

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Génie Minier

Projet de Fin d'Etudes pour l'Obtention
Du Diplôme D'ingénieur d'Etat en Génie Minier

Valorisation du kaolin de Tamazert pour les besoins de la céramique

Présenté par :

Mr. CHEKNOUN RABAH
Mr. RABIA HAKIM

Devant le jury :

Dr. OULD HAMOU. M	Président
Dr. AKKAL. R	Examineur
Dr. DERAMCHI. K	Promotrice
Dr. BOUTRIA. S	Co-Promotrice

Promotion : juin 2015

DEDICACES

C'est avec un énorme plaisir, un cœur ouvert, une immense joie que je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers, respectueux et magnifiques parents
qui m'ont soutenu tout au long de ma vie

Ma grande mère que dieu la garde pour nous

Mes frères Salem, Achour,

Mes sœurs Fatima, Sabrina,

Mon beau frère Abderrezzak

Mes belles sœurs Lynda et Saloua

Mes neveux : Amine, Yanis

Mes nièces : Lilia, Ilina, Anaïs

Mes tantes Zohra, Salha

Mon oncle Mohamed et sa femme Zaina

Mes cousins, Nora, Larbi, Aldjia et Juba

mes amis Lhachimi, Amokrane, Hakim, Wissam,

Amel, Amar, Namira, Nassim, Amar,

RABAH

Dédicaces

Avec ma profonde gratitude et mon grand amour, je dédie ce modeste travail
à :

Mes très chers parents qui ont consacré toute leur vie pour bâtir la mienne, je
leurs serai éternellement reconnaissant.

Ma chère sœur Ouardia

Mon cher Frère Ahmed

Ma sœur Tassadit et son mari sofiane

Mon neveu Amine et ma nièce Meriem

Mon oncle Mourad et sa femme Rabiaa

Mes chers cousins Aziz, Mohammed et rayan

Ma chère cousine Imene

Mes petits oncles Djaffer , Mohammed

Ma Petite tante Tiziri et son mari Farid

Ma grande tante Aldjia et son mari Ahmed

La famille Belkacemi : Tayeb ,Sediq et Sekoura

Et toute la famille

La famille Ould Oulhadj

Chère Sihem A.O

Mes amis :Mourad.B, Yougurthen.K , Salem.B.R , Sofiane.B.A et Menad.M

Raveh.C , Amar.K , Mohammed.B , Sofiane.B et Amar.S

Mes amies : Naima.M ,Thelilli.L , Ryma.N ,Lamia.A , lynda.K et Soria.O

Lynda.B , Wissam.O , Amel.I et Namira.G

Toute la promotion Génie Minier 2015

Hakim

Remerciement

Nous tenons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de notre projet ;

Nous remercions l'ensemble des enseignants du département Génie Minier

Nous remercions notre promotrice Dr. Deramchi.K pour avoir accepté de travailler avec nous et pour son encadrement.

Le président du jury : Dr. OULD HAMOU.M qui nous a fait l'honneur de présider notre jury de thèse, nous le remercions pour son aide pendant tout notre cursus d'ingénieur comme enseignant et comme chef de département.

L'examineur : Dr. AKKAL.R pour avoir accepté de participer à l'évaluation de ce travail et pour ses conseils et orientations pendant toute l'année.

Nous remercions ammi Mustapha, technicien au département qui a réuni tous les moyens pour qu'on travaille dans de bonnes conditions

Mr.BENMOUNAH, Directeur de l'unité de recherche, procédés et environnement (Boumerdès) qui n'a pas hésité à nous recevoir et accepter de réaliser des analyses minéralogiques.

Mr Said DEBBAKH pour son aide et ainsi à tous les techniciens de l'unité de recherche, Procédés et Environnement (Université de Boumerdès).

L'ensemble du personnel de la société SOALKA (Société des Kaolins d'Algérie), à leur tête Mr LOUDJHANI FOUED pour leur accueil pendant la période du stage.

LEXIQUE DES MOTS

DD3 - Kaolin pour industries céramique, vaisselle et autres

DD2- Kaolin pour industries.

DD1 - Kaolin pour industries céramique, vaisselle et autres

KT3 - Kaolin pour l'industrie céramique, plastique et caoutchouc

KT2 - Kaolin pour l'industrie céramiques, plastique et caoutchouc

KT3B - Kaolin pour charge papier

KT1 - Kaolin pour industries céramiques, insecticides et autres

G0, GW1, GW2- des sables

DRX : Diffraction des rayons X

MEB : Microscope électronique à balayage

Eh : Potentiel d'oxydoréduction

ملخص

الكاولين تشتهر بالبياض، ويستخدم في العديد من الصناعات، لا سيما في صناعة السيراميك، وتتألف بشكل رئيسي من الكولنيت وهو سيليكات الألمنيوم المائية. يتميز تامزرت KT1 القادمة من المنطقة (الميلية جيجل) من قبل نسبة عالية من الشوائب (ميك، الفلسبار والكوارتز والهيمايت)، ويقدر نسبة الكولنيت في 13٪.

مهمتنا هي لتعزيز الكاولين تامزرت باستخدام أساليب مختلفة من الانفصال عن طريق إزالة الشوائب إلى نسبة الأخذ بعين الاعتبار متطلبات السيراميك من حيث الكيميائية والتركيب المعدني.

الكلمات المفتاحية: الكاولين – الطفو – الفصل المغناطيسي – تثمين – سيراميك – التحليل الحجمي - الكوارتز – الفلسبار - ميكا – الهيمايت.

Résumé

Le kaolin est réputé pour sa blancheur, il est utilisé dans plusieurs industrie, notamment dans l'industrie céramique, il est essentiellement composé de Kaolinite qui est un silicate d'aluminium hydraté. Le KT1 issu de la région de **Tamazert** (El-milia, Jijel) est caractérisé par une forte teneur d'impuretés (Micas, Feldspaths, Quartz, Hématite), le pourcentage de la kaolinite est estimé à 13%.

Notre travail consiste à valoriser le kaolin de **Tamazert** en utilisant divers méthodes de séparation en éliminant les impuretés à certaines proportions en tenant compte des exigences de la céramique en termes de composition chimique et minéralogique.

Mot clés : Kaolin – Flottation – Séparation magnétique – Valorisation – Céramique – Analyse volumétrique – Quartz – Feldspath – mica – Hématite.

Abstract

Kaolin is renowned for its whiteness, it is used in several industries, especially in the ceramics industry, and it is mainly composed of kaolinite which is a hydrated aluminum silicate. The KT1 **Tamazert** coming from the region (El Milia, Jijel) is characterized by a high content of impurities (Micas, Feldspar, Quartz, Hematite), the percentage of kaolinite is estimated at 13%.

Our job is to enhance the kaolin **Tamazert** using various methods of separation by removing impurities to a ratio taking into account the requirements of the ceramic in terms of chemical and mineralogical composition.

Key words: Kaolin – Flotation – Magnetic Separation – Valorization – ceramic - volumetric analysis – Quartz – Feldspar – mica – Hematite.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1-1 : OBSERVATION D'UN PHYLLOSILICATE (MONTMORILLONITE) A DIFFERENTES ECHELLES D'OBSERVATION	2
FIGURE 1-2 : REPRESENTATION DES TETRAEDRES DE SILICIUM ET DES OCTAEDRES D'ALUMINIUM OU DE MAGNESIUM, AINSI QUE DE LEUR AGENCEMENT EN COUCHES.	3
FIGURE 1-3 : ÉCHANTILLON DU KAOLIN PUR DE TAMAZERT	4
FIGURE 1-4 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UN FEUILLET DE KAOLINITE	6
FIGURE 1-5 : MORPHOLOGIE D'UNE KAOLINITE TRES BIEN CRISTALLISEE	7
FIGURE 1-6 : PRODUCTION MONDIALE DE KAOLIN	9
FIGURE 2-1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA KABYLIE DE COLLO (EXTRAIT DE LA CARTE GEOGRAPHIQUE DE CONSTANTINE AU 1/500 000	11
FIGURE 2-2 : CARTE GEOLOGIQUE DU GISEMENT DE KAOLIN.TAMAZERT (EL MILIA. W : JIJEL) D'APRES KARROUM, 2001. (UNITE SOALKA).....	13
FIGURE 2-3 : ZIRCON DANS UN GNEISS.....	16
FIGURE 2-4 : APATITE DANS UN LEPTYNITE	16
FIGURE 2-5 : TOURMALINE EN PRISME.....	17
FIGURE 2--6 : TOURMALINE SUBTRIANGULAIRE.....	17
FIGURE 3-1 : SIGLE DE LA SOCIETE DES KAOLINS D'ALGERIE	18
FIGURE 3-2 :L'HOMOGENEISATION DU TOUT VENANT	20
FIGURE 3-3 :SCHEMA TECHNOLOGIQUE DE TRAITEMENT DU KAOLIN PAR VOIE HUMIDE.....	21
FIGURE 3-4 :LES BASSINS DE DECANTATION.....	22
FIGURE 3-5 : SCHEMA TECHNOLOGIQUE D'EGOUTTAGE DU MINERAI (ÉPAISSISSEMENT, FILTRATION).....	24
FIGURE 3-6 : SCHEMA GENERAL DU TRAITEMENT DU KAOLIN D'EL MILIA	25
FIGURE 4.1 : TABLE A SECousse.....	29
FIGURE 4-2 : SCHEMATISATION DU PRINCIPE DE CLASSIFICATION PAR NPF.....	30
FIGURE 4-3 :SCHEMATISATION DE LA CLASSIFICATION D'UN MINERAI SELON SA TAILLE ET SA DENSITE	30
FIGURE 4-4 : SCHEMA D'UNE SPIRALE	31
FIGURE 4-5 :SCHEMA ILLUSTRANT LE PRINCIPE DU COLLECTEUR	35
FIGURE :4-6 :SCHEMA ILLUSTRANT LE MECANISME D'ABSORPTION DU MOUSSANT.....	36
FIGURE 5-1 : LE MODE OPERATOIRE DU QUARTAGE.....	40
FIGURE 5-2 : BROEUR DE TYPE RETSCH.....	41
FIGURE 5-3 : TAMISEUSE.....	41
FIGURE 5-4: TAMISEUSE ELECTRIQUE DE TYPE RETSCH-AS200.....	43
FIGURE 5-5 : La courbe granulometrique du kaolin	44
FIGURE 5-6 Echantillon d'un kaolin brut	47
FIGURE 5-7 ECHANTILLON DE CHAQUE CLASSE GRANULOMETRIQUE.....	47
FIGURE 6-1 : SEPARATEUR MAGNETIQUE.....	51
FIGURE 6-2 :LES PARTICULES MAGNETIQUES (RESULTAT DE LA SEPARATION MAGNETIQUE).....	52
FIGURE 6-3 :BALANCE	52
FIGURE 6-4 : PH-METRE	52
FIGURE 6-5 :CELLULE DE FLOTTATION DE TYPE DENVER.....	52
FIGURE 6-6 : SCHEMA DE FLOTTATION DES MICAS	53
FIGURE 6-7 :SCHEMA DE LA FLOTTATION DES FELDSPATHS.....	54
FIGURE 6-8 :SCHEMA DE FLOTTATION DU QUARTZ	55

FIGURE 6-9 :SCHEMA DE FLOTTATION DE L'HEMATITE	56
FIGURE 6-10 : FILTRATION DES PRODUITS DE CELLULE ET DE MOUSSE	57
FIGURE 6-11 : SECHAGE DES PRODUITS DE MOUSSE ET DE CELLULE	57
FIGURE 6-12 : LES PRODUITS DE LA FLOTTATION	58
FIGURE 7-1 : LA REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA SEPARATION MAGNETIQUE DU KAOLIN APRES SECHAGE	60
FIGURE 7-2 : LA MASSE DES IMPURETES EN FONCTION DE LA GRANULOMETRIE	62
FIGURE 7-3 : LA MASSE DES CONCENTRES EN FONCTION DE LA GRANULOMETRIE DE L'ECHANTILLON.....	62
FIGURE 7-4 : LE POURCENTAGE DE LA SILICE DES DIFFERENTS PRODUITS DE LA FLOTTATION	66
FIGURE 7-5 : LE POURCENTAGE DU FER DES DIFFERENTS PRODUITS DE LA FLOTTATION	66
FIGURE 7-6:DIFFRACTOGRAMME ET COMPOSITION MINERALOGIQUE (CLASSE +100 μ M)	69
FIGURE 7-7 :DIFFRACTOGRAMME ET COMPOSITION MINERALOGIQUE (CLASSE +80 μ M).....	70
FIGURE 7-8:DIFFRACTOGRAMME ET COMPOSITION MINERALOGIQUE (CLASSE +71 μ M)	71
FIGURE 7-9:DIFFRACTOGRAMME ET COMPOSITION MINERALOGIQUE (CLASSE -50 μ M)	72
FIGURE 7-10 : POURCENTAGES DES DIFFERENTS MINERAUX APRES FLOTTATION	73

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1-1 : COMPOSITIONS ET PROPRIETES DU KAOLIN UTILISE EN CERAMIQUE.....	10
TABLEAU 3-1 : CAPACITE DES FOURS	24
TABLEAU 4-1 : RECAPITULATIF DES APPAREILLAGES DE SEPARATION PAR NAPPE PELLICULAIRE FLUANTE.....	28
TABLEAU 4-2 : SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE DE QUELQUES MATERIAUX.....	32
TABLEAU 5-1 : LES RESULTATS DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE	43
TABLEAU 5-2 :CALCUL DES COEFFICIENT D'UNIFORMITE ET DE COURBURE.....	41
TABLEAU 5-3 : RESULTATS DES ANALYSES D'HUMIDITE.	46
TABLEAU 5-4 : RESULTATS DES ANALYSES DE LA PERTE AU FEU	47
TABLEAU 5-5 : COMPOSITION CHIMIQUE DE KT1.....	48
TABLEAU 5-6 : LA COMPOSITION MINERALOGIQUE DU KAOLIN DE TAMAZERT.....	49
TABLEAU 6-1 : LES VALEURS DES DENSITES DES MINERAUX QUI COMPOSE LE KAOLIN DE TAMAZERT	50
TABLEAU 7-1 : LE TAUX D'HUMIDITE DE CHAQUE CLASSE DES PRODUITS DE LA FLOTTATION	59
TABLEAU 7-2 : LES RESULTATS DE LA SEPARATION MAGNETIQUE.....	59
TABLEAU 7-3 : LES RESULTATS DE LA FLOTTATION DE LA CASSE +100 μ M	60
TABLEAU 7-4 : LES RESULTATS DE LA FLOTTATION DE CLASSE +80 μ M.....	61
TABLEAU 7-5 : LES RESULTATS DE LA FLOTTATION DE LA CLASSE +71 μ	61
TABLEAU 7-6 : LES RESULTATS DE LA FLOTTATION DE LA CLASSE -50 μ M	61
TABLEAU 7-7 : POURCENTAGE DE LA SILICE POUR LES DIFFERENTS PRODUITS DE LA FLOTTATION.....	64
TABLEAU 7.8 : POURCENTAGE DU FER POUR LES DIFFERENTS PRODUITS DE LA FLOTTATION.....	66
TABLEAU 7.9 : LES ELEMENTS PREPONDERANTS APRES LA FLOTTATION POUR CHAQUE FRACTION GRANULOMETRIQUE.....	73
TABLEAU 7.10 : POURCENTAGES DES DIFFERENTS MINERAUX APRES FLOTTATION.....	73

SOMMAIRE

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE KAOLIN

I.1 Introduction	1
I.2 Les argiles.....	2
I.3 Le kaolin.....	4
I.4 Utilisation du kaolin.....	7
I.5 La production mondiale du kaolin.....	9
I.6 Les exigences de l'industrie céramique	9
I.7 La composition minéralogique de la céramique	10

CHAPITRE II : ÉTUDE GÉOLOGIQUE DU GISEMENT DE TAMAZERT

II.1 Situation géographique	11
II.2 Relief et végétation	11
II.3 Climat.....	12
II.4 Historique du gisement.....	12
II.5 Morphologie du gisement.....	13
II.6 Formations géologiques.....	14
II.7 Tectonique	15
II.8 Pétrographie	15

CHAPITRE III: CHAINE DE PRODUCTION DU KAOLIN DE TAMAZERT

III.1 Introduction	18
III.2 Société des kaolins d'Algérie (soalka)	18
III.3 Matières premières	18
III.4 Procèdes de traitement du tout-venant	19

CHAPITRE IV: LES MÉTHODES DE SÉPARATION

IV.1 Introduction	26
IV.2 Séparation gravimétrique	27
IV.3 Séparation magnétique	31
IV.4 Flottation	32

CHAPITRE V: CARACTÉRISATION DU PRODUIT BRUT

V.1 Introduction	39
V.2 Le kaolin brut	39
V.3 Préparation mécanique	39
V.4 Analyse granulométrique	42

V.5 La composition chimique.....	48
V.6 Analyses minéralogiques	48
V.7 Conclusion	50

CHAPITRE VI : TRAITEMENT DES MINERAIS UTILES

VI.1 Introduction.....	50
VI.2 Séparation gravimétrique.....	50
VI.2 La séparation magnétique	51
VI.3 Flottation	52
VI.4 Filtrage.....	57
VI.5 Séchage.....	57

CHAPITRE VII: ANALYSES, RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

VII.1 Introduction.....	59
VII.2 Séparation magnétique	59
VII.3 Flottation	60
VII.4 Analyses chimiques	63
VII.5 Diffraction des rayons x	67
VII.7 Conclusion	74
Conclusion générale.....	75
REFERENCES.....	76

INTRODUCTION GENERALE

Le kaolin est une argile blanche, douce et plastique composée principalement de fines particules sous forme de plaquettes,

Le kaolin est utilisé dans plusieurs applications qui sont la céramique, le papier, les réfractaires, la peinture, le caoutchouc, le plastique...etc.

Le gisement de kaolin de Tamazert se présente sous forme de nappe affleurantes plurimétriques plus ou moins profondes. Dans ces nappes se sont accumulés des kaolins sableux et des gneiss kaolinisés, issus de l'altération d'un gneiss formant la roche mère. Le minerai conserve la structure de la roche.

La genèse du kaolin est due à une circulation hydrothermale combinée à la forte acidité du milieu et à la précipitation des minéraux en fonction du pH de l'Eh et des produits de solubilité.

La teneur de la kaolinite au gisement de Tamazert est estimée à 13%, le produit brut présente beaucoup d'impuretés, essentiellement le quartz, les micas, les feldspaths.

Dans cette étude, nous allons caractériser le produit brut. Par la suite, dans le but d'élever la teneur de la kaolinite et avoir un concentré qui répond aux exigences de l'industrie céramique, on procèdera à la valorisation des minéraux utiles en utilisant la séparation magnétique et la flottation.

Cette thèse d'ingénieur sera structurée de la manière suivante :

Partie générale (bibliographique) : cette partie comporte quatre chapitres ::

- Chapitre I : Généralités sur le Kaolin ;
- Chapitre II : Étude géologique du gisement de Tamazert ;
- chapitre III : Chaîne de production du kaolin de Tamazert
- Chapitre IV : Les méthodes de séparation

Partie expérimentale : cette partie comporte trois chapitres:

- Caractérisation du produit brut de Tamazert
- Valorisation des minerais utiles
- Analyses, résultats et interprétations.

CHAPITRE I
Généralités sur le Kaolin

I.1 Introduction

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il est important de définir des termes et d'expliquer quelques notions concernant les conditions dans lesquelles se forme le kaolin. Comme on le sait, le kaolin est une argile blanche qui a beaucoup d'impuretés à l'instar des oxydes de fer, des micas et des feldspaths. Ces derniers seront mis en évidence pour être éliminés à certaines proportions, bien évidemment il est impossible d'avoir un produit fini pur.

Le kaolin se forme en deux étapes : la première concerne la formation des granites et la deuxième c'est l'altération de ces derniers sous l'action de processus hydrothermaux.

Les kaolins se présentent sous différents aspects qui influencent sur leur utilisation finale : Le degré de cristallinité influence sur leur luminosité, leur blancheur, leur opacité, leur résistance en film mince et leur viscosité, ce qui détermine leur intérêt commercial.

Le kaolin est utilisé dans plusieurs applications, sa blancheur et sa plasticité le rendent particulièrement approprié pour un usage extensif comme charge, agent d'allongement, matière première pour la céramique et comme pigment. C'est également une matière première importante pour les réfractaires, et un catalyseur dans les industries du ciment et des fibres de verre.

Comme toute exploitation minière, l'extraction et le traitement du minerai génère un impact sur l'environnement. Néanmoins, pour le kaolin cet effet est minime (l'effet des poussières).

Plusieurs gisements de kaolin sont exploités à travers le monde notamment aux Etats Unis, Ouzbékistan, Allemagne pour divers usages du produit fini, ce qui contribue au développement économique et surtout à la diversification des sources de la rente.

En Algérie, il existe des gisements qui sont en phase d'exploitation mais le rendement des usines reste minime. Par conséquent il est primordial de développer de nouvelles techniques qui permettront de relancer le secteur minier afin de ne pas rester dépendant de la rente des hydrocarbures.

I.2 Les argiles

L'argile est une matière première utilisée depuis la plus haute antiquité. Le mot argile vient du grec "argilos" dérivé de "argos" qui veut dire blanc, ou du latin "argila"; c'est la couleur du matériau utilisé en céramique qui a conduit les anciens à lui donner ce nom.

Le terme d' "argiles" désigne non seulement une formation rocheuse et la matière première, mais il définit aussi un domaine granulométrique comprenant des particules minérales, dont le diamètre des grains est inférieur à deux micromètres ($< 2 \mu\text{m}$). En tant que matière première brute, l'argile est donc un mélange de minéraux argileux et d'impuretés cristallines sous forme de débris rocheux de composition infiniment diverse.

Les argiles sont des aluminosilicates plus ou moins hydratés et la majorité des minéraux argileux appartiennent au groupe des silico-aluminates phylliteux. Les phyllosilicates peuvent se définir comme des silicates ayant une structure bidimensionnelle tri-périodique, ordonnée jusqu'à un ordre mésoscopique. (figure 1.1) [1]

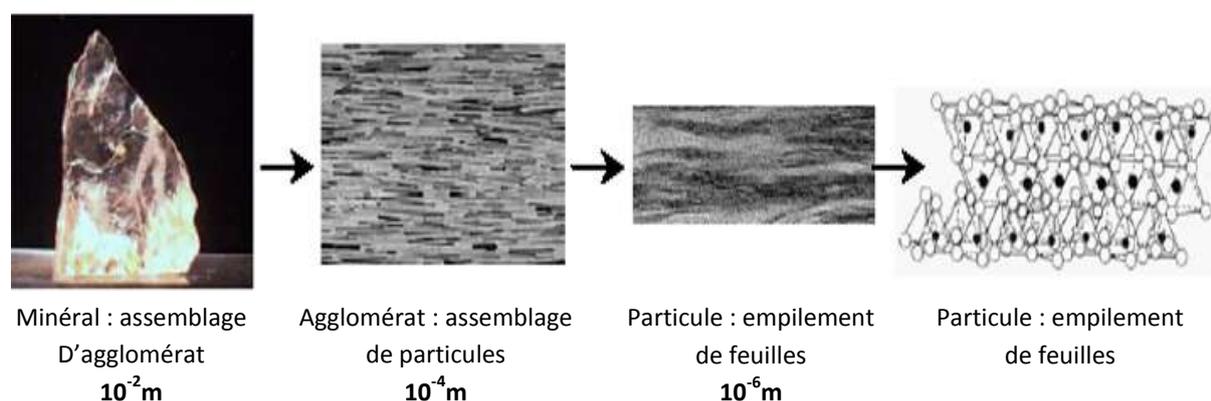


Figure 1-1 : Observation d'un phyllosilicate (Montmorillonite) à différentes échelles d'observation

Ils sont organisés en couches planes infinies constituées d'unités structurales tétraédriques et octaédriques reliées par leurs sommets. Une représentation schématique de la structure des couches tétraédriques et octaédriques est montrée sur la **figure 1.2**. Ce type de structure à très grande surface spécifique associée à des caractéristiques physico-chimiques très particulières, explique la capacité des argiles à admettre de nombreux échanges de cations et d'anions dans le réseau ou adsorbés en surface.

