

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

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE

N° :/2023



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE : CHIMIE

Option : Chimie de l'environnement

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master académique
Par : SAOUDI Khaled**

Intitulé

Caractérisation de la boue du barrage El-K'sob et son utilisation comme additif dans les matériaux composites

Soutenu le devant le jury composé de

Mr DEGHEFEL Nadir	Université de M'sila	président
Mr BENYAHIA Azzedine	Université de M'sila	Rapporteur
Mr FARSI Chouki	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022 /2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Allah Tout-Puissant, qui m'a donné la force, la patience, la santé et m'a permis de faire ce travail.

*Je tiens à remercier le professeur. **Azzedine Benyahia**, d'avoir accepté de m'encadrer et de me guider dans cette affaire et pour ses précieux conseils.*

Je vous serai toujours reconnaissant et je vous prie d'agréer mes sincères remerciements.

Je tiens à remercier le président du comité du jury pour la discussion de cette mémoire.

Je remercie les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Je remercie également tous les enseignants et directeurs de notre département,

*Aux ingénieurs de la Cimenterie LAFARGE à Hammam Dalaa, en particulier les frères **Messaguem Meftah** et **Toumiat Hamza**, et à toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à l'élaboration de cette thèse, ainsi qu'à tous les employés de le Département des sciences de l'environnement pour l'aide et le soutien qu'ils m'ont apportés tout au long de ce travail.*

Dédicace

Je dédie cet humble travail à l'âme de mon cher père, que Dieu ait pitié de lui.

À ma mère, ma femme et mes enfants, Ziad, Mallak et Mohammed Said.

A mes frères et sœurs et à toute la famille et amis.

SAOUDI Khaled

ملخص:

في المناطق الجافة وشبه الجافة ، تلعب السدود دوراً هاماً في تخزين المياه السطحية. ومع ذلك فإن الفيضانات المحملة بجزيئات دقيقة ترسب موادها في قاع السدود، مما يؤدي من عمرها، حيث يؤدي تخزين كميات الماء فيها. تأتي هذه الكميات من الطين من تآكل التربة ومن الفيضانات التي تملأ السدود بمياه الأمطار وتملأها بالطين (الطمي). يجب إعطاء الأولوية لصيانة السدود الدائمة بدلاً من إنشاء سدود جديدة. هذا العمل هو دراسة للتعرف على ثالث عينات، اثنان منها ذات طبيعة طينية (طمي) مأخوذتين من منطقتين مختلفتين لسد القصب بالمسيلة وواحدة ذات طبيعة صخرية مأخوذة من منطقة المعاضيد المسيلة. إن الهدف من ذلك هو استغلال هذه الأنواع من المواد في استعملها كإضافات في تحضير المواد المركبة.

من بين الاختبارات التشخيصية المستعملة في هذه الدراسة حدية هاتربيرغ، مؤشر اللبونة،

مؤشر السيولة، اختبار الأشعة السينية، القود بالحرارة DRX, XPS .

In **الكلمات المفتاحية:** حدية هاتربيرغ، مؤشر اللبونة، مؤشر السيولة، الطمي، السيليس، كوارتز

arid and semi-arid regions, dams play an important role in the storage of surface water. However, the floods loaded with fine particles deposit their materials at the bottom of the dams, which reduces their lifespan, because the storage of the quantities of water in them decreases. These amounts of mud come from soil erosion and flooding that fills the dams with rainwater and fills them with mud (silt). Priority should be given to the maintenance of existing dams rather than the construction of new dams.

This work is a study aimed at identifying three samples, two of which are of a clayey nature (silt) taken from two different areas of the El-ksob dam in the M'sila region, and the other of a rocky nature taken from the area of Mâadid region of M'sila.

The objective of this study is to exploit these three types of materials by using them as additives in the preparation of composite materials.

Characterization tests used: Hatterberg limit, plastic limit, liquid limit, fire loss, DRX and XPS.

Mots clés : Hatterberg limit, plastic limit, liquid limit, silt, silice, quartz

Liste d'abréviations :

AR1 : argile 1.

AR2 : argile 2.

CEN : Comité Européen de Normalisation.

DMA : drainage minier acide.

DRX : diffractométrie des rayons x.

ECH3 : échantillon 3.

FX : fluorescence.

H% : taux d'humidité.

Ig : indice de gonflement.

IP : indice de plasticité.

MES : matière en suspension.

PAF : perte au feu.

WL : Limite de liquidité.

WP : Limite de plasticité.

Sommaire :

Résumé	
Liste des abréviations	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	2
CHAPITRE I : Généralité sur les argiles	
I- Les argiles	4
I.1 Définition des argiles	5
I.2 Nomenclature	5
I.3 Classification des argiles	5
I.4 Composition chimique des argiles	9
I.5 Morphologie et structure des argiles	9
I.6 Structure cristalline des argiles	11
I.7 Propriétés physiques et chimiques des argiles et minéraux argileux	12
Chapitre II : La boue du barrage El-k'sob	
II.1 Définition des boues (vases)	23
II.2 Origine des boues (vases)	23
II.3 Structure physico-chimique des boues (vases)	23
II.4 Causes et origines des sédiments	24
II.5 Valorisation des vases	25
II.6 Le traitement peut se faire	26
II.7 Etat de l'art	26
II.8 Facteurs favorisant l'envasement des barrages	26

II.9 Les problèmes posés par la sédimentation	29
II.10 Le dragage	29
II.11 Domaines d'utilisation de la boue	30
II.12 Les matériaux composites	30
Chapitre III : Matériels et méthodes	
III.1 Historique du barrage El-k'sob	36
III.2 La boue (vase) de barrage El-k'sob	37
III.3 Préparation de l'échantillon argileux	38
III.4 Caractérisation de l'argile utilisée	39
Chapitre IV : Résultats et discussion	
IV.1 Granulométrie	47
IV.2 Caractéristiques physico-chimiques des argiles	48
IV.3 Fluorescences des rayons X	48
IV.4 Analyse par diffraction des rayons X	50
IV.5 Limite d'Atterberg	51
CONCLUSION	53
Références et bibliographique	58

Liste des tableaux :

Tableau 1: Classification des minéraux argileux	7
Tableau 2: Pourcentage moyen en éléments présents dans l'argile	9
Tableau 3: Etat d'envasement de quelque barrage algérien	25
Tableau 4: Paramètres physico-chimiques de l'échantillon argileux	48
Tableau 5: Composition chimique élémentaire des échantillons	49
Tableau 6: Les analyses minéralogiques des échantillons	50
Tableau 7: Essai de la limite d'Atterberg AR1.	51
Tableau 8: Classification de l'argile selon Atterberg en fonction de l'indice de plasticité IP.	51
Tableau 9: Essai de la limite d'aterberg AR2.	51

Liste des figures :

Figure N°1: La feuille octaédrique	6
Figure N°2 : La feuille tétraédrique de silice et l'octaédrique.	8
Figure N°3 : Schéma de différentes échelles d'une particule d'argile	10
Figure N°4: Représentation des empilements de tétraèdres siliceux et d'octaèdres Alumineux (cas de la kaolinite)	11
Figure N° 5: Coupe schématique d'un gisement de kaolin primaire	14
Figure N°6: Représentation schématique de la structure des smectites	16
Figure N°7: Structure de l'illite	18
Figure N°8 : Structure du chlorite	19
Figure N°9: Structure schématique de la palygorskite Sépiolite	20
Figure N°10: Charge en suspension et la charge de fond	28
Figure N°11: Modèles servant à échantillonner la charge de fond.	29
Figure N°12 : Différentes familles d'une matrice.	31
Figure N°13 : Les différents types de renfort.	32
Figure N°14 : Classifications des matériaux composites	33
Figure N°15 : Vue aérienne du barrage El-k'sob par Google Earth 2022	37
Figure N°16 : Granulométrie a laser de type Mastersizer 3000	39
Figure N°17 : Agitateur magnétique.	41
Figure 18 : pH-mètre ADWA (pH AD1030).	42
Figure N° 19 : Dispositif d'essai de limite de liquidité (appareil de Casagrande).	43
Figure 20 : X-Ray Diffraction (DRX).	45
Figure N°21: Diffractogramme des rayons X des argiles.	47
Figure N°22 : Courbes du diffractogramme des rayons X des argiles.	50

Introduction

Introduction

Introduction générale

Les argiles ont été utilisées très tôt dans l'histoire de l'humanité, après le silex et la pierre de taille. L'argile est un matériau avec certaines propriétés plastiques qui peut être moulé facilement, il peut être figé de façon irréversible, ce qui a permis les premières applications domestiques (vases, plats, briques, tuiles,...etc.) et culturelles (statuettes, supports d'écriture, masques,...etc.).

L'objectif de notre étude est d'utiliser la boue (vase) de barrage qui constitue un obstacle au stockage des eaux de surface comme additif dans matériaux composites.

A cet effet, nous avons étudié trois échantillons, deux échantillons provenant de deux endroits différents du barrage EL-K'sob à M'sila, et un troisième échantillon de nature rocheuse (creuse) de la région de Khalwa à Maadid.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres.

Le chapitre -1- de ce mémoire sera consacré à une étude : la définition des argiles, classification des argiles, composition chimique des argiles, morphologie et structure des argiles et propriétés physiques et chimiques des argiles et minéraux argileux.

Le chapitre -2- de ce mémoire sera consacré à une étude : Définition et origine des boues (vases), structure physico-chimique des boues, causes et origines des sédiments, valorisation des vases, facteurs favorisant l'envasement des barrages, les problèmes posés par la sédimentation, le dragage, domaines d'utilisation de la boue et les matériaux composites.

Le chapitre -3- est consacré à la présentation et à la discussion de la partie expérimentale, et ils ont été menés dans les laboratoires de l'université Mohamed Boudiaf et aussi dans les laboratoires de la cimenterie Lafarge (cimenterie de M'sila), où nous avons réalisé plusieurs expériences : granulométrie, pH, taux d'humidité, Indice de gonflement, Limite d'atterberg, Limite de liquidité, Limite de plasticité, L'indice de plasticité, Détermination de la perte au feu et Diffraction des rayons X (DRX).

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

CHAPITRE I

Généralité sur les argiles

Introduction

Dans les régions arides et semi-arides, les barrages jouent un rôle important dans le stockage des eaux de surface. Cependant, les crues chargées de particules fines déposent leurs matériaux au fond des barrages, réduisant leur durée de vie [1]. Ces quantités d'argile proviennent de l'érosion des sols, un phénomène très répandu dans les régions arides. En fait, ce sont les inondations qui remplissent les barrages d'eau de pluie et les remplissent de boue (vase). La priorité devrait être donnée à l'entretien des barrages existants plutôt qu'à la construction de nouveaux barrages [1].

I- Les argiles :

Les argiles ont été utilisées très tôt dans l'histoire de l'humanité, après le silex et la pierre de taille. L'argile est un matériau avec certaines propriétés plastiques qui peut être moulé facilement, il peut être figé de façon irréversible, ce qui a permis les premières applications domestiques (vases, plats, briques, tuiles,...etc.) et culturelles (statuettes, supports d'écriture, masques,...etc.) [2]. Les applications industrielles et domestiques n'ont cessé de se développer [2]. Les argiles se trouvent aujourd'hui dans de nombreux produits, qu'elles soient utilisées comme matière première de base (par exemple, le kaolin dans la fabrication de céramique) ou comme adjuvant ou additif (le kaolin pour la fabrication de charges minérales utilisées dans l'industrie papetière [3]).

Les constituants des argiles appelés 'les minéraux argileux', de taille nanométrique à micrométrique, sont invisibles à l'œil, à la loupe et même au microscope optique. Ils ne peuvent être observés que par diffraction des rayons X, microscopie électronique, microanalyse chimique, spectrométrie infrarouge ou par d'autres méthodes plus spécifiques [3]. Les argiles sont souvent associées à la fraction inférieure à 2 micromètres ou à 4 micromètres dans la classification des roches sédimentaires [3]. Les minéraux contenus dans les roches argileuses sont majoritairement des phyllosilicates (silicates hydratés lamellaires ou fibreux) [3]. Ce sont ces minéraux qui confèrent à la roche ses propriétés particulières. Abondantes et accessibles à la surface de la terre, les argiles sont les constituants principaux des sols. Elles représentent près de la moitié des roches sédimentaires [3].

I.1 Définition des argiles :

Le terme « argile » fait référence à un matériau naturel composé principalement de minéraux à grains fins, qui est généralement en plastique à des teneurs en eau appropriées et durcira si séché ou cuit [4]. Bien que l'argile généralement contient des phyllo-silicates, il peut contenir d'autres matériaux qui confèrent de la plasticité et durcissent lorsqu'ils sont séchés. Les phases associées dans l'argile peuvent inclure des matériaux qui ne confèrent ni plasticité ni matière organique [4].

I.2 Nomenclature

La sépiolite est universellement connue. En réalité le nom de ce minéral est assez récent [5]. Dans la pratique on trouve de nombreux noms d'usages liés aux gisements ou à l'aspect, le plus connu est "écume de mer ou Meerschaum" leur emploi doit être évité [5]. Le nom de "palygorskite" a été retenu par le comité de nomenclature. Il remplace le nom également très commun d'attapulgit qui ne doit plus être employé.

Ces minéraux portent souvent des noms locaux liés à leurs aspects ou à leurs utilisations [5].

I.3 Classification des argiles :

La plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet [6]. On distingue ainsi 4 groupes:

- **Minéraux à 7 Å** : Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T:O ou de type 1:1. Son épaisseur est d'environ 7 Å.
- **Minéraux à 10 Å** : Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T:O:T ou de type 2:1. Son épaisseur est d'environ de 10 Å.
- **Minéraux à 14 Å** : Le feuillet est constitué de l'alternance de feuillets T:O:T et de couches octaédriques inter foliaires.
- **Minéraux inter stratifiés** : L'épaisseur du feuillet est variable. Ces minéraux résultent du mélange régulier ou irrégulier d'argiles appartenant aux groupes ci-dessus. La valeur de la charge permanente du feuillet a servi de critère pour établir une classification des phyllosilicates [6].

Une classification utile des minéraux argileux est représenté dans le tableau 1 ,qu'a été proposée et donner par Grim [7], a fin de décrire la nomenclature et donner les différents type minéraux argileux [7].

La structure atomique des minéraux argileux se compose de deux unités de base, un feuillet octaédrique et un feuillet tétraédrique. La feuille octaédrique est composée d'oxygènes et d'hydroxyles étroitement emballés dans l'aluminium, les atomes de fer et de magnésium sont disposés en coordination octaédrique (Figure.1) [7].

