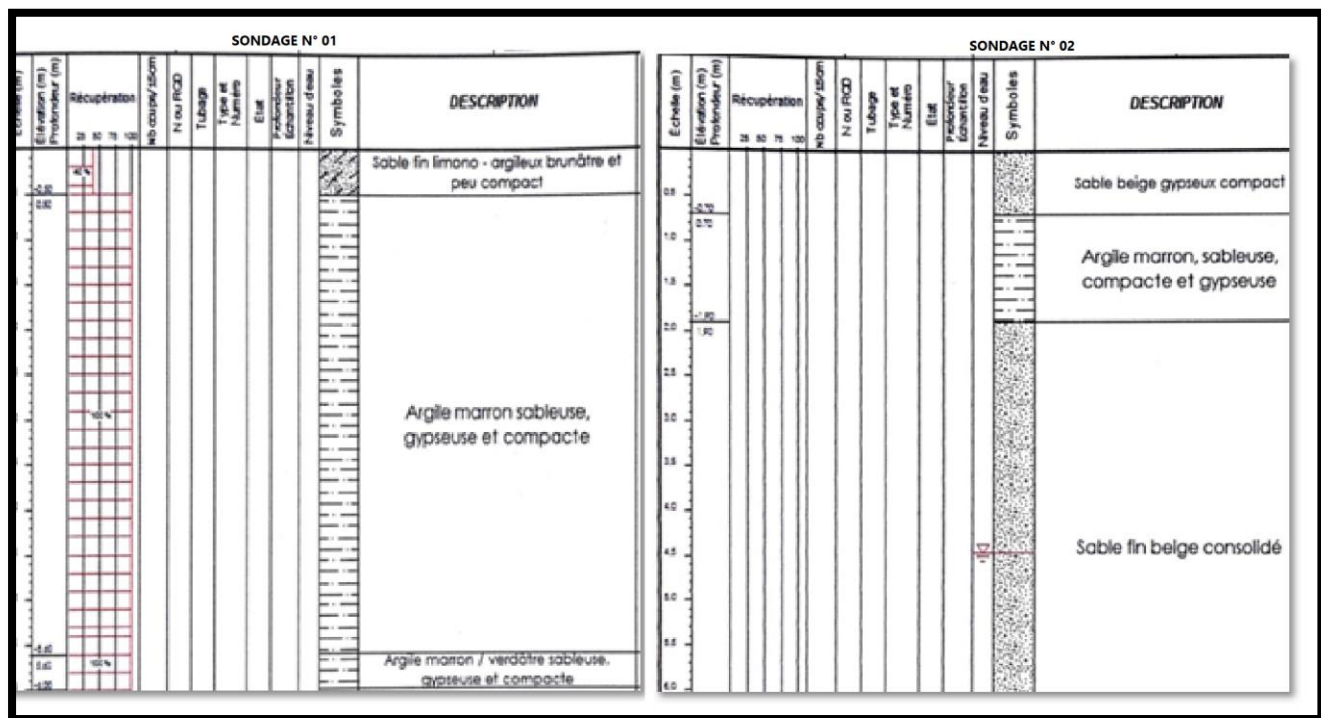


Figure III.2 : Coupes lithologiques des sondages N°01 et N°02 (Touggourt).

III.3.1.3. Essais D'identification :

III.3.1.3.1.La composition granulométrique :

La composition granulométrique des échantillons du sondage N°01 de profondeur 0.5 à 4.0 et du sondage N°02 de profondeur 0,9 à 1,90 contient une large proportion (78% et 81%)des particules fines (< 0.002 mm) comparable à l'échantillon du sondage N°01 de profondeur 5.6 à 6.0 de pourcentage (3%) .

Tableau III.2 :Analyse Granulométrique (Touggourt).

SONDAGE N°	PROF (m)	Analyse Granulométrique				
		<5 mm (%)	<2 mm (%)	<0.2 mm (%)	<0.08 mm (%)	<0.002 mm (%)
01	0.5 à 4.0	94	85	85	83	78
01	5.6 à 6.0	64	41	41	35	3
02	0,9 à 1,90	98	96	90	85	81

III.3.1.3.2.Leslimites'Atterberg :

Les limites d'Atterberg des échantillons de sondage 01 de profondeur 0.50 à 4.0 m et de sondage 02 de profondeur 0.90 à 1.90 m sont :

- La limite de liquidité 68,3% pour l'échantillon de 0.50 à 4.0 m / S01 et 82.34% pour l'échantillon de 0.90 à 1.90 m / S02.
- La limite de plasticité29,1% pour l'échantillon de 0.50 à 4.0 m / S01 et 31,99% pour 0.90 à 1.90 m / S02.
- L'indice de plasticité39,2%pour 0.50 à 4.0 m / S01 et 50,35% pour 0.90 à 1.90 m / S02

D'après le diagramme de classification de Casagrande on trouve les deux échantillons sont des argiles très plastique.