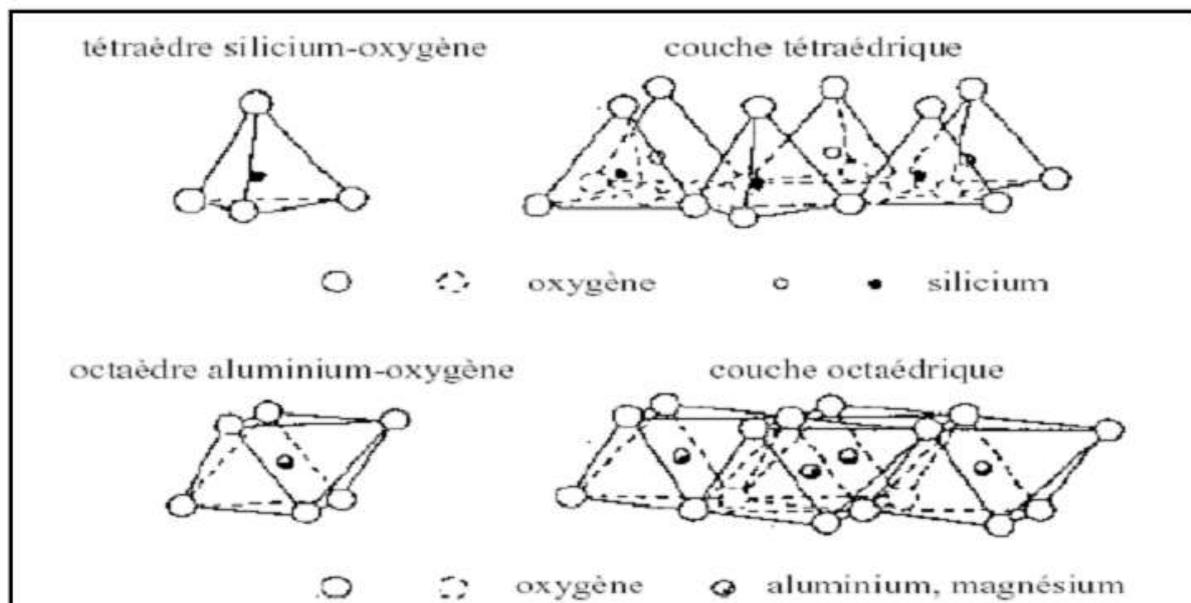


Figure 1-2 : Représentation des tétraèdres de silicium et des octaèdres d'aluminium ou de magnésium, ainsi que de leur agencement en couches.

Propriétés des argiles :

- Absorption d'eau ;
- Plasticité : déformation souple sous l'effet des contraintes, rôle de couche savon pour glissements des matériaux à toute échelle (glissement de terrain, nappe tectonique) ;
- Compaction importante : expulsion d'une grande quantité d'eau. Les pores diminuent, la roche devient imperméable ;
- Pouvoir adsorbant ;
- Dispersion dans l'eau et floculation : les particules fines restent en suspension dans l'eau agitée ; elles décantent dans l'eau immobile avec une vitesse de chute très faible (Loi de Stokes). En eau salée, elles s'agglomèrent (floculation) et précipitent plus rapidement.

I.3 Le kaolin

I.3.1 Définition

Le kaolin est une argile blanche, douce et plastique composée principalement de fines particules sous forme de plaquettes. Le kaolin est le résultat de l'altération des aluminosilicates anhydres que l'on retrouve dans les roches riches en feldspaths, comme le granite, sous l'action de la météorisation et de processus hydrothermaux. Le processus de conversion du granite dur en une matrice tendre que l'on trouve dans les gisements de kaolin s'appelle la "kaolinisation". Le quartz et le mica du granite ne changent pratiquement pas tandis que le feldspath se transforme en kaolinite. De la smectite peut également se former en petites quantités dans certains gisements. Le raffinage et le traitement de la fraction fine du granite kaolinisé fournit de la kaolinite avec une faible quantité de mica, du feldspath, des traces de quartz et d'oxydes de fer, en fonction de l'origine, des substances organiques et/ou des minéraux lourds. [2]



Figure 1-3 : Échantillon du Kaolin pur de Tamazert

I.3.2 Formation du kaolin

1) Les kaolins primaires ou kaolins résiduels :

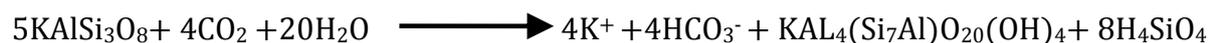
La plupart des argiles et minéraux argileux proviennent de la transformation de silicates primaires ou de roches volcaniques, sous l'influence de processus physiques et chimiques impliquant l'eau de la surface de l'écorce terrestre.

Certaines substances, une fois dissoutes dans l'eau, augmentent le caractère acide de celle-ci, accélérant ainsi la décomposition des minéraux primaires. Helgeson et Mackenzie¹, ont montré que la dissolution du gaz carbonique atmosphérique peut, lors de l'hydrolyse tripler les vitesses de décomposition des feldspaths potassiques et de formation de la kaolinite.

Si le drainage de ces roches par l'eau est abondant, ce processus géochimique naturel conduit directement à la formation de la kaolinite suivant l'équation :



En revanche, si le drainage est faible, le transfert de potassium est incomplet et il se forme de lillite selon la réaction :



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



Des réactions analogues permettent de décrire l'hydrolyse de l'albite (feldspath sodique) directement en kaolinite ou en un composé intermédiaire (montmorillonite sodique).

D'après Helgeson et Mackenzie¹, dans les mêmes conditions d'hydrolyse, la formation de kaolinite est dix fois plus rapide à partir de l'albite que des feldspaths potassiques. La stabilité chimique des autres roches formatrices de minéraux varie également au cours du temps. En règle générale, elle dépend de l'environnement de l'eau de surface, de la force des liaisons entre les cations et les atomes d'oxygène dans la structure du minéral et de l'état d'hydratation de ces cations. La stabilité d'un silicate est souvent d'autant plus élevée que le nombre de groupements SiO_4 est grand. Elle varie pratiquement comme le rapport Si/O.

Plus le climat est chaud et pluvieux, plus la production de kaolinite est importante. L'épaisseur du résidu d'hydrosilicate dépend de plusieurs facteurs, notamment de la quantité d'eau libre disponible, de la température, du climat, de la couverture végétale, des mouvements tectoniques et de la nature des silicates initiaux (feldspath, feldspathoïde, roche volcanique). Le résidu d'hydrosilicate se développe donc à des vitesses très différentes selon les zones climatiques. Les kaolins résiduels sont généralement situés à la surface de la roche mère. Ils sont relativement purs, avec peu d'intrusion en leur sein. [3]

2) Les kaolins secondaires ou sédimentaires :

Les kaolins primaires peuvent être entraînés par les eaux de ruissellement. Ils se mélangent alors au sable et se déposent dans des fosses. Ils constituent alors des kaolins dits secondaires ou sédimentaires.

I.3.3 Structure de la kaolinite

La kaolinite présente une structure de type 1:1, avec une équidistance d'environ 7Å et elle est de type dioctaédrique (un site octaédrique sur trois restes vacants). Les trois sites de la couche octaédrique sont donc remplis par deux cations d'aluminium et le troisième site est lacunaire. La formule structurale varie peu du fait de l'absence de substitutions tétraédriques et de rares substitutions octaédriques : $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. Les feuillets élémentaires de la kaolinite sont formés de l'empilement d'une couche de tétraèdres de silice et d'une couche d'octaèdres d'hydroxyde d'aluminium (**figure 1.4**). Les faces basales sont donc de deux types, constituées, soit d'ions oxygène organisés en réseau hexagonal, soit d'OH en assemblage compact. La kaolinite présente un système cristallographique triclinique C1. Les paramètres cristallographiques de la maille d'après l'affinement structural de Bish et Von Dreele [17, 18] sont les suivants :

$$a \approx 5,16\text{Å} \quad b \approx 8,95\text{Å} \quad c \approx 7,41\text{Å}$$

$$\alpha \approx 91,7^\circ \quad \beta \approx 104,9^\circ \quad \gamma \approx 89,9^\circ$$

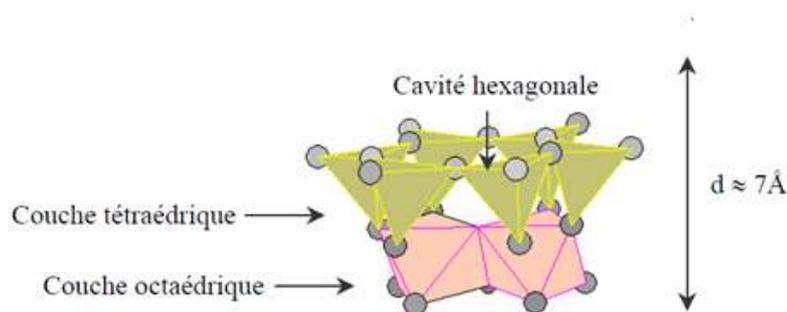


Figure 1-4 : Représentation schématique d'un feuillet de Kaolinite

Dans la kaolinite, l'ensemble des charges est réparti de telle sorte que le feuillet élémentaire est électriquement neutre. L'espace interfoliaire ne comprend donc pas de cation. Les particules constituant la kaolinite ont leurs feuillets successifs empilés de telle sorte que le plan d'oxygène d'un feuillet se trouve en face de groupements hydroxyle du feuillet voisin. La conséquence d'une telle disposition est la stabilisation du réseau par liaison hydrogène interfeuillet. Il en résulte un clivage (001) très facile, produisant des lamelles inélastiques. A cause de sa structure finement cristallisée, il est difficile de savoir si les variations de composition sont dues à des substitutions ou à des impuretés. Il semble cependant que les substitutions soient très limitées : traces de Fe^{2+} , Mg , Fe^{3+} , Na , K et Ti .

I.3.4 Morphologie de la kaolinite

La morphologie des cristaux est généralement assez régulière. Ceux-ci se présentent sous la forme de plaquettes hexagonales (**figure 1.5.a**), parfois allongées ou réduites à de simples losanges (**figure 1.5.b**), délimitées par les faces basales (001) et les faces latérales (110) et (020). Les dimensions des cristaux varient sensiblement, leur diamètre est compris entre 0,04 et 5 μ m et leur épaisseur entre 10 et 200 nanomètres. Les faces latérales portent des groupes – SiOH ou –AlOH, susceptibles de dissociations amphotériques en fonction du pH du milieu.

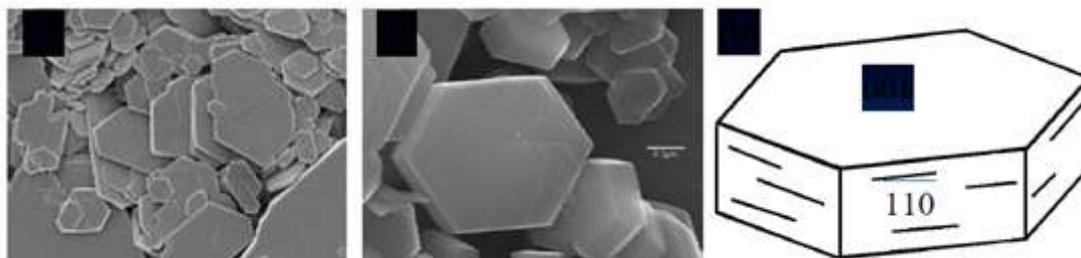


Figure 1-5 : Morphologie d'une kaolinite très bien cristallisée

I.4 Utilisation du kaolin

Le kaolin est utilisé dans de nombreuses applications, citons :

Papier : Le kaolin est utilisé dans l'industrie du papier à la fois comme charge dans la masse du papier et comme revêtement de surface. Sa blancheur, son opacité, sa grande surface spécifique et sa très faible abrasivité en font une matière première idéale pour la production du papier. Il permet de réduire la quantité de pâte à papier, assez chère, et améliore les propriétés optiques du produit final ainsi que la qualité d'impression. Sa blancheur augmente l'éclat et l'opacité à la surface du papier, tandis que la taille et la forme des particules individuelles de kaolin lui procurent le brillant et la qualité d'impression requis pour certains types de papier. Citons comme exemples les papiers pour magazines et brochures, le papier couché, certains emballages ou boîtes, etc. [2]

Céramiques : Le kaolin se transforme en mullite et en verre lorsqu'il est cuit à des températures dépassant 1000°C. Il est utilisé dans les faïences: la vaisselle, les appareils sanitaires, et les carrelages. Il procure la résistance et la plasticité nécessaires pour la mise en forme de ces produits et réduit le degré de déformation pyroplastique lors de la cuisson. Outre ses qualités de résistance et de plasticité, le kaolin est essentiel en vaisselle pour obtenir une blancheur élevée après la cuisson. Cette propriété provient de sa faible teneur en éléments colorants comme le fer et le titane. Le kaolin procure aussi, dans certaines conditions, la translucidité de la porcelaine.

Charges : Utilisé comme pigment, le kaolin est réparti généralement en kaolin de charge ou de couchage de papier en fonction de son éclat et de sa viscosité. Ses propriétés

GÉNÉRALITÉS SUR LE KAOLIN

principales, spécialement sa blancheur, en font un produit particulièrement approprié comme charge ou pigment. Il reste également inerte sur une large plage de pH, il est non abrasif, possède une faible conductibilité thermique et électrique et donne éclat et opacité.

Peinture : Sous ses formes hydratées ou calcinées, le kaolin peut améliorer les propriétés optiques, mécaniques et rhéologiques d'une peinture. Les kaolins calcinés sont largement utilisés dans les peintures satinées et mates dont ils augmentent l'opacité, la blancheur et la résistance à l'abrasion. Le kaolin est particulièrement utile comme alternative au pigment blanc à base d'oxyde de titane TiO_2 .

Caoutchouc : Le kaolin augmente la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion et la rigidité du caoutchouc. Le kaolin calciné en particulier, avec ou sans traitement chimique de surface au silane, est également utilisé dans les élastomères thermoplastiques de haute qualité, notamment dans les isolants à base de caoutchouc sur les installations électriques à haute tension.

Plastiques : Le kaolin est utilisé dans les plastiques pour leur apporter finesse d'aspect, stabilité dimensionnelle et résistance aux attaques chimiques, pour dissimuler les structures de renforcement par fibres et pour réduire le retrait et la fissuration pendant la polymérisation et la mise en forme. Il est également utilisé comme modificateur rhéologique et charge fonctionnelle car il améliore les propriétés mécaniques, électriques et thermiques, notamment les propriétés d'isolation électrique du PVC.

Réfractaires : Les réfractaires sont produits à partir de matériaux naturels, de combinaisons de minéraux tels que le kaolin. Ils sont utilisés pour construire des structures soumises à de hautes températures. Cela va des produits les plus simples aux plus sophistiqués comme par exemple les revêtements en briques des foyers ou les boucliers thermiques pour les navettes spatiales. On les utilise également pour revêtir les chaudières et les fours des réacteurs, les creusets, les installations de distillation, etc.

Fibres de verre : Le kaolin entre dans la fabrication des fibres de verre utilisées comme armature de renforcement dans de nombreuses applications. En effet, le kaolin améliore la capacité de renforcement des fibres intégrées dans le matériau. Il permet également d'améliorer l'intégration des fibres dans les produits nécessitant des plastiques renforcés: des produits pour voitures et pour bateaux, du matériel sportif et des produits de loisirs, des produits pour l'aérospatial, pour la fabrication de circuits imprimés, l'isolation avec laine de verre, les filtres à air, les réservoirs, les tuyaux et les produits de construction en fibres de verre, ainsi que les produits en fibres de verre résistants à la corrosion, etc...

Cosmétiques et produits pharmaceutiques : Des produits tels que le "British Pharmacopoeia Light Kaolin" (BPLK) et le "Heavy Kaolin" sont fabriqués suivant les exigences respectives des pharmacopées britannique et européenne. Le BPLK est utilisé tant dans des produits médicaux humains que vétérinaires, par exemple pour le traitement de problèmes de digestion et comme constituant de cataplasmes. Il peut

GÉNÉRALITÉS SUR LE KAOLIN

également être utilisé comme excipient dans les produits de soins corporels, y compris en thalassothérapie (bains et traitements cutanés) et dans les cosmétiques. Le BPKL se retrouve dans certains produits diététiques, les emplâtres, les poudres de pédicure et dans le traitement de certaines infections pulmonaires.

I.5 La production mondiale du kaolin

Les plus grands producteurs de kaolin au monde sont situés principalement en Europe (Allemagne, République Tchèque, Royaume uni, Ukraine, Turquie) et en Amérique (États unis, Brésil). [4]



Figure 1-6 : Production mondiale de kaolin

I.6 Les exigences de l'industrie céramique

Les kaolins utilisés dans l'industrie céramique doivent présenter certaines caractéristiques spécifiques à chaque application.

Ainsi pour les émaux, ils doivent contenir peu de smectite, pour garantir une bonne stabilité rhéologique, et avoir une teneur relativement faible en fer et en potasse, afin d'obtenir une couleur blanche après cuisson. De plus une forte population de grains de 2 microns environ contribue à améliorer les propriétés des suspensions.

Les céramiques sanitaires nécessitent d'utiliser plusieurs kaolins : des produits contenant de gros grains pour permettre une coulée rapide des pièces et une argile plastique à coulage lent afin d'assurer la résistance mécanique du produit cru nécessaire à sa manipulation et à son transport.

L'industrie de la faïence peut se satisfaire de kaolins contenant des quantités non négligeables de fer et conduisant à une faible résistance mécanique avant cuisson. En

revanche, les produits utilisés dans les pâtes de porcelaine doivent être pauvres en composés ferriques et conduire à une bonne résistance mécanique des pièces crues.

	Compositions et propriétés du Kaolin utilisé en céramique	
	Propriété	Pourcentage
Composition chimique	SiO ₂	48-49
	Al ₂ O ₃	36.1-37
	Fe ₂ O ₃	0,1-0,3
	TiO ₂	0,02-0,10
La taille des grains	Moins de 2µm	40-70
	Moins de 10µm	80-96
	Moins de 53 µm	100
Autres	Module de rupture	10-31
	Blancheur	75-90

Tableau 1-1 : Compositions et propriétés du Kaolin utilisé en céramique

I.7 La composition minéralogique de la céramique

La composition d'une pâte céramique est variable. En général, elle contient :

- De l'argile kaolinitique contenant plus de 50% de kaolinite jusqu'à 25% en masse de quartz.
- Des feldspaths alcalins et des minéraux du groupe illite/mica ; leur teneur peut atteindre 25% en masse dans le cas d'applications qui nécessitent l'apparition d'une phase liquide à basse température.
- Des argiles très plastiques comme les smectites et l'halloysite. Elles améliorent les propriétés rhéologiques des pâtes et la tenue mécanique des pièces crues ; leur teneur peut atteindre 5% en masse.
- Des adjuvants organiques utilisés pour faciliter la mise en forme.
- Des éléments colorants qui sont souvent le fer et le titane contenus dans les argiles.

CHAPITRE II
Etude géologique du gisement de Tamazert

II.1 Situation géographique

La ville d'El-Milia est située au Nord-Est de l'Algérie. Elle se trouve au croisement de deux routes, N° 43, entre Skikda-Jijel et N°27, entre Constantine-Jijel. Elle est limitée au Nord par la Mer Méditerranée et Oued Zhour, au Sud par Settara, à l'Ouest par El Ancer et à l'Est par Ain Kechera.

II.2 Relief et végétation

La région d'El-Milia est caractérisée par un relief montagneux très accidenté, les montagnes occupent 84% de la superficie total, la végétation de la région est assez dense, le réseau hydrographique est très développé (**figure 2.1**)

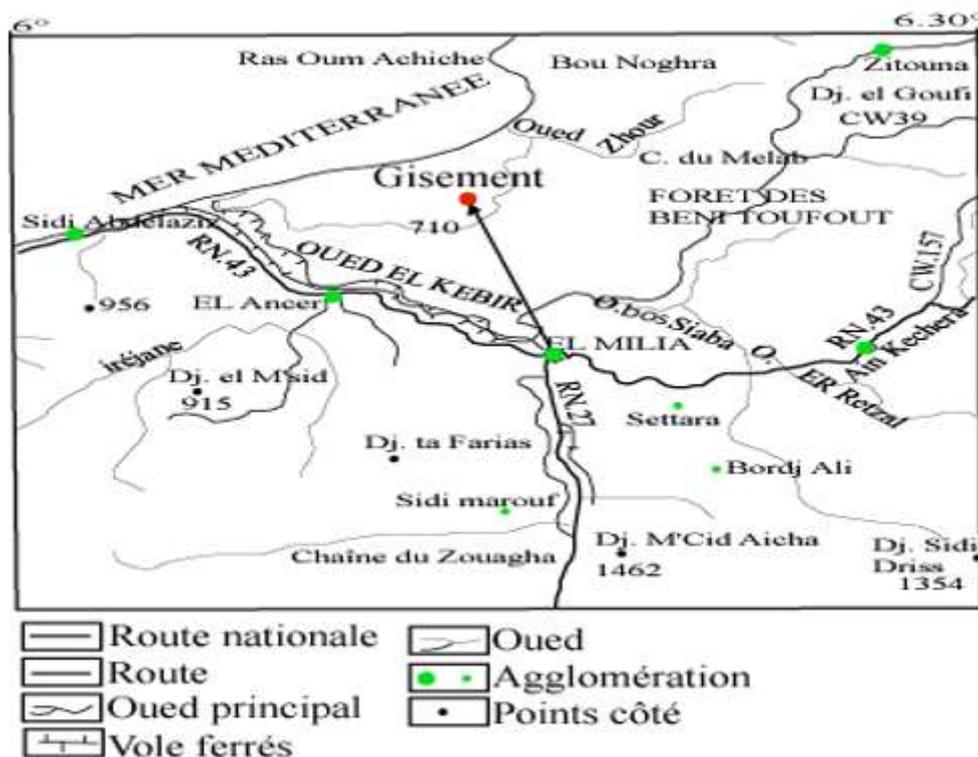


Figure 2-1 : situation géographique de la kabylie de collo (extrait de la carte géographique de Constantine au 1/500 000)

II.3 Climat

Le climat de la région est méditerranéen, caractérisé par un hiver doux et pluvieux plus de 1200mm / an et un été chaud 25°C en moyenne.

Le secteur d'étude (gisement de Tamazert) se situe à 17km au Nord d'El Milia (W : JIJEL). Les coordonnées de son centre sont les suivantes : X=399070 et Y=817050.

La région du gisement se trouve dans l'édifice des Beni-ferguene (Oued Zhour) qui constitue une partie du massif de petite Kabylie. Cette région est constituée de petites montagnes fortement ravinées, drainées par un réseau dense de cours d'eaux dont la majeure partie rejoint l'oued El Kebir et Zhour. Le gisement est relié à la route N°39 (El Milia) par un chemin de wilaya de 12km.

II.4 Historique du gisement

Le gisement de Tamazert a été exploité par une compagnie Franco-Africaine pendant une période de cinq ans (1927-1932). Cette société a équipé la mine d'une usine de traitement, d'un téléphérique de 10km et d'une station d'embarquement sur la côte à l'embouchure de l'Oued Zhour.

