

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



DOMAINE: SCIENCE DE LA MATIERE
FILIERE : CHIMIE
OPTION : CHIMIE DES MATERIAUX

N ° -

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:

NOUIOUA Khaoùla

BELAADA Hanane

DAHMOUNE Karima

Intitulé

Elaboration et Caractérisation
d'un Matériau Inorganique
(destiné à la Préparation des
Matériaux Composites)

Soutenu devant le jury composé de:

DAGHFEL NADIR	Université de M'sila	Président
BENYAHIA AZZEDINE	Université de M'sila	Rapporteur
RAHMOUNI Zine El Abidine	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2020 /2021

Remerciements

Tout d'abord louange et merci à Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé, et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'études afin que nous puissions arriver là.

Je tiens à exprimer mes profondes gratitude et reconnaissance à tous ceux qui ont collaborés de près ou de loin à l'achèvement de ce modeste travail
notamment :

Dr : BENYAHIA Azzedine pour avoir accepté et diriger ce travail tout au long de sa réalisation, pour ces interventions précieuses et les conseils *qu'il a* bien voulu consacrer à ce mémoire.

Mr : RAHMOUNI Zin El Abidin *et l'équipe du service du laboratoire de* génie civil « Faculté Science et Technologie » pour nous avoir ouvert ses portes

Tout le service du laboratoire du département de Chimie notamment Mdm BENHAMOUDA et Mdm LAADJAL pour nous avoir aidé dans notre travail

Nous tenons à remercier tout particulièrement Mr : DJEGHABA Mounir :
« *Manager Environnement Industrie, Lafarge Ciment de M'Sila* » pour nous avoir aidé tout le long de notre étude expérimentale

Doivent être également remerciées, avec une même intensité, toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

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 plus particulièrement :

Ma famille avec ma profonde gratitude et grand amour,

Mes très chers *parents*, pour lesquels j'exprime ma sincère reconnaissance pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de mes études même dans les moments difficiles, ils ont toujours été présents lorsque j'ai eu besoin d'eux, que dieu les protège, je leur serai éternellement reconnaissant,

Mes très chers frères : *AbdElhak*, *Nabil*, *Mohamed*, Mes très chères sœurs : *Chaïma*, et *Amina* et son mari *Mustafa* et sa fille *Sidra*

Sans oublier mes très chers amies *Naziha* et *Latifa*.

Et à tous ceux que j'ai oubliés Et à tous ceux que j'aime.

Nouioua khaoula

DEDICACES

Grâce à mon Dieu « Sbhanou » que je suis arrivée à ce point, mon Dieu qui *m'a aidé à accomplir cette humble et modeste recherche, ainsi de m'avoir fait naître de ce beau et cher pays « l'Algérie ».*

Je dédie ce modeste travail à :

- Tous qui *m'ont aidé de loin ou de près pour réaliser mon travail, merci pour votre soutien surtout moral.*
- Mon père, *qui reste toujours dans mon cœur, à son pure âme qui m'accompagne jour et nuit, son absence m'a offert que la force et la responsabilité.*
- Ma mère, à qui tous les mots et les expressions ne peuvent pas *exprimer mon amour, tu es la source de la tendresse, l'affection et la patience.*
- Mes frères ; Lakhder, Toufik et Housseem et leurs femmes
- *Mes sœurs ; Fatiha, Fouzia, Affef, ainsi leurs conjoints que je considère également comme mes frères.*
- Mes anges ; mes neveux et nièces sans citer les noms.
- Toute ma famille et mes amis pour leur soutien et leurs encouragements.

Tous qui m'ont encouragé et resté à mes côtés durant tout le long de mon cursus scolaire.

BELAADA Hanane

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail, fruit de mes années d'étude à la recherche scientifique en espérant qu'il apporte ne serait-es qu'un petit plus à la science.

A mes chers parents qui m'ont tant soutenue et encouragée, puisse Dieu me les protéger et me les garder

A mes frères Rédha et Ali et mes *sœurs* Hadjira, Malika, Ouafia,
Salima, Mahdia, et à mon fiancé Idris

A toutes mes amies

A toute la promotion 2ème année Master chimie des matériaux
2020-2021

A tous ceux dont j'ai oublié de mentionner les noms.

DAHMOUNE Karima

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralité sur les Matériaux	3
Introduction	3
I.1.La Science des Matériaux	3
I.1.1. Propriétés des Matériaux	3
I.1.2. La Structure des Matériaux	5
I.1.3. Types des Matériaux	5
I.1.4. Classification des Matériaux	6
I.1.4.1.Les grandes classes des matériaux.....	6
I.1.4.2.Les principales propriétés des grandes classes des matériaux	6
I.1.4.3.Liaison des matériaux.....	8
I.2. Les matériaux organiques	9
I.2.1.Monomères	9
I.2.2.Les Polymères	10
I.2.2.1. La formation des polymères	10
I.2.3.Structure transformation structurales des matériaux organique	12
I.2.4.Différence de structure et comportement permettent de définir trois grandes classes des matériaux	13
1. Polymères thermoplastiques	13
2. Polymères thermodurcissables	13
3.Elastomères	13
I.2.5. Propriétés générales des matériaux organiques	13
I.2.6.Les principaux polymères	14
1. Les principaux polymères thermoplastiques	14
2.Les principaux polymères thermodurcissables	14
3. Les principaux polymères élastomères	14
I.3.Matériaux inorganiques	15
I.3.1.Les caractéristiques des matériaux inorganiques	15
I.3.2.Structure des composés inorganiques	16
I.3.3. Les Céramiques	16
A. Les Céramiques traditionnelles	16
B. Céramique techniques et cermets	16
I.3.4.Autres matériaux inorganique (minéraux)	17
I.3.5 .Utilisation de matériaux inorganique	18

I.4. Biomatériaux :	18
I.4.1.Impact des biomatériaux	19
I.4.2. Les différents	19
I.4.3. Classement des Biomatériaux	20
I.4.4. Propriétés mécaniques des biomatériaux	20
I.4.5. Propriétés physico-chimiques	22
I.4.6.Utilisations des Biomatériaux	23
Chapitre II : Les Matériau composites	
Introduction	25
II.1.Définitions des matériaux composites	25
II.2.Types des matériaux composites	26
II.2.1. Les composites de grande diffusion (GD)	26
II.2.2 Les composites de hautes performances(HP)	26
II.3.Classification des matériaux composites	27
II.3.1. Classification suivant la nature des constituants	27
II.3.2. Classification suivant la forme des constituants	28
II.4.La matrice	28
II.4.1. Définition	28
II.4.2. Classification de la matrice	28
II.5.Le renfort	29
II.5.1. Définition	29
II.5.2. Classification du renfort	29
II.6.Structure des matériaux composites	30
II.6.1. Les monocouches	30
II.6.2. Les sandwiches	31
II.6.3. Les stratifiées	31
II.7.Les matériaux de construction	32
II.7.1.Définition	32
II.7.2.classification des matériaux de construction	32
CHAPITRE III: GENERALITES SUR LES ARGILES	
INTRODUCTION	34
III.1.Définitions des argiles	34
III.2.Structure	34
III.2.1.les couches tétraédriques (T)	34
III.2.2.les couches octaédriques (O)	35
III.3.Les types des minéraux argileux	35

III.3.1. Les minéraux de type 1:1 (ou T-O).....	35
III.3.2. Les minéraux de type 2:1 (ou T-O-T).....	35
III.3.3. Les minéraux de type 2:1:1 (ou T-O-T-O)	36
III.4. Classification des constitutions argileux	36
a. Kaolinite.....	36
b. Montmorillonite	37
c. Illite	38
d. Chlorite	38
III.5. Propriétés physicochimiques des argiles	39
Chapitre IV : Partie pratique	
IV.1. Partie01 : Principe, outil et appareillage	
Introduction.....	42
IV.1.1. Préparation de l'échantillon argileux	42
IV.1.2. Classification selon la couleur	42
IV.1.3. Méthodes de caractérisation.....	44
IV.1.3.1. Méthode de la diffraction par les rayons X.....	44
IV.1.3.2. Méthode de la fluorescence	45
IV.1.3.3. Infrarouge	45
IV.1.3.4. Perte au feu PEF	46
IV.1.4. Caractérisations physico-chimiques du matériau	48
IV.1.4.1. Détermination du pH	48
IV.1.4.2. Taux d'humidité	49
IV.1.4.3. Densité	49
IV.1.4.4. Indice de gonflement	50
IV.1.4.5. Colloïdalité	51
IV.1.4.6. Limite d'Atterberg.....	51
IV.1.4.7. La granulométrie.....	53
IV.2. Partie02: Résultats et discussion	54
IV.2.1. Analyse minéralogique DRX.....	54
IV.2.2. Analyse des compositions chimiques par fluorescence X	56
IV.2.3. Infrarouge	57
IV.2.3. Caractérisations physico-chimiques du matériau	60
IV.2.4. Limite d'Atterberg.....	61
IV.2.5. La granulométrie.....	63
Conclusion	64

Liste des abréviations

GD	Les composites de grande diffusion
HP	Les composites de hautes performances
MC	des matériaux composites
AR	Argile Rouge
AV	Argile verte
AJ	Argile jaune
CT	les couches tétraédriques
CO	Les couches octaédriques
AIPEA	Association Internationale pour L'étude de l'argile
CEC	Capacité d'échange cationique
CS	Charge des surfaces argileuses
SS	Surface spécifique des argiles
H(%)	Taux d'humidité
I g	Indice de gonflement
Co(%)	Colloïdalité
D	Densité
WI	
WP	
DRX	Diffraction des rayons X
IR	Infrarouge
FX	Fluorescence X
m eau	masse d'eau (g)
ms	masse de l'échantillon sec (g)
mt	masse de l'échantillon humide (g)
LCM	laboratoire de l'usine Ciments

Liste de tableaux

Tableau I.1. Tableau liste de propriétésun matériau	4
Tableau I.2. Représente les groupes et la liaison et la formule chimique de certains Composés	9
Tableau I.3. Autres matériaux inorganique (minéraux)	18
Tableau III.1. Classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs Espèces	36
Tableau IV.1. Analyses chimiques DRX des argiles.....	54
Tableau IV.2. Composition chimique élémentaire de l'échantillon argileux	56
Tableau IV.3. Paramètres physico-chimiques de l'échantillon argileux	61
Tableau IV.4. Valeurs des limites d'Atterberg.....	61
Tableau IV.5. Classification de l'argile selon Atterberg.....	61
Tableau IV.6. Les analyses chimiques et tamis 5mm des échantillons	63

Liste des Figures

Figure.1. Interaction présidant à la réalisation d'un matériau	3
Figure.2. Représenter la structure des matériaux.....	5
Figure.3. Représenter les grandes classes de matériaux.....	6
Figure.4. Représenter- Les principales les propriétés des matériaux organiques	7
Figure.5. Représenter - Les principales les propriétés des matériaux inorganiques	7
Figure.6. Liaison des matériaux	8
Figure.7. Une coupe des polymères et leur forme.....	10
Figure.8. Exemple de polyaddition : la polymérisation du polyéthylène à partir de monomères d'éthylène	11
Figure.9. Exemple de polytion : la polymérisation du polyester à partir de monomère d'éthylène glycol $C_2H_4(OH)_2$ et d'acide adipique $C_6H_8(OOH_2)$ avec formation d'eau	11

Figure.10. Représente la structure de matériau d'organique.....	12
Figure.11. Exemple de réticulation de macromolécules d'un élastomère :vulcanisation du poly isoprène (caoutchouc naturel) par des atomes de soufre.....	15
Figure.12. Biomatériaux dans un corps humain	19
Figure.13. contrainte-déformation.....	21
Figure.14. Composition d'un matériau composite	25
Figure.15. différents types de matrices.....	29
Figure.16. Différents types des renforts.....	30
Figure.17. Composite monocouche.....	31
Figure.18. Composite sandwich	31
Figure.19. Composite stratifiée.....	32
Figure.20. Représentation a(d'un tétraèdre et d'une couche tétraédrique et b) d'un octaèdre et d'une couche octaédrique.....	35
Figure.21. Représentation schématique des structures en feuillets des argiles.....	36
Figure.22. Structure d'un feuillet kaolinite	37
Figure.23. Représentation schématique de la structure d'une montmorillonite.....	38
Figure.24. Structure d'un feuillet illite.....	38
Figure.25. Représentation schématique de la structure de chlorite	39
Figure.26. L'argile verte.....	43
Figure.27. L'argile rouge	43.
Figure.28. L'argile jaune	44
Figure.29. Illustration de la loi de Bragg	44
Figure.30. Appareil d'analyse Diffraction Rayon X (DRX)	45
Figure.31. Appareil d'analyse fluorescente X (FX)	45
Figure.32. Appareil d'analyse d'infrarouge.....	46
Figure.33. pastillage.....	46
Figure.34. Perleuse Vulcan FLUXANA	47

Figure.35. Calcinateur de marque CARBOLITE	47
Figure.36. Appareil d'analyse Diffractométrie Rayon X (DRX) et l'appareil d'analyse fluorescence X (FX).....	47
Figure.37. Etapas des mesures de PH	48
Figure.38. Appareil d'analyse d'humidité	49
Figure.39. Pesant et Pycnomètre	50
Figure.40. Mesure L'indice de gonflement	51
Figure.41. Mesure la Colloïdalité	51
Figure.42. Matériel utilisé pour déterminer la limite d'Atterberg.....	52
Figure.43. Histogramme Des analyses minéralogique DRX de l'argile jaune	55
Figure.44. Histogramme Des analyses minéralogique DRX de l'argile verte	55
Figure.45. Histogramme Des analyses minéralogique DRX de l'argile rouge	56
Figure.46. Spectre Infrarouge de l'argile jaune	58
Figure.47. Spectre Infrarouge de l'argile verte	59
Figure.48. Spectre Infrarouge de l'argile rouge	60
Figure.49. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile jaune.	62
Figure.50. Diagrammepour la détermination de la limite de liquidité d'argileverte	62
Figure.51. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile rouge.....	63.

Résumé

Le domaine de construction en utilisant les matériaux organiques et inorganiques qui sont la base pour choisir avant d'entamer l'exploitation d'une carrière ou pour choisir un endroit pour une Unité de fabrication de ciment.

En effet, parmi les critères clés lors du choix d'une carrière c'est la qualité du calcaire en premier lieu et les autres matériaux principaux tels que l'argile.

Notre mémoire de fin d'étude est basé sur l'étude des caractéristiques de l'argile en termes de composants inorganiques vu leur importance dans la qualité de cette dernière puisque les composants organiques seront disparus durant le processus de fabrication du ciment soit dans les broyeurs soit dans le four.

Abstract:

The field of construction using organic and inorganic materials which are the basis for choosing a quarry, prior to start mining, or to choose a location for a Cement Manufacturing Unit.

One of the key criteria when choosing a quarry is the quality of the limestone in the first and the other main materials such as clay.

Our thesis is based on the study of the clay characteristics in terms of inorganic components considering their importance in the quality of the clay since the organic components will be disappeared while the cement manufacturing process either in the grinders either or the oven.

المخلص

إن مجال البناء باستخدام المواد العضوية وغير العضوية تعتبر هي الأساس عند الاختيار قبل البدء في استغلال المحاجر أو اختيار موقع لوحدة تصنيع الأسمنت.
من بين المعايير الرئيسية عند اختيار المحاجر نستند في بادئ الأمر إلى جودة الحجر الجيري والمواد الرئيسية الأخرى مثل الطين.
تهدف مذكرتنا إلى دراسة خصائص الطين من حيث المكونات غير العضوية بالنظر إلى أهميتها في جودة الطين حيث ستحتفي المكونات العضوية أثناء عملية تصنيع الأسمنت إما في آليات التكسر أو في الفرن.

Introduction Générale

Introduction générale :

Plusieurs types des matériaux existant dans la nature déferée selon leur nature y avait celles qui sont de type organiques ou inorganiques ou celles qui sont différées selon les âges en plus les différences de leurs caractéristiques physico-chimiques ou d'autres paramètres.

Dans les âges de l'histoire humaine, les matériaux ont été utilisés dans plusieurs domaines dans la vie quotidienne, par le temps et vu le développement technologique l'exploitation de ces matériaux devenus plus développés, plus résistants, plus durables...etc. selon le domaine d'exploitation et selon les besoins spécifique de chaque domaine d'application. Soit dans l'industrie, d'automobile, santé, aéronautique, énergie et d'autres domaines.

Les matériaux en général se trouvent dans la nature sous plusieurs formes selon les matières et les milieux entrant dans leur composition

On dit des matériaux de construction toutes les matières entrant dans la fabrication et la construction des structures soit immeubles, bâtiments ...etc.

Dans notre projet on a focalisé sur l'un de ces matériaux c'est l'argile qui entrent dans l'exploitation des plusieurs domaines (industrie du céramique, ciment et d'autres domaine on a choisir le domaine de fabrication du ciment vu l'importance de l'argile dans cette industrie pour avoir une qualité du ciment conforme aux exigences de qualité du ciment, selon leurs propriétés physico-chimiques et mécaniques.

Dans les gisements et nature on cite des nombreux types d'argile et en fonction de leur composition et de la métamorphose on cite des divers matières premières d'argile, dans la fabrication du ciment on concentre dans les composant inorganique de l'argile vu que les matières organique facilement disparu dans le procès de fabrication du ciment.

De notre cas on à pris trois échantillons avec des différentes couleurs telle que le rouge, qui est prise de la région de la commune d'Al-Ma'adid, à 35 km au nord est de m'sila, le jaune et le vert les deux échantillons prise de la région de Ouled tebbene de la wilaya de setif à 120 km à l'est de m'sila. En cherchent dans ce projet la faisabilité d'exploitation de ces trois échantillons dans le domaine de fabrication du ciment à travers des analyses de ces échantillons par des différentes méthode utiliser à ce type d'industrie d'analyse chimiques, minéralogiques, densité PH ...etc. Afin d'enrichir la base des données de ces régions par des recommandations sur de l'exploitation industrielle de leurs matières premières dans le domaine de fabrication du ciment et des matériaux de construction.

Chapitre I : *Généralité sur les Matériaux*

Introduction

Le mot "matériaux" qui désigne tous matériaux naturels ou synthétiques, utilisé par l'homme depuis très longtemps, dans toutes les régions du monde. Pour la fabrication ou la construction d'objets, ou la machine, ou de bâtiments, les matériaux se divisent en grandes catégories ; Y compris les métaux, les pierres, les bétons, la céramiques, le verre, la plastiques, et les matériaux composites naturels (bois, os ou synthétiques).

Parmi ces matériaux qui ont été utilisés pour la construction des maisons figurent les matériaux de construction, ces logements se sont développés avec le développement technologique, ou la construction en terre a été considérablement réduite en raison de la faible résistance mécanique et l'eau. À l'utilisation de matériaux moderne (ciment, chaux, bois ...etc.).

Le mode à encourage les matériaux à faible impact accessible à tous. [1]

La science des matériaux:

C'est une science qui se tient et se concentre sur la relation entre les propriétés et la formation structurale, et la mise en œuvre de ces formes pour former des choses autour de nous (minéraux _ polymères _ semi-conducteurs _ céramiques_ composites ...etc.). Il dépend également de l'étude des principales propriétés des matériaux, en plus de l'étude de leurs propriétés mécaniques, électriques, thermiques, optiques et magnétiques. Son efficacité est à l'étude dans performance (durabilité, cout) et procède d'élaboration. [2]

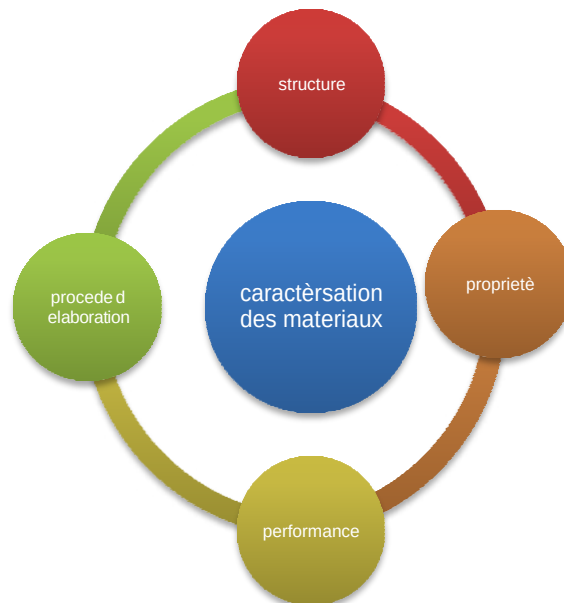


Figure.1. Interaction présidant à la réalisation d'un matériau.

