

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE CHIMIE

N°:.....



DOMAINE : SCINCE DE LA MATIERE
FILIERE : CHIMIE
OPTION : CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

**BELFAR ISSAM
BEN SAOUCHA BRAHIM**

Intitulé

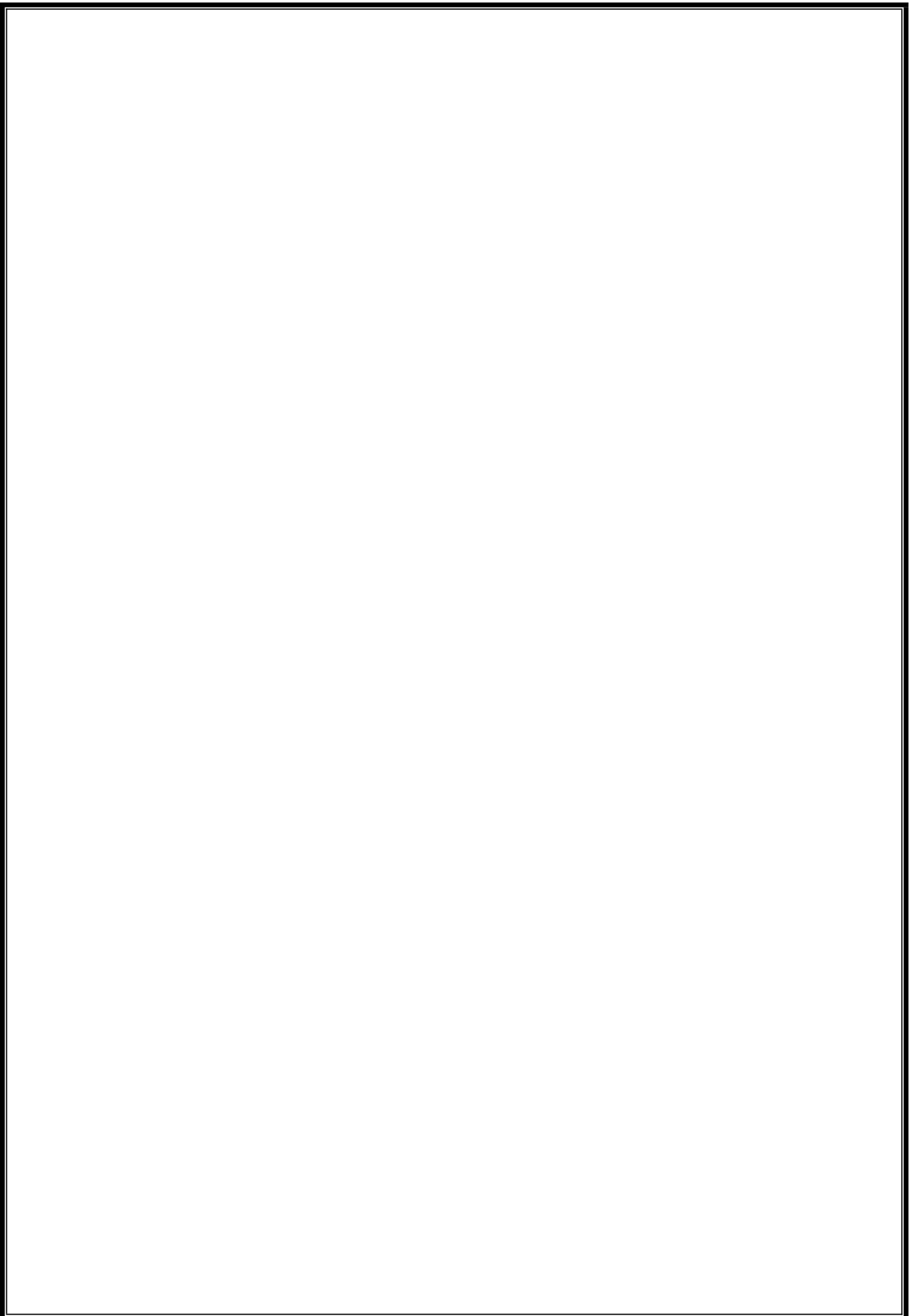
**Etude et caractérisation de la composition
minéralogique des argiles de la région de
soubola**

Soutenu le : / 06 / 2022

Devant le jury composé de:

Pr. BENYAHIA .Azzeddine	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. DEGHEFEL Nadir	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. LEBID Mahmoud	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021/2022



المخلص

مجالات استخدام الطين عديدة ومتعددة ونذكر على سبيل المثال (البناء, والصناعات الصيدلانية وفي الزراعة الخ) مما جعل المختصين والعلماء يقومون بدراسة خصائص الطين وتركيباته المعدنية وتحسينها لاستعمالها في مجالاتها المحددة.

تهدف أطروحتنا إلى دراسة المكونات المعدنية للطين الطبيعي والمعالج والخصائص الفيزيائية والكيميائية لأهميتها في المجالات المستخدمة كما درسنا الخواص الفيزيائية والكيميائية للبتوناييت مقارنة بالطين المستخدم في منطقة السوبولا

Résumé

Les domaines d'utilisation de l'argile sont nombreux et variés, et nous citons par exemple (la construction, les industries pharmaceutiques, l'agriculture, etc.), ce qui a poussé les spécialistes et les scientifiques à étudier les propriétés physico-chimiques de l'argile et de ses compositions minéralogique et à les améliorer pour les utiliser dans leurs domaines spécifiques.

Notre mémoire vise à étudier les composants minéraux de l'argile naturelle et traitée et des propriétés physico-chimiques vu son importance dans les domaines utilisés Nous avons également étudié les propriétés physico-chimiques de la bentonite en comparaison de l'argile utilisée de la région de soubola.

Abstract

The fields of use of clay are many and varied, and we cite for example (construction, pharmaceutical industries, agriculture, etc.), which has prompted specialists and scientists to study the physico- chemical properties of clay and its mineralogical compositions and to improve them for use in their specific fields.

Our thesis aims to study the mineral components of natural and treated clay and the physico-chemical properties given its importance in the fields used We have also studied the physico-chemical properties of bentonite in comparison with the clay used in the region of soubola.

Mot clé : propriétés physico-chimiques ; compositions minéralogique;l'argile ; bentonite.

Remerciement

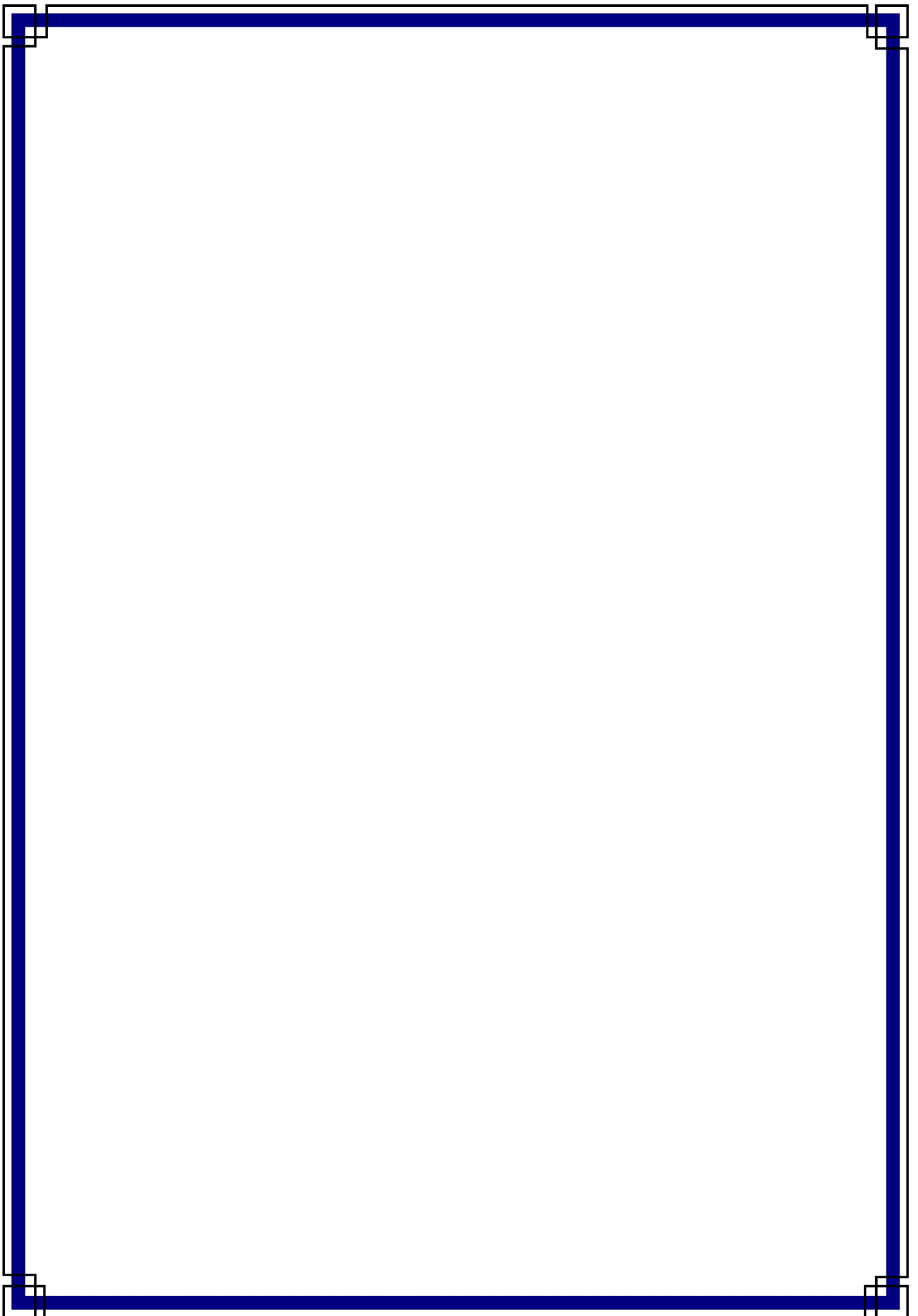
*Avant tous nous remercions **ALLAH** tout puissant et
miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience
d'accomplir notre étude.*

*Nous adressons nos sincères remerciement à nos chers
parents pour nous avoir donné leur soutien et leurs
encouragements pour terminer ce travail*

*Nous tenons à remercier notre encadreur **Dr: Nadir deghfel**
qui n'a pas cessé de nous donner les conseils
et les bonnes orientations.*

*Comme je n'oublie pas de le mentionner, je voudrais également
remercier **Dr: Ben Yahya Azzedine**, qui nous a également dirigés et
nous a donné de précieuses informations.*

*Nous tenons à remercier sincèrement les membres du jury
qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail
Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciements
s'adressent à tous ceux qui ont aidé à la réalisation de ce
mémoire.*



DÉDICACES

*Grâce à dieu tout puissant, je dédie ce modeste travail à toutes les
personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce
mémoire*

Ce travail est dédié:

A mes très chers parents

A ma femme et compagne

A mes chers frères et sœurs

A mon binôme Brahim

*A tous mes amis et mes collègues et à tous ceux qui me sont
chers*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidée et encouragée, qui
étaient*

*toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnée durant ma
vie.*

BELFAR ISSAM

DÉDICACES

Grâce à dieu tout puissant, je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire

Ce travail est dédié:

A mes très chers parents

A mes chers frères et sœurs

A mon binôme ISSAM

A tous mes amis et mes collègues et à tous ceux qui me sont chers

Aux personnes qui m'ont toujours aidée et encouragée, qui étaient

toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnée durant ma vie.

Ben Saouha Brahim

Liste des abréviations

Å	Angstrom.
pH	Potentiel d'Hydrogène.
CEC	Capacité d'Echange Cationique.
ZPC	Point de Zéro Charge
IRIF	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
DRX	Diffraction des rayons X
ATG	analyse thermogravimétriques
H(%)	Taux d'humidité
I_g	Indice de Gonflement
I_p	L'indice de plasticité
W_L	limite de liquidité
W_P	limite de plasticite
A.R	argile Rouge
A.V	argile vert
A.J	argile jaune

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralités sur Les argiles

Figure.I.1. Représentations d'un tétraèdre (1) et d'un octaèdre (3), types.....	06
de l'agencement de tétraèdres et octaèdres respectivement en couches tétraédrique (2) et octaédrique (4)	
Figure.I.2. Éléments structuraux des tétraèdres.....	06
Figure I.3. Éléments structuraux : les octaèdres.....	07
Figure.I.4. Localisation de l'eau dans les particules argileuses.....	09
Figure.I.5 : Adsorption à l'équilibre et échange ionique	10
Figure.I.6 : Modèle structural de kaolinite : a- feuillet tétraédrique,.....	10
b- octaèdre- les atomes coordonnés peuvent être Al, Fe, ou Mg, c- feuillet octaédrique, d- modèle schématique de la couche de kaolinite.	
Figure.I.7. Structure de la kaolinite.....	11
Figure.I.8. Représentation schématique de la structure d'une smectite.....	11
Figure.I.9. Représentation d'une smectite.....	12
Figure. I.10: Représentation du chlorite.....	12
Figure.I.11. Modèle structural de l'illite.....	13
Figure.I.12. La structure d'une montmorillonite.....	13
Figure.I.13. Représentation des empilements de tétraèdres siliceux et d'octaèdres.....	15
alumineux (cas de la kaolinite).	
Figure.I.14. Représentation schématique du smectite 2:1.....	16
Figure. I.15. représentation schématique de la structure d'une argile de type TOTO.....	17
Figure I.16 : Rôle des argiles dans l'environnement.....	18
Figure I.17 : Rôle des argiles dans l'environnement.....	18
Figure.I.18. Localisation géographique de la zone Soboula.....	21
Figure.I.19. Photos des zones d'échantillonnage de boue étudiées.....	21

Chapitre II: Matérielles et Méthodes

Figure.II.1. Préparation de l'échantillon argileux (Argile Brute).....	26
Figure.II.2. Étapes des mesures de PH.....	27
Figure.II.3. Mesure L'indice de gonflement.....	28
Figure.II.4. Schéma de representation les limites d'atterberg.....	29
Figure.II.5. Étapes pour mesurer la limite de liquidité.....	31
Figure.II.6. Étapes pour mesurer la limite de plasticite (W_P).....	32
Figure.II.7. Instruments de mesure de gradient granulaire.....	33
Figure.II.8. Schéma représentatif du phénomène de diffraction des rayons X.....	34
Figure.II.9. Appareil d'analyse d'infrarouge avec pastillage.....	34
Figure.II.10. les etapes et les outilsutilisés pour Purification Et Traitement des argilesnaturelle (vert-jaune-rouge).....	37

Chapitre III: Resulta et discussion

Figure.III.1. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile rouge.....	41
Figure.III.2. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile verte.....	41
Figure.III.3. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile jaune.....	41
Figure.III.4. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité De bentonite.....	42
Figure.III.5. Diagramme Analyse granulométrique de l'argile rouge.....	43
Figure.III.6. Diagramme Analyse granulométrique de l'argile vert.....	44
Figure.III.7. Diagramme Analyse granulométrique de l'argile Jaune.....	44
Figure.III.8. Spectre Infrarouge de l'argile rouge.....	45
Figure.III.9. Spectre Infrarouge de l'argile verte.....	46
Figure.III.10. Spectre Infrarouge de l'argile Jaune.....	47
Figure.III.11. Spectre Infrarouge deBentonite.....	48
Figure.III.12. Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile rouge.....	48
Figure.III.13. Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile verte.....	49
Figure.III.14. Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile Jaune.....	50
Figure.III.15. Courbe d'analyse thermogravimétrique de bentonite.....	51

Figure.III.16. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile rouge.....	55
Figure.III.17. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile.....	55
vert Modifie.	
Figure.III.18. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile.....	56
Jaune Modifie.	
Figure.III.19. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité de bentonite.....	56
Figure.III.20. Spectre Infrarouge de l'argile rouge Modifie.....	57
Figure.III.21. Spectre Infrarouge de l'argile vert Modifie.....	58
Figure.III.22. Spectre Infrarouge de l'argile Jaune Modifie.....	59
Figure.III.23. Spectre Infrarouge de Bentonite Modifie.....	59
Figure.III.24. Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile rouge modifiée.....	60
Figure.III.25. Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile verte modifiée.....	61
Figure.III.30. Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile jaune modifiée.....	61
Figure.III.31. Courbe d'analyse thermogravimétrique de Bentonite modifiée.....	62

Liste des tableaux

Tableau.III.1. Paramètres physico-chimiques de l'échantillon argileux.....	39
Tableau.III.2. Valeurs des limites d'Atterberg.....	40
Tableau .III.3. Classification de l'argile selon Atterberg.....	40
Tableau.III.4. Type d'argile en fonction de l'indice de plasticité Ip.....	40
Tableau .III.5. Relation entre le gonflement et l'indice de plasticité (seed et al. 1962).....	42
Tableau.III.6. Classification proposée par dakshanamurthv et Raman (1973).....	42
Tableau. III.7. résultats granulometrique d'argile Rouge.....	43
Tableau. III.8. résultats granulometrique d'argile vert.....	43
Tableau. III.9. résultats granulometrique d'argile jaune.....	43
Tableau.III.10. Classification granulométrique ASTM.....	44
Tableau.III.11. Paramètres physico-chimiques de l'échantillon argileux Modifie.....	53
Tableau.III.12. Valeurs des limites d'Atterberg.....	54
Tableau .III.13. Classification de l'argile selon Atterberg.....	54
Tableau .III.14. Type d'argile en fonction de l'indice de plasticité Ip.....	54

A decorative graphic of a scroll with a light blue border and a white background. The scroll is slightly curved at the top and bottom, with a small grey circular element at the top right corner. The word "Sommaire" is written in a large, bold, black serif font in the center of the scroll.

Sommaire

Sommaire

Remerciement

Liste abrivation

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....01

Chapitre I: Etude bibliographique

Partie 01: Généralités sur Les argiles

I-Généralités sur Les argiles.....04

I-1-Définition de L'argile05

I-2-les minéraux argileux.....05

I-3-Composition minéralogique de l'argile.....05

I-3-1-La couche tétraédrique.....06

I-3-2-La couche octaédrique.....07

I-4-Origines géologiques.....07

I-4-1-L'héritage.....07

I-4-2- La transformation.....07

I-4-3-La néoformation.....07

I-5-Formation des argiles.....08

I-6-Propriétés Mineralogique des argiles.....09

I-6-1-Capacité d'adsorption d'eau (**gonflement**).....09

I-6-2-Charges des surfaces argileuses10

I-7-Grand classes des argiles.....10

I-7-1-Kaolinite.....10

I-7-2-Smectites.....12

I-7-4-Les chlorites.....13

I-7-4- Illite.....13

I-7-4-Les argiles montmorillonitiques (lesBentonites).....14

I-8-Classification des minéraux argileux	15
I-8-1-Minéraux de type TO	16
I-8-2-Minéraux de type TOT	16
I-8-3-Minéraux de type TOTO	17
I-9-Argiles et environnement	18
I-10-Traitement des eaux par argiles	19
I-10-1-Les eaux résiduaires urbaines.....	19
I-10-2-Le principe de méthode de traitement des eaux usées par l'argile.....	20
I-10-3-Les caractéristiques de l'argile vert et rouge.....	20
 <i>Partie 02 : Caractéristiques De la région étude</i>	
I.2.1. Situation géographique de la région d'étude.....	21
I.2.2. Caractéristiques climatique de la région d'étude.....	21
BIBLIOGRAPHIE	22

Chapitre II: Matérielles et Méthodes

II-1-Introduction	26
II-2-Préparation de l'échantillon argileux	26
II-3-Analyse des argiles avant traitement(Argile Brute)	27
II-3-1-Caractéristiques physico-chimiques des argiles (brute)	27
II-3-1-1-Détermination de PH	27
II-3-1-2-Taux Humidité (H %).....	27
II-3-1-3-Indice de Gonflement (I_g).....	28
II-3-1-4-Limite d'atterberg	28
II-3-1-4-1- limite de liquidite (W_L)	29
II-3-1-4-2- limite de plasticite (W_P).....	31
II-3-1-5-La granulométrie.....	32
II-3-2-Méthode de caractérisation des argiles (brute)	33
II-2-2-1-Diffraction des rayons X (DRX)	33
II-2-2-2-Spectroscopie infrarouge (FTIR).....	34

II-2-2-3-Analyse thermogravimétrique (<i>ATG</i>).....	35
II-4-Les argiles Modifie	35
II-5-Purification et Traitement des argiles naturelle	35
BIBLIOGRAPHIE	38

Chapitre III: Resultats et discussion

Partie01: Resulta et discussion argile brute

III.1.1.Caractérisation physico-chimique d'argiles brute.....	39
III.1.2. Analyse par spectroscopie infrarouge (FTIR).....	45
III.1.3 Analyse thermogravimétrique (ATG).....	48
BIBLIOGRAPHIE	52

Partie02 : Resulta et discussion argiles Modifiée

III.2.1.Caractérisation physico-chimique d'argiles Modifiée.....	55
III.2.2. Analyse par spectroscopie infrarouge (FTIR).....	58
III.2.3.Analyse thermogravimétrique (ATG).....	62
Conclusion générale	69
BIBLIOGRAPHIE	70



***INTRODUCTION
GENERALE***

Introduction générale

Le mot argile aurait deux origines, l'une grecque par le mot Argos qui veut dire blanc, l'autre latine par le mot argilla (caillère et al. 1982). L'argile est un matériau naturel qui a été utilisé par l'homme depuis très longtemps, notamment dans l'antiquité. Pour la poterie. Son intérêt est considérable dans divers domaines en raison, à la fois de son abondance et de ses propriétés en agriculture, étant donné que tous les sols cultivés en contiennent et parfois en grandes quantités. On sait depuis long temps que les sols argileux sont fertiles mais souvent difficiles à travailler en raison de leurs propriétés mécaniques. Ce sont aussi des matériaux très utilisés dans l'industrie de la céramique, en particulier. Tous ces domaines très différents les uns des autres font que de nombreux spécialistes et se sont intéressés aux argiles, chacun suivant ses compétences, ses connaissances et domaines d'utilisation .