En 1933, l'exploitation a été abandonnée à cause de l'apparition sur le marché international de Kaolin de meilleure qualité.

En 1967, une mission Chinoise a été chargée de prospector le gisement dans le but d'alimenter l'usine céramique de Guelma, une étude a été faite sur un seul gisement « El Biad », actuellement en exploitation.

En 1969, et pour les mêmes objectifs, le BRGM (actuellement ORGM) a été chargé d'une étude.

En 1972, et suite à l'ouverture de l'usine céramique de Guelma, une décision de l'ouverture du gisement à l'exploitation a été prise.

En 1976, la division de recherche « SONAREM » a fait l'étude sur cinq gisements pour l'estimation des réserves.

En 1983, la KHD (HumboldtWadag AG) a été chargée par une mission de calculs des réserves par la méthode géostatistique, mais sans publication des résultats.

Actuellement l'unité approvisionne les unités céramiques de Guelma, Mila, Moghnia et les unités pesticides d'Alger et d'Oran, ainsi que les artisans privés. C'est la plus importante unité de Kaolin du point de vue réserves (8 – 10MT). [7]

II.5 Morphologie du gisement

Le gisement de Kaolin de Tamazert a la forme d'un anticlinal à flancs doux. Il est subdivisé en quatre corps (Central, Nord, Oriental et Sidi Kader). Le Kaolin est lié à une zone d'altération, où il forme une couche arénisée et kaolinisée.

Les formations non affectés par l'érosion ont une forme irrégulière et forment des bandes allongées avec des côtes à pentes douces vers le NE. Elles affleurent presque partout ou bien sont recouverte par des graviers et des sables argileux puissant de 0.2m à 8.6m.

Corps Central : c'est le plus important et le mieux affleurant. Il est étudié sur une longueur de 600m du SW au NE et sur une largeur de 130 à 480m.

Corps Nord et Oriental : Ils font suite au corps central, et se caractérisent par une même orientation de leur axe.

Corps Nord : 420m x 240m.

Corps Oriental : 440m x (10 à 50m).

Corps de Sidi Kader : Il a une position spécifique, et est encaissé dans les schistes dans un bloc tectonique. Il est de forme ovale (100m x 80m). Ses limites à l'Ouest sont presque linéaires (**figure 2.2**) [7]

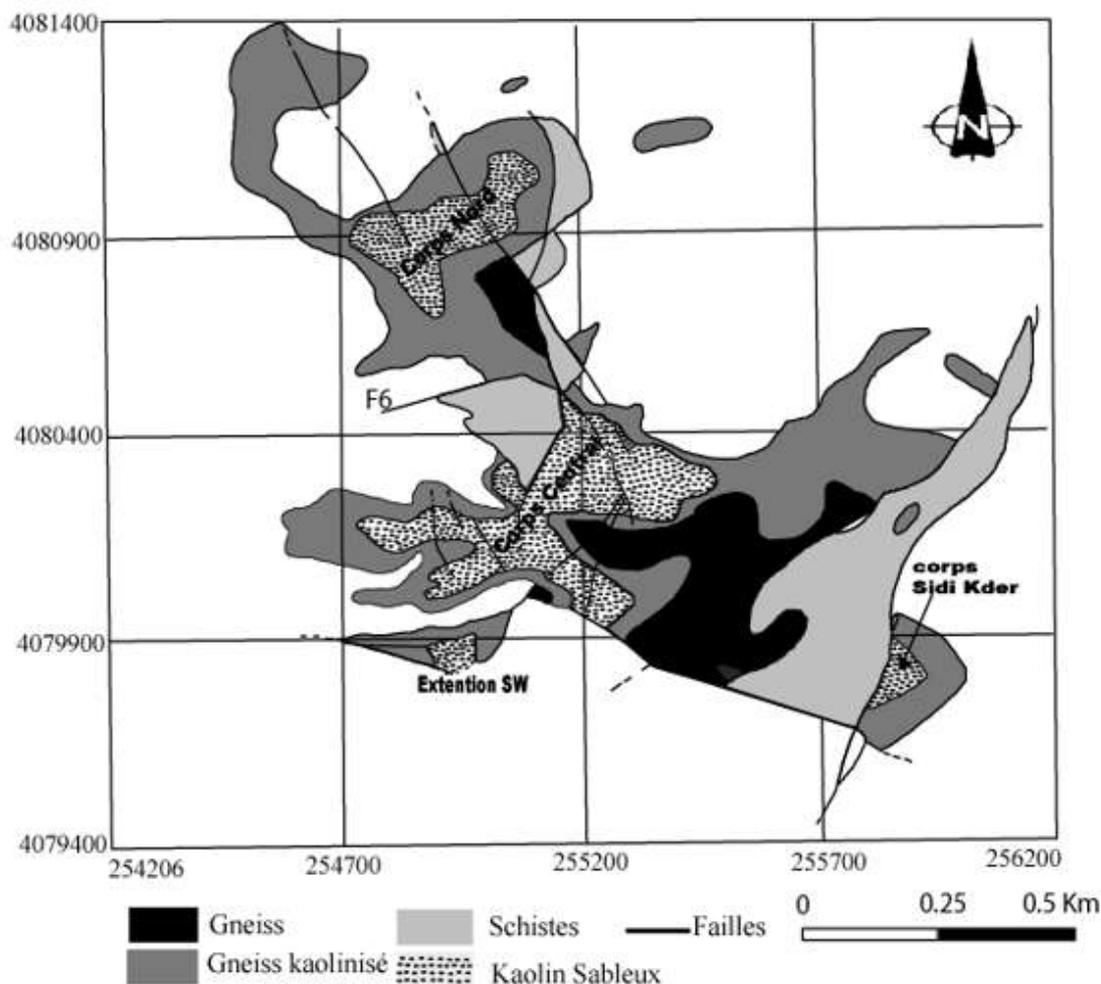


Figure 2-2 : Carte géologique du gisement de kaolin.Tamazert (El Milia. W : Jijel)
D'après Karroum, 2001. (Unité SOALKA)

II.6 Formations géologiques

Deux faciès lithologiques principaux ont été identifiés dans le gisement :

a) Les gneiss feldspathiques :

Ils recouvrent la majeure partie du gisement (4/5) et se présentent sous forme de roches grises et gris-clairs. Ils sont moyennement grenues massifs très compact représentant une structure œillée. Les yeux feldspathiques (porphyroblastes) peuvent atteindre des dimensions variant entre 0.5 cm à 5 cm.

A la base on rencontre des filons d'amphibolites. Les structures les plus communes sont les structures porphyroblastiques, herterolépidogranoblastique et mylonitiques. Les porphyroblastes sont représentés par l'orthoclase ; le microcline ; l'oligoclase est moins répandu et est localement substitué par l'albite. Les minéraux les plus dominants dans le gneiss sont : Le quartz, le feldspath et le mica formant des agrégats. Le quartz forme par fois de petits lits et lentilles disposés le long des plans de schistosité. Les feldspaths sont représentés par l'orthoclase, microcline et secondairement par l'oligoclase. Les micas représentés par la biotite, muscovite et la chlorite (pennine).

Ce basant sur la nature du mica, les gneiss peuvent être subdivisés en trois types :

- gneiss à biotite (mélanocratique) ;
- gneiss à muscovite ;
- gneiss à deux micas.

Les minéraux accessoires dans les gneiss feldspathique sont : l'apatite, zircon, monazite, xénotime, pyrite, barytine, tourmaline et grenat.

b) Schistes micacés

Ils sont répandus dans la partie sud du gisement, et reposent sur des gneiss avec lesquels ils ont parfois un contact tectonique. On distingue plusieurs types de schistes, dont les principaux sont les suivants :

- schistes à grenat, muscovite et quartz ;
- schistes à biotite, muscovite et quartz ;
- schiste à graphite, quartz et muscovite ;
- schistes à muscovite, quartz.

La base de cette assise est généralement représentée par des schistes à biotites à intercalations de gneiss. Plus haut l'assise des schistes devient plus stratifiée et contient les deux micas (biotite + muscovite) et de la séricite dans des proportions à peu près égales. Encore plus haut les schistes deviennent quartzeux et graphiteux. Les roches sont grises ou gris-foncées bien litées à structure fibreuse et schisteuse. La texture est cristalloblastique, écaillée et tachetée.

Une telle roche renferme une succession de biotite et de séricite, parfois on peut observer du graphite, du quartz et du grenat, transformé très souvent en oxyde de fer. On rencontre encore des filons de quartz et des filons formés essentiellement de tourmalines et d'oligoclase.

II.7 Tectonique

Du point de vue tectonique, le gisement de Tamazert se présente sous forme d'un anticlinal accidenté dont l'axe est allongé NE –SW.

Les flancs de l'anticlinal sont assez doux : celui du Nord est incliné de 15 à 35° suivant la direction 280° à 330° ; celui du Sud a un angle de 20° à 35° selon la direction 130° à 160°. On remarque que la région est très accidentée où on signale une présence de quatre groupes de failles qui se distinguent par leurs orientations et par leurs âges.

- Groupe 1 : failles orientées Est-Ouest, et inclinées vers le Sud avec des angles de 62° à 76°. Elles sont les plus anciennes.
- Groupe 2 : failles orientées NE-SW, et recoupent celles du premier groupe. Leurs plans ont des angles d'inclinaisons qui dépassent 70°.
- Groupe 3 : failles de direction méridienne, elles recoupent celles du deuxième groupe.
- Groupe 4 : failles de direction NW – SE, elles recoupent les failles du groupe (1 et 3). Elles sont les plus récentes.

Les failles plus anciennes ont des grands rejets (quelques dizaines de mètres à 300m), mais ne sont pas nombreuses. Par contre les accidents les plus récents sont nombreux mais avec des rejets plus faibles (quelques dizaines de mètres au plus).

En plus des failles il existe plusieurs catégories de fissures.

- fissures disposées sous un angle de 64° suivant la direction subméridienne.
- fissures ayant un angle de 69° suivant la direction 115°.
- fissures de 75° suivant la direction 86°.
- fissures ayant un angle de 71° suivant la direction 63°.

Chaque groupe de fissures est étroitement relié à une faille correspondante. Notons également que la densité des fissures est plus importante au voisinage des failles.

II.8 Pétrographie

L'étude pétrographique a pour but de suivre l'altération à partir de la roche mère jusqu'à la roche totalement kaolinisée. Pour cela trois échantillons ont été prélevés du faciès gneissique, un autre échantillon a été prélevé d'un faciès leptynitique ou apolitique.

a) Échantillon 1

C'est un gneiss ocellé, dont les yeux sont formés par des feldspaths potassiques et quartz. La composition minéralogique est la suivante : Quartz, Feldspath potassique, Plagioclase de type (oligoclase), Micas (muscovite et biotite), Chlorite, Séricite, Kaolinite et Zircon.

ÉTUDE GEOLOGIQUE DU GISEMENT DE TAMAZERT

- **Quartz** : En plage sub-automorphe, fracturé et à extinction onduleuse.
- **Feldspath** : Se présente en section de différentes tailles, présentant la macle Carlsbad est souvent altéré en séricite.
- **Plagioclases** : Se présentent en cristaux de différentes tailles, souvent affectés par une altération plus poussée par rapport aux feldspaths potassiques.
- **Micas** : On distingue les deux types de micas :
 - * **les micas blancs (muscovite)** : se présentent sous forme de plages allongées, entourant les cristaux de plagioclases et de feldspath potassiques.
 - * **les micas noirs (biotite)** : sont rares et se trouvent sous forme de cristaux blindés dans le quartz, ou en plages flexueuses différemment affectés par l'altération (chloritisation).
- **Les minéraux accessoires** : Ils sont représentés essentiellement par de zircon (**figure 2.3**), de l'apatite (**figure 2.4**) et la monazite. [3]

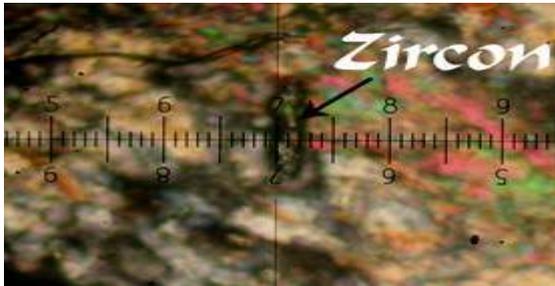


Figure 2-3 : zircon dans un gneiss



Figure 2-4 : apatite dans un leptynite

b) échantillon 2 :

Gneiss kaolinisé : Il est composé de quartz, feldspaths, plagioclases, muscovite, tourmaline et kaolinite.

Quartz : il se présente sous deux formes

- l'une à tendance automorphe (Quartz I).
- l'autre xénomorphe et d'apparence secondaire (Quartz II : lié à l'altération).

Feldspaths : sont représentés par des petites plages, entourées par la muscovite et le quartz. L'ensemble baigne dans une matrice argileuse (Kaolinite).

Plagioclases : on remarque la disparition totale des plagioclases à cause d'une altération complète de ces derniers et leur transformation en kaolinite. Les plagioclases ne subsistent que sous forme de reliques, ou bien inclus dans le quartz (non affectés par l'altération).

Muscovite : section allongées en association avec le chlorite, elle présente des taches rougeâtres dues à l'altération de la biotite. La biotite est aussi totalement altérée en chlorite et minéraux argileux.

Kaolinite : sous forme noduleuse, bien exprimé et domine l'échantillon.

Tourmaline : minéral rare et se présente en gros cristaux zonés, fracturés et pléochroïque (gris, bleu, vert, jaune).

c) Echantillon 3

L'échantillon est complètement altéré, il est composé de : Quartz, muscovite, chlorite, et kaolinite. On note l'envahissement total des feldspaths et plagioclases par la kaolinite.

d) Echantillon 4

Prélever à partir d'un faciès leptynitique. Il est composé de quartz, feldspaths, plagioclases, mica et tourmaline. On note l'abondance de quartz, feldspaths potassiques et la tourmaline zonée sous forme de prisme allongé (**figure 2.5 :**) et des sections basales subtriangulaires(**figure 2.6**).

La muscovite, rare se trouve sous forme de paillettes dispersées dans la matrice. Les plagioclases sont absents. [3]



Figure 2-5 : tourmaline en prisme



Figure 2-6 : Tourmaline subtriangulaire

CHAPITRE III
Chaine de production du kaolin de Tamazert

III.1 Introduction

Assurée par la Sociétés des Kaolins d'Algérie (SOALKAFWC/ENOF), la valorisation du minerai de Tamazert se fait à l'usine de traitement des kaolins de Tenefdour construite à 11 km de la carrière près d'El-Milia.

Le minerai extrait des carrières contient en moyenne 13% de kaolinite. L'atelier de délayage permet la séparation du kaolin des autres minérales.

En considérant que le kaolin se trouve dans la tranche granulométrique 0-20 μm , les appareils utilisés dans le délayage ont été choisis de façon à avoir de l'amont vers l'aval des coupures granulométriques de plus en plus fines. La séparation des kaolins est effectuée par voie humide.

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 des différentes sections de la laverie
- Alimentation des bassins de décantation
- Alimentation des différentes sections du hall de production

III.2 Société des kaolins d'Algérie (soalka)

SOALKA est une société spécialisée dans la Production, la Commercialisation et le Développement des Produits Miniers. Elle

exploite deux unités de kaolin :

- Le Complexe des Kaolins d'El-Milia (Jijel) ;
- La Mine Djebel Debbagh (Guelma) .



Figure 3-1: sigle de la société des kaolins d'Algérie

SOALKA est une Société par actions dont le Capital Social est réparti comme suit :

- 63 % Federal White Cement (FWC) Canada.
- 37 % ENOF (**site internet de SOALKA**).

III.3 Matières premières

Le minerai de djebel Tamazert présente des caractéristiques favorables à son emploi en céramique, généralement constitué d'un mélange de quartz, de kaolinite, des feldspaths, des micas et d'autres argiles en proportions bien déterminées.

Cette matière première contient plusieurs impuretés notamment celles qui sont abrasives comme le quartz, on retrouve aussi des argiles qui agissent défavorablement sur les propriétés rhéologiques des suspensions concentrées en kaolinite, enfin les oxydes de fer, de titane et les matières influençant sur la couleur du produit final, ce qui pose un problème pour l'industrie céramique.

Présentation des produits

Compte tenu des besoins actuels et futurs du marché algérien, l'ENOF a installé une usine de traitement qui est dirigée par la société SOALKA, implantée à quelques kilomètres du gisement qui produit 50000 T/An de Kaolin (produit marchand) destiné à différents emplois :

- **25000** de Kaolin KT2 destiné en majeure partie à l'industrie céramique.
- **12500** de Kaolin KT3 prévu pour l'industrie céramique chimique et comme charge de papier.
- **12500** de kaolin KT_{3B} exclusivement prévu comme charge de papier.

Notons qu'actuellement la production de KT_{3B} (Produit blanchi) n'est réalisée que sur commande. Le coût élevé de cette opération entraîne l'augmentation du prix du produit final, les clients préfèrent, donc, réaliser l'opération eux même.

III.4 Procèdes de traitement du tout-venant

III.4.1 Préhomogénéisation

L'objectif de la préhomogénéisation est d'homogénéiser le tout-venant des deux qualités I et II en créant une réserve de capacités plus importante. Celle-ci consiste à la mise en tas du produit.

La reprise se fait par un chargeur à roues desservant les deux tas de pré homogénéisation.

III.4.2 Fragmentation

Le produit résultant de l'après homogénéisation doit être déversé dans une trémie en béton de forme allongée, sous laquelle est installé un extracteur à tablier métallique alimentant le concasseur. De gros morceaux sont retenus par une grille qui est disposée au-dessus de la trémie, où ils sont cassés à la main ou bien pressés par le chargeur à roues.

La fragmentation se fait à l'aide d'un broyeur à doubles cylindres. Le kaolin issu de la fragmentation à une granularité de 0 à 80 mm avec un taux de 95%.

III.4.3 Homogénéisation

Le kaolin tout venant fragmenté est transporté par une passerelle de transporteurs à courroie, où il sera récupéré par une trémie réceptrice. Le pivotement se fait dans une colonne centrale par un mécanisme de rotation par l'intermédiaire de la couronne à denture extérieure. Enfin, le stocker dépose la matière en arc de cercle dans la zone sélectionnée (**figure 3.2**)



Figure -2 : L'homogénéisation du tout venant

III.4.4 Traitement par voie humide

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 débouage 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 μm . La surverse alimente les hydrocyclones secondaires à une coupure 30 μm . La surverse de l'hydrocyclone secondaire constitué de 0 – 20 μm , 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 μm traitement de ces rejets pour la récupération des kaolins.

L'évacuation des rejets sableux vers les filtres Philippe et de la fraction kaolinique vers les bassins de décantation, classification pour l'obtention d'une pulpe à 220g/L (**figure 3.4**) [6]

CHAINE DE PRODUCTION DU KAOLIN DE TAMAZERT

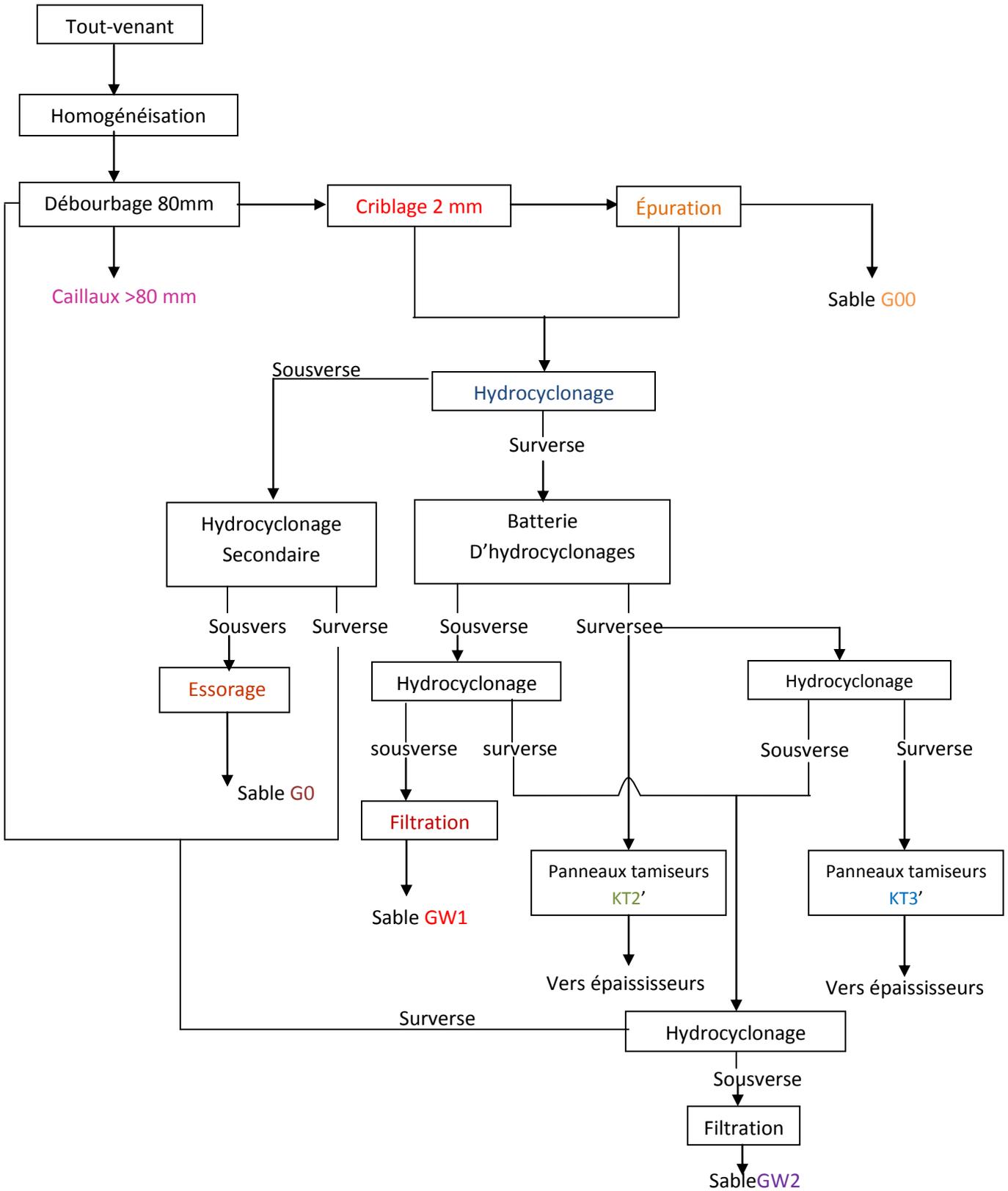


Figure 3-3 : Schéma technologique de traitement du kaolin par voie humide

III.4.5 Panneaux tamiseurs

Les panneaux tamiseurs munis des toiles 40×40 µm lavées par un essorage mobile permettent d'éliminer les dernières particules grossières contenues dans la pulpe de kaolin.

III.4.6 Le hall de production

Il se compose des sections suivantes : la section d'alimentation en pulpe 220g /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 111plateaux chacun.

1) Epaissement

Après le dernier étage de classement, les pulpes doivent être déshydratées pour subir les traitements suivent tel que le blanchiment et la déshydratation pour obtenir la sédimentation du kaolin à grains fins, ceci exige deux épaisseurs circulaire 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 épaisie est extraite par pompage (figure 3-3)

2) 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 H_2SO_4 et traitée à l'agent de blanchiment qui est le hydrosulfite de sodium $NaHSO_3$.

Le procédé de blanchiment est entérinement automatise, il fonction sur la base des trois paramètres qui sont : le débit, la densité et le PH.