Tableau III.3 :les limites d'Atterberg (Touggourt)

SONDAGE N°	Prof (m)	LIMITES D'ATTERBERG		
		WL (%)	WP (%)	IP (%)
01	0,50 à 4,0	68,3	29,1	39,2
02	0,9 à 1,90	82.34	31,99	50,35

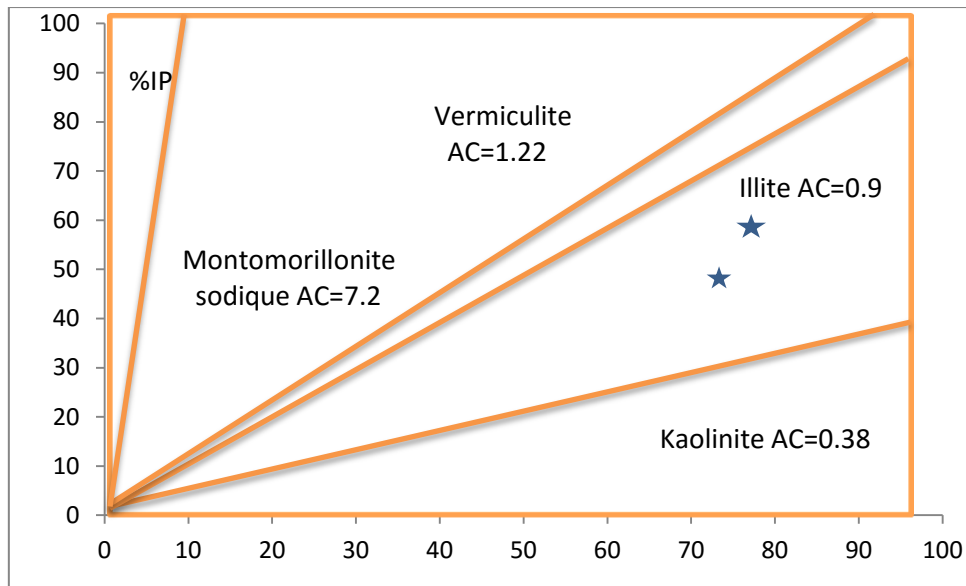


Figure III.3: L'Abaque de Skempton

Après l'abaque de Skempton les deux échantillons sont d'argile de type Illite.

III.3.1.3.3. Calcul de l'activité de l'argile :

Le calcul de l'activité de l'argile pour les échantillons d'argile 0.50 à 4.0 m / S01 et 0.90 à 1.90 m / S02 par le rapport $A_c = \frac{I_p}{\% \text{ éléments } < 2\mu\text{m}}$ a donné le tableau suivant :

Tableau III.4 : l'activité de l'argile (Touggourt)

N°	Échantillon	Ip(%)	%[d<2µm]	A _c
01	0,50 à 4,0	39,2	78	0,50
02	0,90 à 1,90	50,35	81	0,62

Selon la classification de l'activité d'argile de Skempton on trouve que ces argiles sont inactives.

III.3.1.3.4. La composition chimique:

La composition chimiques des échantillons d'argile contient de pourcentage important des insoluble (63 et 64%) et de pourcentage observé de carbonate (13% et 29%) et du sulfate (4,7 et 7,5%), cela montre que la nature des échantillons est d'origine siliceux.

Tableau III.5 : Tableau présentant d'analyse chimique(Touggourt).

SONDAGE N°	PROF (m)	INS (%)	SULF (%)	CARB (%)
01	0,5 à 4,0	64	4,70	13
02	0,9 à 1,90	63	7,50	29

III.3.1.4.Essais Mécaniques :

III.3.1.4.1.Essais de Cisaillements :

L'échantillon 0,50 à 4,0 /S01a donné un angle de frottement de l'ordre de 21.9 ° et une certaine cohésion de l'ordre de 0.6 vars.

III.3.1.4.2.Essai Oedométrique :

Le résultat d'essai oedométrique qui été effectué l'échantillon de profondeur 0.50 à 4.0 m / de sondage n° 1, a donné ces caractéristiques suivantes :

- ❖ Une pression de consolidation PC de 1.36 bars.
- ❖ Un coefficient de tassement CT de 27 %.
- ❖ Un coefficient de gonflement CG de 7 %.

Au vu de ces résultats, le taux de tassement et de gonflement est fort.

III.3.2.La région de Hassi Messaoud :

Trois sondages carottés de profondeur de douze (12) mètres à différents coordonnées:

III.3.2.1. Les coordonnées des sondages :

Tableau III.6 : coordonnées des sondages (Hassi Messaoud)

Coordonnées Sondages	X	Y
SC 01	220549,25	3526750,75
SC 02	220547,75	3526449,25
SC 03	219949,25	352747,75

III.3.2.2. Description lithologique des sondages :

La lithologie des sondages montre la présence d'argile à différentes profondeurs :

- Le sondage de N°01 des coordonnées X =220549,25 et Y=3526750,75 montre la présence d'argile marron compacte dans la profondeur 5,5 à 6,0 m et argile marron compacte légèrement sableuse dans la profondeur 6,0 à 7,0 m.