Propriétés des matériaux:

Les propriétés d'usage des matériaux et les propriétés physiques-chimiques sont multiples et sont classées différemment en fonction des conditions telles que :

Chapitre I : Généralité sur les Matériaux

_ **Leur la composition chimique:** (la nature des espèces atomiques et des liaisons chimiques) présentes dans une substance.

_ **Leur microstructure :**(l'organisation de ses atomes constitutifs).

Tout cela est basé sur la densité, la masse volumique, la stabilité mécanique et thermique, la température, la fusion, L'élasticité ou la dureté, la fragilité ou la plasticité les propriétés magnétiques etc. [3]

Ces caractérisation seront définies et caractérisées plus détaillée dans le tableau suivant, qui montre les types et les propriétés de ces matériaux avec une explication détaillée.

Tableau I.1:liste de propriétés un matériau. [4]

Types	Les propriété s
Chimique	Résistance à l'oxydation à la corrosion Stabilité Réactivité diagramme d'équilibre énergie de surface potentiel hydrogéné(PH) tension superficielle
Physique	Masse volumique Masse atomique Conductivité électrique, thermique, ionique. Energie de surface Coefficients de dilatation thermique Point de fusion Chaleur massique Energie d'ionisation Ou Propriétés électrique Propriétés magnétique Propriétés optique Propriétés thermique
Mécanique	Déformation élastique Déformation plastique Duret, La fatigue, ou fluage Coefficient de poisson Résistance à la rupture Résistance fluage Résistance dynamique de point Comportement mécanique quasi statique
Electrique	Conductivité électrique Conductivité thermique Conductivité hydraulique Conductivité électrolytique Conductivité ionique Permittivité Puissance Thermoélectricité

A. Performances des matériaux :

L'efficacité des matériaux est une mesure de la concentration réelle dans le cycle de vie et a la capacité d'être contrôlée par des facteurs tels que

Reproductibilité, fiabilité, durabilité, efficacité, coût, absence de nocivité, capacité de recyclage ...etc. [5]

La structure des matériaux :

Structure d'un matériau correspond à la façon dont s'agencent ses éléments constitutifs.

Et ce sera sous la forme suivante: échelle atomique et échelle microscopique et échelle macroscopique. [6]

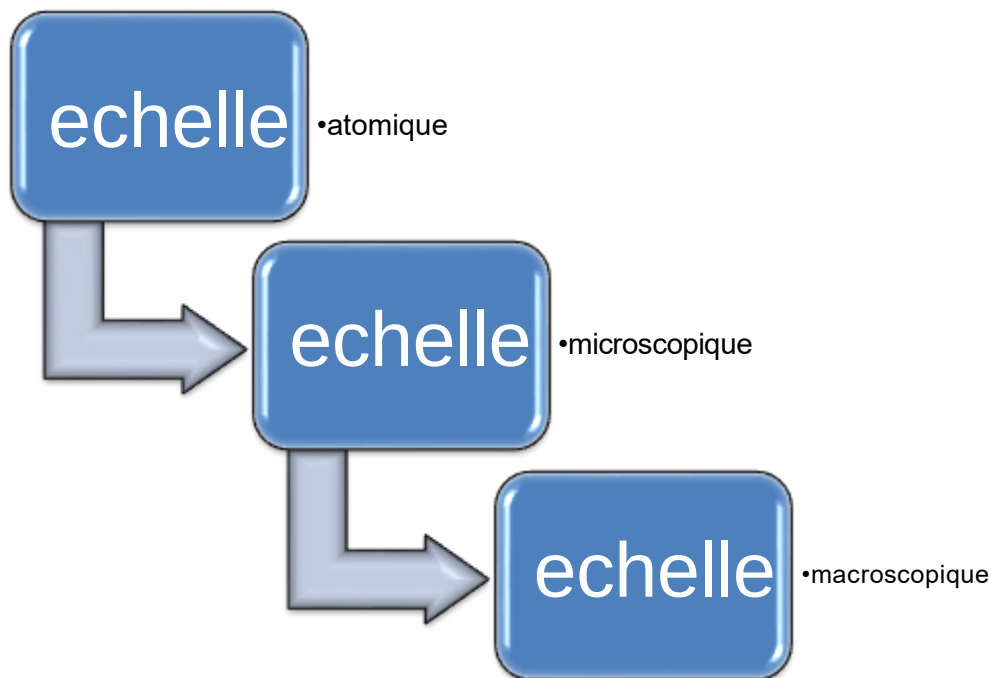


Figure.2 .Représenter la structure des matériaux.

Types des matériaux :

Il existe différents types de matériaux, chacun avec ses propres caractéristiques et propriétés mécanique, il existe sur le marché des milliers de matériaux. Lors de la fabrication de quelque chose de technique, il faut choisir celui qui répond le mieux à nos besoins, en fonction de ses différentes caractéristiques.

Il existe différents matériaux tels que :

- **Les minéraux:** qu'ils extraient de la terre (eau, saleté, sableetc.) ,les matières organique d'origine végétale (bois, coton, lin ...).
- **Produits bio:** d'origine animale (laine, viande, lait), il existe aussi des matières artificielles, on ne les trouve pas dans la nature, il fait donc un travail humain pour transformer des matières naturelles en nouvelles matières. [7]

Classification des matériaux :

Les grandes classes de matériaux:

De nombreuses propriétés physico-chimique et propriétés d'usages des matériaux sont étroitement liées à la nature des liaisons chimiques entre les atomes qui les constituent, c'est sur cette base qu'est établie la distinction entre les principales. [3]

Par conséquent, ces matériaux ont été divisés en grandes sections, selon leurs propriétés chimiques et leurs caractéristiques, en quatre sections: Métaux Alliages Métalliques (Fe , Al, Cu , acier) et Métaux composites et Métaux inorganique (Argile, céramique) et Métaux organique (polymères) Présenté en bas de l'image (**Figure I.3**).

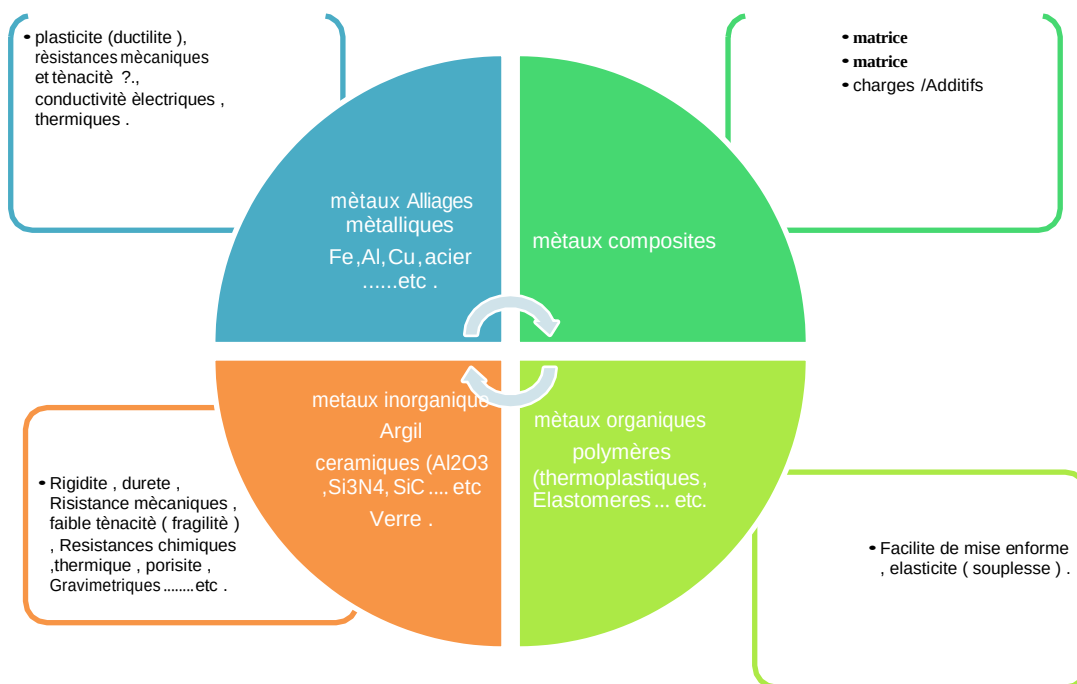


Figure 3 .Représenter la grandes classes de matériaux. [3]

Les principales propriétés des grandes classes des matériaux:

A. Matériaux organique :

- La courbe représente la propriété des matériaux organique par la valeur de propriété en fonction des propriétés on observe :

- ❖ la masse volumique et conductivité électrique et thermique et Rigidité élastique: il est très faible jusqu' à ce faible.
- ❖ Température de fusion et Rigidité plastique dureté : il est faible.
- ❖ Dilatation thermiques et Ductilité : est très élevés.
- ❖ Résistances à la propagation des fissures, ténacité: il est faible jusqu' à ce qu'il atteigne le moyenne.

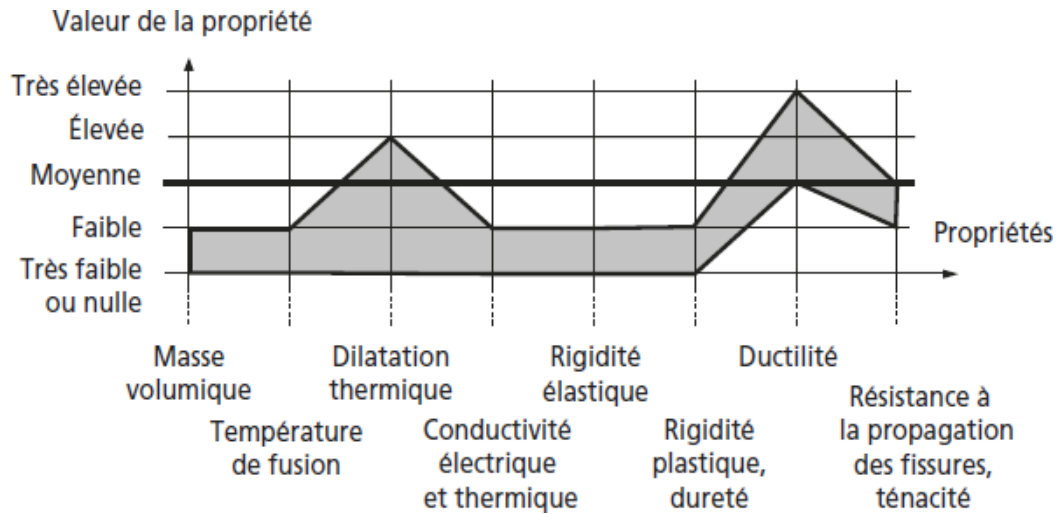


Figure.4 .Représenter - Les principales propriétés des matériaux organiques. [3]

B. Matériaux inorganique :

On trouve beaucoup des propriétés des matériaux inorganiques. Dans cette figure I.5 représente les principales des propriétés en fonction la valeur de la propriété, On remarque que :

- ❖ les propriétés : Masse volumique, Dilatation thermique, conductivité électrique et thermique, Ductilité, Résistances à la propagation des fissures sont des valeurs de très faible ou nulle à faible.
- ❖ La propriété : Température de fusion, Rigidité plastique dureté, Rigidité élastique à une valeur élevée à très élevée.

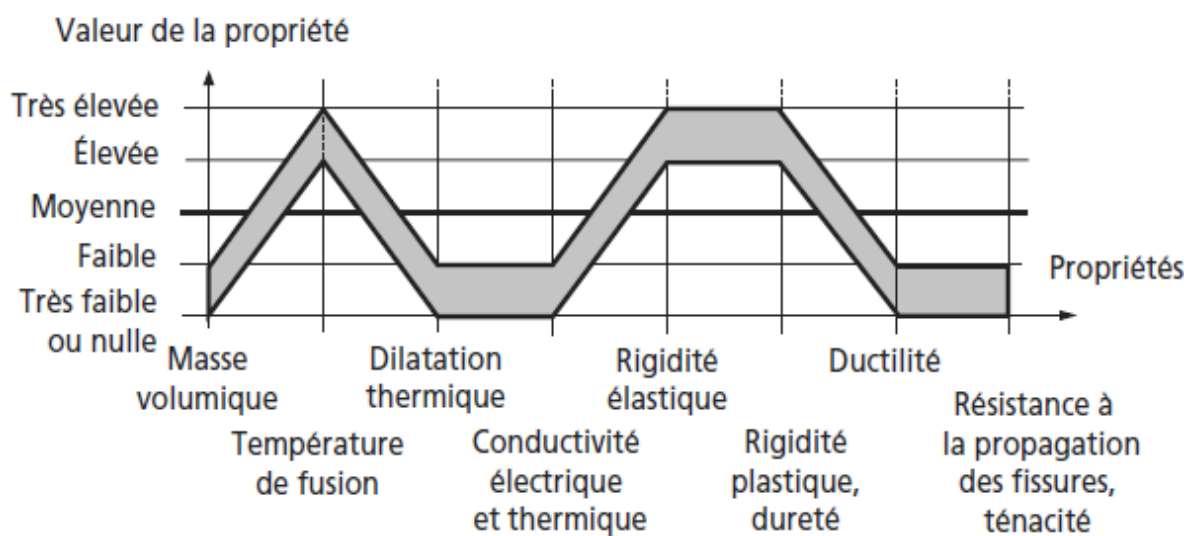


Figure.5 .Représenter Les principales propriétés des matériaux inorganiques. [3]

La liaison des matériaux :

Les liaisons chimiques consistent à partager des électrons périphériques entre des atomes voisins, par création d'orbitales moléculaires communes où se situent les électrons de liaison. Ces liaisons de très forte énergie sont très rigides et conduisent à des solides de faible densité. Il existe différents types de liaisons chimiques : Liaisons fortes et Liaisons faibles ou liaisons secondaires.

A. Liaisons fortes :

- Liaison covalente :

Elle est assurée par la mise en commun de deux électrons pour compléter la couche externe de chaque atome. Elle apparaît entre deux atomes de non-métaux (liaison assurée par des électrons de la bande de valence). Exemple, la molécule de dichlorée Cl_2 , C (diamant), Si.

- Liaison métallique :

Elle apparaît entre les éléments d'un amas d'atomes métalliques (liaison assurée par les électrons de la bande de conduction). Les électrons de la liaison métallique sont mobiles et disponibles pour assurer la circulation éventuelle d'un courant électrique.

Exemple, Cristal de sodium Na, Cu, Ag, Ti.

B. Liaisons faibles ou liaisons secondaires :

Elles apparaissent entre les pôles + et – de molécules à répartitions de charges inhomogènes ou polarisables. Elles agissent à plus longue distance, mais avec une intensité plus faible que les liaisons fortes, Exemples,

- **Liaisons de Van der Waals** entre macromolécules dans un polymère. H_2O , H_2 , N_2 .

- **Liaisons ionique** : Na Cl, Cu_2O , MgO. [3]

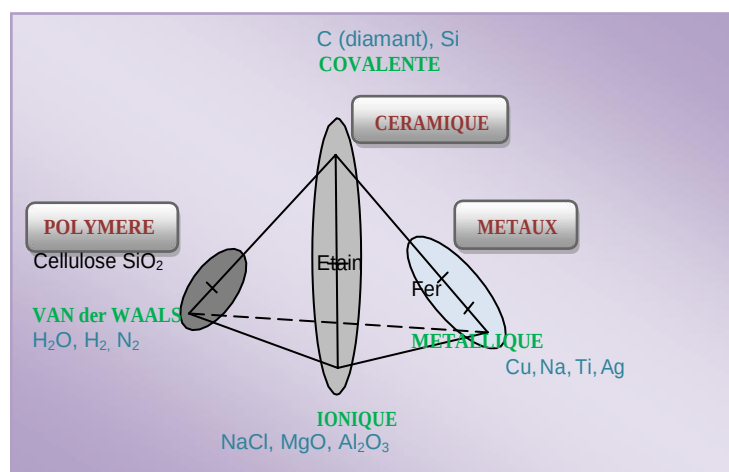


Figure. 6. Liaison des matériaux. [6]

Les matériaux organiques :

Sont les matériaux principalement constitués de carbone, que l'on trouve dans les organismes vivants (plantes, animaux, champignons et autres solvants ainsi que les micro-organismes) et se trouvent dans la nature en abondance. Et les chimistes ont pu les fabriquer comme matières, synthétiques organiques à partir du pétrole. Les matériaux organiques tirent leurs propriétés de la coexistence de deux types de liaisons atomiques : les liaisons covalentes et liaisons faibles (pont hydrogène, van der Waals).

- Outre les polymères et élastomères qui sont obtenus en les synthétisant chimiquement à partir d'hydrocarbures ou de biomasse, qu'ils soient d'origine naturelle ou synthétique, tous les matériaux sont créés par polymérisation (assemblage des grandes chaînes linéaires ou tridimensionnelles) de milliers ou certaines de molécules basiques matériaux d'origine naturelle ou molécules organiques dans des polymères synthétiques. [3]

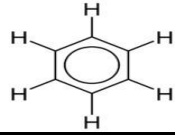
Monomères :

Ce sont composés de base des polymères, en ce qui concerne la chimie organique, ils sont liés aux atomes de C, H₂, N, ainsi qu'aux O₂, F, et S etc.

Les atomes de carbone quadrivalents sont liés aux atomes voisins par des liaisons covalentes. [3]

Où le tableau I.2 suivant explique comment ces liaisons chimiques sont liées, la formule de leur connexion et en quoi consistent les groupes réactifs.

Tableau I.2. Représente les groupes et la liaison et la formule chimique de certains composés.

Groupes réactifs	Liaison	Formule
Hydrocarbures (composition de carbone et d'hydrogène oléfines hydrocarbures insaturés)	à liaison doubles comme l'éthylène ou hydrocarbures à liaison triples comme l'acétylène	H-C = C-H H-C ≡ C-H
Hydrocarbures aromatique	Structure cyclique comme benzène	
Alcools	Comportement un radical -OH lié un radical de base R	
Cétones	Comportement un radical =C=O Lié un radical de base comme dans la formule de CH ₂ O	
Acide organique	Comportement un radical -CO ₂ H lié un radical de base	
Amide et Amines	Comportement radical Azotes liaison covalent	

Les Polymères :

C'est composé ou un partiel, à un poids partiel constitué de chaînes de particules similaires et répétitives, et ils sont appelés monomères. Les substances ou des propriétés uniques, en fonction de type de molécules liées et de la manière dont elles sont liées. Au fur et à mesure que ces matériaux, se plient et allongent certaine, polymères tels que le caoutchouc et les polymères sont devenus un rôle fondamental et important dans les utilisations de la vie quotidienne, en raison de leur propriétés uniques. [3]

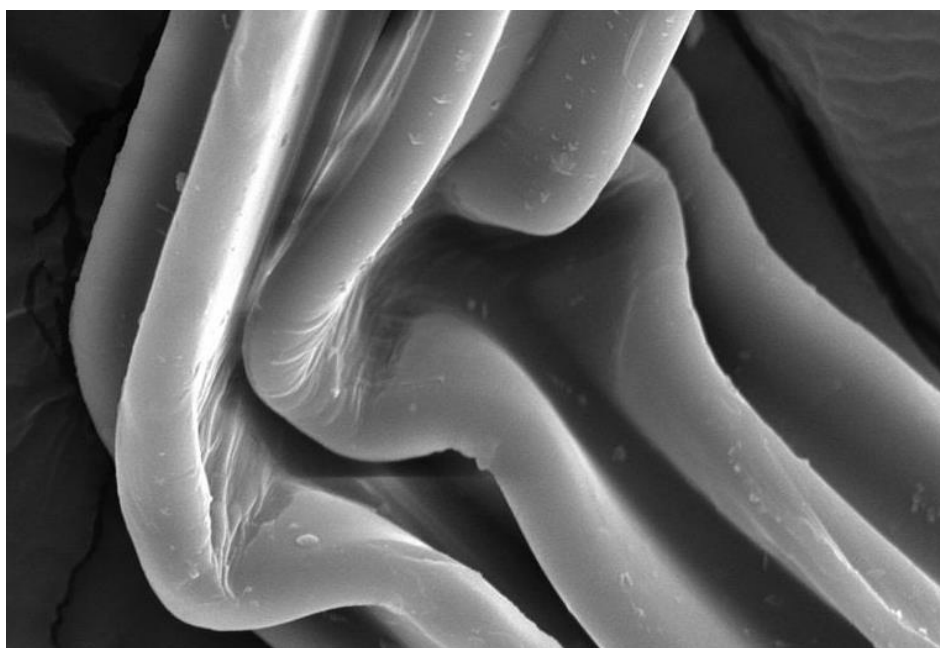


Figure 7. Une coupe des polymères et leur forme. [8]

La formation des polymères :

A. Polymérisation par addition ou polyaddition :

Est une polymérisation par simples liaisons successives de monomères sans apparition de sous-produit.