Figure 3-4 : les bassins de décantation

3) Les filtres presses :

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 laquelle 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 bâttissage par chariot permet l'automatisation de cette manœuvre.

4) 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 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 malaxeur 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.

5) Séchage des produits KT1 et KT3 :

Les boues extraites de l'épaississeur sont pressées pour donner un gâteau d'humidité finale de 33%. Le gâteau de kaolin déchiqueté est évacué vers le four sécheur pour réduire l'humidité jusqu'à 12% ±2%.

La section séchage comprend trois fours sécheurs à tabliers (température maximum 150°C) où les produits marchands sortent en bâtonnets.

La capacité de production de chaque four est :

Four	Capacité
Four 3k0	5.3t/h
Four 3k02	2.65t/h
Four K03	2.65t/h

Tableau 3-1 : Capacité de chaque four

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.

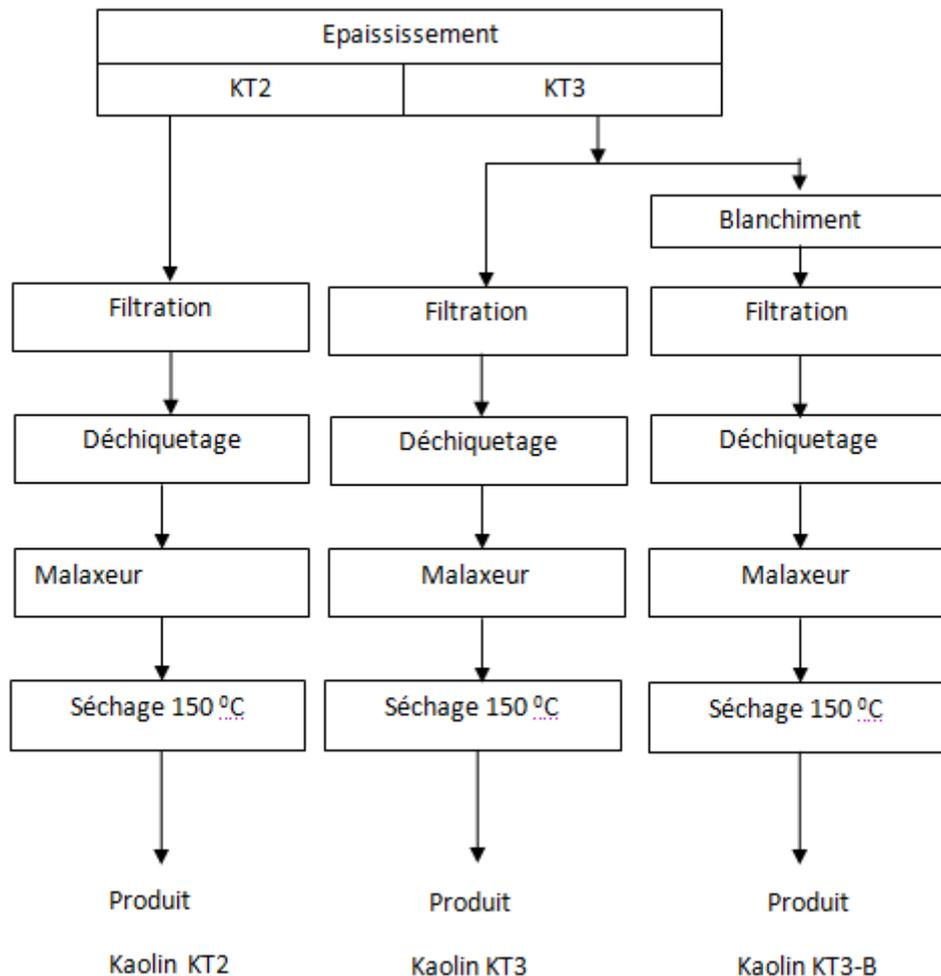


Figure 3-5 : Schéma technologique d'égouttage du minerai (Épaississement, filtration)

CHAINE DE PRODUCTION DU KAOLIN DE TAMAZERT

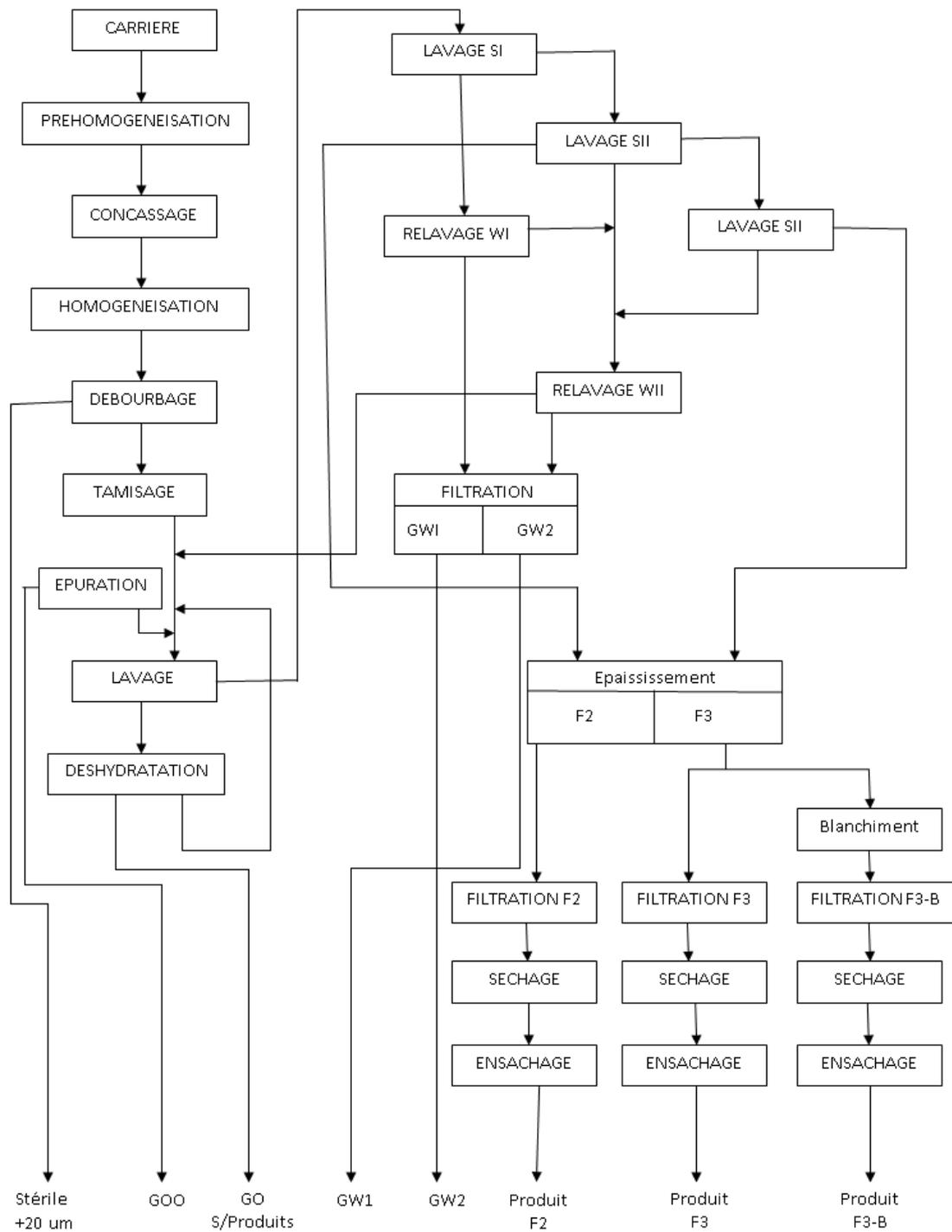


Figure 3-6 : Schéma général du traitement du Kaolin d’El Milia

CHAPITRE IV
Les méthodes de séparation

IV.1 Introduction

La minéralurgie est l'ensemble des techniques de traitement de matières minérales brutes ayant pour objet d'obtenir par voies physique, chimique ou thermique des produits directement utilisables par l'industriel ou transformables par le métallurgiste.

Dans le traitement des minerais plusieurs méthodes permettent d'avoir un produit fini qui répond aux exigences de l'industrie. Entre autres, les méthodes physiques et chimiques, qui requièrent d'avoir un matériel spécifique et des réactifs chimiques spéciaux.

Généralement, les minerais ont différentes caractéristiques d'une région à une autre, cela nous amènera à chaque fois à faire une étude approfondie pour élaborer un schéma de traitement.

Le secret de la réussite d'une séparation est de rechercher les paramètres et les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques de la matière première.

En minéralurgie, il existe une variété de méthodes physiques, qui se basent sur un paramètre qui est la gravité.

Le magnétisme est utilisé généralement pour la séparation de tout ce qui est fer.

La chimie est aussi sollicitée dans ce domaine notamment via la lixiviation qui désigne toutes les techniques d'extraction de produits solubles par un solvant.

En outre, il existe des méthodes qui font appel à la physique et à la chimie en même temps comme la flottation.

L'objectif de tous ces procédés de séparation est d'arriver à avoir un bon produit fini et avoir un minimum de dépenses tout en préservant l'environnement.

IV.2 Séparation gravimétrique

IV.2.1 CONCENTRATION PAR MILIEU DENSE :

Les solides à séparer sont plongés dans un fluide dont la masse volumique est comprise entre celle des produits lourds et celle des produits légers. La séparation se fait suivant la poussée d'Archimède simple ou multipliée par un coefficient de force centrifuge.

Cette poussée agit de la même façon quelle que soit la dimension des particules. La précision de la séparation dépend essentiellement des qualités du fluide et du degré de libération atteint.

1) Avantages et procédés :

Les débits admis peuvent être très importants. L'écart probable est le plus souvent faible et l'on peut espérer faire une bonne séparation avec un simple écart de densité $\Delta d = 0,05$. Ce procédé peut produire un stérile rejeté dès les premières opérations, ce qui limite le circuit aval. Le prix de revient est souvent modéré, le coût étant lié aux pertes en médium.

2) Etapes d'un traitement par milieu dense :

Le traitement commence par la préparation du minerai où il est débarrassé des fines particules non traitables. En effet, la limite inférieure des procédés les plus performants est de 300 μm .

Au deuxième lieu, on procède à la préparation du médium qui est constitué de fines particules dans l'eau. Il est récupérable par tirage magnétique, car il est constitué de magnétite ou de Ferro silicium. Pour un médium donné, la densité doit être comprise entre une limite inférieure pour que la liqueur soit stable, et une limite supérieure pour qu'elle ne soit pas trop visqueuse.

A la fin, une partie du médium est récupérée par simple égouttage et recyclée dans le circuit de concentration. L'autre partie, issue du lavage des flottants-plongeants, est reconcentrée par voie magnétique, démagnétisée et réajustée en densité avant de retourner dans le circuit de travail.

IV.2.2 Séparation Par Nappe Pelliculaire Fluante :

1) Principe :

La longueur du parcours effectué par une particule sur un plan incliné à la surface duquel s'écoule par gravité un film liquide dépend de deux actions :

- la sédimentation de la particule ;
- le déplacement sur le fond.

L'un des phénomènes mis en jeu est l'alluvionnement au cours duquel les grains lourds et gros sont les premiers à rencontrer le support et peuvent se trouver piégés alors que les grains légers et fins sont emportés par le courant. Les grains qui ont atteint le support meuvent par

saltation et la vitesse d'entraînement peu dépendante de leur dimension mais de la racine carrée de leur masse volumique apparente. Ainsi, les grains ayant la masse volumique la plus élevée se trouveront à la partie basse (ou intérieure s'il y'a rotation) et ceux de masse volumique la plus faible, à la partie haute (ou extérieure).

La répartition résultante des grains est à l'opposé de la sédimentation libre, d'où l'appellation de sédimentation inverse.

Pour améliorer la séparation, on utilise des pièges (les riffles), des contraintes transverses (plan incliné mobile) et/ou la force centrifuge (plan incliné hélicoïdal). [8]

Plan incliné	soutirage
Fixe	Périodique :sluice
	Continu :pinchedsluice, cône Reichert et spirales
Mobile	Périodique : séparateur Bartes-Mosley tables GEC
	Continu : tables à secousses, concentrateur Grossblet et séparateur multigravité

Tableau 4-1 : Récapitulatif des appareillages de séparation par nappe pelliculaire fluante

IV.2.3 Table A Secousse :

1) Principe

Les tables à secousses (**figure 4-1**) sont l'un des principaux appareillages utilisés pour la séparation gravimétrique, et plus précisément pour la séparation par nappe pelliculaire fluante, avec soutirage continu. Cette méthode est basée sur la longueur du parcours effectué. Par une particule sur un plan incliné à la surface duquel s'écoule, par gravité, un film liquide Les tables comprennent une alimentation et un système de récupération des particules classifiées (compartiments séparés)

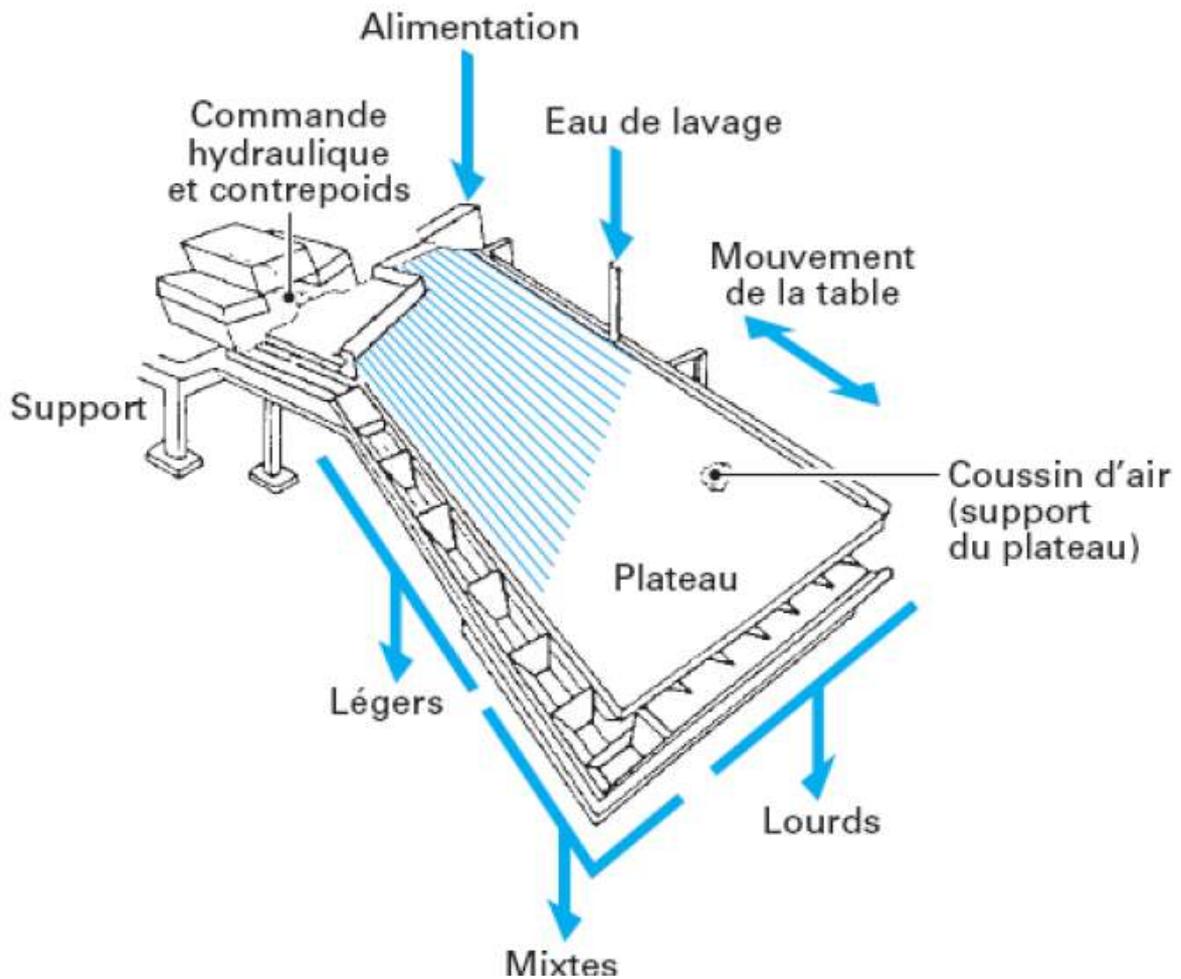


Figure 4-1 : table à secousse

2) Fonctionnement :

La trajectoire d'une particule évoluant sur un plan incliné sur lequel s'écoule un film liquide est liée à (**figure 4.2**) :

- L'alluvionnement, qui est la sédimentation des grains lourds et gros piégés dans les riffles, et l'entraînement des légers et fins par le courant.
- La saltation, qui est le mouvement des grains piégés contre le support, dépendant moins de la vitesse d'entraînement que de la masse volumique des grains. Les grains ayant une masse volumique plus importante se déposent en premier. [8]

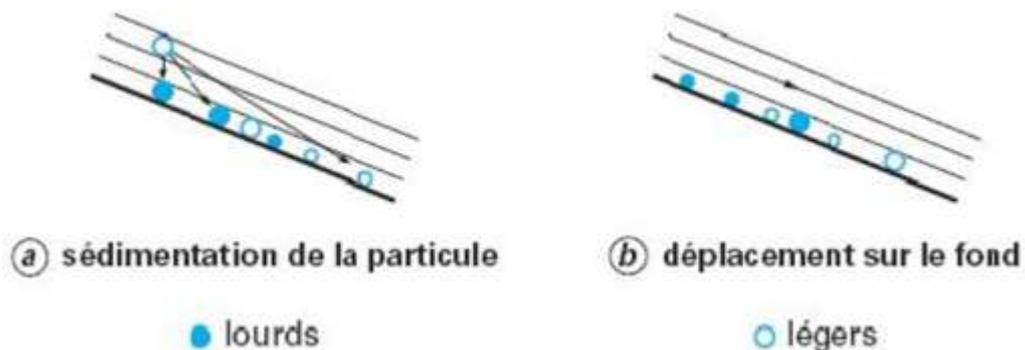


Figure 4.2 : Schématisation du principe de classification par NPF

De plus, le plan incliné est sujet à des secousses asymétriques et longitudinales : l'amplitude de l'aller est moins importante que celle du retour. Ce type de secousses améliore la classification, et permet aux grains similaires de se placer au même niveau et d'être récupérés par la même évacuation.

Le minerai est ainsi classé selon sa taille et sa densité, ainsi que la montre la **figure 4.3**

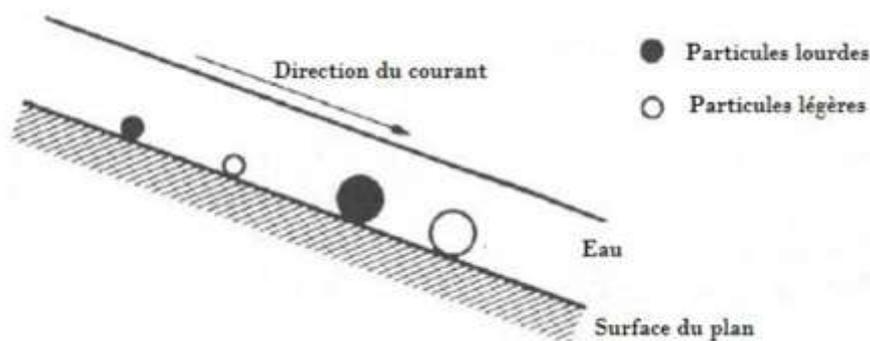


Figure 4-3 : Schématisation de la classification d'un minerai selon sa taille et sa densité

IV.2.4 Spirales

1) Principe :

Les spirales ont été développées en 1943 et ne cessent d'être améliorées depuis. Lors de ce procédé, on introduit une pulpe dans un canal hélicoïdal. En plus de la sédimentation, des forces centrifuges interviennent pour classer les particules. Les grains les plus fins et les plus lourds restent à proximité de l'axe central. Les plus gros et les plus légers sont entraînés dans le périmètre de l'écoulement le plus rapide (**figure 4.4**). On améliore la classification par ajout d'un débit d'eau de lavage. Ce dernier permettra de débarrasser le lit des particules des fines, qui nuisent au rendement de l'opération. [9]

La récupération des concentrés séparés s'effectue à l'aide d'orifices de soutirage prévus à cet effet.

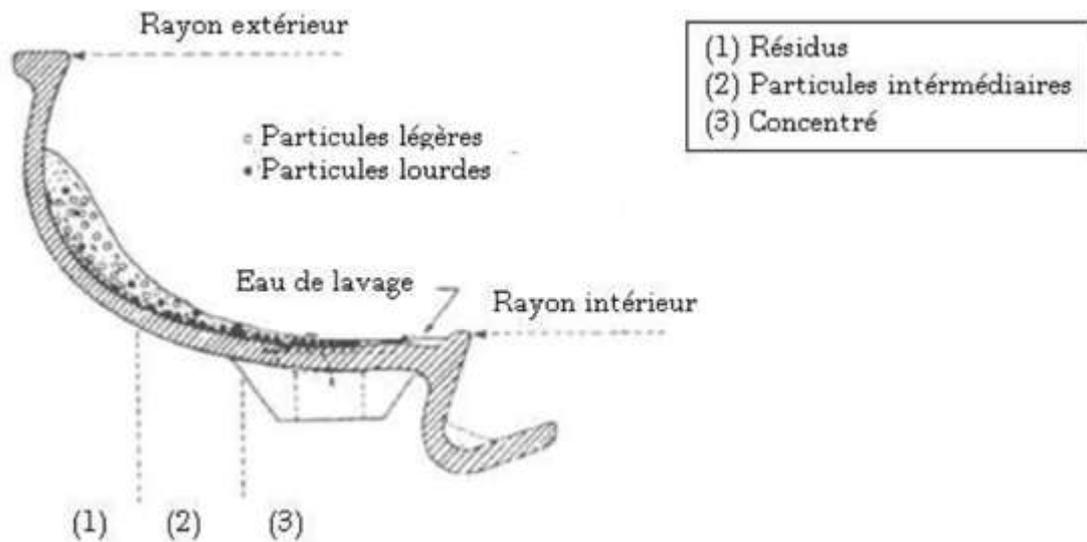


Figure 4.4: Schéma d'une spirale

La pente d'inclinaison des étages est généralement variable. Elle est proportionnelle à la densité des particules. Ainsi, la séparation du charbon nécessitera de faibles pentes, alors que pour du quartz ou des minéraux lourds, elle sera plus conséquente.

IV.3 Séparation magnétique

Le processus de la séparation magnétique est basé sur la différence entre la susceptibilité des différents minéraux.

L'efficacité de cette méthode dépend de la susceptibilité des minéraux et du degré de la magnétisation.

La susceptibilité magnétique (notée χ_m et de grandeur adimensionnelle) est la faculté d'un matériau à s'aimanter sous l'action d'une excitation magnétique. La réaction est de deux types : aimantation du matériau s'accompagnant de l'apparition d'une force mécanique, bien entendu c'est le fer qui a la plus grande susceptibilité magnétique.