- Le sondage de N°02 des coordonnées X =220547,75 et Y=3526449,25 montre la présence d'argile marron sableuse, compacte et gypseuse dans la profondeur 0,0 à 4,25 met argile marron très compacte dans la profondeur 4,25 à 8,25 m .
- Le sondage de N°03 des coordonnées X =219949,25 et Y=352747,75 montre la présence d'argile marron sableuse et compacte de profondeur 4,0 à 6,5 m.

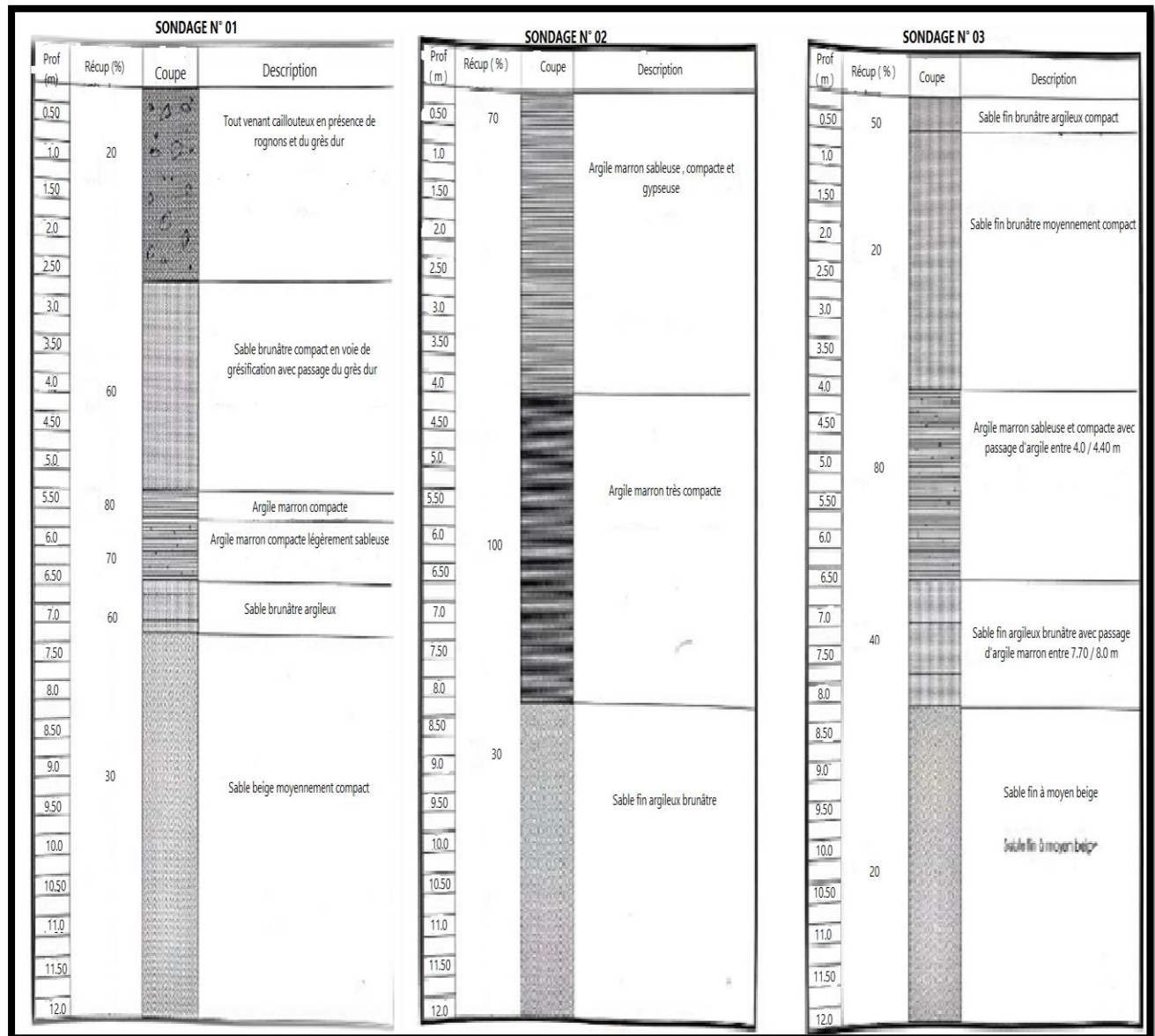


Figure III.4 : Coupes lithologique des sondages de N°01 et N°02 et N°03

III.3.2.3. Essais Identification :

III.3.2.3.1. La composition granulométrique :

La composition granulométrique de différents échantillons pour les trois sondages contient une quantité notable de limon et une proportion variable de sable fin.