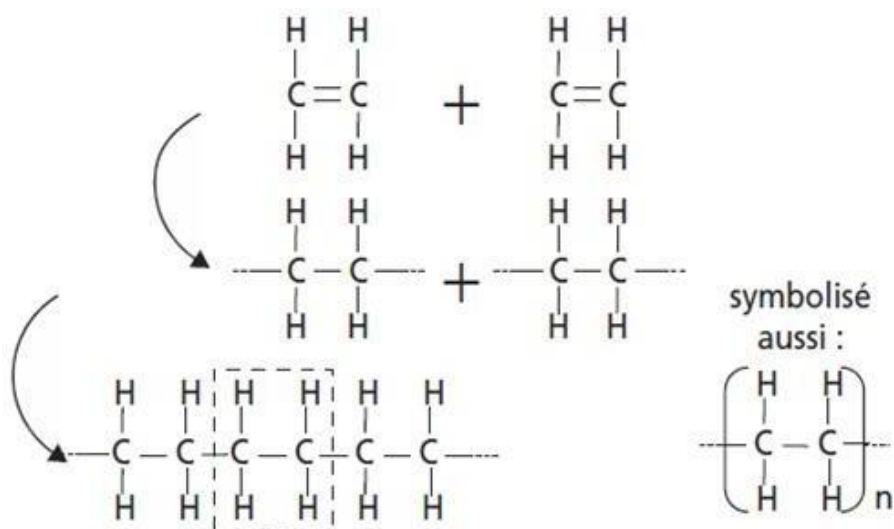


Figure I. Exemple de polyaddition : la polymérisation du polyéthylène à partir de monomères d'éthylène.

La réaction peut être effectuée et est facultative entre des monomères de nature différente, et conduire à une copolymérisation. [3]

B. Polymérisation par condensation ou polycondensation :

Est une réaction entre monomères qui entraîne la formation du polymère. Mais également d'un sous-produit. [3]

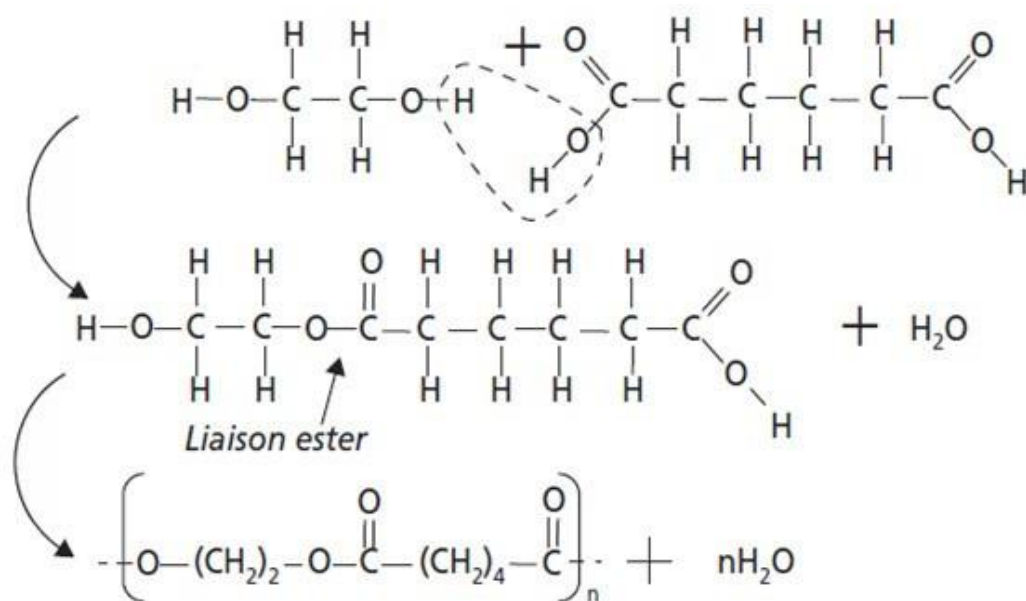


Figure.9 la polymérisation du polyester à partir de monomères d'éthylène glycol $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ et d'acide adipique $\text{C}_6\text{H}_8(\text{OOH}_2)$ avec formation d'eau .

C. Degré de polymérisation :

Le degré de polymérisation (DP) présente le nombre des monomères dans les macromolécules d'un polymère. Il peut être calculé par le rapport de la masse moléculaire

moyenne M d'une macromolécule du polymère considère. A la masse moléculaire m du monomère correspondant m :

$$DP = M/m$$

Ce résultat ne peut être déterminé que statistiquement. Car dans un polymère. Il existe toute une distribution de taille de chaînes macromoléculaires. Fonction des conditions de polymérisation (pression, température, concentration en monomères.....) DP atteint couramment 10^2 à 10^4 . Sa valeur a une grande influence sur les propriétés du polymère considère : un DP élevé conduit à un matériau globalement plus rigide et plus résistant mécaniquement. [3]

Structure transformation structurales des matériaux organique:

Etat solide: La structure de la plupart des polymères est amorphe par ce que la taille, les circonvolutions et l'enchevêtrement de toutes les particules est grande, ce qui entraîne des difficultés de non diffusion et d'arrangement cristallin lors du refroidissement. Cependant, certains facteurs favorables (court, droit et chaînes non ramifiées) permettent une cristallisation partielle.

Les particules sont organisées en nappes cristallines regroupées sous une forme sphérique, recouvertes d'une partie amorphe des polymères, et la cristallisation se fait en fonction du point de fusion, et ces structures sont révélées en observant la microstructure à la lumière. Il est clair que la structure macromoléculaire joue un rôle dans ces transitions à les polymères à DP élevé à chaînes ramifiées ou à racinés complexes de grandes dimensions (par exemple le cycle aromatique), ont une température de transitions vitreuse élevée contrairement à ceux des chaînes linéaires ou courtes lorsque les chaînes sont liées entre elles par de larges liaisons covalentes, la densité des liaisons transversales détermine la longueur des pièces,

_ Les chaînes sont en mouvement libre: Un degré de réticulation plus élevée et à partir de la, nous imposons une forme permanents, amorphe et fixe, augmentant ou éliminant ainsi complètement le patinage et la fusion. [3]

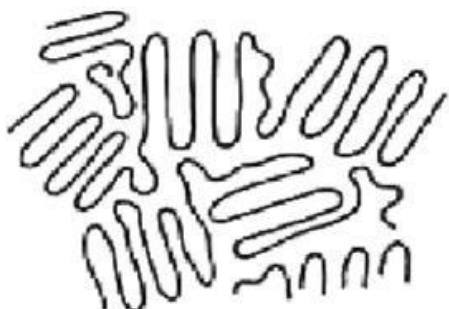


Figure 10 représente la structure de matériau de organique.[3]

Différence de structure et comportement permettent de définir trois grandes classes des matériaux :

1. Polymères thermoplastiques :

Ce sont des chaînes composées chaînes indépendantes: la cohésion entre macromolécules est assurée par des liaisons faibles, qui se séparent lorsque la température passe la transition vitreuse permettant le mouvement relatif des chaînes et le comportement visqueux à chaud, comme lors de l'obtention des thermoplastiques par polyaddition. [3]

2. Polymères thermodurcissables :

Leurs chaînes sont fortement liées par des liaisons covalentes dans les trois directions de l'espace: ces liaisons résistent à l'induction thermique à la pyrolyse ou à l'induction de température.

On entend par <chaleur> par ce terme ou on se réfère au procédé de fabrication des ces polymères qui sont obtenus par le procédé de condensation multiple de monomères à l'état liquide, où la réaction est accélérée du fait de la température. [3]

3. Elastomères :

À l'état intermédiaire: ce sont des polymères solides à basse température de réticulation, des liaisons covalentes avec lesquelles les grosses particules sont peu nombreuses et éloignées les unes des autres. Cela laisse de longues parties des chaînes libres sous l'influence de la pression appliquée, et retour à la formation de l'énergie minimale lors de la suppression de la pression c'est à l'origine du comportement "super élastique" de ces matériaux.

La rigidité d'un élastomère peut donc être ajustée en jouant son taux de réticulation: les élastomères à faible taux réticulation apparaissent à la température de transition de vitreuse, qui se comportent comme un matériau relativement fragile; puisque les élastomères sont considérés comme ayant un degré élevé de réticulation similaire. [3]

Propriétés générales des matériaux organiques :

Les matériaux organiques ne contiennent que des liaisons covalentes et des liaisons faibles d'atomes non métalliques, et les matériaux sont généralement de nature isolante électrique et thermique. La cohésion entre les chaînes de grosses molécules étant un contenu autre que des liaisons faibles, ils déterminent les propriétés des polymères :

- _ Le module d'élasticité est faible, car les liaisons ne sont pas très résistantes.
- _ La température de fusion ou de décomposition thermique est faible, car ces liaisons ont peu de résistance à l'induction thermique, et la même raison est que leur coefficient de

dilatation thermique est élevée car leur structure atomique est relativement comprimée, et les atomes qui les composent sont des éléments légers, la densité de la matière organique est faible par rapport à la densité des alliages métalliques, ses propriétés mécaniques (élasticité, plasticité, rigidité) sont limitées.

Les polymères synthétiques sont à la base des plastiques utilisés dans la fabrication de nombreux objets courants, les plastiques contiennent de nombreux additifs pour modifier leurs propriétés mécaniques, optiques, thermiques ou électriques par rapport aux propriétés des polymères de base:

- _ Charges inertes (poudre, minérale, silice, talc ...etc.) visant à réduire les coûts et à augmenter la dureté.
- _ Plastifiants pour réduire la viscosité.
- _ Colorants.

Divers additifs: anti-UV, stabilisant thermique, anti-oxygène, hydrofuge, ignifuge ...

Des renforts sous forme de particules de fibres courtes ou longues en font des matériaux composites. [3]

Les principaux polymères :

1. Les principaux polymères thermoplastiques:

Il présente un comportement mécanique fragile selon les conditions de son utilisation, mais il présente l'avantage d'être mise en forme par déformation de la pâte à modeler ou par écoulement sur UV.

Leurs propriétés physiques sont sensibles au degré de polymérisation plus à une éventuelle anisotropie en direction de grandes chaînes moléculaires (polymères étendus ou orientés). [3]

2. Les principaux polymères thermodurcissables:

Les thermo polymères sont constitués d'une molécule tridimensionnelle géante entrelacée dans trois directions, souvent obtenue par réaction irréversible entre deux composants liquides "résine" et "durcisseur" une réaction rapide par chauffage.

Le comportement mécanique n'est pas élastique, et le degré de réticulation fait leur dureté:

- _ La faible vitesse, C'est -à-dire que leur comportement est élastique et similaire aux plastiques. [3]

3. Les principaux polymères élastomères :

Le caoutchouc synthétique principal a des propriétés mécaniques et physiques variables, en fonction du degré d'enchevêtrement, c'est-à-dire de la densité des réticulations reliant les chaînes.

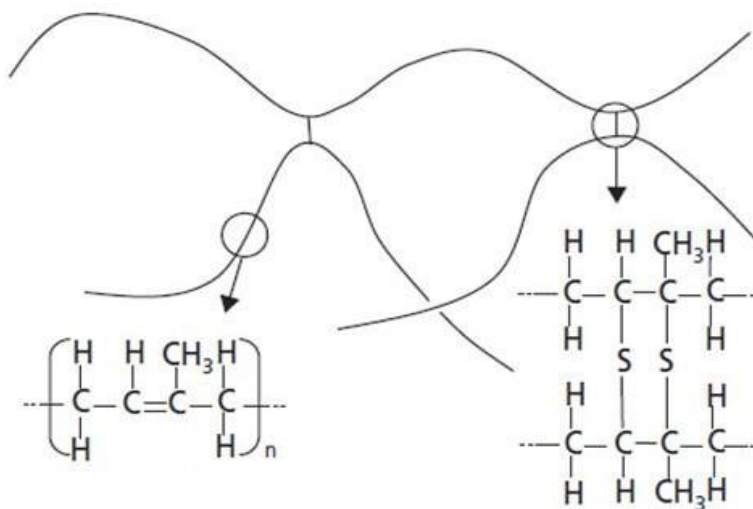


Figure.11 Exemple de réticulation de macromolécules d'un élastomère .vulcanisation du poly isoprène (caoutchouc naturel) par des atomes de soufre. [3]

Matériaux inorganiques :

Sont des composés chimique qui ne contiennent pas d'atomes de carbone et d'hydrogène dans leur composition et sont classés comme l'un des composés des systèmes géologiques.

Les composés inorganiques qui n'ont par la source d'organismes vivants. Leur composés contiennent un certain nombre de liens à l'élément carbone, où ils sont liés par une liaison covalente qui se lie parmi les atomes de carbone au moins l'un avec l'autre, et souvent les éléments l'hydrogéné, l'oxygéné ou l'azote, ou autre groupe .Il est classé parmi les matières premières extraites des carrières comme métal, cuivre, le charbon, et le fer en tant que composés inorganiques. [9]

Les caractéristiques des matériaux inorganiques :

De nombreux composés inorganiques étudiés par la chimie organique se caractérisent par leur capacité à conduire l'électricité, à l'aide d'éléments métalliques dans leurs composants, par exemple, dans le cas des solides leur conductivité électrique est moindre par rapport aux milieux liquides, et il a une fort potentiel de transport d'électricité.

Comme les électrons des composés inorganiques se déplacement en mouvement absolu, ce libre mouvement est appelé électricité. Les composés tiennent ensemble de manière solide grâce à leur effet sur la liaison ionique entre leur atomes et se distinguent par leur tolérance à des points de fusion et d'ébullition très élevé, et la plupart d'entre eux se

distinguent par leur couleur, car ils ont une couleur très distinctive sur la combustion. Les composés inorganiques ont une propriété hydrosoluble, en plus de cela ils peuvent former des structures cristallines la liaison présent dans les composés inorganiques permet la formation de structure cristallines dans des solutions saturés. [10]

Structure des composés inorganiques:

Les propriétés de ces composés qui permettent leur utilisation, sont intimement liées à leur structure, ainsi qu'aux procédés de synthèse, de fabrication ou de mise en forme. Le terme structure se réfère ici à l'organisation des atomes du composé à différents niveaux de détails, suivant l'échelle de mesure adoptée: structure atomique, nanostructure, microstructure et macrostructure.

De même les composés peuvent être sous forme cristalline, les atomes arrangés de manière périodique, ou amorphe, si les atomes ne présentent aucun arrangement ordonné et répétitif. Pour les composés cristallins on pourra aussi distinguer les formes monocristallines de celles poly cristallines constituées de nombreux cristaux ou grains. Les caractéristiques des cristaux ou des grains (taille, forme,...), ainsi que des régions séparant les grains vont affecter les propriétés. [10]

Les Céramiques :

A. Les Céramiques traditionnelles :

Dans l'ancien temps, ses composants sont constitués d'oxydes et d'hydroxydes naturels et multipliés :

- _ L'argile (aluminosilicate humide) est le composant principal sous forme de cristaux fins en couches liées à des couches d'eau qui se chevauchent, elle a la capacité de se former en une pâte plastique lorsqu'elle est saturée d'eau, et lorsqu'elle est séchée ou mise en le four perdra de l'eau
- _ Silice, pour former de petites particules de quartz cristallin, qui sont stables lors de la cuisson
- _ L'éléfrique ou fondant donne une phase de verre à base point de fusion lors de la combustion, ce qui aide à solidifier les particules de quartz et les argiles et réduit la porosité du frittage cristallins et vitreux, avec un rapport variable en fonction de la composition et de la température de cuisson

Après mouillage et mise en forme de plastique, sa mise en œuvre comprend une déshydratation (perte d'eau liquide interférant entre les particules); puis se produit un feu de céramique et un séchage irréversible, puis un frittage. [3]

B. Céramique techniques et cermets :

Dans ces composés ils ne les hydratent pas pendant le traitement, ils sont principalement composés d'oxydes, de carbures et de nitrures.

La partir de celui-ci est réalisé à partir des poudres de frittage obtenues par voie chimique, sèche ou aqueuse.

Lorsqu'un élément métallique est ajouté en quantité suffisante, on peut obtenir des cermets, composés dans lesquels les molécules métalliques sont liées à une phase métallique.

La céramique d'art a de multiples usages et est destinée à :

- _ Des applications réfractaires.
- _ Des applications résistantes à la chaleur.
- _ Des applications mécaniques.
- _ Des applications thermomécaniques.
- _ Des applications électriques et électroniques.
- _ Des applications chimiques et biomédicales.

Comme dans toutes les substances minérales.

L'une de ses caractéristiques les plus importantes est sa faible dureté, et nous pouvons améliorer cette dureté par différentes méthodes;

- _ Distribution de plus fins, voire analogues, pour la granulométrie des poudres, la taille des pores résiduelles et les imperfections critiques sont concernées
- _ Fusion pendant de longues périodes au stade avancé, pour réduire les pores résiduels une multiple et le motif de ramification. [3]

Autres matériaux inorganiques (minéraux):

Le tableau **I.3** suivant montre quelques exemples de matériaux organiques, utilisés dans notre vie quotidienne, tels que le ciment, le graphite, etc., et ils sont expliqués avec une définition simplifiée.

Tableau I.3. Autres matériaux inorganique. [3]

Matériaux	Définition
Graphite et carbone (céramique noire).	Structure cubique diamant, le carbone peut aussi plus couramment cristalliser avec la structure hexagonale du graphite.
Ciments	Les ciments acquièrent leur résistance mécanique par une réaction chimique avec l'eau.
Roche	Les roches de l'écorce terrestre, bien que d'origine naturelle, sont matériaux minéraux à grande stabilité chimique abondamment utilisés en génie civil.
Argile	Le mot latin est un dérivé du mot grec argillos, et le terme argile est couramment utilisé pour désigner de nombreuses roches et minéraux, en fonction de leur composition et de la métamorphose de divers minéraux et argile.

I.3.5 .Utilisation de matériaux inorganique :

L'ammoniac est l'un des composés chimiques inorganiques les plus importants et a de nombreuses utilisations. Il est utilisé dans la fabrication de nylon, de fibres, de plastiques, de polyuréthane (utilisé dans des revêtements durs résistants aux produits chimiques, adhésifs et mousses), d'hydrazine (utilisée dans les jets et les mousses). Carburants pour fusées) et explosifs. C'est aussi la source d'azote dans les engrais. Le chlore peut être utilisé dans de nombreuses industries, telles que la fabrication de polychlorure de vinyle, qui est utilisé dans les tuyaux, les vêtements et les meubles. Il est également inclus dans les produits chimiques agricoles (tels que les engrais, les pesticides et les remèdes pour le sol) et les préparations médicales, en plus des produits chimiques utilisés dans le traitement de l'eau et la stérilisation. Le dioxyde de titane est un dioxyde de titane naturel, qui est utilisé comme pigment blanc dans les peintures, revêtements, plastiques, papier, encre, fibres, produits alimentaires et cosmétiques. Le dioxyde de titane a également de bonnes propriétés de résistance aux UV et est largement utilisé dans la photocatalyse.

[11]

Biomatériaux :

Selon la conférence de consensus de Chester (1991) organisée par la société Européenne pour les biomatériaux est considéré comme biomatériaux "tout matériau qui interagit avec les systèmes biologiques pour évaluer, traiter, renforcer ou remplacer un tissu, organe ou une fonction de l'organisme".

Il est entendu que le matériel biologique peut être en contact avec des tissus corporels de manière intermittente ou continue dans le but restaurer ou de remplacer une ou plusieurs fonctions.

Cette définition exclut dans une certaine mesure les outils chirurgicaux et les prothèses de membre. La définition de matériel biologique ne comprend pas uniquement les matériaux biologiques synthétiques créés à partir de métaux ou de céramiques.