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE :

En présence d'une excitation magnétique \vec{H} , les moments magnétiques électroniques et nucléaires d'un matériau vont se diviser en différents niveaux d'énergie. Par exemple pour le noyau d'hydrogène caractérisé par un spin de valeur 1/2, le moment magnétique peut prendre deux positions dites parallèle ou anti-parallèle. L'état parallèle étant de plus basse énergie, il est plus peuplé et il en résulte dans le milieu une aimantation nucléaire macroscopique notée \vec{M} . [10]

Matériau	χ_m	Tc
Bi	$-16,9 \times 10^{-5}$	
C	$-2,1 \times 10^{-5}$	
Eau	$-1,2 \times 10^{-5}$	
Cu	$-1,0 \times 10^{-5}$	
Vide	0	
O ₂	$0,19 \times 10^{-5}$	
Al	$2,2 \times 10^{-5}$	
Co	70	1131°C
Ni	110	372°C
Fe	200	774°C

Tableau 4-2 : Susceptibilité magnétique de quelques matériaux

IV.4 Flottation

IV.4.1 Principe

La flottation est un procédé de traitement physico-chimique basé sur les propriétés superficielles des particules minérales, selon qu'elles soient en contact avec de l'air ou de l'eau. Dans cette optique, on met en suspension dans de l'eau les particules de minerai finement broyées, puis on conditionne le mélange minerai/eau (ou pulpe) avec un réactif chimique appelé collecteur, dont le rôle est de rendre hydrophobe la surface de la substance à flotter, afin que celle-ci soit plus encline à adhérer aux bulles d'air qu'aux particules d'eau.

La pulpe est alors introduite dans un appareil muni d'un agitateur et d'une arrivée d'air. Les bulles d'air injectées vont se fixer sur les particules devenues hydrophobes, et ainsi les faire remonter à la surface de la pulpe. Il suffira par la suite de recueillir la mousse résultante. Le concentré minéral est obtenu par simple lavage suivi d'un séchage. La qualité de la mousse (stabilité, solidité, taille des bulles) est assurée par l'ajout d'un réactif appelé moussant. [8]

IV.4.2 Mécanisme

Le processus de récupération d'un minéral par flottation fait appel à trois mécanismes principaux

- Affinité sélective des particules pour les bulles d'air, autrement dit leur hydrophobicité, qui leur permettra de se fixer plus facilement sur les particules d'air ;
- Entrainement des particules dans l'eau passant à travers la mousse depuis le fond de la cellule, ce qui représente l'action du collecteur sur ces particules et la première étape de leur récupération proprement dite ;
- Piégeage des particules dans la mousse (ou agrégation), ce qui schématise l'action du moussant sur la stabilité de l'écume et constitue la dernière étape de la récupération du concentré.

Contrairement au premier mécanisme, où s'opère une sélectivité chimique des espèces minérales suivant leurs propriétés surfaciques, aussi bien la gangue que les minéraux utiles sont susceptibles d'être affectés lors de l'entraînement et du piégeage [4]. Les particules sont ainsi retenues dans la mousse, sans aucune forme de distinction, ce qui a pour effet de réduire le rendement de la flottation et sa sélectivité. Par ailleurs, la stabilité de la mousse joue également un rôle capital dans le bon déroulement de l'opération.

Potentiel zêta

Appelé également potentiel surfacique, le potentiel zêta est un paramètre définissant la charge superficielle d'une particule.

Lors du broyage, la destruction de l'unité d'un minéral fait apparaître des charges à la surface des fragments libérés. Ces charges définissent un potentiel surfacique, ou potentiel zêta, sur lequel reposent les bases de la flottation.

Comme il a été précédemment dit, le principe de la flottation est de rendre les surfaces des minéraux hydrophobes, de façon à ce que leur affinité sélective pour l'air soit plus importante que celle pour l'eau, et qu'ils puissent être entraînés en surface. Lorsque le potentiel zêta d'une solution ou d'une suspension est élevée (positivement ou négativement), celle-ci est stable et résistera à une éventuelle agrégation. En revanche, plus le potentiel zêta est faible, plus la suspension aura tendance à se rompre et à flocculer. Lorsque leur potentiel zêta est nul, les particules minérales deviennent hydrophobes. [9]

Par conséquent, lors de l'opération de flottation, on tâchera d'influer sur le potentiel zêta par le biais du pH du milieu et du broyage des minéraux. Notamment, plus on se rapproche du potentiel nul, plus l'action du collecteur est facilitée et meilleur sera le rendement de l'opération.

IV.4.3 Paramètres influant sur l'opération de flottation

Influence du broyage

La préparation mécanique d'un minerai avant sa flottation revêt une importance considérable, car le degré ainsi que le mode de broyage ont une influence directe sur le rendement de l'opération. En effet, il faut en premier lieu que la maille de libération du minéral à extraire soit atteinte, de façon à obtenir une récupération optimale du minéral avec un minimum de gangue. Par ailleurs, il est absolument nécessaire d'éviter le surbroyage du minerai qui aurait pour effet de créer un phénomène d'adagulation, ou slimecoating (littéralement : recouvrement par les ultrafines) ; les ultrafines, ou schlamms, recouvrent les particules minérales, gênant ainsi la fixation du collecteur et diminuant le rendement de l'opération.

Influence du pH

De même que pour le broyage, le pH possède une influence certaine et non-négligeable sur le rendement d'une opération de flottation. De fait, le pH du milieu agit directement sur le potentiel surfacique des particules. Ainsi, on définit le Point de Charge Nulle (PCN ou PZC, Point of Zero Charge), pour lequel le potentiel zêta d'une particule minérale est nul, et qui est atteint à un pH déterminé. On comprendra aisément l'intérêt présenté par le PCN lors de la flottation, car il facilite l'action du collecteur, ce qui conduit à une réduction de sa consommation ; dans certains cas, on peut même se passer de l'utilisation du collecteur.

Influence de la température

Il est difficile de déterminer l'influence de la température sur un procédé de flottation. D'après Jdid et Blazy, elle peut affecter les interactions ion à flotter-collecteur, ou alors la stabilité du collecteur utilisé. Dans les deux cas, son action peut être bénéfique ou non, mais elle reste peu aisée à prévoir.

IV.4.4 Réactifs utilisés

Collecteur

C'est un réactif qui agit sur la surface des minéraux à valoriser afin d'augmenter son hydrophobicité, et ainsi faciliter la fixation des bulles d'airs dessus. Le collecteur est un composé chimique organique hétéropolaire, possédant un pôle chargé et une chaîne carbonée neutre. Le mécanisme d'action du collecteur est le suivant : la tête polaire va se fixer sur la surface de la particule dont la charge a été acquise lors du broyage, et la chaîne organique va,

par adsorption, rendre la surface de la particule hydrophobe. Ce mécanisme est schématisé sur la **figure 4.5** [8]

Les collecteurs sont divisés en deux groupes :

- **Ioniques** : Se partageant eux-mêmes en collecteurs anioniques (comme les Xanthates, Aerofloats...), cationiques (Amines, Aeropromoters...) et amphotères (Amines acides...)
- **Non-ioniques** : Ils sont utilisés pour les minéraux possédant une flottabilité naturelle, dans le but d'optimiser leur récupération ; ce sont généralement des hydrocarbures.

Le collecteur est donc l'un des principaux réactifs entrant en jeu lors de la flottation. Son interaction avec les particules minérales fera que les bulles d'air auront plus de facilité à se fixer sur le minéral à flotter, et le faire ainsi remonter à la surface plus aisément.

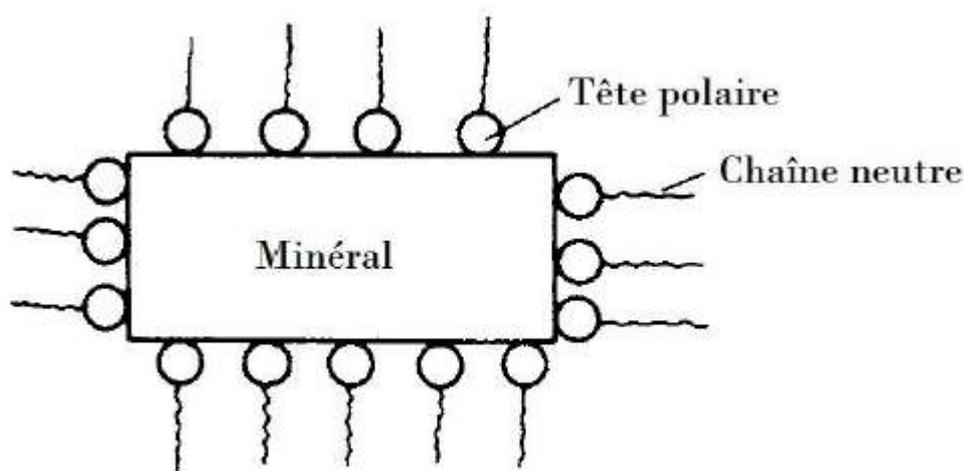


Figure 4-5 : Schéma illustrant le principe du collecteur

Activant

Un activant est un réactif qui altère la nature chimique de la surface des particules minérales pour la rendre hydrophobe suite à l'action du collecteur [4]. Il contribue donc à une meilleure fixation du collecteur sur les surfaces minérales.

Généralement, les activateurs sont des sels solubles qui s'ionisent en solution. Les ions réagissent alors avec les surfaces minérales pour former de nouveaux composés, peu solubles, qui se déposent de nouveau sur ces surfaces et forment avec le collecteur un film hydrophobe qui permettra la récupération des minéraux voulus.

Dépressant

Dans certains cas, il arrive qu'un collecteur agisse sur toute une famille de minéraux en présence dans un même minerai. Lorsqu'on veut procéder à une flottation sélective sur un tel type de minerai, on utilise alors un dépressant (ou déprimant).

Le rôle du dépressant est d'annuler l'effet du collecteur sur certaines surfaces minérales précises, et ainsi de faire plonger les minéraux que l'on ne veut pas flotter, en évitant par-là leur piégeage dans le produit de mousse. Le mécanisme d'action est donc de développer la charge superficielle d'une espèce minérale en particulier, et ainsi d'augmenter ses propriétés hydrophiles, ce qui conduit inmanquablement à la faire plonger au fond de la cellule.

Les dépressants peuvent être inorganiques ou polymères, quoique la plupart de ceux actuellement utilisés soient inorganiques.

Moussant

Le moussant est un surfactant permettant l'obtention d'une mousse stable, solide, mais aussi facilement abattable à son extraction. Il favorise la fixation et la minéralisation des bulles d'air sur la surface de la cellule, évitant ainsi qu'elles n'éclatent et que les particules minérales qui y sont collées ne retombent en fond de cellule (**figure 2.6**)

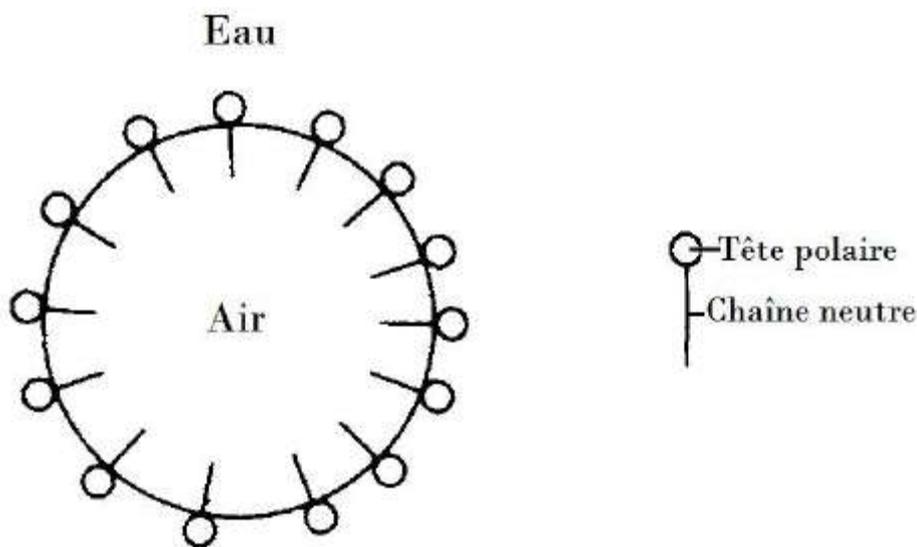


Figure 4-6 : Schéma illustrant le mécanisme d'absorption du moussant

Le moussant possède trois fonctions principales :

- Créer des interfaces liquide-gaz importantes en réduisant la taille des bulles et régularisant leur forme ; plus sphériques et plus petites, les bulles remontent plus

facilement et plus lentement à la surface, et leur finesse augmente la surface de l'interface liquide-gaz.

- Faciliter la fixation des particules sur les bulles d'air par adsorption avec le collecteur.
- Stabiliser la mousse à la surface de la cellule, ce qui permet une meilleure récupération du minerai à flotter, tout en évitant de le mélanger avec les autres minéraux en présence dans la pulpe

Régulateur de milieu

Un régulateur est un réactif déterminant le degré d'acidité ou d'alcalinité de la pulpe. Il s'agit d'acides ou de bases, utilisés pour régler le pH du milieu qui, comme indiqué précédemment, possède une grande influence sur le rendement d'une opération de flottation.

Pour certains types de minerais, on constatera ainsi qu'un même collecteur peut agir différemment sur une famille de minéraux à pH acide, et sur une autre à pH basique.

IV.4.5 Type De Flottation

Selon les besoins de l'industrie concernée et l'intérêt économique pour telle ou telle substance minérale, on définira deux types de flottation : directe et inverse. Celles-ci se distinguent l'une de l'autre par le procédé selon lequel on cherche à récupérer les minéraux à concentrer. Ces derniers doivent donc être préalablement définis. Par souci de clarté, on appellera par la suite substance utile le produit à concentrer, et gangue le reste.

1) Flottation directe

Lors de ce procédé, on cherche à extraire prioritairement la substance utile comme produit de mousse et on laisse la gangue plonger en produit de cellule. On effectuera donc une flottation directe du minéral utile. Cette flottation est généralement utilisée pour récupérer des petites quantités valorisables présentes dans une gangue importante, ou purifier le produit de cellule des impuretés qui y sont présentes.

2) Flottation inverse

En revanche, ce procédé consiste à faire flotter la gangue, en laissant la substance utile en produit de cellule. Dépendamment des quantités à récupérer et des réactifs nécessaires, il peut parfois être plus intéressant d'effectuer une flottation inverse de la substance utile, notamment lorsque la flottation sélective de certains minéraux s'avère difficile à effectuer car demandant des conditions particulières qu'il est ardu d'obtenir et de conserver.

IV.4.6 Appareillage

Selon le principe de création des bulles d'air, on distingue deux types d'appareils : cellule et colonne de flottation.

IV.4.7 lixiviation

La lixiviation consiste à extraire des éléments constitutifs de minéraux en faisant circuler une solution aqueuse (solution lixivante). Cette technique est communément utilisée dans le secteur minier pour récupérer des métaux de valeur (argent, or, cuivre, uranium...) à partir de matériaux géologiques. Les trois techniques de lixiviation appliquées dans l'industrie minière sont la lixiviation en tas, la lixiviation en cuve et la lixiviation *in situ*.

Les conditions suivantes doivent être respectées :

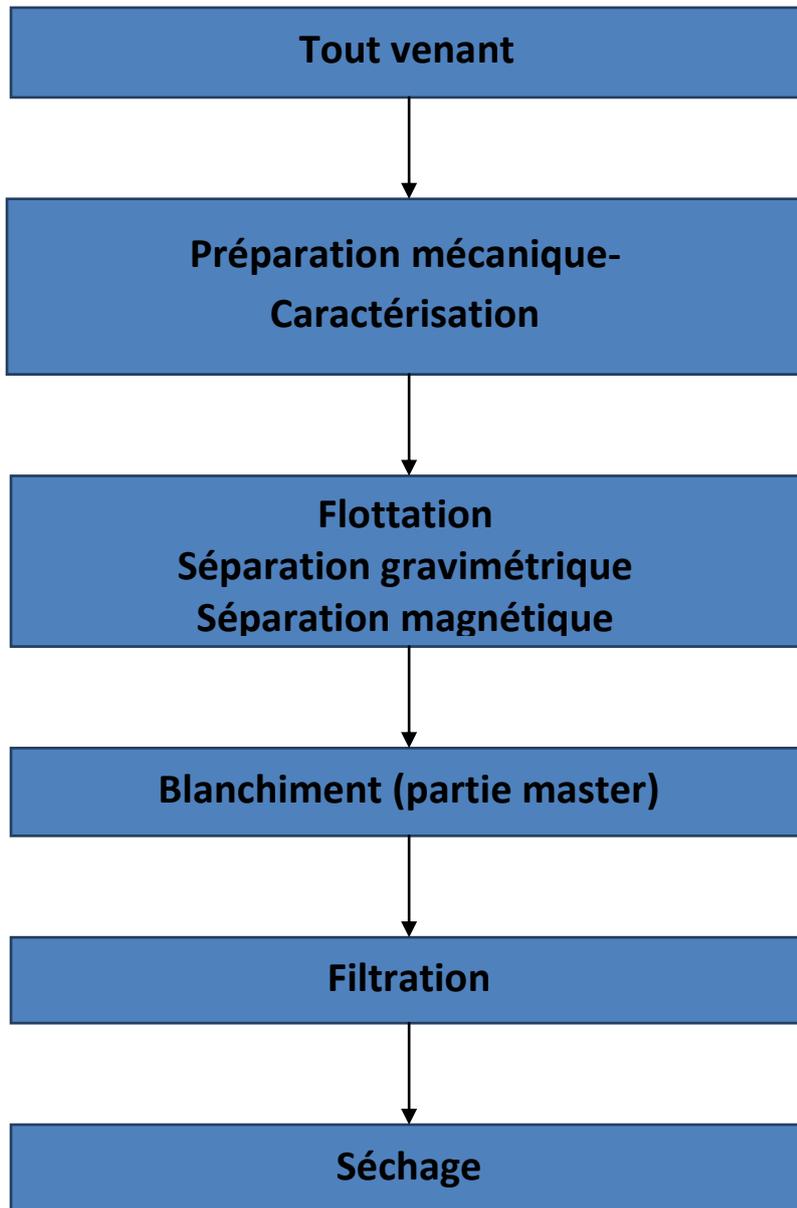
1) Concernant la minéralogie

Des cinétiques favorables à la dissolution des minéraux de valeur, de faibles tampons pH et Eh, en particulier une faible teneur en carbonates, réputés pour être de gros consommateurs d'acide ;

2) Concernant l'environnement hydrodynamique

- Un milieu confiné, pour éviter les fuites et faire circuler le fluide lixiviant à travers la minéralisation
- Un gisement perméable, avec une accessibilité optimale des grains.

LA PARTIE EXPÉRIMENTALE



CHAPITRE V
Caractérisation du produit brut KT1

V.1 Introduction

Avant de passer à la phase de traitement des minerais utiles, il est nécessaire de connaître la composition physique, chimique, minéralogique du kaolin brut du gisement de Tamazert.

L'identification des impuretés et la quantification du pourcentage de la kaolinite, nous mènera à choisir la méthode et le mode de séparation.

Plusieurs méthodes permettent de caractériser le minerai brut, les plus simples sont les méthodes physiques qui ne nécessitent pas un matériel sophistiqué, par contre pour déterminer la composition chimique et minéralogique, il est indispensable de se doter d'un matériel bien spécifique.

Dans ce chapitre on déterminera la densité, la perte au feu, le taux d'humidité et la composition chimique et minéralogique du produit brut KT1.

V.2 Le kaolin brut

Le kaolin brut est un mélange de plusieurs minéraux. Dans les spectres de diffraction des RX, les minéraux suivants apparaissent, par ordre de décroissance de l'intensité des raies: d'abord le Quartz SiO_2 (50% en poids), dont les raies sont de loin les plus intenses, puis la Muscovite $\text{K}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (28% en poids), de la famille des Micas, ensuite la Kaolinite $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (18% poids), avec des raies larges mais peu intenses, enfin le Feldspath orthose (quelques pourcentage assez variable) avec des raies de faibles intensités.

V.3 Préparation mécanique

La préparation des échantillons est la phase la plus délicate pour la représentativité et la recherche de la masse destinée pour l'analyse. Il est notable de signaler que les deux premières techniques de cette préparation n'ont pas été réalisées au niveau du laboratoire, car les échantillons sont prélevés directement du minerai broyé. Les étapes suivies sont :

Concassage :

Cette opération sert à réduire les dimensions des blocs de matière première à une granularité de l'ordre de quelques millimètres. Pour cela, nous avons utilisé un concasseur à mâchoires.

Homogénéisation :

C'est un procédé mécanique qui consiste à mélanger l'échantillon de manière à le rendre homogène.

Quartage :

La matière finement broyée est mise sous forme d'un cercle partagée en quatre parties égales, dont nous prenons les deux parties opposées. C'est une opération de réduction de poids de l'échantillon. Le quartage s'effectue en plusieurs étapes jusqu'à obtenir une quantité de l'échantillon souhaitée pour l'analyse. Ce procédé obéit à l'équation de RECHARDE(**figure 5.1**)

$$Q_i > Kd^2$$

$$M < Q_i / Kd^2$$

$$M = 2^n$$

Avec : Q_i : masse à quarter.

M : masse destinée à l'analyse.

K : coefficient de répartition de la minéralisation

D : diamètre initial du grain. 2 mm

N : nombre de quartage.

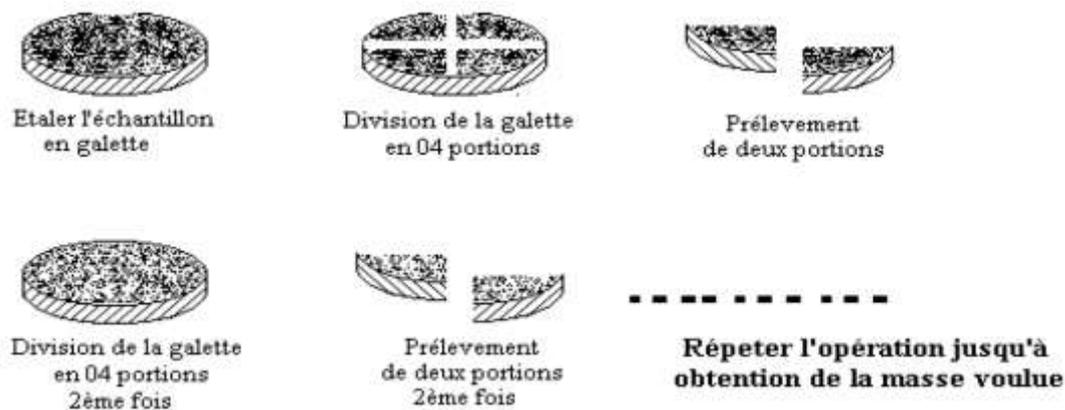


Figure 5-1 : Le mode opératoire du quartage

:

Diviseur à couloirs :

C'est un instrument qui divise une quantité d'un matériau donné (sec ou légèrement humide) en deux parties représentatives et homogènes. Une partie fera l'objet des analyses et diverses manipulations nécessaires, l'autre constituera un stock témoin.

La largeur des couloirs doit être supérieure à 2D, où D est la dimension maximale des éléments. Le diviseur que nous avons utilisé au laboratoire a une ouverture de 12mm.

On verse l'échantillon en veillant à répartir la quantité bien au centre et sur toute la largeur du diviseur. Si la quantité est trop importante, on réitère l'opération jusqu'à obtention de l'ordre de grandeur nécessaire.

Broyage :

C'est une opération qui consiste à réduire les dimensions des grains de la matière première à une granularité assez fine, atteignant quelques micromètres.

L'opération de broyage est réalisée grâce à un broyeur planétaire à billes portant trois jarres à l'intérieures desquelles il existe un certain nombre de billes en agate qui servent à

LES CARACTÉRISTIQUES DU PRODUIT BRUT

broyer la matière. On peut obtenir un bon résultat, en augmentant le temps et la vitesse de broyage.

Un autre broyeur de type retsch (**figure 5-2**) est utilisé pour avoir des fines de moins de 50 μm .



