

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abderrahmane Mira de Bejaia  
Faculté de Technologie  
Département des Mines et géologie

# Memoire de Fin d'Etudes

**En vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Filière : Génie Minier**

**Option : Valorisation des Ressources Minérales**

**Présenté par**

*Zegga Amel & Tahir Lynda*

**Thème**

*Enrichissement des sous-produits siliceux générés par  
le traitement du kaolin de Tamazert (Wilaya de Jijel)*

Soutenu le 28 / 09 /2022 devant le jury composé de:

Président	Mr R.Boukarm	MCB	U.A.M.Bejaia
Encadrant	Mr S.Bouabdallah	MCB	U.A.M.Bejaia
Examineur	Mr B.Ayaden	MAA	U.A.M.Bejaia

*Promotion: 2021-2022*

# Remerciements

Tous d'abord, je remercie mon grand Dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé, le courage 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 :

C'est un grand plaisir d'exprimer toutes nos gratitude à notre encadreur, Monsieur **BOUABDALLAH Soufiane** de nous avoir fait confiance de mener à terme cette recherche.

Aussi on remercie infiniment **Mr AYADEN** et **Mr BOUKARM** d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions particulièrement Monsieur **ADJISSA Massi** qui nous a fait profiter de ses connaissances et de son soutien moral et qui n'a pas hésité un seul instant à nous encourager et pour tous les conseils et l'aide précieuse qu'il nous a transmis.

Nous remercions le plus sincères s'adressent également au Monsieur **DJARMOUNE Atmane** (CRAPC Bejaia) pour son aide et ses conseils.

Nous sincère gratitude va vers tous ceux qui ont participés de près ou de loin à la réalisation de notre travail.

***Merci à tous***

# Dédicaces

A mes parents : Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A toute ma grande famille

A mes très chères sœurs

A mon très cher fiancé

A mon cher frère : seifdine

A tous ceux qui me sont chers, proches de mon cœur et à tous ceux qui m'aiment et qui partagent ma joie.

**LYNDA**

# Dédicaces

A l'âme de mon père qui a toujours été l'étoile de mon ciel,

Que dieu l'accueille en son vaste paradis.

A ma mère, pour son sacrifice et son soutien moral et matériel

Elle me montre comment réussir à travers ma vie et mes études.

A mon frère Walid et ma sœur Amina.

A toute ma famille et mes amis pour leur soutien et leurs encouragements.

A tous qui m'ont aidé de loin ou de près pour réaliser mon travail,

Merci pour votre soutien surtout moral.

**AMEL**

## Sommaire

Introduction Générale.....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur le kaolin et présentation du site.</b>	
<b>Partie I : Présentation du minerai.....</b>	<b>2</b>
I.1. Situation géographique et géologie du gisement.....	2
I.2. Géologie du gisement.....	2
I.3. Minéralisation.....	3
<b>Partie II : Présentation du site.....</b>	<b>4</b>
I.1. Origine du kaolin .....	5
I.2. Minéralogie des kaolins .....	5
I.3. Définition du Kaolin.....	6
I.3.1. La kaolinite .....	7
I.4. Structure de la Kaolinite.....	8
I.5. Propriétés physico-chimiques de la kaolinite.....	8
I.6. Compositions chimiques.....	9
I.7. Domaines d'application des kaolins.....	9
I.8. Méthode d'exploitation du kaolin du Tamazert.....	10
I.9. Description de la laverie de SOALKA.....	10
II.9.1. Homogénéisation-stockage.....	11
II.9.2. Séparation par voie humide.....	13
II.9.3. Panneaux tamiseurs.....	13
II.9.4. Épaississement.....	13
II.9.5. Le hall de production.....	13
II.9.6. Blanchiment.....	13
II.9.7. La filtration.....	14
II.9.8. Caisse doseuse /déchetueur.....	14
II.9.9. Séchage des produits KT2 et KT3.....	15
<b>Chapitre II:Présentation des méthodes d'enrichissement des sables siliceux.</b>	
Introduction.....	17

## Sommaire

---

<b>II.1.</b> Le sable siliceux.....	17
<b>II.1.1.</b> Définition.....	17
<b>II.1.2.</b> Le sable siliceux dans le monde.....	17
<b>II.1.3.</b> Le sable siliceux en Algérie.....	17
<b>II.1.2.2.</b> Marché et acteurs mondiaux.....	19
<b>II.1.2.3.</b> Prix.....	19
<b>II.1.3.</b> Les principales applications du sable siliceux.....	19
<b>II.2.</b> Procédés d'enrichissement de sable siliceux.....	20
<b>II.2.1.</b> Concentration gravimétrique.....	21
<b>II.2.2.</b> Attrition de sable siliceux.....	21
<b>II.2.3.</b> Séparation gravimétrique de sable siliceux.....	22
<b>II.2.4.</b> Séparation magnétique.....	22
<b>II.2.4.1.</b> Séparation magnétique de sable siliceux.....	23
<b>II.3.</b> Séparation par voie physico-chimique (flottation).....	23
<b>II.3.1.</b> Définition et principe.....	23
<b>II.3.3.</b> Flottation de sable siliceux.....	25
<b>II.4.</b> Séparation par voie chimique (lixiviation).....	26
<b>II.4.1.</b> Type des lixiviations.....	26
<b>II.4.1.1.</b> Lixiviation acide.....	27
<b>II.4.1.2.</b> Lixiviation acide oxydante.....	27
<b>II.4.1.3.</b> Lixiviation acide réductrice.....	27
<b>II.4.1.4.</b> Lixiviation ammoniacale.....	27
<b>II.4.1.5.</b> Lixiviation alcaline (basique).....	27
<b>II.4.1.6.</b> Lixiviation bactérienne.....	27
<b>II.5.</b> Lixiviation de sable siliceux.....	27
Conclusion.....	29

## Sommaire

---

### **Chapitre III : Matériels et méthodes.**

Introduction.....	30
<b>III.1.</b> Les sous-produits de kaolin.....	30
<b>III.2.</b> Prélèvement et préparation d'échantillons.....	31
<b>III.2.1.</b> Prélèvement des échantillons.....	31
<b>III.3.</b> Préparation des échantillons aux analyses.....	31
<b>III.4.</b> Quartage.....	32
<b>III.5.</b> Caractérisation physico-chimique.....	32
<b>III.5.1.</b> Analyse granulométrique par tamisage.....	33
<b>III.5.2.</b> Spectroscopie Infrarouge.....	33
<b>III.5.3.</b> Méthode de la fluorescence X (FX).....	34
<b>III.5.4.</b> Diffractométrie des rayons X (DRX).....	34
<b>III.5.5.</b> Attaque chimique.....	35
Conclusion.....	36

### **Chapitre IV : Résultats et discussion.**

Introduction.....	38
<b>IV.1.</b> Caractérisation physico-chimique de minerai.....	38
<b>IV.1.1.</b> Analyse granulométrique.....	38
<b>IV.1.2.</b> Spectroscopie infrarouge (FT-IR).....	40
<b>IV.2.</b> Caractérisation chimique.....	42
<b>IV.2.1.</b> Analyse par fluorescence X (FX) de la matière première.....	42
<b>IV.2.2.</b> Analyse granulo-chimique par fluorescence X.....	42
<b>IV.2.3.</b> Analyses minéralogiques par diffraction des rayons X.....	42
<b>IV.2.4.</b> Attaque chimique des échantillons.....	44
Conclusion.....	47
Conclusion générale.....	48

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

<b>Figure I.1</b> : Localisation du gisement de tamazert.....	2
<b>Figure I.2</b> : Représentation schématique de la structure (a) d'une argile TO de type kaolinite et (b) d'une argile T-O-T de type montmorillonite .....	7
<b>Figure I.3</b> : Structure de la kaolinite et structure développée d'un monomère de kaolinite....	7
<b>Figure I.4</b> : Front d'exploitation de la carrière.....	10
<b>Figure I.5</b> : Stockage du kaolin au niveau de l'usine pour traitement.....	11
<b>Figure I.6</b> : Schéma technologique de traitement du kaolin par voie humide.....	12
<b>Figure I.7</b> : bassins de décantation.....	13
<b>Figure I.8</b> : Schéma technologique d'égouttage du minerai (Épaississement, filtration et séchage).....	15

### Chapitre II:Présentation des méthodes d'enrichissement des sables siliceux.

<b>Figure II.1</b> : Carte d'Algérie montrant les régions du sable siliceux.....	18
<b>Figure II.2</b> : Fixation des particules à la surface hydrophobe aux bulles d'air.....	24

### Chapitre III : Matériels et méthodes

<b>Figure III.1</b> : Le sous-produit de kaolin (sable G0).....	30
<b>Figure III.2</b> : Protocole d'échantillonnage de Sable.....	31
<b>Figure III.3</b> : Opération de quartage.....	32
<b>Figure III.4</b> : Tamiseuse de marque RETSCH.....	33
<b>Figure III.5</b> : Appareil d'analyse d'infrarouge.....	34
<b>Figure III.6</b> : pastillage.....	34
<b>Figure III.7</b> .Appareil d'analyse fluorescente X (FX).....	34
<b>Figure III.8</b> : Diffractomètre à rayons X.....	35

## Liste des figures

---

**Figure III.9 :** Mélange de sable et de solution d'acide.....36

### **Chapitre IV : Résultats et discussion.**

**Figure IV.1 :** Courbe granulométrique du sable G0.....39

**Figure IV.2 :** les spectres IR de l'échantillon de sable brut.....41

**Figure IV.3 :** les spectres IR de l'échantillon(-0,5+0,1mm). ....41

**Figure IV.4 :** les spectres IR de l'échantillon(-1+0,5mm).....41

**Figure IV.5 :** Spectre d'un échantillon du sable G0 brut analyse par DRX.....43

**Figure IV.6 :** Les spectres DRX de la fraction [-0,5+0,1mm].....43

**Figure IV.7 :** Les spectres DRX de la fraction [-1+0,5mm].....44

**Figure IV.8:** Teneur de  $Al_2O_3$  et  $Fe_2O_3$  en fonction de dosage dans la tranche (0,5+ 0,1mm).....45

**Figure IV.9.** Teneur de  $SiO_2$  en fonction de dosage dans la tranche (-0,5+0,1).....46

**Figure IV.10.** Teneur de  $Al_2O_3$  et  $Fe_2O_3$  en fonction de dosage dans la tranche (1+0,5mm) .47

**Figure IV.11.** Teneur de  $SiO_2$  en fonction de dosage dans la tranche (-1+0,5mm).....48

## LISTE DES TABLEAUX

### Chapitre I : Généralités sur le kaolin et présentation du site.

**Tableau I.1** : Analyse chimique d'un échantillon du kaolin de Tamazert.....4

**Tableau I.2** : composition minéralogique d'un échantillon du kaolin de Tamazert.....4

**Tableau I.3** : Propriétés physico-chimiques de kaolinite.....8

### Chapitre IV : Résultats et discussion.

**Tableau IV.1** : Résultat de l'analyse granulométrique.....38

**Tableau IV.2** : les diamètres et coefficients caractéristiques de la granulométrie de sable brut.....40

**Tableau IV.3** : Les principales bandes d'absorption IR ( $\text{Cm}^{-1}$ ) des sous-produits étudiés.40

**Tableau IV.4** : Composition chimique de sable brut.....42

**Tableau IV.5**: Les résultats des oxydes de classes granulométriques différentes (-1+0,5mm) et (-0,5+0,1mm).....42

**Tableau IV.6** : Analyse chimique du sable G0 de tranche (-0,5 +0,1 mm).....47

**Tableau IV.7** : Analyse chimique du sable G0 de tranche (-1+0,5 mm).....48

*INTRODUCTION*

*GENERALE*

### **INTRODUCTION GENERALE**

Le kaolin est une argile blanche, douce et plastique composée principalement de fines particules sous forme de plaquettes [1]. Elle est utilisée pour donner de la blancheur et de l'éclat dans les céramiques, les peintures et les papiers.

Le gisement de kaolin de tamazert, situé dans la région d'EL-Milia (Nord-est Algérien), est l'un des plus importants d'Algérie. Le kaolin de Tamazert est d'origine hydrothermale, issue de la transformation des feldspaths potassiques, associés au quartz [2].

La matière première extraite est pauvre, précisément à cause de la concentration très élevée en quartz. Lors du traitement de la matière première, il en résulte une proportion importante (environ 80%) de dérivés ou de sous-produits siliceux de différents calibres : gros grains (GOO), grains moyen (GO), grains fins (GW1) et grains très fins (GW2).

Le problème majeur posé est la quantité considérable des rejets siliceux qui peuvent être stockés à l'air libre. Donc cette étude concerne la valorisation des rejets des kaolins de Tamazert (Sable G0) qui proviennent de la phase de traitement du minerai (rejets de laverie).

Ce mémoire comporte en quatre chapitres :

Le premier chapitre : est consacré aux généralités sur le kaolin et présentation du site (la géologie du gisement, la méthode l'exploitation ainsi que les techniques d'enrichissement du kaolin de Tamazert).

Le deuxième chapitre : est consacré à l'analyse de la littérature scientifique sur le l'enrichissement des sable siliceux.

Dans le troisième chapitre nous présentons le matériel utilisé et la procédure expérimentale, les différentes méthodes d'analyses sont utilisées et une série d'essais menés pour tester les procédés de séparation de sable G0.

Le quatrième chapitre : est consacré aux résultats et aux interprétations correspondantes.

Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats de ce travail de recherche.

# *Chapitre I :*

## *Généralités sur le kaolin et*

### *Présentation du site*

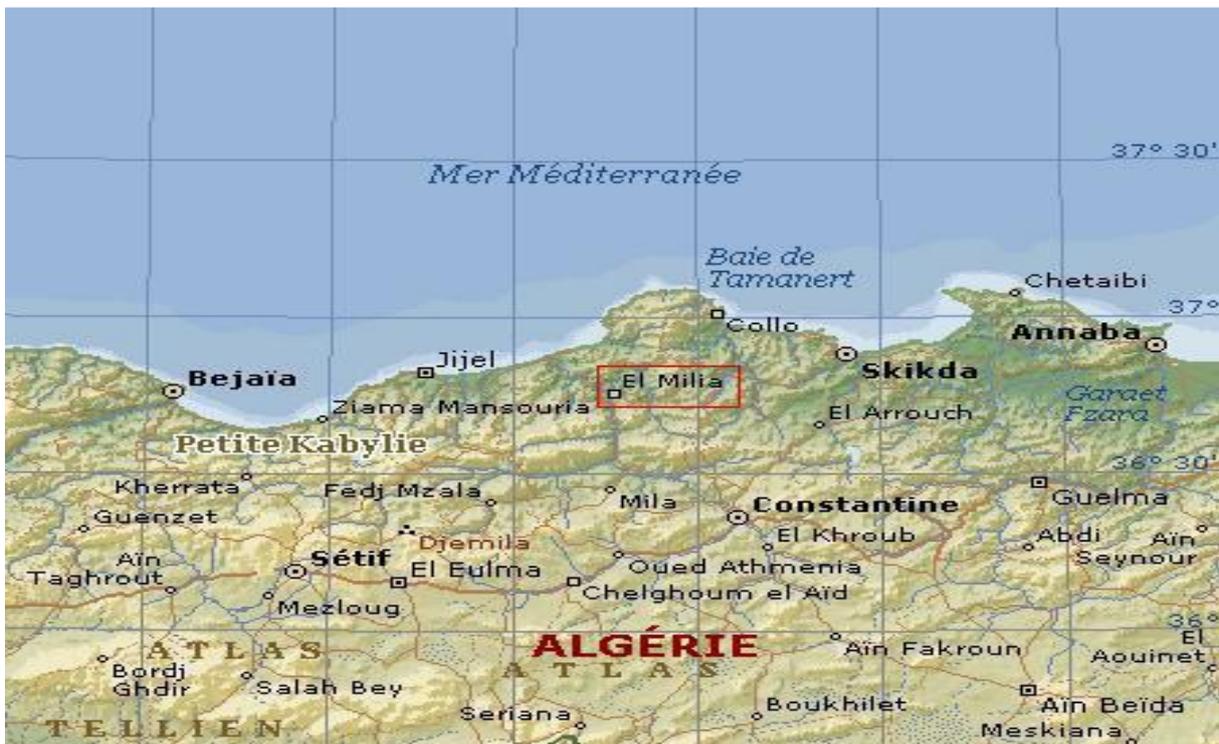
# CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

## Chapitre I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

### Partie 1 : Présentation du site

#### I.1. Situation géographique et géologie du gisement

Le gisement de Tamazert se situe au Nord-Est de l'Algérie, plus précisément en petite Kabylie. Le gisement de Tamazert objet de notre étude est situé à 17 Km au nord de la ville d'El-Milia, 45 km de la ville de Jijel de côté ouest, 35 km de la ville de Colla et 10 km la mer méditerranéenne. Il est entouré au Sud par le Douar Chefra et au N-W par le Djebel Adjar, à l'Ouest par le Douar Ouled Boufaa et de l'Est par les collines d'Azarar, le gisement est compris entre la longitude 6° 5' et la latitude boréale 36°5' (Figure I.1).



**Figure. I.1.** Localisation du gisement de tamazert.

#### I.2. Géologie du gisement

Le kaolin de Tamazert compte parmi les gisements dans le monde qui se sont surtout formés par un processus d'altération hydrothermale de feldspaths riches en élément de potassium. Ce dernier est situé au Nord-Est du massif montagneux d'El-Milia (Algérie) représentant une capacité de réserve minière d'environ 2.5 millions de tonnes [3].