Cette définition appelle des commentaires dont le matériel biologique n'est pas un produit médical et n'est pas soumis aux mêmes exigences administratives. Néanmoins, il doit faire partie des procédures d'autorisation de mise sur la marché (MA) et inclure les procédures la communauté Européenne la marque EES. Le concept d'utilisation des résultats temporaires est réuni sous une même définition les éléments artificiels qui aspirent à cultiver le plus longtemps possible, les membranes rénales entrent en contact avec le sang pendant quelques heures. [12]

Impact des biomatériaux :

La figure suivante montre les points concernés par l'implantation d'un biomatériau dans un corps humains.

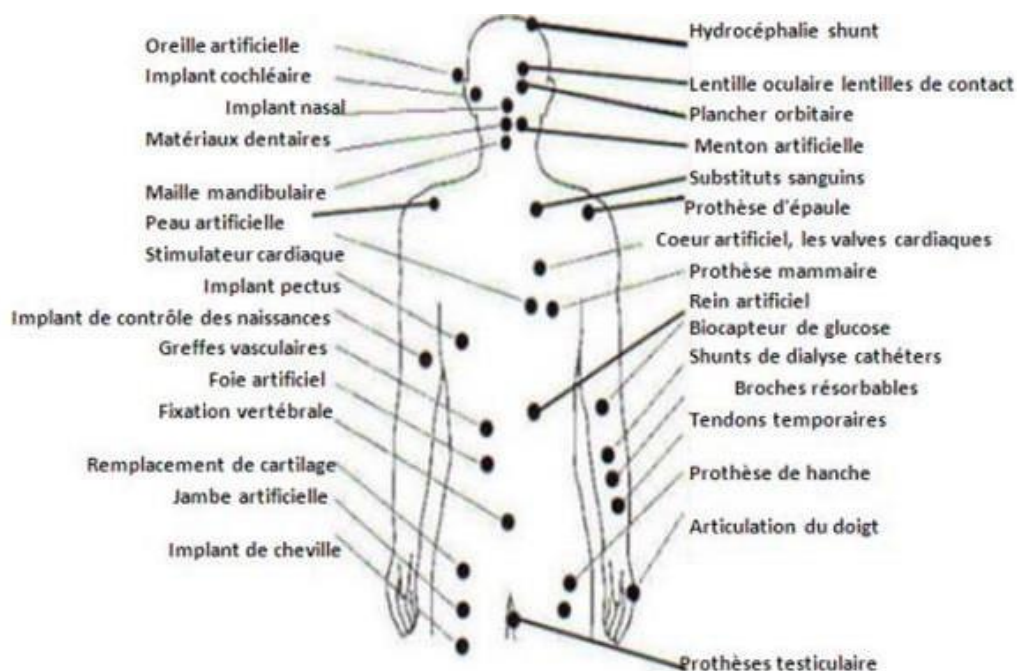


Figure .12 .Biomatériaux dans un corps humain. [12]

Les différents :

Les biomatériaux peuvent être classés en deux grandes catégories : les biomatériaux d'origine non vivante (minéraux, céramique, et polymères synthétiques) et les biomatériaux d'origine biomatériaux (végétale ou animale).

Les biomatériaux ont été utilisés comme substituts d'os ou comme revêtement artificiel. Ils sont de quatre types :

Minéraux, alliages, polymères, céramiques et matériaux naturels (corail, nacre etc.), permettant l'étude de ces types avec à l'exception d'un lien chimique entre la substance et

les tissus organiques ce lien résulte d'une activité vitale caractérisée par une série de réactions physiques et chimiques (dissolution et précipitation) à l'interface implant l'tissu receveur. [12]

I.4. 3. Classement des Biomateriaux :

Les matériaux des biomateriaux possèdent quatre grandes catégories des biomateriaux suivantes :

- Biomateriaux métalliques :

- _ Métaux purs (Au, Pt, Ti, Ta, Co.....).
- _ Alliages métalliques (acier, inoxydable.....).

- Biomateriaux en céramiques :

- _ Céramiques bio-inertes (oxydes,carbures, carbone).
- _ Céramiques bioactives (hydroxyapatite, verre bioactifs, α -Tcp, vitrocéramiques).

- Biomateriaux à base des polymères de synthèse :

- _ Prothèses ligamentaires.
- _ Polyéthylène.
- _ Matériaux d'ancrage et de comblement.
- _ Polydiméthylsiloxane (PDMS).

- Biomateriaux d'origine naturelle :

- _ Origine animale (collagène, chitine.....).
- _ Origine végétale (cellulose). [13]

Propriétés mécaniques des biomateriaux :

Il existe différents types d'essais mécaniques. Ces propriétés mécaniques ont été divisées en deux grands groupes, les essais qui sont légèrement liés au temps dans lequel il se produit avec la mesure de la résistances et de la déformation (également l'utilisation de la compression ou de la contrainte et de la flexion), il existe des protocoles de test standard pour la plupart des matériaux biologiques: pour chaque type de matériau, moitié, ces méthodes façonnent les échantillons à tester, les dimensions et les conditions de test.

Un exemple pour les métaux, basé sur le test standard sur un échantillon sous la forme d'un "os de chien" (la partie centrale considérée comme la plus fine est la section d'essai). Mesures de la force (en newtons) et de la déformation (en millimètres) doit être normalisé grâce à des tests, nous pouvons créer une courbe, la contrainte disparaît sur le matériau vital lorsque la contrainte est supprimée.

Le module d'élasticité de Young (E) caractérise la rigidité du matériau (la pente dans la partie linéaire de la courbe).

Outre la déformation élastique, la contrainte provoque une déformation permanente qui peut éventuellement conduire à la fissuration du matériau. [13]

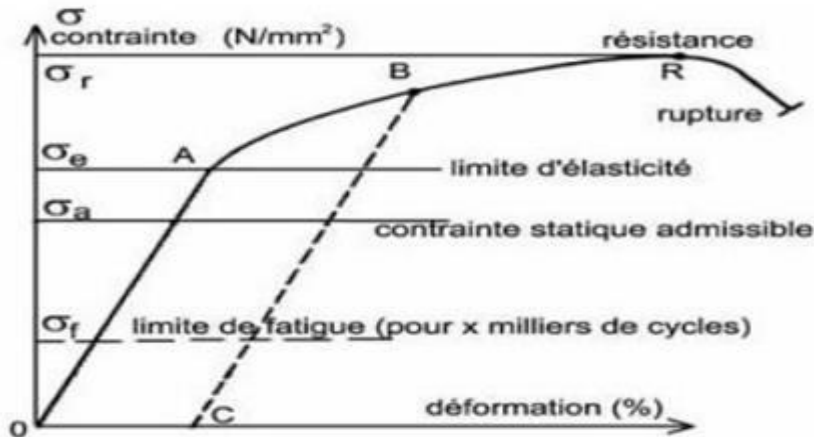


Figure .13.contrainte-déformation. [13]

La zone sous la courbe qui relie et contient les unités de puissance et détermine la résistance du matériau la rigidité d'un matériau ne peut pas être déterminée directement par la courbe reliant à "sigma σ ", elle est généralement évaluée à partir de la fissure provoquée par une chute à la surface d'un objet pointu, propriété très importante de la résistance à la corrosion. [13]

Propriétés physico-chimiques :

Au départ la substance doit être toxique, utilisée comme matière inerte ne présentant pas de risques toxiques et bien acceptée par le receveur, en médecine, après la biocompatibilité de l'implant principalement pour son utilisation.

La biocompatibilité peut être définie comme (la capacité d'un biomatériau à induire une réponse de constriction appropriée dans une application donnée).

Une des caractéristiques des dommages que la greffe peut causer aux tissus, si les cellules ne sont pas endommagées par les matériaux ou produits vitaux résultant de l'érosion ou du frottement.

L'implant est un (corps étranger) et ne doit pas être endommagé par les fluides corporels ou les mécanismes de défense du corps. Les exigences basées sur la fonction du biomatériau sont examinées: la connaissance des propriétés mécaniques du matériau essentielle dans le cas des prothèses orthopédiques.

Les limites mécaniques et les déformations du biomatériau, qui sont liées à sa structure et sa composition, doivent être connues. Les restrictions imposées aux biomatériaux sont statiques mais dynamiques, les articulations artificielles de la hanche sont soumises à des charges alternées. [13]

Les propriétés chimiques :

Les propriétés chimiques telles que l'oxydation, la corrosion ou la résistance à la corrosion doivent également être prises en compte. Des interactions se produisent entre le biomatériau et les tissus environnants lorsqu'ils sont rencontrés. Il endommage les tissus de la station et peut provoquer de nombreuses irritations (inflammations et allergie), et au contraire, il a un effet stimulant sur la régénération des tissus environnants. L'interaction entre le matériel biologique et les tissus environnants doit être basée sur la reconstruction des tissus endommagés lors de leur fixation sur l'implant et sur la réalisation efficace de l'implant dans les tissus.

Les interactions de l'environnement biologique, tels que les tissus durs ou nous endurent la greffe, le sang et les fluides corporels, peuvent provoquer de nombreuses réactions indésirables face à des substances vitales (inflammatoires, choroïdes, cancérogènes).

On peut distinguer trois types de matériaux :

- _ Matériaux biologiques inertes qui s'intègrent à l'os sans chevaucher la couche fibreuse.
- _ Matériaux bio tolérants qui s'intègrent à l'os avec le chevauchement de la couche de tissu fibreuse.

_ Les matériaux bioactif que réagissant (positivement) à leur environnement biologique en permettant des réactions spécifiques à l'interface implant-tissu receveur. [13]

Utilisations des Biomatériaux :

Il est utilisé dans de nombreux traitements chirurgicaux (traitement des traumatismes, des maladies cardiovasculaires, des maladies ophtalmiques)

C'est un domaine large et multidisciplinaire qui comprend les sciences physiques et chimiques, les sciences de l'ingénieur, les sciences de la vie et de la médecine. [13]

Chapitre II : *Les Matériaux Composites*

Introduction :

Les matériaux composites existent depuis l'existence de l'homme ; vu la demande sur ces matériaux dans des différents domaines industriels ; ils ont connu un développement remarquable ; ils sont importants par rapport aux autres matériaux traditionnels à cause leurs excellentes propriétés mécaniques par rapport au poids. Cette utilisation est plus croissante dans le domaine du transport et l'aéronautique où la légèreté est très demandée.

Il n'existe pas de définition simple d'un matériau composite. En effet, le mot composite signifie le rassemblement de deux ou plusieurs parties différentes ; ou un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément.

La réalisation d'un matériau composite nécessite donc l'association d'au moins deux composants : Le composé principal est appelé **matrice**, le second, étant le **renfort** qui doivent être compatibles entre eux et se solidariser. Pour cela, un agent de liaison appelé interface est nécessaire.

Définition :

Bien qu'il existe différentes sortes de matériaux composites (comme par exemple, le béton, la boue, le contreplaqué...), ce terme s'adresse plus particulièrement aux pièces plastiques constituées d'une matrice polymère et d'un élément renforçant de type fibreux tel que défini dans la figure 1. [15]

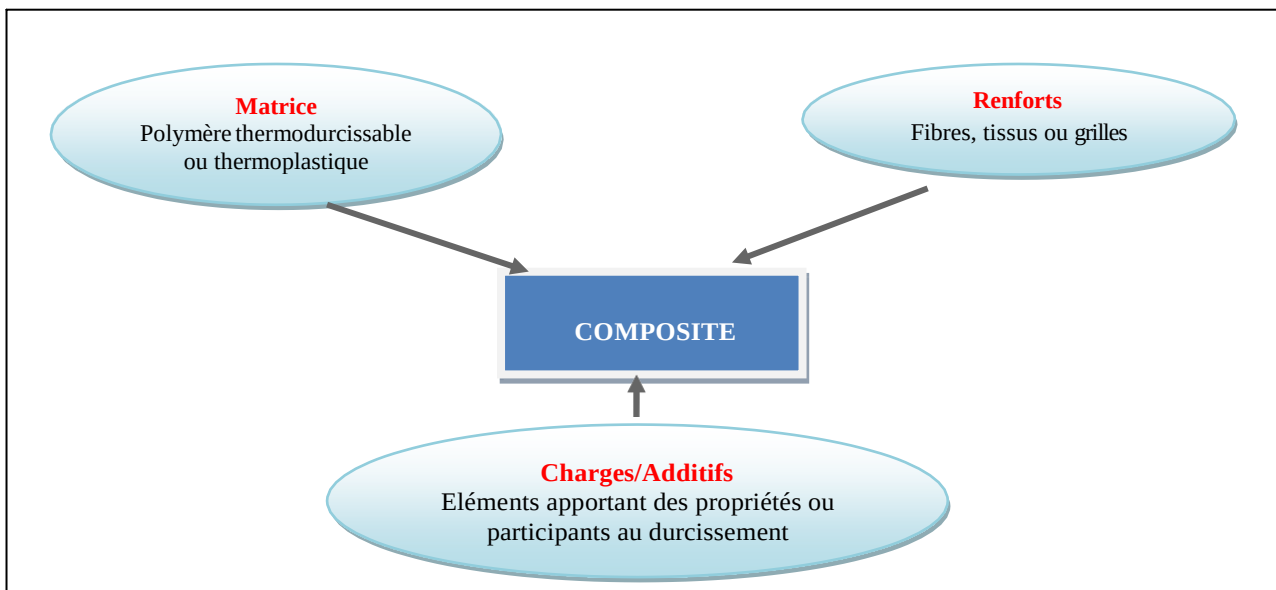


Figure.14. Composition de matériaux composites

L'objectif de la réalisation d'un matériau composite est de renforcer le matériau dans certaines directions et sans rajouter de masse ou de volume.

Les matériaux composites, en fonction de leurs constituants, présentent un grand nombre d'intérêts :

- D'un point de vue mécanique, ils offrent d'excellentes propriétés en traction, flexion, compression, cisaillement plan et transverse ainsi qu'une excellente absorption aux chocs. Leur résistance mécanique combinée à leur faible densité en fait un élément incontournable des conceptions actuelles qu'elles soient structurelles ou non.
- D'un point de vue physico-chimique, ils s'adaptent parfaitement à différents milieux ambiants et peuvent être très performants en termes de résistance aux produits chimiques, au feu, ou à la corrosion. [15]

Néanmoins, leur plus grand intérêt réside dans la possibilité de pouvoir intégrer plusieurs fonctions en une seule opération réduisant de fait et de façon conséquente, le nombre de pièces d'un ensemble mécanique ou d'une conception et par là même son coût de revient.

Bien que leur fabrication nécessite des investissements parfois lourds en termes d'outillages de moulage, ils constituent un compromis technico-économique intéressant lorsqu'ils sont fabriqués en série. [16]

Type des matériaux composites :

Les propriétés des matériaux composites résultent des propriétés de ses constituants, de leur distribution géométrique ainsi que de leur interaction. Pour la description d'un composite, il est donc nécessaire de spécifier :

- La nature des constituants et leurs propriétés ;
- La géométrie du renfort (sa forme, sa taille et son orientation) et sa distribution ;
- La nature de l'interface matrice/ renfort.

On distingue deux grandes familles de matériaux composites: [16]

- **Les composites de grande diffusion (GD) :** Ce sont généralement réalisés à partir de fibre de verre et de résine polyester insaturée ou phénolique. Ils constituent plus de 95% de la production et les demandeurs les plus importants sont l'industrie des transports (Automobile, ferroviaire) et la construction électrique. Cette classe de matériau est destinée à des fabrications en grande série et souvent automatisés.

- **Les composites de hautes performances (HP) :** Les constituants sont surtout des résines époxydes renforcées par des fibres longues de verre, mais principalement de carbone ou d'aramide. L'industrie aéronautique et spatiale, l'automobile sportive et les chantiers navals pour des embarcations expérimentales sont les demandeurs intéressés par leurs caractéristiques mécaniques

et thermiques élevées, mais aussi par des séries de productions très faibles où le prix est très élevé.

[16] [17]

Classification des matériaux composites :

Il existe de nombreuses géométries possibles au niveau des constituants eux-mêmes de la façon dont ils sont disposés. Selon l'organisation géométrique choisie ; les propriétés du composite peuvent varier du tout au tout.

Cette ressource s'intéresse sur les choix des constituants élémentaires où la nature de matrice et de renfort font ce choix.

Le type de renforts, la nature de la matrice et les quantités relatives de ces éléments entrants dans la formulation, ainsi que le procédé de mise en œuvre, ont une incidence déterminante sur les caractéristiques du produit fini. [18]

Les composites peuvent être classés suivants la forme de leurs constituants ou suivant leurs natures.

1. Classification suivant la nature des constituants :

Les composites sont classés en trois catégories, selon la nature de la matrice: [19]

- Composites à matrice organique (résine, charges) avec des fibres :

- Minérales (verre, carbone)
- Organiques (kevlar, polyamides)
- Métalliques (bore, aluminium)

Avec une température limite d'utilisation qui varie entre 200 et 300° C.

- Composites à matrice métallique (alliages légers et ultras légers de l'aluminium, de magnésium, de titane) avec des fibres :

- Minérales (carbone, carbure de silicium (sic))
- Métalliques (bore)
- Métallo-minérales (fibre de bore revêtu de carbure de silicium)

Avec une température limite d'utilisation qui est de 600° C.

- Composites à matrice minérale (céramique), avec des :

- Fibres métalliques (bore)
- Particules métalliques (cermets)
- Particules minérales (carbures, nitrures)

Avec une température d'utilisation de 1000° C.

2. Classification suivant la forme des constituants :

Les renforts peuvent se présenter sous forme de fibres ou de particules, on distingue deux grandes classes.

- Composite à fibres

Le matériau est dit composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres, elles peuvent être soit continués ou discontinues.

- Composite à particules

Le matériau est dit composite à particule si le renfort se trouve sous forme de particule. Une particule est une fibre ne possédant pas une direction privilégiée.

La matrice :

Définition :

La matrice est l'ensemble résine-charge ; ses constituants forment un mélange homogène, dans le but de répartir les efforts (résistance à la compression ou à la flexion), et d'assurer la protection chimique contre les agents agressifs extérieurs tels que (acide, humidité, corrosion.....etc.), et donne la forme au produit réalisé. Elle améliore également les caractéristiques de la résine tout en diminuant le coût de production d'un point de vue mécanique.

Classification de la matrice :

- Résines thermodurcissables :

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées, les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont par ordre décroissant en tonnage : les résines polyesters insaturées, les résines de condensation, les résines époxydes.[17]

- Résines thermoplastiques :

Les résines thermoplastiques présentent l'aptitude à l'état ramolli, de se mouler aisément par plasticité. [17]

- Résines thermostables :

Ce sont des polymères présentant des caractéristiques mécaniques stables sous des pressions et des températures élevées ($>200^{\circ}\text{C}$) appliquées de façon continue. [17]

Le schéma ci-dessous explique brièvement ces différents types des matrices :

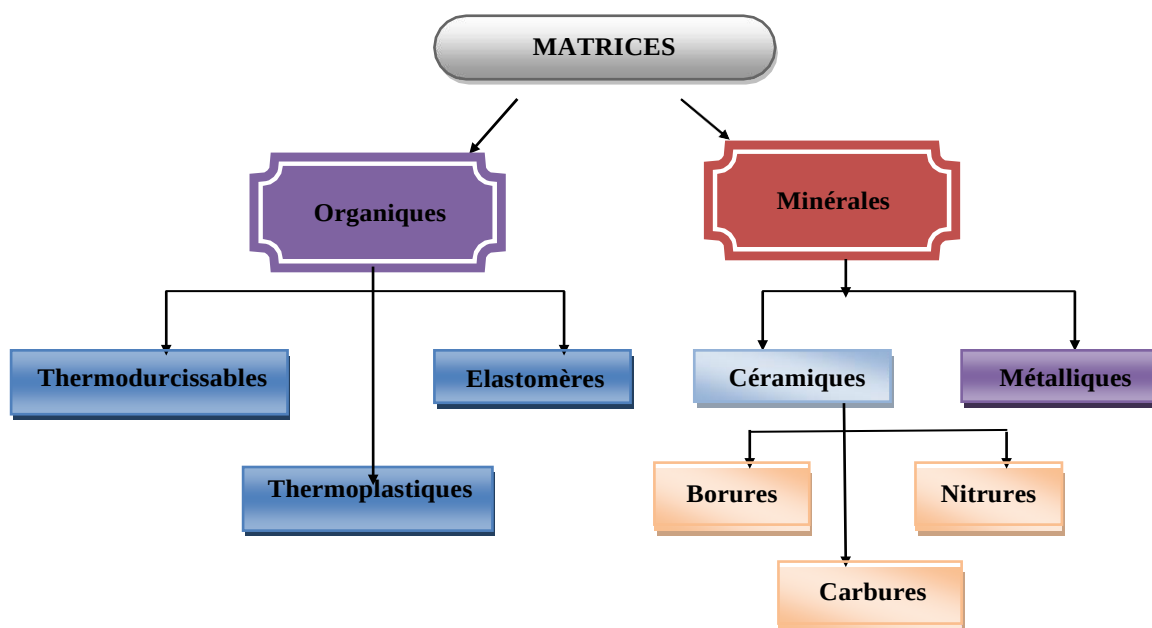


Figure.15.différents types de matrices. [20]

Le Renfort :

Définition :

Le renfort consiste à supporter les efforts appliqués ; et conférer au composite sa rigidité élastique et sa résistance à la rupture ; où le renfort doit avoir une adhésion interfaciale renfort-matrice suffisante stable dans le temps. [19]

Classification du renfort : [21]

Les principaux types de renfort se distinguent par leurs géométries (particules, billes, fibres courtes, fibres longues) par leur disposition.