Les échantillons qui contiennent des pourcentage important des particules inférieures à 0.002 mm sont :

- SN°03 de prof 5,50 à 7,5 (28%)
- SN°05 de prof 0,50 à 2,0 (26%)
- SN°06 de prof 4,0 à 4,40 (44%)
- SN° 06 de prof 4,50 à 5,5 (26%)

Tableau **III.7**: les résultats d'analyse granulométriques(Hassi Messaoud) .

SONDAGE N°	Prof (m)	ANALSES GRANULOMETRIQUES					
		<5mm (%)	<2mm (%)	<0.2mm (%)	<0.08mm (%)	<0.025mm (%)	<0.002mm (%)
01	5,50 à 7,5	100	100	99	98	88	28
01	7.0 à 10	100	100	26	06		
02	0,50 à 2,0	93	88	72	56	51	26
02	4,0 à 6,0	99	98	96	92	84	04
03	1,80 à 3,0	92	91	69	11		
03	4,0 à 4,40	94	93	78	73	68	44
03	4,50 à 5,5	99	96	91	67	56	26

III.3.2.3.2.Leslimited'Atterberg :

A travers le tableau de la limite d'atterberg ,les échantillons , prélevés sur les dépôts d'argiles dans les profondeurs allant de 5.0 à 6.50 m / S1 , et de 0.50 à 2.0 m et de 4.0 à 6.0 m / S2et de 4.50 à 5.50 m / S3, leurs indices de plasticité varient entre 30 et 38,4 % et leurs limites de liquidité varient entre 56 et 68 % , et leurs limites de plasticité entre 26 et 30,7%ce qui montre que ces échantillons correspondent à des argiles de très plasticité (selon l'abaque de Gasagrande) .

Tableau III.8 : les limites d'Atterberg(HassiMessaoud).

SONDAGE N°	Prof (m)	LIMITES D'ATTERBERG		
		W _L (%)	W _P (%)	I _p (%)
01	5,0 à 6,50	64,1	26,1	38
02	0,50 à 2,0	62	23,6	38,4
03	4,0 à 4,40	56	26	30
03	4,50 à 5,50	68	30,7	37,3

Après l'abaque de Skempton on trouve que :

- Les échantillons de 5.0 à 6.50 m / S01 , et de 0.50 à 2.0 m S02 et de 4.50 à 5.50 m / S3 sont d'argile de type montmorillonite sodique.
- L'échantillon de 4.0 à 4.40 m / S03 est une argile de type illite.

III.3.2.3.3. Calcule l'activité de l'argile :

Le calcul de l'activité d'argile des échantillons 5.0 à 6.50 m / S01 , et de 0.50 à 2.0 m S02 et de 4.50 à 5.50 et 4.0 à 4.40 m / S03 a donné le tableau III.9 .

Selon la classification de l'activité d'argile de Skempton on trouve que :

- L'activité des argiles des échantillons de 5.0 à 6.50 m / S01, et de 0.50 à 2.0 m S02 et de 4.50 à 5.50 m / S3 varié entre 1,35 à 1,47 cela ce montre que sont des argiles active .
- L'activité d'argile d'échantillon de 4.0 à 4.40 m / S03 de l'ordre 0,68 cela ce montre que est une argile inactive.

Tableau III.9: les calculs de l'activité des argiles analysées (Hassi Messaoud)

SONDAGE N°	Prof (m)	I _p %	%[d<2µm]	A _c
01	5,0 à 6,50	38	28	1,35
02	0,50 à 2,0	38,4	26	1,47
03	4,0 à 4,40	30	44	0,68
03	4,50 à 5,50	37,3	26	1,43

III.3.2.3.4. La composition chimique:

La composition chimique des échantillons 0,5 à 2,0 de S2 et 1,80 à 3,0, 4,50 à 5,5 de S3 caractérise par :

- Taux de sulfates varié entre 2 et 5,28 % ;
- Taux de carbonates varié entre 9 et 13 % ;
- Taux de sels : 0,16 à 0,78 % ;
- Taux des insolubles 80,94 à 88,23%.

Tableau III.11: Tableau présentant les résultats d'analyses chimiques(Hassi Messaoud).

SONDAGE N°	Prof (m)	ANALYSE CHIMIQUE			
		SULFATES (%)	CARBONATES (%)	SELS SOLUBLES (%)	INOSOLUBLE (%)
02	0,5 à 2,0	5,28	13	0,78	80,94
03	1,80 à 3,0	2,60	9,0	0,17	88,23
03	4,50 à 5,5	2,0	10	0,16	87,84

On conclut a partir la composition chimique des échantillons que la nature des fines (<0,08mm) des échantillons sont d'origine siliceux.

III.3.2.4. Essais Mécaniques :

III.3.2.4.1. Essais de Cisaillement De Type(UU):

Les résultats des essais de cisaillement à la boîte de Casagrande de type non consolidé non drainé (UU) sur des échantillons d'argile de 5,50 à 6,50 /S1 , 0,50 à 2,0/S2 , 4,50 à 5,50/S3 a donné un angles de frottement interne variant entre 26 et 35 ° et des cohésions qui varient entre 0.19 et 0.40 bar .