Figure 5-2 : Broyeur de type Retsch

Tamissage

Le tamisage consiste à répartir les grains d'un échantillon en une série de classes dimensionnelles de plus en plus petites à travers des orifices de plus en plus étroites. Les orifices sont formés par des mailles carrées de toiles métalliques. Le tamisage peut être effectué par agitation à sec, ou sous l'action d'un courant d'eau. Les refus successifs et l'ultime tamisât sont pesés. L'analyse fournit donc le poids et non le nombre des grains de chaque classe dimensionnelle.



Figure 5-3 : Tamiseuse électrique de type **Retsch-AS200**

Lors de cette opération onze classes ont été extraites qui varient entre 40 μm et 1,6 mm.

V.4 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes classes de grains constituant les échantillons.

Principe :

L'objet de cette analyse consiste à déterminer les proportions massiques de minéral fragmenté, tout en respectant les standards en matière de classification directe (tamisage). On étudie généralement des roches meubles. La plupart du temps, on les tamise à sec. On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des refus cumulés sur les tamis dont « D », diamètres des mailles sont indiqués en abscisse selon une graduation logarithmique.

Le matériel utilisé :

Tamiseuse électrique de type **Retsch-AS200**

Mode opératoire :

Dans cette analyse, on a utilisé des tamis de 1.25 mm jusqu'à 40 µm, et les étapes suivies sont :

- la pesée de 2 Kg de l'échantillon,
- lavage à l'eau,
- Séchage dans l'étuve pendant 24 heures,
- Le tamisage.

Le choix de la série des tamis dépend de la disponibilité des tamis et la relation :

$$D(n + 1) = \frac{Dn}{\sqrt{2}}$$

Tel que : D_n : le diamètre du premier tamis.

$D_{(n+1)}$: le diamètre du tamis suivant

Après les calculs effectués pour le choix de la série des tamis, on a obtenu une série d'ouvertures allant de 3,15 mm jusqu'à 40 µm.



Figure5-4 : Tamiseuse électrique de type **Retsch-AS200**

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Classe granulométrique	Refus		Cumuls	
	masse(g)	%	masse(g)	%
3,15 mm	268	13,40	268	13,40
2,5 mm	156	7,80	424	21,20
1,6 mm	279	13,95	703	35,15
1,25 mm	119	5,95	822	41,10
800 µm	184	9,20	1006	50,30
500 µm	150	7,50	1156	57,80
400 µm	56	2,80	1212	60,60
200 µm	170	8,50	1382	69,10
100 µm	181	9,05	1563	78,15
80 µm	55	2,75	1618	80,90
71 µm	76	3,80	1694	84,70
50 µm	134	6,70	1828	91,40
40 µm	78	3,90	1906	95,30
FOND	82	4,10	1988	99,40
TOTAL	1988			

Tableau 2-1 : les résultats de l'analyse granulométrique

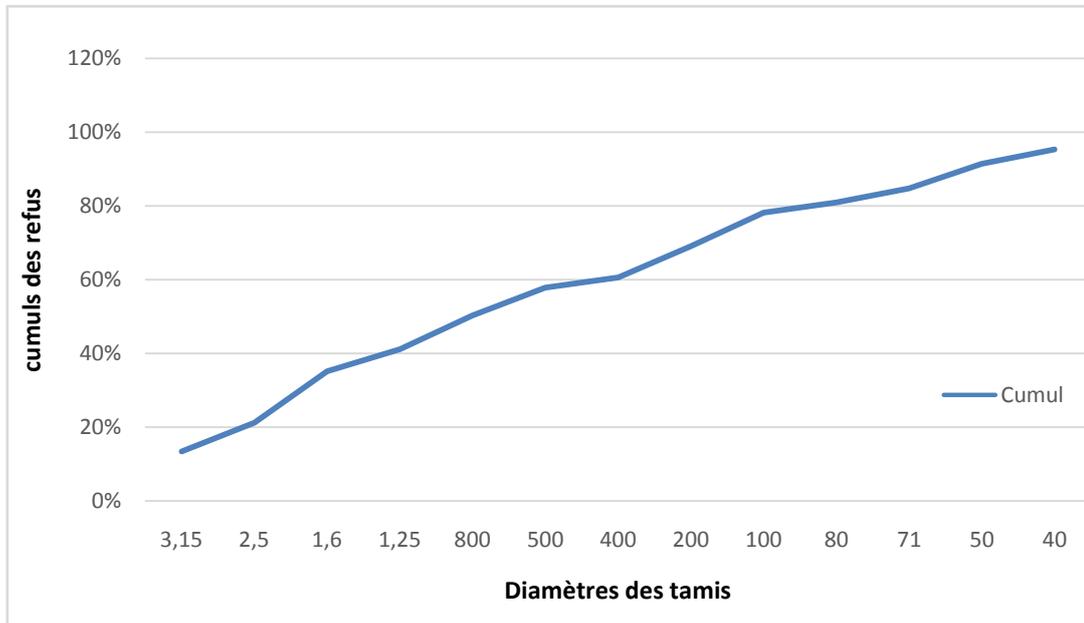


Figure 5-5 : Courbe granulométrique du kaolin

Interprétation de la courbe granulométrique :

On remarque que 50% des grains de l'échantillon ont moins de 800µm et 15 % des grains ont moins de 80 µm, ce qui veut dire que le minerai a beaucoup de fines.

Le coefficient d'uniformité Cu : qui représente en quelque sorte une caractérisation quantitative de l'étalement d'une courbe granulométrique, il peut être déterminé par la formule suivante :

$$Cu = \frac{D60}{D10} \text{ « Module sans unité »}$$

D60, D10 : diamètre des particules pour lesquelles, on a un pourcentage de passant cumulé égal à 60% et 10% respectivement.

D'après la valeur de Cu, on peut classer les matériaux en 5 classes :

- ✓ Cu < 2 : granulométrie très serrée.
- ✓ 2 < Cu < 5 : granulométrie serrée.
- ✓ 5 < Cu < 20 : granulométrie semi étalée.
- ✓ 20 < Cu < 200 : granulométrie étalée.
- ✓ 200 > Cu : granulométrie très étalée.

Coefficient de courbure Cc : permet de quantifier la distribution des particules dans une courbe granulométrique, il est déterminé par la relation suivante :

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 \cdot D10} \text{ « Module sans unité »}$$

LES CARACTÉRISTIQUES DU PRODUIT BRUT

Pour notre échantillon le calcul des coefficients d'uniformité et de courbure a donné les résultats suivants :

Echantillon	D 60	D 10	D30	Cu	Cc
kaolin	0,4	3,25	1,5	0,26	1,7

Tableau 5-2 : Calcul des coefficients d'uniformité et de courbure

De l'analyse granulométrique on déduit que l'échantillon de kaolin est caractérisé par une granulométrie serrée et contient beaucoup de fines.

V.5 Caractéristiques physiques

V.5.1 La densité

Principe

Les trois paramètres physiques importants sont le **volume** et la **masse** des corps ainsi que la **densité** des substances. La masse et le volume sont reliés entre eux par la densité : La densité [d] est le rapport de la masse [m] et du volume [V].

$$d = \frac{m}{V}$$

Mode opératoire

On prend une masse (m) de l'échantillon pour mesurer son volume. On le met dans une éprouvette graduée remplie avec l'eau. Le volume de l'échantillon est la différence de volume d'eau.

Résultats :

Masse (m) = 72 g

Volume (V) = 40 ml

d = 72 /40

d = 1.8 g/ml



Figure 5-6 : Échantillon d'un kaolin brut

V.5.2 L'humidité

Principe

C'est la quantité d'eau d'hydratation contenue dans l'échantillon en poudre, dont l'évaporation est obtenue par séchage à 105 °C pendant 24 heures.

Mode opératoire

Une prise d'essai de 0.5 g quatre fractions obtenues (1.25 mm, 500 µm, 200 µm et 71 µm) lors de l'analyse dimensionnelle en voie humide a été séchée dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures.

Expression des résultats

Le taux d'humidité est exprimé par la relation suivante :

$$\% H_2O = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} * 100$$

P₁ : Poids de l'échantillon initial = 0.5 g

P₂ : Poids de l'échantillon après séchage, à 105°C

Résultats :

Classe	1.25 mm	500 µm	200 µm	71 µm
P2	0.4786	0.4874	0.4903	0.4864
%H ₂ O	4.28	2.52	1.94	2.72

Tableau 5-3 : Résultats des analyses d'humidité.

V.5.3 La perte au feu

Principe

C'est la quantité de matière qui est volatilisée lors de la mise au four à une température de 1050 °C pendant une durée de temps déterminée (1 heure)

LES CARACTÉRISTIQUES DU PRODUIT BRUT

Mode opératoire

La perte au feu est réalisé sur chaque prise d'essai de 0.5 g séchée préalablement à 105 °C dans un four porté à une température de 1050 ° C pendant 1 heure(**figure 3.4**) . La programmation de la température a été réalisée comme suit :

- Montée la température à 1050 ° C pendant 2 heures.
- Maintien de la température à 1050 ° C pendant 1 heure (palier)
- On pèse le résidu et on détermine le poids P₃.



Figure 5-7 : Échantillon de chaque classe granulométrique



Figure 5-8 : Four à 1050 °C

Expression du résultat :

La perte au feu est calculée par la relation suivante :

$$S = \frac{(P_2 - P_3)}{P_2} * 100$$

Résultats :

Classe	1.25 mm	500 µm	200 µm	71 µm
P ₃	0.4512	0.4498	0.4400	0.4150
S	5.7	7.7	10.25	14.7

Tableau 5-4 : Résultats des analyses de la perte au feu

V.5.4 La dureté

La dureté est définie par la résistance d'un minéral à la rayure ou à l'abrasion. Elle dépend de la structure cristalline et des forces de liaisons entre les atomes. Dans l'échelle de MOHS chaque minéral raye le précédent et il est rayé par le suivant.

Pour notre échantillon, la dureté est égale à 2.

V.5 La composition chimique

La composition chimique de l'échantillon du kaolin de Tamazert est résumée dans le tableau :

Élément chimique	Pourcentage
SiO ₂	67,90
Al ₂ O ₃	18,60
Fe ₂ O ₃	0,58-1,22
TiO ₂	0,31
CaO	0,07
MgO	0,22
K ₂ O	0,82-3,18
Na ₂ O	0,39
Autres	3,92

Tableau 5-5 : Composition chimique de KT1

V.6 Analyses minéralogiques

Tout corps cristallisé peut être analysé par DRX mais l'interprétation cristallographique des spectres est souvent très difficile dès qu'il ne s'agit pas d'une maille cristalline desymétrie très simple et en pratique on compare les spectres avec ceux des espèces minérales connus bien cristallisés qui servent de référence.

L'analyse par DRX est effectuée sur le produit brut à l'aide d'un diffractomètre muni d'une anticathode de Cu ($\lambda=1,542\text{Å}$) avec un filtre de nickel, une fente de divergence de 1° et une fente de réception de 0,1 mm

Les rayons X diffractés par l'échantillon sont détectés par un compteur proportionnel à gaz (Xe) et les impulsions électriques délivrées par le compteur sont traitées et compter par une chaîne électrique de comptage

Pour l'indexation des spectres de diffraction des RX on utilise des méthodes conventionnelles de recherches des distances inter réticulaires des plans (dhkl) diffractant correspondants à chaque raie de diffraction. Les angles de diffraction des différents plan séticulaires de chaque phase sont comparés avec les fichiers A.S.T.M.

Le dépouillement des spectres de DRX est un peu difficile, car les kaolins bruts contiennent des phases minérales, des matières organiques et des impuretés.

Résultats :

La composition minéralogique du kaolin brut de Tamazert est représenté dans le tableau suivant :

Elément	Kaolinite	Micas	Feldspath	Quartz	Autres
Pourcentage	18	17.6	10	52	2

Tableau 5-6 : la composition minéralogique tu kaolin de Tamazert

De là on déduit que le kaolin de Tamazert est composé de kaolinite et d'impuretés :

1)La kaolinite (minerai utile) : est une espèce minérale composée de silicate d'aluminium hydraté, de formule $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ du groupe des silicates, sous-groupe des phyllosilicates

2)Les impuretés :

Les micas : est une famille de minéraux, du groupe des silicates sous-groupe des phyllosilicates formé principalement de silicate d'aluminium et de potassium. Avec le quartz et le feldspath, il est l'un des constituants du granite.

les feldspaths : est un minéral à base de silicate double, d'aluminium, de potassium, de sodium ou de calcium. Les feldspaths sont de la famille des tectosilicates. Il existe de nombreux feldspaths, dont les principaux sont l'orthoclase (potassique), l'albite(sodique) et l'anorthite (calcique).

Le quartz : est une espèce minérale du groupe des silicates, sous-groupe des tectosilicates, composé de dioxyde de silicium de formule SiO_2 (silice), avec des traces de différents éléments tels que Al, Li, B, Fe, Mg, Ca, Ti, Rb, Na, OH.

Hématite :est une espèce minérale composée d'oxyde de fer(III) de formule Fe_2O_3 avec des traces de titane Ti, d'aluminium Al, de manganèse Mn et d'eau H_2O . C'est le polymorphe α de Fe_2O_3 , le polymorphe γ étant la maghémite.

Les autres impuretés représentant moins de 1% sont : Anastase (TiO_2), Chaux (CaO), Oxyde de magnésium (MgO),

V.7 Conclusion

A partir de la composition physique, chimique et minéralogique on déduit que le kaolin de Tamazert a les caractéristiques suivantes :

- ✓ La roche est tendre ce qui facilite le concassage.
- ✓ Contient beaucoup de fines ce qui nécessite un mode de traitement bien spécifique.
- ✓ La hausse du taux d'humidité nécessite de voir l'effet de cette caractéristique sur les méthodes de séparation.
- ✓ La hausse du pourcentage de quartz, d'ailleurs certains n'hésitent pas à l'appeler « les sables de Tamazert ».
- ✓ Les impuretés du kaolin de Tamazert sont diverses.
- ✓ La densité des différents composants du tout venant sont presque les mêmes ce qui rend la séparation gravimétrique inefficace.
- ✓ Est de couleur jaune.

CHAPITRE VI
TRAITEMENT DES MINERAIS
UTILES

VI.1 Introduction

Dans ce chapitre on abordera le vif du sujet c'est-à-dire ; éliminer les différentes impuretés en utilisant les différentes méthodes de séparation. Il est nécessaire avant de commencer une étude d'élaborer un processus préalable qui dépend de nos besoins et des moyens disponibles au niveau du laboratoire du Génie Minier.

Différentes méthodes ont été utilisées, gravimétrique, magnétique, flottation pour valoriser le kaolin de Tamazert en prenant en compte les exigences de l'industrie céramique.

La séparation gravimétrique est réalisée en utilisant premièrement la table à secousse et deuxièmement la nappe pelliculaire fluente, en utilisant plusieurs fractions.

La séparation magnétique est faite avec séchage sur plusieurs classes du tout venant, qui a pour but d'éliminer les oxydes de fer.

La flottation est réalisée sur plusieurs étapes pour éliminer successivement les micas, les feldspaths, le quartz, les oxydes de fer.

VI. 2 Séparation gravimétrique

Nous disposons au niveau du laboratoire du Génie Minier d'une table à secousses de type KHD Humboldt Wedag. Il s'agit d'une Labor-Schnellstoßherd MN 936/3.

Mode opératoire :

Le datasheet stipule que la granulométrie pouvant être traitée sur cette table peut varier entre 1mm et 60µm, avec un débit d'eau d'environ 40L/mn. Après quelques manipulations préalables, nous avons choisi de fixer les pentes de la table à 2% pour la transversale, et 0,7% pour la longitudinale, ces deux pentes présentant une meilleure classification. Le débit d'eau maximal du robinet d'alimentation était fixé à 27 l/mn,. Nous avons effectué plusieurs essais à plusieurs granulométries comprises dans cette tranche, de façon à déterminer la fraction granulométrique optimale offrant le meilleur taux de récupération en kaolinite.

Après avoir fait plusieurs essais sur plusieurs fractions granulométrique, la méthode n'a pas donné de résultats. On peut expliquer cela par la valeur des densités des minéraux qui compose le tout venant, en effet ces valeurs sont presque identiques comme le montre le tableau 6.1.

Minéral	Micas	Feldspaths	Quartz	Kaolinite
Densité	2,8	2,57	2,65	2,5-2,6

Tableau 6-1 : les valeurs des densités des minéraux qui compose le kaolin de Tamazert

VI.3 La séparation magnétique

La séparation magnétique est basée sur la différence de susceptibilité magnétique entre les différents minéraux qui composent le kaolin. La blancheur est la caractéristique la plus importante du kaolin, cependant il est impératif d'éliminer les impuretés (Fe_2O_3 , TiO_2) qui nuisent à la couleur du produit fini, l'une des méthodes utilisées pour éliminer les oxydes de fer est la séparation magnétique. L'intensité magnétique de la magnétite Fe_2O_3 est de 1000 Gauss et son attractabilité est forte.

Les fractions choisies :

Dans cet essai on a choisi cinq fractions de $50\mu\text{m}$ à $200\mu\text{m}$, ce choix n'est pas arbitraire. Les fines ne donnent pas de bons résultats vus les pertes considérables sous forme de poussières.

Les gros grains ($+200\mu\text{m}$) sont pas aussi utilisés dans cette essai suite aux frottements qui peuvent nuire à l'appareil.

Le séparateur magnétique est réglé au maximum, car le pourcentage du fer dans le minerai est très faible et il est colmaté à d'autres éléments.

Les modes de séparation sont les suivants :

- Séparation sans séchage.
- Séparation avec séchage.

Le matériel utilisé :

- Séparateur magnétique (**figure 6.1**)
- Balance



Figure 6-1 : Séparateur magnétique

Le mode opératoire :

- Peser 50 g du minerai de chaque fraction,
- Mettre l'échantillon dans le séparateur magnétique,
- Récupérer les produits magnétiques et non magnétiques,
- Peser les produits magnétiques et non magnétiques,

Notons Le séparateur magnétique est réglé au maximum, il atteint les valeurs 13 A et 75 V.



Figure 6-2 : Les particules magnétiques (résultat de la séparation magnétique)

VI.4 Flottation

Cette méthode est appliquée pour éliminer successivement les micas, feldspaths, quartz, puis les oxydes de fer à certaines proportions qui dépendent des normes exigées par l'industrie céramique.

Pour ce, on a opté pour l'utilisation de quatre fractions ([+100 μm ;-200 μm],[+80 μm ; -100 μm],[+71 μm ; -80 μm] et [-50 μm] pour voir l'effet du broyage sur la flottation.

Le matériel utilisé

- Cellule de flottation de type Denver ;
- pH mètre ;
- balance.



Figure 6-3 : Balance



Figure 6-4 : pH-mètre



Figure 6-5 : Cellule de flottation de type Denver

VI.4.1 Flottation des micas

Les réactifs utilisés

- Le collecteur : AEROPROMOTER 830 (Amide)
- Régulateur de milieu : Acide sulfurique H_2SO_4
- Moussant : l'huile de pin.

Le mode opératoire

On fait un mélange d'eau et de minerai à 40%, dans notre cas 400 g de minerai dans 1L d'eau provenant du réseau de distribution communal, plusieurs essais ont été fait sur plusieurs fractions de 40 μm à 200 μm qui sont issus du tamisage par voie sèche. Après avoir bien mélangé, dans un premier lieu, on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique concentré à 98% pour réguler le PH, le contrôle du PH est effectué en utilisant un PH-mètre, le temps de conditionnement est de 3 à 4 min. Puis on ajoute 0,1 g de l'aeropromoter 830 (Collecteur) à raison de 200 g par tonne, après avoir mélangé le tout et un conditionnement de 4 min on ajoute deux gouttes de l'huile de pin à raison de 10 g/t. a la fin on procède à la flottation en injectant de l'air en maintenant la vitesse d'agitation de la cellule à 12500 Tr/min, les différentes étapes sont représentés dans le flowsheet suivant [9]



Figure 6-6-: Schéma de flottation des micas

VI.4.2 Flottation des feldspaths

Les réactifs utilisés :

- Le collecteur : Aéropromoter 830 ;
- Régulateur de milieu : acide sulfurique ;
- Activant : CuSO_4 ;
- Le moussant : Aerofroth 76.

Le mode opératoire:

On laisse reposer le résultat de la flottation des micas pendant quelques minutes puis on verse 200 ml d'eau, on ajoute quelques millilitres d'acide sulfurique pour réguler le PH à 1. La mesure du PH se fait grâce au papier PH. Après un conditionnement de 3 minutes, on ajoute 0,1g de l'aeropromoter 830 (Collecteur) à raison de 200g par tonne, le temps de conditionnement est de 3 min, puis on ajoute 0,05 g de CuSO_4 . Après un conditionnement de 3 min on ajoute l'huile de pin (moussant), on agite pendant quelques secondes, le temps de conditionnement est aussi de 3 min, et on procède à la flottation en injectant de l'air avec une vitesse d'agitation de la cellule de 12500 Tr/min. Les étapes sont représentées dans le flowsheet suivant : [9]

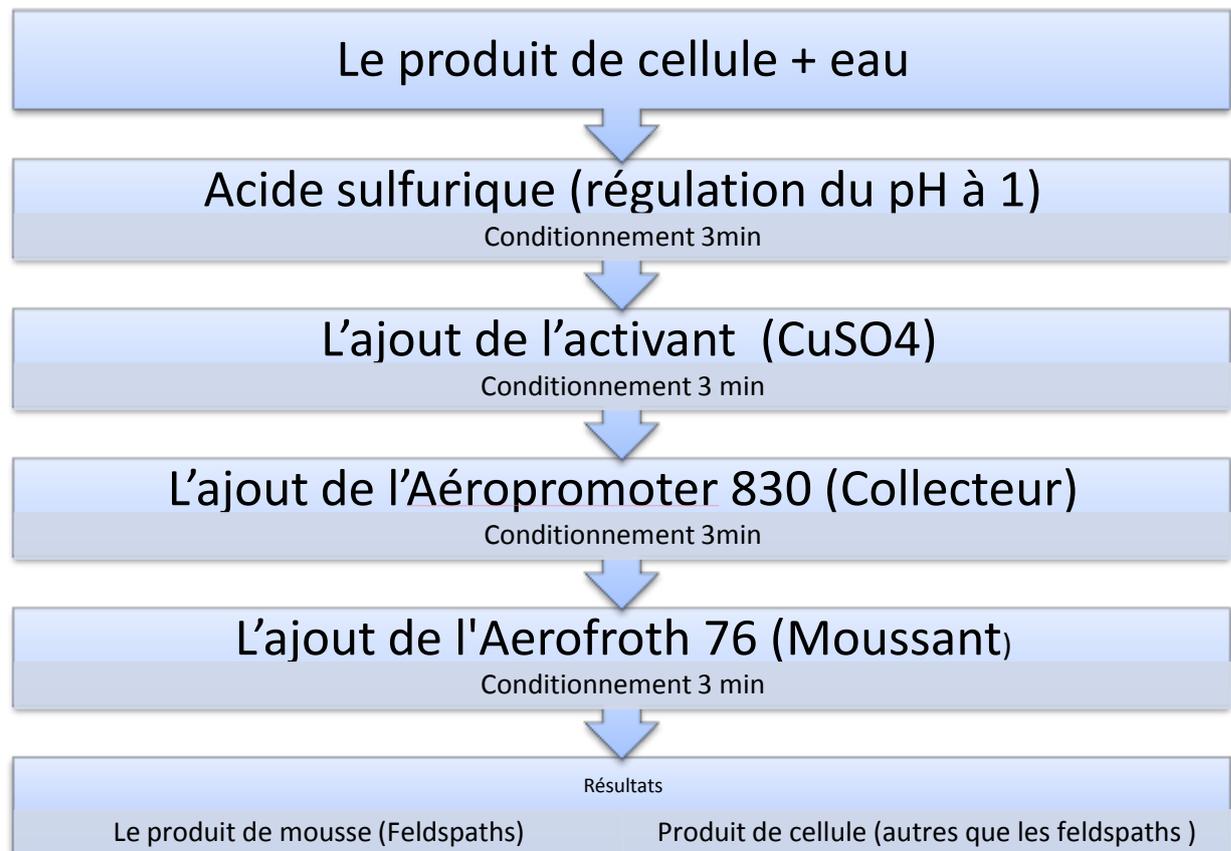


Figure 7 : Schéma de la flottation des feldspaths

VI.4.3 Flottation du quartz

Les réactifs utilisés :

- Le régulateur de milieu : la soude KOH ;
- Le collecteur : l'amidon+Kérosène ;
- Huile de pin.