## **CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site**

---

L'aspect géologique est caractérisé par l'existence de deux faciès: l'un est le kaolin sableux constitué de couches sédimentaires superficielles formées généralement par un processus de transformation de minéraux tel que le quartz, ce qui explique son abondance dans le gisement, alors le massif kaolinique recouvertes un second faciès de gneiss kaolinisé situé en que profondeur.

Il fait partie d'un gisement considérable, mais la roche brute est si pauvre en kaolinite que certaines n'existent pas à l'appeler sable de Tamazert, précisément à cause de la concentration très élevé en quartz. La roche principalement est constituée de la kaolinite dans un faible pourcentage, variable autour de 15% (en poids), de la silice libre (sous forme de quartz) avec un pourcentage élevé de l'ordre de 50% et du mica entre 20 et 30% (en poids). Sont également présent environ 2 à 4% d'impuretés (surtout des oxydes et hydroxydes du fer) et des quantités appréciables de feldspath entre 5 et 15%.

### **I.3. Minéralisation**

Dans le gisement de Tamazert la minéralisation s'étend en couvertures sur les crêtes des reliefs. Avec une profondeur qui peut atteindre les 80m dans le cas du corps central.

La texture du minerai est relativement simple. Celui-ci possède une texture sableuse à grains grossiers de quartz visibles à l'œil nu.

L'observation macroscopique du minerai nous a permis de distinguer des structures gneissiques, rubanées et massives.

Les structures gneissiques sont plus répandues et s'observent surtout dans la périphérie des gneiss. L'aspect gneissique est dû à l'agencement entre kaolinite, halloysite, quartz et mica.

La structure rubanée correspond à des argiles qui se rencontrent dans la part sommitale du gisement et qui sont caractérisées par des passages clairs et des passages sombres et ferrugineux dus probablement à la l'altération par les eaux météoriques alors que la structure massive correspond à des argiles à teinte plus claire et contiennent des cristaux de quartz de 0,5 mm à 3mm enrobé, dans une pâte lisse. La composition minéralogique et chimique est présentée dans le tableau I.1 et 2.

## CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

**Tableau I.1 :** Analyse chimique d'un échantillon du kaolin de Tamazert.

Élément	%	Élément	%
SiO <sub>2</sub>	67,90	CaO	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,60	MgO	0,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,58-1,22	K <sub>2</sub> O	0,82-3,18
TiO <sub>2</sub>	0,31	Na <sub>2</sub> O	0,92
Autres	3,92	P.A.F	5,68

**Tableau I.2 :** composition minéralogique d'un échantillon du kaolin de Tamazert.

Composition minéralogique (%)	Kaolinite	13,40
	Mica	27,00
	Feldspath	06,00
	Quartz	51,00
	Autres	02,60

### Partie 2 : Présentation du minerai

#### I.1. Origine du kaolin

Le kaolin de Tamazert est d'origine hydrothermale, provenant de l'altération de roches feldspathiques et potassique, ayant subi l'influence des eaux de mer et atmosphériques qui sont engagées dans le processus d'altération.

La kaolinite qui est l'un des principaux constituants minéralogique, et produite sans doute par l'intermédiaire d'un processus hydrothermale de roches ignées neutres et acides de profondeur et superficielle, donnant naissance à deux faciès : le kaolin sableux formant une couche superficielle et une seconde couche de gneiss kaolinisé située en profondeur. Elle se forme généralement avec le quartz d'où son abondance constatée dans le gisement. Le développement de la kaolinisation se distingue parmi les terrains hydrothermaux transformés en minéraux du groupe kaolinique tels que la kaolinite, la dickite, et la nacrite. Le plus souvent, ces minéraux produisent des roches de feldspaths, de muscovite et de chlorite. Les masses kaoliniques se forment généralement par un processus supergène dans la zone d'oxydation des minerais sulfurés.

# CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

---

## I.2. Minéralogie des kaolins

Les kaolinites ont des formes variées, les tailles observées varient de 0,1 à 0,8  $\mu\text{m}$ . En général, leurs formes sont hexagonales typiques à presque losangiques. Les kaolinites observées contiennent presque toujours du fer ; sur les particules claires. Certaines kaolinites semblent recouvertes d'une pellicule sombre, la teneur en fer est nettement supérieure à celle de "kaolinites plus claires", de formes plus géométriques régulières. La plus grande opacité pourrait résulter de la présence de fer recouvrant les particules [4].

L'oxyde de titane se présente généralement sous forme d'anatase, très fréquent en cubes ou en hexagones allongés, opaques, de taille variable en général faible ( $< 0,2 \mu\text{m}$ ), mais pouvant atteindre plusieurs microns).

La gibbsite est observée sous forme globulaire, de section carrée à rectangulaire. Sa taille dépasse nettement celle des kaolinites. Dans le plan observé, sa taille avoisine celle des kaolinites. La gibbsite ne contient pas de fer détectable par microanalyse X (sensibilité : environ 0,1 %).

Il existe des muscovites de toute taille, depuis la plaquette millimétrique jusqu'à la paillette micronique (illite). L'illite est en général beaucoup plus grossière que la kaolinite, et se présente sous forme de plaquettes allongées plus ou moins rectangulaires. L'estimation quantitative du fer est délicate car il est très rare d'observer des illites bien libérées des kaolinites [4].

Les oxydes et hydroxydes de fer se présentent en amas composés de petits grains accolés de très petite taille, on les trouve également sous forme de petites aiguilles. La taille des éléments de base est en général bien inférieure à celle des particules de kaolinite.

Le quartz, dont l'analyse morphologique peut témoigner de l'histoire des sédiments, est en général plus grossier que la kaolinite, de forme variable, parfois bipyramidée ou triangulaire.

## I.3. Définition du Kaolin

Les kaolins appartiennent au règne des roches sédimentaire ils sont les résultats d'altération des roches feldspathiques qui donne des aluminosilicates hydratés appelés aussi phyllosilicates, de par leur morphologie de lamelles fines le principales constituant de kaolin est la kaolinite de formule  $(2\text{H}_2\text{OAl}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{SiO}_2)$  d'autre phyllosilicates peuvent coexister avec la kaolinite la dickien, la Nacrite et l'Halloysite. Du point de vue formation géologique, il existe 2 sortes de kaolins.

## CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

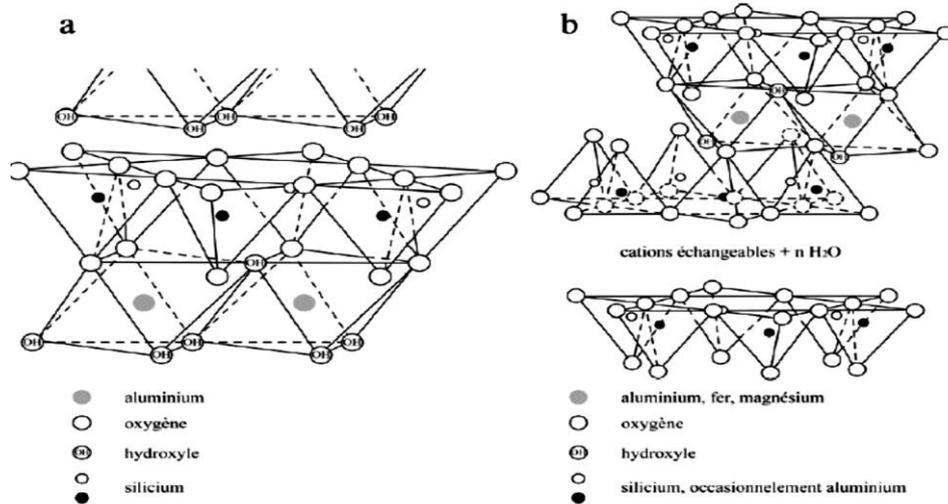
---

Les kaolins primaire qui est le produit de la décomposition sur places de roches de granit et de roches similaire, alors que le kaolin secondaire est d'origine sédimentaire et par conséquent il est moins pur que le primaire il contient notamment divers impuretés du sable du calcaire du fer et du gibse. Ils cristallisent en 2 system T triclinique, bien ordonné c'est le cas de la kaolinite et le system PM pseudo monoclinique, mal ordonné c'est le cas de l'halloysite et métalloysite. Ils se présentent se forme de grosses particules de 1 à 10  $\mu$  se sont des minéraux translucides de couleur blanche mes aussi fréquemment jaune verte, bleu (à cause de impuretés comme le fer leur point de fusion est élevé (1780°) avec un taux d'alumine ( $Al_2O_3$ ) égale à 39,5% sur sec et 45,8 % sur la cuit ils ont une densité égale à 2,60 -2,63 et une dureté de 1,5-2,0 [MOHS] et un indice de réfraction de 1,57 [5].

### I.3.1. La kaolinite

La kaolinite est un phyllo-silicate de type TO (figure 1) On la trouve soit sous forme hydraté ou non. La kaolinite di-octaédrique non hydraté a une distance basale qui varie de 7,1 à 7,4  $\text{Å}$  et sa formule structurale est  $2[Si_2O_5Al_4(OH)_4]$ . Chaque tétraèdre  $SiO_2$  de la couche tétraédrique est relié aux tétraèdres voisins par trois de ses sommets, le quatrième sommet étant lié à la couche octaédrique sous-jacente. Cette dernière est formée par la superposition de deux plans anioniques qui délimitent trois types de sites octaédriques non équivalents, désignés A, B et C, qui sont disposés suivant une géométrie hexagonale. L'un de ces sites reste vacant afin d'assurer la neutralité électrique du feuillet.

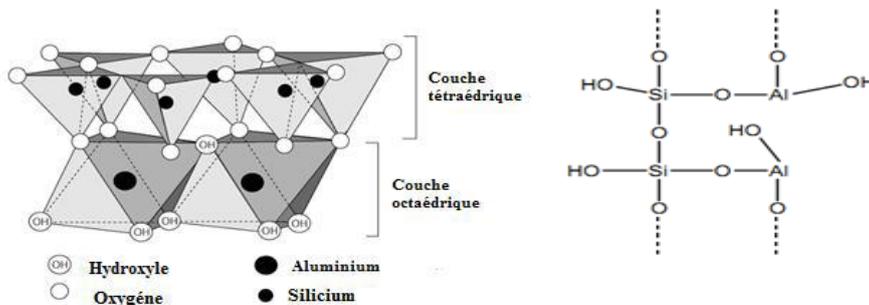
La position des sites vacants permet de différencier la kaolinite des autres minéraux appartenant à cette même famille. Ainsi, une kaolinite idéale est caractérisée par un empilement de feuillets où tous les sites B sont libres alors que, par exemple, la dickite est constituée par une alternance de feuillets inoccupés de type B et de type C. En tous les kaolins comprennent quatre variétés cristallographiques : la kaolinite idéal, la nacrite, la dickite et le méta-halloysite ; Le minérale de forme hydratée type est l'halloysite (ou endellite) et il n'existe pas de variétés cristallographiques pour cette dernière [6].



**Figure I.2 :** Représentation schématique de la structure (a) d’une argile TO de type kaolinite et (b) d’une argile T-O-T de type montmorillonite [7].

## I.4. Structure de la Kaolinite

C’est un minéraux argileux constitué par l’empilement de feuillets identiques de type 1 :1, de formule structurale  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ . Chaque feuillet de kaolinite est constitué d’une couche de tétraèdre  $SiO_4$ , associée à une couche octaédrique. Deux sites octaédriques sur trois sont occupés par des atomes d’aluminium : c’est un phyllo silicate dioctaédrique. Très peu ou pas de substitutions isomorphiques au sein des feuillets, ce qui leur attribué une charge nulle. Les liaisons interfoliaires, dont dépend la stabilité de l’édifice, font intervenir les atomes de l’hydrogène. En effet les protons hydrogènes (hydroxyles externes) qui sont à la surface du feuillet, se trouvent à proximité des atomes d’oxygène de la couche tétraédrique du feuillet suivant et par conséquent des liaisons hydrogènes existent entre les feuillets, empêchant toute pénétration de molécules d’eau, de molécules organiques ou d’ions minéraux. La capacité d’échange cationique de la kaolinite est faible, elle est de l’ordre de 3-15 meq/100g.



**Figure I. 3 :** Structure de la kaolinite et structure développée d’un monomère de kaolinite.

## CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

En projetant la maille de la kaolinite sur un plan hexagonal on obtient une structure simplifiée localisant aisément les différents hydroxyles de la molécule en respectant l'organisation pseudo-hexagonale des tétraèdres  $\text{SiO}_4$ . Les liaisons obtenues sont :

- Des liaisons Si-O et Si-OH
- Des liaisons Al-O et Al-OH

La maille élémentaire de la kaolinite est triclinique, avec les paramètres cristallins suivant :  $a=5.154$ ,  $b=8.942$ ,  $c=7.401$ ,  $\alpha=91^\circ69'$ ,  $\beta=104^\circ61'$ ,  $\gamma=89^\circ82'$ . L'écart réticulaire dans la direction de l'axe c entre deux plans d'oxygène équivalent est de  $7^\circ$  [8].

### I.5. Propriétés physico-chimiques de la kaolinite

La kaolinite se caractérise par plusieurs propriétés physico-chimiques que sont la différenciés des autres groupes des kaolins [8]. (Le tableau I.3) représente quelques propriétés Physico-chimiques de kaolinite :

**Tableau I. 3 :** Propriétés physico-chimiques de kaolinite.

Densité ( $\text{kg/m}^3$ )	Dureté	Masse molaire ( $\text{g/mol}$ )	Surface spécifique ( $\text{m}^2/\text{g}$ )
2,4 – 2,65	2 – 2,5	258	10 – 22

### I.6. Compositions chimiques

La formule chimique du kaolin est  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  ce qui correspond aux teneurs massiques suivantes: 36,53% d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 46,50% de  $\text{SiO}_2$  et 13,95% de  $\text{H}_2\text{O}$  ; sa masse molaire est de 258 g .Ces rapports changent selon le degré de pureté du kaolin. On considère le meilleur type du kaolin celui qui contient 45.5% en pourcentage massique d'alumine, et qui est rare dans la nature [10].

#### a. Couleur

La couleur de kaolin est blanche ou proche du blanc. Cependant la plupart du temps, les éléments de transition sont des impuretés qui influent négativement sur les propriétés du kaolin telles que les minéraux auxiliaires contenant des oxydes, des hydroxydes, des oxydes-hydroxydes, des sulfures et des carbonates, on parle alors de fer libre. Le fer peut être présent dans le réseau de la kaolinite, on parle alors de fer structural.

Pour choisir la méthode de traitement du kaolin en vue d'obtenir une haute qualité, connaissance de l'état du fer et du titane est très importante [4].

## CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

---

### b. Forme et taille

Les cristaux de la kaolinite sont plats en forme de minces feuillets d'environ  $2\mu$  d'épaisseur et quelques microns de diamètre, pseudo-hexagonaux, quelques fois en forme de livres ou de piliers vermiculés.

### c. Dureté

La dureté de la kaolinite sur l'échelle de Mohs est entre 1 et 2 ce qui signifie que le kaolin est tendre. Les kaolins relativement purs ne sont pas abrasifs. Cette propriété est très importante dans beaucoup d'applications industrielles. Puisque le kaolin est plus tendre que presque tous les matériaux avec lesquels il entre en contact, l'usure et l'abrasion de l'équipement sont minimales [4]. La présence de quartz résiduel dans un kaolin industriel modifie bien évidemment ce paramètre.

### I.7. Domaines d'application des kaolins

Le kaolin a des nombreuses applications industrielles, dont les principaux sont :

- ✓ Fabrication de papier comme charge et matériau de revêtement.
- ✓ Le kaolin est principalement utilisé dans les céramiques fines, en raison de sa blancheur.
- ✓ Le kaolin est utilisé dans l'industrie du caoutchouc pour améliorer la résistance mécanique, la résistance à l'usure et la ténacité des produits.
- ✓ Le kaolin est largement utilisé comme charge dans les plastiques pour sa couleur. Il offre également des surfaces plus lisses, une meilleure stabilité dimensionnelle et une meilleure résistance aux acides.

### I.8. Méthode d'exploitation du kaolin du Tamazert

L'exploitation de la carrière de Tamazert s'effectue à ciel ouvert ; par la méthode gradins successifs et par extraction par des engins. La hauteur de chaque gradin n'excède pas 5 mètres et la largeur des banquettes 6 mètres.

La progression des niveaux d'extraction est réalisée de manière à maintenir en permanence l'accès à toutes les banquettes.



**Figure I.4.**Front d'exploitation de la carrière.

### I.9. Description de la laverie de SOALKA

La valorisation du minerai se fait à l'usine de traitement (SOALKA), construite à 11 km de la carrière près d'El-Milia. Le minerai extrait des carrières contient en moyenne 13% de kaolin, l'atelier de délayage permet la séparation de kaolin des autres minéraux.

En considérant que le kaolin se trouve dans la tranche granulométrique 0-20  $\mu\text{m}$ , les appareils constituant le délayage ont été choisis de façon à l'amont vers l'aval des coupures granulométriques des plus en plus fins. La séparation des kaolins est effectuée par vois humides .

Le traitement du minerai s'effectue en voie humide par méthode gravimétrique qui est axée sur la différence de densité des particules en plusieurs opérations:

- Homogénéisation TV de la carrière homogénéisation au stoker.
- Alimentation la laverie (les différentes sections de la laverie).
- L'alimentation des bassins de décantation.
- L'alimentation du hall de production (les différentes sections du hal).