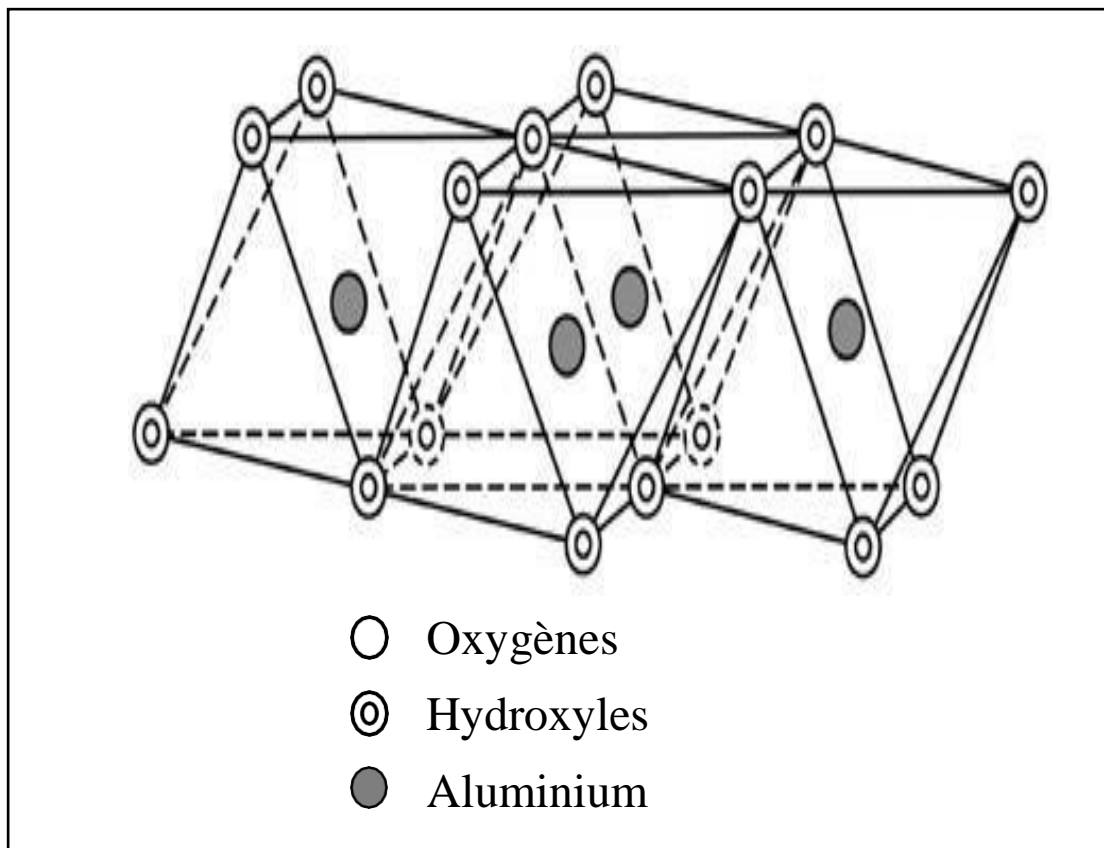


Figure 1. La feuille octaédrique [7].

Le tableau 1. Présente une classification utile des minéraux argileux, qui est une base pour décrire la nomenclature et différences entre les différents minéraux argileux.

La structure atomique des minéraux argileux se compose de deux unités de base, un feuillet octaédrique et un feuillet tétraédrique [7].

Tableau : 1 Classification des minéraux argileux [7].

I. Amorphe Groupe allophane
II. Cristalline
A. Type à deux couches (structures en feuille composées d'unités d'une couche de silice tétraèdres et une couche d'octaèdres d'alumine)
1. Equidimensionnel Groupe Kaolinite Kaolinite, dickite et nacrite
2. Allongé Halloysite
B. Types à trois couches (structures en feuille composées de deux couches de tétraèdres de silice et une couche centrale dioctaédrique ou trioctaédrique)
1. Treillis en expansion
a. Equidimensionnel Groupe des smectites Montmorillonite de sodium, montmorillonite de calcium et beidellite Vermiculite
b. Allongé Smectite Nontronite, saponite, hectorite
2. Treillis non extensible Groupe Illite
c. Types de couches mixtes régulières (empilement ordonné de couches alternées de différents types) Groupe chlorite
d. Types de structure en chaîne (chaînes de type hornblende de tétraèdres de silice liés entre eux par des groupes octaédriques d'oxygènes et d'hydroxyles contenant des atomes d'Al et de Mg) Sépiolite Palygorskite (attapulgite)

Lorsque l'aluminium avec une valence positive de trois et le cation présents dans la feuille octaédrique, seuls les deux tiers des positions possibles sont remplies afin d'équilibrer les charges. Lorsque seulement les deux tiers des positions sont remplies, le minéral est appelé dioctaédrique. Quand le magnésium avec une charge positive de deux est présente, les trois positions sont remplies pour équilibrer la structure et le minéral est appelé tri octaédrique [7].

La deuxième unité structurale est la couche tétraédrique de silice dans laquelle l'atome de silicium est équidistant de quatre atomes d'oxygène ou éventuellement d'hydroxyles disposés sous la forme d'un tétraèdre avec l'atome de silicium au centre [7].

Ces tétraèdres sont disposés pour former un réseau hexagonal répété infiniment dans deux directions horizontales pour former ce qu'on appelle la silice feuillet tétraédrique (Figure. 2) [7].

La feuille tétraédrique de silice et l'octaédrique feuilles sont jointes en partageant les oxygènes ou hydroxyles apicaux pour former ce que n'appelé (couche minérale argileuse) 1:1 (par exemple kaolinite) ou couche minérale argileuse 2 : 1 couche [7].

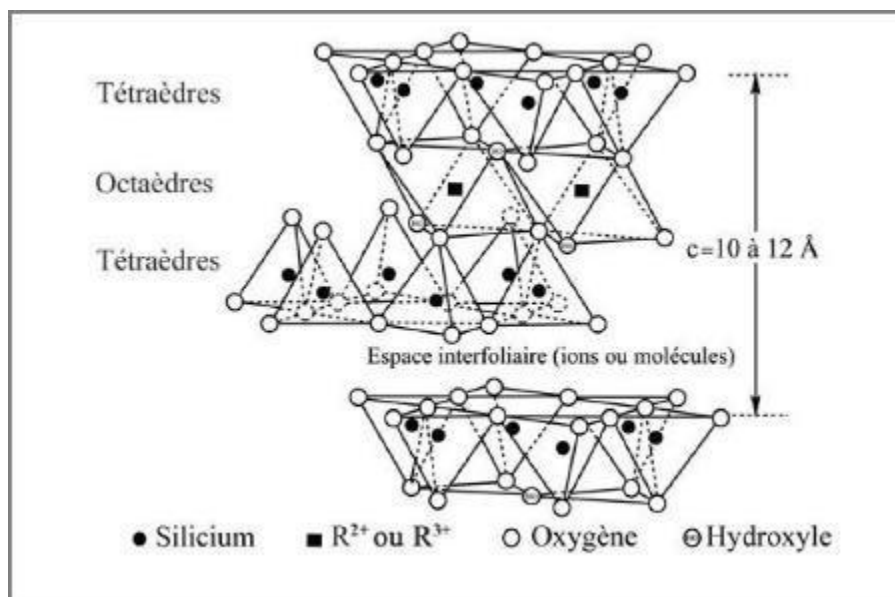


Figure 2. La feuille tétraédrique de silice et l'octaédrique.

I.4 Composition chimique des argiles :

Les argiles sont des matières naturelles, très abondantes, constituées d'aluminosilicates dont la structure en feuillets est bien connue [3]. Les mailles aluminosilitiques des argiles renferment d'autres éléments minéraux identifiables tels que des carbonates de calcium, de magnésium (dolomite) et de fer (sidérite) ainsi que des matières organiques dont des acides humiques, des mucopolysaccharides et des composés basiques [3]. Le tableau 2 présente les pourcentages moyens des divers éléments constituant l'argile.

Tableau : 2 Pourcentage moyen en éléments présents dans l'argile [3].

Elément	Pourcentage (%)
Silice	40 – 60
Alumine	15 – 48
Fer	0,5 – 4
Calcium	0,15 – 5
Potassium	0,85 – 4
Magnésium	0,05 – 2
Autres sels minéraux	4 – 15

I.5 Morphologie et structure des argiles :

Les géologues considèrent que l'argile est constituée de tous les minéraux de très petite taille (2 à 4 micromètres) [2], Les ingénieurs civils se concentrent sur les propriétés de plasticité, quelles qu'elles soient taille, et les métallurgistes se réfèrent à un minéral qui se distingue par sa structure cristalline [8]. Actuellement, la définition acceptée est que l'argile est un minéral de la famille des phyllosilicates [8]. Cela signifie que leurs cristaux sont formés par des empilements de plaques, constitués principalement de silice, d'aluminium et d'Oxygène, auquel sont parfois ajoutés des métaux et des métaux alcalins ou alcalino-terreux (Sodium, calcium et potassium) [2]. Cependant, il faut noter le manque d'un peu de boue structure blindée, mais sous forme de tubes (tôles enroulées) [8].

I.5.1 Morphologie des argiles :

Pour clarifier, nous utiliserons le terme "composé" pour représenter l'argile à l'état de poudre. Les agrégats sont généralement constitués de petites particules qui ont une forme plus ou moins allongée, appelées "particules élémentaires" [2]. Ces derniers sont regroupés en "cristaux" ou "tactoides". Chaque cristal est constitué d'un empilement de plaques, de 1 nm d'épaisseur et de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de nanomètres d'extension latérale [2]. La Figure 3 présente schématiquement les différentes échelles granulométriques d'argile. A noter que le terme « agglomérat » est utilisé pour des objets plus grands que les poudres d'argile primaires, qui peuvent se former lors du développement des nano composites [2].

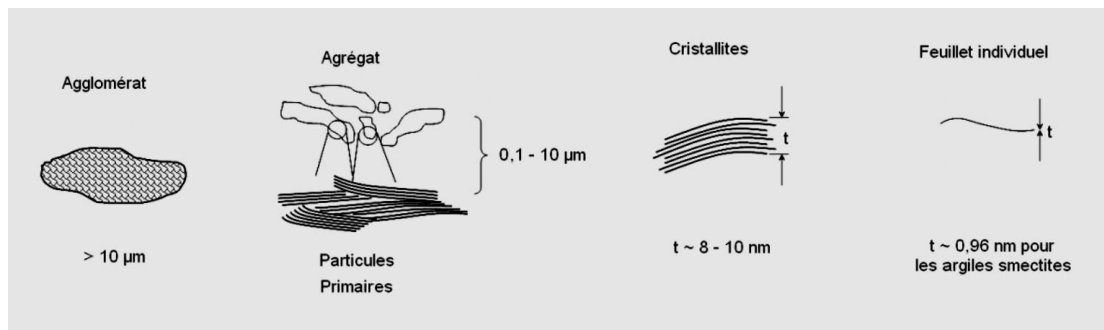


Figure 3. Schéma de différentes échelles d'une particule d'argile [2].

I.5.2 Structure des argiles :

Les argiles sont des matériaux lamellaires constitués par l'empilement de feuillets. Elles ont quatre niveaux :

- Les plans sont constitués par les atomes ;
- Les feuillets, tétraédriques ou octaédriques, sont formés par une combinaison de plan ;
- Les couches correspondent à des combinaisons de feuillet ;
- Le cristal résulte de l'empilement de plusieurs couches [9].

Un feuillet est formé par l'association de couche tétraédrique et de couche octaédrique. La couche tétraédrique est formée par un enchainement des tétraèdres constitués par des atomes Si^{4+} , Al^{3+} et Fe^{3+} [9].

La couche octaédrique est constituée par un enchainement des octaèdres, dont les sommets sont occupés par des atomes d'oxygène et des groupements hydroxyles et les centres sont occupés par des atomes d' Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} ou Fe^{2+} [9]. Comme illustré à la Figure 4.

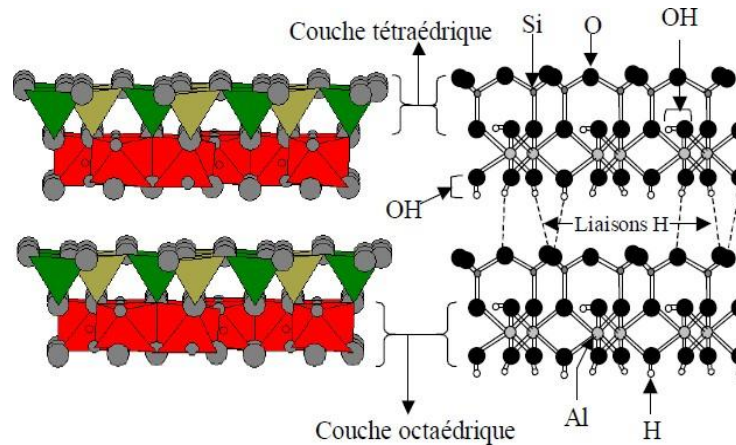


Figure 4. Représentation des empilements de tétraèdres siliceux et d'octaèdres Alumineux (cas de la kaolinite) [9].

I.6 Structure cristalline des argiles :

Tout solide dont la structure atomique est ordonnée et périodique dans les trois directions de l'espace x , y et z est défini par le nom de cristal [10]. La position et la nature des atomes constitutifs (motif cristallin) ainsi que les dimensions de la partie finie de l'espace (maille élémentaire) dont la simple translation permet d'obtenir infiniment le motif cristallin suffisent à le caractériser [10].

L'argile se rapporte à la terre grasse et molle contenant un ensemble de particules fines, dont la taille supérieure est fixée à $2\mu\text{m}$ [11]. Les particules d'argile résultent de la désintégration physique ou mécanique des roches, suivie d'une transformation chimique. L'argile, matériau naturel qui contient habituellement des phyllosilicates (silicates en feuillets), est plastique à l'état humide et durcit par séchage ou chauffage [12]. Elle peut également renfermer des matériaux qui n'induisent aucune plasticité (le quartz par exemple) et/ou de la matière organique : ce sont des phases associées [12].

I.7 Propriétés physiques et chimiques des argiles et minéraux argileux :

Les propriétés physiques et chimiques d'un minéral argileux particulier sont dépend de sa structure et de sa composition. La structure et la composition des principales argiles industrielles que sont les kaolins, les smectites et la palygorskite-sépiolite, sont très différents même si chacun est composé de feuillets octaédriques et tétraédriques comme blocs de construction de base [7]. Cependant, l'arrangement et la composition des feuillets octaédriques et tétraédriques expliquent la plupart des différences dans leurs propriétés physiques et chimiques [7].

D'autres propriétés seront décrites dans les sections sur les minéraux argileux spécifiques. Dans la plupart des applications industrielles, les argiles et les minéraux argileux sont fonctionnels et ne sont pas seulement des composants inertes du système [7]. Dans la plupart des applications, les argiles sont utilisées en raison des propriétés physiques particulières qui contribuent au produit final, par exemple les kaolins pour le couchage du papier ou la bentonite en boues (vases) de forage. Dans certains cas, l'argile est utilisée pour sa composition chimique, c'est-à-dire du kaolin utilisé comme matière première pour fabriquer de la fibre de verre ou des argiles et schistes dans le mélange pour faire du ciment [7].

I.7.1 Kaolins :

La définition la plus courte compatible avec l'usage général est une roche argileuse de couleur claire composée principalement d'un ou de plusieurs minéraux de kaolin [13]. La plupart des kaolins sont principalement de la kaolinite, souvent avec de la métahalloysite, mais peuvent également être principalement de l'halloysite ou de la dickite. Aucun gisement de nacrite exploitable n'a été trouvé. La couleur du kaolin varie en valeur du blanc au presque noir et en teinte du rose au jaune-brun ou rouge-brun. Il peut être mou, terreux ou dur même cassant et non plastique [13].

Bien que "kaolin" soit un nom de roche, il est à l'origine et reste principalement un nom commercial. Les spécimens dans les musées et les dépôts sont atypiques de la plupart des kaolins bruts [13].