Argiles, matériaux argileux, substrat argileux, roches argileuses ces mots et expressions sont des synonymes et désignent un matériau naturel qui se trouve sous forme de gisements mais aussi en quantités plus au moins grandes dans les sols et les sédiments.

Ce matériau est soit constitué par un seul minéral soit, le plus souvent, par un mélange de minéraux appelés minéraux argileux. Parmi ces minéraux, certains sont des minéraux argileux, ou encore argiles minéralogiques, d'autres sont des minéraux sont argileux comme des oxydes métalliques, des carbonates, des feldspaths et le quartz par exemple. Par ailleurs, ces minéraux des argiles se trouvent essentiellement sous forme de très petites particules généralement inférieures à 2 um. L'ensemble de ces petites particules est appelé argiles granulométriques [1].

Ce travail présente diverses études de propriétés physiques et chimiques des composés minéraux de l'argile.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres.

Le chapitre -I- de ce mémoire sera consacré à une étude bibliographique en deux parties sous forme de généralités sur les argiles et Caractéristiques climatique de la zone d'étude.

Introduction générale

Les minéraux étudiés dans ce mémoire sont les minéraux argileux. Nous nous attachons à décrire leur structure, leurs propriétés physico-chimiques et nous introduisons la notion d'organisation des matériaux argileux.

Le chapitre -II- est consacré à la présentation de la partie expérimentale, dans un premier temps nous mesurons le **PH** et le taux d'humidité, l'analyse granulométrique et la limite d'atterbergue, l'indice de gonflement et l'analyse par **IR** et Analyse thermogravimétrique (**ATG**).

Au second temps nous préparerons des échantillons synthétiques d'argile brute, et d'argile traité.

Le chapitre-III-est consacré à la présentation des résultats et discussion d'argile brute, et d'argile traité.

En fin, nous clôturons

par une conclusion générale résumant les principaux résultats significatifs acquis et nous indiquons les perspectives envisagées à partir de ce travail.

Références:

[1] Grim, 1968. Caillère et al, 1982. Le Sol: Constitution, structure. Phénomènes aux interfaces. 457 pages.



***Chapitre I: Etude
bibliographique***

Partie 01: Généralités sur Les argiles:

I. Généralités sur Les argiles:

L'argile est un matériau naturel qui contient des phyllosilicates (silicates en feuillets) est plastique à l'état humide et solide lors du séchage ou du chauffage.

Il peut également contenir des substances qui ne provoquent aucune plasticité (par exemple du quartz) et/ou des matières organiques : ce sont des phases apparentées. [1]

Le silicate en feuille est l'un des principaux composants de la croûte terrestre, et il a été étudié par diffraction des rayons X, l'outil principal [2] qui donne la structure de ces matériaux par rapport à d'autres types de sols ou de roches - en termes de leur interaction avec l'eau.

Parler de ces minéraux revient à choisir une certaine classe en fonction de leur comportement, le caractère argileux est lié à quatre types de critères: [3]

- **Division:** les minéraux doivent se présenter à l'état de très petites tailles

inférieures à 2 μm .

- **Faciès:** Le glissement de ses molécules inégales à tendance lamellaire les unes sur les autres, lui confère de la plasticité, et cette forme favorise le piégeage de molécules liquides dans une certaine eau.

- **Dispersion:** Ces espèces devraient être capables de former une suspension colloïdale stable avec de l'eau et ainsi les propriétés interraciales devraient jouer un rôle majeur.

- **Constitution chimique:** ce sont des silicates car seuls ces composés semblent pouvoir être caractérisés par les propriétés qui viennent d'être évoquer.

L'argile est parfois accompagnée d'impuretés, [4] elle est constituée de diverses substances sous forme de très petites particules telles que :

- Oxydes et hydroxydes de silicium : (le quartz et la cristobalite).
- Minéraux ferrifères : l'hématite Fe_2O_3 , la magnétite Fe_3O_4 .
- Carbonates : la calcite CaCO_3 , la dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.
- Oxydes et hydroxydes d'aluminium : La gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$.

- Matières organiques.

I-1-Définition de l'argile:

L'argile est une matière première utilisée depuis l'Antiquité par l'homme. pour la fabrication d'objets utilisés dans la vie quotidienne. Le mot argile vient du mot grec "Argilos" dérivé de "Argos" qui signifie blanc, ou du mot latin "Argila"[5].

L'argile s'est formée par la détérioration des roches volcaniques due au phénomène d'érosion et de changement chimique sous l'influence des facteurs météorologiques[6].

L'argile, en tant que roche, est formée d'un mélange de silicates, dits minéraux argileux (kaolinite, montmorillonite), constituée par des substances diverses sous formes de particules où le diamètre est inférieur à 2 μ m, telles que: les carbonates(**la calcite CaCO₃, la dolomite CaMg (CO₃)₂**), la silice, l'alumine, les sulfures, l'oxyde et l'hydroxyde de fer (**l'hématite Fe₂O₃, la magnétite Fe₃O₄**), l'oxyde de manganèse, la matière organique,[7, 8].

I-2- Les minéraux argileux :

Les minéraux argileux ont joué un rôle important dans le développement de la civilisation humaine. Ces minéraux résultent soit de la dissolution d'une roche préexistante (minéraux primaires), soit d'une transformation chimique (minéraux secondaires).

Les minéraux argileux se forment dans ce cas, par transmutation d'un minéral (minéraux transformés) ou par précipitation à partir d'une solution (minéraux nouvellement formés) [9]

I-3-Composition minéralogique:

L'organisation structurale des phyllosilicates se base sur l'empilement de couches de tétraèdres (**SiO₄**) et de couches d'octaèdres (**Al(OH)₆**) reliées par les atomes O et OH mis en commun, **Figure.I.1**. Par ailleurs, il peut exister des substitutions isomorphiques dans les couches tétraédrique (**Si⁴⁺→Al³⁺ ; Fe³⁺**), et /ou octaédrique (**Al³⁺→Mg²⁺ ; Fe²⁺**)

Le déséquilibre de charge est compensé par l'adsorption de cations « échangeables » humides dans l'espace interfeuille (capacité d'échange de l'argile), responsable du gonflement de l'argile dans l'eau.

Les couches octaédriques sont dites trioctaédriques, lorsque tous les octaèdres sont occupés par des cations bivalents (Fe^{2+} ou Mg^{2+}) et dioctaédriques lorsque les cations sont trivalents (Al^{3+} ou Fe^{3+}) dont les deux tiers (2/3) des octaèdres sont occupés[10].

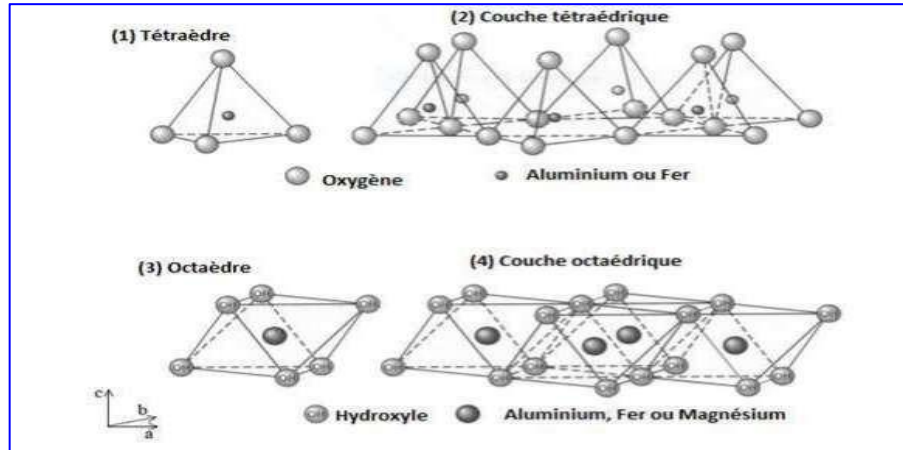


Fig.I.1. Représentations d'un tétraèdre (1) et d'un octaèdre (3), types de l'agencement de tétraèdres et octaèdres respectivement en couches tétraédrique (2) et octaédrique (4)[11].

Les minéraux argileux peuvent être représentés structurellement comme une unité qui relie la plaque et l'espace entre les feuilles. La plaque est généralement constituée de deux types de couches.[11]:

I-3-1-La couche tétraédrique :

Cette couche est constituée d'un tétraèdre (Fig.I.2) au-dessus duquel quatre ions oxygène (O^{2-}) entourent l'ion silicium (Si^{4+}), à égale distance de chacun.

Ce tétraèdre a une cavité entre trois sphères de contact, une couche hexagonale d'oxygène et une sphère de couche adjacente d'oxygène.

L'épaisseur de la couche tétraédrique est de 4,6 Å [12].

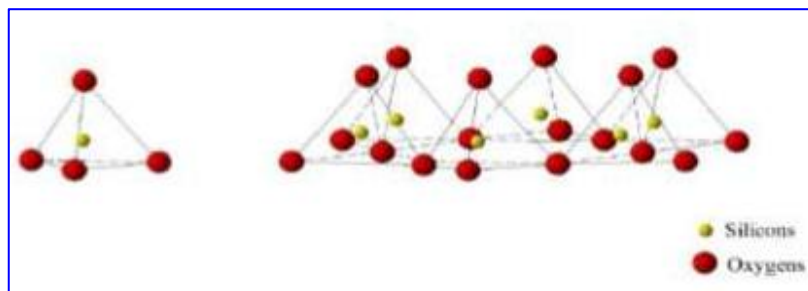


Figure I.2. Éléments structuraux des tétraèdres [13].

I-3-2-La couche octaédrique :

Il consiste en un octaèdre (**Fig.I.3.**)avec un ion aluminium(Al^{3+}) ou magnésium(Mg^{2+}) au centre à égale distance avec les six hydroxydes (OH^-)aux sommets.Couches planes appelées couche octaédrique formées lorsque les octaèdres s'unissent et que la couche tétraédrique est connectée au niveau de l'oxygène.

L'épaisseur de cette couche octaédrique est de 5,05 Å[12].

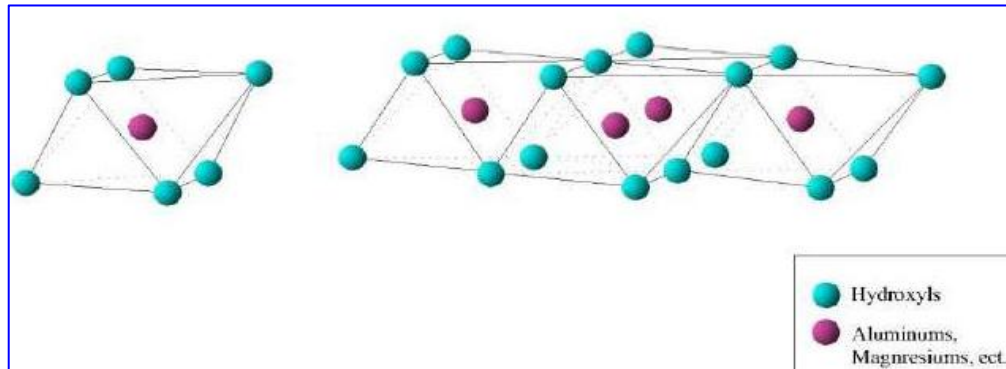


Figure.I.3.Eléments structuraux : les octaèdres. [14]

I-4-Origines géologiques:**I-4-1-L'héritage :**

Minéral argileux provenant directement de la roche mère sans modifier ses propriétés chimiques cristallines. C'est un minéral argileux primaire (mica et illite de plusieurs dizaines de microns ; chlorite trioctaédrique...).

I-4-2- La transformation :

Les conditions de surface du minéral argileux modifient ses propriétés chimiques cristallines, mais sa structure d'origine demeure

I-4-3-La néoformation :

Dissolution des minéraux primaires présents dans la roche mère (argile et/ou non argile) due aux conditions de surface. Les cations et anions produits par cette dissolution passent dans la solution du sol.

Si les conditions de nucléation et de croissance du minéral argileux sont réunies, un nouveau minéral argileux se forme dans le sol.

Le minéral argileux est dans ce cas un minéral argileux secondaire néoformé (kaolinite des sols latéritiques, smectite des vertisols en bas de topo séquence) [15].

I-5-Formation des argiles :

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

Le premier concerne la simple décomposition des roches par l'érosion et l'érosion des sols due à Phénomènes naturels responsables de la formation de boue tels que la pluie, le vent, le gel, le dégel et les vagues

Le deuxième processus est appelé néoformation. Composition minérale En se combinant, la matière transportée par l'eau du sol se combine, 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. [16]

L'argile de la pente des rochers est la boue restante. Les roches s'accumuleront par érosion éolienne ou hydrique entraînant la formation de boue. [17]

L'argile fibreuse provient des enveloppes calcaires. Ces zones sont généralement caractérisées par un climat sec et riche en sel. Il peut être mis en solution, grâce à la richesse en ions.[17]

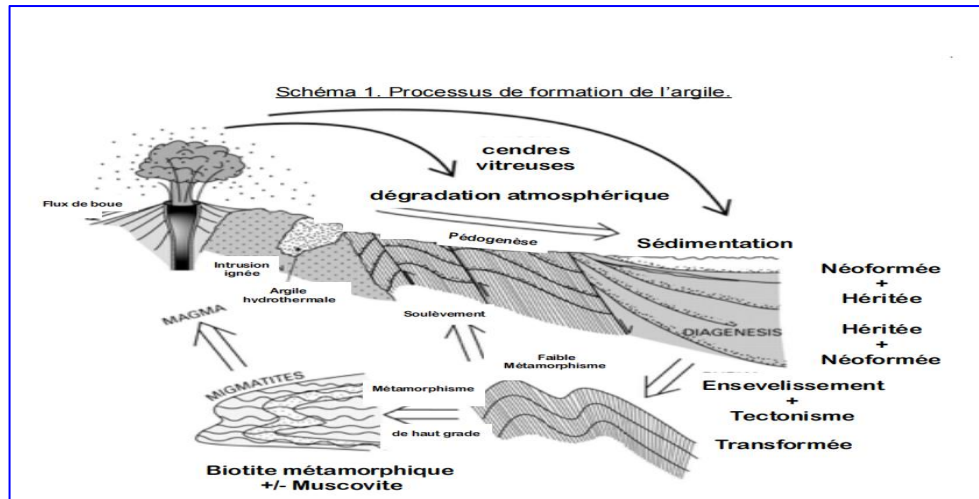


Figure. I.4. Processus de formation de l'argile.

I-6-Propriétés minéralogique des argiles:

Les propriétés des minéraux argileux sont dues :

- à leur petite taille qui génère une importante surface spécifique ;
- à leur structure en feuillets ;
- à la charge négative des particules à l'origine de leurs bonnes propriétés d'adsorption.

I-6-1-Capacité d'adsorption d'eau (gonflement):

La quantité d'eau adsorbée détermine la quantité d'eau installée à la surface des cristaux et dans les pores, ainsi que l'eau entre les feuilles.

Certains minéraux argileux ont la capacité d'incorporer des molécules d'eau dans leur structure. Cette argiles est appelée boue gonflée. Plus l'humidité de l'air est élevée, plus l'argile peut contenir d'eau. La smectite, la vermiculite et les minéraux multicouches offrent des capacités d'expansion supérieures à celles des autres argiles. L'incorporation d'eau dépend de la température et de la pression de vapeur. [18]

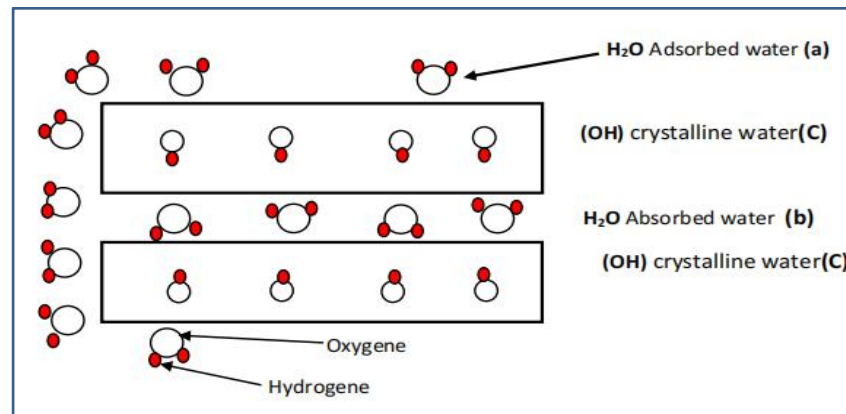


Fig.I.5. Localisation de l'eau dans les particules argileuses. [18]

I-6-2-Charges des surfaces argileuses :

La charge de surface est liée à l'hydrolyse de liens rompus Si-O et Al-OH le long des surfaces. a faible pH, l'argile se caractérise par une capacité d'échange anionique ; H⁺ se lie davantage par rapport à OH⁻, une charge positive se développe. A fort pH, une capacité d'échange cationique (CEC) se développe : les anions OH se lient davantage que les cations H⁺ et une charge négative se développe. A l'équilibre ou « au point zéro» (ZPC), il n'existe pas de capacité d'échange.[19]

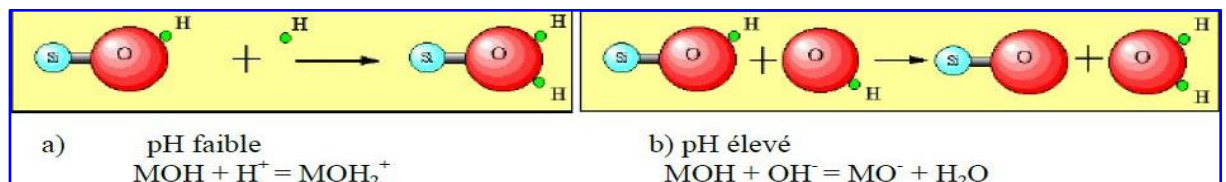


Fig. I.6.Adsorption à l'équilibre et échange ionique [19].

I-7-Grandes classes des argiles :

I-7-1-Kaolinite (Si₄O₁₀) Al₄ (OH)₈ :

C'est le minéral le plus abondant de la famille des phyllo silicates 1 /1, [20] souvent associée à d'autres minéraux. La présence de quartz est quasi systématique, provenant des activités géologiques de formation argileuse. Les impuretés sont souvent présentes sous forme d'oxydes, de mica et/ou de feldspaths (figure I.7) [21].

La plaque primaire est constituée d'une couche tétraédrique avec un noyau en silicium (SiO₄) et d'une couche octaédrique avec un noyau en aluminium (AlO₆) , du

fait de l'occupation totale des sites octaédriques la capacité d'échange d'ions est faible.[22]

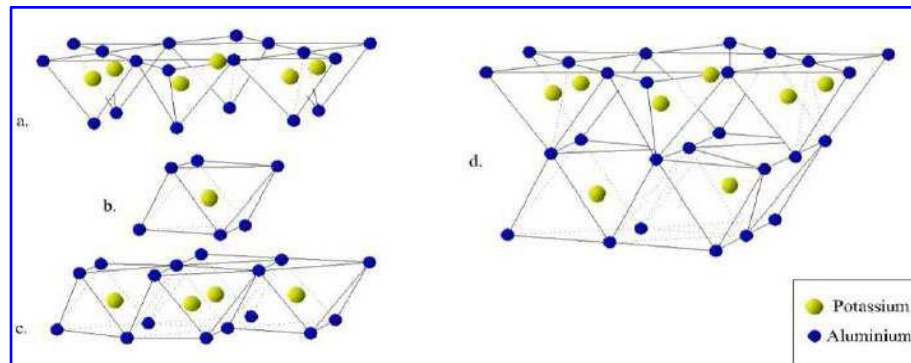


Fig. I.7 : Modèle structural de kaolinite : **a-** feuillet tétraédrique, **b-** octaèdre- les atomes coordonnés peuvent être Al, Fe, ou Mg, **c-** feuillet octaédrique, **d-** modèle schématique de la couche de kaolinite [23].