#### I.9.1. Homogénéisation-stockage

L'opération consiste à effectuer plusieurs tas de minerai brut provenant de la carrière à l'aide d'une bande navette de manière à rendre la matière homogène du point de vu granulométrique.



**Figure I.5:** Stockage du kaolin au niveau de l'usine pour traitement.

### I.9.2. Séparation par voie humide

Le minerai est ensuite chargé dans une trémie de réception, puis transféré par une bande transporteuse vers un débourbeur à voie humide, il subit par la suite un criblage et un hydrocyclonage.

Elle comporte plusieurs ateliers correspondant chacun à une fonction précise. Dans le sens de l'écoulement du minerai on distingue :

- l'alimentation en minerai brut depuis une trémie mobile jusqu'à l'entrée du débourbeur.
- le débourage pour l'obtention de granulométrie inférieure à 80 mm constituée d'un mélange de sable et d'argile kaolinique.

Le produit récupéré est amené jusqu'à un crible vibrant où s'effectuera la deuxième séparation à une maille égale à 2 mm. Le passant de ces cribles doit subir une troisième séparation dans les hydrocyclones à une coupure de 70  $\mu\text{m}$ . La surverse alimente les hydrocyclones secondaires à une coupure 30  $\mu\text{m}$ . La surverse de l'hydrocyclone secondaire constitué de 0 – 20  $\mu\text{m}$ , produit de base de toute la production de kaolin et s'effectuent la quatrième séparation par des panneaux tamiseurs, le passant obtenue sera déversée dans un bassin de décantation.

La sousverse du hydrocyclone secondaire constituée des micas et quartz fins et de kaolin grossier. Le dessablage qui fournit d'une part un sable d'une granulométrie de 0,07 à 2 mm. L'essorage et l'hydrocyclonage de plus en plus fin de la pulpe 0 – 0,07 mm jusqu'à l'obtention des deux granulométries kT2 et kT3 et des rejets GW1 et GW2 de 20 à 70  $\mu\text{m}$  traitement de ces rejets pour la récupération des kaolins.

# CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

L'évacuation des rejets sableux vers les filtres Philippe et de la fraction kaoliniques vers les bassins de décantation, classification pour obtention une pulpe à 220g/L.

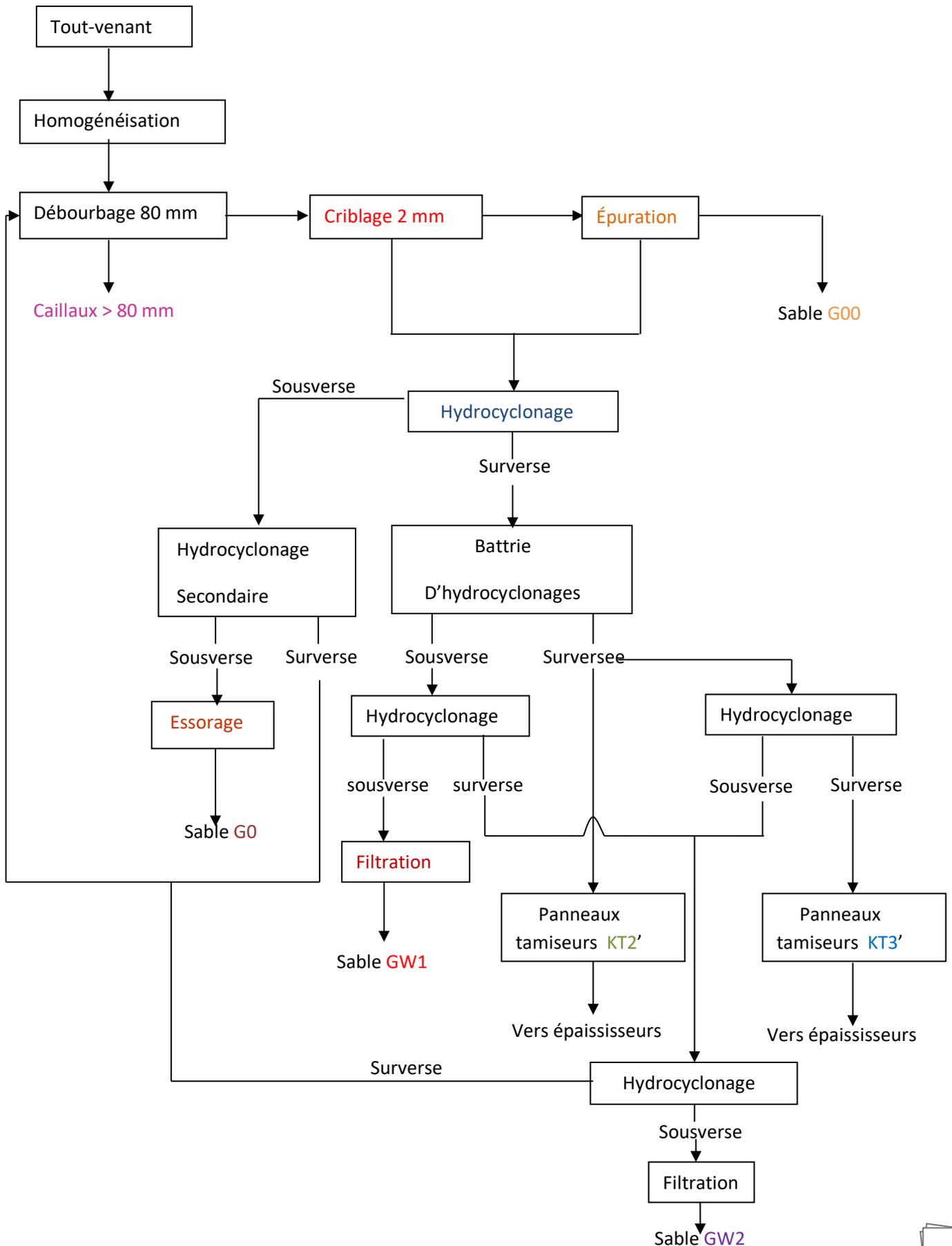


Figure I.6 : Schéma technologique de traitement du kaolin par voie humide.

## CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

### I.9.3. Panneaux tamiseurs

Les panneaux tamiseurs munis des toiles  $40 \times 40 \mu\text{m}$  lavées par un essorage mobile permettent d'éliminer les dernières particules grossières contenues dans la pulpe de kaolin.

### I.9.4. Épaississement

Après le dernière étage de classement, les pulpes doivent être déshydratées pour subir les traitements suivants tel que le blanchiment et la déshydratation pour obtenir la sédimentation du kaolin à grains fins, ceci exige deux épaisseurs circulaires et rectangulaire à grandes surfaces, chacun d'eux et réalise à un réservoir qui joue le rôle d'une station de floculation qui alimente la pulpe en substance chimique (floculant). la pulpe épaissie est extraite par pompage.

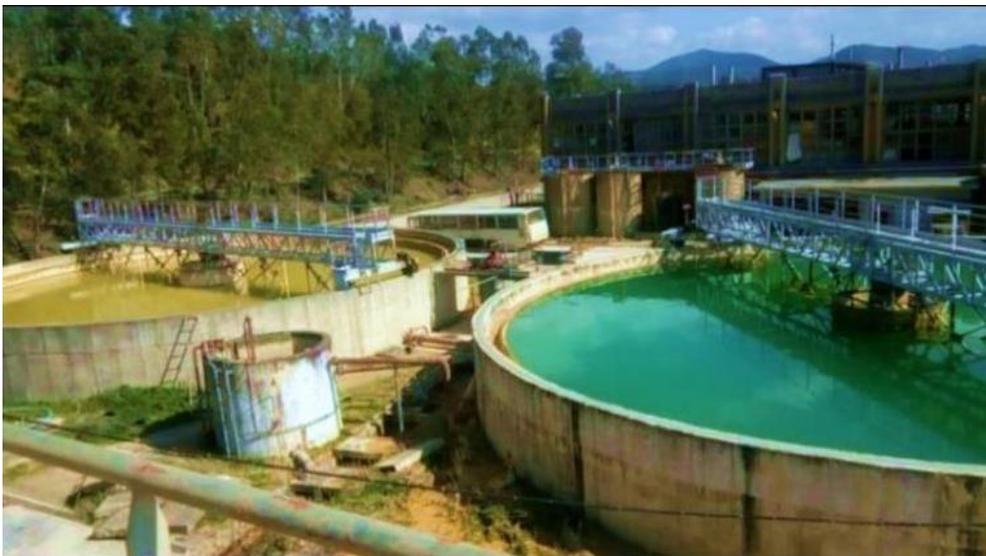


Figure I.7 : bassins de décantation

### I.9.5. Le hall de production

Il se compose des sections suivantes : la section d'alimentation en pulpe  $220\text{g/l}$ , la section de blanchiment de la pulpe KT3 pour atteindre une blancheur de 82 points requise pour le KT3B destiné à la charge papier, la section de filtration qui comprend 4 filtres presses de 111 plateaux chacun.

### I.9.6. Blanchiment

Dans le cas du kaolin de charge papetière doit avoir un indice de blancheur élevée, la coloration du kaolin est souvent liée à la teneur en minerai du fer élevée.

La suspension du kaolin extrait du réservoir à pulpe est d'abord dirigée dans un tube de mélangeur acidifiée par addition de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et traitée à l'agent de blanchiment qui est le hydrosulfite de sodium  $\text{NaHSO}_3$ .

## **CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site**

---

Le procédé de blanchiment est entièrement automatisé, il fonctionne sur la base des trois paramètres qui sont : le débit, la densité et le pH.

### **I.9.7. La filtration**

Les filtres presses sont des appareils qui permettent la filtration sous pression de suspensions pour séparer les phases liquides et solides. Ils sont composés d'une succession de plateaux chambrés recouverts de toiles filtrantes serrés par vérin hydraulique entre un bâti fixe et un sommier mobile.

Les plateaux déterminent un volume étanche dans lequel est expédiée la boue sous pression.

L'étanchéité des plants de joints est assurée par un groupe hydraulique qui maintient pendant toute la durée de la filtration l'équilibre entre le serrage des plateaux et la pression de la pompe d'alimentation. Sous cette pression les liquides passent derrière les toiles qui retiennent les particules solides.

Les filtrats sont évacués soit par des robinets sur chaque plateau ; soit par canalisation en bout de filtre. Enfin de pressée les gâteaux de kaolin formés entre les toiles sont libérés par le recul du sommier mobile et l'écartement successif des plateaux. Un système de dé-bâtissage par chariot permet l'automatisation de cette manœuvre.

### **I.9.8. Caisse doseuse /déchiqueteur**

La caisse doseuse est constituée d'une trémie de réception et d'un tapis transporteur à vitesse variable.

Le kaolin est entraîné par le tapis vers un ciseau déchiqueteur qui coupe les gâteaux en morceaux.

Le malaxeur extrudeur traite les pâtes à sécher en formant des nouilles uniformes. Les bras malaxeurs pressent la pâte au travers de grilles tamisantes perforées de trous de 11 ou 12 mm de diamètre.

Les nouilles se trouvent uniformément réparties sur la bande sécheuse, La cuve est formée par deux parois latérales logeant les paliers des bras malaxeurs et leurs étoupages, et par un caisson renforcé à deux auges sur lequel sont fixées les grilles tamisantes échangeables. L'intérieur de la cuve est protégé par des tôles d'usure.

Les grilles tamisantes sont perforées sur une longueur d'environ 1200 mm pour répartir uniformément les nouilles sur une bande de même largeur.

Les bras malaxeurs sont équipés de racleurs à leurs extrémités ainsi que de tôles d'usure ajustable. Le réglage du débit se fait en variant le jeu des tôles d'usure des bras et les grilles tamisantes.

# CHAPITRE I : Généralités sur le kaolin et présentation du site

## I.9.9. Séchage des produits KT2 et KT3

Les boues extraites de l'épaississeur sont pressées (figure I.8) pour donner un gâteau d'humidité finale de 33%. Le gâteau de kaolin déshydraté est évacué vers le four sécheur pour réduire l'humidité jusqu'à  $12\% \pm 2\%$ .

La section séchage comprend 3 fours sécheurs à tabliers (température maximum  $150^{\circ}\text{C}$ ) où les produits marchands sortent en bâtonnets.

La capacité de production de chaque four est :

Four 3k0	5,3t/h
Four 3k02	2,65t/h
Four K03	2,65t/h

Dans chaque processus de production il faut parvenir à des objectifs qui se résument dans la réalisation d'une quantité de produit prévue d'une qualité bien déterminée en fonction de la capacité installée.

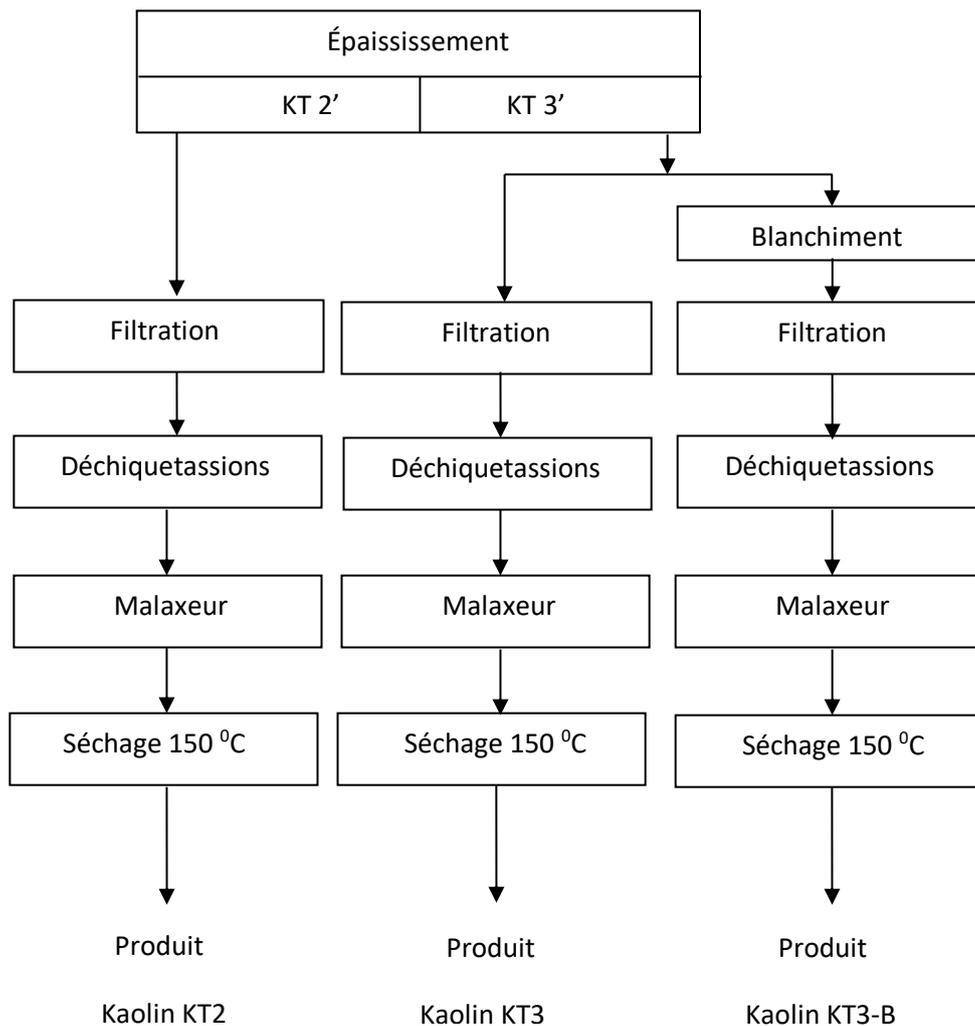


Figure I.8 : Schéma technologique d'égouttage du minerai (Épaississement, filtration et séchage).

*Chapitre II :*  
*Présentation des méthodes*  
*D'enrichissement des*  
*sables siliceux*

## **CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux**

---

### **Introduction**

Généralement le sable ne se trouve pas pur dans la nature, il a toujours des impuretés tel que les argiles, les oxyde ferrifères et par fois les minéraux lourds. Tout ça provoqué les chercheurs dans ce domaine de trouver un processus de traitement ou de valorisation de ce minerai selon les exigences qualitatif et quantitatif pour des fins de l'industrie. Donc dans ce chapitre on va analyser quelque méthode qui c'est utilisées dans l'industrie minière pour d'enrichissement du sable.

### **II.1.Le sable siliceux**

#### **II.1.1. Définition**

Le terme sable est généralement utilisé pour désigner un mélange de grains meuble n'ayant aucune cohésion et dont la dimension des grains est généralement comprise entre 0,062 et 2 mm. Du point de vue géologique, le terme sable recouvre deux aspects : un aspect granulométrique (taille des grains) et un aspect minéralogique (nature minéralogique des grains). Une particule individuelle est appelée grain de sable [20].

Le sable peut avoir une origine naturelle ou artificielle ; d'origine naturelle, il provient de la désagrégation naturelle de roches au cours de leur processus d'érosion, artificiel, il est obtenu par broyage de roches massives après des opérations de concassage et de criblage, il est appelé aussi sable de carrière, il est caractérisé par des grains aux aspérités marquées.

#### **II.1.2. Le sable siliceux dans le monde**

La production mondiale de sable siliceux pour l'industrie, de l'ordre de 120 Mt/an, est dominée par les USA (24%), les Pays-Bas (20%), la France, l'Allemagne et l'Autriche produisant environ 5% chacun. Une trentaine de pays ont une production supérieure à 1 Mt/ans. Les réserves mondiales sont importantes et représentent plus d'un siècle au rythme de production actuelle [20].