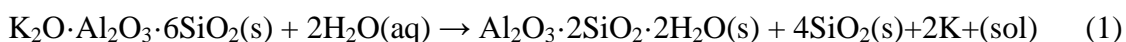
La « kaolinisation » est la formation de kaolin par altération de minéraux alumino-silicatés ou de minéraux argileux (resilication de la gibbsite en kaolinite, recristallisation de la métahalloysite). Kaolinite-métahloysisite [13].

Le kaolin doit être utilisé soit par voie sèche, soit par voie humide afin de réduire ou d'éliminer les impuretés et d'améliorer certaines propriétés physiques telles que la brillance, la blancheur, la transparence, la taille des particules, la forme, la distribution et la viscosité [7]. Les inclusions courantes dans le kaolin sont le quartz, le mica, l'illite, la smectite, le feldspath, la goethite, l'hématite, la pyrite, l'anatase, le rutile, l'ilménite et des traces de tourmaline, de zircon, de kyanite et de certains autres minéraux lourds. Un grand pourcentage de ces minéraux peut être recyclé par voie humide [7].

I.7.1.1 Origine des Kaolins et minéraux associés :

I.7.1.1.a. Kaolins primaires :

La kaolinite provient généralement de l'hydrolyse de n'importe quel minéral ou verre silicoalumineux [14]. Par exemple la formation de kaolinite à partir de feldspath potassique peut s'écrire : comme présente dans la réaction (1) :



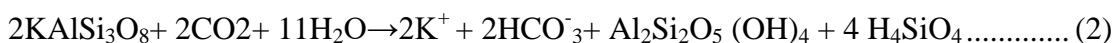
Le processus ci-dessus conduit à des kaolins dits primaires, en contact direct avec la roche silicoalumineuse qui leur a donné naissance [14].

La kaolinisation des minéraux silico - alumineux suppose un lessivage total des éléments alcalins et alcalino-terreux (K, Na, Ca), du fer et le départ d'une partie de la silice; on estime à environ 30 % la diminution de volume liée à ces lessivages. Deux fluides peuvent être à l'origine des phénomènes de kaolinisation. Les eaux de surface (ou météoriques), en milieu tropical (< 40 °C) [14].

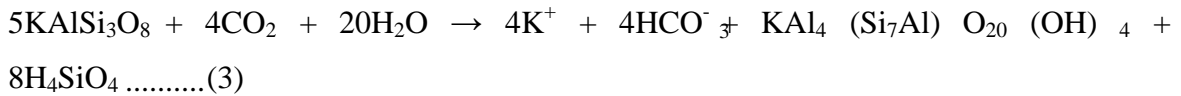
Les fluides hydrothermaux de température inférieure à 300°C (au-delà la kaolinite n'est pas stable) qui donnent lieu à un lessivage supergène ou hypogène [14].

Certaines substances, une fois dissoutes dans l'eau, augmentent le caractère acide de celle-ci, accélérant ainsi la décomposition des minéraux primaires. D'après Helgeson et Mackenzie, la dissolution du gaz carbonique atmosphérique peut, lors de l'hydrolyse, tripler les vitesses de décomposition des feldspaths potassiques et de formation de la kaolinite [14].

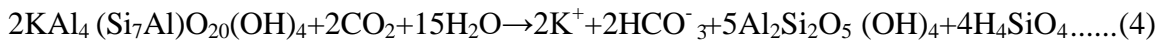
Ce processus géochimique naturel conduit directement à la formation de la kaolinite suivant la réaction (2) :



En revanche, si le drainage est faible, le transfert de potassium est incomplet et il se forme de l'illite selon la réaction (3) :



Lors d'un drainage ultérieur, cette illite peut poursuivre son hydrolyse, en expulsant le potassium, pour conduire alors à la kaolinite (réaction (2)) :



Des réactions analogues permettent de décrire l'hydrolyse de l'albite (feldspath sodique) directement en kaolinite ou en un composé intermédiaire (montmorillonite sodique). D'après Helgeson et Mackenzie [14] toujours, dans les mêmes conditions d'hydrolyse, la formation de la kaolinite est dix fois plus rapide à partir de l'albite que des feldspaths potassiques. La Figure 5 représente la coupe schématique d'un gisement de kaolin primaire [14].

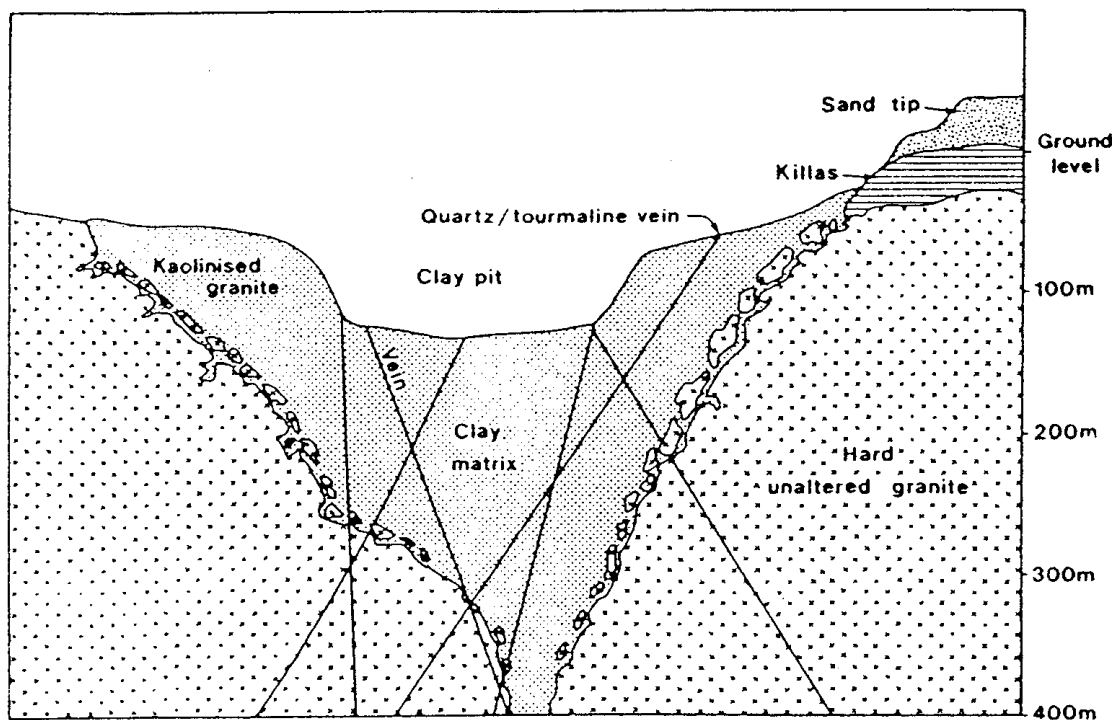


Figure 5. Coupe schématique d'un gisement de kaolin primaire [14].

I.7.1.1.b. Kaolins secondaires

Les kaolins dits secondaires ont pour origine des kaolins primaires entraînés par les eaux de ruissellement puis déposés [14]. Les gisements de kaolin sédimentaire se rencontrent dans les dépôts continentaux à épicontinentaux, mis en place en général au cours de cycles transgression – régression [14]. Ils peuvent être rencontrés à différentes époques géologiques durant lesquelles prévalait un climat de type tropical favorisant une intense altération.[14]

La formation de ces dépôts est possible dans deux zones :

a- La zone des eaux de mer :

Au contact de l'eau de mer, riche en cations, près de 90% des argiles chargées négativement flocculent. Ces dépôts, qui forment alors des bouchons constitués de kaolinite impure, sont communément appelés argiles kaolinitiques (mélange avec d'autres éléments tels que micas, quartz [14].

b- La zone des eaux douce :

Si les argiles, généralement chargées négativement dans l'eau "pure", ne rencontrent pas de cations susceptibles de favoriser leur floculation, elles restent longtemps en suspension [14]. Il s'ensuit un tri sélectif des éléments indésirables en fonction de leur aptitude à sédimenter [14]. Les particules les plus lourdes, qui se déposent en premier, sont ainsi recouvertes par un kaolin riche en kaolinite. Les micas, formés de feuillets qui flottent également longtemps sur l'eau, se retrouvent alors généralement mélangés à la kaolinite [14].

I.7.2 Les smectites :

Les smectites (ensemble des argiles gonflantes), quant à elles, ont des capacités d'adsorption très poussées et sont de ce fait employées pour filtrer les vins, bières, clarifier les eaux souillées, dégraisser les laines par piégeage des impuretés [9]. Utilisées comme source de silice et d'alumine les argiles forment les minéraux de base de l'industrie des matériaux de construction, des réfractaires, des isolants. D'autres argiles, notamment les smectites sodiques et les attapulgites servent à épaissir un grand nombre de liquides : eau douce, eau salée, solvants aliphatiques, huiles végétales, glycols. Exploitée comme charge minérale, l'argile joue un rôle important dans la papeterie et l'industrie du caoutchouc. Dans les industries pharmaceutiques et médicales, l'argile trouve aussi un usage.

Elle constitue la base des pansements stomacaux et intestinaux. Leurs propriétés absorbantes permettent la fabrication de médicaments à effets retardés. Les smectites en particulier interviennent dans la fabrication de nombreux cosmétiques : savons et shampoings, pommades, crèmes dentifrice où elles remplacent les matières grasses. Notons cependant que certaines espèces d'argiles fibreuses très utilisées pour leurs propriétés isolantes peuvent avoir des effets néfastes ; c'est le cas par exemple du chrysotile ou amiante qui s'est révélée être une substance cancérigène. Les sépiolites et palygorskites qui appartiennent à cette famille sont suspectées d'avoir des effets nocifs. De tous les minéraux argileux, les argiles kaolinitiques sont sans doute celles dont les usages sont les plus variés et les plus « nobles ». L'argile intervient à tous les niveaux de l'édification du bâtiment : elle intervient comme brique pour la réalisation des murs, comme carreau pour les sols et tuiles pour la toiture [9].

La structure en feuillets des smectites, ainsi que les propriétés des cations compensateurs (Figure 6), sont à l'origine d'une structure multi-échelles complexe issue de l'assemblage des feuillets, que nous décrivons ensuite, avant de présenter les propriétés physico-chimiques des smectites [15].

La formule générale du groupe des smectites est $(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{Al}_{5/3}\text{Mg}_{1/3})\text{Na}_{1/3}(\text{OH})_2$. Le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine entre deux couches de silice, comme l'illite. Les smectites sont formés par l'altération d'une couche d'alumine et deux couches de silices. Dans les couches d'alumine un ion Al^{3+} sur quatre est remplacé par un ion Mg^{2+} . Le déficit de charge qui en résulte est compensé par des ions Ca^{2+} ou par des ions Na^+ . La valence des ions sodium étant très faible que celle de calcium ; alors, les liaisons entre feuillets étant très faibles, ces argiles sont très sensibles à la teneur en eau et ont un fort potentiel de gonflement et de retrait [16].

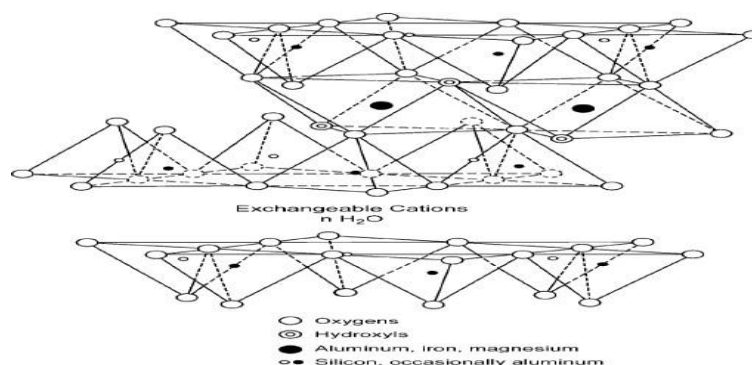


Figure 6. Représentation schématique de la structure des smectites [7].

I.7.2.1 Propriétés physico-chimiques des smectites :**I.7.2.1.1 Dimensions des particules libres :**

Les smectites sont des phyllosilicates de très petite taille. Dans le plan (a,b), les particules libres ont des dimensions variant de quelques centaines d'Angströms à quelques microns [17].

I.7.2.1.2 Propriétés de gonflement :

La structure des smectites permet l'insertion, entre les feuillets, de molécules polaires comme l'eau, le glycérol, l'éthylène-glycol.

I.7.2.1.3 Capacité d'échange :

Les cations interfoliaires sont faiblement liés au reste du réseau. Ils sont susceptibles (au moins certains d'entre eux) d'être échangés quand le minéral est placé en suspension dans une solution concentrée d'un autre cation. On définit la capacité d'échange d'une argile comme le nombre de cations monovalents, exprimé en milliéquivalents, que peuvent échanger 100 g d'échantillon. La mesure de capacité d'échange peut être un moyen d'atteindre la charge globale du feuillet [17].

I.7.2.1.4 Les métaux de transition dans les smectites :

Dans les échantillons de smectites naturelles courantes, les métaux de transition sont présents à l'état de traces. Leurs teneurs varient suivant les échantillons et les éléments de quelques) microgrammes à quelques centaines de) microgrammes par gramme d'argile .[17]

I.7.3 Les illites :

La formule brute $KAl_2(OH)_2 (AlSi_3(OH)_{10})$, l'illite est essentiellement une argile de sédimentation marine qui possède une structure identique à celle des montmorillonites. Le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice [3].

Elite est un phyllosilicate de 1 nm d'épaisseur couches de type aluminosilicate tétraédrique et octaédrique, séparées par des cations couche intermédiaire de potassium. La cristallinité de l'illite est un paramètre couramment utilisé pour description des métamorphismes de bas grade de roches granulaires comme illustré à la figure 7 [18].