Cependant, il y a toujours la possibilité d'échanger dans des endroits Le tétraèdre est compris entre Si^{4+} et Al^{3+} . Cette substitution provoque l'apparition d'un défaut de charge qui se rééquilibre par captation du cation compensateur fortement retenu, la surface spécifique est de l'ordre de $40 \text{ m}^2/\text{g}$ [22].

Le feuillet élémentaire est simplement l'association d'une couche tétraédrique et une couche octaédrique, dans la nomenclature des argiles, il est désigné par 1/1 ou T-O. La maille contient 4 octaèdres occupés par Al^{+3} et 4 tétraèdres occupés par Si^{+4} (Fig.I.8). La majeure partie des phyllo silicates 1/1 rencontrés dans les sols sont di octaédriques avec de l'aluminium en position octaédrique. La distance basale de ces minéraux est comprise entre 7.1 et 7.4 \AA , le plus connu dans ce groupe est la kaolinite.

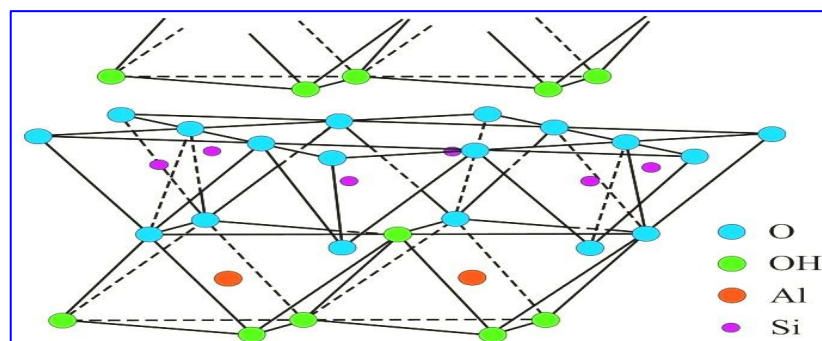


Fig.I.8. Structure de la kaolinite.

I-7-2-Les smectites $(OH)_4 Si_8 (Al_{10/3}, Mg_{2/3}) O_{20}, nH_2O$:

Ce sont des phyllosilicates constitués de deux couches tétraédriques séparées par une couche octaédrique (**figure I.9**). L'épaisseur totale du feuillet est d'environ 14 Å [24], les minéraux les plus importants de cette famille sont la montmorillonite, la beidellite, l'hectorite et la saponite [25].

La charge de surface de la smectite est négative en surface, neutralisée par les cations de substitution, et l'origine de cette charge de surface provient de substitutions similaires résultant du remplacement des cations métalliques du réseau par des cations de même taille mais de moindre charge (la plus fréquente est la substitution d'Al³⁺ par Mg²⁺). Ces charges sont responsables à 80% de la capacité d'échange cationique (CEC) [26].

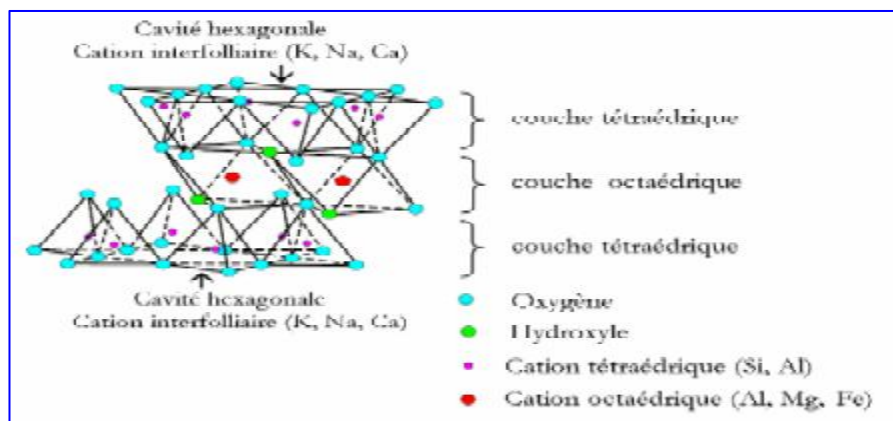


Fig.I.9.Représentation schématique de la structure d'une smectite. [27]

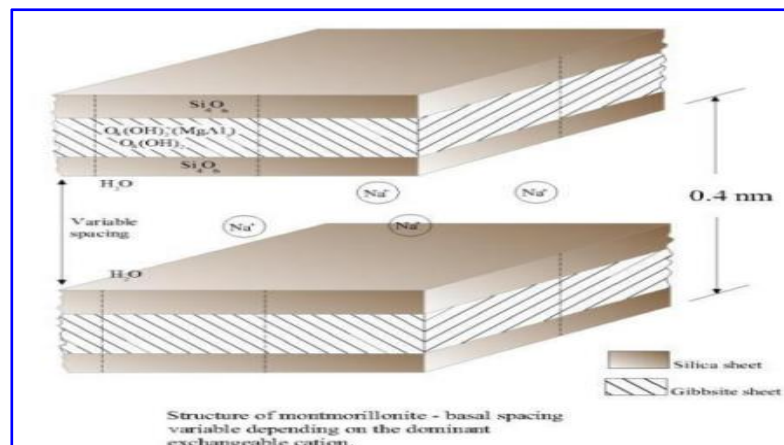


Fig.I.10.Représentation d'une smectite [28]

I-7-3-Les chlorites (OH)₄ (Si Al)₈(Mg, Fe)₆O₂₀

L'espace interfoliaire des chlorites n'est pas occupé par un cation compensateur comme dans les cas précédents, mais par un feuillet d'hydroxydes chargé positivement, l'espace basal caractéristique atteint 14 Å. Les chlorites sont stables à haute température [29].

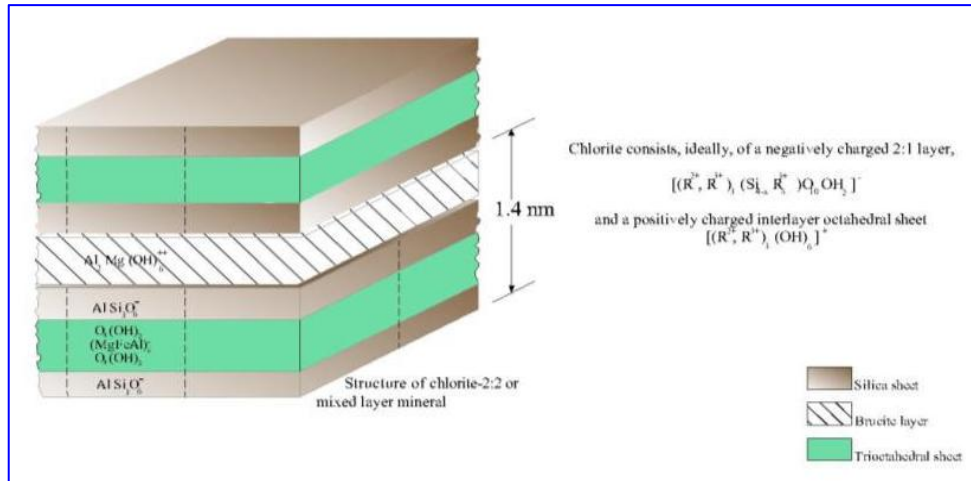


Fig I.11: Représentation du chlorite [28].

I-7-4- Les illites (K, H₂O)₂ Si₈ (Al, Fe, Mg)_{4.6} O₂₀ (OH)₄

Comme les smectites, L'illite est un phyllosilicate de type 2/1, les couches ont une charge négative plus élevée que la smectite, qui est compensée par les ions potassium.

Les ions compensateurs (potassium) sont très faiblement échangeables.[30] L'illite a une capacité d'échange cationique faible (de 20 à 40 meq/100g).

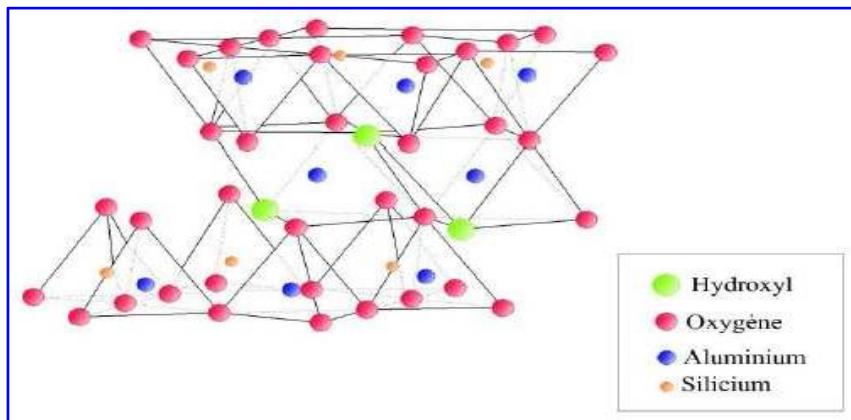


Fig.I.12.Modèle structural de l'illite. [31]

Il n'y a pas d'hydratation des espaces interfoliaires, [32,33] la surface spécifique est de l'ordre de 800m²/g. [30]

La montmorillonite a la particularité d'offrir différents niveaux d'organisation selon l'échelle d'observation,[34]Il possède l'importante propriété de gonflement de tous les minéraux de la famille des phyllosilicates de type T-O-T.

I-7-4-Les argiles montmorillonitiques (lesBentonites) :

L'altération et le métamorphisme hydrothermal des cendres volcaniques riches en verre forment des minéraux argileux, qui font partie du groupe des smectites. Les roches boueuses formées sont appelées bentonite, La zone est située à Fort Benton (Wyoming, USA). Elle contient plus de 75 % de montmorillonite ; découverte pour la première fois en1847 près de Montmorillon, dans le département de Vienne (France)[35- 36].

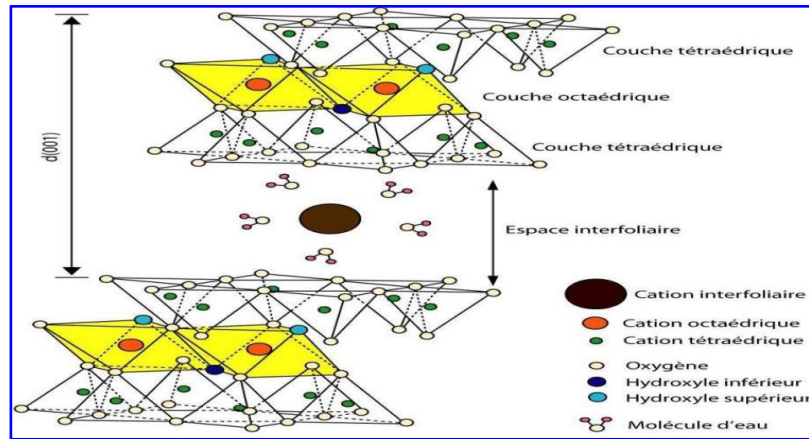
En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent dans l'oranie (ouest algérien).

La carrière de Maghnia (Hammam Boughra), dont les réserves sont estimées à un million de tonnes, et la carrière de Mostaganem(M'zila) , avec des réserves de deux millions de tonnes.[37-38].

La bentonite est une roche argileuse, friable, tendre et onctueuse au toucher, sateinte dépend des composés minéraux et impuretés (matière organique et oxydes desmétaux) qui lui sont étroitement associés. Elle est blanche, grise ou légèrement jaune.

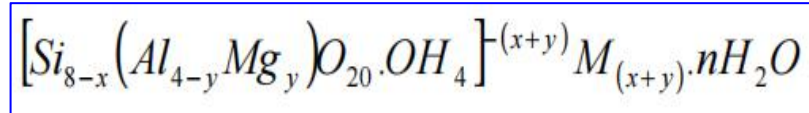
Elle se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement [35, 37, 39].

Il se compose principalement d'un minéral argileux appelé sa structure illustrée sur la (Fig.I.13).



FigI.13. La structure d'une montmorillonite [40]

La formule idéalisée d'une maille unitaire de la montmorillonite peut décrire: [41]



Le complexe entre crochets indique : la macro anion qui compose le feuillet.

M (x+y) : Est le cation échangeable dans l'espace interfoliaire.

Y/8 : Est la proportion d'atome de Si substitué par Al tétraédrique.

X/4: Est la proportion d'Al dans la couche octaédrique substitué par Mg.

I-8-Classification des minéraux argileux:

La classification des minéraux argileux dépend de plusieurs paramètres tels que la combinaison de feuillets (T-O, T-O-T, T-O-T-O), le type de cations dans l'octaèdre et le tétraèdre, la charge de la couche et la nature des espèces dans l'espace interfoliaire (cations, molécules d'eau,.....). Le critère le plus simple et le plus employé pour la classification est le mode d'agencement des tétraèdres et des octaèdres constitutifs des argiles, [42] deux grandes classes sont définies : [43]

- Les argiles phylliteuses.
- Les argiles fibreuses.

Les argiles phylliteuses sont les plus répandues et les plus étudiés. Il s'agit de phyllosilicates minéraux formés par l'empilement de feuillets, chaque feuillet (épaisseur de 7, 10 et 14Å) est lui-même constitué de plusieurs couches.

Les argiles fibreuses (interstratifiés) sont des minéraux dans lesquels les feuillets sont alternés ou, le plus souvent, les espaces interfoliaires sont différents.

I-8-1-Les minéraux de type 1/1 (T-O)

Ils sont constitués de feuillets comprenant une couche tétraédrique, dont les sites sont occupés par du silicium, accolée à une couche octaédrique dont les sites sont occupés par de l'aluminium. La distance basale est de l'ordre de 7Å. Dans la couche tétraédrique, chaque tétraèdre (SiO_4^{4-}) est lié aux tétraèdres voisins par trois de ses sommets. Le quatrième sommet assure le lien avec le cation de la couche octaédrique (Figure I.14) [44].

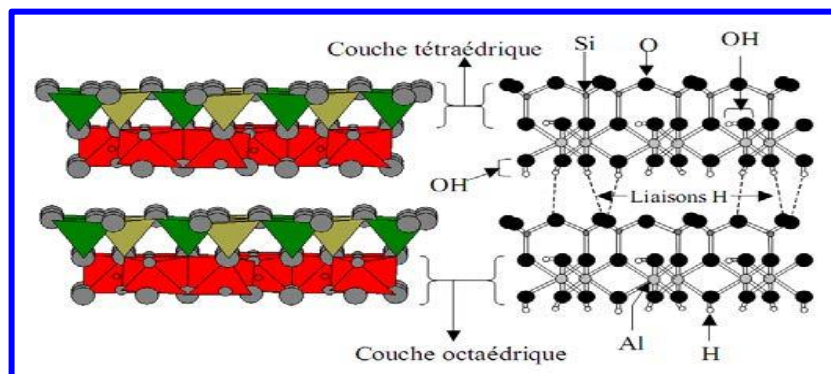


Figure I.14. Représentation des empilements de tétraèdres siliceux et d'octaèdres alumineux (cas de la kaolinite).

I-8-2-Les minéraux de type 2/1 (T-O-T) :

L'équidistance caractéristique varie de 9,4 à 15 Å selon le contenu de l'interfeuillet. A ce type correspondent les groupes du talc, des smectites, des illites, des vermiculites et celui des micas, [45] ces argiles peuvent se trouver dans trois situations différentes : [45]

- Pas de substitution isomorphe.
- Des substitutions octaédriques.
- Des substitutions tétraédriques.

- Dans la première situation, tous les sites octaédriques sont occupés par Mg²⁺ (pas de substitution isomorphe). En conséquence, il n'y a aucun déficit de charge sur la surface. Les feuillets sont alors électriquement neutres et présentent une grande stabilité vis-à-vis de l'eau, exactement comme dans le cas des argiles T-O.
- Dans le cas où il y a une substitution isomorphe, il existe un déficit de charge (souvent négatif) sur la surface des feuillets, qui est compensé naturellement par les cations compensateurs.

Les feuillets des minéraux de type 2/1 sont constitués de deux couches tétraédriques contenant du silicium encadrant une couche octaédrique contenant de l'aluminium (**Figure I.15**).

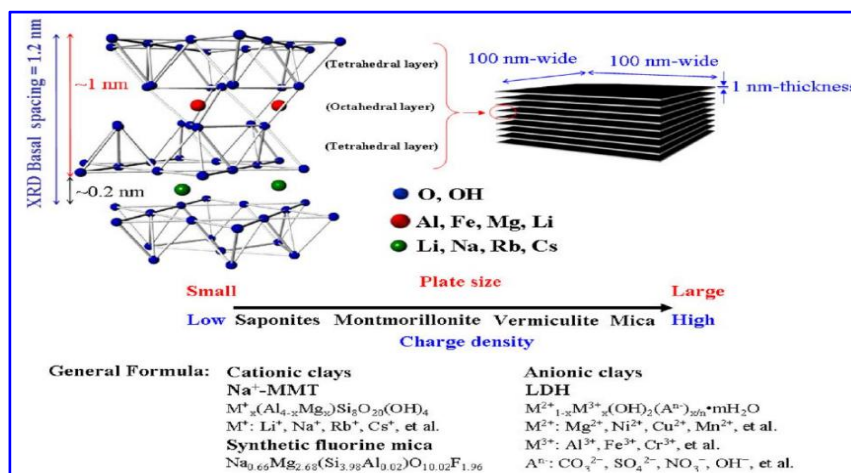


Fig.I.15. Représentation schématique du smectite 2:1 [46].

I-8-3-Minéraux de type TOTO:

Ce type des minéraux à une couche octaédrique encadrée par deux couches tétraédriques et dont l'espace interfoliaire est occupé par une couche d'octaèdres. Ce groupe de minéraux argileux exhibe une équidistance d'environ 14 Å. Le minéral argileux cristallisant dans cette structure correspond à la famille des chlorites [47].

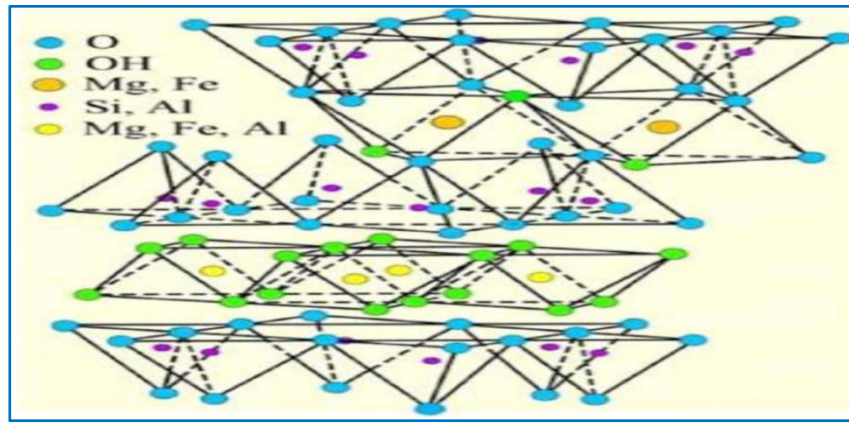


Fig. I.16.représentation schématique de la structure d'une argile de type TOT[48].

I-9-Argiles et environnement:

Dans le domaine environnemental, les argiles ont un rôle important et significatif (figureI.17):

- rôle des argiles dans les sols contaminés par exemple, le transport des isotopes radioactifs et leur réactivité vis-à-vis de ceux-ci (rétention du ^{137}Cs après l'accident de Tchernobyl) [49] ;
- rôle vis-à-vis des pesticides et des éléments métalliques dans les sols comme un support solide;
- rôle de barrière d'étanchéité dans les décharges.

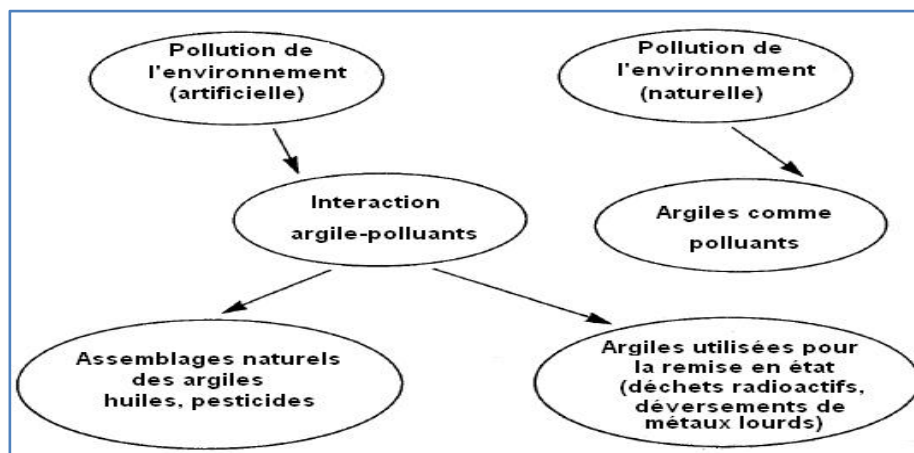


Figure I.17 : Rôle des argiles dans l'environnement.