#### **II.1.3. Le sable siliceux en Algérie**

On trouve en Algérie des gisements importants de matériaux siliceux, notamment dans l'ouest du pays, où ils sont liés aux dépôts de sables éoliens. Ce sont surtout ces gisements qui sont exploités pour la production du verre.

## CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux

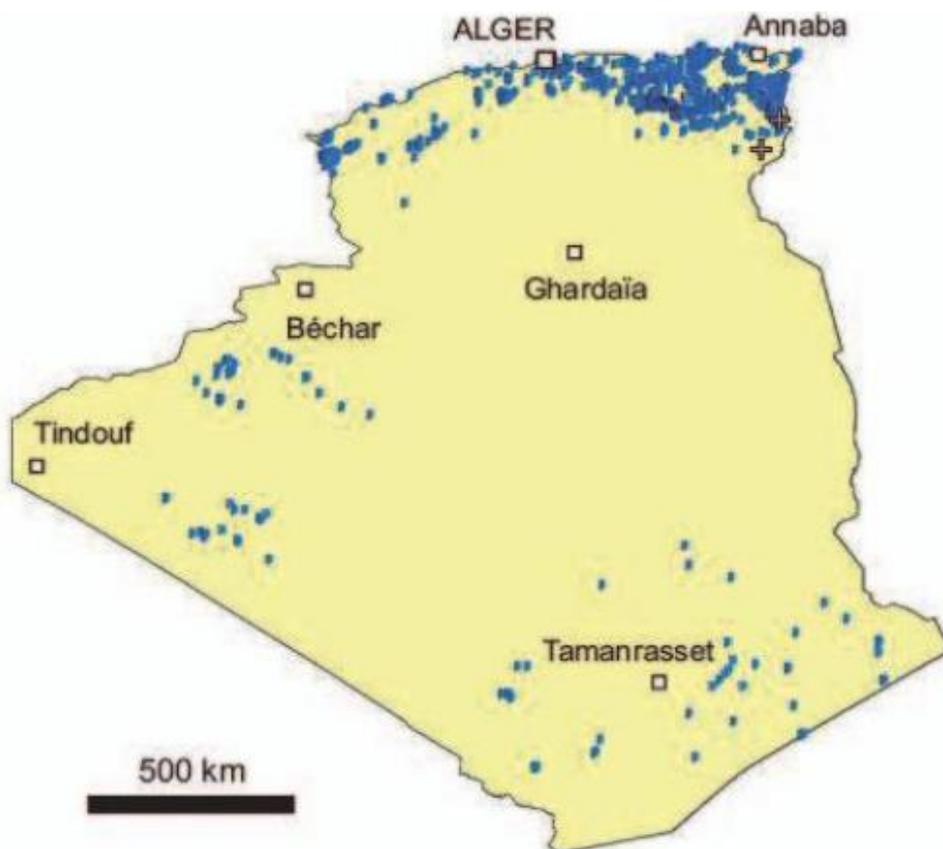
Les gisements algériens de silices sont surtout représentés par les dépôts de sables quaternaires, mais aussi par des matériaux variés: grès quartzeux, quartzites, quartz filoniens, etc.

Dans la partie nord du pays, les réserves géologiques connues sont de plus de 150 Mt de roches siliceuses pures à teneur en silice élevée ( $> 97 \% \text{ SiO}_2$ ) et plus de 100 Mt de roches siliceuses industrielles à plus de 90 % de  $\text{SiO}_2$ . [21].

La production de sable siliceux, en Algérie, est assurée par 12 sablières, dont 6 relèvent du secteur privé, réparties sur 08 wilayas.

En 2008, la production a atteint 498 035 tonnes. Le secteur privé domine cette activité avec 341 048 tonnes, soit un taux de 68,4%.

Depuis l'année 2000, la tendance de la production de sable siliceux est à la hausse de 230 013 tonnes produites en 2000, a plus que doublée en 2008 en atteignant 498 035 tonnes [21].



**Figure II.1 :** Carte d'Algérie montrant les régions du sable siliceux [21].

## **CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux**

---

### **II.1.2.2. Marché et acteurs mondiaux**

Les matériaux siliceux, à l'exception du quartz ultra-pur, sont des produits pondéreux qui voyagent peu et sont surtout destinés à être transformés près de leur lieu d'extraction. Les produits manufacturés au contraire peuvent être envoyés loin de leur lieu de fabrication.

Les marchés mondiaux des produits siliceux sont très variés et complexes. En ce qui concerne celui du verre, il est dominé par Saint Gobain (France), Pilkington (GB), Sibelco et Glaverbel (Belgique), Guardian (USA) [21].

### **II.1.2.3. Prix**

Le prix de sable siliceux varie en fonction de ses caractéristiques, tels que la granulométrie et la pureté, par exemple le sable siliceux destinées pour les charges minérales peut être quatre à cinq fois supérieur par rapport au sable siliceux destiné pour la fonderie.

Sur le marché mondial, les sables siliceux ne dépassent pas 25 Euros/t sortie carrière, alors que le quartz ultra-pur peut valoir 30 Euros/kg.

Les produits dérivés ont une forte valeur ajoutée : silicium métal 850 à 1200 Euros/t, carbure de silicium 1300 à 1700 Euros/t, silice précipitée 1200 Euros/t, colloïdale 3000 à 7500 Euros/t.

### **II.1.3. Les principales applications du sable siliceux**

**Industrie verrière**, les sables siliceux rentrent pour 60-70 % dans la composition du verre, le reste correspondant aux stabilisants, aux fondants et aux colorants. Ce chiffre global masque de grandes différences selon le type de verre. Ainsi, le verre à bouteille courant (verre vert) se fabrique avec environ 95 % de calcin (verre recyclé) et 5% seulement de matières premières. La coloration du verre étant très dépendante de la teneur en oxydes métalliques (en particulier  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), une très grande pureté du sable et une grande constance des caractéristiques des matériaux livrés sont exigées avec une granulométrie 0-800 $\mu\text{m}$ .

Un certain nombre d'industries de haute technologie ont notamment un besoin stratégique de cette silice très pure pour produire des verres spéciaux comme les verres à cristaux liquides et les verres électro-chromes, de même que les panneaux à plasma ou les aérogels de silice. Les fibres de verre sont fabriquées à partir de poudres finement broyées.

## CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux

---

**La fonderie**, pour réaliser des pièces moulées par coulage de métal en fusion, les sables extra-siliceux de fonderie requièrent un pourcentage de fines inférieur à 2 %, une composition chimique correcte ( $\text{SiO}_2 > 98 \%$  et  $\text{CaCO}_3 < 1 \%$ ) et une répartition granulométrique adéquate (distribution symétrique comprise entre 100 et 600 $\mu\text{m}$ ).

**Industrie céramique**, la vaisselle, les sanitaires, les objets décoratifs, les carrelages, les céramiques à haute technologie incorporent à des degrés variés de la poudre de silice finement broyée.

### II.2. Procédés d'enrichissement de sable siliceux

Dans la plupart des cas, la qualité du minerai doit être améliorée par l'élimination de quelques impuretés, l'enrichissement des minerais recouvre toutes les opérations simples ou complexes que peut subir une silice pour devenir un produit commercialisable et utilisable dans diverses industries. Plusieurs méthodes de séparation ont été développées pour l'enrichissement de sable siliceux peuvent être utilisées seules ou en combinaison, ces méthodes sont basées sur les propriétés physiques et chimiques des minéraux, en particulier, la taille des particules, la différence de densité, de susceptibilité magnétique et des différences de tension superficielle. [22], ont été remarqué que l'utilisation de la séparation par flottation ou concentration gravimétrique par table à secousses seul pour l'enrichissement des sables pauvres ne sont pas efficaces dans la production de silice adaptée pour la fabrication du verre de meilleure qualité. Plusieurs combinaisons d'outils de séparation ont conduit à l'élaboration et à l'optimisation d'un procédé de traitement [23], observent que les meilleures méthodes du traitement afin d'obtenir de sable qualité ont été appliqués la séparation gravimétrique par table à secousse ou bien la flottation suivie par une séparation magnétique.

Lorsque l'applicabilité des méthodes physiques et physico-chimiques n'est pas efficace pour l'élimination des impuretés liées chimiquement ou physiquement qui ne sont pas suffisamment libérés dans la structure minérale, d'autres procédés sont alors utilisés efficacement pour éliminer l'oxyde de fer et il s'agit du traitement chimique [24] ou biologique[25] toutefois ces derniers ont un usage plutôt restreint à l'échelle industrielle en raison de leurs coûts élevés et aussi leurs risques environnementaux [26] , mais elle est souvent utilisée lorsque les séparations par voie physique se sont avérées inefficaces.

## **CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux**

---

### **II.3.1 .Concentration gravimétrique**

La concentration par gravité ou gravimétrique est une voie importante de la minéralurgie. En effet, certains minerais pondéreux, peuvent faire leurs concentrations par une technique gravimétrique. Les équipements de concentration gravimétrique exploitent la différence de masse volumique entre les matériaux pour accomplir la séparation grâce à l'action combinée de la gravité et de différentes forces. En réalité, la séparation est aussi affectée par le volume et la forme des particules comme dans le cas de la classification. Les effets de ces deux facteurs sont contrôlés en limitant la gamme de tailles de particules qui composent l'alimentation de ces équipements par tamisage ou classification.

La concentration gravimétrique est effectuée dans l'eau de préférence, l'air est utilisé dans certains cas (tables à air) mais grâce à sa masse volumique plus élevée, l'eau est un meilleur fluide pour effectuer la séparation.

Sous l'action de la gravité et/ou d'une autre force, les particules baignant dans le fluide (l'eau) entrent en mouvement les unes par rapport aux autres afin de créer deux couches distinctes celle rassemblant les particules de faible masse volumique et celle rassemblant les particules de masse volumique élevée. Les équipements de concentration gravimétrique sont divisés en quatre groupes selon les mécanismes de séparation impliqués [27].

La concentration gravimétrique est possible en raison des différences de mouvement des particules dans un fluide en fonction de l'action simultanée de la gravité et d'une ou plusieurs autres forces.

La réussite d'une séparation gravimétrique repose sur la connaissance poussée des paramètres minéralogiques du minerai à traiter (maille de libération, masse volumique des divers constituants, présence de mixtes minéralogiques, répartition granulométrique des espèces minérales, etc.). [28].

### **II.3.3.Attrition de sable siliceux**

L'attrition est la méthode d'enrichissement la plus courante et économique pour l'enrichissement de sable. Dans ce procédé, le nettoyage des grains de quartz pour éliminer les pellicules des oxydes de fer et des argiles par une combinaison de procédés physique a été démontré [29].

## **CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux**

---

### **II.3.4. Séparation gravimétrique de sable siliceux**

Les spirales sont des appareils simples, faible consommation d'énergie, et efficacité du procédé pour la production de sable haute qualité utilisé à la fabrication du verre [30].

D'après [31] les résultats obtenus, à partir de la séparation gravimétrique des sables sont significatifs, l'analyse chimique montre que la teneur en  $\text{SiO}_2$  dans le produit est élevée (99,6 %) et les valeurs en  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sont bien en-deçà des spécifications du produit.

### **II.3.5. Séparation magnétique**

La séparation magnétique exploite les propriétés magnétiques des matériaux afin d'effectuer leur séparation. La susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique. À partir de cette propriété, les matériaux peuvent être divisés en trois classes. La première classe est composée des matériaux ferromagnétiques dont la susceptibilité magnétique est très forte. La deuxième classe comporte des matériaux paramagnétiques qui présentent une susceptibilité magnétique faible. La troisième classe est constituée des matériaux diamagnétiques possédant une susceptibilité nulle [32].

La séparation magnétique est accomplie par entraînement des matériaux susceptibles lors de leur passage à travers un champ magnétique. Ce dernier peut être produit à l'aide d'un aimant permanent ou d'un électroaimant. L'utilisation des électroaimants comporte plusieurs avantages dont la possibilité d'ajuster l'intensité du champ magnétique en variant l'intensité du courant électrique. De plus, le champ magnétique produit par les électroaimants peut atteindre une intensité plus élevée que l'intensité d'un champ engendré par des aimants permanents. La grosseur et la masse volumique des particules ou morceaux devant être séparés influencent le traitement. La séparation des grosses particules denses requiert un champ magnétique plus intense que la séparation des petites particules légères. Il est essentiel de souligner que l'efficacité du procédé dépend du degré de libération ou de la pureté des matériaux à séparer [32].

Il existe deux catégories d'équipements de séparation magnétique: les séparateurs à haute intensité et les séparateurs à basse intensité. Chaque catégorie peut être divisée en deux, soit les séparateurs humides et les séparateurs à sec. Les séparateurs à basse intensité sont utilisés pour séparer les matériaux ferromagnétiques et certains matériaux paramagnétiques hautement susceptibles [33].

## **CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux**

---

Les séparateurs à haute intensité présentent des coûts d'achat et d'opération très élevés. En effet, la production d'un champ magnétique intense entraîne une consommation élevée d'électricité. La valeur des minerais traités par cette méthode justifie de tels coûts [34].

### **II.3.5.1.Séparation magnétique de sable siliceux**

La séparation magnétique consiste à appliquer un champ magnétique sur un grès qui est constitué majoritairement de silice, à un caractère diamagnétique, il est donc faiblement influencé par le champ magnétique. Par contre, les minéraux paramagnétiques sont quant à eux attirés par le champ magnétique; à cet effet la séparation se fait entre composés diamagnétiques et paramagnétiques. [35] ont proposé une séparation magnétique après l'étape de lavage a pour but de diminuer au maximum le pourcentage des impuretés. Des travaux de séparation magnétique réalisés sur les grès [29] ont montré qu'une quantité importante d'impuretés sont éliminées au concentré pendant l'étape de séparation magnétique a un champ magnétique de 1.8 Tesla avec l'entrés de courant électrique au maximum de 3,2 Ampère. On remarque que la teneur de  $\text{SiO}_2$  ne dépasse pas 98,1 %, bien qu'on veuille amoindrir l'impureté de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  à 0,09 %.

L'efficacité de la séparation magnétique est fortement liée à la taille des particules et l'effet de magnétisme, une séparation magnétique de sable a été menée sur deux échantillons pour les fractions (- 2,36 + 1,18 mm, - 1,18 + 0,6 mm, -0,6 + 0,3 mm et -0,3 mm). Le traitement de fraction > 0,6 mm n'a pas été efficace, l'élimination de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  varie entre 12 et 20 %, une augmentation plus de 43 % et bonne teneur de 0,035 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  lorsque la taille des particules est <0,6 mm en raison de leur libération [36] . Du point de vue bilan matière, les résultats de séparation magnétique ont révélé la faisabilité de ce procédé pour séparer les particules présentes dans les fractions fines.

Dans [37] a, des essais par attrition ont été menés pour détacher les argiles avec une méthode de traitement par séparation magnétique, ceci a donné moins d'impureté ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) de 0,04 % dans le concentré de silice (99,02 %), ce qui représente un meilleur rendement de 86,4 %.

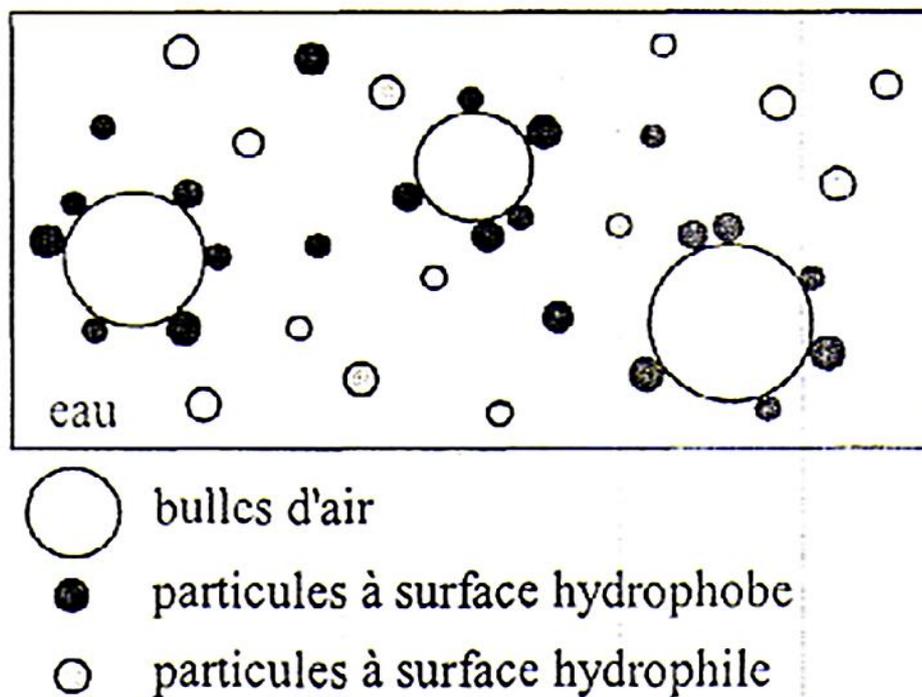
## **II.4. Séparation par voie physico-chimique (flottation)**

### **II.4.1. Définition et principe**

La flottation est un procédé d'enrichissement des minerais en milieu aqueux. Le principe de la flottation est basé sur les propriétés hydrophobes et hydrophiles des surfaces des solides. Ces

## CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux

propriétés peuvent être naturelles ou stimulées à l'aide d'un réactif approprié qui est ajouté dans l'eau ou baignent les particules solides. Lorsque de l'air est introduit sous forme de petites bulles dans un tel milieu, il se produit un transport sélectif des particules hydrophobes. Les particules présentant des surfaces hydrophobes se fixent aux bulles d'air lorsqu'elles entrent en collision avec elles. Ce phénomène est dû à la grande affinité des surfaces hydrophobes pour l'air dont la nature est non-polaire. Les bulles d'air entraînent ces particules jusqu'à la surface de la pulpe ou elles forment une mousse chargée. Par contre, les particules présentant des surfaces hydrophiles ne se lient pas aux bulles d'air et restent en suspension dans la pulpe (Figure II.2).