- a) Fibre de verre : Les fibres de verre ont un excellent rapport performance-prix qui les placent de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans la construction de structures composites grâce à leurs très bonnes qualités.
- b) Fibre de carbone : Les fibres de carbone ont de très fortes propriétés mécaniques et sont élaborées par pyrolyse en atmosphère contrôlée de fibres de polymère précurseur, ce qui est responsable de leur bonne qualité.
- c) Fibre aramide : Les fibres aramides ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbones mais leurs résistances à la compression est faible.

Le schéma ci-dessous explique brièvement ces différents types des renforts :

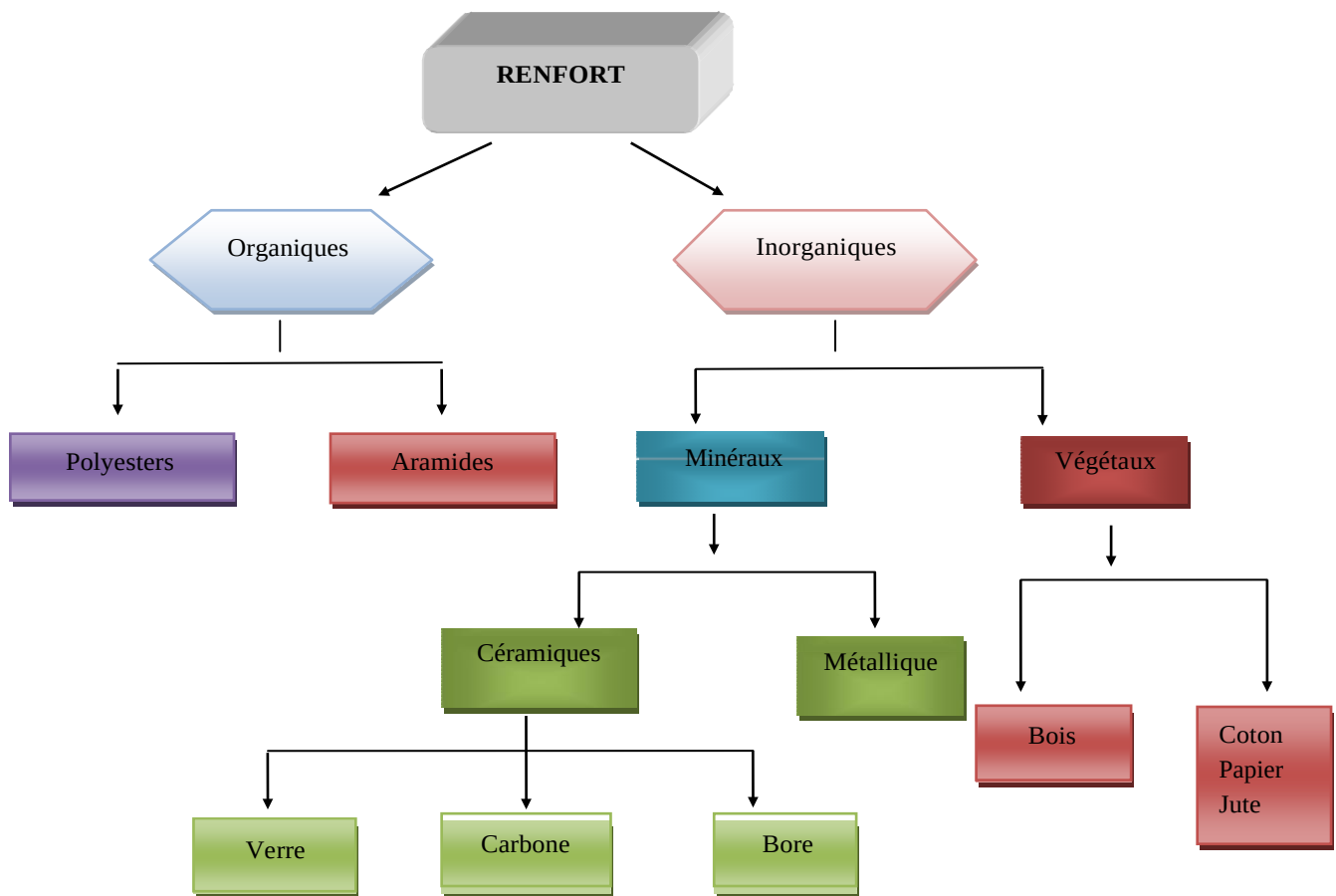


Figure.16. Différents types des renforts. [20]

Structure des matériaux composites :

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types

1. Les monocouches
2. Les sandwiches
3. Les stratifiées

a. Les monocouches :

Les monocouches sont les éléments de base des structures composites. Des fibres unidirectionnelles placées dans le plan médian sont emprisonnées dans une matrice polymère.

Ils sont caractérisés par le type de renfort utilisé : des fibres longues (unidirectionnelles ou non), courtes, sous forme de tissus, de rubans. [22]

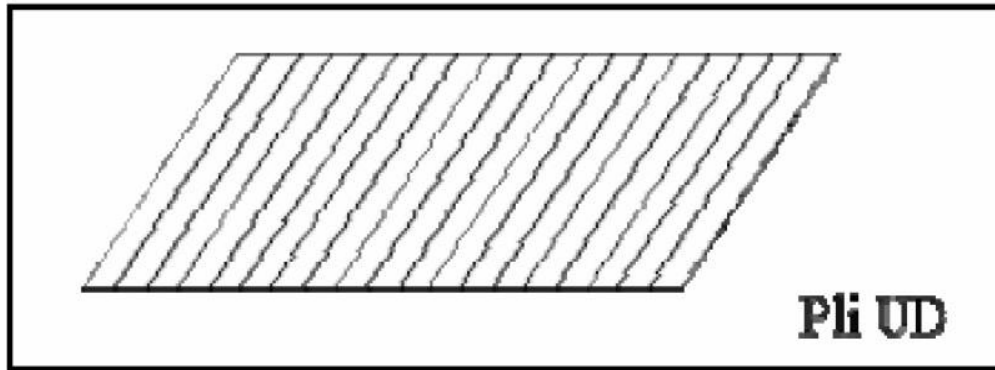


Figure.17. Composite monocouche

b. Les Sandwiches :

Une structure sandwich est composée d'une âme et de deux peaux en matériaux composites. L'assemblage est réalisé par collage à l'aide d'une résine compatible avec les matériaux en présence. Les âmes les plus utilisées sont de type nid d'abeilles, âme ondulée ou mousse. Les peaux sont généralement constituées de structures stratifiées.

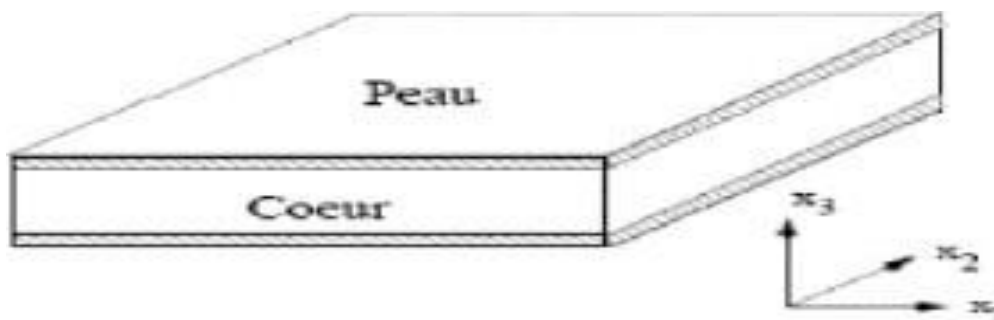


Figure.18. composite sandwich

c. Les Stratifiées :

Un matériau composé d'un ensemble ordonné de couches d'orientation et d'épaisseur données, constituées de divers matériaux est appelé « stratifié »

Le type de stratifié est défini généralement par sa séquence d'empilement, information qui fournit de manière synthétique l'orientation des diverses couches d'un stratifié. L'avantage que présentent les composites stratifiés est de permettre de créer des matériaux aux propriétés mécaniques orientées de manière optimale afin de mieux répondre aux sollicitations de la structure. [23]

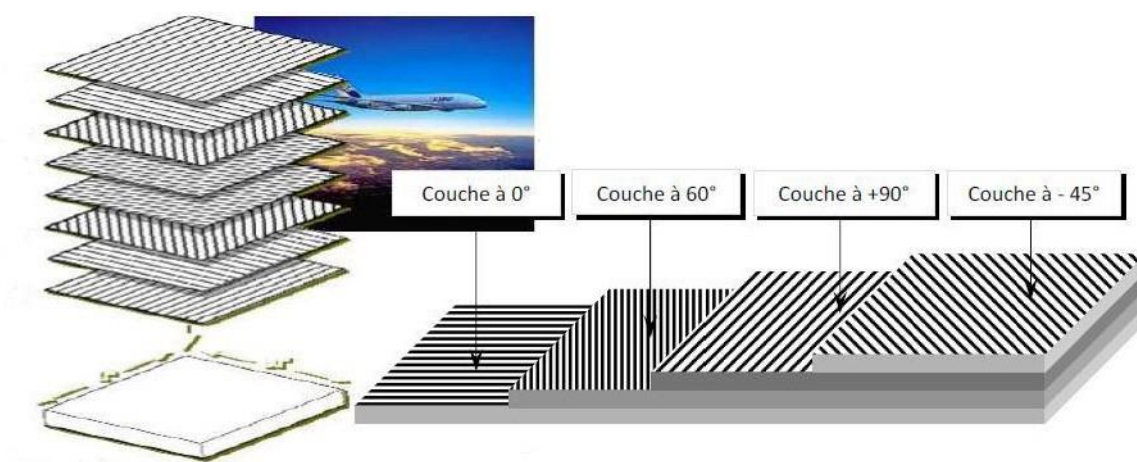


Figure.19.composite stratifiée

Les matériaux de construction :

II. 7. 1. Définition

Les matériaux de construction sont des matériaux utilisés dans le domaine de travaux publics (route, ponts, aéroport...), comme le bois, le verre et l'acier.

On a aussi les dérivés d'argile comme les briques, les carrelages, les tuiles et les éléments sanitaires. [25]

II. 7. 2. Classification des matériaux de construction :

a. Classification scientifique :

D'après la science des matériaux, selon la composition et la structure, ils se classent comme suit :

- Métaux et alliage
- Polymères
- céramiques

b. Matériaux de base et produits :

- Matière première : comme l'argile, calcaires, bois, métaux...
- Produits et composites : comme le ciment (calcaire+argile), le béton...

c. Classification pratique :

- Matériaux résistants : matériaux de construction résistants contre les sollicitations (poids propre, surcharge, séisme...); comme le béton.
- Matériaux de protection : matériaux de construction de protection, en enrobant les matériaux de construction principaux contre les actions extérieurs tels que : enduits, peinture....). [25]

Chapitre III :
Généralité sur les Argiles

Introduction :

L'argile est un des matériaux les plus anciens utilisés par l'être humain.

Les matériaux de construction sont des matériaux utilisés dans les secteurs de la construction : bâtiments et travaux publics par exemple : granulats, liant, béton, bois, verre, l'argile ...etc.)

L'argile fait partie des matériaux de construction les plus anciens au monde.

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'usage de l'argile a une origine très ancienne. Nos ancêtres l'utilisaient déjà à l'époque néolithique pour fabriquer des poteries rudimentaires.

Aujourd'hui. L'argile est utilisée comme composant secondaire ou matière première principale dans la fabrication. En effet les domaines d'application du minéral argileux sont de plus en plus nombreux car il est employé dans plusieurs secteurs industriels dont les plus développés sont l'industrie céramique pour la fabrication des porcelaines, l'industrie agricole pour diluer les pesticides et surtout l'industrie pharmaceutique pour la fabrication des médicaments.

Définitions

Les argiles sont des produits de décomposition des roches siliceuses, par dégradation physique et mécanique puis par altération chimique. [26]

Actuellement, il n'existe pas de définition unique du terme argile. Le mot argile englobe deux connotations, l'une liée à la taille des grains ($<2\mu\text{m}$) et l'autre à la minéralogie. Ce sont des silicates d'alumine hydratés d'une structure feuilletée qu'on appelle phyllosilicates. [27]

Ils sont organisés en couches planes infinies constituées d'unités structurales tétraédriques (T) et octaédriques (O) reliées par leurs sommets. Ce type de structure à très grande surface spécifique associée à des caractéristiques physico-chimiques très particulières, explique la capacité des argiles à admettre de nombreux échanges de cations et d'anions dans le réseau ou adsorbés en surface.

Structure

Une argile est un assemblage entre divers cations et des atomes d'oxygène ou des groupements hydroxyles. Cet assemblage est effectué selon des conditions électriques et géométriques afin de générer deux types de structures, les couches tétraédriques (T) et les couches octaédriques (O).

les couches tétraédriques (T) : sont composés d'un atome de silicium au centre relié à quatre atomes d'oxygène aux sommets (**Figure III.2a**), les trois formant la base

(Ob) sont partagés avec les tétraèdres contigus alors que l'oxygène au sommet dit apical (Oa) est partagé avec un octaèdre.

les couches octaédriques (O) : dont l'adjonction constitue la couche octaédrique, comportent un cation au centre qui peut être l'aluminium et/ou le magnésium et/ou le fer, ... et des atomes d'oxygène ou d'hydroxyle aux sommets (**Figure III.2b**).

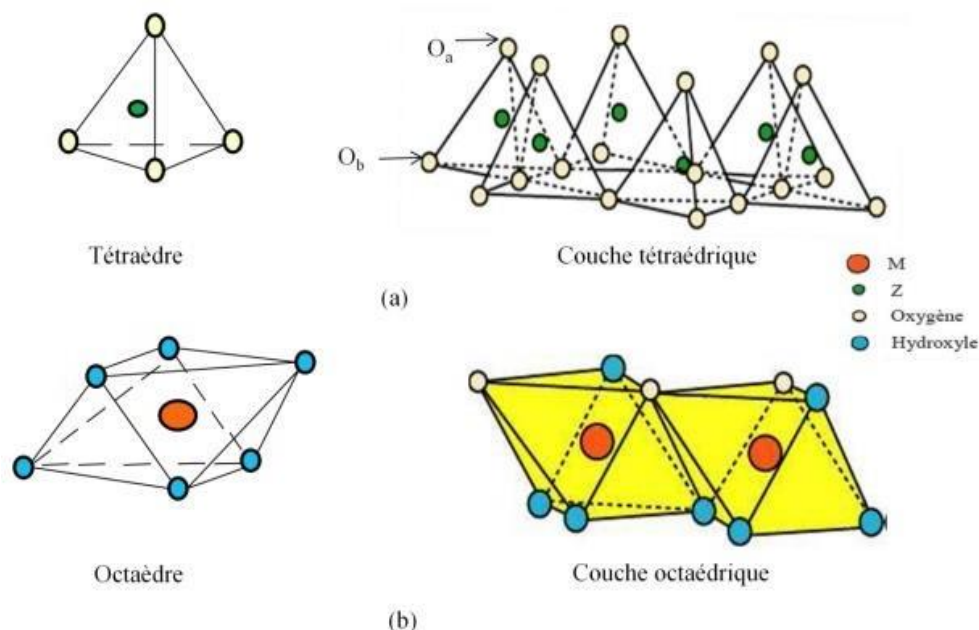


Figure.20. Représentation a) d'un tétraèdre et d'une couche tétraédrique et b) d'un octaèdre et d'une couche octaédrique. [26]

III.3. Les types des minéraux argileux

Selon le nombre des couches octaédriques (O) et tétraédriques (T), on distingue trois principaux types de minéraux (**figure.21**). [28]

Les minéraux de type 1:1 (ou T-O) : dont le feuillet comprend une couche tétraédrique et une couche octaédrique, appelés aussi série à 7Å, correspondent au groupe de la kaolinite.

Les minéraux de type 2:1 (ou T-O-T) : dont le feuillet comprend une couche octaédrique entre deux couches tétraédriques, appelés aussi série à 10 Å, correspondent aux groupes des smectites, vermiculites et illites.

Cette série se divise en deux groupes :

- Groupe avec un espace interfoliaire constant, cas des micas $d = 10 \text{ Å}$ avec des cations K^+ dans l'espace interfoliaire.
- Groupe avec un espace interfoliaire qui varie, cas des smectites et des vermiculites avec $d = 15 \text{ Å}$. [29]

Les minéraux de type 2:1:1 (ou T-O-T-O) : dont le feuillet comprend une couche octaédrique entre deux couches tétraédriques et dont l'espace interfoliaire est rempli par une couche octaédrique, appelés aussi série à 14 Å, correspondent au groupe des chlorites.

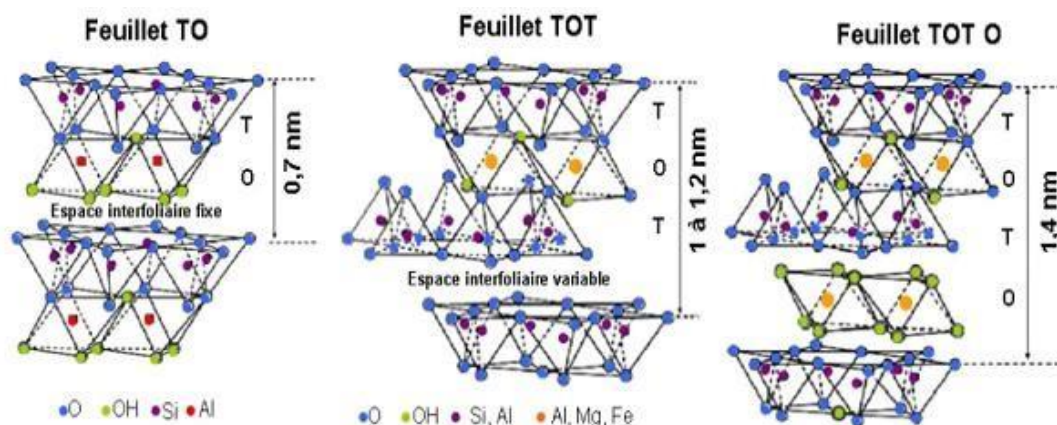


Figure.21.Représentation schématique des structures en feuillets des argiles. [30]

III.4. Classification de constitutions argileuse

Les travaux de l'AIPEA (Association Internationale Pour l'Etude des Argiles)(Cail ère, 1982) et plus tard, ceux de (Pedro, 1994) ont permis d'aboutir à une classification des argiles selon la structure et l'épaisseur du feuillet (**tableau III.1**).

Tableau III.1.Classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs Espèces.

[29]

Groupe de Minéraux Argileux	Espèce Minérale	Structure T=Couche de tétraèdres O = Couche d'octaèdres
Kaolinites	Kaolinite Halloysite Dickite	Minéraux à 2 couches T-O O-T
Smectites Illites Vermiculites Micas	Montmorillone Saponite Beidellite Nontronite Illite Vermiculite Muscovite Biotite	Minéraux à 3 couches T-O-T T-O-T
Chlorites	Chlorite	Minéraux à 4 couches T-O-T-O T-O-T-O

a. Kaolinite

Cette roche argileuse tire son nom du site chinois kao-Ling, où elle fut découverte. La kaolinite est un minéral appartenant au groupe des aluminosilicates. Sa formule idéale est $\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ou $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$.