Tableau III.12:les résultats des essais de cisaillement de type (UU) (Hassi Messaoud

SONDAGEN°	Prof(m)	Φ(degree)	C Cohesion (bars)
01	5,50 à 6,50	35	0,34
02	0,50 à 2,0	33	0,40
03	4,50 à 5,50	26	0,19

III.3.2.4.2. Essais Oedométriques:

Les résultats des essais Oedométriques qui été effectués sur des échantillons d'argile (5.50 à 6.50 m / S1, et de 0.50 à 2.0 m / S2)a donné les caractéristiques suivantes :

Une pression de consolidation PC variant entre 2. 2 et 2,6 bars ;

Un coefficient de tassement CT variant entre 4,7 et 7.50 % ;

Un coefficient de gonflement CG de 1,80 %.

Au Vu de ces résultats, le taux de tassement et de gonflement est faible .

Tableau III.13 : Les résultats des essais oedométriques

SONDAGE N°	Prof (m)	Pression de consolidation PC (bars)	Coefficient de tassement CT (%)	Coefficient de gonflement CG (%)
01	5,50 à 6,50	2,20	7,5	1,80
02	0,50 à 2,0	2,6	4,70	1,80

III.3.3.la Région d'Ilizi (Ain Amenas) :

III.3.3.1. Les coordonnées des sondages :

Trois sondages carottés de profondeur de huit (8) mètres à différents coordonnées :

Tableau III.15 : coordonnées des Sondages (Ilizi-Ain amenas)

Coordonnés Sondages	X	Y
SC 01	554069.87	3100527.90
SC 02	554104.04	3100565.62
SC 03	554065.75	3100559.23

III.3.3.2. Description lithologique des sondages :

A travers les lithologique des sondages, on constate que les formations des sondages est relativement hétérogène en ce qui concerne la succession verticale des dépôts.

On peut distinguer du haut vers le bas les couches suivantes :

a) SC01 :

- ❖ De 00.0 à 0.80 m : Argile sableux fin limoneux couleur rougeâtre.
- ❖ De 0.80 à 2 m : Sable consolidé blanchâtre argileux a couleur violâtre.
- ❖ De 2 a8 m : Argile violâtre a multicolore.

b) SC02 :

- ❖ De 00.0 à 1.60 m : Argile sableux fin limoneux a couleur rouge et violâtre
- ❖ De 1.60 à 2 m : Sable fin blanchâtre a multicolore (rouge-violâtre).
- ❖ De 2 à 8 m : Argile multicolore (violâtre-rouge-vert).

c) SC03 :

- ❖ De 00.0 à 1.20 m : Argile sableux fin limoneux rougeâtre .
- ❖ De 1.20 à 8 m :Argile multicolore (violâtre-rouge-vert).

III.3.3.3. Essais D'identification :

III.3.3.3.1. La composition Granulométrique :

La composition granulométrique des échantillons de 0,8 à 2,0 du sondage 01 et de 0 à 1,6/S02 , 0 à 1,2/S03 et de 2,0 à 4,50/S01 ; 2,0 à 5,0/S02 et de 1,2 à 5,0/S03 contient une proportion considérable d'éléments inférieurs 0.002mm (41 à 54%) et de quantité notable de limon et on remarque que plus la profondeur est grande plus la proportion d'élément inférieurs 0.002mm.

Tableau III.16 : les résultats d'analyse granulométrique (Ain amenas) .

SONDAGE N°	Prof (m)	ANALSES GRANULOMETRIQUES					
		<5mm (%)	<2mm (%)	<0.2mm (%)	<0.08mm (%)	<0.075mm (%)	<0.002mm (%)
01	0,8 à 2,0	97	96	65	62	62	41
01	2,0 à 4,50	-	100	99	98	98	46
02	0 à 1,6	99	99	85	74	74	48
02	2,0 à 5,0	-	100	98	97	97	53
03	0 à 1,2	100	100	88	75	75	52
03	1,2 à 5,0	100	100	97	96	96	54

III.3.3.2. Les limites d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg des échantillons 0,8 à 2,0/S1 et 0 à 1,6/S2, 0 à 1,2/S3 et de 2,0 à 4,50/S1 ; 2,0 à 5,0/S2 ; 1,2 à 5,0/S3 a donné les caractéristiques suivantes :

- La limite de liquidité variée entre 35,15 à 68,47% ;
- La limite de plasticité variée entre 15,78 à 33,95% ;
- L'indice de plasticité de entre 15,42 à 35,0 %.

A travers ces caractéristiques et d'après le diagramme de classification de Casagrande on trouve que :

- Les échantillons 0,8 à 2,0/S1 et 0 à 1,6/S2, 0 à 1,2/S3 sont des argile peu plastique .
- Les échantillons 2,0 à 4,50/S1 ; 2,0 à 5,0/S2 ; 1,2 à 5,0/S3 sont des argiles très plastique.