**Figure II.2.** Fixation des particules à la surface hydrophobe aux bulles d'air.

La pulpe doit être préparée adéquatement en fonction des substances à concentrer et cette préparation repose principalement sur l'ajout de différents agents. Les moussants, les collecteurs, les déprimant et les activant sont des réactifs de flottation. La stabilité de la mousse est assurée par les moussants. Les collecteurs ont pour fonction d'adhérer aux surfaces afin de les rendre hydrophobes alors que les déprimants rendent les surfaces hydrophiles. Les activant altèrent les surfaces des particules afin de les rendre plus susceptibles à l'action d'un collecteur. L'activité de la plupart de ces réactifs dépend du pH du milieu, il est donc important de corriger la valeur du pH en fonction des réactifs utilisés.

## **CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux**

---

L'utilisation de la flottation est appropriée pour le traitement de particules dont la taille est comprise entre 5 et 212 $\mu$ m. Cependant, pour les minéraux légers comme le charbon la limite supérieure est élevée à 1,70mm. La limite supérieure est dictée par la capacité limitée d'une bulle à soulever un pois. A masse volumique égale, la flottation des grosses particules nécessite des bulles plus volumineuses que la flottation de petites particules. Cette limite est aussi imposée par le détachement des grosses particules de la bulle à laquelle elles sont accrochées. Le détachement est causé par les forces de friction entre l'eau et le solide durant l'ascension du complexe bulle /particules. En effet, les grosses particules subissent davantage l'effet de la flottation que les petites particules puisque que leur surface est plus grande. Le diamètre des bulles est une caractéristique très importante puisqu'il détermine aussi la surface disponible pour l'adhésion des particules hydrophobes. La surface totale disponible augmente avec la réduction du diamètre des bulles.

### **II.4.3. Flottation de sable siliceux**

Les exigences normatives de l'industrie verrerie, peut être utilisée la séparation par flottation pour l'enrichissement de certains sables malgré les coûts engendrés sont assez élevés, quant à la production de sable d' haute pureté difficile d'obtenir par des techniques traditionnelles (séparation gravimétrique, magnétique).

La flottation est un procédé complexe et son efficacité est fortement liée à l'optimisation des différents paramètres tels que le choix du type de collecteur, le pH de la pulpe, la densité de la pulpe, la vitesse du rotor, le débit d'air, [38].ont montré que la taille des particules, y compris dans une plage très étroite, est très importante pour obtenir les meilleurs résultats de flottation de quartz. La granulométrie, en fonction de la maille de libération, étant généralement comprise entre 38 et 500 $\mu$ m ; les particules à concentrer sont amenées à la surface du liquide par des bulles d'air, de trop fines particules ne permettraient pas l'obtention d'une forte récupération car elles seraient drainées trop rapidement entre les bulles pour être perdues dans le rejet [39]. Il en serait de même pour des particules trop grossières qui ne pourraient rester accrochées à la surface des bulles à cause de leur taille trop importante [40].

Le sable siliceux à l'état de très fines particules peuvent aussi être séparés par la méthode de flottation. Au début des expériences, une étape de déschlammage a été effectuée par lavage de quartz avec de l'eau sur un tamis de 38 $\mu$ m pour éliminer la quantité nécessaire d'impuretés argileuse. Des essais, par flottation inverse des impuretés de fer tout en déprimant la silice,

## **CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux**

---

montrent que la teneur en fer est de l'ordre de 0,05 % soit 98,8 %  $\text{SiO}_2$  avec une récupération de 68,35 %.

Un autre schéma de séparation magnétique - flottation dans un milieu acide, on obtient 0,01 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et une teneur significative de 99,3 % en  $\text{SiO}_2$  avec une récupération optimale de 84,75 % [39]. Selon la littérature scientifique, la flottation d'un échantillon de sable a été soumis par une flottation en utilisant des sulfonates afin d'obtenir un concentré de sable qui titre 0,11 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  avec une récupération de 68 % de silice [41].

D'autres études ont également montré que l'utilisation de réactifs de type sulfonate à un pH = 3 offre 99,5 %  $\text{SiO}_2$  avec 86 % de récupération et la teneur en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a été réduite à 0,056 % après avoir enlevé la fraction au-dessous de  $106\mu\text{m}$  en tant que boue [42].

Par contre [40].a été utilisé du sulfonate de pétrole pour la flottation inverse de silice par addition d'acide sulfurique à une valeur du pH comprise entre 3 et 4, les résultats d'essais révèlent une amélioration en teneur de la silice de 81,4 à 94 %.

### **II.5. Séparation par voie chimique (lixiviation)**

La lixiviation est un procédé de mise en solution d'un constituant d'un mélange chimique ou physique par interaction avec un solvant.

La réaction de lixiviation se fera donc pour une consommation de réactif la plus faible possible avec une moindre contamination de la solution en éléments impurs, raison pour laquelle le solvant utilisé doit être sélectif. L'objectif de cette opération est de dissoudre une grande quantité des métaux utiles [34].

#### **II.5.1. Type des lixiviations**

Les différents types de lixiviation habituellement utilisée sont les suivantes :

- Lixiviation acide
- Lixiviation acide oxydante
- Lixiviation acide réductive
- Lixiviation ammoniacale
- Lixiviation alcaline (basique)
- Lixiviation bactérienne.

## **CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux**

---

### **II.5.1.1. Lixiviation acide**

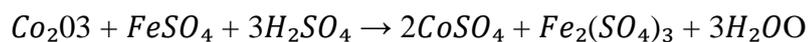
Généralement appliquée aux minerais oxydés ou carbonatés à gangues non dolomitiques, on utilise une solution acide (particulièrement  $H_2SO_4$ ) pour attaquer les concentrés ou minerais oxydés, carbonatés ou sulfurés préalablement grillés [34].

### **II.5.1.2. Lixiviation acide oxydante**

Il y a lixiviation oxydante lorsqu'il y a montée d'état d'oxydation de l'élément dans la solution que dans le solide. Ce type de lixiviation s'applique aux minerais mixtes (Oxyde de soufre). Les conditions oxydantes peuvent être réalisées par l'air (Oxygène) ou par les ions ferriques présents (Provenant des minerais ou ajoutés intentionnellement).

### **II.5.1.3. Lixiviation acide réductrice**

Dans ce type de lixiviation, la solution lixivante est rendue réductrice par un agent réducteur tel que le  $SO_2$ , le fer ferreux, le  $NO_2$ , le Méta bisulfite de sodium. C'est le cas de lixiviation du cobalt trivalent qui ne se lixivie pas en présence d'acide sulfurique seul, on utilise de réducteur comme le fer (II), [36] selon la réaction :



### **II.5.1.4. Lixiviation ammoniacale**

Elle s'applique aux minerais oxydés ou carbonatés pour y extraire les métaux tels que le cuivre, le cobalt, le Nickel, ... sous forme de complexes. On utilise généralement le  $(NH_4)_2CO_3$  et  $NH_4OH$ . Ce procédé est sélectif car les impuretés ne forment pas de complexes avec le  $NH_3$ .

### **II.5.1.5. Lixiviation alcaline (basique)**

Elle peut être directement réalisée par la soude en autoclave pour des oxydes légèrement acides ou amphotères. Elle est plus sélective car les métaux sont moins solubles en milieu basique qu'en milieu acide.

### **II.5.1.6. Lixiviation bactérienne**

La biolixiviation est un procédé qui utilise des micro-organismes pour catalyser les réactions d'oxydation de certains matériaux. Elle est souvent utilisée pour la mise en solution des minerais complexes. L'agent oxydant le plus important est le  $Fe^{3+}$ , ce dernier est généré par la présence des bactéries et de l'oxygène de l'air.

## **II.6. Lixiviation de sable siliceux**

La lixiviation des impuretés contenant du fer peut être effectuée à l'aide de  $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $HF$ , d'acide phosphorique et d'acide oxalique. Liu et al, (1996) [34] ont utilisé un mélange d'acide  $HF$  à 10 % et de  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  et  $HNO_3$  à 90 % pendant 3 à 12 h ; ils ont obtenu 96,3%

## CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux

---

de retrait du fer. À partir d'un sable brut contenant plus de 420 ppm de Fe, un produit contenant 84 ppm de Fe a été obtenu après deux jours de lixiviation en utilisant du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> avec une concentration initiale de 25 g/l et une attrition ultérieure en utilisant une solution de NaOH et une séparation par gravité [37].

L'acide phosphorique est également utilisé comme l'un des meilleurs agents de lixiviation dans la purification des impuretés de fer du quartz. Il présente les avantages d'un taux de lixiviation élevé, d'un faible coût de production, d'un organigramme simplifié et de moins de dommages pour notre produit cible. Le taux de lixiviation optimal est jusqu'à 77,1% lorsque la teneur en fer est réduite de 0,048% à 0,014% dans des conditions de température de 80°C, de rapport solide sur liquide de 10% et de taille de sable de quartz de 100 mesh pendant 120 min [38].

L'acide oxalique présente également une efficacité élevée dans la lixiviation des impuretés de fer du sable de silice. Veglio et al, [39] ont lessivé le fer du sable de silice par de l'acide oxalique et ont obtenu une élimination du fer de 45 à 50% dans des conditions de température de 80°C, taille moyenne de 160µm, 3g/l d'acide oxalique et 10% (w /v) rapport solide sur liquide pendant 3 h. Du et al, [40] ont utilisé l'acide oxalique dans la lixiviation du fer et ont obtenu un taux de lixiviation de 75,4 % dans les conditions de 4 g/l d'acide oxalique, 95 °C, 500 tr/min/150 W et la teneur en fer réduite de 0,06 % à 0,045%.

On a utilisé de l'acide sulfurique pour faire disparaître l'oxyde de Fer. à partir d'un sable de différentes tailles et comprenant les valeurs de concentrations 10% ,20 %,30 % 40 % 60% , ont obtenu la réduction de la teneur en Fer 1,25% à 0,99% en taille des particules (-500+100µm) ,au contraire dans la fraction (-1+500µm) la teneur en Fer dans les concentrations 10% à 40% la teneur diminue 0,84% à 0,56% ,et à 60% pour augmentation à 0,60% .

## **CHAPITRE II : Analyses de la littérature scientifique sur l'enrichissement du sable siliceux**

---

### **Conclusion.**

La composition chimique de sable siliceux explique le fait que la plupart des travaux de recherche se sont basés exclusivement sur des études expérimentales (physique, physico-chimique, chimique, ou biologique), cette composition peut être considérée comme étant le principal obstacle pour l'élaboration de verre.

Il est à noter que la majorité de ces recherches ont surtout traité le problème des impuretés présentes dans la matière première principalement l'oxyde de fer, de titane et l'alumine.

# *Chapitre III :*

## *Matériels et méthodes*

### Chapitre III : Matériels et méthodes

#### Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter les matériels et les méthodes d'analyse utilisés lors de cette étude, afin de caractériser le rejet de Kaolin.

La caractérisation physico-chimique de sable siliceux (G0) est l'objectif de ce chapitre. Cette dernière est réalisée à l'aide de différentes techniques de caractérisation complémentaires, notamment la diffraction des rayons X, l'analyse chimique (FX), l'analyse granulométrique par tamisage et spectroscopie IR.

#### III.1. Les sous-produits de kaolin

La qualité de la matière influe énormément sur la qualité des produits finis. Ainsi nous aurons également plusieurs catégories de produit finis, qui sont actuellement commercialisés au complexe de kaolin d'El Milia. Lors du traitement de la matière première, il en résulte une proportion importante (environ 80%) de dérivé ou de sous-produit siliceux qui peuvent être recyclés.

La concentration de la matière première du gisement de kaolin de Tamazert donne des rejets composés de sables quartzeux. D'après les essais de traitement du complexe de kaolin d'El Milia, réalisé par KHD, on obtient qualités de sous-produits caractérisés par des granulométries et des teneurs en silice (G00) et (G0).

- 2 qualités de sables grossiers riches en silice (G00) et (G0).
- 2 qualités de sables fines moins riches en silice mais présentant des teneurs élevées en alumine (GW1 et GW2).

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés aux sous-produits G0 (sable siliceux) qui proviennent de déboufrage (La maille de libération est de 2 mm).



**Figure III.1** : Le sous-produit de kaolin (sable G0).

### III.2. Prélèvement et préparation d'échantillons

#### III.2.1. Prélèvement des échantillons

La stratégie de prélèvement repose essentiellement sur le volume et le nombre des échantillons, ainsi que sur le choix des stations d'échantillonnage (nombre, emplacement et positionnement). Le but visé est d'obtenir un éventail d'échantillons représentatifs qui reflète toutes les caractéristiques physiques et chimiques de l'ensemble du site étudié.

Les échantillons sur lesquels repose ce travail ont été prélevés dans des endroits différents afin de couvrir le maximum du secteur d'étude. En général le prélèvement d'échantillons se fait en deux temps:

- a) Prélèvement sur le chantier, la carrière ou l'usine d'une quantité de matériaux nettement plus grande que celle qui sera utilisée pour les essais.
- b) Au laboratoire, le prélèvement de la quantité nécessaire pour les essais, doit être représentatif de l'échantillon de départ.

#### III.3. Préparation des échantillons aux analyses

Le sable utilisé dans cette étude provient de l'usine de traitement des kaolins (SOALKA). Il se présente sous forme de particules de 2 mm.

Un échantillon de 20 Kg de sable G0 a été soumis à l'homogénéisation, et échantillonné par quartage jusqu'à l'obtention un échantillon représentatif de 200g.

Une partie des échantillons de 1 Kg est prélevé pour trois essais d'analyse par tamisage pour déterminer leur composition granulométrique, et chacune des fractions peut être analysée chimiquement et ensuite sa caractérisation a été faite par la spectroscopie IR et des analyses des fluorescences X.

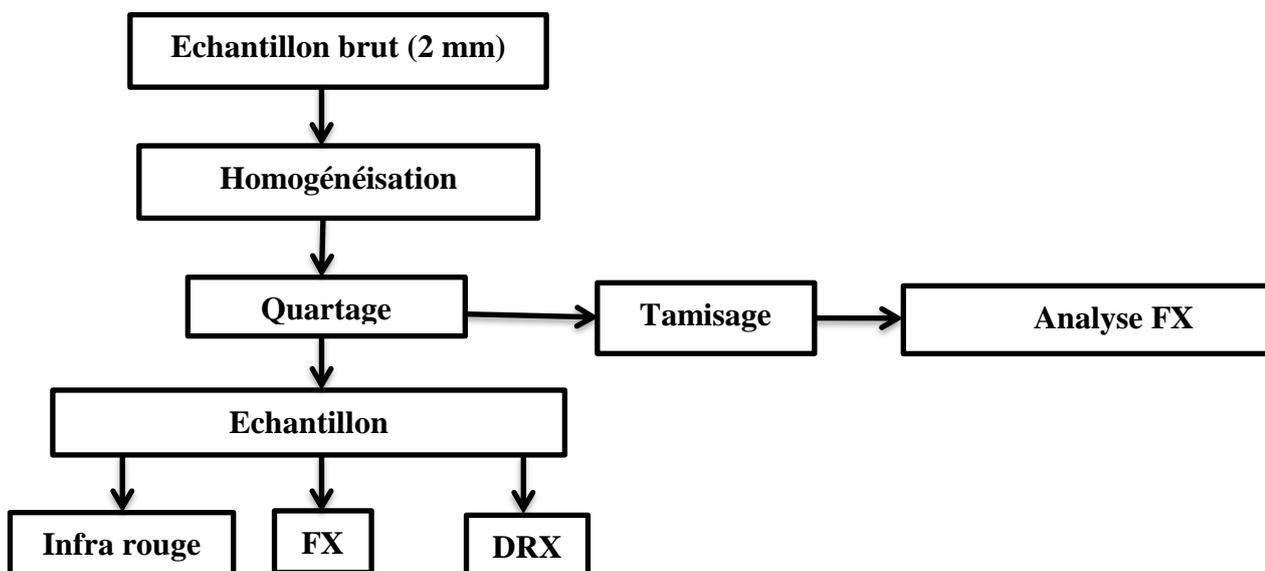


Figure III. 2 : Protocole d'échantillonnage de Sable.

## CHAPITRE III : Matériels et méthodes

### III.4. Quartage

Consiste à séparer l'échantillon en 4 parties (figure III.3). L'échantillon étalé est partagé en 4 quarts sensiblement égaux. On élimine 2 fractions opposées et on réunit les 2 autres fractions. Si la quantité est encore trop importante, le quartage se poursuit selon le même processus jusqu'à l'obtention de la quantité désirée.



Echantillon global homogénéisé et divisé en quatre quartiers équivalents.



Elimination de deux quartiers opposés.



Homogénéisation des quartiers restants et constitution de l'échantillon pour laboratoire (200g).