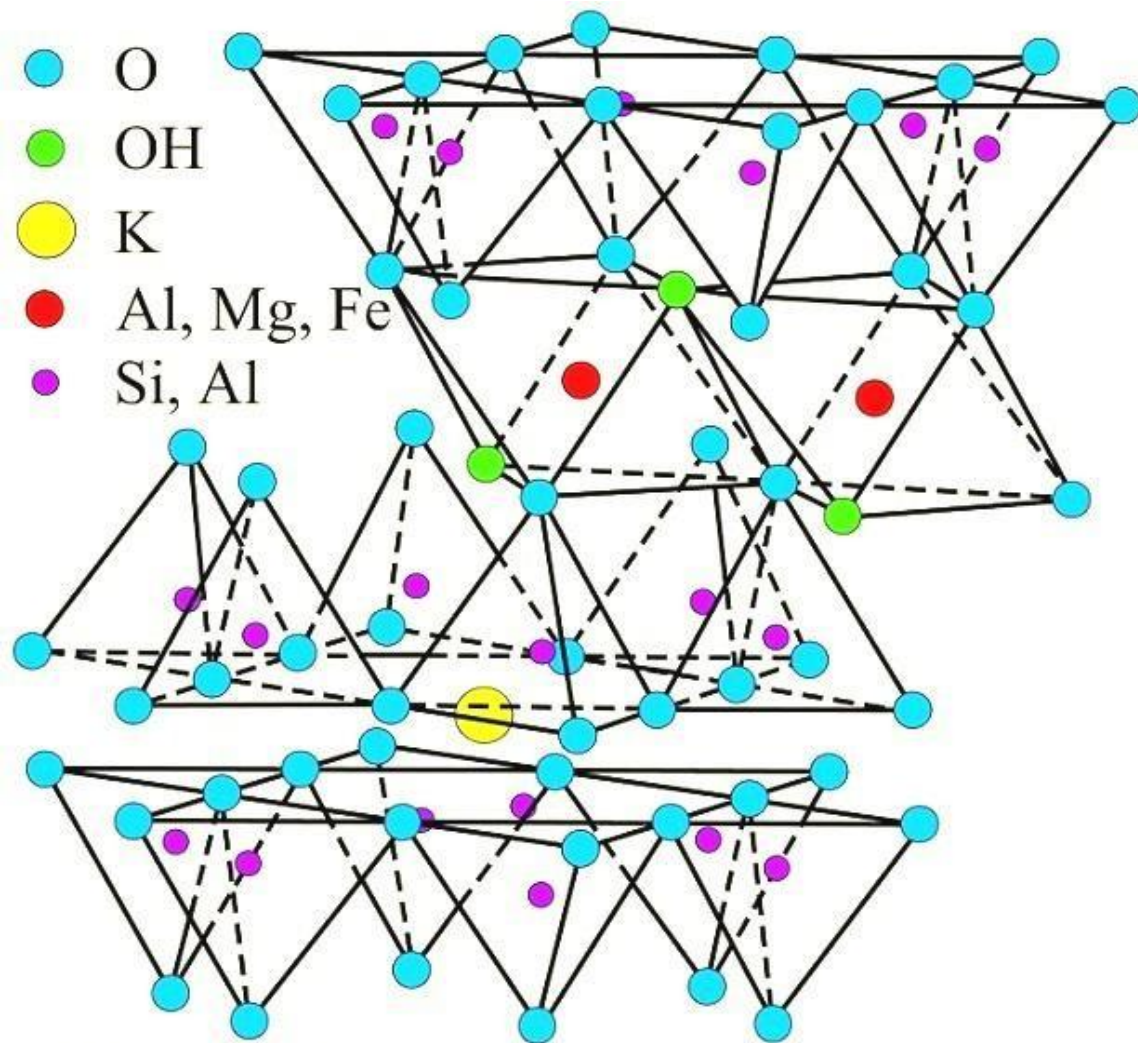


Figure 7. Structure de l'illite [18].

I.7.4 Les chlorites :

Les chlorites appartiennent à la famille des alumino-silicates de fer ou de magnésium et sont, généralement, de couleur verdâtre. Ces argiles sont voisines du mica par leurs structures et leurs propriétés [3]. Dans les chlorites, l'espace interfoliaire est occupé par un feuillet brucitique chargé à la place d'un réseau de cations. Les chlorites sont majoritairement magnésiennes tant dans la couche octaédrique du feuillet 2:1 que dans la couche brucitique. Mais beaucoup de substitutions y existent notamment par Fe^{2+} , Al^{3+} ou Fe^{3+} . Il existe en particulier des chlorites ferrifères (à majorité de Fe^{2+} dans les couches octaédriques et brucitiques) [19].

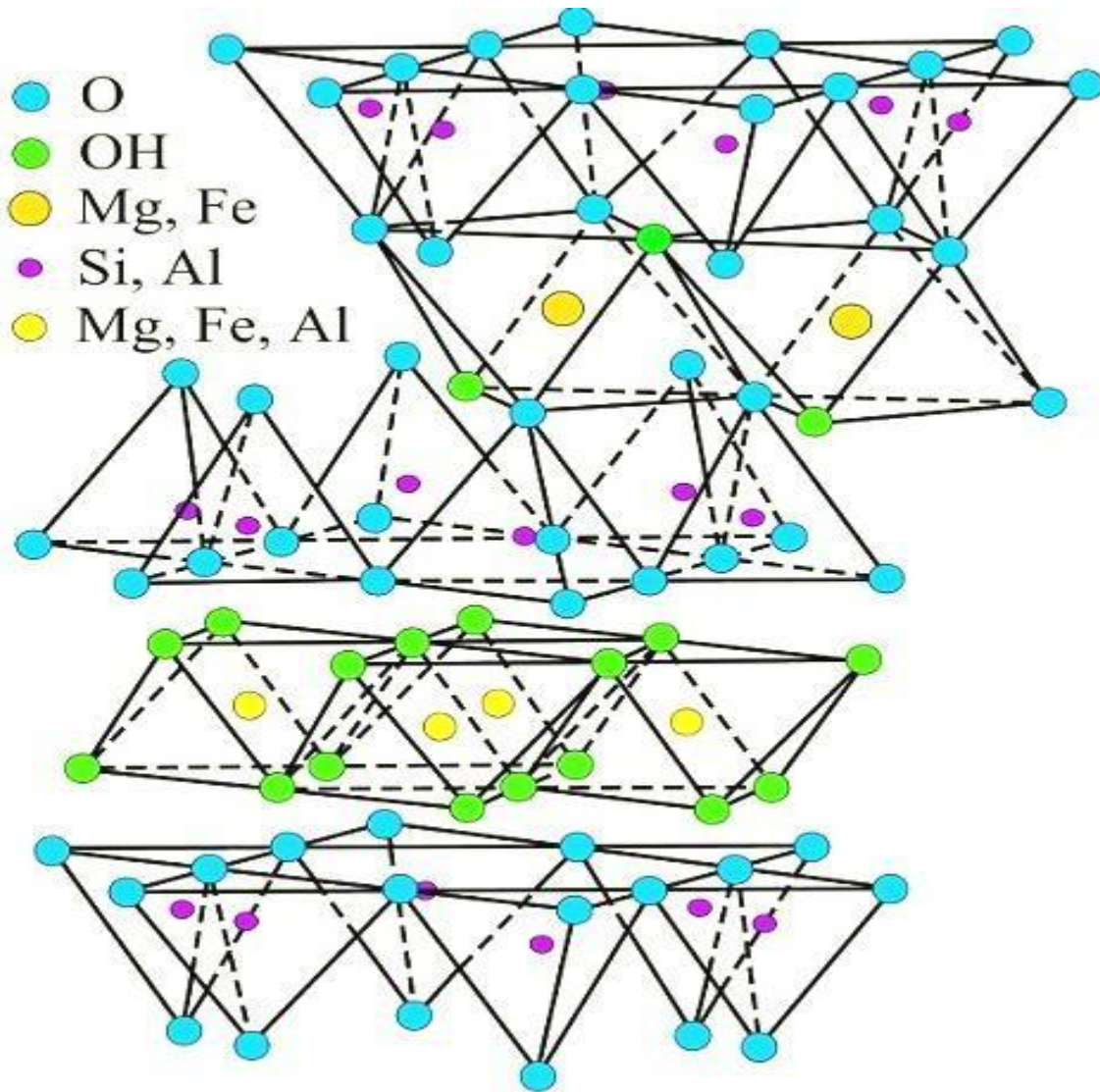


Figure 8 Structure du chlorite [18].

I.7.5 Sépiolite & palygorskite :

Ces minéraux sont des silicates, ils appartiennent au groupe des phyllosilicates hydratés fibreux. Leur morphologie et les dimensions des particules ne sont clairement révélées que par la microscopie électronique (exceptions faites de quelques raretés minéralogiques dont la longueur des fibres est très grande comme la sépiolite d'Ampanrandava à Madagascar). Leurs structures cristallines sont très particulières et justifient la plupart de leurs emplois. Leurs propriétés physicochimiques, en particulier de sorption, sont très importantes. Une revue très complète des connaissances actuelles sur ces deux minéraux est présentée par Galán et Singer [5].

I.7.5.1 Caractéristiques structurales et comportement physico-chimiques de la palygorskite et la sépiolite :

La palygorskite et la sépiolite sont des phyllosilicates dans la mesure où car ils contiennent un bidimensionnel continu feuille tétraédrique; cependant, ils diffèrent des autres silicates en couches en ce qu'ils sont dépourvus d'octaèdres continus feuilles. Leur structure peut être considérée comme contenant rubans d'une structure de phyllosilicate 2:1, chaque ruban étant lié au suivant par inversion de SiO_4 tétraèdres le long d'un ensemble de liaisons Si-O-Si [20].

Rubans s'étendent parallèlement à l'axe X et ont une moyenne largeur le long de Y de trois éléments simples de type pyroxène liés chaînes dans la sépiolite et deux chaînes liées dans palygorskite (Figure. 9); dans ce cadre, rectangulaire les canaux sont parallèles à l'axe X entre opposés Rubans 2:1. Comme la feuille octaédrique est discontinue à chaque inversion de tétraèdres, des atomes d'oxygène dans les octaèdres au bord des rubans sont coordonnés aux cations du côté du ruban uniquement, et la coordination et l'équilibre de charge sont complétés le long du canal par des protons, de l'eau coordonnée et un petit nombre de cations échangeables. De plus, un montant variable de l'eau zéolithique est contenu dans des canaux [20].

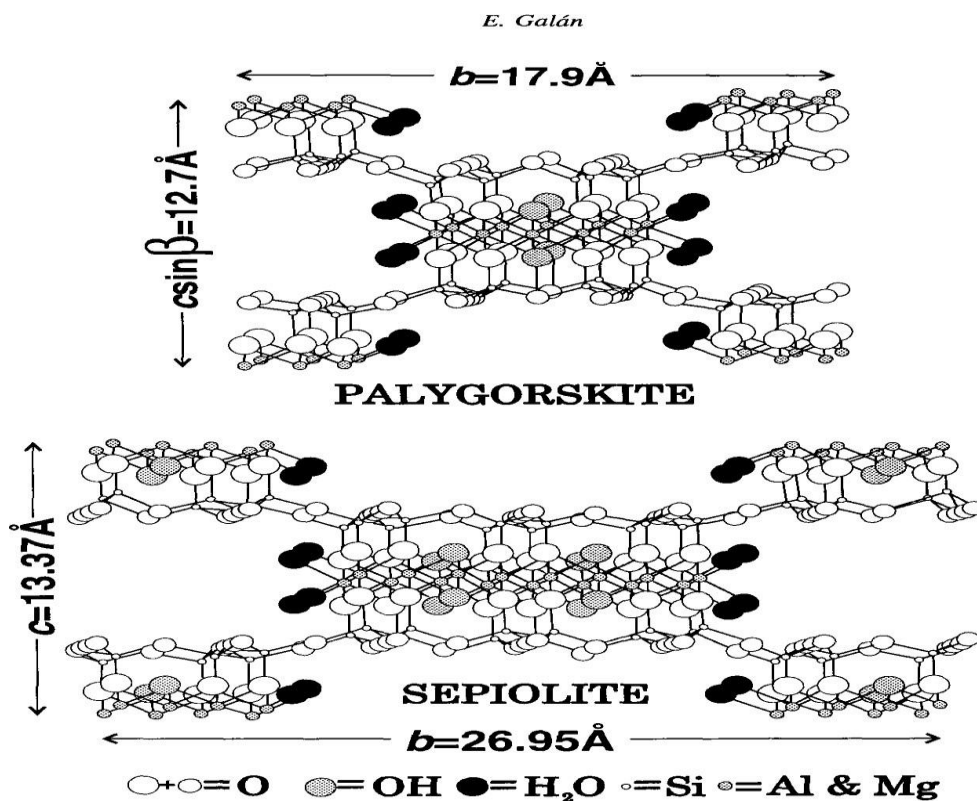


Figure 9. Structure schématique de la palygorskite Sépiolite [20].

Palygorskite (également appelée attapulgite, pilolite, lassalite, cuir de montagne, etc.) a été reconnu, comme une espèce minérale découverte par de Lapparent [20]. Qui a été déterminé sa composition chimique à partir des échantillons de gisements Géorgie-Floride et ceux de Mormoiron, France. Ovcharenko et al [21]. Rapportent que Fersman fut en fait le premier à décrire en détail à la fois palygorskite et sépiolite, et l'a fait pour échantillons obtenus de la chaîne de Palygorsk sur le Rivière Popova [21] où le minéral la palygorskite est connu depuis 1861 [21].

Ils déclarent en outre que de récentes analyses de réflexion au microscope monocristallin et électronique ont confirmé la proposition de Bradley que la structure palygorskite est chaînes à base une chaîne amphibole composée de deux chaînes de pyroxène disposées pour former des chaînes hexagonales régulières anneaux dans un plan [21].

Chapitre II

La boue des barrages

II.1 Définition des boues (vases) :

Les boues sont définies par le Comité Européen de Normalisation (CEN) comme «un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent» [22].

Une boue désigne en général, un résidu organique ou minéral pouvant être solide, liquide ou même pâteux. Elle est caractérisée par son aspect, mais spécifiquement, c'est son origine complétée par sa caractérisation chimique qui déterminera sa filière de traitement [23].

Dans cette étude on parle particulièrement des boues d'épuration qui sont des résidus issus du traitement réalisé par les stations d'épuration d'eaux usées industrielles [23].

Les boues d'épuration sont des déchets recyclables obtenues d'après l'épuration des eaux usées urbaines qu'industrielles [23]. Ce sont des suspensions complexes formées d'eau, de matière organique et inorganique de différentes tailles ainsi que d'une population microbienne très variée. Le volume et les caractéristiques des boues varient en fonction de leurs origines et des types de traitement donné à l'eau usée [23].

Le nom de vase (mot emprunté au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes [24].

II.2 Origine des boues (vases) :

Les boues d'épuration peuvent être d'origine primaire, secondaire ou sont digérées. Selon l'étape de traitement subi par l'eau usée [23].

Généralement, les types de processus à employer dans une chaîne de traitement dépendent de la qualité de l'eau usée à traiter et du taux d'élimination des polluants envisagés. Ces procédés de traitement génèrent des boues d'épuration [23].

Les boues représentent un réservoir important de composés organiques, inorganiques (éléments fertilisants, éléments en traces métalliques) et d'agents pathogènes (microorganismes pathogènes, parasites...etc.) [25].

Cependant, à côté de ces composés toxiques en relation avec la nature des activités raccordées au réseau d'assainissement, la matière solide de ces résidus représente une source importante d'éléments naturels valorisables [25].

II.3 Structure physico-chimique des boues (vases) :

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces fractions sont variables d'un milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par

expérience, peut être estimée si l'on considère des matériaux de type vases. Il y a quatre éléments principaux qui constituent les vases.

- La matrice minérale (quartz, feldspaths ou carbonates).
- La fraction argileuse (kaolinite, illite ou smectite).
- La fraction organique (débris végétaux, micro-organismes, acide fulvique et humiques).
- Une certaine quantité d'eau, présente sous différentes formes.

La distribution granulométrique d'un sédiment constitue son empreinte physique, elle caractérise la taille des particules, constituant la phase solide du matériau. Pour l'obtenir, il est procédé à un tamisage mécanique. En dessous d'une taille de 20 μ m, il est nécessaire de recourir à des mesures au laser, qui utilisent le principe de la diffraction de la lumière cohérente sur un écoulement d'une suspension très diluée de fines. Il est communément considéré que les «Vases» correspondent à la fraction inférieure à 63 μ m. Le schéma ci-dessous retrace les grands ensembles de la composition des sédiments portuaires vis-à-vis notamment de leur siccité ou de leur granulométrie [24].