Tableau III.17 : Les limites d'Atterberg (Ain amenas).

SONDAGE N°	Prof (m)	LIMITES D'ATTERBERG		
		W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)
01	0,8 à 2,0	37,22	18,42	18,80
01	2,0 à 4,50	68,47	33,95	34,52
02	0 à 1,6	40,52	15,78	24,90
02	2,0 à 5,0	65,47	31,89	33,58
03	0 à 1,2	35,15	19,73	15,42
03	1,2 à 5,0	66,77	31,77	35

Après l'abaque de Skempton on trouve tous les échantillons sont de type **illite**

III.3.3.3. Calcule de l'activité de l'argile :

Le calcule d'activité d'argile a donné les valeurs de tableau III.18

Au vue ces valeur et selon la classification de l'activité d'argile de Skempton on trouve que :

- Les échantillons de 0,8 à 2,0/S1 et ,0 à 4,50/S1 sont des argiles inactives.
- Les échantillons 0 à 1,6/S2; 2,0 à 5,0/S2 ; 1,2 à 5,0/S3 sont des argiles active
- L'échantillons de profondeur 0 à 1,2/S3 est un argile très active .

Tableau III.18 : l'activité de l'argile (Ain amenas) .

SONDAGE N°	Echantillons	A _c
01	0,8 à 2,0	0,46
01	2,0 à 4,50	0,75
02	0 à 1,6	1,93
02	2,0 à 5,0	1,58
03	0 à 1,2	3,37
03	1,2 à 5,0	1,54

III.3.3.4.La composition chimique :

La composition chimique des échantillons montre de pourcentage élevé des insolubles varié entre (86,3 à 90,7%) et cela conclut que la nature des fines (<0,08mm) des échantillons sont d'origine siliceux et on remarque aussi l'absence de carbonate et l'existence des pourcentages faible de gypse et de sulfate et de chlorides (Tableau III.19).

Tableau III.19 : analyse chimique(Ainamenas).

SONDAGE N°	PROF (m)	INSOLUBLE (%)	GYPSUM (%)	So ⁻² ₄ (%)	CARBON (%)	CHLORIDES (%)
01	2,0 à 4,50	86,3	0,14	0,08	00	0,073
02	0 à 1,6	87,7	0,07	0,04	00	0,241
03	0 à 1,2	90,7	1,32	0,74	00	0,218

III.3.3.4. Essais mécaniques :

III.3.3.4.1.Essais de cisaillement:

Les résultats des essais de cisaillement de type (UU) sur les échantillons 0,8 à 2,0/S1 et 0 à 1,6/S2, 0 à 1,2/S3 et de 2,0 à 4,50/S1 ; 2,0 à 5,0/S2 ; 1,2 à 5,0/S3 a donné les caractéristiques suivantes :

- Angles de frottement interne varie entre 30,5 et 36,4°
- Cohésions qui varient entre 0,08 et 0,36 bar.

Tableau III.20 : les résultats des essais de cisaillement de type (UU) (Ainamenas)

SONDAGE N°	Prof (m)	φ (degree)	C Cohesion (bars)
01	0,8 à 2,0	31,8	0,13
01	2,0 à 4,50	30,9	0,35
02	0 à 1,6	34,8	0,10
02	2,0 à 5,0	30,5	0,15
03	0 à 1,2	36,4	0,08
03	1,2 à 5,0	30,6	0,36

III.3.3.4.2.Essais Oedométriques :

Quatre 4 essais Oedométriques ont été effectués sur des échantillons Ces échantillons avaient donné les caractéristiques suivantes :

- ❖ Une pression de consolidation PC varié entre 0 ,83 et 3 ,24 bars ;
- ❖ Un coefficient de tassement CT varié entre 6,5 et 16,4 % ;
- ❖ Un coefficient de gonflement CG Situé entre 2,2 et 7,5 %.

Au Vu de ces résultats le taux de tassement et de gonflement est fort.

Tableau III.21: Essais Oedométriques

SONDAGE N°	Prof (m)	Pression de consolidation PC (bars)	Coefficient de tassement CT (%)	Coefficient de gonflement CG (%)
01	0,8 à 2,0	0,83	13,5	2,2
01	2,0 à 4,50	2,72	16,4	6,6
02	0 à 1,6	2,21	7,3	3,5
02	2,0 à 5,0	3,24	6,5	7,5

III.3.4. Comparaison entre les régions :

Ce tableau(Tableau III.22) résume les caractéristiques géotechniques des argiles dans les trois régions (Illizi – Touggourt – Hassi Messaoud).