Morphologiquement, la kaolinite se présente sous forme de particules hexagonales constituées par des empilements de feuillets, [31] C'est l'un des minéraux argileux les plus simples, avec une structure de type 1:1 où l'aluminium (Al^{3+}) et le silicium (Si^{4+}) sont les cations structuraux de base (Figure a).

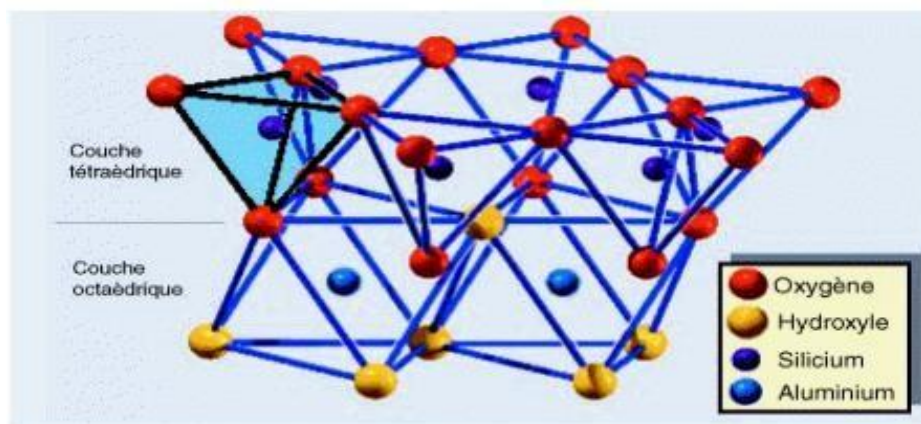


Figure.22. Structure d'un feuillet kaolinite. [32]

b. Montmorillonite

Le nom vient de la localité française de Montmorillon, dans la Vienne où existait un filon aujourd'hui épuisé et de la localité de Sommières, dans le Gard. Il s'agit de minéral phyllithe de couleur blanche à trois couches, notamment la couche octaédrique prise entre deux couches tétraédriques (**figure b**).

La montmorillonite est un minéral composé de silicate d'aluminium et de magnésium hydraté, de formule $(\text{Na},\text{Ca})_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. et appartenant au groupe des smectites, de la famille des phyllosilicates. Elle est une argile de type 2/1.

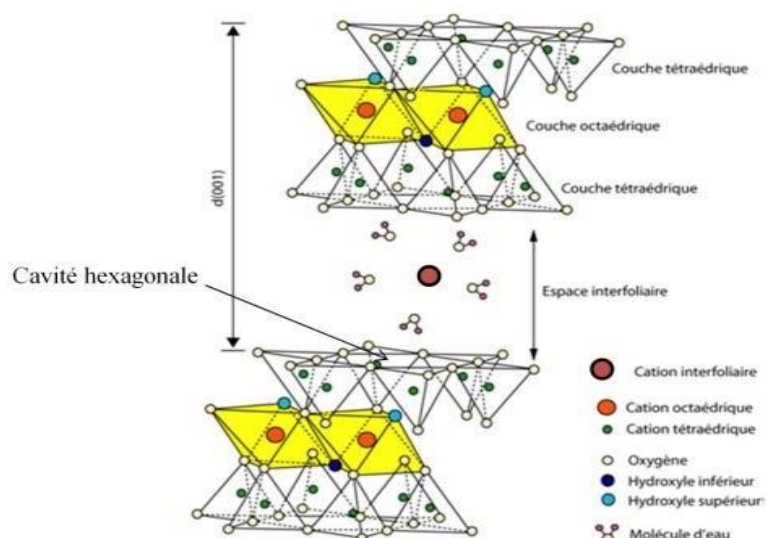


Figure.23. Représentation schématique de la structure d'une montmorillonite. [33]

c. Illite

Le nom Illite vient de l'État américain de l'Illinois, où l'illite a été décrite pour la première fois en 1937. Les illites sont composées de trois couches de phyllosilicates, une couche d'aluminium (Al) entourée de deux couches de silicate (Si) (**figure c**).

Sa formule chimique est $(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$. L'illite est un minéral argileux de type 2/1. Cela signifie qu'un feuillet élémentaire d'illite est formé de trois couches (tétraédrique, octaédrique, tétraédrique TOT).

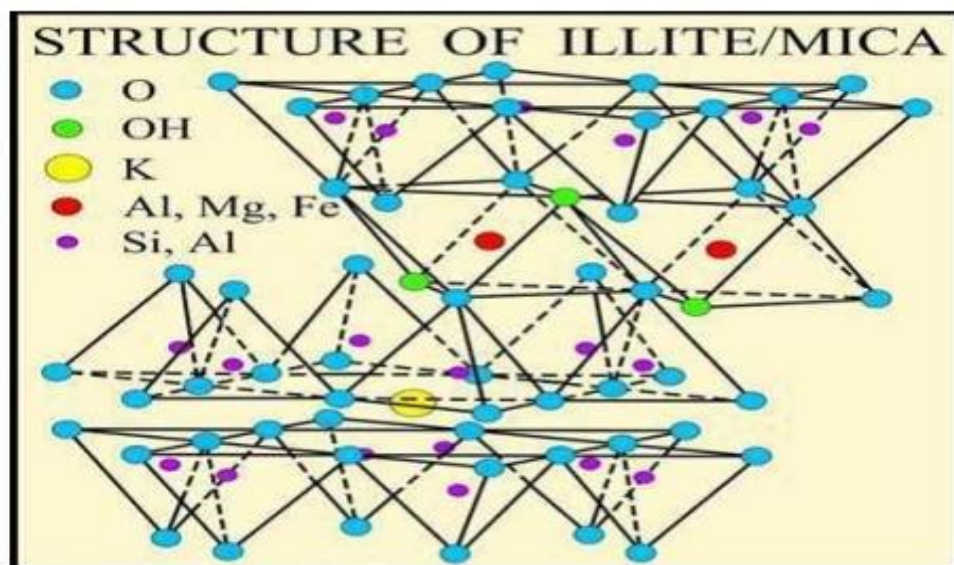


Figure.24. Structure d'un feuillet illite. [34]

d. Chlorite

Le nom « chlorite » vient du latin chloritis (« pierre de couleur verte »), lui-même transcrit du grec $\chiλωρίτις$ (khlôritis). Ce dernier terme dérive de $\chiλωρός$ (chloros), «

vert», en référence à la couleur de ces minéraux. Un chlorite est un minéral aluminosilicaté de fer ou de magnésium (figure d), généralement, de couleur verdâtre, et voisin du mica par sa structure et ses propriétés physico-chimiques. Les chlorites sont produits par diverses réactions minérales, dont la décomposition du mica noir. [35]

sa formule chimique est $(\text{Fe,Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$.

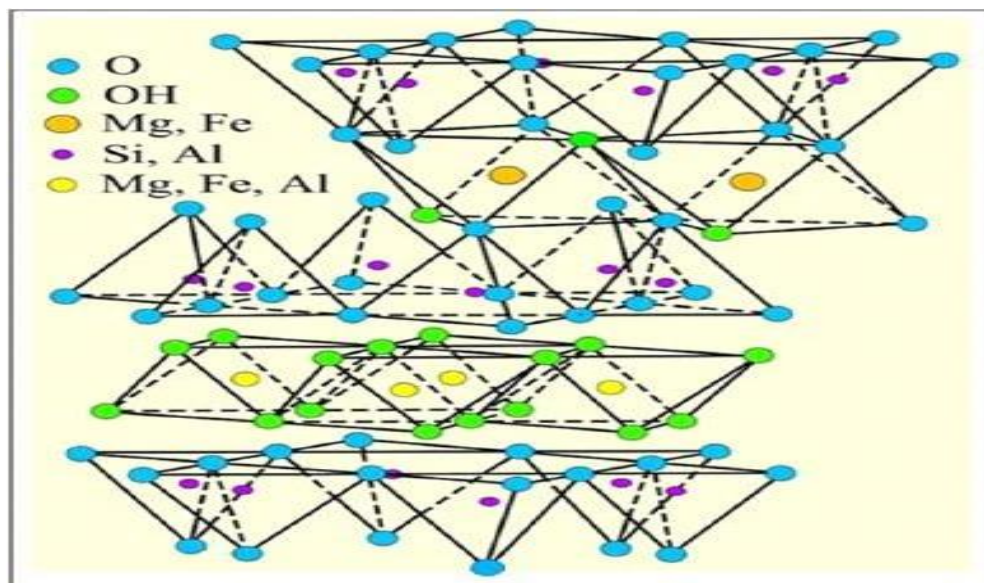


Figure.25. Représentation schématique de la structure de chlorite. [36]

III.5. Propriétés physicochimiques des argiles

Degré d'hydratation : Certains minéraux argileux ont la capacité d'incorporer dans leur structure des molécules d'eau. Cette eau modifie la dimension de l'espace interfoliaire en provoquant son gonflement.

Capacité d'échange cationique (CEC): La CEC se définit comme étant le nombre de cations monovalents qu'il est possible de substituer aux cations compensateurs pour compenser la charge électrique de 100 grammes de minéral calciné et s'exprime en milliéquivalent/100g d'argile calcinée. [37]

Charge des surfaces argileuses : La charge des surfaces argileuses est variable et dépend de la structure du feuillet.

Dans le cas de la kaolinite, le feuillet est toujours neutre. Sa capacité d'échange cationique est très faible.

Pour les Smectites, le feuillet est chargé négativement. Sa capacité d'échange cationique est élevée.

Pour l'illite, le feuillet est chargé négativement, plus élevée que celle des smectites. Sa capacité d'échange cationique est faible. [29]

Surface spécifique des argiles : la surface spécifique (SS) appelée aussi « Aire massique » représente la surface totale (AS) par unité de masse (M) et on l'exprime généralement en m^2/g . La surface des minéraux argileux est supérieure à celles de minéraux de même taille mais de forme différente [38]. La surface spécifique dépend de la forme de la particule.

Adsorption: L'adsorption est l'une des méthodes de séparation les plus efficaces pour enlever le dilué polluants ; et elle fournit les itinéraires pour la régénération, le rétablissement et la réutilisation du matériel adsorbant [39].

La technologie d'adsorption est considérée comme une technologie plus efficace et la plus prouvée ayant l'application potentielle dans l'eau et le traitement des eaux résiduaires [40]. L'adsorption sur argile a fait l'objet de plusieurs travaux [41].

Les références :

- [1] AbakarAli, thèse de Doctorat, université de lorraine ,28 juin 2018, pv (5).
- [2] Jonathan wood «the topteradvnecs in materials science », materials to day vol 11, n , 1-2-19 December 2007, p -40-45 (liver en lingne).
- [3] Michel Dupeux «livre _Aide-mémoire, science des matériaux, 2e eddition» professeur à l'université joseph Fourier de Grenoble, paris, 2004,2008, p 2, 13,16, 249, 250,251 ,252 253, 256 ,257 ,258 ,259 ,261 ,262 ,263 ,264 ,265 .
- [4] [https://fr _Wikipédia, org /wiki/liste_de_proporietes-d%27un matériau.](https://fr.wikipedia.org/wiki/liste_de_proprietes-d%27un_mat%C3%A9riau)
- [5] Université de limoges (FNSCI), les matériaux, p 7 ,13.
- [10] Major textbooks ou inorganic chemistry , [1]however , decline to define inorganic compounds :Halleman ,A ,F ; wiberg ,E.«inorganic chemistry» academic press: an Francisco ,2001,ISBN0-12- ,352651-5[Green wood ,8 ,Earnshaw2nd].
- [11] [public .iutenligne .net/ chimie /Valls / chimie _du solide _ composes htm.](http://public.iutonline.net/chimie/Valls/chimie_du_solide_composes.htm)
- [12] [https://www.eregeek .com / chimie inorganique.](https://www.eregeek.com/chimie_inorganique)
- [13] Mémoire anline comme Biomatériaux pour la reconstruction au sensé, Mounir El hassoumi.
- [14] Université d'Oran des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf USTO-MB, cours en ligne USTO-MB-2014-2015, structures et propriétés des Biomatériaux, présentés par Mokaddem Allal et Boutaous Ahmed.
- [15] Gendre, L. (2011). Les grandes familles de matériaux composites. *Document de cours, Ecole Nationale Supérieure de Cachan, France.*
- [16] Satyanarayana, K. G., Arizaga, G. G., & Wypych, F. (2009). Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—an overview. *Progress in polymer science*, 34(9), 982-1021.
- [17] Bahlouli, N. (2014). Cours Matériaux Composites DESS Mécanique avancée et Stratégie industrielle. *IPST-Université Louis Pasteur* [http://starpsi. free. fr/TIPE/ressources_tipe/Bo% EEte, 20, E0.](http://starpsi.free.fr/TIPE/ressources_tipe/Bo%EEte,20,E0)

- [18] Jean-M Berthelot mécanique et analyse des structure 5^eédition 2012 Lavoisier
Paris IBBN : 978-2-7430-14507
- [19] Dupeux, M. (2004). *Science des matériaux*. Dunod.
- [20] Jacquinet, P. (1991). *Utilisation des matériaux composites*. Hermès.
- [21] Gornet, L. (2008). Généralités sur les matériaux composites.
- [22] Paris, C. (2011). *Étude et modélisation de la polymérisation dynamique de composites à matrice thermodurcissable* (Doctoral dissertation).
- [23] Berreur, L., de Mailard, B., & Nösperger, S. (2002). L'industrie française des matériaux composites. *Etude stratégique (Rapport de synthèse) réalisée par Nodal consultants pour le compte de la Digitip/SIM*, 14.
- [24] Cugnoni, J. (2005). *Identification par recalage modal et fréquentiel des propriétés constitutives de coques en matériaux composites* (No. THESIS). EPFL.
- [25] Matériaux de construction 01, Docteur Toufik BOUBEKEUR. Mai 2017
- [26] Aghzzaf, A. A. (2014). Argiles en tant que réservoirs d'inhibiteurs de corrosion métallique issus de ressources naturelles dans des peintures pour la protection des métaux (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- [27] Hilmi, M. A. (1977). *Métallurgie*. Ed. Engelo, Egypt, 100-300.
- [28] Aliprandi, G., Porfirione, M. A., Jouenne, C. A., & Beruto, D. (1979). Matériaux réfractaires et céramiques techniques (I. Eléments de céramique et de la technologie). *SEPTIMA*, Paris, 612p.
- [29] Benguella, B. (2009). *Valorisation des argiles Algériennes application à l'adsorption des colorants textiles en solution* (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat de l'Université de Tlemcen).
- [30] Clauer, N. (2005). Les minéraux argileux. *L'actualité chimique*, (285-286), 93.
- [31] Xianfeng, L., Saiyouri, N., & Yves Hicher, P. Une approche microstructurale pour le transfert du Plomb dans une bentonite consolidée et saturée.
- [32] Chamley, H., Paquet, H., & Millot, G. (1962). Minéraux argileux de vases méditerranéennes. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires*, 15(4), 161-169.

- [33] Couch, E. L., & Grim, R. E. (1968). Boron fixation by illites. *Clays and clay minerals*, 16(3), 249-256.
- [34] Veyret, P. (1954). Pomerol (C.) et Fouet (R.).—Les Roches Sédimentaires. *Revue de Géographie Alpine*, 42(3), 587-587.
- [35] de Lapparent, A. (1890). *Cours de minéralogie*. Librairie F. Savy.
- [36] EL HACHMI, A. (2013). Argile et minéraux argileux : propriétés physico-chimiques et propriétés et propriétés colloïdales. *Mémoire Online*.
- [37] Célini, N. (2004). *Traitement des argiles par plasma froid pour leur utilisation comme charges de nanocomposites argile-polymère* (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat Ph. D soutenu en à l'Université du Maine Faculté des Sciences UMR CNRS 6120 Polymères, Colloïdes, Interfaces).
- [38] Jeans, C. V. (1989). Eslinger E. & Pevear D. 1988. *Clay Minerals for Petroleum Geologists and Engineers*. SEPM Short Course Notes no. 22. Ix+ 405 pp. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Price US \$33.00 (paperback). ISBN 0 918985 000. *Geological Magazine*, 126(3), 324-324.
- [39] Kumar, P. S., Abhinaya, R. V., Lashmi, K. G., Arthi, V., Pavithra, R., Sathyaselvabala, V., ... & Sivanesan, S. (2011). Adsorption of methylene blue dye from aqueous solution by agricultural waste: Equilibrium, thermodynamics, kinetics, mechanism and process design. *Colloid journal*, 73(5), 651-661.
- [40] Venkat Mohan, S., Krishna Mohan, S., & Karthikeyan, J. (2000). *Adsorption mechanism of acid-azo dye from aqueous solution onto coal/coal based sorbents and activated carbon: A Mechanist Study. Analytical techniques in Monitoring the Environment*. Tirupathi, India, Student Offset Printers.
- [41] Dali-Youcef, Z., Bouabdasselem, H., & Bettahar, N. (2006). Élimination des composés organiques par des argiles locales. *Comptes Rendus Chimie*, 9(10), 1295-1300.

Chapitre IV:
La Partie Pratique

PARTIE 01 : Principe, Outil et Appareillage

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, structurales et morphologiques. 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'analyses dans l'appareil de spectroscopie infrarouge (IRIF) l'effet de ces composants, l'appareil à rayons X (DRX), la spectroscopie à rayons X avec le photoélectron (XPS), et le dispositif d'analyse thermogravimétriques (ATG).

Préparation de l'échantillon argileux :

Source :

L'échantillon "L'argile rouge" a été prélevée au niveau de la région de Maadid M'SILA.

Les échantillons "L'argile Verte" et "L'argile Jeune" ont été prélevés au niveau de la région d'OULED TABANE SETIF.

Concassage, Séchage et broyage :

L'échantillon prélevé a subi 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),

Classification selon la couleur :

L'argile ne peut pas être identifiée par sa couleur, la couleur peut être attribuée à plusieurs types d'argile. La différence de couleur observée est en fonction de la concentration en oxyde de fer.

Verte :

L'argile verte a une faible teneur en argile et elle est généralement de la montmorillonite, de l'élite et de la smectalite (**Figure.26**).



Figure.26.L'argile verte.

Rouge :

Habituellement, cette espèce est riche en oxyde de Fer, qui est fortement reminéralisé .Il est idéal pour un usage externe sur peau irritée, fatiguée ou terne qui adoucit et purifie (Figure.27).



Figure.27. L'argile rouge.

Jaune :

Ces bosses riches en oxyde de Fer et magnésie, ce type peuvent être utilisées pour apaiser beaucoup de douleurs (articulaires, musculaires) et adoucir la peau: Lorsqu'il est appliqué dans des masques, il est apprécié avec une appréciation particulière par la peau et les cheveux normaux(Figure.28).



Figure.28. L'argile jaune.

Méthodes de caractérisation:

Méthode de la diffraction par les rayons X

La diffraction des rayons X est l'un des outils les plus utilisés dans la caractérisation des minéraux argileux. Elle permet d'identifier la nature des minéraux argileux composant les phases argileuses ainsi que les minéraux qui leur sont associés (impuretés). La technique de diffraction des rayons X a pour but la détermination de l'état de cristallisation des matériaux.

Le principe de la DRX basé sur la loi de Bragg:

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

Avec :

λ : la longueur d'onde du rayonnement utilisé;

θ : l'angle de réflexion;

d : la distance réticulaire entre deux plans atomiques adjacents d'une même famille;

n : l'ordre de réflexion.

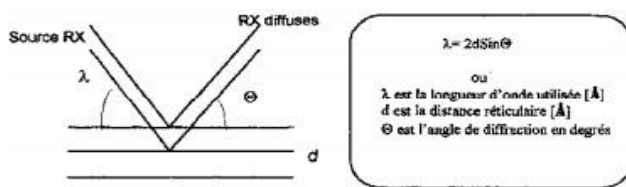


Figure.29. Illustration de la loi de Bragg.[1]



Figure.30.Appareil d'analyse Diffractométrie Rayon X (DRX). [2]

IV.3.2.Méthode de la fluorescence

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Cette technique peut être utilisée pour des matériaux très variés : minéraux, céramiques, ciments, métaux, huiles, eau, verres... sous forme solide ou liquide.