II.4 Causes et origines des sédiments :

L'érosion hydrique est la principale cause d'envasement des barrages. Il est très complexe, car régi par divers facteurs physiques naturels tels que l'agressivité climatique, la topographie, les roches et la végétation [26]. Il en va de même pour le facteur humain à travers la déforestation, le surpâturage et la culture des terres escarpées [26]. La majeure partie du transport solide qui atterrit dans les réservoirs des barrages ne provient pas de l'impact direct des précipitations. Au contraire, la sédimentation se produit en gouttelettes, dont la plupart n'ont pas assez d'énergie pour modifier la cohésion de l'agrégat [26]. D'autre part, le ruissellement diffus qui balaie la terre à travers les sillons de la terre a une grande force érosive [26]. Les pertes de sol résultent principalement de l'affouillement du réseau hydrographique des canyons des badlands et du sapement des berges [26].

Les tempêtes estivales déposent de grandes quantités de sol dans les parties en aval et en amont du réseau hydrographique. Les décharges intermédiaires ont repris lors des crues automnales et hivernales [26]. Ce processus de remboursement de caution est très complexe et très variable. La complexité et la diversité de ce processus sont exacerbées par le régime hydrologique interannuel erratique du bassin versant. En Algérie, où le système climatique est dominé par une alternance de saisons sèches et humides, l'essentiel des

débites d'eau de la quasi-totalité des barrages provient de crues violentes et rapides souvent fortement chargées en sédiments [26].

Les chiffres ci-dessous illustrent très clairement l'ampleur du problème en Algérie. On estime que le potentiel hydrique de l'Algérie est réduit annuellement par la sédimentation d'environ 20 millions de mètres cubes. Le tableau 3 montre l'état de sédimentation de certains barrages algériens en fonctionnement [26]. Le phénomène de l'envasement en Algérie change considérablement d'une région à une autre. Ceci est dû à la variation des facteurs conditionnant l'érosion et le transport solide. Le tableau (3) présente l'état de l'envasement de quelques barrages algériens [26].

Tableau : 3 Etat d'envasement de quelque barrage algérien [26].

BARRAGE	LOCALISATION	TYPE	ANNEE MISE EAU	CAPACITE INITIALE Hm3	CAPACITE DERNIER LEVE Hm3	SUPERFICIE DE LA RETENUE Km2	SURFACE B.V Km2	APPORT MOY-ANN HM3/AN	ENVAS.AN-NUEL Hm3/AN
OUED-FODDA	CHLEF	POIDS	1932	228,00	102,85	6,8	800	120	2,66
GHRIB	AIN DEFLA	ENR	1939	280,00	115,32	12,1	2800	148,5	3,2
F-EL-GHERZA	BISKRA	POIDS	1950	47,00	14,89	3,3	1300	21,3	0,8
SARNO	S.B.ABBES	TERRE	1954	22,00	21,25	2,5	264	12	0,12
KSOB	M'SILA	VOUTE	1940/1977	29,50	12,34	2,4	1500	53	0,3
ZARDEZAS	SKIKDA	POIDS	1945/1974	31,00	18,68	1,9	345	53	0,4
DJORF TORBA	BECHAR	POIDS	1969	350,00	260,25	56,7	22000	200	1,3
FERGOUG	MASCARA	TERRE	1970	18,00	3,12	2,3	420	56	1,5
BENI AMRANE	BOUMERDES	ENR	1988	16,00	11,85	/	3710	414	4,1
GARGAR	RELIZANE	TERRE	1988	450,00	358,28	21	2900	185	4,5
CHEURFAS II	MASCARA	BETON	1992	82,00	70,21	4,5	4190	57	0,36
BABAR	KHENCHELA	TERRE	1995	41,00	38,01	3,8	567	19,5	0,682
F.D.GAZELLES	BISKRA	TERRE	2000	55,50	54,74	5,94	1660	20,6	0,3
TAKSEBT	TIZI OUZOU	TERRE	2001	175,00	181,02	5,28	448	196	0,265
BENI HAROUN	MILA	BCR	2003	960,00	997,90	37	7250	780	6
KOUDIAT MEDOUAR	BATNA	TERRE	2003	69,10	74,32	7,03	590	30	0,023

II.5 Valorisation des vases :

Il est essentiel d'avoir une bonne connaissance des propriétés des matériaux à vidanger avant l'opération de dragage pour le choix des moyens à mettre en œuvre.

Un traitement économique de ces matériaux est recherché dans un but d'améliorer leurs propriétés physiques et mécaniques [27].

II.6 Le traitement peut se faire :

- Soit par stabilisation de la vase par ajout d'autres produits qui améliorent certaines propriétés.
- Soit par traitement physico-chimique.
- Soit par une dépollution.

Dans tous les cas l'objectif du traitement est la valorisation de la vase : ne plus la considérer comme déchet, mais plutôt comme matière première potentielle [27].

II.7 Etat de l'art :

La caractérisation de base des sédiments marins ont été étudiée par Dong Xing Wanga et al [26]. Ainsi, l'effet du ciment et de la chaux sur les limites d'Atterberg et les propriétés mécaniques de ces sédiments après traitement. L'objectif de cette étude est d'évaluer leur faisabilité dans les chaussées. Baptiste Anger et al [26], ont été utilisés les sédiments de barrage comme additif dans le béton. Ils ont remarqués que les sédiments étudiés le d'on pas des performances significatives par a pour à celles des ajouts calcaires ou siliceux normalisés [28].

Q. Enrico et al [29]. Ont été étudié les propriétés mécaniques de brique d'adobe. Ont été mélangé les dix vertes études et concentre et labourer renforcer par une armature de paille et des sables grossier utilisés comme stabilisateur [28]. Ont effectué des essais mécaniques ont utilisent un matériau sous-couche routière. A fin d'utiliser parmi les testes mesures : indice de gonflement volumique, la résistance de la traction, et microstructurale par MEP. Exons observes qu'il ya une amélioration comment a l'utilisation de mélange traité contenant les sédiments dragués et des sables comme matériau substitution [30], en utilisant des ajouts correctifs avec un traitement à base de ciment et de sables selon différentes formulations à des sédiments fins. Dans le port d'Ouistreham (Calvados, France).

Les résultats montrent qu'avec un taux de ciment et de 10% combiné à une diminution de la teneur en matière organique et en argiles, améliorent les propriétés géotechniques et mécaniques des sédiments étudiés.

II.8 Facteurs favorisant l'envasement des barrages :**II.8.1. Processus naturels**

L'envasement des retenues est le résultat d'un processus complexe qui se caractérise par trois étapes successives : érosion, transport et sédimentation [26].

II.8.2 Erosion des sols :

L'érosion des sols est une forme de dégradation. Les facteurs d'érosion sont l'eau et le vent, qui causent tous deux des pertes grande quantité de particules de sol chaque année [31]. La corrosion peut être un processus lent et inattendu, ou augmentation dans des proportions alarmantes, ce qui entraîne une perte. Une grande quantité de terre végétale. Il peut réduire le lessivage de la couche arable capacité de production, qualité des eaux de surface et détérioration blocage des égouts. Il a été constaté que l'érosion a augmenté en raison de la sécheresse du climat d'une part et d'autre part destruction de la végétation [31].

II.8.3 Transport fluviale des sédiments :

Les caractéristiques des sédiments pendant le transport sont un facteur clé pour déterminer les mesures les plus appropriées pour leur gestion. Il existe deux charges inhérentes à la taille des constituants, la matière en suspension (MES) et la charge de fond [26].

II.8.4 Sédimentation :

Les sédiments dragués représentent une ressource alternative précieuse, la connaissance de leurs propriétés est essentielle pour mieux les apprécier La classification de leur taille est le premier critère (Figure 10) Les sédiments d'origine hydrique peuvent être classés en sept classes, allant de l'argile à la roche. Plusieurs classifications nationales existent pour décrire la taille distinctive de chaque haricot. Dans cette recherche, nous utiliserons la classification française [26].

II.8.5 La matière en suspension (MES) :

La matière en suspension constituent l'essentiel des sédiments pendant le transport, mais ne représentent qu'une faible proportion de la masse totale en déplacement (environ 10%). Il n'interagit pas non plus avec le fond du lit (Figure 10) et se fixe sur les matériaux les plus fins qui sont généralement transportés en suspension [26].

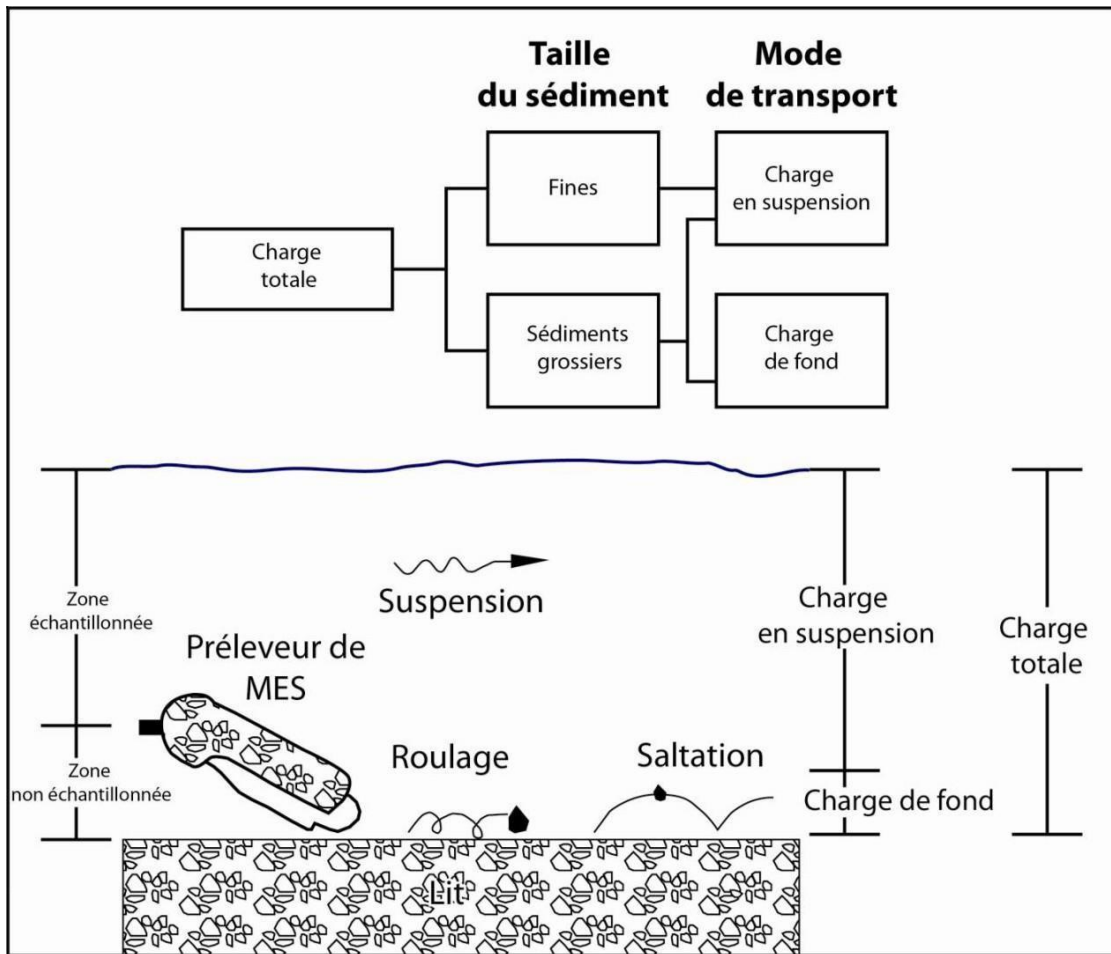


Figure 10. Charge en suspension et la charge de fond

La valorisation des sédiments de dragage constitue une issue pour le problème de gestion de ces matériaux. Il peut utiliser dans le domaine de l'environnement il est possible de réutiliser les sédiments à titre d'exemple pour : [24]

II.8.6 La charge de fond :

Son mouvement est plus lent que celui de matière en suspension et devient plus rapide lors des crues.

Ces sédiments grossiers, une fois emprisonnés dans le réservoir, seront difficiles à recharger au fur et à mesure des rejets d'eau et constituent ainsi une perte de capacité du réservoir, ils représentent moins de 15 % de la charge totale [32].

Ce dernier est encore difficile à repérer du fait de son dépôt en bas du lit. Il existe de nombreuses méthodes d'échantillonnage de la charge du lit, chacune ayant son propre degré d'efficacité en fonction de l'état du lit et du débit. De plus, certains matériaux peuvent être collectés involontairement [33]. Comme indiquée dans la figure 11.

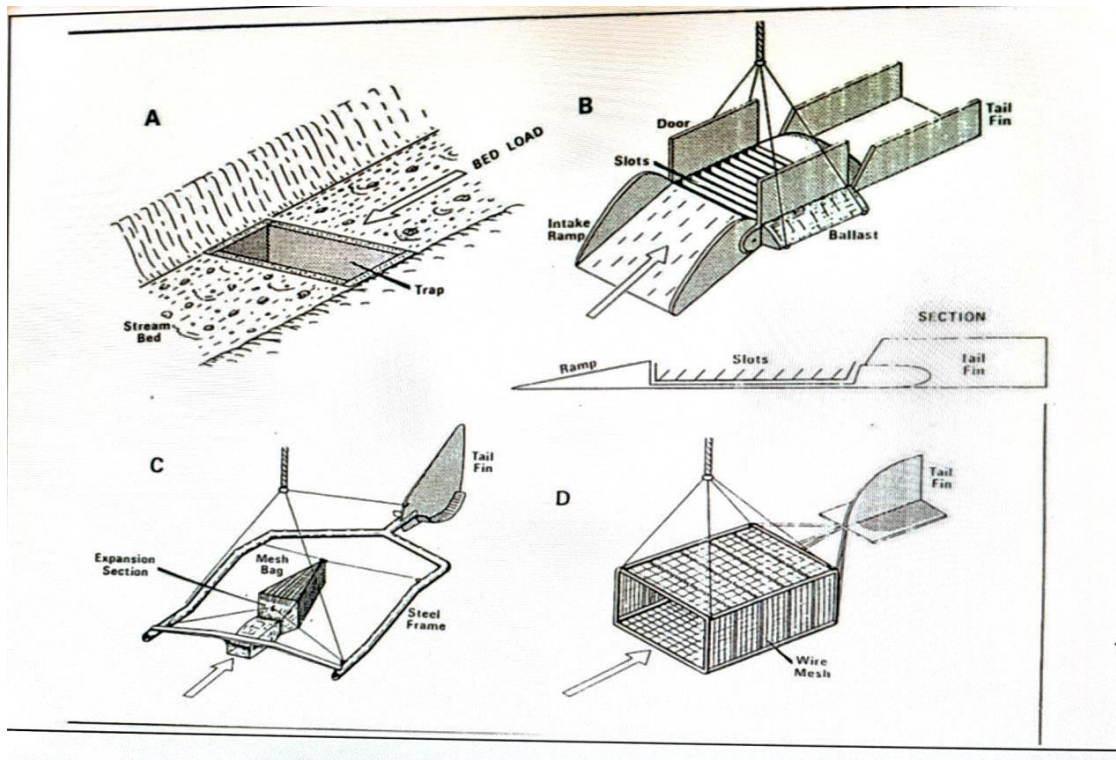


Figure 11. Modèles servant à échantillonner la charge de fond.