Suite aux propriétés d'adsorption et d'absorption des argiles et leur capacité à former des complexes organo-minéraux, ils interviennent dans l'élimination des éléments traces dans les eaux naturelles et dans les sols. Ces éléments peuvent être rapidement piégés par la phase particulaire par des colloïdes, mais l'efficacité du processus dépend des propriétés et de la concentration du polluant et de facteurs environnementaux qui affectent les propriétés de surface des colloïdes [50].

L'adsorption de ces éléments est une accumulation d'espèces chimiques à la surface des argiles, tandis que l'absorption est le processus d'incorporation des polluants dans la structure argileuse.

La surface argileuse, étant chargée négativement, est neutralisée par des cations positifs venant de la solution en contact, qui constituent la charge diffuse ou couche de Gouy.

I-10-Traitement des eaux par les argiles:

I-10-1-Les eaux résiduaires urbaines:

Les eaux résiduaires urbaines regroupent les eaux de ménagères, les eaux de vanne et les eaux de ruissellement. La composition et les caractéristiques d'une eau résiduaire urbaine sont variables.

Les polluants présents dans les eaux usées varient selon leur nature et nécessitent des traitements différents et adaptés [51].

Les eaux usées sont liées à divers facteurs de composition et de quantité, notamment le mode de vie, les activités humaines et industrielles. La composition de cette eau est étudiée grâce à diverses techniques de mesure, physiques, chimiques et biologiques [52].

Les eaux usées, généralement chargées d'éléments toxiques et indésirables, présentent un danger pour les milieux et leurs usagers.

L'élimination des éléments toxiques et indésirables nécessite la conception de techniques de traitement. Avant de concevoir toute épuration, l'effluent à traiter doit être décrit, quantitativement et qualitativement [53].

I-10-2-Le principe de méthode de traitement des eaux usées par l'argile :

Les argiles sont des matériaux naturels qui contiennent des minéraux argileux, des composés qui n'induisent aucune plasticité et quelque fois de la matière organique. Contrairement aux traitements composés de substances chimiques dont l'action s'étend sans le moindre discernement, l'argile a le pouvoir de diriger son action là où le corps en a le plus besoin.

I-10-3-Les caractéristiques de l'argile vert et rouge :

L'argile, elle est formée de micelles de colloïdes (plus ou moins "agglomérées" en fonction de la teneur en eau) dont la taille avoisine le micron, entourées de charges négatives. Elle a ainsi la capacité d'échanger des ions avec le milieu : c'est à cela qu'elle doit ses capacités d'adsorption (à ne pas confondre avec l'absorption ; l'adsorption est la fixation d'atomes ou de molécules, liquides ou gazeux, sur un support solide.

L'argile verte est polyvalente, elle absorbe les impuretés, est reminéralisante, régénérant et revitalisante. Elle est très efficace pour absorber et régulariser les excès de sébum.

L'argile verte est ainsi riche en divers minéraux et oligo-éléments : silicium, aluminium, magnésium, potassium, calcium et fer [54].

L'argile verte (montmorillonite le plus souvent, et parfois illite). Et Le rhassoul (ou rassoul, ghassoul) est une argile qui absorbe les impuretés et les graisses.

Les composants du Rhassoul sont : Silicium, Fer, Magnésium, Potassium, Sodium, Oligoéléments et Provitamine.

Partie 02 : Caractéristiques De la région etude

II.1.Situation géographique de la région d'étude:

La région de Soboula est située dans la région séparant les états de M'sila et de Sétif, au sud-ouest de l'état de Sétif et au nord-est de l'état de M'sila, délimitée au nord par la région d'ouled Tebban, à l'est par la commune de Rasfa, au sud par la région de Boutaleb, et à l'ouest par la commune de Magra.



Figure.I.18.Localisation géographique de la région Soboula

Les photos présentées ci-dessous ont été prises dans un champ des région d'où nous avons prélevé les trois échantillons d'argiles (rouge, verte et jaune) de la région de Soboula.



Figure.I.19.Photos des régions d'échantillonnage de boue étudiées (B.Issam et B.Brahim)

II.2.Caractéristiques climatique de la région d'étude:

Le climat de région Soboula est méditerranéen de transition, avec quelques caractéristiques continentales, et semi-aride. L'hiver est assez froid, tandis que l'été est très chaud. De plus, en hiver, la ville est exposée aux vagues de froid et aux chutes de neige. En moyenne, il neige douze jours par ans.

Références:

- [1]: Moore D .M.ET Renolds R.C.1989 « X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals.Oxford Univ.Press,New York,332 p ».
- [2] : S. Caillère et S. Henin.1963 « Minéralogie des argiles, 1ère Edition, MassonParis ».
- [3] : Baize D.2000 « Guide des analyses en pédologie. INRA ».
- [4] : Michel. Aubineau, Alin. Bermond , Jacques. Bougler , Bertrand. Ney et Jean. Roger-Estrade. « Le monde Agricole au XXIe siècle sous la direction de MARCEL MAZOYER, édition Mathilde Majoral assistée de Nora Schah, P59, 60/767 ».
- [5] : N. EL Yakoubi. Potentialités d'utilisation des argiles marocaines : cas des gisements de Jbel Kharrou et de Benhmed. Thèse de doctorat. Faculté des sciences Rabat, Maroc, 2006.
- [6] : H. Boussak. Effet de la température sur les performances des céramiques contenant la bentonite de Maghnia. Thèse de doctorat. Université M'Hamed Bougara, Boumerdes, 2015.
- [7] : L. Bouna. Fonctionnalisation des minéraux argileux d'origine marocaine par TiO₂. En vue de l'élimination par photocatalyse de micropolluants organiques des milieux aqueux. Thèse de doctorat. L'institut national polytechnique de Toulouse, 2012.
- [8] : S. Kouloughli. Etude expérimentale des mélanges sable bentonite. Thèse de doctorat. Université Mentouri Constantine, 2007.
- [9] : Thorez J (1989). Argilloscopy of weathering and sedimentation.Bull. Soc. Geol. Belg 98: 245 - 267.
- [10] :Eslinger E., Pevear D (1988). Clay Minerals for Petroleum Geologists and Engineers. SEPM Short Course Notes no. 22. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, USA.
- [11] : S. Bendou., « Utilisation des argiles traitées pour la décoloration des bains de teinture. »Mémoire de magistère, Université M'Hamed Bougera Boumerdes, p32, 2009.
- [12] :H. Mohamed., « Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique », Mémoire de magister, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Département de genie des procedes, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2007.
- [13] : E. Errais., « Réactivité de surface d'argile naturelle : Etude de l'adsorption de colorants anionique », Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 2011.
- [14] : N. Jozja.2003 « Étude de matériaux argileux Albanais. Caractérisation "multi- échelle" d'une bentonite magnésienne. Impact de l'interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité." Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans ».
- [15] :H.Fabien. Modélisation des diffractogrammes de minéraux argileux en assemblages complexes dans deux sols climat tempère. Implications minéralogique et pédologique. Université de POITIERS. P.35, 2008.

Références Bibliographique

- [16] : F. Villieras, Argiles : histoire d'avenir, éditions Récréateurs, dépôt légal : 2008.
- [17] : P. Adriane , L'argile, médecine ancestrale de la tradition aux preuves scientifiques, éditions Amirys SPRL, dépôt légal : 4e trimestre 2003, ISBN : 2-930353-15-5.
- [18] : Velde B (1995). Origin and mineralogy of clays. Clays and the environment. Springer Berlin Heidelberg .
- [19] : .S.Caillère, S. Henin, M. Rautureau., «Minéralogie des argiles», 1ère édition, Masson, Paris,(1963).
- [20] : O. M'bodj. N. K. Ariguib, M. T. Ayadi and A. Magnin , « Plastic and elastic properties of the systems interstratified clay-water-electrolyte-xantha » J. Colloid Interface Sci. 273, 675-684, 2004.
- [21] : G. Celso. J Velho. et C. RAMIREZ. « Minerais industriais. Geologia, proprieolades, tratamentos, aplicaçoes, especificaçoes, produçoes e mercados ». Ed. Univ. D'Aveiro, 591, 1998.
- [22] : C. Bardon, M.T. Bieber, L. Cuies, C. Jacqueline et A. Nectowm, « Revue de l'institut français du pétrole (I.F.P)».1983.
- [23] : C. Abdelouahab, H. Ait Amar, T.Z. Obretenov et A. Gaid. « Physicochemical and structural characteristic of some bentonitic clays for north-western Algeria ». Analysis, 16,292-299, 1988.
- [24] :R. Clavetr, « Hydratation de la montmorillnite et diffusion des cations compensateurs.I. Saturation par des cations monovalents », Ann.Agnon., 24,77-133, 1973.
- [25] : M. Anpo, T. Shima, S. Kodama, Y. Kubokawa, « Photocatalytic hydrogenation of propyne with water on small-particle titania: size quantization effects and reaction intermediates », J Phys Chem, 91(16), 4305–4310, 1987.
- [26]: WHITE, Principles and practice of soil science. The soil as a natural resource. Blackwell, 1999.
- [27]: M.Anpo,T. Shima, S. Kodama, Y. Kubokawa.1987 « Photocatalytic hydrogenation of propyne with water on small-particle titania: size quantization effects and reaction intermediates. J Phys Chem, 91(16), 4305–4310 ».
- [28] : E. Assaad, mémoire présente comme exigence partielle de la maîtrise en chimie, Université Du Québec A Montréal, 2006.
- [29] : I. Lipatov, Colloid chemistry of polymers, Amsterdam, Elsevier, 450, 1988.
- [30] : J. Duchet, H. Sautereau, P. Halley and J. -F. Gerard , « Rheological properties of organoclay suspensions in epoxy network precursors » Appl. Clay Sci. 25, 207-219, 2004.
- [31] : M. Deribere, A. Esme.1943 « La Bentonite, Dunod, Edition 2 ».
- [32] Le Pluart, L., J. Duchet, H. Sautereau, P. Halley and J. -F. Gerard.2004 « Rheological properties of organoclay suspensions in epoxy network precursors Appl. Clay Sci. 25, 207-219 ».

Références Bibliographique

- [33] Ch. Bardon, M.T. Bieber , L. Cuies , C. Jacquine et A. Nectowm.1983 « Revue de l'institut français du pétrole (I.F.P), vol ».
- [34] Mathieu.Sicaud .A, Mering. J, Perrin.Bonnet .I.1951 « Etude au microscope électronique de la montmorillonite et de l'hectorite saturées par différents cations, Bull. Soc. Miner. Cristal., 74, 439-455 ».
- [35].C.Airoidi, S. A. M. Critter., «Thermodynamic study involving Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, Ca and Na⁺, Clays and clay Minerals» 45 (2) , P125, (1997).
- [36].N. FERRAH., «Fonctionnalisation de Matrices Polymériques et leurs Applications dans la Rétention de Cd(II), Cu(II), U(VI) et Eu(III)», Thèse de doctorat d'Université de Tlemcen, (2013).
- [37].W.J.Weber,J.C.Morris., «Kinetics of Adsorption on carbon from solution.Journal of Sanitary Engineering», Division ASCE 89, 31,(1963).
- [38].M.A. Didi, B. Moreau, D. Villemin, O. Abderrahim., «A new sorbent for selective separation of metal: poly ethylene imine methylene phosphonic acid», SolvExtr Ion Exch 24: 943–955, (2006).
- [39].O.AbderrahimM.A.Didi,D.Villemin.,«Poly ethylene imine methylene phosphonic acid for the solid-phase sorption of lead(II)», Anal Lett 42: 1233–1244,(2009).
- [40] : Alain Meunier.2002 « Argiles. Edition scientifique GB ».
- [41] Duaufour P.1977 « Pédologie. Pédogénèse et classification. Masson, Paris ».
- [42] Grim, R.E.1968 « Clay Mineralogy, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 596 pp, eds., Clay-Water Interface and its Rheological Implications. The Clay Minerals ».
- [43] Caillère S., Henin S. et Rautureau M.1982 « Minéralogie des argiles: Classification et nomenclature.Tome2, Ed. Masson, pp. 9, 107 et 114, Paris ».
- [44]: Deng, Y. White, G.N. Dixon, J.B. "Effect of structural stress on the intercalation rate of kaolinite". Journal of Colloid and Interface Science. 250 (2002) 379- 393.
- [28] M'bodj O., N. K. Ariguib, M. T. Ayadi and A. Magnin.2004 « Plastic and elastic properties of the systems interstratified clay-water-electrolyte-xantha J. Colloid Interface Sci. 273, 675-684 ».
- [46] Chih-Wei Chiu, Jiang-Jen Lin. Self-assembly behavior of polymer-assisted clays. Progress in Polymer Science. 37 (2012) 406– 444.
- [47] : L. Bouna. Fonctionnalisation des minéraux argileux d'origine marocaine par TiO₂. En vue de l'élimination par photocatalyse de micropolluants organiques des milieux aqueux. Thèse de doctorat. L'institut national polytechnique de Toulouse, 2012.
- [48] :.A. El Hachmi. Argile et minéraux argileux : propriétés physico-chimiques et propriétés colloïdes. Mémoire de Master. Université Abdelmalek Essaadi, Maroc , 2013.
- [49] B, Benguella, « Valorisation des argiles Algériennes application a l'adsorption des colorants textiles en solution » Thèse de doctorat ,l'université de Tlemcen-Algérie, 2009.

Références Bibliographique

[50] M. Ibn Ghazala, « Synthèse des complexes organo et inorgano-pyrophyllite et leur application dans le traitement des eaux chargées en métaux lourds » Thèse Doctorat, Université de Rabat – Maroc 2009.

[51].AGENCE DE L'EAU & MINISTERE DE L'ENVIRENEMENT,
L'assainissementdesagglomération : Technique d'épuration actuelles et évolution-Etude inter-bassins n °27,1994 ,170p.

[52].**P Diar** , Etude de la bio sorption du plomb et du cuivre par des boues de la station d'épuration –mise en œuvre d'un procédé de biosorption à contre –courant. Thèse de doctorat, spécialité science et technique du déchet. Institut national des science appliquées de lyon, 279p, 1996.

[53].**FNDAE** (Fonds National pour le Développement des Adduction de Eau),Document technique n°5bis,Station d'épuration-Disorption constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation, Office International de l'Eau-SNIDE, 1^{er} édition en 1992, actualisé en 2002, 86p.

[54].**A Bouchet**. Meunier A. et Sardini p. « Minéraux argileux : structure cristallin, identification par diffraction de rayons X », Bulletin Elf Extraction production, Mémoire 23, p. 136, Pau, 2000.

A decorative scroll graphic with a light blue border and a grey shadow, containing the chapter title. The scroll has a small grey circle at the top right corner and a larger grey circle at the bottom left corner.

Chapitre II: Matérielles et Méthodes

II-1-Introduction :

L'utilisation d'argile de toutes sortes peut être utilisée dans les composites et les matériaux de construction en nous amenant à étudier ses propriétés chimiques, structurelles et inorphologiques. par conséquent , dans ce chapitre, nous traiterons en extrayant les composants et les propriétés de l'argile et comment la traiter , puis en diagnostiquant à l'aide de tests et d'analogie dans l'appareil de spectroscopie infrarouge (IRIF)l'effet de ces composants, l'appareil à rayons X (DRX) , et le dispositif d'analyse thermogravimétriques (ATG).

II-2-Préparation de l'échantillon argileux(Argile Brute) :**Source :**

L'échantillon "L'argile rouge, L'argile Verte" et "L'argile Jeune" ont été prélevé au niveau de la région de « SOUBOLA ».

Nous avons prélevé un échantillon de bentonite afin de comparer les résultats.

Concassage, Séchage et broyage :

L'échantillon prélevé a subit les opérations unitaires suivantes:

- Concassage des roches de l'échantillon en morceaux par un mortier.
- Broyage des morceaux de l'échantillon argileux dans un broyeur.
- Tamisage de la poudre de l'échantillon (Tamis de 50 μ m).
- Séchage dans l'étuve pendant 24 h (T =105 °C).



Fig.II.1.Préparation de l'échantillon argileux (**Argile Brute**). (B.Issam et B.Brahim).

II-3-Analyse des argiles avant traitement(Argile Brute):

II-3-1-Caractéristiques physico-chimiquesdes argiles (brute):

II-3-1-1-Détermination du pH:

La détermination du PH est nécessaire pour quantifier l'apport de l'acidité lorsque le solide est en contact avec la solution.

Nous préparons quatre échantillons naturels d'argile (rouge, verte, jaune et bentonite) d'un diamètre de 0,005 mm et pesons **10 g** de chaque échantillon avec une quantité d'eau distillée (10%) d'environ **100 ml** Nous laissons les solutions pendant 4 heures à une température de 25° sous agitation puis lire directement la valeur de PH par solution. [1]



Fig.II.2..Etapas des mesures de PH. (B.Issam et B.Brahim.)

II-3-1-2-Taux d'humidité(H %):

Le séchage des échantillons à une température de (105C°) pendant une durée de 24 heures permet d'éliminer la masse d'eau présente dans le matériau étudié et ainsi de mesurer le taux d'humidité de l'échantillon analysé [2], et l'humidité le contenu est mesuré par la relation suivante :

$$H(\%) = \frac{m_{\text{eau}}}{m_s} \times 100 = \frac{m_t - m_s}{m_s} \times 100$$

m_{eau} : masse d'eau.

m_s : masse échantillons sec.

m_t: masse échantillons humide.

Mode opératoire:

Placer une quantité spécifiée d'échantillons de suspension humide dans des boîtes de Petri numérotées.

Nous pesons tous les échantillons et les mettons au four à 105° pendant 24 heures.

Au bout de 24 heures, des échantillons sont prélevés et placés dans un dessiccateur pendant 12 heures pour refroidir.

II-3-1-3-Indice de Gonflement (I_g):

Nous pesons (0,5) g d'argile rouge, verte, jaune et bentonite et mettons chaque échantillon d'argile pesée dans un tube à essai gradué contenant 50 ml d'eau distillée et après 40 minutes nous ajoutons à nouveau (0,5) g d'échantillons et après deux heures nous déterminons la volume de gonflement. [3]

L'indice de gonflement est mesuré par la formule suivant :

$$I_g (\%) = \frac{(V_F - V_I) \times 100}{(100 - h_0)} \quad I_g = V_F - V_I$$

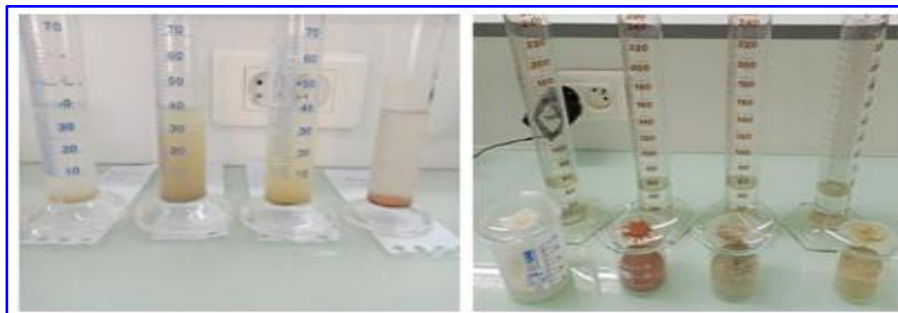


Fig.II.3.Mesure L'indice de gonflement.(B.Issam et B.Brahim.)

II-3-1-4-Limite d'atterberg:

Les limites d'Atterberg nous permettent de déterminer les taux d'humidité dans lesquels le sol passe d'un état à un autre, dans lesquels les échantillons passent du liquide au plastique et du plastique au solide, et ce dernier classe pour nous le sol en fonction de son état physique et propriétés chimiques, selon la norme française (NF P 94-051).[4]

L'indice de plasticité (I_p); détermine le champ plastique de l'argile.