Le mode opératoire de la flottation :

On laisse reposer le produit de cellule de la flottation des feldspaths on y ajoute 200 ml d'eau issue de la distribution communal. En premier lieu on mélange le tout pendant 4 minutes, après on ajoute le KOH pour réguler le PH à 10, le temps de conditionnement est toujours de 3 minutes, puis on ajoute 0,1 g d'amidon à raison de 200g tonne. On mélange le tout pendant quelques minutes, le temps de conditionnement est de 3 minutes, à la fin on ajoute 2 gouttes de l'huile de pin, on laisse reposer pour quelques minutes et on procède à la flottation en injectant de l'air au même temps. La vitesse d'agitation de la cellule est de 12500 tr/min, les différentes étapes sont représentées dans le flowsheet suivant [12]:



Figure 6-8 : Schéma de flottation du quartz

VI.4.4 Flottation du fer

Les réactifs utilisés :

- Régulateur de milieu : acide sulfurique H_2SO_4
- Collecteur : Acide oléique
- Activant : $CuSO_4$
- Moussant : l'huile de pin

La préparation du collecteur :

Vu que l'acide oléique n'est pas soluble dans l'eau, on l'a dissout d'abord dans le kérosène en mélangeant 6 ml d'acide oléique et 4 ml de kérosène en utilisant un agitateur, puis on chauffe pendant 10 minutes à $105^\circ C$.

Le mode opératoire :

On laisse reposer le résultat de la flottation du quartz pendant 5 minutes puis on ajoute 200 ml d'eau, on mélange le tout pendant quelques minutes, on ajoute Quelques gouttes de H_2SO_4 de façon à avoir le pH entre 5-6, le temps de conditionnement, puis on ajoute 2ml du collecteur(mélange d'acide oléique et kérosène). Après 3 minutes de conditionnement on ajoute 2 gouttes de l'huile de pin, à la fin on procède à la flottation en injectant de l'air, la vitesse d'agitation de la cellule est de 12500 Tr/ min. [12]



Figure 6-9 : Schéma de flottation de l'Hématite

VI.4 Filtrage

C'est l'opération qui vise à séparer l'eau des particules solides en la faisant passer à travers un milieu poreux, ce qui ne laisse passer que les liquides et les particules solides plus fines par les trous du filtre (porosité). L'eau qui ressort de ce système de filtration est débarrassée des particules solides. (**figure 6.10**)

Le matériel utilisé :

- Entonnoir ;
- Papier filtre ;
- Aspirateur.

VI.5 séchage

Procédé qui sépare un liquide d'un solide, d'un semi-solide, voire d'un liquide par évaporation. Cette opération est endothermique et nécessite l'apport d'énergie thermique. L'opération est effectuée en utilisant un four à 105°C (**figure 6.11**)



Figure 6-10 : filtration des produits de cellule et de mousse



Figure 6-11 : Séchage des produits de mousse et de cellule

Après plusieurs essais, les résultats de la flottation sont pesés pour calculer le rendement massique.

A l'issue de cette opération, les résultats sont soumis à plusieurs types d'analyses, qui seront traitées dans le prochain chapitre.



Figure 6-12 : les produits de la flottation

**CHAPITRE IV :
ANALYSES, RÉSULTATS ET
INTERPRETATIONS**

VII.1 Introduction

Après le traitement du minerai avec plusieurs méthodes de séparation il faut vérifier la fiabilité des résultats en utilisant des analyses physico-chimiques et minéralogiques de chaque technique de séparation et chaque fraction.

L'une des méthodes physiques utilisées est le rendement massique qui est basé sur la masse des produits avant et après le traitement.

Pour ce qui est de l'analyse chimique, la technique que nous avons utilisée est la complexométrie. Cette méthode a pour but de mettre en évidence les teneurs de la silice et des oxydes de fer après une attaque tri-acide.

La diffraction des rayons X est aussi utilisée pour déterminer la composition minéralogique des différents produits.

VII.2 Séparation magnétique

VI.2.1 Séparation avec séchage

Le taux d'humidité :

Classe (μm)	50	71	80	100	200
Après séchage (g)	47,54	48,2411	48,9468	49,0119	49,0877
T.H (%)	4.92	3.52	2.10	1.98	1.82

Tableau 7-3 : Le taux d'humidité de chaque classe des produits de la flottation

Les résultats de l'essai de la séparation magnétique :

Classe (μm)	Magnétique (g)	Non magnétique (g)
50	0,0068	46,9332
71	0,0209	48,2202
80	0,0254	48,9214
100	0,0583	48,0210
200	0,1341	48,9536

Tableau 7-4 : les résultats de la séparation de la séparation magnétique

Les résultats de la séparation magnétique sont représentés dans le graphe suivant :

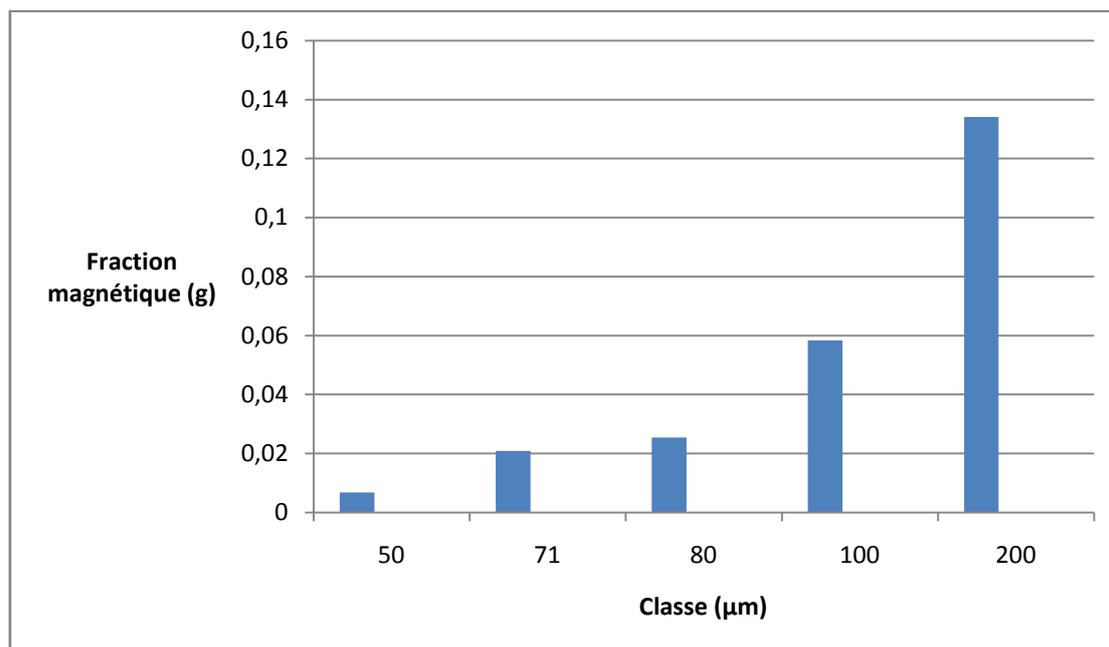


Figure 7-1 : la représentation graphique de la séparation magnétique du kaolin après séchage

VI.2.2 Interprétations des résultats :

- l'humidité influence sur le bon déroulement de la séparation magnétique.

En effet après un séchage de 24 heures à 105 °C la séparation a donné un résultat contrairement au processus sans séchage.

- La classe granulométrique qui a donné un bon rendement est celle qui est supérieure à 200 µm et inférieure à 400 µm.

VII.3 Flottation

VII.3.1 Rendement massique

Classe 100 µm :

Echantillons	Produit de Mousse		Produit de cellule	
	Poids(g)	%	Poids(g)	%
Micas	80	20		
Feldspaths	34	8.5		
Quartz	33	8.25		
Fer	26	6.5	217	54.25

Tableau 7-5 : les résultats de la flottation de la casse +100 µm

Classe 80 μm :

Echantillons	Produit de Mousse		Produit de cellule	
	Poids(g)	%	Poids(g)	%
Micas	80	20		
Feldspaths	74	18.5		
Quartz	65	16.25		
Fer	26	6.5	123	30.75

Tableau 7-6 : les résultats de la flottation de classe +80 μm **Classe 71 μm :**

Echantillons	Produit de Mousse		Produit de cellule	
	Poids(g)	%	Poids(g)	%
Micas	195	48.75		
Feldspaths	67	16.75		
Quartz	26	6.5		
Fer	5	1.25	101	25.25

Tableau 7-7 : les résultats de la flottation de la classe +71 μm **Classe -50 μm :**

Echantillons	Produit de Mousse		Produit de cellule	
	Poids(g)	%	Poids(g)	%
Micas	177	44.25		
Feldspaths	69	17.25		
Quartz	43	10.75		
Fer	29	7.25	35	8.75

Tableau 7-8 : les résultats de la flottation de la classe -50 μm

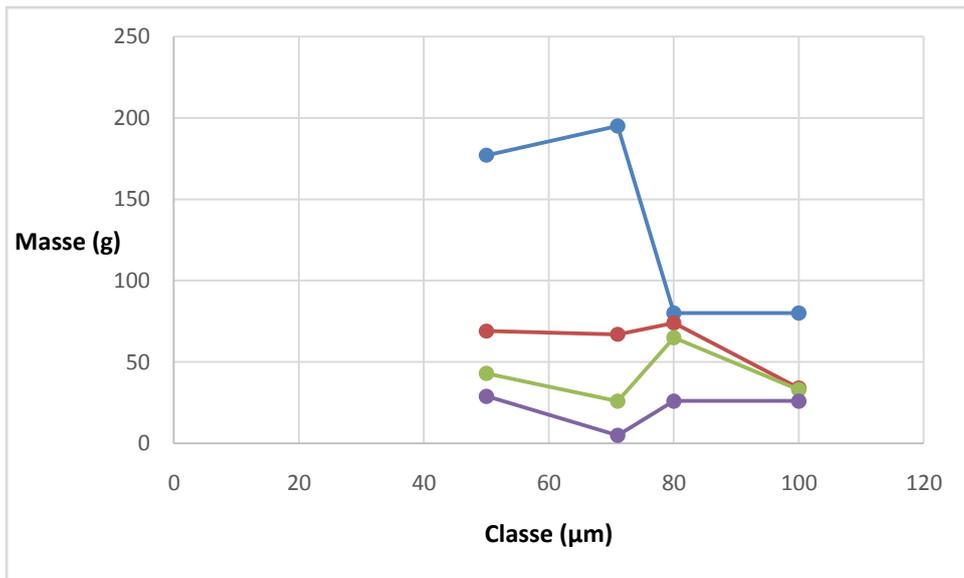


Figure 7-2 : La masse des impuretés en fonction de la granulométrie

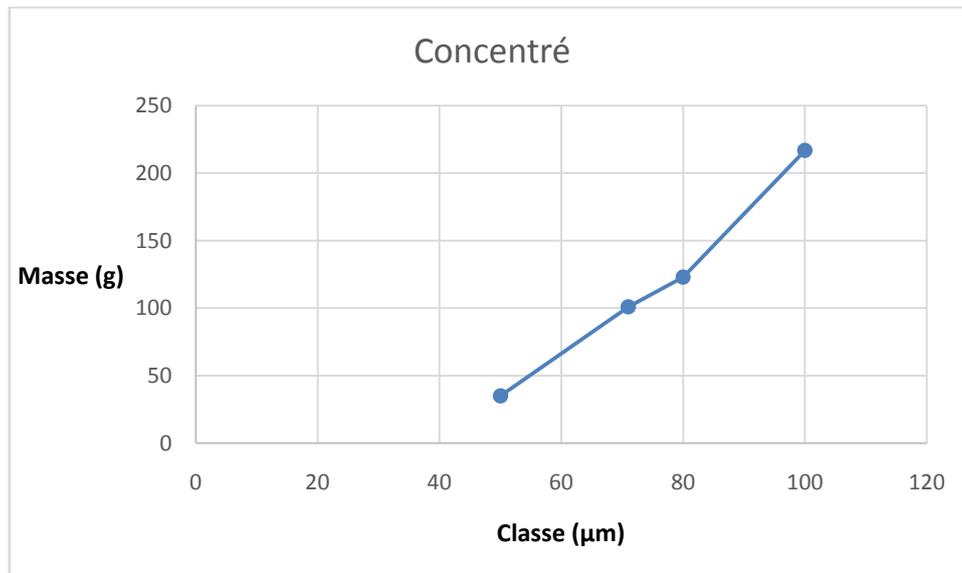


Figure 7-3 : les masses des concentrés en fonction de la granulométrie

VII.3.2 Interprétation des résultats

- A partir des résultats obtenus lors de la flottation on ne peut constater que l'effet du broyage. En effet, lors de la réalisation de l'opération on a constaté que les mousses ont des aspects différents malgré qu'on les a faites dans les mêmes conditions (quantité du collecteur, pH...etc.)

- On remarque que :
 - La quantité des micas présente une variation qui ne respecte pas l'ordre de la granulométrie : on a enregistré une quantité maximale pour la classe +71 μm (195 g), tandis que la valeur minimale est enregistrée pour la classe +100 μm .
 - La quantité des feldspaths, quarts et fer est relativement stable dans toutes les fractions. On trouve au minimum trois points qui sont alignés.
 - Le rendement massique du concentré augmente en augmentant la fraction granulométrique (**figure 7.3**)

VII.4 Analyses chimiques

VII.4.1 Détermination du pourcentage de la silice

1) Mise en solution :

Afin de réaliser l'analyse chimique de nos échantillons, nous devons procéder à la mise en solution de chaque fraction granulaire pour avoir une dissolution complète de ces dernières.

Nous appliquons une méthode essentielle de mise en solution, qui est l'attaque tri-acide ($\text{HCl}, \text{HNO}_3, \text{H}_2\text{SO}_4$) qui solubilise pratiquement tous les minéraux sauf SiO_2

Réactifs :

- HCl à 37.5 %.
- HNO_3 concentré 35 %
- H_2SO_4 concentré à 97%
- HCl dilué (10%)

Mode préparatoire :

➤ Mettre 0.5 g d'échantillon préalablement séché à 105 °C pendant 24 heures dans un bécher de 250 ml ou bien après calcination à 1050 °C pour la perte au feu.

Ajouter 10ml de HNO_3 , 5 ml de H_2SO_4 , puis 15 ml de HCl concentré

➤ Mettre le bécher dans un bain de sable placé sur une plaque chauffante et laisser évaporer à sec.

➤ Reprendre par 10 ml de HNO_3 , 5 ml de H_2SO_4 , puis 15 ml de HCl et laisser évaporer à sec pour une seconde fois.

➤ Ajouter ensuite 10 ml de HCl à 10 % et filtrer dans une fiole de 100 ml.

➤ Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. [16]

2) Dosage de la silice :**Principe :**

La détermination de la silice se fait par la méthode gravimétrique. La silice est insoluble à l'état partiellement déshydraté en présence d'acide.

Réactif :

HCl à 10 %

Mode opératoire :

- Laver le précipité obtenu par l'attaque acide avec HCl à 10 %.
- Mettre le fritté de porosité 4 taré préalablement, contenant le précipité dans une étuve portée à 105 °C pendant 24 heures.
- Retirer le fritté et peser son poids P.

Expression du résultat :

$$\%SiO_2 = 100 * \frac{(P)}{P_e}$$

P_e : poids de la prise d'essai =0.5 g

P : poids du fritté + le résidu. [16]

Les résultats obtenus de teneurs en silice sont données dans le tableau suivant :

Classes	71 µm	80 µm	100 µm
P_e	0.5	0.5	0.5
P	0.143	0.1796	0.2065
%SiO₂	28.6	35.9	31.3

Tableau 7-9 : pourcentage de la silice pour les différents produits de la flottation

VII.4.2 Détermination du pourcentage d'oxydes de fer**1) Mise en solution :**

Dans cette analyse, la méthode qu'on va appliquer pour la mise en solution est l'attaque bi-acide (HCl ,HNO₃)avec l'eau régale.

Réactif :

- HCl concentré.
- HNO₃ concentré.

Mode opératoire :

- Mettre 1 g d'échantillon préalablement séché à 105 °C pendant 24 heures dans un bêcher de 250 ml.
- Ajouter 10ml de HNO₃ et 30 ml de HCl
- Mettre le bêcher sur un bain de sable, ou sur une plaque chauffante et laisser évaporer à sec.
- Reprendre par 10 ml de HNO₃ et 30 ml de HCl et laisser évaporer à sec une deuxième fois.
- Ajouter ensuite 10 ml de HCl et filtrer dans une fiole de 100 ml.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

2) Dosage des oxydes de fer :

Principe :

Le fer est complexé par addition de l'EDTA à un pH = 1-1.5. La fin de la réaction est mise en évidence par la réaction des ions Fe³⁺ avec l'acide salicylique.

Réactifs :

- Acide sulfosalicylique à 2 %.
- NH₄OH 1N
- HCl 1N
- EDTA 0.05 N

Mode opératoire :

- Prélever 5 ml du filtrat, puis diluer à 25 ml, dans un erlenmeyer de 100 ml.
- Chauffer quelques minutes jusqu'à 50°C.
- Ajouter 2 ml d'acide salicylique à chaud ----- coloration pourpre.
- Neutraliser par NH₄OH jusqu'au changement de la coloration -----coloration jaune orange
- Chauffer légèrement la solution à 50°C et titrer à chaud avec l'EDTA 0.05N jusqu'à décoloration (jaune ou transparent).

Expression des résultats :

$$\%Fe_2O_3 = 100 * \frac{T * V * 100}{Pe * 25}$$

$$T = N(EDTA) * MFe_2O_3 / 4 / 1000 = 0.0021037$$

Pe : prise d'échantillon 1 g

V : volume d'EDTA versé

T est le titre par rapport à la masse molaire de Fe₂O₃ par millimètre de solution titrée.

VII.4.2.3 Résultats :

Les résultats des dosages des oxydes de fer sont représentés dans le tableau suivant :

Classes	Produit brute	-50	71	80	100
C(Fe_2O_3)	0,471	0,097	0,086	0,114	0,379

Tableau 7-10 : Pourcentage du fer pour les différents produits de la flottation

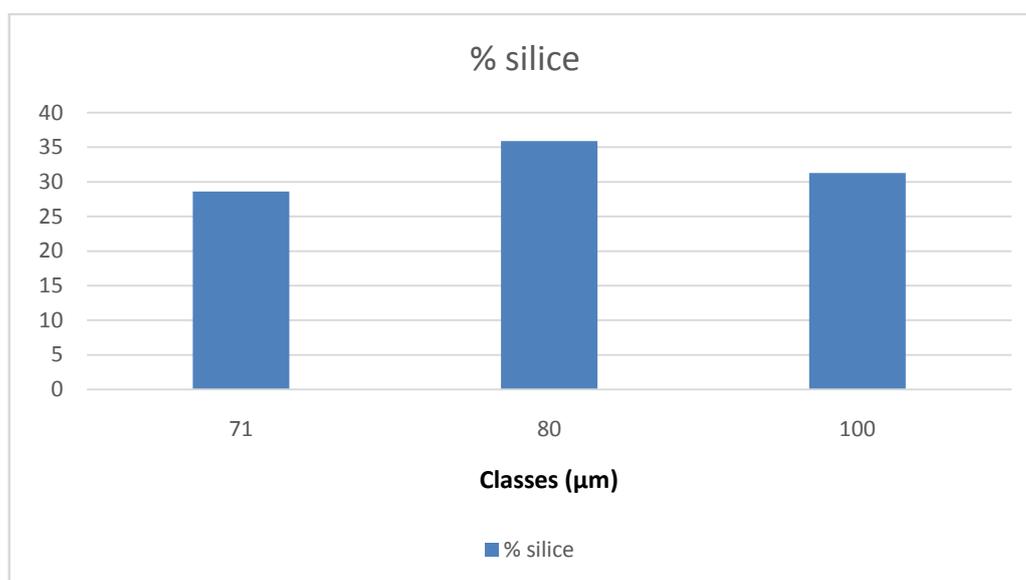


Figure 7-4 : le pourcentage de la silice des différents produits de la flottation

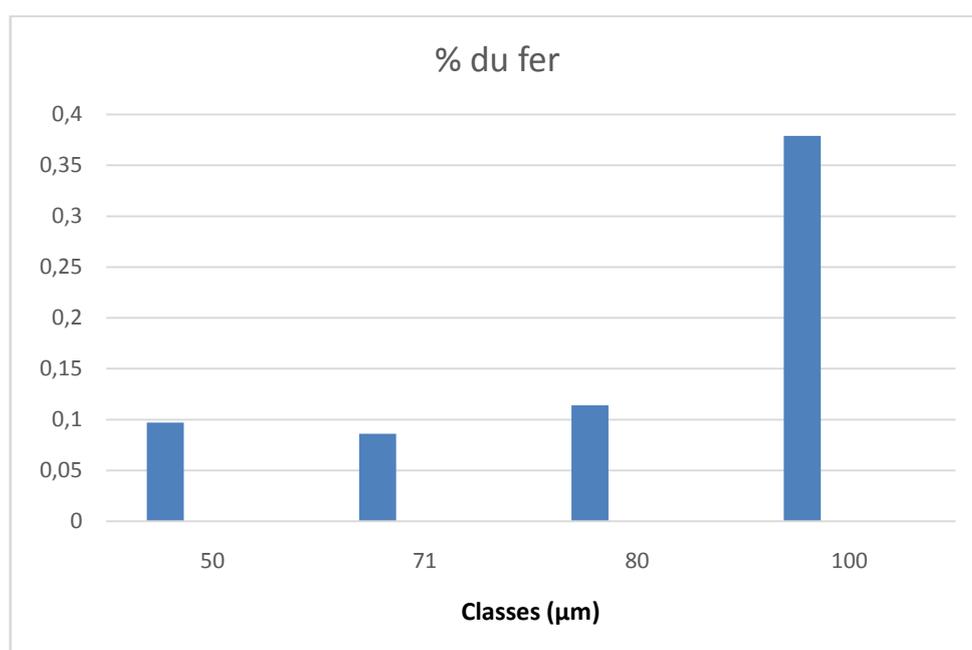


Figure 7-5 : le pourcentage du fer des différents produits de la flottation

VII.4.2 Interprétation des résultats :

- Les pourcentages de la silice et du fer ont considérablement baissés par rapport aux pourcentages avant la flottation.
- les pourcentages de la silice dans les produits de flottation sont presque identiques.
- les pourcentages de l'oxyde de fer dans les produits de la flottation sont presque identiques mis à part la classe +100 µm où sa teneur est plus importante.