Tableau III.22: Comparaison entre les régions d'étude :

Les essais géotechniques		Tougourt	Hassi Messaoud	Illizi (Ain Amenas)
Profondeur des argiles (m)		0,5 à 4	0,5 à 6,5	0 à 5,5
Couleurs		Maroon	Maroon	Rougeâtre – Violâtre – Blanchâtre – Multicolore (rouge –
Analyses granulométriques (éléments <0.002mm) %		78 à 81	28 à 44	41 à 54
Limites d'atterberg	W _L %	68,3 à 82,34	56 à 68	35,15 à 68,47
	W _P %	29,1 à 31,99	23,6 à 30	13,67 à 33,95
	I _p %	39,2 à 50,35	30 à 38,4	15,42 à 35,05
Activité d'argile		0,50 à 0,62	26,1 à 38,4	0,46 à 3,37
Essais de cisaillement	Cohésion	0,6	0,19 à 0,34	0,08 à 0,36
	Angle de frottement (°)	21,9	35 à 26	30,5 à 36,4
L'essais Oedométriques	Pression de consolidation (bars)	1,36	2,2 à 2,6	0,83 à 3,24
	Coefficient de tassement CT	27	4,7 à 7,5	6,5 à 16,4
	Coefficient de gonflement CG	7	1,8	2,2 à 7,5
Analyses chimiques (minéralogiques)	Insolubles (%)	63 à 64	80,94 à 87,84	86,3 à 90,7
	Sulfates (%)	4,7 à 7,50	2 à 5,28	0,4 à 0,74
	Carbonates (%)	13 à 29	9 à 13	0
Type d'argile		Illite	Montmorillonite/Illite	Illite
Exploitation		Facile	Difficile	Difficile

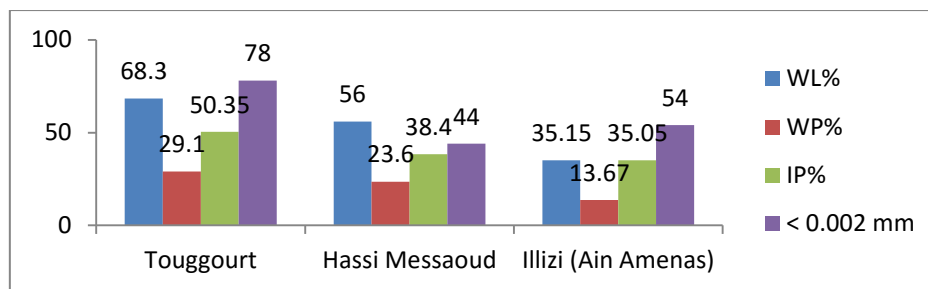


Figure III.5: Histogrammes des limites d'atterberg, et pourcentages d'argile

D'après la figure 3.5 la limite de liquidité variée entre 35,15 et 68,03% le plus faible est à Illizi, et le maximum à Tougourt, L'indice de plasticité variée de 35,05 à Illizi, et 50,35% à Tougourt,

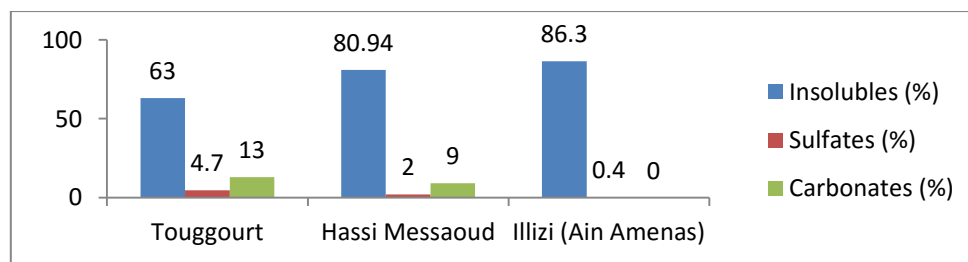


Figure III.6: Histogrammes des insoluble, sulfates et les carbonates

Les analyses chimiques permet de constate une majorité insoluble à Ain amenas 86,3 %, et certain carbonate à Tougourt et Hassi Messaoud 9%, et d'une faible minéralogie du sulfate 4.7%.

Conclusion générale

A travers notre étude des différents échantillons dans les régions sélectionnées, nous avons constaté que les trois régions se distinguent par la présence d'argile dans des proportions différentes, de sorte que la région du Touggourt se distingue par la présence d'argile à une proportion élevée variant entre (78 et 81%), tandis qu'à la région d'Illizi il est présent à une proportion moyenne comprise entre (41 et 51%) et à une proportion faible dans la région de Hassi Messaoud, avec un pourcentage compris entre (28 et 44%). Et à travers notre étude aussi, nous avons trouvé que l'argile dans la région de Touggourt est de type Illite de couleur marron, et deux types d'argile à Hassi Messaoud Montmorillonite et Illite de couleur marron, tandis que la région d'Illizi nous avons trouvé argile du type Illite à différentes couleurs (rougeâtre – violâtre – blanchâtre – multicolore (rouge – vert)) et nous avons également conclu en analysant les résultats des essais des limites d'Atterberg que l'argile des régions de Touggourt et Hassi Messaoud est très plastique, tandis que l'argile de la région d'Illizi peut être très plastique.