**Figure III.3.** Opération de quartage.

### III.5. Caractérisation physico-chimique

La caractérisation de minerai de sable à l'aide de plusieurs outils d'analyse ont porté sur l'analyse granulométrique par tamisage réalisé sur un échantillon représentatif des sable brut, l'analyse minéralogique par fluorescences X (FX) ayant pour but de déterminer l'élément contenus dans les échantillons, ainsi que l'analyse par spectroscopie IR pour identifie et caractériser les espèces chimique. En outre, la caractérisation physico-chimique est nécessaire d'une part, pour déterminer la maille optimale de libération et d'autre part, pour fournir les informations nécessaires afin d'orienter les essais d'enrichissement des sable siliceux.

## CHAPITRE III : Matériels et méthodes

### III.5.1. Analyse granulométrique par tamisage

Le principe d'analyse consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le minerai étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par le mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales à l'aide d'une tamiseuse électrique de marque FRITSCH (Figure III.4).

Un échantillon de 1 Kg de sable (G0) est versé en haut de la colonne de tamis afin de séparer les échantillons en plusieurs fractions granulométriques différentes. Les tamis normalisés utilisés ont des mailles carrées 1,6 mm, 1 mm, 500  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , et 45  $\mu\text{m}$ .

Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et son ouverture, dans notre essai il est fixé à 15 minutes. Le refus de chaque tamis est pesé par une balance dont la précision est de 0,01 g.



**Figure III.4 :** Tamiseuse de marque RETSCH.

### III.5.2. Spectroscopie Infra rouge

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  $\text{cm}^{-1}$  à 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Les pastilles ont été réalisées à partir d'un mélange intime d'échantillon tamisé à 50  $\mu\text{m}$  (0,008 mg) et KBr (0,01 mg) sous une pression de 80Pa.



**Figure III.5.**Appareil d'analyse d'infrarouge.



**Figure III.6.**pastillage.

### III.5.3.Méthode de la fluorescence X (FX)

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 III.7.**Appareil d'analyse fluorescente X (FX).

### III.5.4.Diffractométrie des rayons X (DRX)

L'analyse non destructive par diffraction des rayons X est une technique puissante pour résoudre de nombreux problèmes industriels et technologiques dès lors que les matériaux considérés sont cristallins. Elle peut être en effet utilisée pour le suivi de production dans une

## CHAPITRE III : Matériels et méthodes

usine (contrôle de la qualité), dans les cimenteries, les fabriques de céramique, mais aussi dans l'industrie pharmaceutique. Cela sert notamment à vérifier que l'on a bien obtenu le produit sous la forme cristallographique désirée (polymorphisme) ou qu'on n'a pas fabriqué une autre molécule de même formule, mais de forme différente (isomérisme).



**Figure III.8.** Diffractomètre à rayons X.

### III.5.5. Attaque chimique

Notre travail a pour objectif d'éliminer les oxydes de fer et d'alumine existant dans le sable G0. Les particules de granulométrie supérieures à 1 mm et inférieure 100  $\mu\text{m}$  de l'échantillon initial sont éliminées par tamisage.

Cinq échantillons de 50 g de sable de granulométrie  $-1+0,5$  mm sont soumis à des attaques avec différentes concentrations d'acide sulfurique. Les échantillons sont versés dans cinq béchers de volume égal à 500 ml contenant 100 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ayant une concentration de (10%, 20%, 30 %, 40 % et 60%). Le 1<sup>er</sup> bécher contient 10 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et 90 ml d'eau, le second contient 20 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et 80 ml d'eau, le troisième contient 30 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et 70 ml d'eau, le quatrième contient 40 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et 60 ml d'eau, et le cinquième contient 60 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et 40 ml d'eau. La suspension était agitée pendant 1 heure pour augmenter l'efficacité de l'attaque par acide et puis laissé reposer pendant 24h. Le mode opératoire est répété pour les échantillons de sable de granulométrie  $-0,5+0,1$ mm.

## CHAPITRE III : Matériels et méthodes

Finalement dans les conditions des essais :

- L'attaque chimique est réalisée par traitement à l'acide sulfurique de concentration 98,08g /mol.
- Filtration de mélange.
- Lavage de la phase solide avec l'eau distillé plusieurs fois pour éliminer l'excès d'acide sulfurique.
- Séchage à l'étuve.
- Broyage.
- Finalement le produit est caractérisé par fluorescence X.



**Figure III.9 :** Mélange de sable et de solution d'acide.

### Conclusion

L'analyse du rejet nécessite l'association de plusieurs techniques.

- Échantillonnage (homogénéisation, quartage) ;
- Analyse granulométrique.

Les techniques de caractérisations effectuées sont :

### **CHAPITRE III : Matériels et méthodes**

---

- L'infrarouge spectromètre (FT-IR) apporte des informations sur les groupements fonctionnels présents dans l'échantillon ;
- Une analyse chimique par spectrométrie de rayon X pour donner des informations quantitatives relatives aux types d'éléments présents ;
- La diffraction des rayons X (DRX) apporte des informations complémentaires pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés.

*Chapitre IV :*  
*Résultats et discussion*

## CHAPITRE IV : Résultats et discussion

### Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons interpréter les différents résultats de travaux de caractérisation et d'identification du sable de Tamazert, ainsi que les essais de traitement par l'attaque chimique.

### IV.1. Caractérisation physico-chimique de minéral

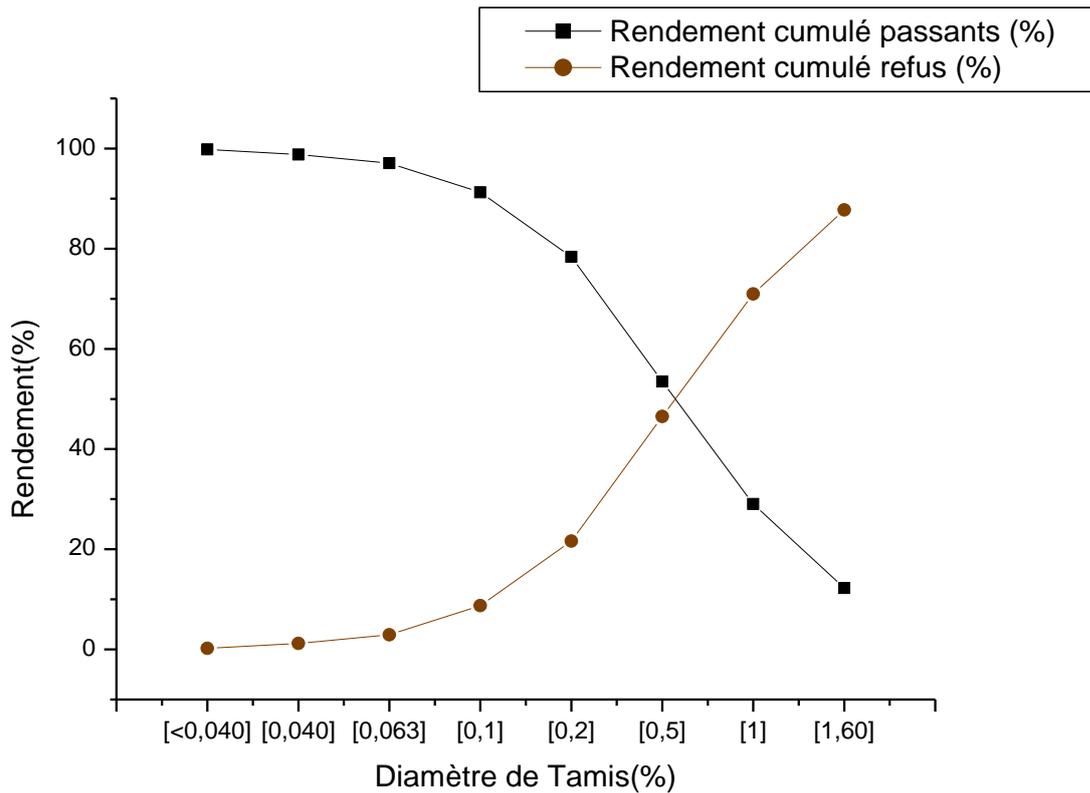
#### IV.1.1. Analyse granulométrique

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique par tamisage sont mentionnés dans le tableau suivant, et interprétés sous forme de la courbe granulométrique de la (figure IV.1).

**Tableau IV.1** : Résultats de l'analyse granulométrique.

Diamètre de Tamis (mm)	Masse (g)	massique (%)	Rendement cumulé refus (%)	Rendement cumulé passants (%)
1,60	122,62	12,26	12,262	87,738
1	167,50	16,75	29,012	70,988
0,5	244,82	24,48	53,494	46,505
0,2	248,89	24,88	78,383	21,61
0,1	128,79	12,87	91,262	8,738
0,063	58,08	5,80	97,07	2,93
0,040	17,22	1,72	98,792	1,208
<0,040	10,13	1,01	99,805	0,195
Total	1000	100	--	--

## CHAPITRE IV : Résultats et discussion



**Figure IV.1 :** Courbe d'Analyse d'un échantillon du sable G0.

De ces résultats, on déduit la dispersion de la majorité des fractions granulométrique et l'importance de la fraction intermédiaire de dimension -0,5+0,2 mm présentant plus de 24% de l'échantillon global, ce qui a confirmé notre choix à la valorisation de cette fraction prépondérante.

En revanche, les diamètres caractéristiques de la granulométrie des échantillons étudiés ( $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$ ) représentant ainsi les rendements 10, 30, 60% passant respectivement nous a donné des coefficients caractéristiques de la granulométrie de l'échantillon défini par le coefficient de courbure  $C_c$  et le coefficient d'uniformité  $C_u$  très faibles et qui sont exprimés par les relations suivantes :

$$C_c = D_{30}^2 / D_{10} D_{60} \quad \text{et} \quad C_u = D_{60} / D_{10}$$

Les valeurs obtenues sont rassemblées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2 :** les diamètres et coefficients caractéristiques de la granulométrie de sable brut.

Diamètres (mm)	$D_{10}$	$D_{30}$	$D_{60}$	$C_c$	$C_u$
Rendements (%)	1,58	0,9	0,5	0,56	1,05

A partir des résultats, on enregistre des faibles valeurs à  $C_u$  et  $C_c$ .

## CHAPITRE IV : Résultats et discussion

- Le coefficient de courbure  $1 < C_c < 3$  ce qui montre que la granulométrie de notre échantillon est graduée.
- Le coefficient d'uniformité  $C_u < 2.5$  ce qui montre que la granulométrie est serrée et les particules constituantes l'échantillon sont moyen grossier.

### IV.1.2. Spectroscopie infrarouge (FT-IR)

Les analyse par spectrophotométrie Infrarouge ont été réalisées pour les trois échantillons étudiés de sable brut, [-500+100 $\mu$ m] et [-1+0,5mm]. Les résultats sont rapportés dans les figures IV. 2, 3 et 4 et le tableau IV.3.

Dans la zone des fréquences se trouvent les vibrations de valence des groupements OH qui se traduisent pas la présence des bandes d'absorption centrée sur les fréquences 3633, 3625 3447, 3779, 3630, 3770  $\text{Cm}^{-1}$ .

Les bandes de vibration à 1639, 1656, 1664  $\text{Cm}^{-1}$  correspond aux vibrations de déformation de la liaison O-H dues aux molécules d'eau adsorbée.

Nous avons enregistré d'autres bandes dans la zone des fréquences faibles 465, 538, 465, 538, 441  $\text{Cm}^{-1}$  sont dues aux vibrations de la liaison (M-O-M).

La bande la plus étendue à 1024, 1030  $\text{Cm}^{-1}$  nous renseigne sur la liaison Si avec l'oxygène apical sur le même plan que l'oxygène organique. La même bande 773  $\text{Cm}^{-1}$ , permet de démontrer la présence de l'hallowite ( $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) avec les traces de K.

**Tableau IV.3 :** Les principales bandes d'absorption IR ( $\text{Cm}^{-1}$ ) des sous-produits étudiés.

Attributions	Brut	[-500+100 $\mu$ m]	[-1+0,5mm]
M-O-M	465, 536	456, 538	441
Traces de K	773	773	773
Si	1024	1024	1032
O-H	1639	1656	1664
Hydroxyle OH	3633	3625, 3447, 3779	3630, 3770

## CHAPITRE IV : Résultats et discussion

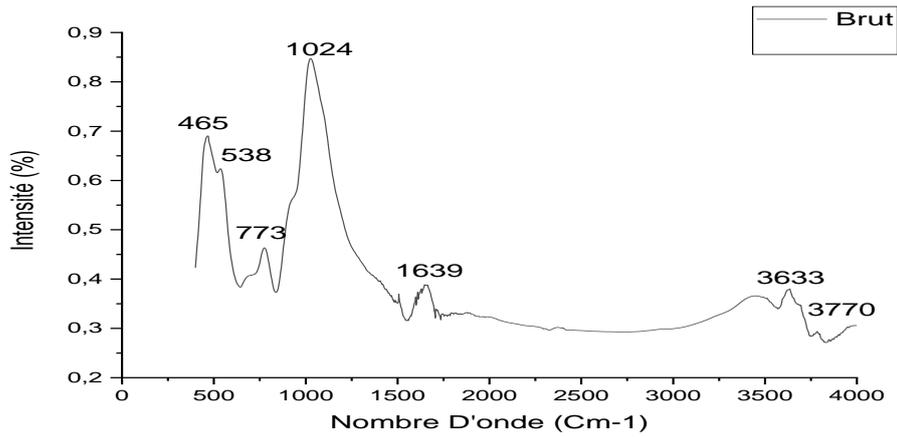


Figure IV.2 : les spectres IR de l'échantillon de sable brut.

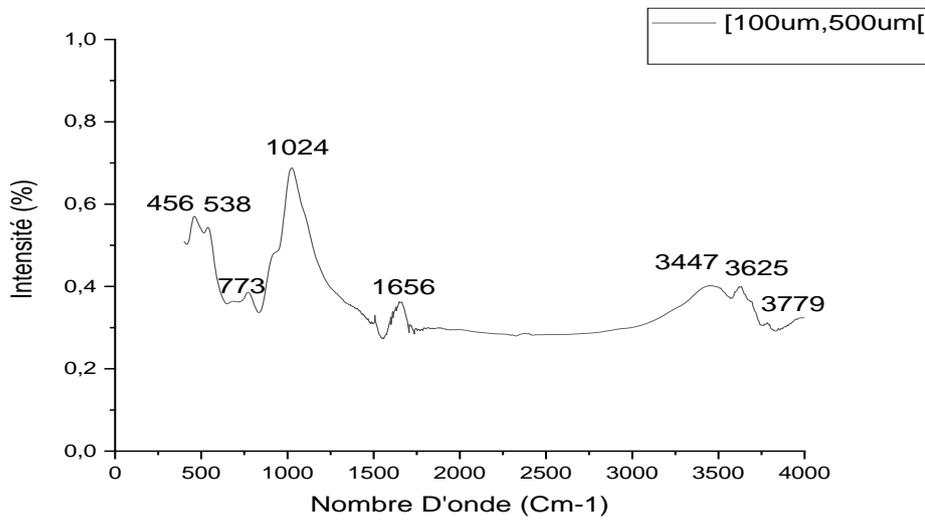


Figure IV.3 : les spectres IR de l'échantillon (-500+100 $\mu\text{m}$ ).

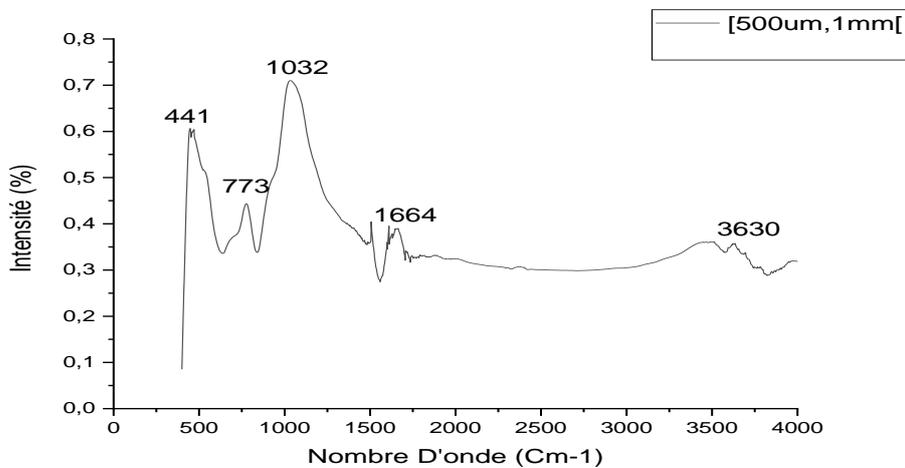


Figure IV.4 : les spectres IR de l'échantillon (-1+0,5mm).

## CHAPITRE IV : Résultats et discussion

### IV.2. Caractérisation chimique

#### IV.2.1. Analyse par fluorescence X (FX) de la matière première

La composition chimique d'un l'échantillon de sable utilisé dans cette étude est présentée dans (le tableau IV.4). Les résultats obtenus ont montré que la nature de cette matière première est d'origine siliceuse ( $\text{SiO}_2 = 80,23 \%$ ), présentant une quantité d'argile de 12,51 %, les composés à faible pourcentage tel que CaO,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  et le  $\text{K}_2\text{O}$  pratiquement sous forme de traces. L'échantillon de sable brut contient des impuretés en oxydes 1,09 % en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Tableau IV.4** : Composition chimique de sable brut.