Figure.31.Appareil d'analyse fluorescente X (FX).[2]

Infrarouge

Les spectres infrarouge à transformée de FOURIER (IRTF) ont été effectués à l'aide d'un appareil de type FTIR-8300 dans la gamme des longueurs d'onde de 500 cm^{-1} à 4000 cm^{-1} . Les pastilles ont été réalisées à partir d'un mélange intime d'échantillon tamisé à 50 μm (0.08 mg) et KBr (0.01 mg) sous une pression de 80Pa.



Figure.32.Appareil d'analyse d'infrarouge.



Figure.33.pastillage.

Perte au feu PEF

La perte au feu est le pourcentage de matière éliminée au cours de la calcination à l'air d'un échantillon. Par calcination à l'air, le gaz carbonique et l'eau sont volatilisés. Les éléments oxydables éventuellement présents peuvent être oxydés.

Matériels

- Balance d'une précision de 0,1 mg.
- Perleuse de marque FLUXANA VULCAN (marque allemand) comme montré dans la **figure.34.**
- Calcinateur de marque CARBOLIT une marque anglaise comme montré dans la **figure.35.**
- Appareils d'analyse DRX et FX (**figure.36.**).



Figure.34. Perleuse Vulcan FLUXANA.[3]



Figure.35. Calcinateur de marque CARBOLITE[3].



Figure.36. Appareil d'analyse Diffractométrie Rayon X (DRX) et l'appareil d'analyse fluorescence X (FX)[2].

Mode opératoire :

On prend 200 g de l'échantil on pesé dans le laboratoire en balance de précision de 0,1 mg et on le met dans un Creuset en Platine Pt 95%.selon la norme européenne NF EN 196-2 et la Norme Algérienne NA-235.

Peser et noter que la masse d'un creuset en platine est **M1**.

Peser et noter la masse de l'échantillon est **Pe**.

Placer la capsule de 2g dans le four-à moufle à 950°C +/- 25°C.

Sortir le creuset du four et laisser refroidir quelques minutes dans un dessiccateur.

Peser et noter la masse de la capsule après perte au feu en m_3 selon la formule:

$$PAF = [(M1+Pe) - M_3] \times 100 / Pe$$

Dont :

PAF : c'est la perte au feu

M3 : c'est la masse finale (creuset + masse de l'échantillon) calcinée en g

On met 01 g de l'échantillon calciné avec 7g d'un déliens (Dilythiomthetaborate) et on met le mélange dans un creuset puis dans une perleuse afin de préparer la perle qui nous permet d'analyser l'échantillon soit par Fluorescence X (FX) soit par (DRX).

Caractérisations physico-chimiques du matériau

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 apportons trois suspensions en argile (vert , rouge , jaune) d'un diamètre de $D=0,005\text{mm}$ (Um) avec une de 10g avec une quantité de l'eau distillé (10%) d'environ 200ml , et liaisons les solutions pendant une durée estimée à 4 heures , sous agitation et à une température normale de 25°C pour permettre aux ions de passer en homogénéité de la solution d'argile ; la lecture est faite directement sur un PH-mètre.



Figure.37.Etapes des mesures de PH.

Taux d'humidité

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

Mode opératoire:

- Placer une quantité déterminée du matériau humide à tester dans une boîte à pétri numérotée préalablement et tarée.
- Peser l'ensemble et l'introduire dans une étuve pendant 24 heures sous une température de 105°Celsius.
- Laisser refroidir plus de 12h.

Passer la quantité d'argile refroidie dans l'analyseur d'humidité.



Figure.38.Appareil d'analyse d'humidité.

Densité

La densité apparente d'un échantillon est égale au rapport entre sa masse et le volume qu'elle occupe.

$$d = (\text{masse d'un volume donné de l'échantillon}) / (\text{masse d'un même volume d'eau}).$$

Mode opératoire :

- Peser 64g de l'échantillon lavé et séché jusqu'à trait de jauge inférieur, avec benzène, kérosène ou pétrole ; le mettre dans un marbre entre 22 et 18°C jusqu'à la stabilité du niveau ; on le réajuste si nécessaire.
- Introduire les 64g de l'échantillon dans le densimètre à l'aide d'un entonnoir.
- Tasser doucement en tapotant soigneusement le pycnomètre sur la paillasse en plaçant un chiffon dessous pour éviter de chasser toutes les bulles d'air.

CHAPITRE IV : Partie Pratique

- Laisser le pycnomètre 20min jusqu'à le tassement de l'échantillon.
- Lire le nouveau niveau du volume du trait de jauge. (Du zéro vers le niveau atteint du mélange).
- La masse de l'échantillon = la masse du mélange sur le pycnomètre (benzène et échantillon)
- La masse du benzène pure sur le pycnomètre.

Calcul de la densité :

La densité= la masse de l'échantillon correspondant / Le volume du mélange (benzène et échantillon) atteint sur le pycnomètre.



Figure.39.Pesant et Pycnomètre.

Indice de gonflement

La mise en suspension, l'argile peut fixer une quantité notable d'eau, ce qui a pour effet d'écarter les uns des autres en traduisant ainsi un gonflement.

Nous remplissons le trois dans une éprouvette graduée de 50ml d'eau distillée et nous ajoutons 0,5g d'argile (vert, rouge, jaune) pour chaque tube.

Après 45min, nous ajoutons encore 0,5g d'argile .Après 2H, on note le volume de gonflement. L'indice de gonflement est mesuré par la formule suivant :

$$Ig = \frac{\text{Volume de l'échantillon} - \text{Volume de l'eau}}{\text{Masse de l'échantillon}} \times 100$$

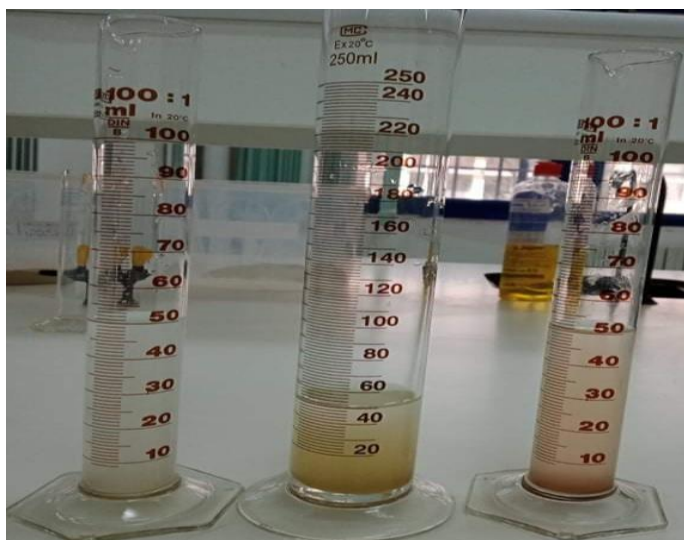


Figure.40. Mesure L'indice de gonflement.

Colloïdalité

Nous mettons une quantité de 5g d'argile est mise en suspension dans 100ml d'eau distillée, on ajoute 0.2g de MgO qui permet la défloculation. Après une agitation de 5 minutes, le mélange est placé dans une éprouvette graduée. Après 24 heures, on mesure le volume V (ml) occupé par le surnageant. La colloïdalité (C%) est mesurée suivant la formule:

$$C(\%) = 100 - V$$

V=volume occupé (flottant).



Figure.41. Mesure la Colloïdalité.

Limite d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg définissent la plasticité et la liquidité d'un sol. Une limite d'Atterberg correspond à la teneur en eau à laquelle un échantillon de sol passe d'une consistance à une autre.

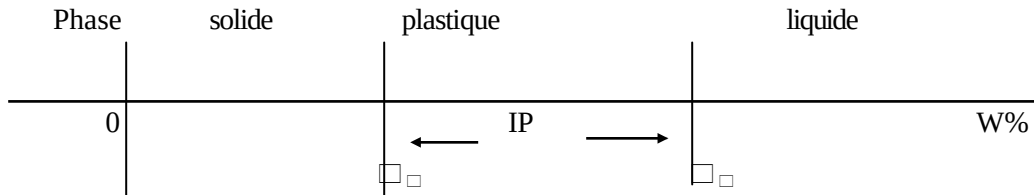
Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre :

CHAPITRE IV : Partie Pratique

- ✓ Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité).
- ✓ Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité).

Ces deux limites sont utilisées afin de déterminer la classification des sols, elles s'appliquent sur la fraction de sol passant au travers un tamis de 400 μm .

Le schéma ci-dessous démontre le domaine de plasticité par les trois différentes phases (indice de plasticité IP).



L'indice de plasticité ; $IP = \square_{\square} - \square_{\square}$ définit l'étendue du domaine plastique.

Ces essais sont très empiriques mais ils ne nécessitent que peu de matériels, aussi, des relations existent entre ces limites et les propriétés des argiles.[4]

Principe de la méthode:

L'essai s'effectue en deux phases :

Recherche de la limite de liquidité à l'aide de l'appareil de Casagrande.

Recherche de la limite de plasticité par formation de rouleaux de 3mm de diamètre.

Mode opératoire:

- Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placée dans une coupelle se forme sur 1 cm lorsque celle-ci et son contenu sont soumis à 25 chocs répétés. (appareil de Casagrande : limite de liquidité).
- Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée et confectionnée manuellement se fissure. (Petits rouleaux de 15 cm de long et de 3 mm de diamètre).



Figure.42.Matériel utilisé pour déterminer la limite d'Atterberg.

La granulométrie.

Le matériau d'étude est argileux, L'analyse granulométrique d'un sol consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules.

Partie02: Résultats et discussion

Analyse minéralogique DRX :

Les résultats pris sont des analyses faites par diffractométrie rayon X pour déterminer les composants minéralogique de l'argile **verte, jeune et rouge**. Ce type d'Analyse chimique a été réalisé au laboratoire de l'usine LCM.

Tableau. IV.1.Analyses chimiques DRX des argiles.

Sample Name	Calcite(caco3)	Dolomite	Quartz(sio2)	Pyrite-(Fes2)	Illite	Chlorite	Kaolinite	Albite	CO2_XRD
AJ	9.82	0	18.62	0	43.45	0	9.04	19.07	4.32
AV	18.93	3.86	27.04	0.37	27.93	3.1	14.28	4.47	10.17
AR	31.06	10.3	11.94	0.43	31.44	3.17	6.19	5.46	18.57

Les diffractogrammes ont été obtenus à partir des échantillons désorientés (placés directement sous forme de poudre dans un porte-échantillon classique).Le diagramme des RX de l'argile jaune, verte et rouge est illustré par les courbes (**Figure.44, Figure.45 et Figure.46**).

L'analyse spectrale de l'argile jaune indique qu'elle est composée de Quartz(SiO_2), $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4$, Il révèle principalement la présence de un pic intenses, l'un correspond à la Quartz(SiO_2), ce qui implique que notre argile est hétérogène.

L'analyse spectrale de l'argile verte indique qu'elle est composée de Quartz(SiO_2), Calcite $\text{Ca}(\text{CO}_2)$, Il révèle principalement la présence de deux pics intenses, l'un correspond à la Calcite et l'autre à un mélange de Quartz, ce qui implique que notre argile est hétérogène.

L'analyse spectrale de l'argile rouge indique qu'elle est composée de Calcite $\text{Ca}(\text{CO}_3)$, Dolomite(C_2CaMgO_6), $\text{Cl}_8\text{Cd}_6\text{H}_{72}\text{O}_{73}$, $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_4\text{O}_4$, Il révèle principalement la présence de deux pics intenses, l'un correspond à la Calcite et l'autre à un mélange deDolomite, ce qui implique que notre argile est hétérogène.

Ces résultats sont en parfait accord avec les observations au LCM. La fraction argileuse de notre matériau de l'argile verte est constituée de Quartz et l'argile rouge est Calcite et Dolomite et l'argile jaune est constituée de Quartz et comme impureté majeure dans notre échantillon, cela confirme les résultats de la Fluorescence X qui montre des proportions élevées de SiO_2 (Quartz) et de Dolomite.

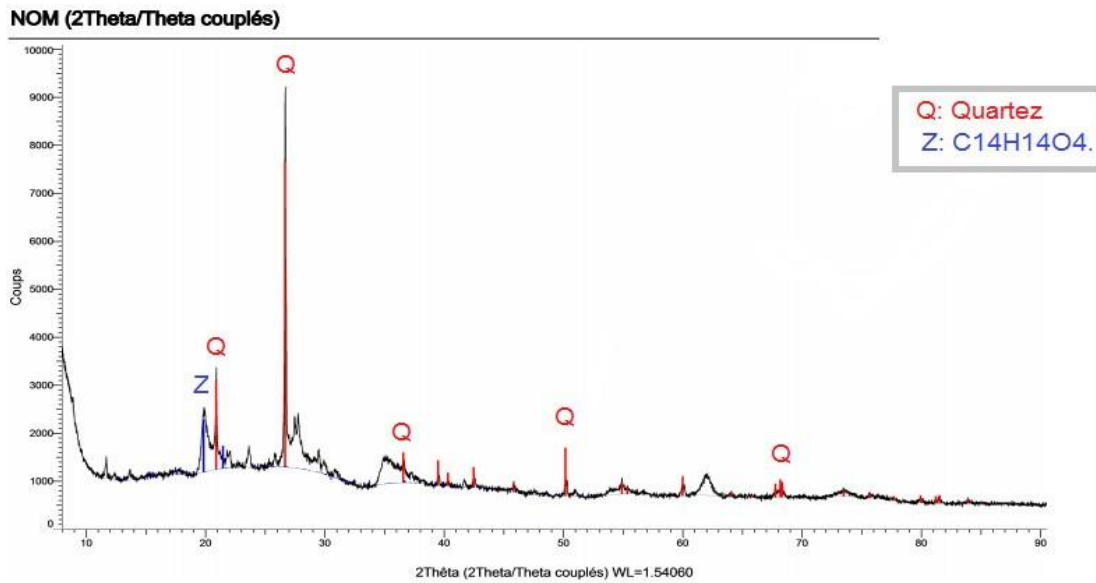


Figure.43. Histogramme Des analyses minéralogique DRX de l'argile jaune.

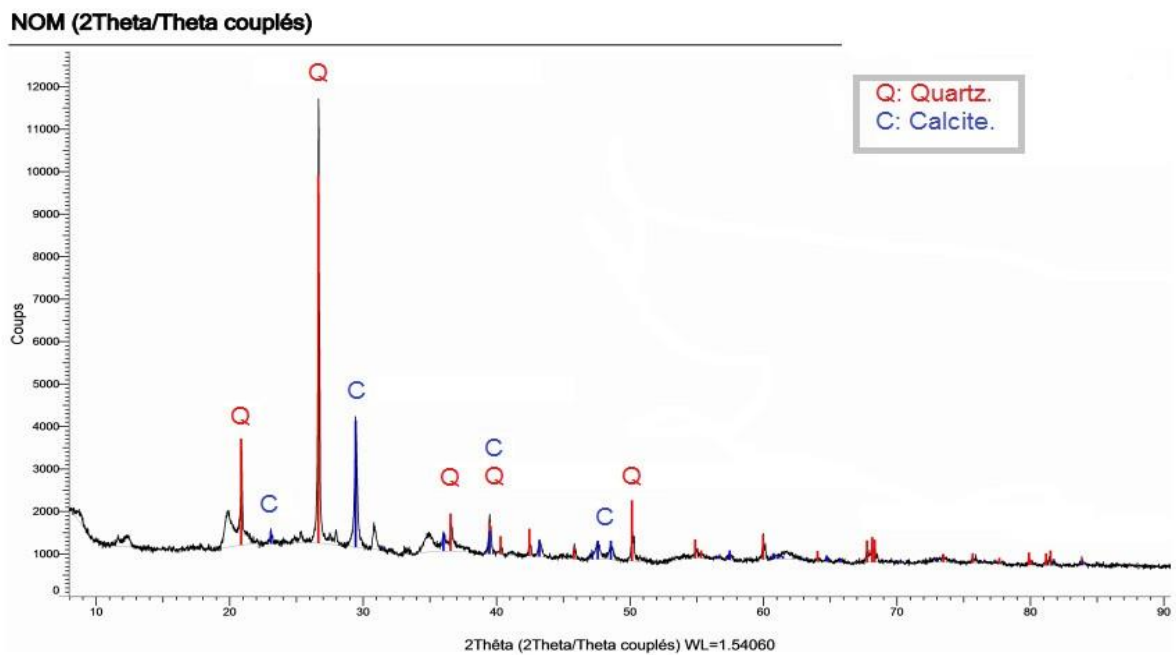


Figure.44. Histogramme Des analyses minéralogique DRX de l'argile verte.

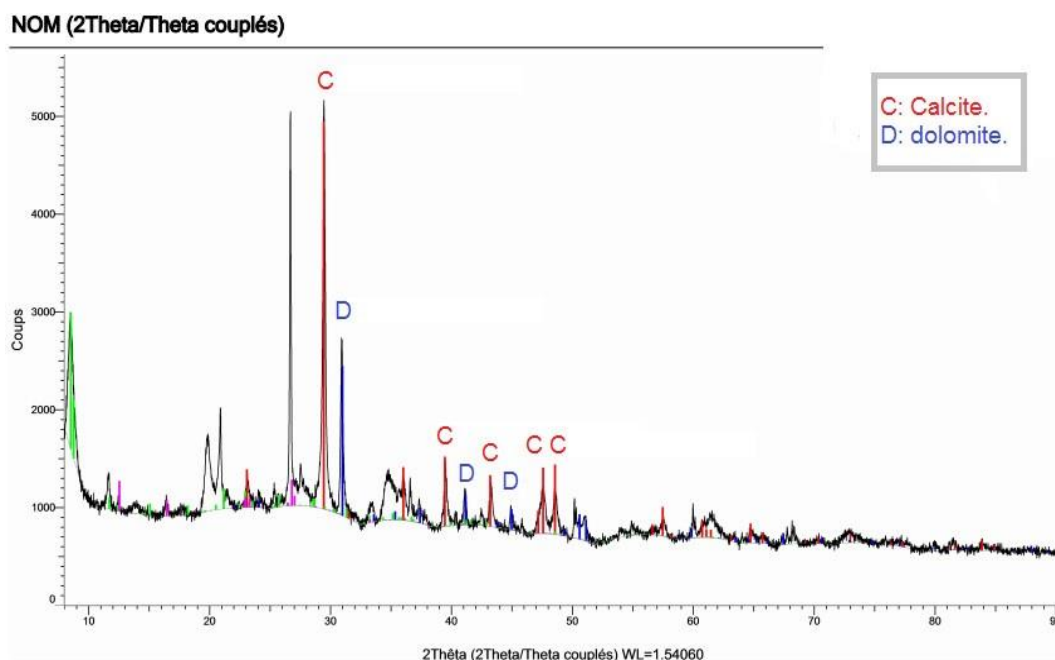


Figure.45. Histogramme Des analyses minéralogique DRX de l'argile rouge.

Analyse des compositions chimiques par fluorescence X

L'analyse chimique élémentaire de l'échantillon d'argile a été effectuée à l'aide d'un Spectromètre à fluorescence X. Ce type d'Analyse chimique a été réalisé au laboratoire de l'usine LCM.

Tableau .IV.2.Composition chimique élémentaire de l'échantillon argileux.

CODE	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O
AR	38.41	10.31	4.53	14.71	7.41	3.21	2.86	0.05
AV	48.86	14.89	6.34	8.43	2.66	1.02	1.98	0.75

Après un séchage, broyage, et analyse spectrométrique à fluorescence X, les compositions chimiques des différentes variantes sont résumées au **tableau IV.2.**

La Silice et l'Aluminium: ces éléments constituent la structure de l'argile. Le pourcentage de ces compositions est très important, ceci indique la présence de Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). En plus de cela, la présence de calcium avec un pourcentage de (14.71 % et 8.43

%) indiquant que les échantillons d'argile (rouge et verte respectivement) sont riches en calcium (CaCO_3). Le rapport Alumine/silice, donne une idée de la perméabilité à l'eau et à l'humidité, Plus ce rapport est élevé, plus la perméabilité est élevée[5]. Dans notre cas, les rapports sont petits $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 0.27$ (Argile rouge), $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 0.30$ (Argile verte). Ces

faibles valeurs sont en accord avec le faible pourcentage d'humidité 3.96 % (argile rouge) et 3.77 % (argile verte).

La composition globale des autres oxydes (Fe_2O_3 , MgO , K_2O et Na_2O) atteint un pourcentage de 14.85% (argile rouge) et 11.73% (argile verte) ce qui montre que les argiles ne sont pas pures [6]. Les rapports d'argile $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ égale 3.73 et 3.28 rouge et verte respectivement (substitution maximale de Si^{4+} par Al^{3+}) les valeurs sont supérieures à la valeur classique des bentonites qui est de 2,7. Cette différence indique la présence de Quartz libre dans les argiles rouge et verte en grande proportion.