II.9 Les problèmes posés par la sédimentation :

De nombreux pays dans le monde sont touchés par le problème de l'envasement et non seulement l'Algérie. En Afrique, Le Maghreb est considéré comme le plus touché par le problème d'envasement [31].

La sédimentation dans les barrages pose d'énormes problèmes au niveau du réservoir lui-même, mais aussi en amont et en aval du réservoir. Elle entraîne la réduction de la capacité utile du barrage. Le blocage des organes de vidange. La sédimentation peut mettre la stabilité de l'ouvrage en danger. Elle peut aussi accélérer l'eutrophisation du lac. Les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par les canaux, à partir des barrages, se déposent dans ces ouvrages, réduisent leur débitante, et rendent difficile leur exploitation [34].

II.10 Le dragage :

Le dragage dans les barrages est particulièrement une opération d'entretien des fonds où les dépôts sont souvent constitués de particules fines ou d'un mélange de sable et de boue. Deux facteurs importants du dragage peuvent impacter l'environnement, la technologie de dragage et les caractéristiques des sédiments nécessitant ainsi de développer une gestion environnementale du dragage plus intégrée notamment pour les nations en développement.

Les opérations de dragage se déroulent généralement en trois étapes, à savoir : le nettoyage proprement dit, les opérations de dragage, le transport et l'élimination des sédiments dragués [35].

II.11 Domaines d'utilisation de la boue :

De par ses composantes et ses caractéristiques importantes, les boues peuvent constituer un matériau à valoriser pour des applications spécifiques [36].

Réutilisation des boues pour immobiliser des contaminants des eaux usées.

Réutilisation des boues pour la séquestration du dioxyde de carbone.

Réutilisation des boues pour stabiliser des sols contaminés.

Réutilisation des boues comme matériaux de substitution dans la construction.

Réutilisation des boues pour la prévention du drainage minier acide [36].

II.12 Les matériaux composites :

II.12.1 Définition :

Les matériaux composites disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels : légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes. Ils permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques. Ils contribuent au renforcement de la sécurité grâce à une meilleure tenue aux chocs et au feu. Ils offrent une meilleure isolation thermique ou phonique et, pour certains d'entre eux, une bonne isolation électrique.

Ils enrichissent aussi les possibilités de conception en permettant d'alléger des structures et de réaliser des formes complexes, aptes à remplir plusieurs fonctions. Dans chacun des domaines d'application (automobile, bâtiment, électricité, équipements industriels,...), ces performances remarquables sont à l'origine de solutions technologiques innovantes [37].

II.12.2 Les constituants des matériaux composites :

Le matériau composite est constitué d'un renfort, qui contribue aux propriétés mécaniques de la pièce, et d'un liant, appelé matrice. Le rôle de la matrice est d'assurer la cohésion entre les éléments du renfort, mais aussi de transférer les flux d'efforts entre les plis, de garantir la tenue à l'environnement (corrosion, vieillissement humide) et la tenue en température [38].

II.12.2.1 La matrice :

La matrice a pour rôle de lier les fibres renforts, répartir les contraintes sollicitées (résistance à la compression ou à la flexion), la tenue chimique de la structure et de donner la forme désirée au produit. Par définition, c'est un polymère ou une résine organique. L'élaboration de matériaux composites nécessite la connaissance des propriétés individuelles des constituants de base des matériaux. La matrice est facilement déformable et assure la protection chimique.

Les différentes familles des matrices sont présentées dans l'organigramme qui présenter par la figure 12 [38].

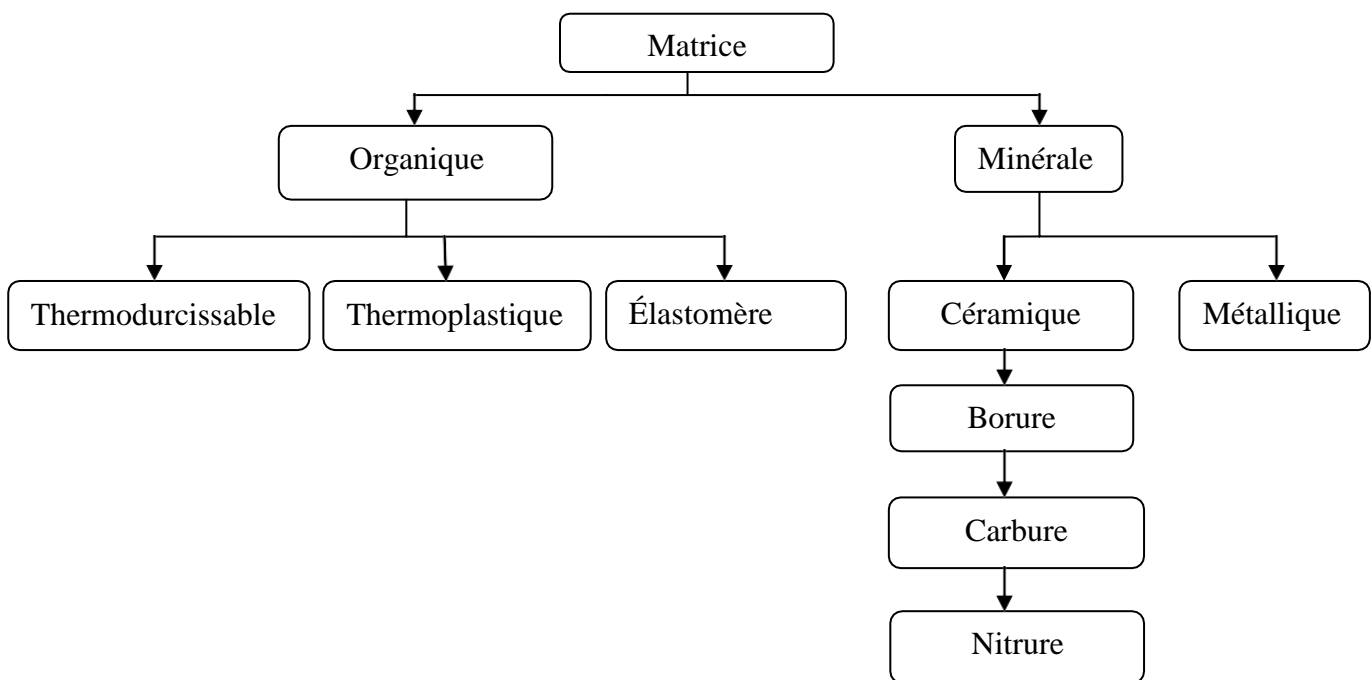


Figure 12. Différentes familles d'une matrice.

II.12.2.2 Le renfort :

Le renfort est un matériau permettant d'améliorer les propriétés de la matrice dans le but d'assurer des meilleures propriétés du matériau composite à élaborer. Les composites sont souvent désignés selon la géométrie de renfort. Ainsi, il existe des composites à particules, des composites sandwichs, et des composites fibreux [39].

Les renforts assurent les propriétés mécaniques du matériau composite et un grand nombre de fibres sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée [40].

Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes :Linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel ou plus).

La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la figure 13.

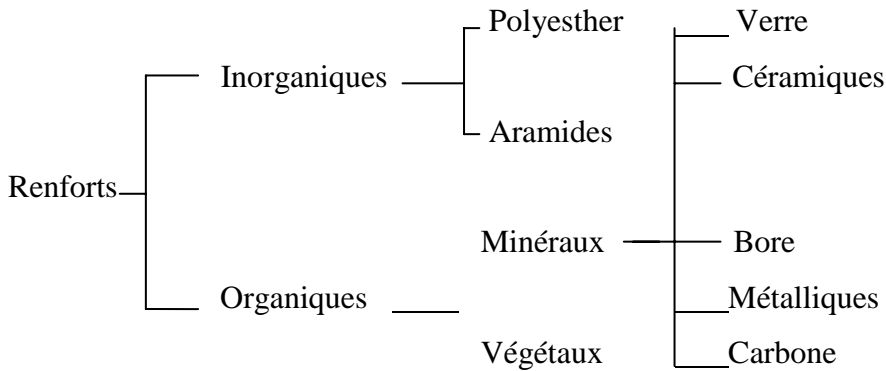


Figure 13. Les différents types de renfort.

II.12.3 Les différents types de fibre :

II.12.3.1 Fibres 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 [40].

II.12.3.2 Fibres de carbone :

Les fibres de carbone ont de très fortes propriétés mécaniques et sont élaborées à partir d'un polymère de base, appelé précurseur [40].

II.12.3.3 Fibres aramides :

Les fibres aramides ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbones mais leurs résistances à la compression est faible. La faible tenue mécanique en compression est généralement attribuée à une mauvaise adhérence des fibres à la matrice dans le matériau composite [40].

II.12.3.4 Fibres céramiques :

Les matériaux composites de type céramiques sont souvent constitués de renforts et de matrice en céramique. Les fibres sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support. Ces fibres sont rencontrées dans des applications où la température est très élevée entre 500°C et 2 000°C [40].

II.12.4 Classifications des matériaux composites :

La classification des matériaux composites se fait selon la forme et la nature des constituants de ces matériaux [41].

Suivant la forme des constituants, les composites sont classés en deux classes :

II.12.4.1 Composites à fibres : Un matériau composite à fibre est un matériau renforcé de fibres (longues, courtes ou coupées) ; l'orientation et l'arrangement de ces fibres permettent de modéliser les propriétés mécaniques de ce composite, ces dernières sont modifiables et modulables selon la variation de la nature des constituants, la proposition des constituants et l'orientation des fibres.

II.12.4.2 Composites à particules : Un matériau composite à renfort de particules est un composite chargé de particules ne possédant ni dimensions ni formes bien précises. L'utilisation de ce type de matériau est limitée, les particules sont utilisées pour réduire le coût du matériau, tout en conservant leurs propriétés mécaniques.

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés,

Composites à matrice organique

Composites à matrice métallique :

Composites à matrice minérale [41].

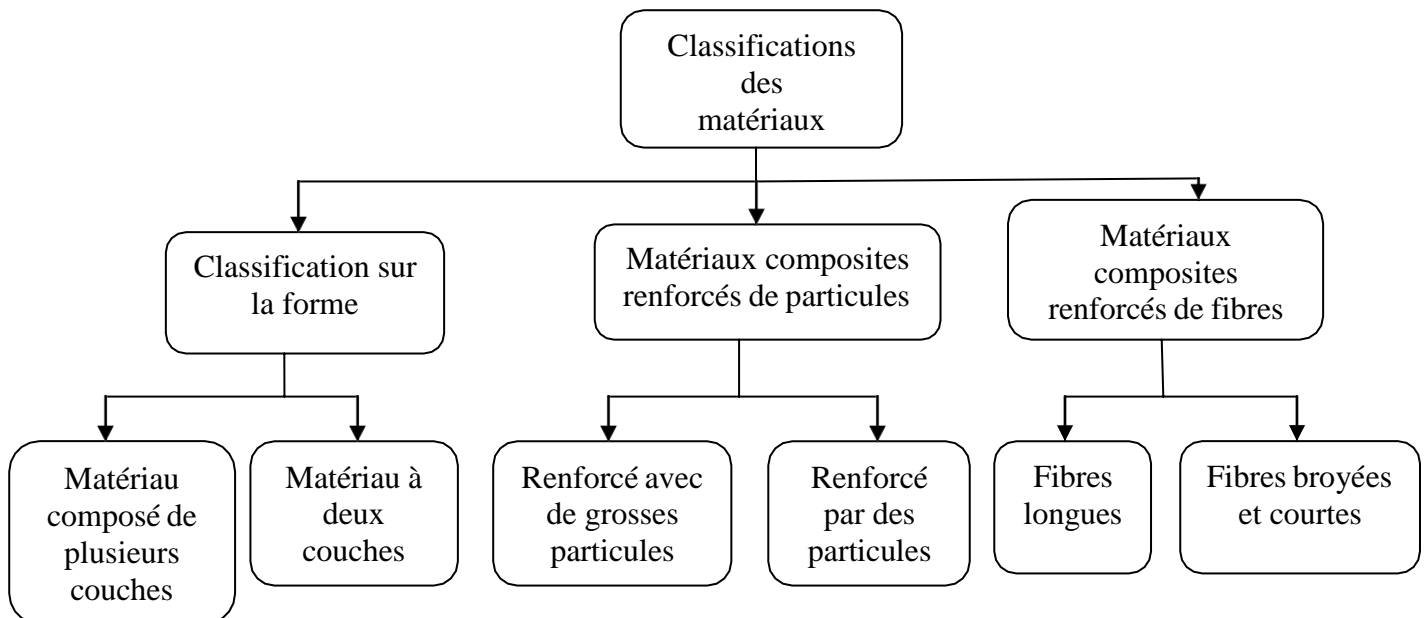


Figure 14. Classifications des matériaux composites [42].

De nombreux chercheurs ont mené des études sur les boues, l'étude présentée par Riad Ali Halassa [35] propose une alternative intéressante pour la valorisation des boues de dragage dans le domaine de la construction en les incorporant dans la composition des

mortiers et bétons ordinaires. Plus précisément, les boues extraites du barrage de El-k'sob ont été caractérisées chimiquement, physiquement, minéralogiquement et mécaniquement et ont été introduites comme substitut du ciment et comme composant dans les mélanges d'un béton et d'un mortier ordinaires. Les boues ont d'abord été activées par calcination et ajoutées au ciment aux doses massiques de 10 %, 15 % et 20 % séparément.

Le comportement mécanique, notamment sous compression, des matériaux cimentaires (béton/mortier) à base de boues traitées a été étudié par des tests en laboratoire. Les résultats des tests montrent que cette innovation technique confère au produit fini trois propriétés majeures, à savoir une haute résistance, une économie et un impact écologique bénéfique. Les résultats obtenus sont encourageants et promettent une exploitation optimale des boues provenant de barrages similaires.

Outre le comportement mécanique, les différents bétons et mortiers de l'étude ont présenté des résultats des essais à l'absorption d'eau et à l'attaque des acides (HCl et H₂SO₄), satisfaisants indiquant que la boue de dragage calcinée a une influence sensiblement meilleure sur la durabilité dès le mortier et le béton dans lesquels elle est incorporée [35].

L'étude menée par Ben Soucha Amira et al [43] a conclu que les processus de traitement des eaux usées et des boues d'épuration qui sont effectués dans la raffinerie de M'sila, en plus de l'analyse physicochimique (composé organique, nutriments et métaux lourds) de ces boues avant réutilisé en agriculture. Comme une alternative très bénéfique pour les communautés locales car cela permettra d'économiser les coûts des décharges publiques et de protéger l'environnement. Les résultats de cette étude ont montré que les boues de la raffinerie de M'sila nécessitent un traitement avant de pouvoir être réutilisées en agriculture. Bien qu'il manque de nutriments [43].