Oxydes	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	Cl	PAF
Teneur (%)	80,23	12,51	1,09	0,24	0,00	0,02	3,51	0,2	0	2,67

#### IV.2.2. Analyse granulo-chimique par fluorescence X

L'analyse par spectroscopie fluorescence de rayon X. est réalisée sur deux échantillons de sable brut (G0) de classes granulométriques différentes (-1+0,5 mm) et (-0,5+0,1mm).

Les résultats des oxydes obtenus sont mentionnés comme suite dans le tableau IV.5.

**Tableau IV.5** : Les résultats des oxydes de classes granulométriques différentes (-1+0,5 mm) et (-0,5+0,1mm).

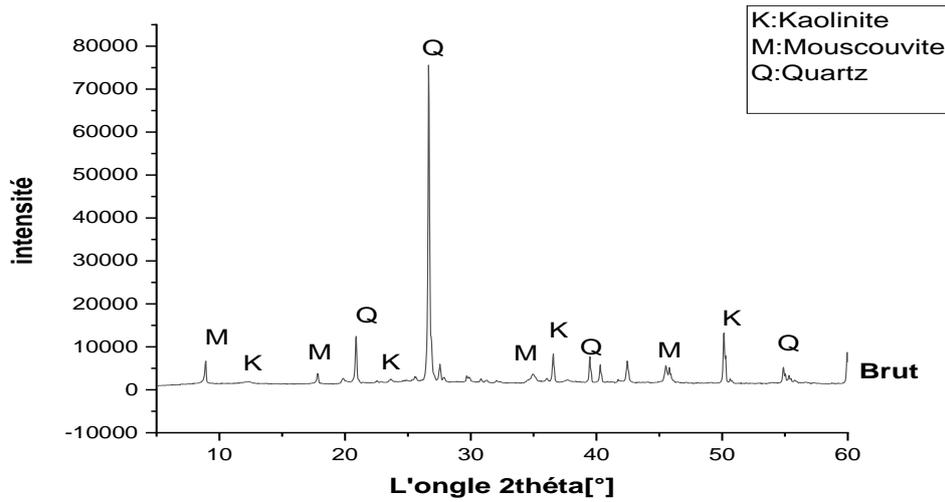
Classe granulométrique (mm)	Oxydes									
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	Cl	PAF
-1+0,5	84,78	9,72	0,86	0,25	0,14	0,02	3,15	0,19	0	1,66
-0,5+0,1	80,05	10,68	1,51	0,25	0,26	0,02	4,92	0,24	0	4,56

À partir des résultats d'analyse granulo- chimique, il en découle les remarques suivantes :

- une prédominance de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) de teneur comprise entre (80,05 et 84,78 %) ;
- Les teneurs d'Alumine sont relativement élevées comprise entre (9,72 et 10,68 %) ;
- La teneur de l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dépasse 0,8 % dans les deux classes granulométriques ;
- Les reste teneurs de différents oxydes sont presque les mêmes pour les deux classes granulométrique.

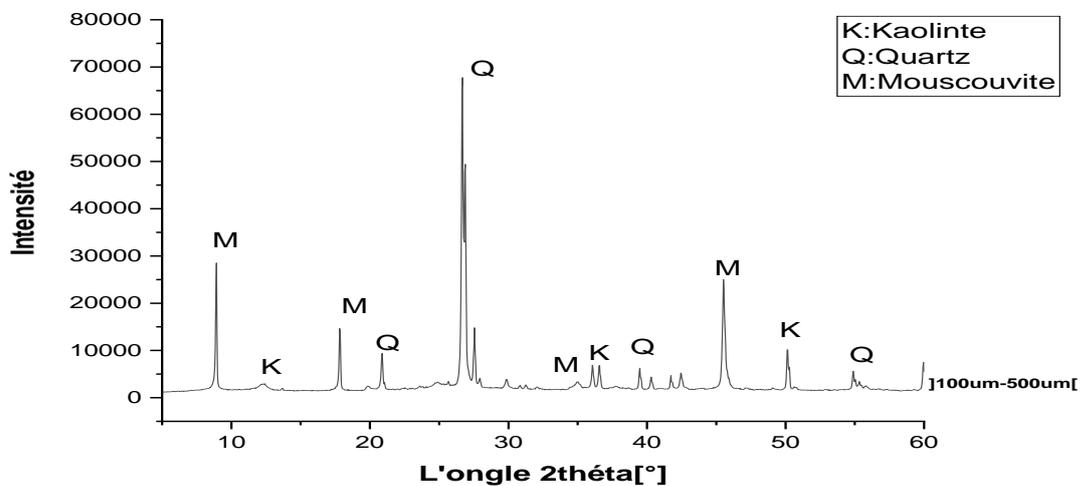
#### IV.2.3. Analyses minéralogiques par diffraction des rayons X

Le spectre DRX de sables G0 brut montre que le quartz est la phase minéralogique principale avec un pourcentage de 61 %. Suivi par la muscovite 27 % et la kaolinite représentent les phases mineures avec un pourcentages de 12 %.



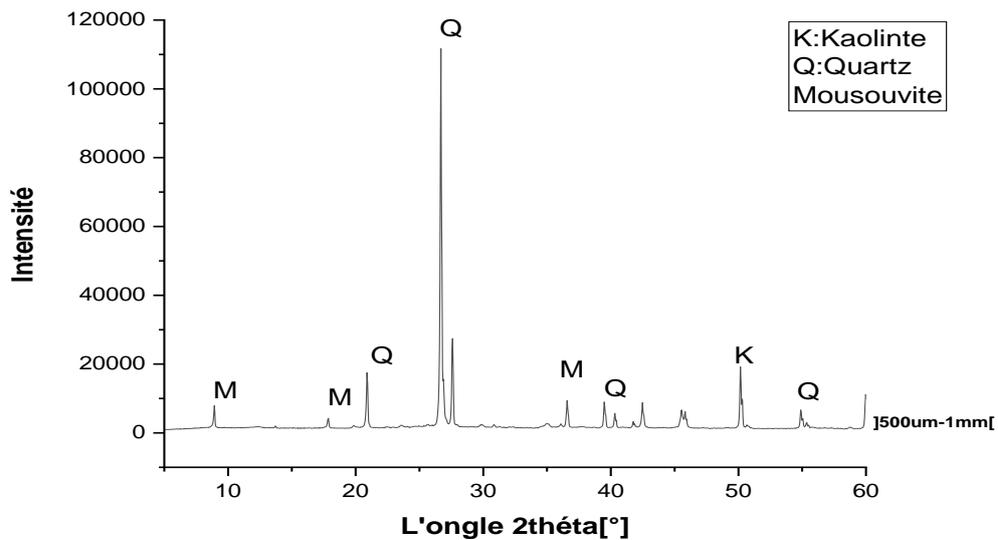
**Figure V.5 :** Spectre d'un échantillon du sable G0 brut analyse par DRX.

Le spectre DRX de la fraction  $]-500\mu\text{m}+100\mu\text{m}$  [a permis de mettre en évidence une composition minéralogique assez variée de le quartz comme phase minéralogique principale avec un pourcentage quartz 63%. Suivi par la muscovite 26 %. La kaolinite représente les phases mineures avec des pourcentages de 9 %.



**Figure IV.6 :** Les spectres DRX de la fraction  $]-500+100\mu\text{m}$  [.

Le spectre DRX de la fraction  $]-1+500\mu\text{m}$  [ montre que le quartz est la phase minéralogique principale avec un pourcentage de 67 %. Suivi par la muscovite 17 %. La kaolinite représentent les phases mineures avec des pourcentages 5 %.



**Figure IV.7 :** Les spectres DRX de la fraction [-1+0,5mm].

## IV.2.4. Attaque chimique des échantillons

### a) Fraction granulométrique (-0,5+0,1 mm)

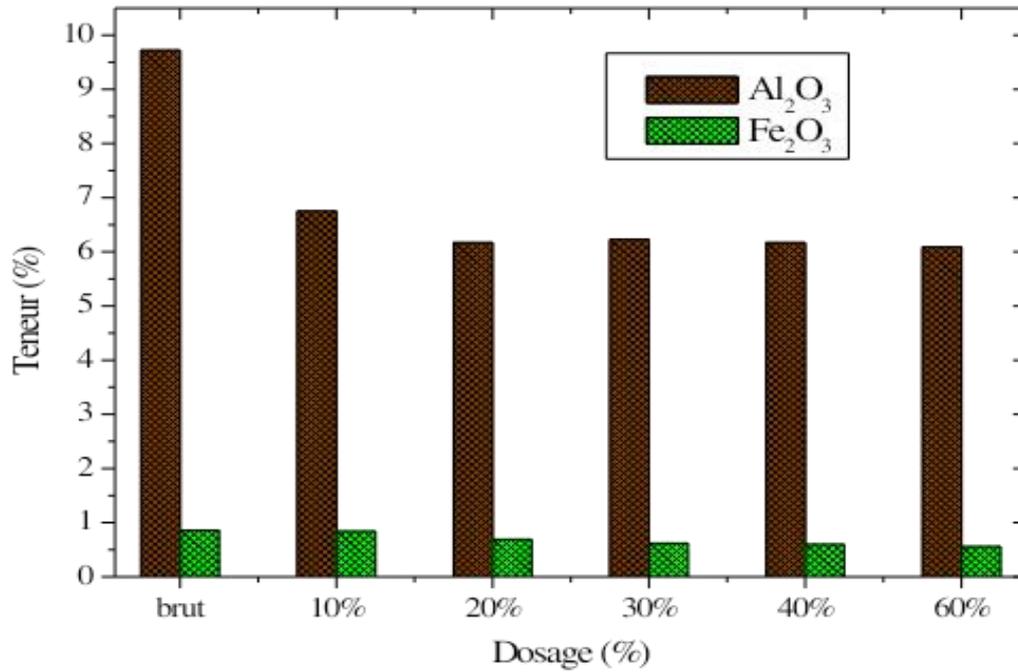
D'après la figures IV.8 et 9, on remarque que les meilleurs résultats sont obtenus pour le dosage de 60% en  $H_2SO_4$ .

La teneur en  $SiO_2$  augmente progressivement et atteint 86,67 %. La teneur en  $Fe_2O_3$  diminue de 1,25 % à 0,9 %, soit une réduction de 1,7 fois. Quand la teneur en  $Al_2O_3$ , elle est diminuée de 07,98% à 06,01%. Lors du traitement du sable à des concentrations différentes en  $H_2SO_4$ , on remarque un changement de la couleur du mélange, mais l'influence de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) sur la solubilité de  $Fe_2O_3$  et  $Al_2O_3$  reste toujours faible.

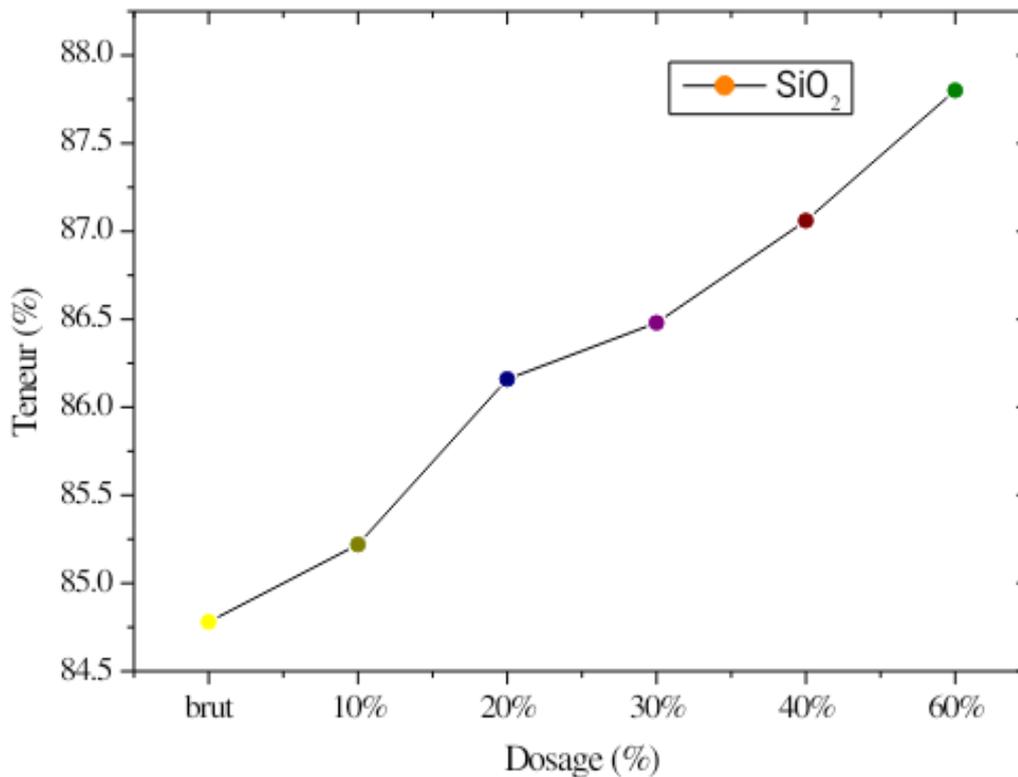
**Tableau IV.6 :** Analyse chimique du sable G0 de tranche (-0,5+0,1 mm).

		Oxydes									
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cl	PAF
Dosage de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10%	83,39	07,98	1,25	0,10	0,24	0,04	3,41	0,28	0	2,41
	20%	84,94	07,5	1,15	0,25	0,24	0,03	3,51	0,26	0	2,79
	30%	85,36	07,15	1,01	0,26	0, 24	0,04	3,47	0,28	0	2,41
	40%	85,73	06,43	0,96	0,23	0,23	0,05	3,4	0,27	0	2,53
	60%	86,67	06,01	0,9	0,20	0,18	0,09	3,36	0,28	0	2,25

## CHAPITRE IV : Résultats et discussion



**Figure IV.8 :** Teneur de  $Al_2O_3$  et  $Fe_2O_3$  en fonction de dosage dans la tranche (- 500+100 $\mu$ m).



**Figure IV.9:** Teneur de  $SiO_2$  en fonction de dosage dans la tranche (-500+100).

## CHAPITRE IV : Résultats et discussion

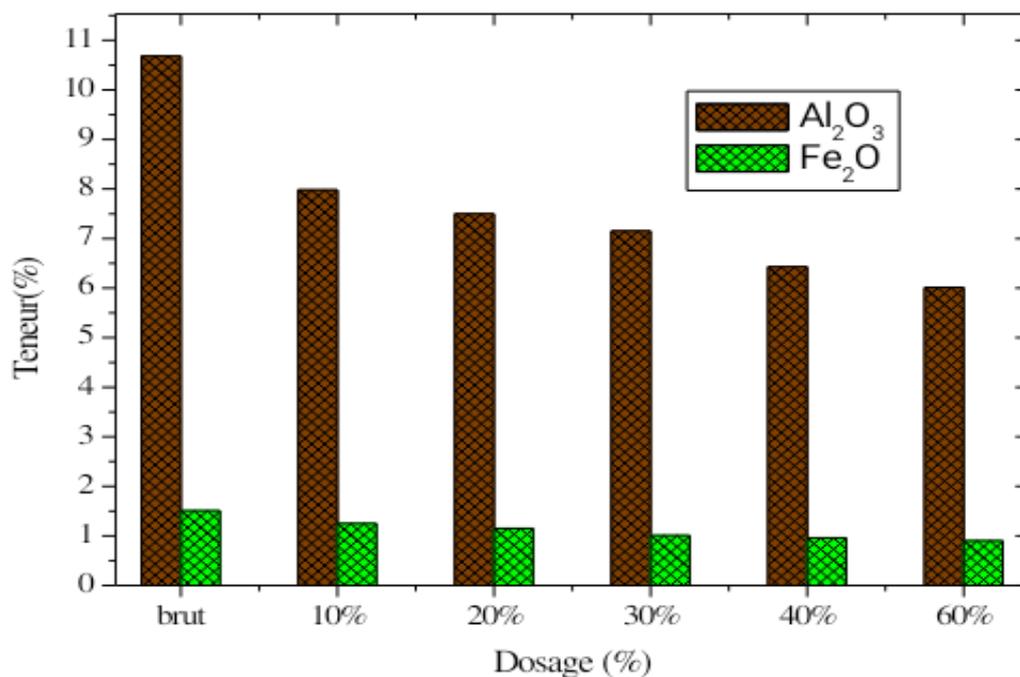
### b) Fraction granulométrique (-1+0,5 mm)

D'après les Figures IV. 10 et 11, on remarque que les meilleurs résultats sont obtenus pour le dosage de 60% en H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>.