3. Infrarouge (IR) :

La spectroscopie Infra Rouge a été utilisée pour compléter l'analyse de l'échantillon d'argile. Les spectres obtenus sont illustrés par **les figures (46), (47) et (48)**. On constate que :

L'argile jaune :

- Les pics qui s'étalent entre $3200\text{-}3800\text{ cm}^{-1}$, situés à $3620,1\text{ cm}^{-1}$ et $3417,6\text{ cm}^{-1}$ correspondent aux vibrations d'élongation des groupements OH interne.
- Le pic qui s'étale entre $1600\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ peut être attribuée aux vibrations de valence du groupement OH de l'eau de constitution, en plus des vibrations de liaison de l'eau adsorbée situées à $1649,0\text{ cm}^{-1}$.
- Les pics situés entre 1400 et 1500 cm^{-1} sont attribuées aux vibrations de déformation des groupes CH_3 situés à $1442,6\text{ cm}^{-1}$.
- Le pic $877,6\text{ cm}^{-1}$ correspond à la présence de carbonate de calcium CaCO_3 .

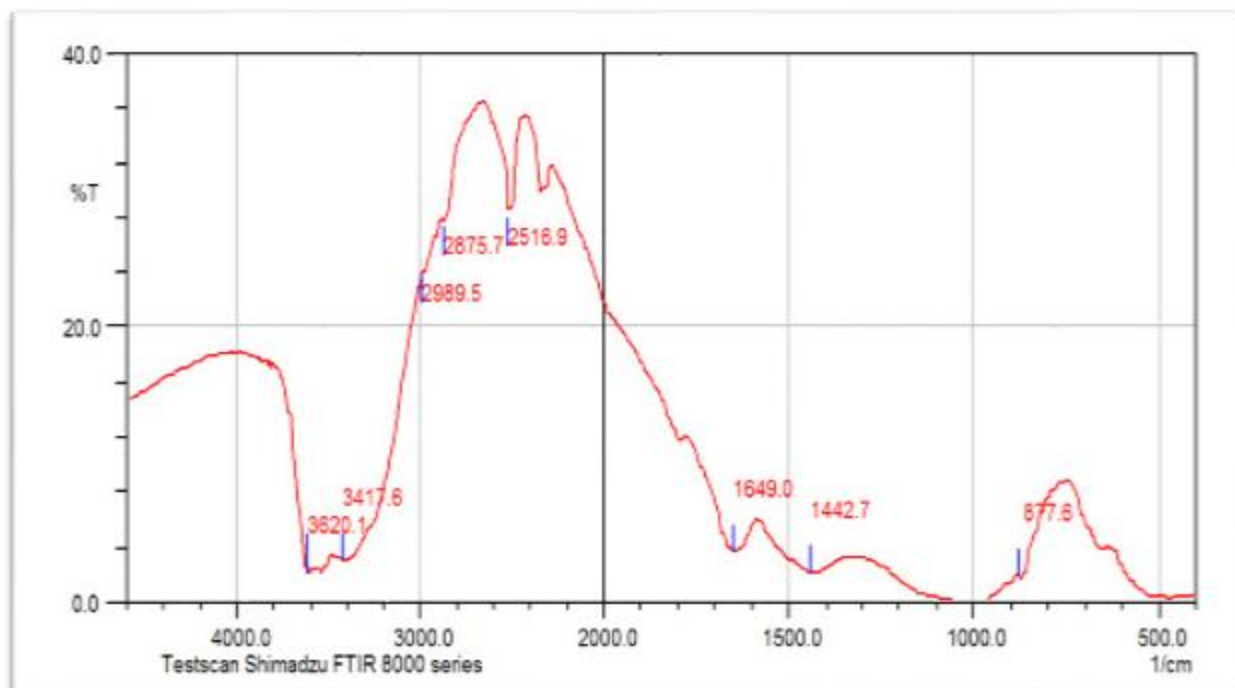


Figure.46. Spectre Infrarouge de l'argile jaune.

L'argile verte :

- Les pics qui s'étalent entre $3200\text{--}3800\text{ cm}^{-1}$, situés à 3397.3 cm^{-1} , 3421.5 cm^{-1} et 3620.1 cm^{-1} correspondent aux vibrations d'élongation des groupements OH interne.
- Le pic qui s'étale entre $1770\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$ situés à 1797.5 cm^{-1} peut être attribuée aux vibrations de valence du C=O élongation.
- Le pic 871.8 cm^{-1} correspond à la présence de carbonate de calcium CaCO_3 .
- le pic d'absorption à 779.2 cm^{-1} en accord avec la DRX indiquant la présence de la Quartz dans l'argile.

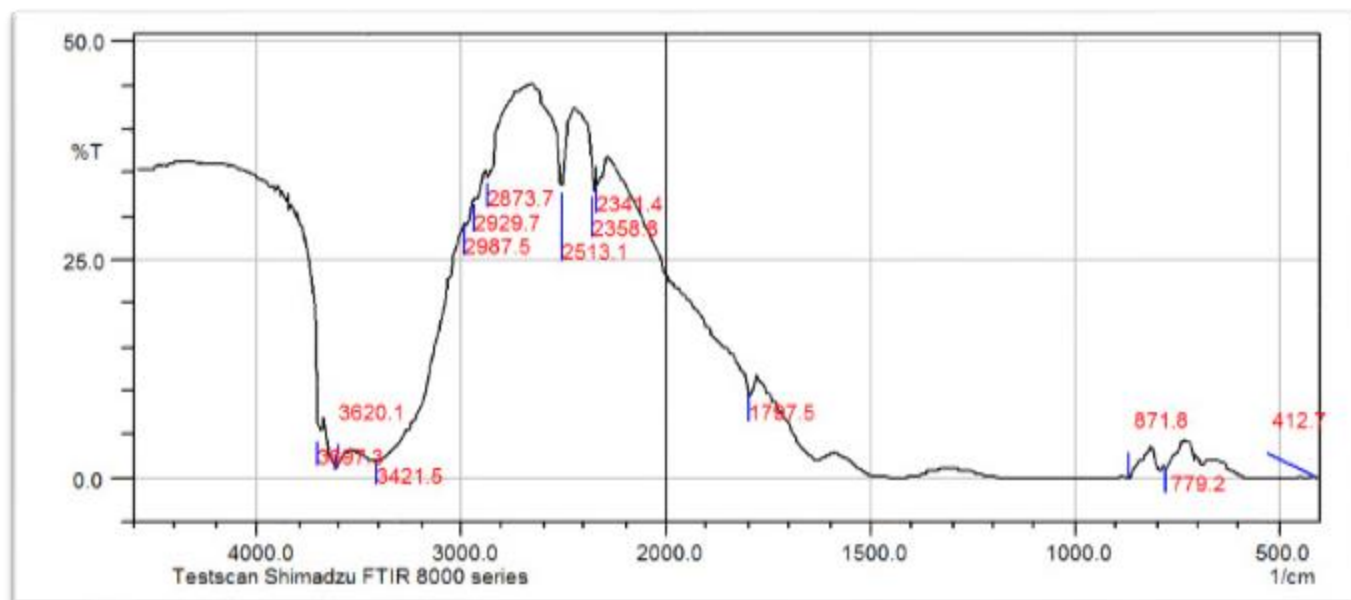


Figure.47. Spectre Infrarouge de l'argile verte.

L'argile rouge :

- Les pics qui s'étalent entre 3200-3800 cm^{-1} , situés à 3633.6 cm^{-1} et 3442.7 cm^{-1} correspondent aux vibrations d'élongation des groupements OH interne.
- 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 adsorbée situées à 1645.2 cm^{-1} .
- Les pics situés entre 900-1200 cm^{-1} correspondent aux vibrations de valence de la liaison Si-O situés à 916.1 cm^{-1} et 1035.7 cm^{-1} .
- Le pic 844.8 cm^{-1} correspond à la présence de carbonate de calcium CaCO_3 .

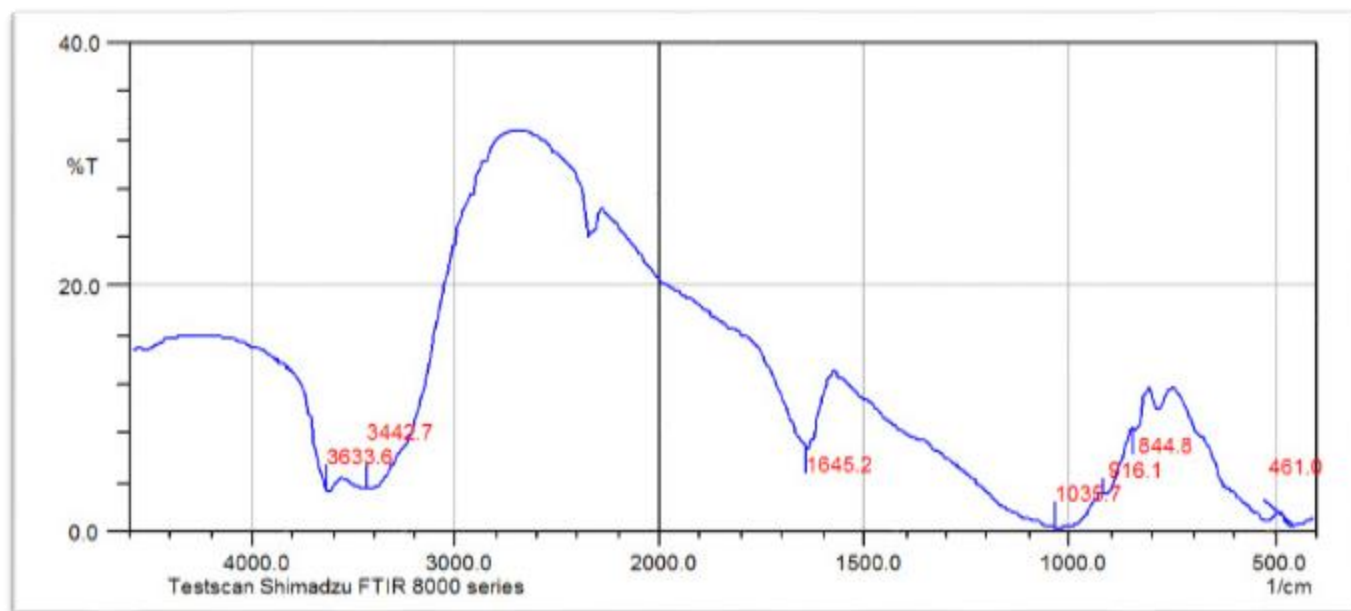


Figure.48.Spectre Infrarouge de l'argile rouge.

Caractérisations physico-chimiques du matériau

Le **tableau (IV.3)** réunit les valeurs des différents paramètres relatifs à notre échantillon d'argile. Nous remarquons que :

- les valeurs du pH obtenues des trois argiles étudiées, révèlent la basicité des échantillons d'argile qui seraient due aux sels solubles et à caractère basique comme les carbonates et bicarbonates alcalins ou les silicates, et qui rentrent généralement dans la composition de l'argile.
- Les valeurs d'humidité 7.23%, 3.77% et 3.96%(jaune, verte et rouge respectivement) sont faibles, cela explique le caractère non hygroscopique.
- L'indice de gonflement des échantillons d'argile atteint 58.57, 54.08 et 55.39 (jaune, verte et rouge respectivement). Ces échantillons sont à gonflement moyen.[7]
- La valeur de la colloïdalité d'argile jaune, 19%, explique la faible ionisation des particules entrant dans la constitution de l'argile. Et les valeurs de la colloïdalité, 86.5% et 94.4%, expliquent la forte ionisation des particules entrant dans la constitution des argiles (verte et rouge respectivement).
- La perte au feu correspond à la perte de masse d'une poudre portée au four à 950°C $\pm$ 25°C. dans notre cas nous trouvons des valeurs élevées (17.52%, 16.96% et 22.13%) en raison des carbonates et des minéraux silicatés.

Tableau .IV.3. Paramètres physico-chimiques de l'échantillon argileux.

Les Caractérisations	AJ	AV	AR
PH	9.18	8.19	7.94
Taux d'humidité H(%)	7.23	3.77	3.96
D	2.25	2.38	2.63
Indice de gonflement I_g (%)	58.57	54.08	55.39
Colloïdalité C(%)	19	86.5	94.4
Perte au feu PAF(%)	17.52	16.96	22.13

Limite d'Atterberg

À travers expérience des limites d'Atterberg:

Les valeurs de plasticité des échantillons d'argile W_p atteint 29.33, 38 et 34.33.

D'après les courbes (IV.7), (IV.8) et (IV.9) les valeurs de liquidité d'argile W_L sont égale à : 34, 50 et 38.3 (jaune, verte et rouge respectivement).

Les valeurs de l'indice de plasticité I_p des échantillons d'argile (jaune, verte et rouge) sont égale à : 4.67, 12 et 3.97 respectivement selon la classification d'Atterberg donnée dans le tableau(IV.4).

On peut conclure que l'argile (jaune et rouge) à une faible plasticité et que l'argile verte a une moyenne plasticité.[8]

Tableau .IV.4. Valeurs des limites d'Atterberg.

	Limite de liquidité W_L (%)	Limite de plasticité W_p (%)	I_p (%)
AJ	34	29.33	4.67
AV	50	38	12
AR	38.3	34.33	3.97

Tableau .IV.5. Classification de l'argile selon Atterberg.[8]

Indice de Plasticité I_p (%)	<7	De 7 à 17	17 <
Plasticité	Faible	Moyenne	Haute

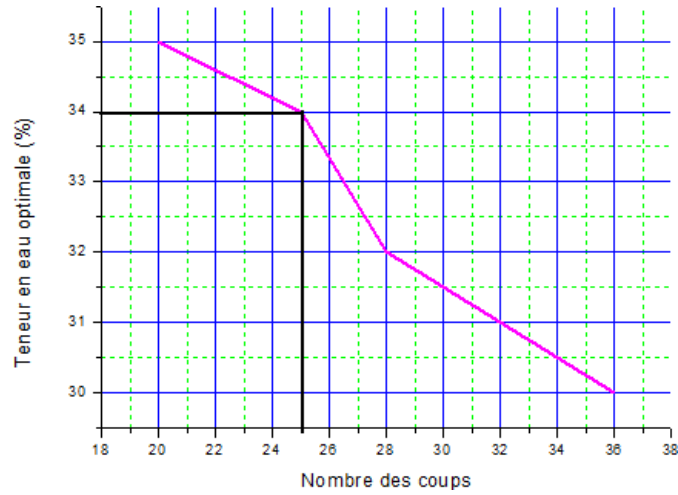


Figure.49.Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile jaune.

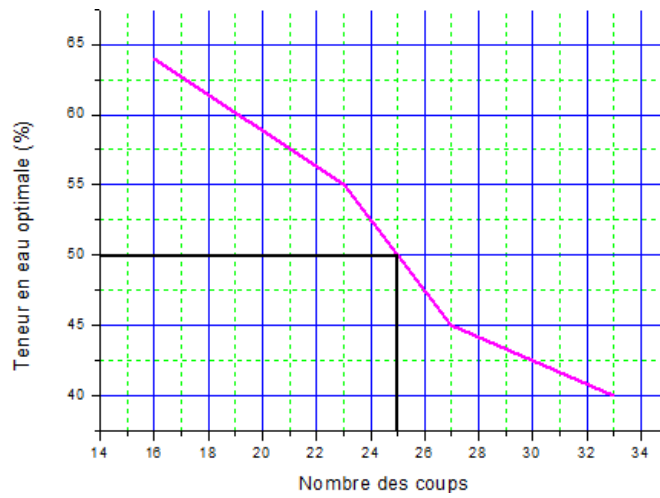


Figure.50.Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile verte.

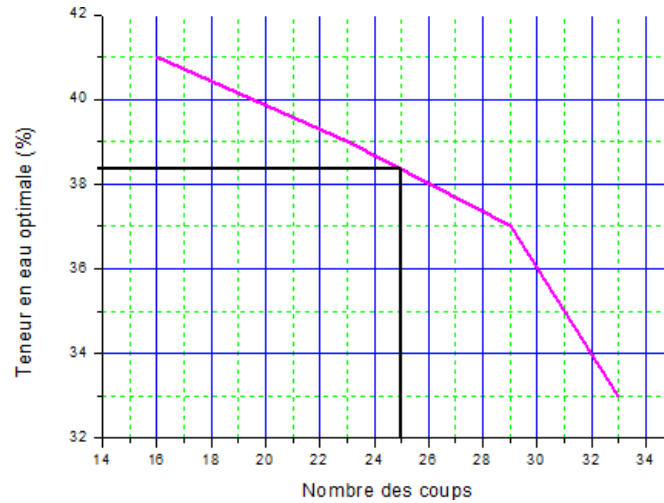


Figure.51. Diagramme pour la détermination de la limite de liquidité d'argile rouge.

La granulométrie

Les résultats obtenus de la granulométrie pour les échantillons des trois types d'argile (jaune, rouge et verte), sont mentionnés dans **Tableau 06**.

Tableau. IV.6. les analyses chimiques et tamis 5mm des échantillons.

AJ	05mm	
	passing 72,77%	Refus 27,23%
AR	05mm	
	passing 80,086%	Refus 19,91%
AV	05mm	
	passing 77,76%	Refus 22,24%

Références

- [1] Bendou Samira « utilisation des argiles traitées pour la décoloration des bains de teinture (2009)
- [2] Présentation de Lafarge ciment de M'sila par la communication Lafarge en 15 novembre 2015.
- [3] Photos prises sur le site Lafarge ciment de M'sila durant le travail de ce mémoire.
- [4] Jozja, N. (2003). Étude de matériaux argileux albanais. Caractérisation" multi-échelle" d'une bentonite magnésienne (Doctoral dissertation, Université d'Orléans).
- [5] Jarraya I., Fourmentin S., Benzina M., J. Soc. Chim. Tun. 12 (2010) 139.

- [6] Sadki H., Ziat K. et Saidi M., J. Mater. Environ. Sci. 5 (S1) (2014) 2061.
- [7] W.G. Holtz, Gibbs « Engineering properties of expansive clays » Transactions, ASCE 121, 641 (1956).
- [8] 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).

Conclusion

Dans l'industrie de fabrication du ciment les modules importants sont le taux de SO_3 , chlore et Mgo vu leur importance et impacte soit en terme environnemental ou procès et dans le bilan de conformité qualité.

Dans les trois échantillons, on constate les points suivants :

- Aj : échantillons non représentatif n'est pas adapté avec la capsule d'analyse vu la présence des taux élevés des cristaux échantillon rejeté..
- AR : taux de SO_3 très élevé qui nécessite un calcaire pauvre en SO_3 pour assurer un bilan du mélange qui peut répondre à la conformité de la qualité ciment ainsi que de garder la stabilité du procès du ciment. En dernier il a un taux de Mgo inacceptable très élevé.
- AV : taux du Mgo acceptable et un taux élevé du SO_3
- En parallèle le taux du chlore doit être bas et ne dépasse pas les 0,02%

Parmi les trois échantillons l'échantillon AV c'est le meilleur en termes de qualité mais elle doit être mélangée avec un calcaire de bas taux de SO_3 pour assurer la conformité qualité et afin d'éviter les impacts liée avec le module SO_3 .

Remarque :

01- Impact du taux élevé du SO_3 dans la matière première de la fabrication du ciment

- a) Impact procès Permet d'avoir des concrétions qui peuvent provoquer le circuit du ciment à travers les bourrages du circuit
- b) Impact environnemental peut permet d'augmenter les émissions de SO_2 dans l'air.
- c) Impact maintenance arrêt de l'atelier.
- d) Impacte coût c'est les pertes liées avec les arrêts de l'atelier impacte procès et maintenance ainsi que l'environnement.

02- L'impact du module Mgo : impact de conformité qualité il joue un rôle principal sur la résistance du ciment leur taux dans l'argile influera proportionnellement sur la résistance.

D'après les résultats obtenus on peut dire que l'argile de AR c'est le plus rentable et proche à utiliser dans la fabrication du ciment avec des recommandations qui doivent traiter. Telle que l'utilisation avec un calcaire d'une carrière de taux du SO_3 faible comme mélange pour assurer la conformité de la qualité du ciment.