L'indice de plasticité est un nombre sans dimension. Il précise la différence numérique entre la limite de liquidité d'Atterberg et la limite de plasticité d'Atterberg. La valeur de IP est calculée par l'équation [5].

$$I_p = W_L - W_p$$

Ces essais sont expérimentaux et nécessitent très peu de matériel, il existe donc des relations entre ces limites et les propriétés de l'argile. [6]

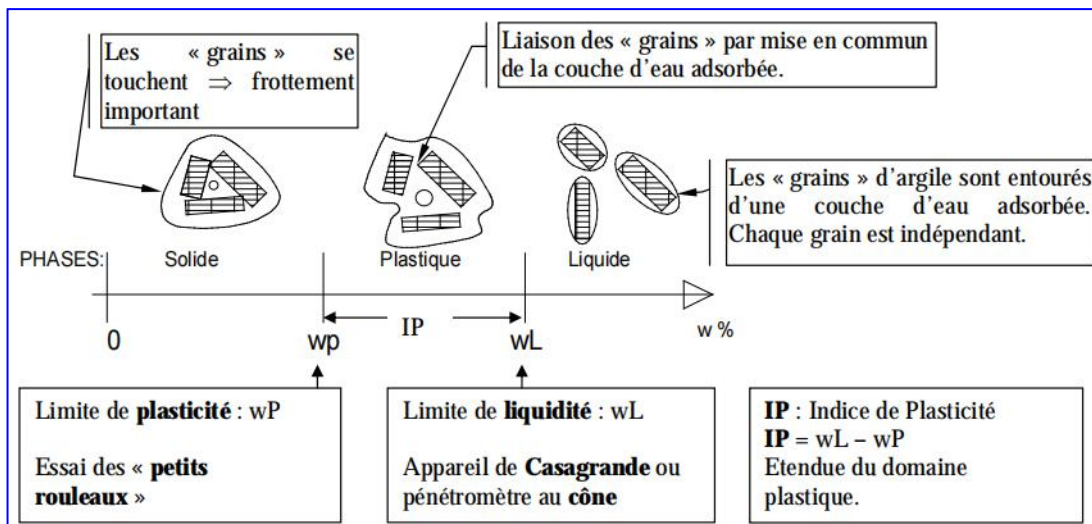


Fig.II.4.Schéma de représentation des limites d'Atterberg

II-3-1-4-1- limite de liquidité (WL) :

La limite de liquidité de l'argile, est définie comme l'humidité du sol qui, si elle est atteinte par le sol, passe de l'état plastique à l'état liquide.

La limite de liquidité est la teneur en eau de matériau qui correspond à une fermeture sur 1 cm des lèvres de la rainure après 25 chocs.

Comme il est difficile d'obtenir la fermeture à 25 coups, il existe une relation permettant de trouver WL à partir d'un seul essai pourvu que le nombre de coups de fermeture soit compris entre 15 et 35.

Cette relation s'écrit :

$$W_L = w (N/25)^{0.121}$$

WL : La limite de liquidité

W : la teneur en eau

N: le nombre de coups

Les outils utilisés:

L'appareil Casagrande se compose de : une base en caoutchouc dur, un moteur, un bol en cuivre installé avec l'appareil, qui s'élève de **(1cm)** et un compteur numérique pour enregistrer le nombre de coups.

- trancheuse de 1 cm d'épaisseur.
- Un couteau pour mettre la boue à l'intérieur du bol et niveler sa surface.
- Une truelle utilisée pour pétrir l'échantillon.

Mode opératoire:

La limite de liquidité est mesurée en suivant les étapes suivantes, qui sont illustrées à la **(Fig.II.5)**.

- Tamiser une quantité suffisante de terre sur le tamis n° 40.
- Nous ajoutons une quantité d'eau à l'argile et la pétrissons avec une pelle, puis mettons une quantité d'argile mastic dans le bol de l'appareil et aplatissons-la avec le couteau prévu à cet effet.
- Nous ouvrons une incision par la retenue désignée.
- On allume l'appareil et on l'arrête jusqu'à ce qu'on constate que la fente a coalescé de 13 mm, puis on lit le nombre de coups enregistré sur le compteur de l'appareil
- Nous prélevons une quantité d'argile de la zone où la fissure est jointe, puis la mettons dans une boîte de Pétri et la pesons pendant qu'elle est humide et la pesons après l'avoir séchée au four
- Nous répétons le processus 3 fois pour tous les échantillons d'argile étudiés jusqu'à obtenir 3 lectures pour le nombre de coups compris entre 10 et 50.
- Nous représentons la relation entre le pourcentage d'humidité et le nombre de coups sur un graphique dont l'axe horizontal représente le nombre de coups sur une échelle logarithmique, tandis que l'axe vertical représente le pourcentage d'humidité.



Fig.II.5.Étapes pour mesurer la limite de liquidité. (B.Issam et B.Brahim.)

II-3-1-4-2-limite de plasticité (W_P):

Les propriétés de plasticité commencent à apparaître à la valeur d'humidité la plus basse, et chaque fois que la quantité d'humidité diminue, l'argile devient non plastique, c'est-à-dire qu'elle devient à l'état solide selon la limite d'Atterberg, qui est le pourcentage d'humidité à laquelle l'argile commence à se fissurer avec un diamètre de (3 mm).

Les outils utilisés:

- Plaque de verre et spatules pour mélanger

Méthode de travail : La limite de plasticité est mesurée en suivant les étapes suivantes, qui sont indiquées sur la **Fig.II.6**.

- On tamise les échantillons sur un tamis n°40, puis on les mélange avec de l'eau distillée, on les pétrit bien et on les prend sous forme de boule sur la paume de la main

- Placer la boule d'échantillon sur la plaque de verre et la tordre avec la paume de la main pour obtenir des mèches d'un diamètre de (3 mm).

- On prend le poids des mèches quand elles sont mouillées, puis on les sèche au four, et on reprend le poids des mèches quand elles sont sèches, puis on calcule l'humidité.



Fig.II.6.Étapes pour mesurer la limite de plasticite (W_p). (B.Issam et B.Brahim.)

II-3-1-5-La granulométrie:

Détermination des proportions de matériaux argileux à l'aide de la méthode d'essai du gradient granulaire en classant l'argile selon la norme française (NFP18-560) [7] au moyen d'une analyse au tamis, dont on peut ensuite tracer la courbe de gradient .

Le but de l'expérience :

- Détermination des proportions de grains de même taille (en poids %).
- Détermination des dimensions des particules formées des échantillons d'argile.

Les outils utilisés:

La **fig.II.7.** montre les outils les plus importants utilisés dans le test de gradient granulaire

- Un jeu de tamis selon cahier des charges
- balance électronique sensible
- dispositif de secouage mécanique

Méthode d'essai:

- Prendre **1 kg** de chaque échantillon d'argile
- Disposez les tamis de haut en bas, puis mettez les échantillons et secouez les tamis après les avoir recouverts de vibreurs mécaniques jusqu'à ce que le sol cesse de passer à travers les tamis
- Nous calculons le poids de retour et à partir de celui-ci, nous calculons le pourcentage de sol passant et enregistrons les données dans le formulaire préparé pour cela, puis nous dessinons la courbe de gradient pour chaque échantillon.



Fig.II.7.Instruments de mesure de gradient granulaire.(B.Issam et B.Brahim.)

II-3-2-Méthode de caractérisation des argiles (brute):

II-3-2-1-Diffraction des rayons X (DRX) :

La diffraction des rayons X constitue aujourd'hui l'une de ces techniques les plus utiles et les plus répandues, elle est utilisée de façon préférentielle dans la caractérisation minéralogique d'un matériau argileux [8,9] à l'échelle de la maille cristalline avant et après divers traitements physiques et chimiques.

La diffraction des rayons X (DRX) permet d'identifier les phases minéralogiques présentes dans les échantillons et de déterminer qualitativement si possible la nature des minéraux argileux.

L'étude par diffraction des rayons X a été réalisée successivement sur l'échantillon brut, purifié et modifié.

Cette technique est basée sur la mesure des angles de diffraction dans les plans de l'échantillon. Ces angles de diffraction sont liés aux caractéristiques du réseau cristallin et du rayonnement incident par la loi de **Bragg** :

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

n : ordre de diffraction.

λ : longueur d'onde des rayons diffractés.

θ : angle de diffraction.

Les intensités et les largeurs de raies sont influencées par :

- l'ordre cristallin au sein des particules,
- la présence de défauts dans la structure,

- l'orientation et le mode d'empilement des feuillets.

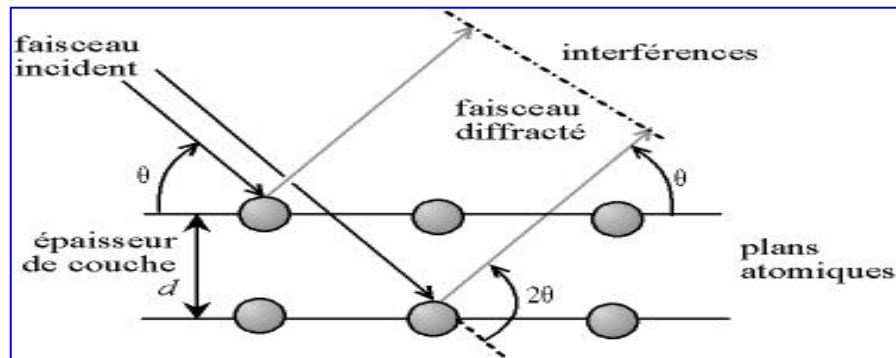


Fig.II.8.Schéma représentatif du phénomène de diffraction des rayons X.

II-3-2-2-Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR):

La spectroscopie infrarouge est une technique spectroscopique, produite en modifiant les états vibrationnels et rotationnels d'une liaison moléculaire et fournit des informations précieuses sur les molécules d'eau adsorbées et les groupes hydroxyles structuraux des minéraux argileux.[10]

est un excellent moyen de détecter des composés organiques et des compositions minérales .[11]

Les bandes d'absorption infrarouges correspondent à des transitions d'énergie de rotation de vibration moléculaire. Les modes vibrationnels sont de deux types :

- L'élongation γ avec variation de la distance interatomique.
- La déformation angulaire δ avec variation de l'angle entre deux liaisons adjacentes.



Fig.II.9. Appareil d'analyse d'infrarouge avec pastillage.(B.Issam et B.Brahim.)

II-3-2-3-Analyse thermogravimétrique (ATG):

Le matériau qui subit un traitement thermique peut subir des modifications de ses propriétés physiques et chimiques, telles qu'un changement de phase, une décomposition, un changement de volume, etc.... [12].

L'analyse thermogravimétrique permet de suivre en continu l'évolution de la masse de l'échantillon en fonction de la température, voire d'intervenir dans une plage de température étroite d'une forte variation d'une température donnée.[13]

Concernant les propriétés thermiques des échantillons, qui ont été faites par analyse thermogravimétrique, l'étude a été menée pour les échantillons sous une température de (800 C°) à raison de 10C°/ minute.

II-4-Les argiles modifiées:

Dans le but d'améliorer les matériaux naturels, les minéraux argileux peuvent être modifiés afin d'améliorer les propriétés de sorption, et ces modifications qui sont de types physico-chimiques principalement basées sur l'échange d'ions, conduisent en général, selon la nature de la modification, non seulement pour obtenir des adsorbants hydrophobes, mais aussi des catalyseurs hétérogènes. Il s'agit notamment de l'échange d'ions avec des cations organiques ou inorganiques, du greffage de composés organiques, de l'activation acide, de la calcination, etc.

II-5-Purification et traitement des argiles naturelles (vert-jaune-rouge):

L'échantillon des argiles brut qui provient du milieu naturel contient des impuretés dans sa composition et il est préférable de l'éliminer. Parmi eux se trouvent les matières organiques. Ainsi le traitement primaire des argiles naturelles est de se débarrasser de toutes ces phases cristallines, puis de remplacer tous les cations interchangeable des différentes instances par des cations sodium et sodium permet également d'obtenir des fractions particulières bien définies avec une taille inférieure à 2 µm.

Dans cette partie nous avons modifié et traité les argiles (rouge, verte et jaune) utilisées dans ce travail, puis nous décrivons les différentes techniques utilisées pour caractériser nos matériaux : **DRX, IRTF et ATG.**

Mode opératoire :**Préparation des matériaux:**

- Nous broyons bien les échantillons d'argile dans un broyeur mécanique à lisier d'agate, en tamisant la poudre broyée.

- L'argile brute est lavée avec de l'**eau oxygénée(H₂O₂)** dans le but d'éliminer toute matière organique, une fois la purification achevée.

- Pour effectuer cette purification, une quantité échantillonons est mélangée à une quantité de solution ordinaire de chlorure de sodium **NaCl (IN)**.

- Cette technique permet l'échange de sodium permettant d'éliminer les "impuretés" et de remplacer les cations échangeables par des ions sodium(**Na⁺**).[14]

- Le contact est répétés trois à quatre fois pour un meilleur échange d'ions. Le mélange est agité pendant **20 minutes**.

➤ On filtre sur verre fritté et on lave à l'eau distillée jusqu'à PH neutre.

On vérifie qu'il n'y a plus de chlore, en ajoutant une goutte d'AgNO₃, à quelques gouttes de filtrat passé sur filtre plissé: L'absence de précipité blanc d'AgCl en est la confirmation .

-La partie minérale est récupérée par centrifugation (4500 tr / min, pendant 20 min), séchée sous étuve à 120°C pendant 24 heures et bien broyée dans un mortier.

-La poudre récupérée est la montmorillonite sodique, qui a subi les mesures physiques suivantes: Analyse chimique, Analyses thermiques, Diffraction des rayons X, Infrarouge à transformée de Fourier, Surface spécifique et test catalytique.

-Elimination des impuretés cristallines et des sels résiduels par centrifugation et lavage à l'eau distillé jusqu'a l'obtention d'un test négatif au chlorure.

-Récupération de la partie minérale (<2 **µm**) par sédimentation, ensuite, elle est séchée à l'étuve à 80°C et broyée jusqu'a l'obtention d'une poudre homogène.[15]

La fig.II.10. montre les étapes et les outils les plus importants utilisés pour Purification Et Traitement des argiles naturelle (vert-jaune-rouge)

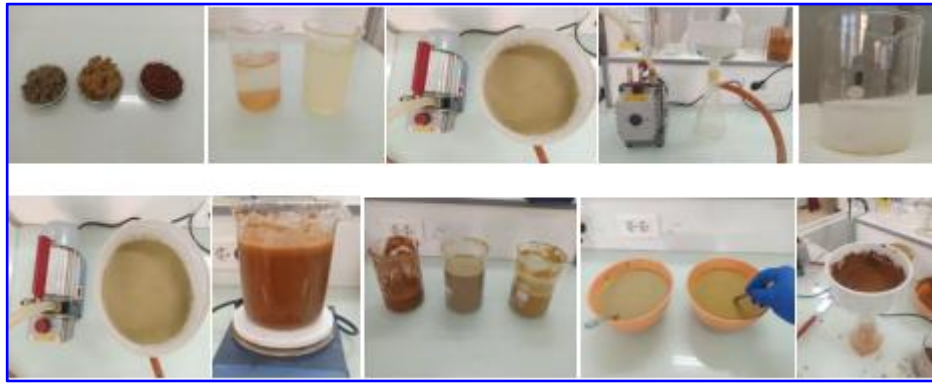


Figure.II.10. les étapes et les outils utilisés pour Purification Et Traitement des argilesnaturelle (vert-jaune-rouge). (B.Issam et B.Brahim).

Références:

- [1].Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? » *Comp. Sci. Tech*, Vol 63, pp.1259-1264(2003)
- [2].R. F. Robert « Bast and other plant fibres; Wood head Publishing Limited in association with The Textile Institute », Cambridge, Angleterre (2005)
- [3].C. Meirhaeghe « Evaluation de la disponibilité et de l'accessibilité de fibres végétales à usages matériaux en France » ;84p (2011).
- [4].H. Demir, U. Atikler, D. Balköse, F. Tihminlioglu «The effect of fiber surface treatments on the tensile and water sorption properties of polypropylene–luffa fiber composites» *Composite:applied science and manufacturing* , A37, pp447-456(2006).
- [5].6. V.A. Alvarez, A. Vázquez, Influence of fiber chemical modification procedure on the mechanical properties and water absorption of MaterBi-Y/sisal fiber composites, *Compos. Part Appl. Sci. Manuf.* 37, 1672 (2006). DOI: 10.1016/j.compositesa.2005.10.005
- [6].https://fr.wikipedia.org/wiki/liste_de_proprietes-d%27un_materiau
- [7].C. Baley « Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites» *Techniques de l'Ingénieur. Ref. AM. 5 130* ,17p .(2013)
- [8].V.C. Farmer, *the Infrared spectra of Minerals. Monograph 4, Mineralogical Society, London, editor, 1974.*
- [9].S. Guggenheim, R.T. Martin, *Clay's, clay. Miner*, 43 , 255, 1995.
- [10].A. Fina, H.C.L. Abbenhuis, «Polymer Degradation and Stability », 91, 1064-1070, 2006.
- [11].N.W. Thomas, « The Physics of selecting ball clays », *Ceramic Forum International/ Ber. DKG*, 85, 29-40, 2008.
- [12].G.W. Brindley, G. Brown, « Crystal structures of Clay Minerals and Their Identification *Mineralogical Society Monograph NO.5. Mineralogical Society, Londo* », 1980.
- [13].A. Guinier, «Théorie et technique de la radiocristallographie». Dunned, Paris, 1964.
- [14].Van Olphen H. -. *Introduction to clay colloid chemistry. Wiley and Sons, New York, 1977, 2nd ed.*
- [15].Pascal Gossart .2001 « Contribution à l'étude des interactions de la matière organique des sols avec les métaux lourds. Etude structurale et analytique de molécules modèles, thèse doctorat, université des Sciences et Technologies de Lille, ».



Chapitre III: Resultats et discussion

Partie 01:

Resulta et discussion argile brute

Partie01: Résultats et discussion (argile brute)**III.1.Caractérisation physico-chimique d'argiles brute :**

Le tableau (III.1) montre les Paramètres physiques et chimiques liées aux échantillons d'argile. nous remarquons que:

- Les valeurs de pH des argiles rouge, verte, jaune et bentonite,(7.11 ,7.74 ,7.47, 8.65) respectivement, sont basiques [1].

Cela peut être dû à des sels solubles et basiques tels que Carbonates, bicarbonates ou silicates alcalins, qui entrent généralement dans la composition de l'argile.

- Les valeurs d'humidité des argiles 3.02 , 1.48, 1.38, 7.76 (rouge, verte, jaune et bentonite) sont respectivement faibles, ce qui explique le caractère non hygroscopique.
- L'indice de gonflement des échantillons d'argiles 2.7, 3.11, 1.55, 2.45 (rouge, verte, jaune et bentonite, respectivement) est légèrement gonflé.

Paramètres	A.R	A.V	A.J	Bntonite
PH	7.11	7.74	7.47	8.65
Taux d'humidité H (%)	3.02	1.48	1.38	7.76
Indicede gonflement Ig(%)	2.7	3.11	1.55	2.45

Le tableau.III.1. Paramètres physico-chimiques de l'échantillon argileux .

Les résultats à faible humidité des échantillons d'argile nous montrent que les échantillons ne sont pas humides et que leur valeur de porosité est faible.[2]

Limite d'Atterberg :

Cet essai destiné à la détermination les limites d'Atterberg (limite de liquidité à la coupelle et limite de plasticité du rouleau)

Les valeurs de plasticité W_p des échantillons d'argile (rouge, verte, jaune et bentonite), respectivement, à:17.38,18.55, 25.09, 66.56.

Les valeurs de l'indice de plasticité I_p des échantillons d'argiles (jaune, verte et rouge) sont égale à : 8.47, 6.3 et 6.26 et 22.79 respectivement selon la classification d'Attarberg donnée dans le **tableau(III.2)**.

échantillons	Limite de liquidité W_L (%)	limite de plasticité W_P (%)	Indice de plasticité I_P (%)
A.R	25.85	17.38	8.47
A.V	24.85	18.55	6.3
A.J	31.35	25.09	6.26
bentonite	89.35	66.56	22.79

Le tableau.III.2.Valeurs des limites d'Atterberg.

I_P (%)	<7	de 7 à 17	>17
Plasticité	Faible	Moyenne	Elevée

Tableau .III.3. Classification de l'argile selon Atterberg.[3]

Dans le Tableau Classification de l'argile selon Atterberg On peut conclure le Type d'argile en fonction de l'indice de plasticité I_p :

$1 < I_p < 7$	Sable argileux
$7 < I_p < 17$	Argile sableuse
$17 < I_p$	Argile

Tableau .III.4.Type d'argile en fonction de l'indice de plasticité I_p

On peut conclure que l'argile (verte et jaune) à une faible plasticité donc **Sable argileux** et que l'argile rouge a une moyenne plasticité donc **Argile sableuse** et que bentonite a une élevée plasticité donc est **Argile**.[3]

les courbes (III.1),(III.2) et (III.3) .(III.4) Suivant Donner les valeurs de limite liquidité W_L , respectivement, à : 25.85, 24.85, 31.35, 89,35.