Chapitre III

Matériels et méthodes

Introduction :

Le barrage « El-k'sob » est l'un des plus anciens barrages d'Algérie, situé dans le village de Boukhmissa dans la wilaya de M'sila et est actuellement utilisé pour l'irrigation, ce barrage a été construit par une entreprise française en 1934. Le bassin versant de El-k'sob fonctionne donc comme un collecteur chargé de recueillir les précipitations et de les transporter par écoulement vers le point le plus bas appelé exutoire El-k'sob .[24]

III.1 Historique du barrage El-k'sob:

- 1920 : L'édification d'un barrage de dérivation des eaux de crue de l'oued El-k'sob inférieur fut inscrite au programme de travaux publics de novembre 1920.
- 1927 : La possibilité de construire sur l'oued El-k'sob, non pas un barrage de dérivation mais un barrage réservoir fut examinée par les ingénieurs de la circonscription de bougie (Bejaia).
- 1930 : La réalisation du barrage fut mise au concours le 25 novembre 1929. Six entreprises soumissionnaires. Par jugement du 2 décembre 1930 les travaux furent confiés à la société THEG. Il s'agissait alors d'un barrage type « poids évidé » arasé à la cote (610m) d'une hauteur de 50 m et d'une capacité de 50 m³ /h. L'ouvrage ainsi conçu pouvait assurer la régularisation interannuelle de débit de l'oued El-k'sob.
- 1933 : Les travaux préparatoires étaient achevés lorsque des compressions budgétaires imposèrent une limitation des dépenses entraînant une modification du projet. Le marché passé avec la société THEG fut approuvé le 23 octobre 1933.
- 1934 : Les fondations furent terminées en 1934.
- 1935 : Une crue de 680 m³ survint le 5 octobre endommageant les rives en aval du barrage.
- 1939 : Le corps du barrage fut achevé dans le courant de l'année.
- 1940 : Les évacuateurs étant terminés à la fin du premier semestre la mise en eau débuta en juillet 1940.
- 1947 : Le câble de la vanne de garde de vidange se rompit provoquant l'interruption des validations. Il fallut vidanger le barrage par les vannes de prise.
- 1954 : L'aménagement d'un deuxième pertuis de vidange fut terminé en Mai 1954.
- 1955-1960 : Construction du tronc commun et du réseau d'irrigation en béton remplaçant les anciennes seguias.[24]



-a-



-b-

Figure 15. Vue aérienne du barrage El-k'sob par Google Earth 2022 [24]

III.2 La boue (vase) de barrage El-k'sob:

Le processus de sédimentation du lisier s'accélère d'année en année. Il s'avère qu'environ 1,6 milliard de mètres cubes de boues se trouvent au fond de 74 grands barrages en fonctionnement [1].

Pour la boue de dragage du barrage El-k'sob, composée d'un pourcentage important de silice et d'alumine [44]. Pour le cas de notre étude, sur la boue issue du dragage du barrage El-k'sob de M'sila et selon les résultats obtenus par les différentes techniques utilisées dans l'analyse chimique et minéralogique des échantillons de la boue étudiée, la présence des minéraux argileux essentiels en prévision de voie de la valorisation envisagée est confirmée.

La voie consiste à valoriser la boue de dragage issue du barrage El-k'sob en tant que matériau naturel de construction entrant dans la composition des bétons ordinaires en l'utilisant, en dosages définis substituables au ciment (matériau industriel) par rapport au dosage en masse de cette dernière [44].

Chaque année, 65 millions de mètres cubes de boues sont déposés dans les barrages. Une vingtaine de barrages sont menacés par l'accélération du dépôt de boue. Ceci est une conséquence de l'importante érosion au niveau des bassins versants dans le nord de l'Algérie. Le phénomène des dépôts de boue au fond des barrages tend à augmenter dans les années à venir en raison du changement climatique. Nous avons déjà remarqué qu'en effet, ces dernières années, certains barrages ont enregistré une augmentation du taux d'envasement [1].

III.3 Préparation de l'échantillon argileux :

Source:

L'échantillon de l'argile ont été prélevé au niveau de le barrage de la El-K'sob, tandis que le troisième échantillon, qui est une roche, ont été prélevé dans la zone El-Khaloua, Maadid.

III.3.1 Les Procédures de Préparation de l'Argile :

Pour préparer l'argile, les étapes suivantes ont été réalisées (Concassage, Séchage et broyage) :

- broyage des roches de l'échantillon en petits morceaux à l'aide d'un mortier.
- le matériau a été séché dans un four à 105°C pendant 24 h.
- les morceaux d'argile ont été broyés dans un broyeur.
- le matériau obtenu a été tamisé (Tamis de 400µm).

III.4 Caractérisation de l'argile utilisée :

III.4.1 Analyse granulométrique :

L'analyse des échantillons argile a été réalisée au laboratoire de la cimenterie Lafarge (cimenterie M'sila) à l'aide d'une granulométrie a laser de type Mastersizer 3000 voir à la figure 18.

Qui est un kit composé des éléments suivants :

- Un analyseur de type (banc long) composé essentiellement d'un générateur de source LASER (He-Ne 633 nm).
- de différentes lentilles interchangeables relatives aux largeurs de gammes Granulométriques ($0.05\mu\text{m}$ à $900\mu\text{m}$, $0.5\mu\text{m}$ à $900\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$ à 3.5mm).
- 44 détecteurs
- carte électronique d'interface.
- Deux échantillonneurs et deux chambres d'analyses (voie humide et voie sèche).
- Un logiciel MALVERN, pour le traitement des données.



Figure 16. Granulométrie a laser de type Mastersizer 3000.

III.4.1.1 Méthodologie :**III.4.1.1.1 Paramètres utilisés :**

Les statistiques de la distribution sont calculés d'après les résultats, en utilisant les dérivés $D[m,n]$: **D(v,0.1)**, **D(v,0.5)** et **D(v,0.9)** sont des mesures standards de l'analyse.

D(v,0.5) est la taille de particules pour laquelle 50% de l'échantillon à une taille inférieure et 50% de l'échantillon à une taille supérieure à cette taille, et également connue sous le nom de MMD (Mass Medium Diameter).

D(v,0.1) est la taille de particules pour laquelle 10% de l'échantillon se trouve en dessous de cette dimension.

D(v,0.9) est la taille de particules pour laquelle 90% de l'échantillon se trouve en dessous de cette dimension.

D(4.3) est le diamètre moyen (volume).

D(3.2) est le diamètre moyen pondéré en surface.

Cette valeur est également connue sous le nom de diamètre de Sauter.

Le **span** est la mesure de la largeur de la distribution, plus cette valeur est faible plus la distribution est étroite.

La largeur se calcule par la formule (5) :

$$\text{Span} = D(0.9) - D(0.1) / D(0.5) \dots \dots \dots (5)$$

Concentration est la concentration volumique.

Elle se calcule selon la loi de Beer-Lambert et s'exprime sous forme de pourcentages.

Distribution indique le type de distribution qui a été utilisée pour l'analyse.

Obscurité aide à fixer la concentration de l'échantillon lorsque celui-ci est ajouté au dispersant.

C'est une mesure de la qualité de lumière laser perdue, due à l'introduction de l'échantillon dans le faisceau laser.

La plage idéale s'étend de 10% à 30%.

Uniformité est une mesure de l'écart absolu à partir de la médiane.

Résultats Lecture du rapport :

Size Low (μm) et In (%) : Représentent respectivement le diamètre des grains et les fractions équivalentes (fréquence).

Size High (μm) est under (%) : Montrent le diamètre des grains et les pourcentages cumulés.

Lecture de la courbe :

Le graphe se présente en échelle logarithmique. L'abscisse(X) indique le diamètre des grains en μm et l'ordonnée (Y) avec deux échelles, dont l'échelle de gauche est relative aux pourcentages (%) des fractions lues sur la courbe de fréquence (forme de cloche); l'échelle de droite, indique le pourcentage (%) cumulé dans le cas où une courbe cumulative est représentée (forme de «S»).

III.4.2 Détermination du pH :

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

III.4.2.1 Mode opératoire :

Une solution d'argile à 10 % m/v a été préparée avec de l'eau distillée, le mélange a été laissé en repos pendant 4 h à 25°C, pour permettre aux ions d'entrer dans la solution. La solution d'argile obtenue a été homogénéisée à l'aide d'un agitateur magnétique. Les lectures sont effectuées directement sur un pH-mètre ADWA (pH AD1030) made in Romania voir à la figure 17 et 18.

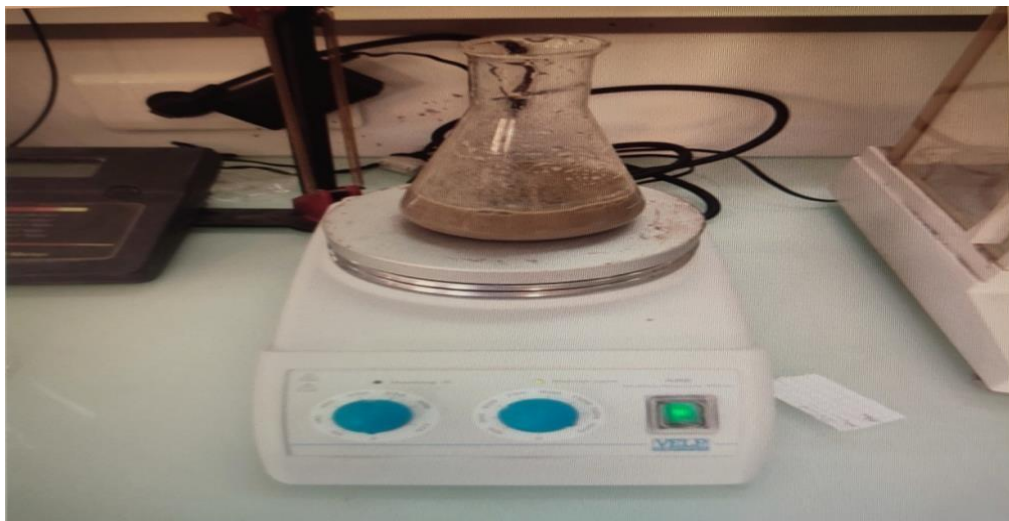


Figure 17. Agitateur magnétique.



Figure 18. pH-mètre ADWA (pH AD1030).

III.4.3 Taux d'humidité (H %):

Les mesures du taux d'humidité consistent à déterminer la masse d'eau éliminée en séchant un matériau humide à une température de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ pendant 24 heures jusqu'à ce qu'il atteigne une masse constante. La masse du matériau après traitement à la vapeur est appelée masse vue du solide (m_s). La teneur en eau a été déterminée à partir du rapport de la masse d'eau (m_{eau}) à la masse de particules solides (m_s).

$$H(\%) = (m_{\text{eau}}/m_s) \times 100 = (m_t - m_s / m_s) \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

m_{eau} : masse d'eau (g)

m_s : masse de l'échantillon sec (g)

m_t : masse de l'échantillon humide (g)

III.4.3.1 Mode opératoire :

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

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

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

III.4.4 Indice de Gonflement (Ig):

Nous pesons (0,5) g d'argile échantillon 1 et 2 et mettons chaque échantillon d'argile pesée dans un tube à essai gradué contenant 50 ml d'eau distillée et après 45 minutes nous ajoutons à nouveau (0,5) g d'échantillons et après deux heures nous déterminons la volume de gonflage [45].

III.4.5 Limite d'atterberg (NFP94-051):

Les limites d'Atterberg sont des caractéristiques géotechniques conventionnelles d'un sol qui marquent les seuils entre :

Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique : limite de liquidité (WL);

Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide : limite de plasticité(WP);

La valeur d'IP est calculée par l'équation (7) :

$$IP = WL - WP \dots\dots\dots(7) [46]$$



Figure 19. Dispositif d'essai de limite de liquidité (appareil de Casagrande).

III.4.6 Détermination de la perte au feu :**III.4.6.1 Principe :**

La perte au feu est déterminée en atmosphère oxydante. Par calcination de l'échantillon à l'air à une température de $(950 \pm 25) ^\circ\text{C}$, le dioxyde de carbone et l'eau sont chassés et les éléments oxydables éventuellement présents sont oxydés jusqu'à un certain point. Une correction pour l'influence de cette oxydation sur la perte au feu est décrite. L'erreur résultant de l'oxydation du fer métallique, du fer bivalent ou du manganèse bivalent est généralement considérée comme négligeable et seule la correction correspondant à l'oxydation des sulfures est appliquée.

III.4.6.2 Mode opératoire :

La perte au feu est mesurée en plaçant une quantité d'argile dans un creuset en porcelaine préalablement broyé, c'est-à-dire son poids P_1 . Le creuset est mis dans un four, avec augmentation progressive de la température jusqu'à 1000°C pendant 1h. Le creuset a ensuite été retiré et mis dans un dessiccateur pour refroidir et pesé, soit son poids P_2 . La perte au feu est calculée par la formule (8) :

$$\text{PAF} = (P_1 - P_2 / P_1) \times 100 \dots \dots \dots (8)$$

III.4.7 Diffraction des rayons X (DRX) :

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

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

Cette technique est basée sur la mesure des angles de diffraction dans les plans de l'échantillon. Ces angles de diffraction sont liés aux caractéristiques du réseau cristallin et du rayonnement incident par la loi de Bragg comme le montre la formule (9) :

$$2d \sin \theta = n \lambda \dots \dots \dots (9)$$

n : ordre de diffraction, λ : longueur d'onde des rayons diffractés.

θ : angle de diffraction.

Les intensités et les largeurs de raies sont influencées par :

- L'ordre cristallin au sein des particules.
- La présence de défauts dans la structure [47].
- La figure 20 illustre l'appareille DRX.



Figure 20. X-Ray Diffraction (DRX).

Chapitre IV

Résultats et discussions

CONCLUSION

IV.1 Granulométrie :

L'analyse de la taille des particules sur les échantillons est effectuée selon la procédure de la norme française NF P 18- 560 [48]. Les résultats obtenus montrent que notre argile est constitué d'environ 4 % de limon et 76 % de sable, ce qui nous autorise à dire que notre argile est sablo-limoneux.

IV.2 Caractéristiques physico-chimiques des argiles :

Le tableau 4 montre les paramètres physiques et chimiques liées aux échantillons d'argile. On remarque que les valeurs de pH des trois échantillons sont similaires. Par contre le taux d'humidité pour les deux boues est égal 3,55 et 3,11 respectivement. L'échantillon ECH3 est de nature pierreuse.

IV.3 Fluorescences des rayons X :

Composition chimique élémentaire d'échantillons :

Le tableau 5 présente les résultats de l'analyse chimique élémentaire de l'argile AR1, AR2 et ECH3. D'après l'analyse de ces données, il ressort que la silice est un oxyde majeur dans les trois échantillons AR1, AR2 et ECH3. Ils ont respectivement une valeur de silice égale à 37,81 % et 38,38 % et 90 %. L'alumine est l'oxyde majeur dans les deux argiles AR1 et AR2, égal à 12,26 % et 12,48 % respectivement, cela traduit qu'ils sont des aluminosilicates. De même que, pour le calcium qui est relativement élevé pour AR1 et AR2 les deux valeurs sont respectivement égale à 19,16 % et 18,62 %, ces matériaux est donc sont riche en calcite (CaCO_3). Par contre l'échantillon ECH3 a des valeurs faibles de l'alumine et de calcite.

Le rapport alumine/silice fournit des informations sur la perméabilité du matériau vis-à-vis de l'humidité. Lorsque ce rapport est grand, la perméabilité est importante [49].

IV.4 Limite d'Atterberg:

Dans le Tableau 7, nous déterminons la valeur de la plasticité, qui est de l'ordre de 30,10 et celle de liquidité de l'ordre de 52,16, pour l'échantillon AR1, tandis que l'indice de plasticité est de 22,06. En vue de la classification d'Atterberg (Tableau 8), on peut déduire que la plasticité de notre argile est élevée.