Les compositions chimiques de l'argile diffèrent dans les trois régions, où l'argile de la région du Touggourt se distingue par sa teneur en proportions importantes de carbonates comprises entre (13 et 29%) et un pourcentage de sulfate compris entre (4,7 à 7,50%) et un rapport d'insolubles compris entre (63 à 64%) alors que l'argile de la région de Hassi Messaoud est caractérisée par un pourcentage important d'insolubles compris entre (80,94 à 87,84%) et un pourcentage notable de carbonates (9 à 13%) et un pourcentage de sulfate compris entre (2 à 5,28%) Quant à l'argile de la région d'Illizi, on remarque l'absence de carbonate et un faible pourcentage de sulfate (0,74 à 0,4%), mais il se distingue par son fort pourcentage d'insolubles compris entre (86,3 à 90,7%).

Enfin à travers l'analyse des résultats des essais Oedométriques des différents échantillons on a trouvé que le taux de tassement et de gonflement est faible pour la région de Hassi Messaoud et fort pour les régions Touggourt et d'Illizi et cela conclut que la région de Hassi Messaoud est bonne pour la construction, tandis que les régions Touggourt et d'Illizi sont mauvaises pour la construction.

Références Bibliographique

- [1] : M. Amal. (2014).Analyse, caractérisation prévision et modélisation du comportement des argiles gonflantes, Thèse de doctorat. Tizi-Ouzou.
- [2] : F. Villiers.(2008) .Histoire d'avenir, éditions Recréateurs, dépôt légal.
- [3] : D. Naima & S .Kenza. (2016). étude des argiles de la région de tizi ouzou par la méthode de diffraction aux rayons x ,Thèse de mémoire . Tizi-Ouzou .
- [4] : H. François. (2016). L'argile, son utilisation a l'officine, Thèse de doctorat. Angers.
- [5] :N . Fagel : (2005). Cours Géologie des argiles. Département de Géologie, Université de Liège. Belgique.
- [6] : J. M. Thouani Nana.1999 et M. Callaud.2004 : Cours de mécanique des sols Tome I. Propriétés des sols.
- [7] :Technique de l'ingénieur (1996) : Edition Construction C2. [C301 (1-20), C 208 (1-15)].
- [8] :F. Bultel.(2001). Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements tunnels.
- [9] : M. Harrat.(2007) .Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique Etude sur site unité Maghreb céramique de Touggourt , mémoire de magistère, département de génie procédé, Ouargla .
- [10] : TP Limites D'atterberg : Université A. Mira, Faculté de la technologie Département de Génie Civil.
- [11] : TP essai Oedométriques (Norme NF P 94-090-1), Université Mohamed Boudiaf - M'sila « Département de génie civil ».

Résumé :

L'argile est considérée comme l'un des sédiments les plus importants qui caractérisent l'Algérie, et il note la grande diversité des types d'argile au niveau du Sud-Est d'Algérie, et elle peut parfois constituer une source de danger pour la construction des ouvrages de base, et pour cela nous devons choisir la zone appropriée. A travers des recherches, nous avons constaté que le sol de la région Hassi Messaoud est bon pour la construction car il contient un type d'argile caractérisé par un taux de gonflement et de tassement est faible, tandis que le sol est mauvais pour les régions de Touggourt et d'Illizi , en raison de fort taux de gonflement et de tassement d'argile donc le sol doit être amélioré avant la construction .

Les mots-clés : Argile , Gonflement, Tassement , Illizi , Touggourt , HassiMessaoud

Summary :

Clay is considered one of the most important sediments that characterize Algeria, and he notes the great diversity of types of clay at the level of southeastern Algeria , and it can sometimes constitute a source of danger for the construction of the basic works, and for this we must choose the appropriate area. Through research, we have found that the soil of the Hassi Messaoud region is good for construction because it contains a type of clay characterized by a Swelling and compaction rate is low, while the soil is poor for Touggourt and Illizi regions due to high swelling and clay compaction rate so soil needs to be improved before construction.

Keywords: Clay, Swelling, Settlement , Illizi, Touggourt, Hassi Messaoud

ملخص :

يعتبر الطين من أهم الرواسب التي تتميز بها الجزائر ، ويلاحظ التنوع الكبير في أنواع الطين على مستوى جنوب شرق الجزائر ، ويمكن أن يشكل في بعض الأحيان مصدر خطر على بناء الهياكل القاعدية ، من خلال البحث وجدنا أن أرضية منطقة حاسي مسعود جيدة للبناء لاحتوائها على طين يتميز بمعدل انتفاخ وضغط منخفض ، بينما الأرضية سيئة بمنطقي تفرت و إليزي ، بسبب بمعدل الانتفاخ والضغط المرتفع لطين لذلك يجب تحسين الأرضية قبل البناء .

الكلمات المفتاحية : طين ، انتفاخ ، ضغط، تفرت، إليزي، حاسي مسعود