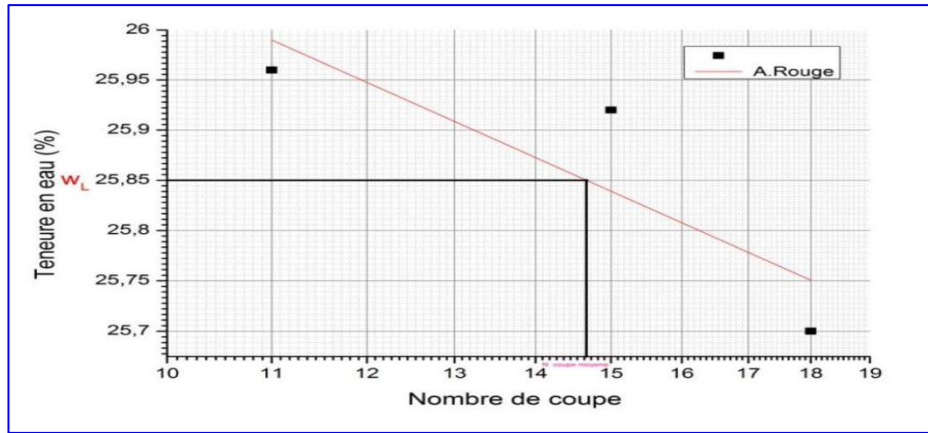


Figure.III.1. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile rouge

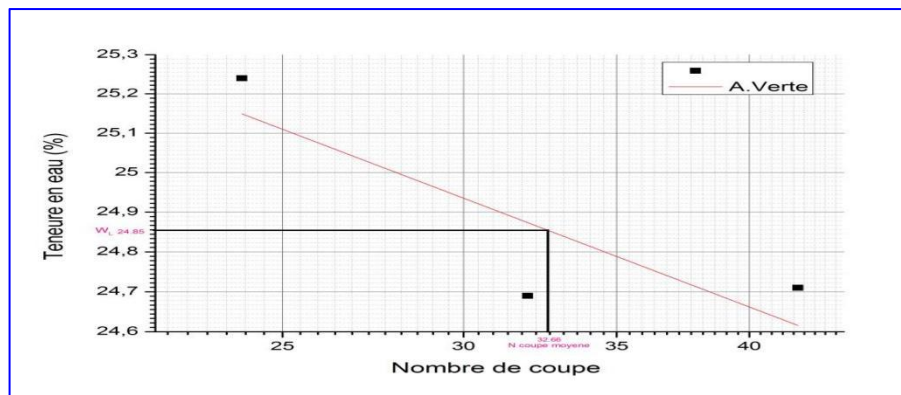


Figure.III.2. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile verte.

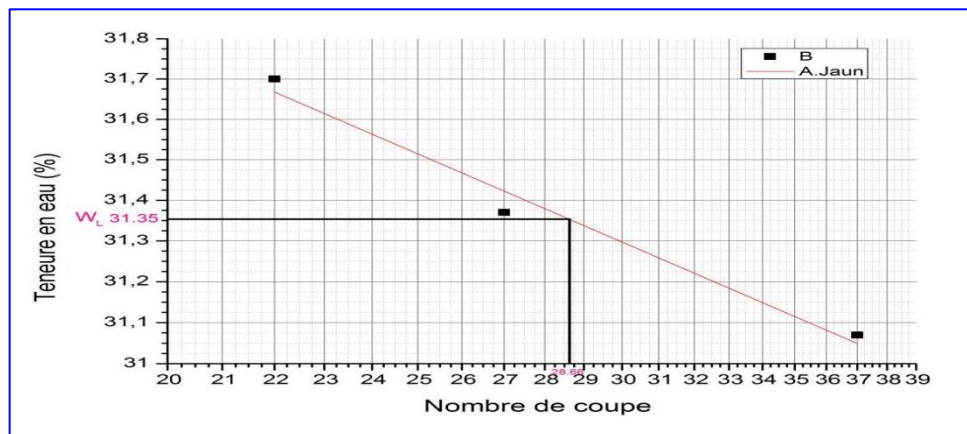


Figure.III.3. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile jaune.

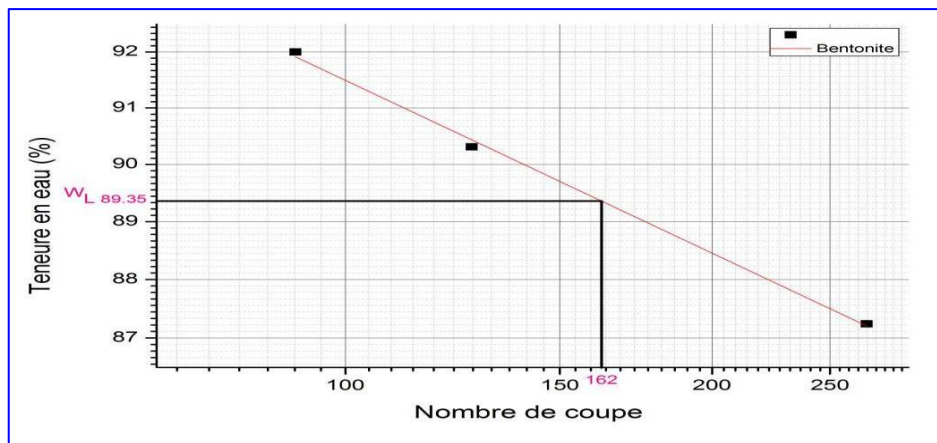


Figure.III.4.Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité De bentonite

(Seed et al 1962) ont proposé une méthode d'estimation du taux de gonflement sur des sols compactés en se référant à la teneur en argile du sol et à l'indice de plasticité.

Peut être relié à l'indice de plasticité I_p du sol par l'expression suivante:

$$I_g = 21.6 \cdot 10^{-5} (I_p)^{2.44}$$

I_p	I_g	Potentiel de gonflement
0 - 10	0 - 1.5	Faible
10 - 20	1.5 - 5	Moyen
20 - 35	5 - 25	Elevé
> 35	> 25	Très élevé

Tableau .III.5.Relation entre le gonflement et l'indice de plasticité (seed et al. 1962).

Dakshanarnurthy et Raman (1973) se sont aussi inspirés du diagramme de plasticité proposé par Casagrande (1948) pour fournir une classification du niveau de gonflement. est divisé en 6 zones le long de l'axe comme suit:

Limite de liquidité w_L	Classification
0 - 20	Non gonflant
20 - 35	Gonflement faible
35 - 50	Gonflement moyen
50 - 70	Gonflement élevé
70 - 90	Gonflement très élevé
> 90	Gonflement critique

Tableau .III.6.Classification proposée par dakshanamurthv et Raman (1973).

- On peut conclure que l'argile (verte et rouge) et jaune a partire de Tableau .IV.6 est Classifies Gonflement faible et le bentonite est Classifies Gonflement très élevé.

La granulométrie :

Les résultats obtenus de la granulométrie pour les échantillons destypes d'argile (jaune, rouge et verte), sont mentionnés dans **Tableau .(III.7).(III.8).(III.9)**

D (µm)	5000	2500	1250	630	315	160	80	Fondu
Tamisat(%)	79	55.2	37.2	20	8.1	5.3	2.5	0.1
R.Cummulé(%)	21.5	44.8	62.8	79.3	91.9	94.7	97.5	99.9

Tableau. III.7. résultats granolometrique d'argile Rouge.

D (µm)	5000	2500	1250	630	315	160	80	Fondu
Tamisat(%)	84.7	68.1	52	31.9	16.1	7.1	1.7	0.3
R.Cummulé(%)	15.3	31.9	48	68.1	83.9	92.9	38.3	99.7

Tableau. III.8. résultats granolometrique d'argile vert.

D (µm)	5000	2500	1250	630	315	160	80	Fondu
Tamisat(%)	42	22	13.7	8.5	5	3.2	3.1	3.1
R.Cummulé(%)	58	78	86.3	91.5	95	96.8	96.9	96.9

Tableau. III.9. résultats granolometrique d'argile jaune.

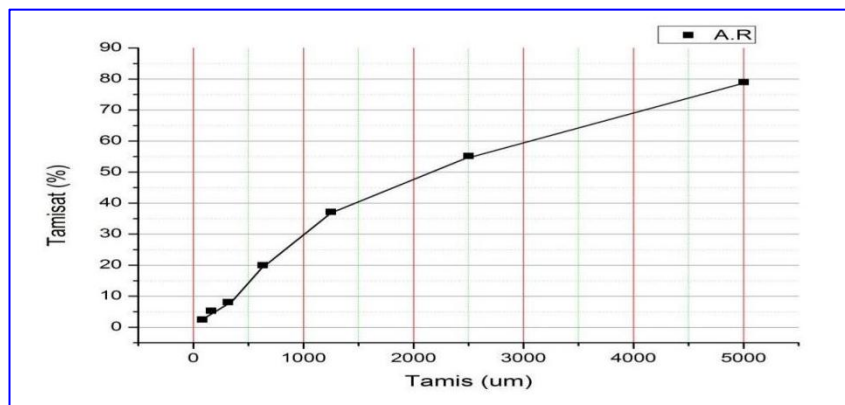


Figure.III.5.Diagramme Analyse granulométrique de l'argile rouge.

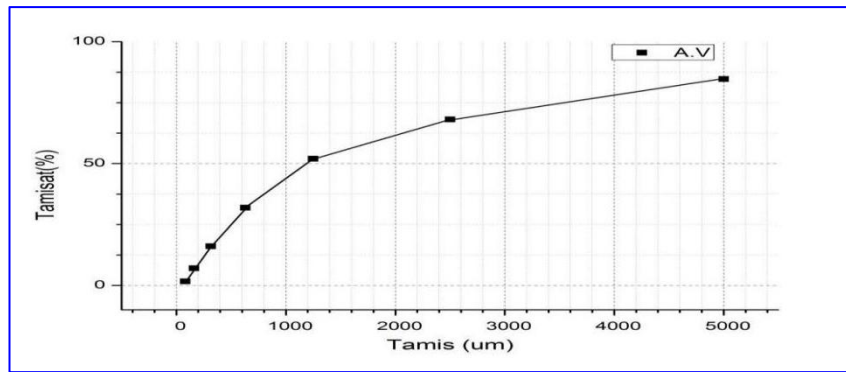


Figure.III.6.Diagramme Analyse granulométrique de l'argile vert.

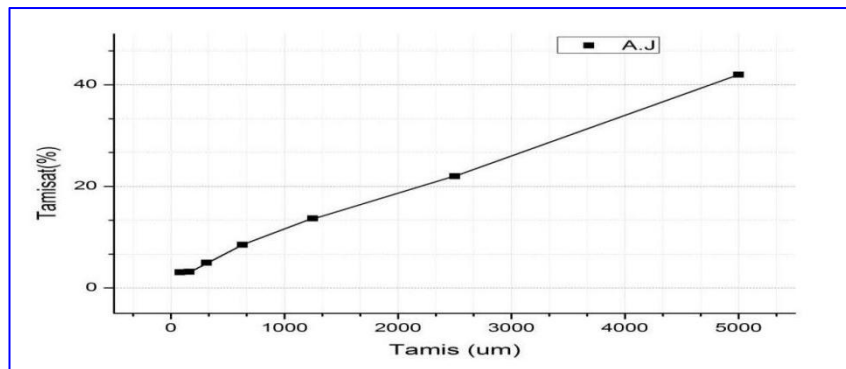


Figure.III.7.Diagramme Analyse granulométrique de l'argile Jaune.

Granulat	Argiles fines	Limons et argiles	Sable fins	Sable moyen	Sable grossier	Gravier fins
Diamètre (μm)	0-53	53-63	75-500	500-2000	2000-15000	15000-20000

Tableau III.10. Classification granulométrique ASTM.

A travers les résultats des tableaux et des graphes pour mesurer la granularité des trois échantillons d'argile, selon la classification ASTM. On Not :

- Les échantillons d'argile (rouge, vert, jaune) respectivement, dont le diamètre est de (80 μm, 160 μm, 315μm) sont du sable fin.
- Les échantillons d'argile (rouge, vert, jaune), respectivement, dont le diamètre est (630μm, 1250 μm) sont du sable moyen.

- Les échantillons d'argile (rouge, vert, jaune), respectivement, dont le diamètre est (2500 μm , 5000 μm) sont du sable grossier.

III.2. Analyse par spectroscopie infrarouge (FTIR) :

La spectroscopie infrarouge a été utilisée pour analyser les échantillons d'argile. Les spectres obtenus sont présentés sur les Figures.

L'argile rouge :

- La bande située dans l'intervalle 3200 – 3800 cm^{-1} , avec des pics à 3617.6 caractérisant la montmorillonite, correspond aux vibrations d'élongation des groupements OH de la couche octaédrique.
- Les bandes qui apparaissent approximativement vers 3430 cm^{-1} et 1643.2 cm^{-1} correspondent respectivement aux vibrations d'élongation et de déformation du groupement OH de l'eau adsorbé [4-5].
- Le pic d'absorptions 2923.2 cm^{-1} sont attribuées aux –C-H des groupements méthyles.
- Les spectres infrarouge à la vibration d'élongation de groupe Si-O-Si de la kaolinite ou de quartz à 1025 cm^{-1} . [4]
- Les bandes de carbonate caractéristiques autour de 870 cm^{-1} , 2361,6 cm^{-1} et 2516,8 cm^{-1} ont été détectées.[3].
- Les bandes caractéristiques des vibrations de déformation de la liaison Si-O du quartz située à 470.4 cm^{-1} , 518.4 cm^{-1} . [6,7]

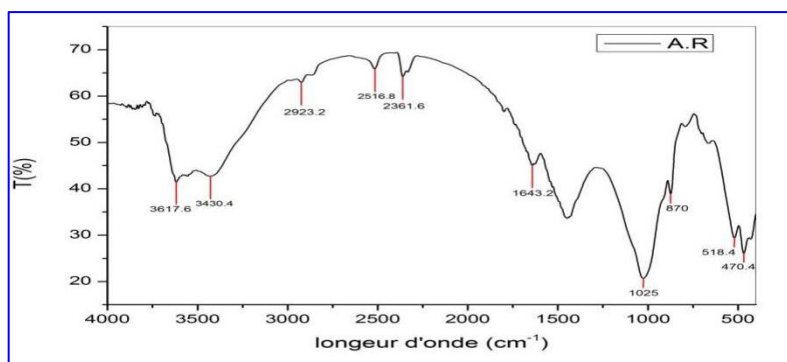


Figure.III.8.Spectre Infrarouge de l'argile rouge.

L'argile Verte :

- Les bandes d'adsorption apparaissant dans la région de 3200 à 3700 cm^{-1} correspondent aux vibrations des groupements hydroxyles OH structuraux caractéristiques du kaolin [4]. situés à 3624 cm^{-1} , 3430 cm^{-1} .
- Le pic situés à 2873.6, 2924.8 et 2984 cm^{-1} vibration d'élongation des liaisons C-H de la chaîne aliphatique.[3]
- Les spectres infrarouge à la vibration d'élongation de groupe Si-O-Si de la kaolinite ou de quartz à 1025 cm^{-1} . [4]
- Les pics qui s'étalent entre 1790-1815 cm^{-1} situés à 1798.4 cm^{-1} correspondent aux vibrations de élongation des groupements C=O .
- Les bandes de carbonate caractéristiques autour de 870 cm^{-1} et ont été détectées.[3].
- Les bandes situées entre (1400 et 1500 cm^{-1}) sont attribuées aux vibrations de déformation des groupes CH_3 qui se trouve à 1430 cm^{-1} .
- Les bandes caractéristiques des vibrations de déformation de la liaison Si-O du quartz située à 796 cm^{-1} , 710 cm^{-1} et 470 cm^{-1} . [6,7]

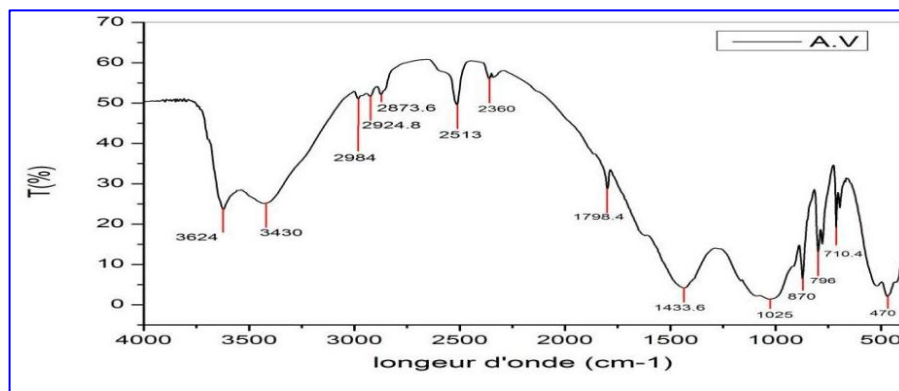


Figure.III.9.Spectre Infrarouge de l'argile verte.

L'argile Jaune :

- Les pics qui s'étalent entre 3200 à 3700 cm^{-1} , correspondent aux vibrations des groupements hydroxyles OH structuraux caractéristiques du kaolin [4]. Situés à 3420.8 cm^{-1} , 3620.8 cm^{-1} et 3697.6 cm^{-1} .
- Le pic situés à 2875.2 , 2924.8 et 2984 cm^{-1} vibration d'élongation des liaisons C-H de la chaîne aliphatique.[3]

- Les pics qui s'étalent entre 1790-1815 cm^{-1} situés à 1798.4 cm^{-1} correspondent aux vibrations de éléngation des groupements C=O .
- Les bandes de carbonate caractéristiques autour de 872 cm^{-1} , et ont été détectées.[3].
- Les bandes situées entre (1400 et 1500 cm^{-1}) sont attribuées aux vibrations de déformation des groupes CH_3 qui se trouve à 1440 cm^{-1} .
- Les bandes caractéristiques des vibrations de déformation de la liaison Si-O du quartz située à 470.4 cm^{-1} , 712 cm^{-1} , et 798.4 cm^{-1} [6,7].

Les spectres infrarouge à la vibration d'éléngation de groupe Si-O-Si de la kaolinite ou de quartz à 1025 cm^{-1} . [4]

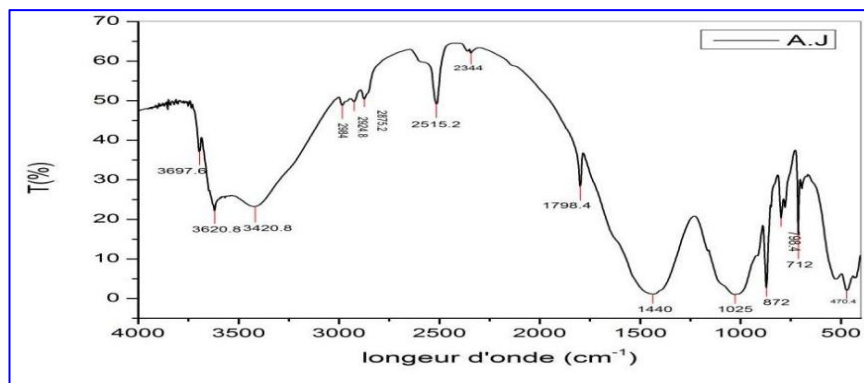


Figure.III.10.Spectre Infrarouge de l'argile Jaune.

Bentonite :

- Les pics qui s'étalent entre 3200 à 3700 cm^{-1} , correspondent aux vibrations des groupements hydroxyles OH structuraux caractéristiques du kaolin [4]. Situés à 3430 cm^{-1} et 3627.5 cm^{-1} .
- Le pic qui s'étale entre 1600-1700 cm^{-1} peut être attribuée aux vibrations de valence du groupement OH de l'eau de constitution, en plus des vibrations de liaison de l'eau (H_2O) adsorbée situées à 1645 cm^{-1}
- Les spectres infrarouge à la vibration d'éléngation de groupe Si-O-Si de la kaolinite ou de quartz à 1025 cm^{-1} . [4]
- Les bandes caractéristiques des vibrations de déformation de la liaison Si-O du quartz située à 518 cm^{-1} et 794 cm^{-1} [6,7].

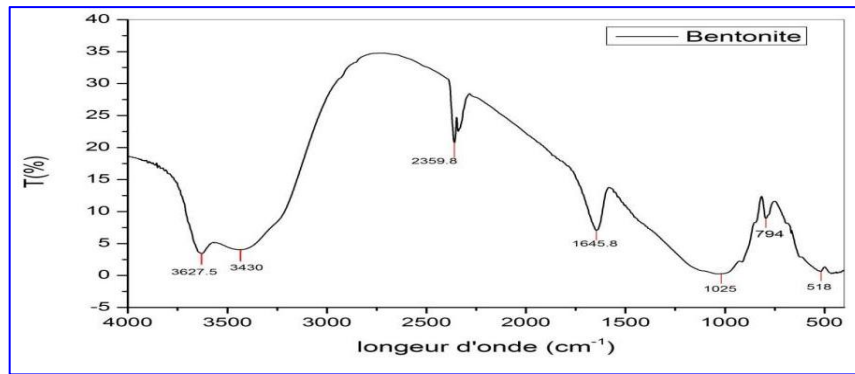


Figure.III.11.Spectre Infrarouge de Bentonite

III.1.3 Analyse thermogravimétrique (ATG) :

La stabilité thermique des argiles a été suivie par analyse thermogravimétrique ATG qui permet de suivre la perte de masse de l'échantillon en fonction de la température.

Les figures représente Courbes de poids thermique des l'argiles .