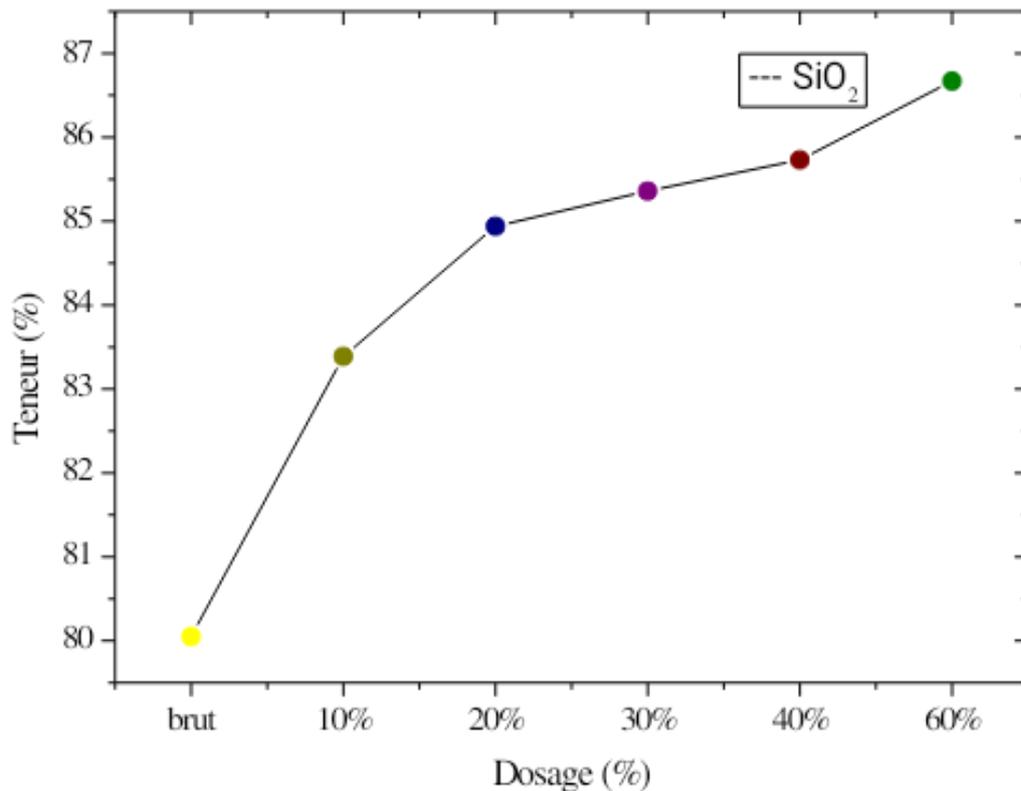
La teneur en SiO<sub>2</sub> augmente progressivement et atteint 87,80 %. La teneur en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diminue de 0,84 % à 0,56 %, soit une réduction de 1,7 fois. Quand la teneur en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, elle est diminuée de 6,75% à 6,09%. Lors du traitement du sable à des concentrations différentes en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, on remarque un changement de la couleur du mélange, mais l'influence de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) sur la solubilité de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reste toujours faible.

**Tableau IV.7 :** Analyse chimique du sable G0 de tranche (-1+0,5 mm).

		Oxydes									
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	PAF
Dosage de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10%	85,22	6,75	0,84	0,10	0,14	0,08	3,23	0,23	0,000	1,16
	20%	86,16	6,17	0,69	0,22	0,14	0,05	3,11	0,21	0,001	1,14
	30%	86,48	6,23	0,62	0,22	0,14	0,07	3,10	0,23	0,00	0,67
	40%	87,06	6,17	0,60	0,18	0,13	0,07	3,08	0,22	0,001	0,37
	60%	87,80	6,09	0,56	0,18	0,18	0,11	2,95	0,20	0,002	0,59



**Figure IV.10:** Teneur de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en fonction de dosage dans la tranche (-1+0,5mm).



**Figure IV.11** : Teneur de  $\text{SiO}_2$  en fonction de dosage dans les tranches ( $-1+500\mu\text{m}$ ).

### Conclusion

La caractérisation physico chimique du kaolin de Tamazert – Jijel nous permet de tirer quelques conclusions :

- Les résultats obtenus à partir des différents paramètres granulométriques montrent que les sables de Tamazert sont riches en éléments moyen grossier.
- Les résultats d'analyses chimiques ont montré que le sable de Tamazert est siliceux à cause de la teneur élevée en silice allant jusqu'à 80 % dans l'échantillon initial et une forte teneur en impuretés  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de 12,51% et 1,09% respectivement.
- La diffraction des rayons X a permis d'identifier les phases existantes dans chaque échantillon : le quartz, le feldspar, la kaolinite.
- L'analyse spectrométrie infrarouge nous a permis d'observer principalement les mêmes bandes enregistrées dans le cas des trois échantillons à des intensités différentes.

# *Conclusion générale*

### CONCLUSION GENERALE

Notre travail a porté sur la caractérisation et enrichissement des sous-produits (sables siliceux) générés par le traitement de kaolin de Tamazert- Jijel. Qui renferme principalement des impuretés telles que l'oxyde de fer et de d'aluminium, bien supérieures aux valeurs admissibles pour la fabrication du verre. Le but consiste à réduire les inclusions nocives et à améliorer la qualité de la silice. Pour atteindre ces objectifs, la démarche expérimentale adoptée pour cette étude consiste en une caractérisation physico-chimique :

Les résultats de caractérisation physico-chimique et enrichissement du rejet (sable G0) nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les résultats obtenus à partir des différents paramètres granulométriques montrent que les sables de Tamazert sont riches en éléments moyen grossier.
- Les résultats de l'analyse chimique ont montré que le sable issu de traitement du kaolin de Tamazert est siliceux en raison de la teneur élevée en silice pouvant atteindre 86%.
- La teneur en oxyde de fer, après l'attaque acide des concentrations différentes en  $H_2SO_4$  est réduite de 0,85% à 0,56% a pour la fraction (-1+0,5 mm) et 1,25 % à 0,9 % pour la fraction (-0,5+0,1 mm), mais avec une diminution de la teneur en  $Al_2O_3$ , mais l'influence de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) sur la solubilité de  $Fe_2O_3$  et  $Al_2O_3$  reste toujours faible.
- L'analyse par la diffraction des rayons X montre que tout l'échantillon de rejet est constitué majoritairement de quartz avec des phases de Le feldspar et la Garronite et muscovite.
- Les analyse par spectrophotométrie Infrarouge ont été réalisées pour les trois échantillons étudiés de sable brut, [-500+100 $\mu$ m] et [-1+0,5mm] :
- Dans la zone des fréquences se trouvent les vibrations de valence des groupements OH qui se traduisent pas la présence des bandes d'absorption centrée sur les fréquences 3633, 3625 3447, 3779, 3630, 3770  $Cm^{-1}$ .
- Les bandes de vibration à 1639 ,1656 ,1664  $Cm^{-1}$  correspond aux vibrations de déformation de la liaison O-H dues aux molécules d'eau adsorbée.
- Nous avons enregistré d'autres bandes dans la zone des fréquences faibles 465, 538, 465 ,538 ,441  $Cm^{-1}$  sont dues aux vibrations de la liaison (M-O-M).

## Conclusion générale

---

- Après un traitement chimique du sable par  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , sa teneur en oxyde de fer et en alumine reste élevée. Cela confirme des résultats non satisfaisants pour la fabrication de verre.

Nous avons comme perspectives :

Un essai préliminaire par attrition pour obtenir un meilleur rendement ;

Refaire les essais de l'attaque chimique avec différentes concentrations des acides et augmenter la température de chauffage pendant le traitement ;

Purification de la silice obtenue par d'autres techniques de traitement.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIES

---

### Reference bibliographies

[1] Asmatulu R., (2002). Removal of the Discoloring Contaminants of an East Georgia Kaolin Clay and its Dewatering, *turkish journal of engineering & environmental sciences*, 26 447 453.

[2] Ingrachen Daouia ; Utilisation des sous-produits siliceux du kaolin en vue de l'élaboration de matériaux électrons .Thèse Doctorat université de Bejaia 2015.

[3] Sonarem, Travaux de prospection et d'évaluation du gisement de kaolin de Tamazert, rapport intermédiaire, 1977.

[4] Chouafa Mohamed ; Comportement du kaolin à l'enrichissement par flottation .Cas de la mine de Tamazert-Jijel.Memoire de Doctorat université de Annaba 2016.

[5] Djellali Brahim; Elaboration et caractérisation d'une céramique diélectrique a base de palygorskite. Mémoire de master université de Boumardes 2015 / 2016.

[6] Boudchicha Mohamed Réda. Etude de la cristallisation et des propriétés mécaniques et diélectriques de céramiques préparés à partir de kaolin-dolomite. Université El-Hadj Lakhder –BATNA .P .3-4-5-8-9-10-12-13-14, 2010.

[7] Drouin Sylvain. Rôle des argiles dans la préservation et la fossilisation de la matière Organique pétrologène. Université D'ORLEANS. P .24-25-26, 2007.

[8] Boukhemkhem Ali ; Synthèse et caractérisation des matériaux modifiés à partir du kaolin et de la bentonite pour l'élimination de quatre polluants organiques par adsorption et catalyse hétérogène. Thèse de Doctorat université de Jijel 2006.

[9] Chichouche Hamina Makhloufi .Influence de l'ajout pouzzolanique (argile cuite) sur les caractéristiques physico-chimique des ciments. Université de Mohamed Boudiaf de M'SILA. P. 14 -16-17-18, 2006.

[10] Lalmi Khier ; Etude par diffraction des RX de matériaux a base de kaolin de KT2 et DD. Mémoire de magister université de Constantine.

[11] bouabdallah Soufiane ; caractérisation-enrichissement des grès pauvres d'el aouana thèse. Doctorat université de Annaba 2016.

[12] Mr Djedid Walid ; Augmentation de la teneur en silice dans le sable de deux régions de la wilaya d'Adrar MEMOIRE DE FIN D'ETUDE UNIVERSITE d'ADRAR 2017.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIES

---

- [13] Al-Harbi O., Amjad M., Alabdulaaly A., Khater G. and Alsari A., 1995. Evaluation of White Silica Sand in Al-Kharj Area for Industrial Application, The Fourth Saudi Engineering Conference, KAAU, Jeddah, Vol. 2, 307-311.
- [14] Matis K. A., 1995. Flotation Science and Engineering," Marcel Dekker, Inc,
- [15] Zhang Z., Li J., Li X., Huang H., Zhou L., Xiong T., 2012. High efficiency iron removal from quartz sand using phosphoric acid, International Journal of Mineral Processing, Vol. 114, No. 117, 30-34
- [16] Styriakova I., Mockovciakova A., Styriak I., Kraus I., Uhlik P., Madejova J., Orolinova Z., 2012. Bioleaching of clays and iron oxide coatings from quartz sands, Applied Clay Science, 61, 1-7.
- [17] Hacifazlioglu H., 2014. Enrichment of silica sand ore by cyclojet flotation cell, Separation Science and Technology, 49, 1623-1632.
- [18] Pierre Blazy, Robert Joussemet. Publication : 10 mars 2005
- [19] (AFEEAB) Association française pour l'étude des eaux et Analyse des boues, Généralités et analyse physique. Tome N°1, Paris; 1985.
- [20] Sundararajan M., Ramaswamy S., Raghavan P., 2009. Evaluation for the beneficiability of white silica sands from the overburden of lignite mine situated in rajparadi district of Gujarat, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 8, No. 9, 701-713.
- [21] Sivamohan R., Forsberg E., 1985. Principles of spiral concentration, International Journal of Mineral Processing, 15, 173-181.
- [22] Venkatraman P., Kow W., Sadowskia J., and Anthraper A., 2000. Ap floatex/spiral circuit in processing silica sand, Presented at the SME Meeting Salt Lake City, Utah – February 28-March 1, SME Preprint No. 00- 162.
- [23] Gill C. B., 1991. Materials Beneficiation. New York: Springer-Verlag, p. 245
- [24] Wills, B. A. Mineral Processing Technology, 4ième edition ed. Oxford: Pergamon Presse; 1988; p.855

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIES

---

- [25] Ramalho, R. S. Introduction to Wastewater Treatment Processes. 2<sup>e</sup> ème édition New York Academic Press; 1983; p. 80,132.
- [26] Raghavan P., Chandrasekhar S., Anoop Chandra I.R., Ramaswamy J.V., Antony V., 2006. Development of a beneficiation flow sheet for processing silica sand from Chertala area of Kerala, Proceedings of the International Seminar on Mineral Processing Technology, 320-327.
- [27] Chammas E., Panias D., Taxiarchou M., Anastassakis G.N., Paspaliaris I., 2001. Removal of iron and other major impurities from silica sand for the production of high added value materials, Proceedings of the 9th Balkan Mineral Processing Congress, İstanbul.
- [28] Sontakkey V.A., Rao M.S., Ram M. Development process diagram for a simple sample of silica sand to produce silica sand of high quality focus in the district of Ratnagiri, Maharashtra, Proceedings of the XI International Seminar on Mineral Processing Technology (MPT-2010), pp. 139-143.
- [29] Vieira A. M., Peres E.C.A., 2007. The effect of amine type, pH and size range in the flotation of quartz, Minerals Engineering, 20, 1008-1013.
- [30] Deniz A.F., Abakay T.H., Bozkurt V., 2011. Removal of impurities from tailing (quartz) obtained from bitlis kyanite ore by flotation method, International Journal of Applied Science and Technology, Vol. 1, No 1, 74-81.
- [31] Al-Maghrabi M.N.H., 2004. Improvement of low-grade silica sand deposits in Jeddah area, Engineering Science, Vol.15, No.2, 113-128
- [32] Önal G., Kaytaz Y., Doğan Z., 2002. Iron removal of Yalıköy Sand Dunes. IX th International Mineral Processing Symposium, Extended Abstracts, Cappadocia/Turkey.
- [33] Bayat O., Vapur H., Kiliç Ö., Aslan V., Akarsu H. F., 2001. Adana kuvars kumtaşı flotasyonunda Öğütmenin etkisi. 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyum Kitabı, Editors: H. Köse, V. Arslan, M.Tanrıverdi.
- [34] LG Liu, HM Gao. LY Zhang, « Étude Techniquale sur sable de quartz très pur », Nonmet. Minerais, vol. 4, pages 39-41, 1996.
- [35] ME Schlesinger et al., Métallurgie extractive du cuivre, cinquième édition, Elsevier, Oxfort, 2011.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIES

---

[36] ALVAYAI.C, Traitement hydro métallurgique des minerais Cupro-Cobaltifère du Katanga, Mémoire de DEA, GEOMAC, Université de Liège, 2006.

[37] Z. Zhang, J. Li, X. Li, H. Huang, L. Zhou, T. Xiong, « Élimination du fer à haute efficacité du sable de quartz à l'aide d'acide phosphorique », International Journal of Mineral Processing, vol. 114, p. 30-34,2012.

[38] AN Banza, J. Quindt, E. Gock, "Amélioration du traitement du sable de quartz à Hohenbocka", International Journal of Mineral Processing, vol. 79 (1), p. 76–82, 2006.

[39] F. Veglio, B. Passariello, C. Abbruzzese, "Procédé d'élimination du fer pour la production de sables de silice de haute pureté par lixiviation à l'acide oxalique", Ind. Eng. Chim. Rés, vol. 38, pages 4443-4448, 1999

[40] F. Du, JS Li, XX Li, ZZ Zhang, "Amélioration de l'élimination du fer du sable de silice à l'aide d'acide oxalique ultra-assisté," Ultrason. Sonochem, vol. 18, p. 389–393, 2011.

## Résumé

La silice  $\text{SiO}_2$  représente un composant principal utilisé dans de diverses applications telle que la fabrication de verre, dans l'industrie céramique et la fonderie. Malgré cette importance, l'utilisation de sables siliceux en Algérie reste limitée en raison de la qualité du matériau qui renferme des inclusions minérales d'oxydes indésirables. C'est le cas de sous-produits de kaolin de Tamazert ou la présence d'impureté notamment l'oxyde de fer et l'oxyde d'aluminium limitent industriellement l'utilisation de ces sables. Nous avons procédé à une étude préalable d'identification et de caractérisation minéralogique et chimique (analyse granulométrique, spectroscopie Infra-rouge, diffraction par rayon X et fluorescence X).

L'enrichissement de sables consiste à améliorer le pourcentage en silice pourcentage de silice jusqu'à 87,8 % et réduire les impuretés ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) à des valeurs remarquables.

**Mots –clés :** Tamazert, Sable, kaolin, caractérisation, Attaque chimique, acide sulfurique.

## Summary

Silica  $\text{SiO}_2$  represents a main component used in various applications such as glass manufacturing, ceramics industry and foundry. Despite this importance, the use of silica sands in Algeria remains limited due to the quality of the material which contains mineral inclusions of undesirable oxides. This is the case with kaolin by-products from Tamazert where the presence of impurities, in particular iron oxide and aluminum oxide, limit the industrial use of these sands. We carried out a preliminary study of mineralogical and chemical identification and characterization (particle size analysis, infrared spectroscopy, X-ray diffraction, and X-ray fluorescence). The enrichment of sands consists in improving the percentage of silica percentage of silica up to 87.8% and reducing the impurities ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) at remarkable values.

**Keywords:** Tamazert, Sand, kaolin, characterization, chemical attack, sulfuric acid.

## ملخص

يمثل السيليكا ( $\text{SiO}_2$ ) مكوناً رئيسياً يستخدم في العديد من التطبيقات مثل صناعة الزجاج وصناعة السيراميك والمسبك. على الرغم من هذه الأهمية، لا يزال استخدام رمال السيليكا في الجزائر محدوداً بسبب جودة المادة التي تحتوي على شوائب معدنية من أكاسيد غير مرغوب فيها. هذا هو الحال مع منتجات الكاولين الثانوية من تمازيرت حيث يوجد الشوائب، ولا سيما أكسيد الحديد وأكسيد الألومنيوم، من الاستخدام الصناعي لهذه الرمال. لقد أجرينا دراسة أولية للتعريف والتوصيف المعدني والكيميائي (تحليل حجم الجسيمات، التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء، حيود الأشعة السينية، وفلورة الأشعة السينية).

يتمثل إثراء الرمال في تحسين نسبة السيليكا بنسبة تصل إلى 87,8% وتقليل الشوائب ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) بقيم رائعة.

**الكلمات المفتاحية:** تمازيرت، رمل، كاولين، توصيف، هجوم كيميائي، حامض الكبريتيك.