Pour l'échantillon AR2 et d'après le tableau 9 nous déterminons la valeur de la plasticité, qui est de l'ordre de 22,16 et celle de liquidité de l'ordre de 47,25, tandis que l'indice de plasticité est de 25,09. En vue de la classification d'Atterberg (Tableau 8), on peut déduire ainsi que la plasticité de notre argile AR2 est élevée.

Conclusion

CONCLUSION

CONCLUSION :

L'argile a été d'une grande importance dans la vie humaine depuis l'Antiquité. Elle a commencé à être utilisée dans divers domaines de la vie, de la construction aux écritures anciennes. Elle a également été utilisée dans la fabrication d'ustensiles, et elle est encore utilisée à ce jour dans d'autres domaines tels que la fabrication de médicaments et autres.

Cette étude vise à investir dans les boues de barrage, devenues un obstacle au stockage des eaux de surface et à leur utilisation comme additif aux matériaux composites pour améliorer le rendement mécanique des matériaux composites, à cette fin, nous avons effectué différents tests sur trois échantillons, dont deux provenaient du barrage EL-K'sob à M'sila et un de la région EL-Khalwa à Maadid. Ont été menés dans les laboratoires de l'université Mohamed Boudiaf et aussi dans les laboratoires de la cimenterie Lafarge (cimenterie de M'sila).

Nous avons obtenu des résultats que nous résumons dans ce qui suit :

Les résultats obtenus montrent que notre argile est constitué d'environ 4 % de limon et 76% de sable, ce qui nous autorise à dire que notre argile est sablo-limoneux.

On remarque que les valeurs de pH des trois échantillons sont proches. D'autre part, le taux d'humidité pour les deux boues est égal 3,55 et 3,11. Le spécimen ECH3 est de nature pierreuse.

L'analyse spectrale du diffractogramme indique que AR1 et AR2 sont composés de quartz (SiO_2), de calcite CaCO_3 et de dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. La composition minéralogique de la fraction d'argile des deux matériaux (AR1 et AR2) sont constituées 21,07 % et 20,5 respectivement de quartz et 37,15 % et 38,27 % calcite comme impuretés majeures dans notre échantillon, confirmant ainsi les résultats obtenus précédemment, qui indiquent des proportions élevées de SiO_2 (quartz) et de calcite. Alors que l'échantillon (ECH3) représente la présence de quartz, où le pourcentage de quartz était de 92,95 %.

Nous déterminons la valeur de plasticité, qui est l'ordre de 30,10 et celle de liquidité de l'ordre de 52,16, pour l'échantillon AR1, tandis que l'indice de plasticité est de 22,16, on peut déduire que la plasticité de notre argile est élevée.

CONCLUSION

Pour l'échantillon AR2, nous déterminons la valeur de plasticité, qui est de l'ordre de 22,16 et celle de liquidité de l'ordre de 47,25, tandis que l'indice de plasticité est de 25,09, on peut déduire ainsi que la plasticité de notre argile AR2 est élevée.

Le travail que nous proposons dans le futur est que ces matériaux sont prometteurs et possèdent des propriétés mécaniques élevées pouvant être exploitées dans de nombreux domaines et renforcées avec des fibres végétales, afin de réduire l'utilisation de matériaux synthétiques.

Références bibliographiques :

- [1] B. Remini, “L’algerie : De la boue au fond des barrages , que faire ? Algeria : the mud at the bottom of the dams , what to do ? Larhyss Journal, pp. 213-247,” no. December 2019.
- [2] M. Y. Tchoulak, “A.Djebblouni. Modification des argiles en vue de leur utilisation dans les matériaux composites. mémoire master soutenu le 13 Juin 2015. Ecole nationale polytechnique l’algerie.,” 2015.
- [3] D. G. Chimique, F. Mohellebi, F. Kies, and M. R. Tezkraat, “Les argiles classification et applications dans le traitement des eaux chargées en composés phénoliques. Mémoire master soutenu le 14 Juin 2014. Ecole nationale polytechnique l’algerie,” 2014.
- [4] S. Guggenheim et al., “Definition of clay and clay mineral: Joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees,” clay clay Miner. Jt. Rep. Miner., vol. 43, no. 2, pp. 255–256, 1995, doi: 10.1346/CCMN.1995.0430213.
- [5] M. Rautureau, “Fiches détaillées - Sépiolite & palygorskite,” Société de l’Industrie Minérale, 2011, [Online]. Available: www.lasim.org/images/doc_gratuite/sepiolite-palygorskite.pdf.
- [6] N. Jozja and É. De, “Étude de matériaux argileux albanais. Caractérisation « multi-échelle » d’une bentonite magnésienne. Impact de l’interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité. Soutenu le 26 juin 2003, université d’Orléans France.,” 2003.
- [7] H. H. Murray, Applied clay mineralogy. Occurrences, processing and application of kaolins, bentonite, palygorskitesepiolite, and common clays, vol. 55, no. 6. 2007.
- [8] W. Lertwimolnun, “Réalisation de nanocomposites polypropylène/argile par extrusion bivis, thèse doctorat soutenue le 16 mai 2006, Ecole des mines de paris.,” pp. 1–245, 2006.
- [9] B. Traore, “Elaboration et caractérisation d’une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés) : Amélioration de la résistance par des charges en argiles,” Thèse de docteur, pp. 1–493, 2019.
- [10] J. Berthonneau, “Le rôle des minéraux argileux dans la dégradation de la pierre : application à la conservation de la ‘Pierre du Midi’ en termes de durabilité et compatibilité des matériaux en oeuvre,” pp. 1–376, 2013.
- [11] N. Liewig, M. Rautureau, and C. Gomes, “Les argiles et la santé humaine: d’hier à aujourd’hui,” Etude Gest. des Sols, vol. 19, no. 3–4, pp. 267–277, 2012.

- [12] M. Académique, “N.Kafi.Traitement des eaux usées de Touggourt par l’argile de Bildet Omar. Mémoire Master , soutenu le : 25/06/2013, Université KASDI Merbah Ouargla L’Algérie,” 2013.
- [13] V. J. Hurst and S. A. M. M. Pickering, “Origin and classification of coastal plain kaolins, southeastern usa, and the role of groundwater and microbial action,” vol. 45, no. 2, pp. 274–285, 1997.
- [14] N. Bouzidi, “Influence des impuretés des kaolins sur les propriétés des produits de cuisson,” Thèse l’université Bejaia d’Algérie l’école supérieure des mines Sant-Etienne, pp. 1–135, 2012.
- [15] U. Pierre and E. T. Marie, “B.Rotenberg.Modélisation multi-échelles du comportement de l’eau et des ions dans les argiles. Thèse Doctorat soutenance : 15 octobre 2007,l’université pierre et marie curie - paris 6,” pp. 1–200, 2004.
- [16] F. D. E. S. Sciences, D. Sciences, E. T. Technologies, D. D. E. Chimie, and M. Et, “J F. Radolalaina. Valorisation des argiles : Isolation thermique pour la réalisation d’un mini-four, mémoire master soutenu le : 24/07/2015. Université d’Antananarivo Madagascar,” 2015.
- [17] A. Decarreau, “Etude expérimentale de la cristallogénèse des smectites. Mesures des coefficients de partage smectite trioctaédrique - solution aqueuse pour les métaux M²⁺ de la première série de transition,” *Sci. Géologiques, Bull. mémoires*, vol. 74, no. 1, 1983.
- [18] R. A. Democratique, E. T. Populaire, E. T. D. E. La, R. Scientifique, and F. D. E. Technologie, “M. Chikouche, optimisation des ajouts à base d’argiles vaseuses et leurs effets sur les propriétés des matériaux cimentaires, thèse doctorat, soutenue le 14/12/2016, Mohamed boudiaf Algerie,” 2016.
- [19] S. Lantenois, “réactivité fer métal/smectites en milieu hydraté à 80°C,thèse doctorat soutenue le 17/12/2003, université d’orléans Français,” 2003.
- [20] E. Galan, “Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays,” *Clay Miner.*, vol. 31, no. 4, pp. 443–453, 1996.
- [21] W. C. Isphording, “Discussion of the occurrence and origin of sedimentary palygorskite-sepiolite deposits,” *Clays Clay Miner.*, vol. 21, no. 5, pp. 391–401, 1973.
- [22] E. Jard, “Composition organique de boues résiduares de stations erisation moléculaire et effets de la biodégradation to cite this version : Thèse docteur de l’université Henri Poincaré , Nancy I,” Hal, p. 267, 2005.

- [23] R. V. violette T.Andoniaina, “Etude et traitement des boues d’une station d’épuration. Diplome de licence, soutenue le 13/06/2013, Université d’Antananarivo Madagascar,” 2013.
- [24] M.Dehoum and A. Mazouz., “Traitement des sédiments de dragage du barrage K’sob en vue de leur valorisation en techniques routières, mémoire master, Mohamed Boudiaf Algerie,” 2020.
- [25] T. Bridel-bertomeu, “L. Elfels. Suivi physico-chimique, microbiologique et ecotoxicologique du compostage de boues de step mélangées a des déchets de palmier: validation de nouveaux indices de maturité. Thèse doctorat de l’université de Toulouse france,” 2014.
- [26] A. C. Benaicha, “Comportement mécanique de la boue d’extraction du barrage Koudiet Meddaouar pour son utilisation dans le domaine industriel. Thèse doctorat, soutenue : Octobre 2021. Université Mostefa Ben Boulaïd Algerie,” 2021.
- [27] B. Remini, “Valorisation de la vase des barrages quelques exemples algeriens,” Recherche, pp. 75–89, 2006.
- [28] W. Maherzi, M. Benzerzour, Y. Mamindy-Pajany, E. van Veen, M. Boutouil, and N. E. Abriak, “Beneficial reuse of Brest-Harbor (France)-dredged sediment as alternative material in road building: laboratory investigations,” *Environ. Technol. (United Kingdom)*, vol. 39, no. 5, pp. 566–580, 2018.
- [29] E. Quagliarini and S. Lenci, “The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks,” *J. Cult. Herit.*, vol. 11, no. 3, pp. 309–314, 2010.
- [30] M. Boutouil and L. Saussaye, “Influence de l’ajout d’un correcteur granulométrique sur les propriétés des sédiments traités aux liants hydrauliques,” *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 229–238, 2011.
- [31] B. Kara and A. Nemdili, “Les mesures préventives de lutte contre l’envasement des barrages,” *Coloque Int. sur la lutte contre l’envasement des barrages*, pp. 1–11, 2014.
- [32] K. G. Tejwani, “Reservoir sedimentation in India-its causes, control, and future course of action,” *Water Int.*, vol. 9, no. 4, pp. 150–154, 1984.
- [33] C. L. Larson and W. Albertin, “Controlling erosion and sedimentation in the panama canal watershed,” *Water Int.*, vol. 9, no. 4, pp. 161–164, 1984.
- [34] W. Remini and B. Remini, “La sedimentation dans les barrages de l’Afrique du nord,” *Larhyss J.*, pp. 45–54, 2003.

- [35] F. D. E. Technologie, M. Et, and B. Ordinaires, “R. A. Halssa. Valorisation d’une boue de dragage dans la matrice cimentaire d’un mortier et béton ordinaires. Thèse doctorat soutenue le 20/11/2022 Mohamed Boudiaf Algerie,” 2022.
- [36] T. Belem, “Étude des propriétés hydrogéotechniques des mélanges sol-boues utilisables comme matériaux fins d’une couverture avec effets de barrière capillaire. Mémoire de diplôme de maîtrise ès sciences appliquées génie minéral 2019 université de Montréal,” 2019.
- [37] E. Doctorale, “G. S. G. Milohin. Caractérisation de la terre de barre stabilisée au ciment et de l’argile cuite avec incorporation de cendres de bois en vue d’une utilisation en construction, mémoire ingénieur soutenue le 15/12/2014 Université D’Abomey-calavi Bénin,” 2014.
- [38] Z. Guerou and F. Habri, “Étude comparative d’un matériau composite à base de deux types d’argiles l’une naturelle et l’autre activée. Mémoire de master, soutenue le 29/09/2020 université Ibn Khaldoun Algerie,” 2020.
- [39] A. Kenza, “Développement et caractérisation de matériaux à base du bois de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable en Algérie, thèse doctorat soutenue le 18/04/2018 université Mohamed Khider Algerie,” 2018.
- [40] L. Gornet, “Généralités sur les matériaux composites, HAL Id: cel-00470296,” pp. 1–43, 2008.
- [41] M. Kharoubi, “Etude du comportement mecanique de materiaux composites sous chargement cyclique et dynamique. Thèse de doctorat soutenue le ../10/2009 université 08 MAI 1945 Algerie,” 2009.
- [42] K. Zinette, “تحضير ودراسة خصائص مادة مركبت ذات مصنونة من البولوي استر غير المشبع مقواة ,بألياف نبات الدبس,” Mémoire magister, université Mohamed Boudiaf Algerie 2014,” 2014.
- [43] A. Ben saouche, S. Tebani and S. Marrouf., “Caractérisation physico-chimique et valorisation d’une boue de station d’épuration de M’sila, mémoire master université Mohamed Boudiaf Algerie,” 2019.
- [44] R. A. Halassa, M. Bibi, and M. Chikouche, “Mise en valeur de la boue de dragage des barrages envasés dans le domaine de génie civil : Quelques exemples Algériens, The national conference on energy systems, university Algerie, pp. 1–11, 2014.”
- [45] C. Meirhaeghe and H. Bewa, “Evaluation de la disponibilité et de l’accessibilité de fibres végétales à usages matériaux en France,” Étude FRD subventionnée par

- l'ADEME, vol. 16, p. 65, 2011.
- [46] Z. Koadri, A. Benyahia, N. Deghfel, K. Belmokre, B. Nouibat, and A. Redjem, "Étude de l'effet du temps de traitement alcalin de fibres palmier sur le comportement mécanique des matériaux à base d'argile rouge de la région de M'sila," *Matériaux Tech.*, vol. 107, no. 4, p. 404, 2019, doi: 10.1051/mattech/2019031.
- [47] D. R. Lloyd, "The infrared spectra of minerals," *Anal. Chim. Acta*, vol. 78, no. 2, pp. 514–515, 1975, doi: 10.1016/s0003-2670(00)00181-1.
- [48] P. NF, "94-056, Sols: reconnaissances et essais, Analyse granulométrique, Méthode de tamisage à sec après lavage," *Assoc. Française Norm. Fr.* (in French), 1996.
- [49] A. Lahsini, J. Bentama, A. Addaou, and M. Rafiq, "Caracterisation physico-chimique et etude du frittage d'une argile destinee a l'elaboration de membranes de filtration tangentielle," *J. Chim. Phys. Physico-Chimie Biol.*, vol. 95, no. 5, pp. 1001–1019, 1998, doi: 10.1051/jcp:1998227.
- [50] V. Tesrki, N. E. Zafeiropoulos, and F. Simon, "A study of the effect of acetylation and propionylation surface treatment on natural fibers," *Compos. Part A*, vol. 36, p. 1110, 2005.
- [51] M. S. Sreekala, M. G. Kumaran, and S. Thomas, "Oil palm fibers: Morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 66, no. 5, pp. 821–835, 1997.
- [52] L. Y. Mwaikambo and M. P. Ansell, "Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 84, no. 12, pp. 2222–2234, 2002, doi: 10.1002/app.10460.