L'argile rouge :

- Une perte de masse de 3,63 % a été observée pour un intervalle de température de 30 °C à 200 °C. Elle correspond à la perte d'eau d'humidité.
- Dans l'intervalle de température de 200°C à 700°C une perte de masse de 3.46 % a été détectée. Elle est attribuée à l'eau adsorbée et à l'eau inter foliaire.
- se manifeste dans le domaine de 300°C à 500°C, correspondant à une déshydroxylation irréversible de la kaolinite [8,9].
- perte de masse de 2.05 % a été observée entre 700°C à 800°C.
- La perte totale de masse dans l'intervalle exploré est estimée à 9.14 %

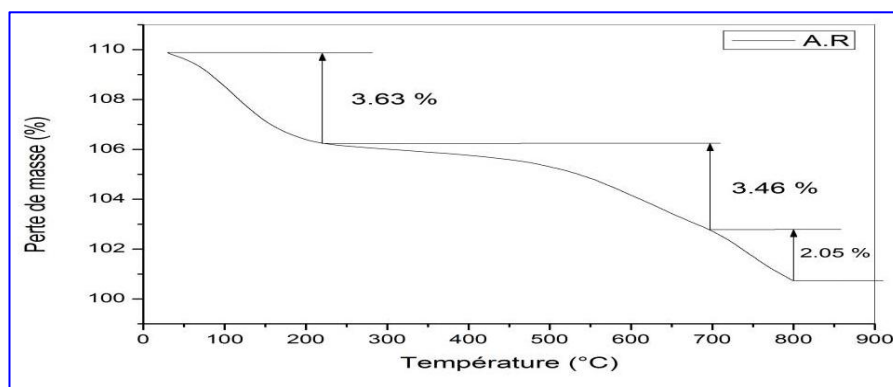


Figure.III.12.Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile rouge

L'argile verte :

La courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile verte est présentée sur la **Figure.III.13**. Elle exhibe un comportement similaire que celui observé pour l'argile verte.

- La première perte de masse relative à l'eau d'humidité est de l'ordre de 4,92 %.
- La deuxième perte de masse de 4,98 % a été observée dans l'intervalle de température de 250°C à 700 °C. Elle est attribuée au départ de l'eau adsorbée et de l'eau interfoliaire.
- La perte de poids se manifeste dans l'intervalle de température de 300 à 500°C correspond à une déshydroxylation de la kaolinite.
- Enfin on relève aussi une perte de poids de 2,23% à partir de 700°C en accord avec la déshydroxylation de l'illite.
- La perte totale est environ 12.13 %. Le comportement thermique de l'argile jaune est donc similaire à celui de l'argile rouge.

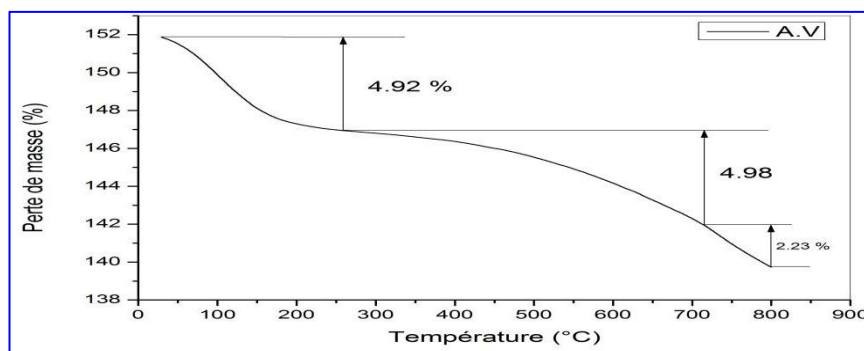


Figure.III.13.Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile verte

L'argile Jaune :

La courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile Jaune est présentée sur la **Figure.III.14**.

- A de température de 30°C à 200°C, on observe une perte de masse de 0,44 %. Elle correspond à la perte d'eau adsorbée et de l'eau inter foliaire.
- deuxième perte de masse de 0,64% apparaît dans le domaine de 200 à 500°C elle est attribuée à la déshydroxylation de la kaolinite.

- troisième perte de masse de 1.94% se manifeste dans l'intervalle de température de 500°C à 700°C.
- le quatrième perte de masse de 2.54% a été observée entre 700°C et 800°C. Elle correspond à la déshydroxylation de l'illite [10] qui est le minéral majoritaire de cette argile.
- La perte totale en masse dans l'intervalle exploré est estimée à 5.56 %

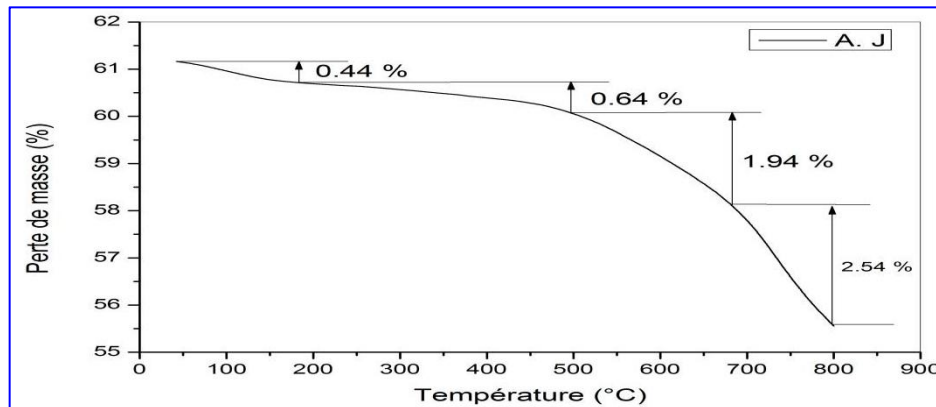


Figure.III.14.Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile Jaune

Bentonite :

- le perte de masse de 8.73% a été observée entre 30°C à 200°C, Elle correspond à la perte d'eau adsorbée et de l'eau inter foliaire.
- perte de masse est de 2.05 % a été observée entre 200 °C à 650 °C, elle est attribuée à la déshydroxylation de la kaolinite.
- une perte de masse estimée à 1.86 % a été observée entre 650 °C à 800°C.Elle correspond à la décomposition et de la dolomite [11,12].
- La perte totale en masse dans l'intervalle exploré est estimée à 12.64 % .

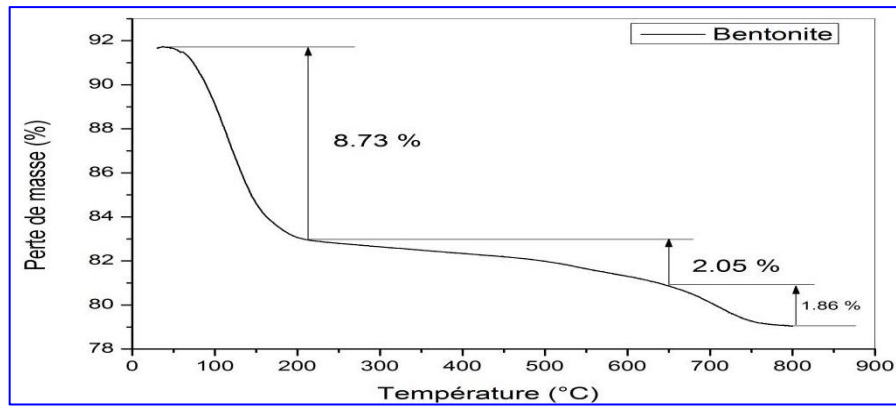


Figure.III.15.Courbe d'analyse thermogravimétrique de bentonite

Références:

- [1]. M. Edahbi, M. Khaddor, F. Salmoun, J. Mater. Environ. Sci. 5(S1), 2135 (2014)
- [2]. P. Rollet, R. Bouaziz « L'analyse thermique _ les changements de phase » édition Gautier-Villard, Tome 1, Paris(1972).
- [3]. Norme française NF P 94-051 Détermination des limites d'Atterberg : limite de liquidité à la coupelle, limite de plasticité au rouleau, 16 p(1993).
- [4]. Farmer: The infrared spectra of minerals. London Mineralogical Society,, 1974.
- [5]. Bellamy LJ: The ir spectra of complex molecules. Hall, London 1975
- [6]. Van der Marel HW, Beutelspacher H: Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. Elsevier Publishing Company., 1976.
- [7]. Boulingui JE, Nkoumbou C, Njoya D, Thomas F, Yvon J: Characterization of clays from mezafé and mengono (ne-libreville, gabon) for potential uses in fired products. Applied Clay Science 2015;115:132-144.
- [8]. Arab PB, Araújo TP, Pejon OJ: Identification of clay minerals in mixtures subjected to differential thermal and thermogravimetry analyses and methylene blue adsorption tests. Applied Clay Science 2015;114:133-140.
- [9]. Ptáček P, Kubátová D, Havlica J, Brandštetr J, Šoukal F, Opravil T: Isothermalkinetic analysis of the thermal decomposition of kaolinite: The thermogravimetric study. Thermochemica Acta 2010;501:24-29.
- [10]. AKÇAY G, Yurdakoc MK: Nonyl-and dodecylamines intercalated bentonite and illite from turkey. Turkish Journal of Chemistry 1999;23:105-114.
- [11]. McIntosh RM, Sharp JH, Wilburn FW: The thermal decomposition of dolomite. Thermochemica Acta 1990;165:281-296.
- [12]. Xie J, Chen T, Xing B, Liu H, Xie Q, Li H, Wu Y: The thermochemical activity of dolomite occurred in dolomite-palygorskite. Applied Clay Science 2016;119, Part 1:42-48.



Chapitre III: Resulta et discussion

Partie 02:

Resulta et discussion argiles

Modifiée

Partie02 : Resulta et discussion(argile Modifiée)**III.2.1.Caractérisation physico-chimique d'argiles Modifie:**

Le **tableau (III.11)** montre les Paramètres physiques et chimiques liées aux échantillons d'argile modifie. nous remarquons que:

- Les valeurs de pH des argiles rouge, verte, jaune et bentonite,(6.86 ,8.21 ,9.43, 8.48) respectivement, sont basiques[1],sauf valeurs de pH argiles rouge est neutr.

Cela peut être dû à des sels solubles et basiques tels queCarbonates, bicarbonates ou silicates alcalins, qui entrent généralement dans la composition de l'argile.

- Les valeurs d'humidité des argiles 1.51 , 0.74, 0.69, 3.88 (rouge, verte, jaune et bentonite) sont respectivement est faibles, ce qui explique le caractère non hygroscopique.

L'indice de gonflement des échantillons d'argiles 1.87, 2.13, 1.01, 2.21 (rouge, verte, jaune et bentonite, respectivement) est légèrement gonflé.

Paramètres	A.R	A.V	A.J	Bntonite
PH	6.86	8.21	9.43	8.48
Taux d'humidité H (%)	1.51	0.74	0.69	3.88
Indicede gonflement Ig(%)	1.87	2.13	1.01	2.21

Le tableau.III.11. Paramètres physico-chimiques de l'échantillon argileux Modifiée .

Les résultats à faible humidité des échantillons d'argile nous montrent que les échantillons ne sont pas humides et que leur valeur de porosité est faible.[2]

A travers les résultats obtenus pour les taux d'humidité des échantillons d'argile naturelle (rouge, vert et jaune) dans l'ordre, comparés aux résultats des taux d'humidité de l'argile modifiée (rouge, vert et jaune) dans l'ordre, on remarque que les niveaux d'humidité de l'argile modifiée ont légèrement diminué.

Quant au taux d'humidité de la bentonite traitée, le taux d'humidité de l'argile naturelle est inférieur.

Limite d'Atterberg :

- Cet essai destiné à la détermination des limites d'Atterberg d'argile modifiée (limite de liquidité à la coupelle et limite de plasticité du rouleau)
- Les valeurs de plasticité W_p des échantillons d'argile (rouge, verte, jaune), respectivement, à : 14.5, 15.02, 16.13,
- Les valeurs de l'indice de plasticité I_p des échantillons d'argiles (jaune, verte et rouge) sont égales à : 11.98, 7.9, 6.73 respectivement selon la classification d'Atterberg donnée dans le **tableau(III.12)**.
- **les courbes (III.1),(III.2) et (III.3) .(III.4)** Donner les valeurs de limite liquidité W_L , respectivement, à : 25.85, 24.85, 31.35, 89,35.

échantillons	Limite de liquidité W_L (%)	limite de plasticité W_p (%)	Indice de plasticité I_p (%)
A.R	26.48	14.5	11.98
A.V	22.92	15.02	7.9
A.J	22.86	16.13	6.73
bentonite	92.18	85	7.18

Le **tableau.III.12**. Valeurs des limites d'Atterberg.

IP (%)	<7	de 7 à 17	>17
Plasticité	Faible	Moyenne	Elevée

Tableau .III.13. Classification de l'argile selon Atterberg.[3]

Dans le Tableau Classification de l'argile selon Atterberg On peut conclure le Type d'argile en fonction de l'indice de plasticité I_p :

$1 < I_p < 7$	Sable argileux
$7 < I_p < 17$	Argile sableuse
$17 < I_p$	Argile

Tableau .III.14. Type d'argile en fonction de l'indice de plasticité I_p

On peut conclure que l'argile (verte) à une faible plasticité donc **Sable argileux** et que l'argile (rouge, jaune et bentonite) a une moyenne plasticité donc **Argile sableuse**. [3]

les courbes (III.20),(III.21) et (III.22) .(III.23) Suivant donner les valeurs de limite liquidité W_L , respectivement, à : 25.85, 24.85, 31.35, 89,35.

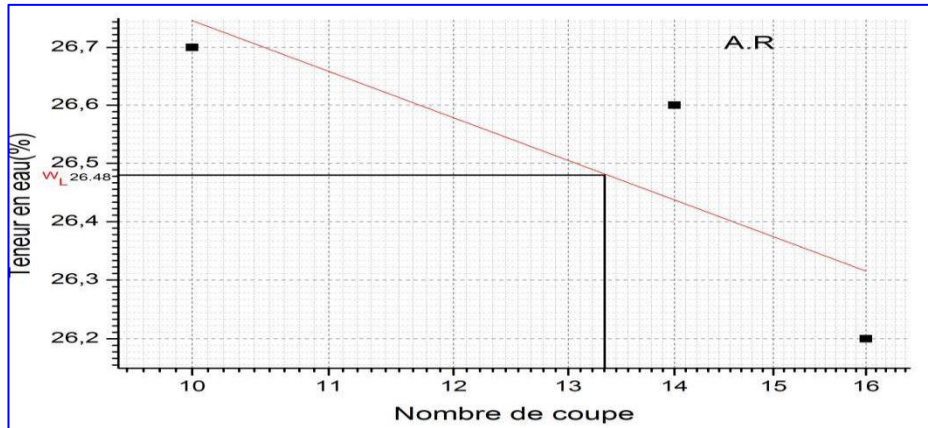


Figure.III.16. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile rouge

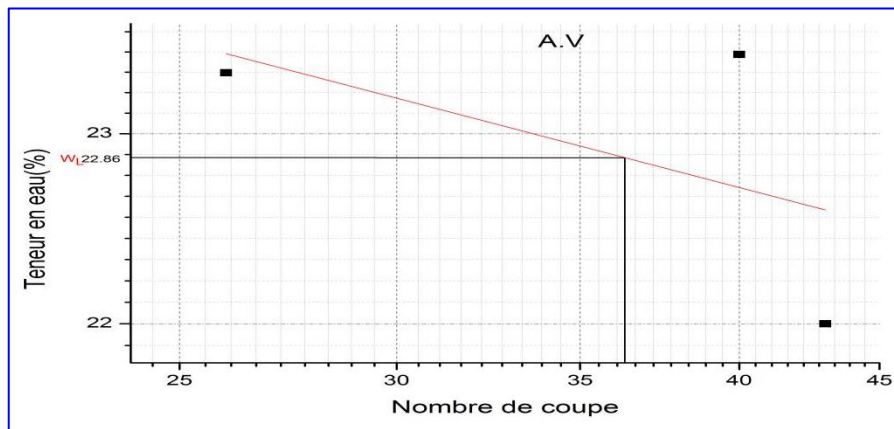


Figure.III.17. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile vert Modifiée.

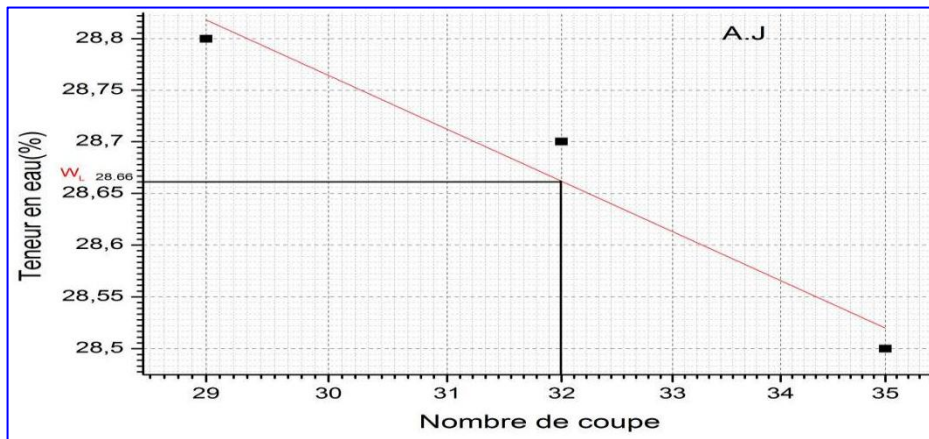


Figure.III.18. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile Jaune Modifiée.

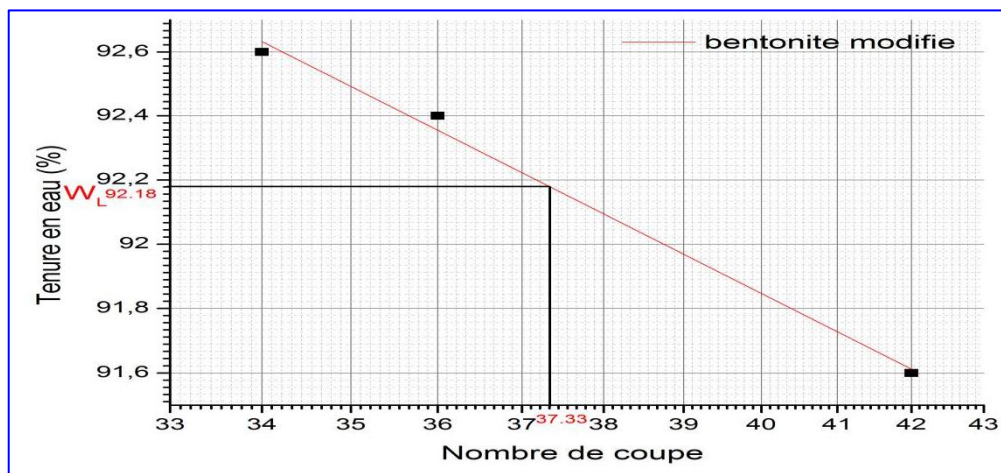


Figure.III.19. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité bentonite Modifiée.

- A a partir le Tableau de Classification proposée par dakshanamurthv et Raman (1973) On peut conclure que l'argile (rouge,verte et jaune) est Classifies Gonflement faible.

III.2. Analyse par spectroscopie infrarouge (FTIR) :

L'argile rouge Modifiée. :

- La bande située dans l'intervalle $3200 - 3800 \text{ cm}^{-1}$, avec des pics à $3615,5$, caractérisant la montmorillonite, correspond aux vibrations d'élongation des groupements OH de la couche octaédrique.

- Les bandes qui apparaissent approximativement vers 3430 cm^{-1} correspondent aux vibrations d'élongation et de déformation du groupement OH de l'eau adsorbé [4-5].
- Le pic d'absorptions 2925 cm^{-1} sont attribuée aux -C-H des groupements méthyles.
- Les spectres infrarouge à la vibration d'élongation de groupe Si-O-Si de la kaolinite ou de quartz à 1024 cm^{-1} . [4]
- Les bandes de carbonate et de valence de la liaison CO de CaCO_3 caractéristiques autour de 871 cm^{-1} , 1440 cm^{-1} et $2515,6\text{ cm}^{-1}$ ont été détectées. [5-6]
- Les bandes caractéristiques des vibrations de déformation de la liaison Si-O du quartz située à 470 cm^{-1} , $711,4\text{ cm}^{-1}$. [7,8]
- spectres infrarouge à la vibration d'élongation entre $1790\text{-}1815\text{ cm}^{-1}$, situe à $1798,6\text{ cm}^{-1}$ pour la liaison C=O Chlorure d'acide.

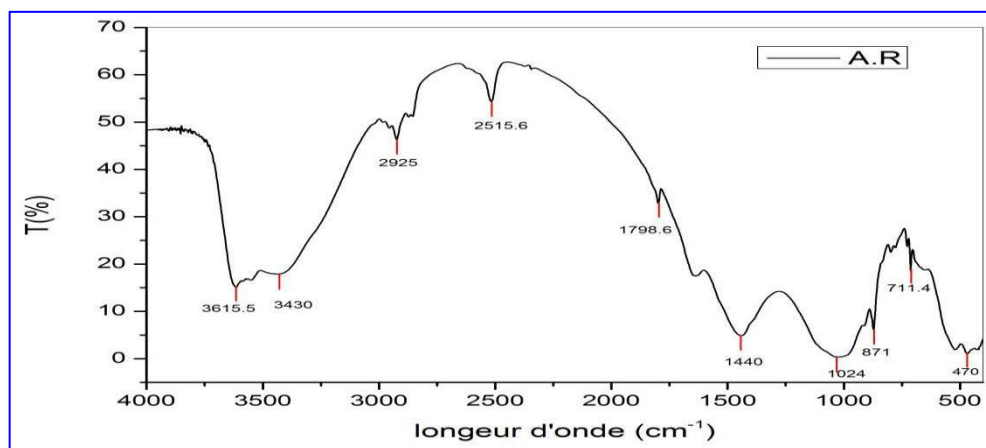


Figure.III.20. Spectre Infrarouge de l'argile rouge Modifiée.

L'argile Verte Modifiée. :

- Les pics qui s'étalent entre 3200 à 3700 cm^{-1} , correspondent aux vibrations des groupements hydroxyles OH structuraux caractéristiques du kaolin [4], situés à $3424,5\text{ cm}^{-1}$, et $3485,3\text{ cm}^{-1}$.
- Les pics situés à $2875,2$ et $2982,8\text{ cm}^{-1}$ vibration d'élongation des liaisons C-H de la chaîne aliphatique. [5]
- Les bandes de carbonate et de valence de la liaison CO de CaCO_3 caractéristiques autour de 712 cm^{-1} , 797 cm^{-1} , 872 cm^{-1} et 2514 cm^{-1} ont été détectées. [5-6]

- Le pic qui s'étale entre 1600-1700 cm^{-1} peut être attribuée aux vibrations de valence du groupement OH de l'eau de constitution, en plus des vibrations de liaison de l'eau (H_2O) adsorbée situées à 1645 cm^{-1}
- Le pic situé à 1800 cm^{-1} vibration d'élongation de liaison C=O anhydride.

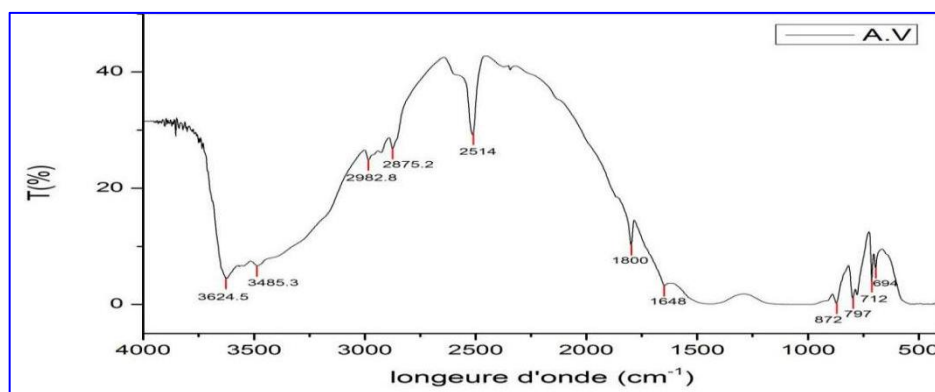


Figure.III.21. Spectre Infrarouge de l'argile vert Modifiée.

L'argile Jaune Modifiée :

- La bande située dans l'intervalle 3200 – 3800 cm^{-1} , avec des pics à 3696.8 caractérisant la montmorillonite, correspond aux vibrations d'élongation des groupements OH de la couche octaédrique.
- Les bandes qui apparaissent approximativement vers 3430 cm^{-1} correspondent respectivement aux vibrations d'élongation et de déformation du groupement OH de l'eau adsorbé [4-5].
- Les pics situés à 2874.4 et 2980 cm^{-1} vibration d'élongation des liaisons C-H de la chaîne aliphatique. [5]
- Les bandes de carbonate et de valence de la liaison CO de CaCO_3 caractéristiques autour de 711.4 cm^{-1} , 798.7 cm^{-1} , 870 cm^{-1} , 1440.5 et 2515 cm^{-1} ont été détectées. [5-6]
- Le pic situé à 1800 cm^{-1} vibration d'élongation de liaison C=O anhydride.
- Les spectres infrarouge à la vibration d'élongation de groupe Si-O-Si de la kaolinite ou de quartz à 1036 cm^{-1} . [4]

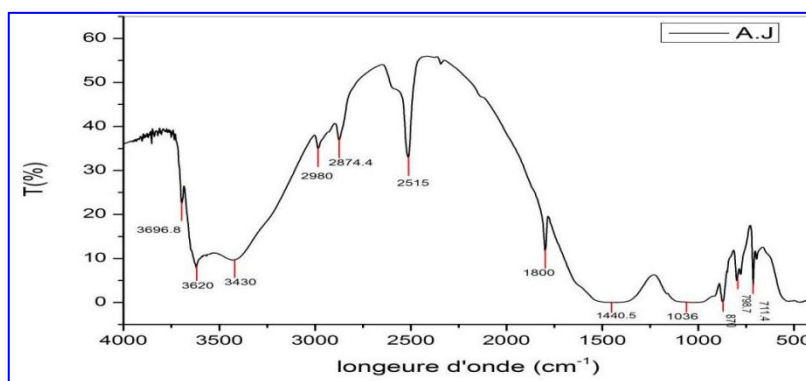


Figure.III.22.Spectre Infrarouge de l'argile Jaune Modifiée.

Bentonite Modifiée :

- Les pics qui s'étalent entre 3200 à 3700 cm^{-1} , correspondent aux vibrations des groupements hydroxyles OH structuraux caractéristiques du kaolin [4]. Situés à 3632cm^{-1} , et 3453.7 cm^{-1} .
- Le pic qui s'étale entre 1600-1700 cm^{-1} peut être attribuée aux vibrations de valence du groupement OH de l'eau de constitution, en plus des vibrations de liaison de l'eau (H_2O) adsorbée situées à 1647 cm^{-1}
- Les spectres infrarouge à la vibration d'élongation de groupe Si-O-Si de la kaolinite ou de quartz à 1030 cm^{-1} . [4]
- Les bandes caractéristiques des vibrations de déformation de la liaison Si-O du quartz située à 520 cm^{-1} et 794 cm^{-1} [7,8].

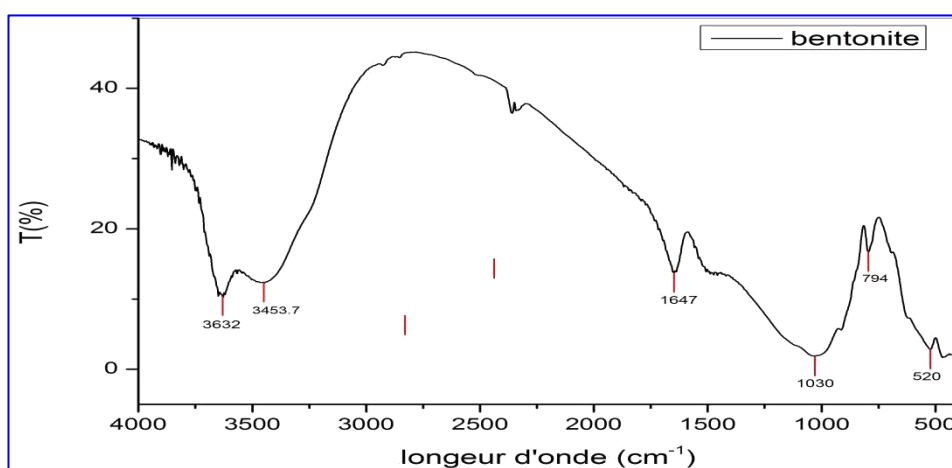


Figure.III.23.Spectre Infrarouge de Bentonite Modifiée

III.1.3 Analyse thermogravimétrique (ATG) :

L'argile rouge modifiée :

- Une perte de masse de 3,21 % a été observée pour un intervalle de température de 30 °C à 200 °C. Elle correspond à la perte d'eau d'humidité.
- Dans l'intervalle de température de 200°C à 550°C une perte de masse de 1.77 % a été détectée. Elle est attribuée à l'eau adsorbée et à l'eau inter foliaire.
- perte de masse de 5.7 % a été observée entre 550°C à 800°C.
- La perte totale de masse dans l'intervalle exploré est estimée à 10.68 %

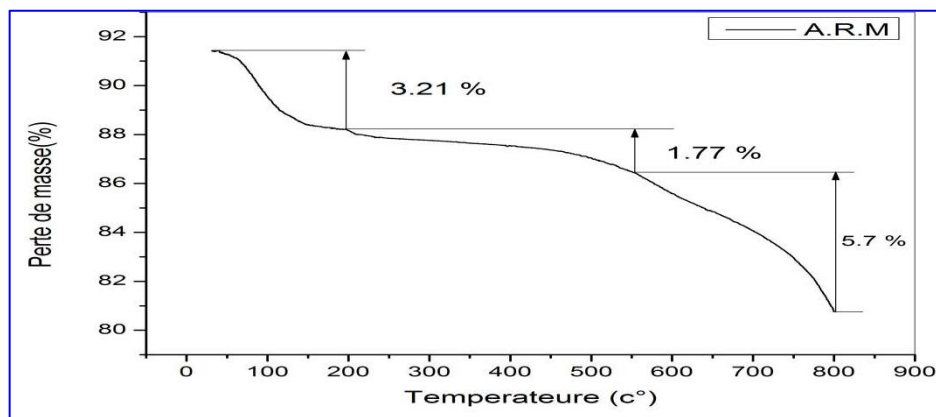


Figure.III.24.Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile rouge modifiée.

L'argile verte modifiée :

- Une perte de masse de 1.2 % a été observée pour un intervalle de température de 30 °C à 200 °C. Elle correspond à la perte d'eau d'humidité.
- deuxième perte de masse de 0.6% apparaît dans le domaine de 200 à 250°C.
- perte de masse de 1.44 % apparaît dans le domaine de 200 à 500°C elle est attribuée à la déshydroxylation de la kaolinite.
- perte de masse de 4.43 % apparaît dans le domaine de 500°C à 800 °C .
- La perte totale de masse dans l'intervalle exploré est estimée à 7.67 %

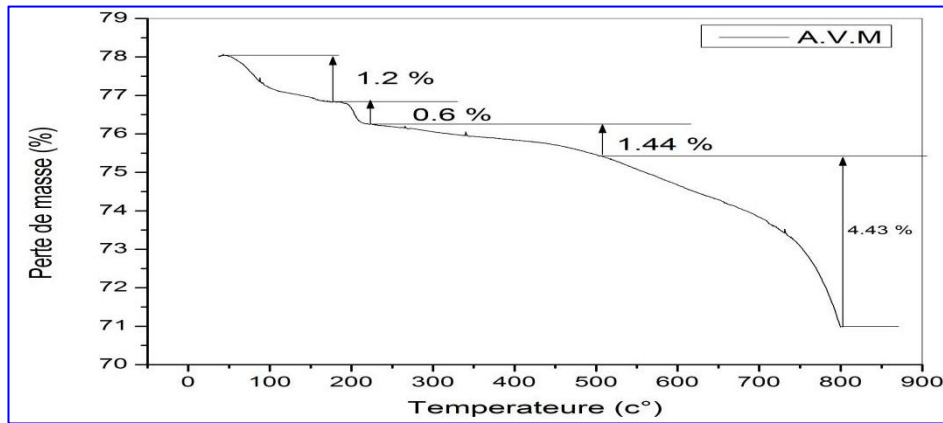


Figure.III.25.Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile verte modifiée.

L'argile Jaune modifiée :

- Une perte de masse de 1.38 % a été observée pour un intervalle de température de 30 °C à 200 °C. Elle correspond à la perte d'eau d'humidité.
- deuxième perte de masse de 0.36% apparaît dans le domaine de 250 à 450°C.
- Enfin on relève aussi une perte de poids de 5.53 % à partir de 450°C à 800°C en accord avec la déshydroxylation de l'illite.
- La perte totale de masse est environ 7.27 %

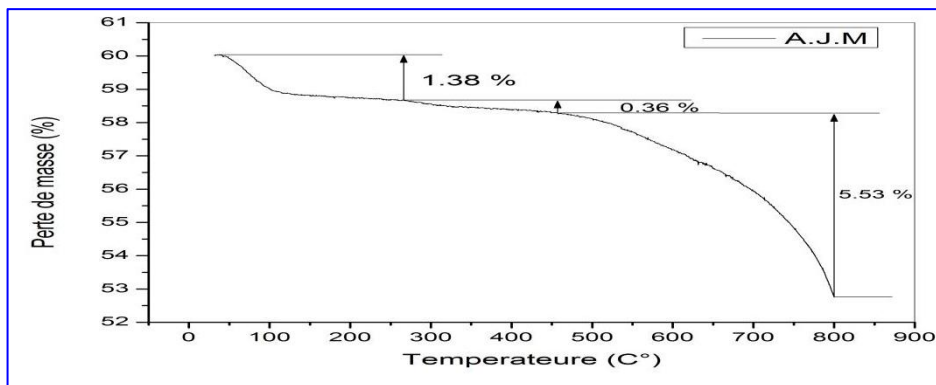


Figure.III.26.Courbe d'analyse thermogravimétrique de l'argile jaune modifiée.

Bentonite :

- Une perte demasse de 7.66 % à été observée pour un intervalle de température de 30 °C à 200 °C. Elle correspond à la perte d'eau d'humidité.
- perte de masse est de 2.05 % a été observée entre 200 °C à 650 °C, elle est attribuée à la déshydroxylation de la kaolinite.
- une perte de masse estimée à 1.86 % a été observée entre 650 °C à 800°C.Elle correspond à la décomposition et de la dolomite [11,12].

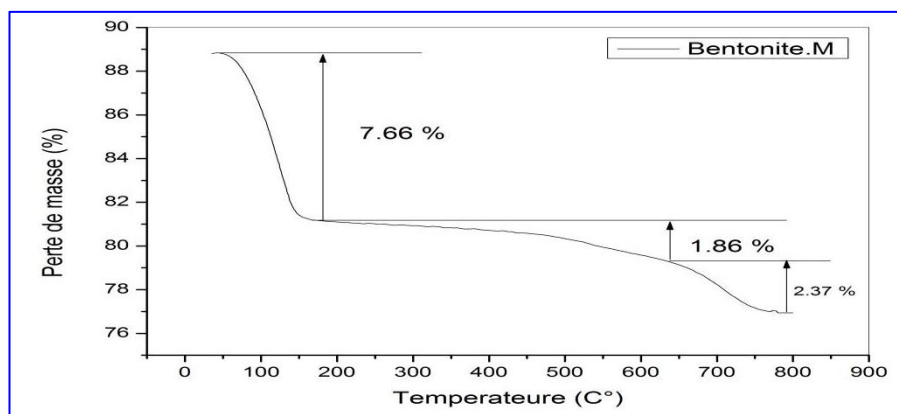
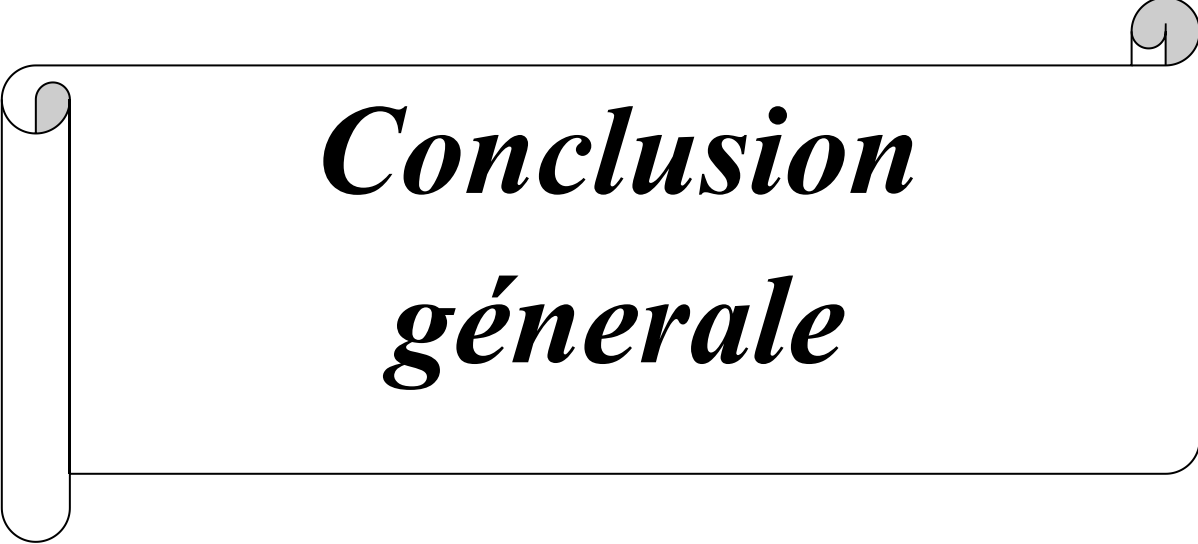


Figure.III.27.Courbe d'analyse thermogravimétrique de Bentonite modifiée.

Références:*Références Bibliographie*

- [1]. M. Edahbi, M. Khaddor, F. Salmoun, J. Mater. Environ. Sci. 5(S1), 2135 (2014)
- [2]. P. Rollet, R. Bouaziz« L'analyse thermique _ les changements de phase» édition Gautier-Villard, Tome 1, Paris(1972).
- [3].Norme française NF P 94-051 Détermination des limites d'Atterberg : limite de liquidité à la coupelle, limite de plasticité au rouleau, 16 p(1993).
- [4]. Farmer: The infrared spectra of minerals. London Mineralogical Society,, 1974.
- [5].Bellamy LJ: The ir spectra of complex molecules. Hall, London 1975
- [6]. A. Lahsini, J. Bentama, A. Addaou, M. Rafifiq, J. Chim. Phys. 95, 1001 (1998)
- [7].Van der Marel HW, Beutelspacher H: Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. Elsevier Publishing Company., 1976.
- [8]. Boulingui JE, Nkoumbou C, Njoya D, Thomas F, Yvon J: Characterization of clays from mezafe and mengono (ne-libreville, gabon) for potential uses in fired products. Applied Clay Science 2015;115:132-144

A decorative graphic of a scroll with a black outline and a light gray shadow. The scroll is unrolled in the middle, with the top and bottom edges curled up. The text is centered within the unrolled portion.

***Conclusion
générale***

Conclusion générale

Le présent de travaille à pour objectif de l'analyse et capacitation des échantillons reposent sur l'utilisation des analyses qualitative et quantitative et technique de caractérisation telles que **FTIR ,ATG**, des argiles de la région de soboula et le bentonite de maghnia.

L'objectif de ce travail était la caractérisation physico-chimique et composition minéralogique de quelques argiles naturelles et modifiée .

Il nous a permis de tirer des conclusions sur les propriétés physico-chimiques de quelques argiles naturelles et sodique.

Quatre échantillons argileux prélevé argile jaune, argile rouge, argile vert ont été échantillonnées dans la région de soboula et bentonite de maghnia .

L'indice de gonflement des échantillons d'argiles brute (rouge, verte, jaune et bentonite) est légèrement gonflé.

L'argile brute (verte et jaune) à une faible plasticité donc **Sable argileux** et que l'argile rouge a une moyenne plasticité donc **Argile sableuse** et que bentenite a une élevée plasticité donc est **Argile**.

l'argile modifiée (verte) à une faible plasticité donc **Sable argileux** et que l'argile modifiée (rouge , jaune et bentonite) a une moyenne plasticité donc **Argile sableuse**.

l'argile brute (verte et rouge) et jaune est Classifies faible Gonflement et le bentonite est Classifies Gonflement très élevé.

Les échantillons d'argile brute (rouge, vert, jaune) respectivement, dont le diamètre est de (80 μm , 160 μm , 315 μm) sont du sable fin.

Les échantillons d'argile brute (rouge, vert, jaune), respectivement, dont le diamètre est (630 μm , 1250 μm) sont du sablemoyen.

Les échantillons d'argile brute (rouge, vert, jaune), respectivement, dont le diamètre est (2500 μm , 5000 μm) sont du sablegrossier.

Les résultats à faible humidité des échantillons d'argile nous montrent que les échantillons ne sont pas humides et que leur valeur de porosité est faible.

L'étude structurale de ces argiles par la spectroscopie infrarouge a révélé une cohérence avec les résultats révélés par les analyses . La présence de la kaolinite et le quartz a été bien confirmée.

Quant au taux d'humidité de la bentonite traitée, le taux d'humidité de l'argile naturelle est inférieur.

D'après les résultats obtenus on peut dire l'argile verte est plus proche que bentonite de maghnia.