VII.5 Diffraction des rayons x

La DRX constitue le meilleur moyen de l'identification des minéraux argileux, du groupe ou du sous-groupe structurale et dans le cas favorable celle des variétés. Néanmoins, la détermination des espèces est extrêmement difficile par la seule méthode DRX car il s'agit ici de différenciation d'ordre chimique et non physique. Tout corps cristallisé peut être analysé par DRX mais l'interprétation cristallographique des clichés est souvent très difficile dès qu'il ne s'agit pas d'une maille cristalline de symétrie très simple. En pratique, on se contente de comparer les spectres avec ceux des espèces minérales connues bien cristallisées qui servent de référence.

VII.5.1 Principe

La diffraction des rayons X consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde des rayons ($0.1 < \lambda < 10\text{nm}$) sur un échantillon argileux orienté ou non. Les radiations émises par les plans atomiques qui sont en phases vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté. Le rayonnement X est émis par un tube à rayons X constitué d'une anode métallique (Co, Cu) bombardé par un faisceau d'électrons produit par un filament chauffé.

Lorsque le rayonnement X rencontre des électrons, il est dispersé dans toutes les directions selon des fronts d'onde qui se propagent. Les rayons vont interférer entre eux et le faisceau diffracté mesuré constitue la résultante des interférences constructives. Après diffraction, on enregistre un spectre d'énergie du faisceau diffracté en fonction de l'angle de diffraction 2θ , on peut convertir les valeurs angulaires en espace basal d (Angströms) en appliquant la loi de Bragg. [13]

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

n : ordre de la diffraction.

d : espacement entre deux plans parallèles successifs du réseau cristallin.

λ : longueur d'onde de la source.

θ : angle entre le réseau incident et le réseau de plans.

VII.5.2 Mode opératoire

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X a été effectuée sur un diffractomètre destiné à la caractérisation d'échantillons plans polycristallins. Sa configuration est dérivée de celle de Debye-Scherrer. Il est équipé d'un détecteur courbe à localisation (INELCPS 120-Curved Position Sensitive Detector) au centre duquel est placé l'échantillon. Cette géométrie permet la réalisation de diffractogrammes sous incidence fixe.

Le diffractomètre est constitué d'une source de rayons X opérant sous 45kV et 40 mA, d'un monochromateur dissymétrique à lame de quartz pretaillée courbée et d'un détecteur courbé à localisation. Le rayonnement monochromatique utilisé a pour longueur d'onde $\lambda=1.54056$ nm ($K_{\alpha 1}$ (Cu))

La poudre est placée sur le porte échantillon de façon à former une surface la plus plane possible. Le porte-échantillon possède deux mouvements de rotation et un mouvement de translation. L'une des rotations permet le réglage de l'onde d'incidence, l'autre, régie par un moteur, fait tourner l'échantillon pendant l'acquisition autour d'un axe perpendiculaire à sa surface, assurant ainsi la répartition aléatoire de l'orientation des cristallites. Le mouvement de translation permet de positionner l'échantillon de telle sorte que sa surface intercepte le faisceau de rayon X incident sur l'axe de rotation du montage.

Les photons X diffractés dans un domaine angulaire 2θ d'environ 115° , sont enregistrés simultanément par le détecteur qui délivre alors un diagramme brut caractéristique de l'intensité diffractée reçue par chaque canal ($2\theta=0,01671^\circ$). Le diffractogramme final de l'intensité en fonction de l'angle de Bragg est obtenue après calibration du détecteur.[14]

VII.5.3 Résultats

L'analyse par DRX est effectuée sur les produits de la flottation (concentrés). Les diffractogrammes obtenus sont représentés sur les figures : 6, 7, 8 et 9.

Les résultats de la composition minéralogique sont obtenus par interprétation du diffractogramme en utilisant un logiciel spécial. On a eu les résultats sous forme HTML et les résultats sont représentés ci-dessous :

Classe +100 µm :

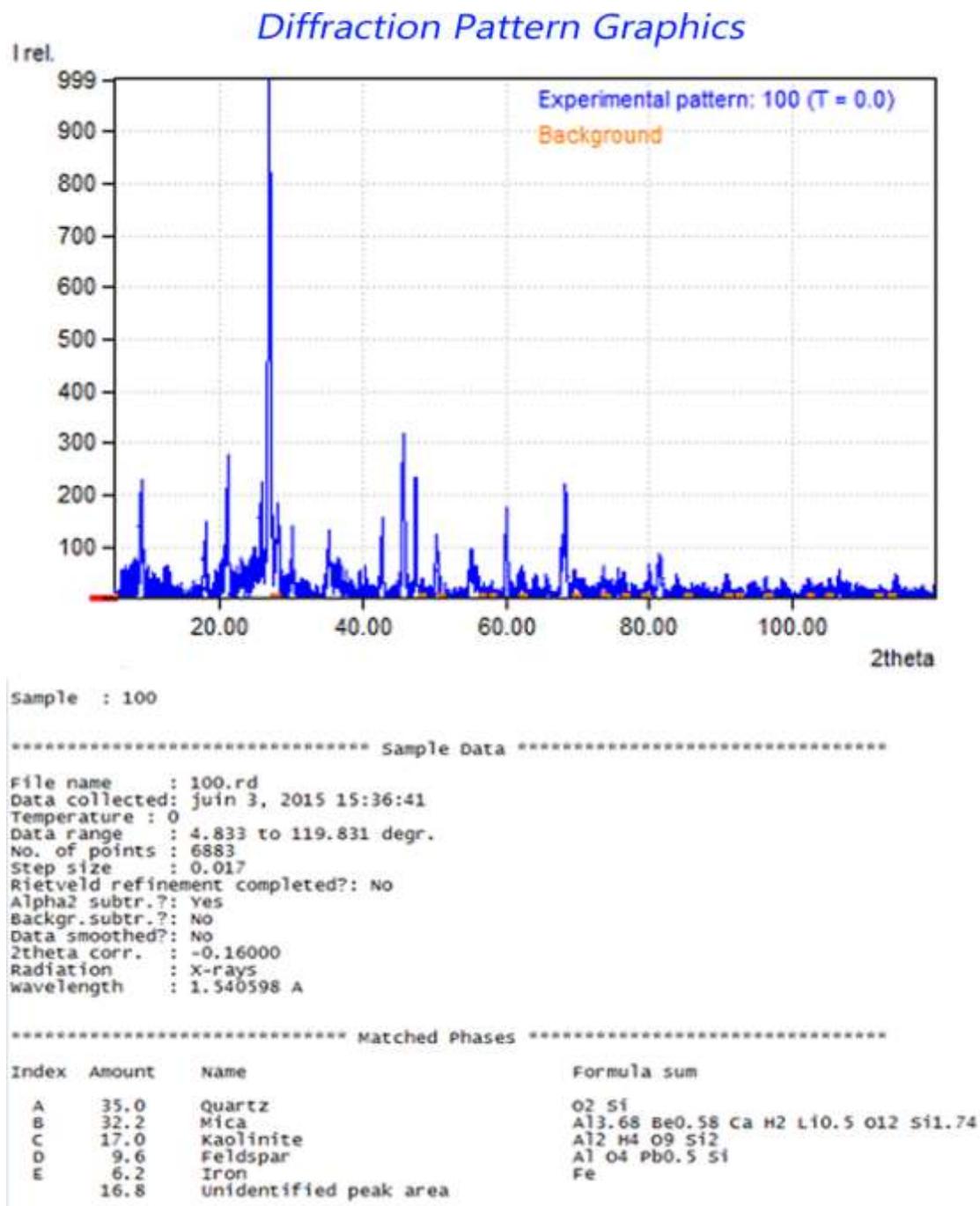


Figure 7-6: diffractogramme et composition minéralogique (classe +100 µm)

Classe +80 µm :

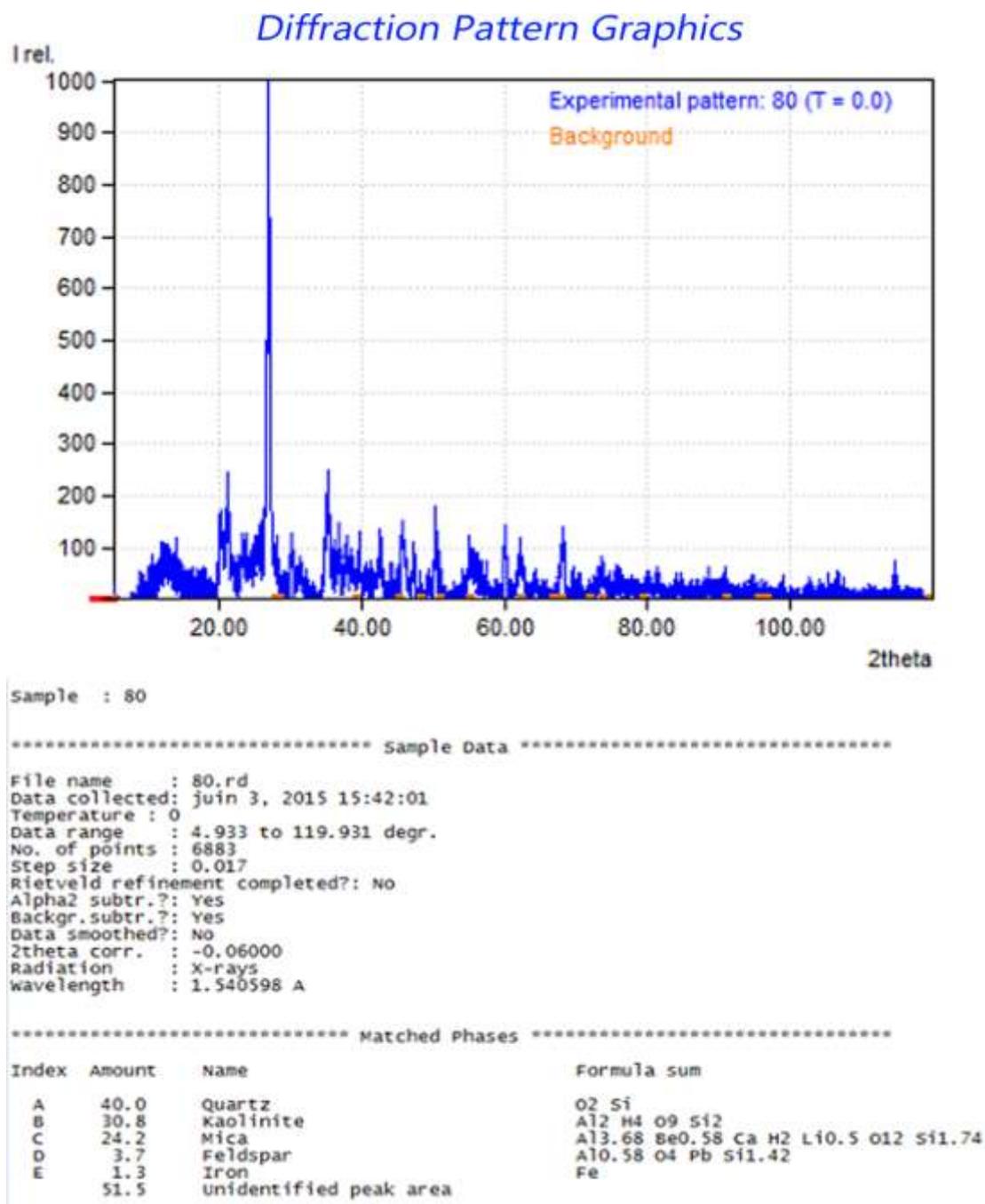
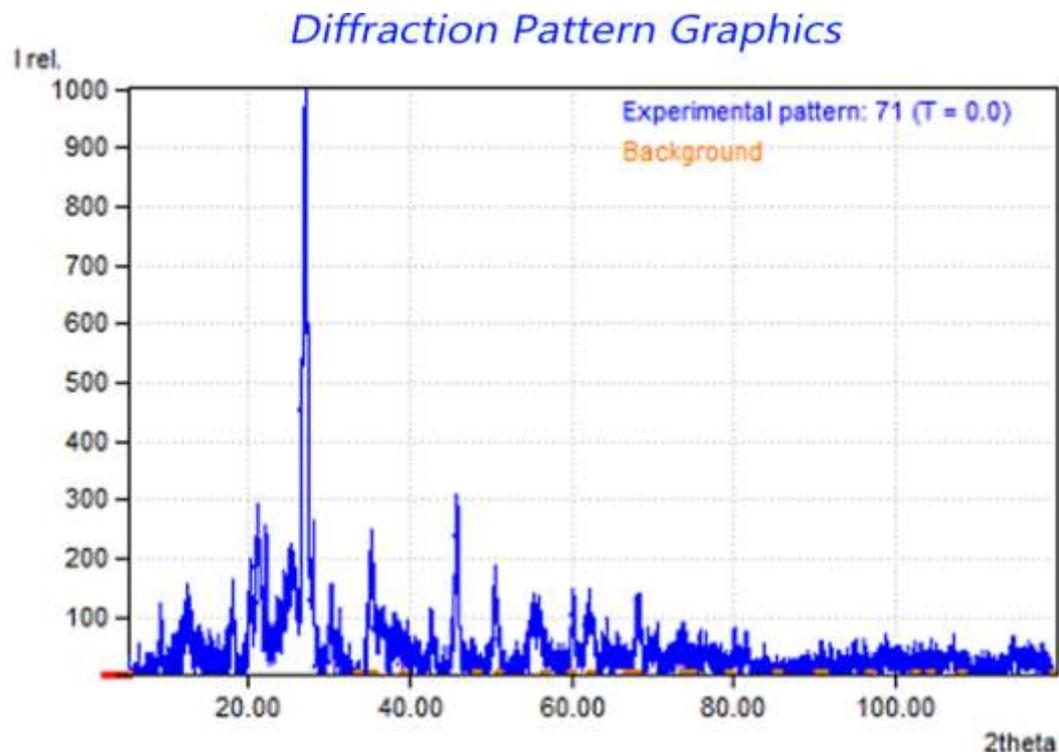


Figure 7-7 :diffractogramme et composition minéralogique (classe +80 µm)

Classe +71 μm :

Sample : 71

***** Sample Data *****

```

File name      : 71.rd
Data collected : juin 3, 2015 15:45:12
Temperature    : 0
Data range     : 4.943 to 119.941 degr.
No. of points  : 6883
Step size      : 0.017
Rietveld refinement completed?: No
Alpha2 subtr.?: Yes
Backgr.subtr.?: Yes
Data smoothed?: No
2theta corr.  : -0.05000
Radiation     : X-rays
wavelength    : 1.540598 A

```

***** Matched Phases *****

Index	Amount	Name	Formula sum
A	31.5	kaolinite	Al ₂ H ₄ O ₉ Si ₂
B	27.3	Mica	Al _{3.68} Be _{0.58} Ca H ₂ Li _{0.5} O ₁₂ Si _{11.74}
C	26.8	Quartz	O ₂ Si
D	12.5	Feldspar	Al O ₄ Pb _{0.5} Si
E	1.9	Iron	Fe
	26.8	Unidentified peak area	

Figure 7-8: diffractogramme et composition minéralogique (classe +71 μm)

Classe -50 µm :

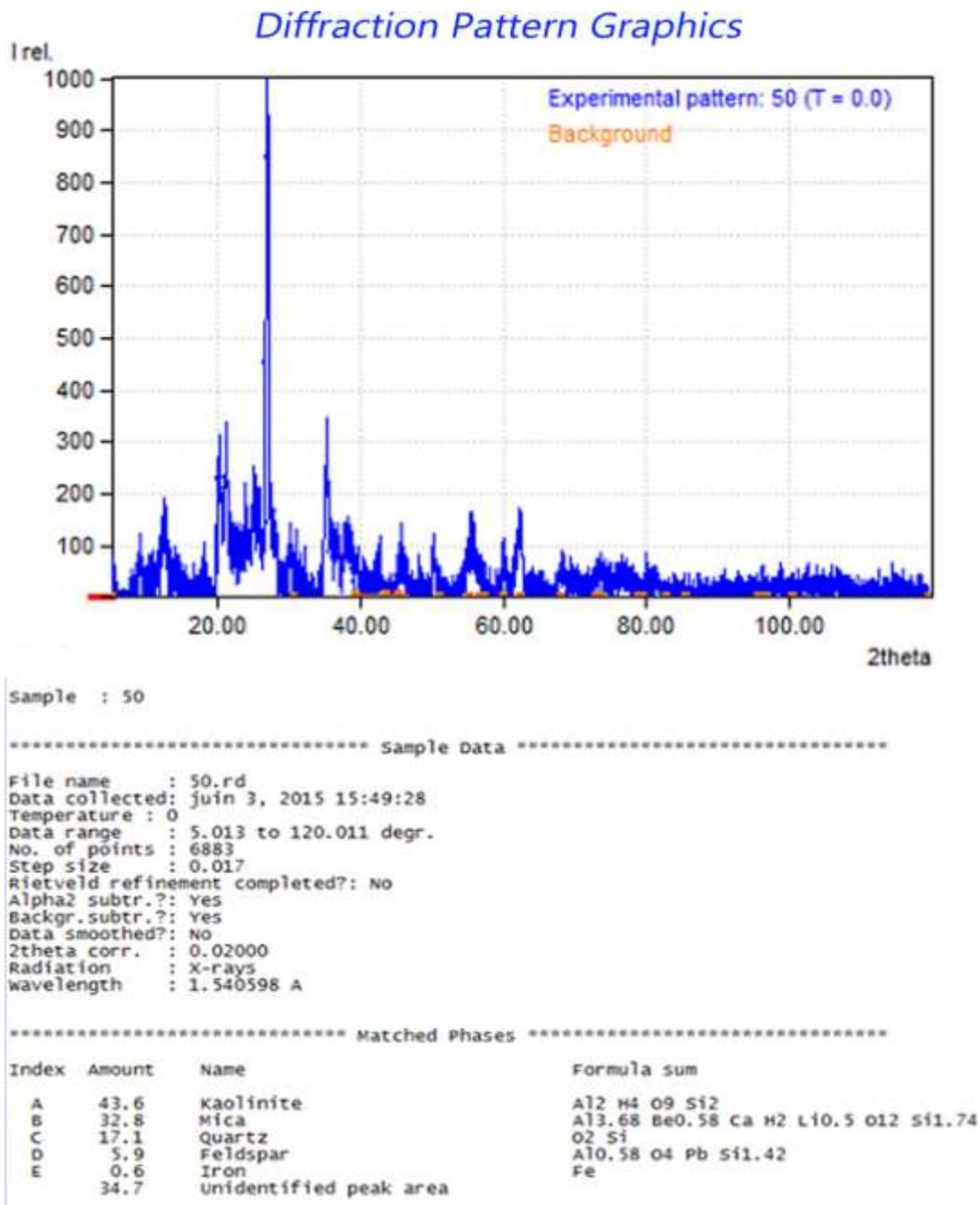


Figure 7-9: diffractogramme et composition minéralogique (classe -50 µm)

Classe	-50 μm	+71 μm	+80 μm	+100 μm
L'élément prépondérant après la flottation	Kaolinite	Kaolinite	Quartz	Quartz

Tableau 7-11 : les éléments prépondérants après la flottation pour chaque fraction granulométrique

	-50 μm	+71 μm	+80 μm	+100 μm
Kaolinite	43,6	31,5	30,8	17
Micas	32,8	27,3	24,2	32,2
Quartz	17,1	26,8	40	35
Feldspath	5,9	12,5	3,7	9,6
Fer	0,6	1,9	1,3	6,2

Tableau 7-12 : Pourcentages des différents minéraux après flottation

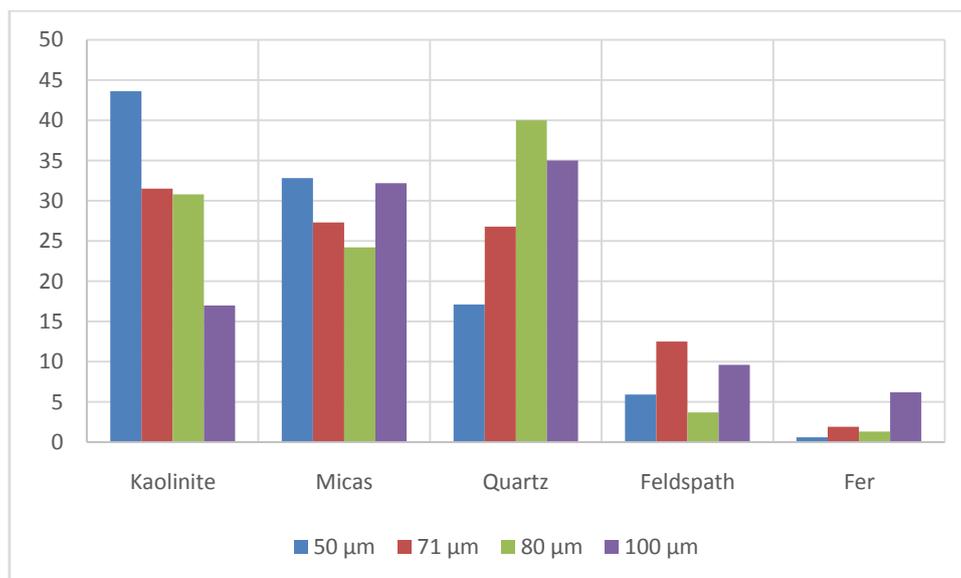


Figure 7-10 : Pourcentages des différents minéraux après flottation

VII.5.4 Interpretation des résultats

- Les diffractogrammes révèlent la présence de kaolinite, de quartz, des feldspaths et des micas, où le minéral prépondérant est différent d'un échantillon à un autre selon l'efficacité de la flottation (tableau 7-11).
- l'application de la flottation sur le KT1 en utilisant le protocole décrit dans la partie expérimentale est efficace pour les fractions granulométriques de moins de 80 μm puisque après cette opération la kaolinite est devenue l'élément prépondérant.
- Le quartz qui est l'élément prépondérant pour le KT1 et l'est aussi pour les fractions supérieures à 80 μm après la flottation.
- On enregistre le plus grand pourcentage des oxydes de fer dans la classe + 100 μm .
- Les pourcentages des micas sont relativement identiques pour les 4 classes.
- Pour les feldspaths les teneurs sont indépendantes de la distribution granulométrique.

VII.7 Conclusion

A l'issue de ce chapitre on a les différents résultats des méthodes utilisées pour la valorisation du kaolin de TamazertKT1, qui sont quantifiés à l'aide des analyses chimiques et minéralogiques.

Lors de la réalisation de la séparation magnétique, on a constaté que l'humidité influence sur l'efficacité de la méthode. La fraction qui a donné le meilleur résultat pour l'élimination des oxydes de fer est comprise entre] +200 μm ; +400 μm [

D'après les analyses chimiques, l'élimination du fer par flottation est efficace dans les fractions plus fines < 100 μm

D'après les analyses minéralogiques, les fractions granulométriques qui donnent les meilleurs résultats pour la teneur en kaolinite sont celles qui ont un diamètre inférieur à 80 μm .

D'après les différentes analyses appliquées sur les résultats de la flottation des quatre classes, la meilleure classe granulométrique est -50 μm :

- Le pourcentage de la kaolinite est plus élevé.
- Le pourcentage des impuretés (micas, quartz, feldspaths, oxydes de fer) est le moins important.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail fait partie d'un objectif global qui doit aboutir à une meilleure valorisation du kaolin de Tamazert pour les besoins de la céramique et la fabrication des biomatériaux.

Les réserves du gisement sont connues et la teneur du minerai évalué à 13 %, la société SOALKA utilise la méthode par voie sèche qui est axée sur la différence de densité des particules.

Dans cette étude il s'agit de mettre au point d'autres techniques d'enrichissement qui sont basées sur d'autres paramètres hors que la densité, en tenant compte des exigences de l'industrie céramique.

En premier lieu la recherche a consisté à la caractérisation physique et chimique, afin de procéder à des tests de valorisation adaptés au kaolin de Tamazert.

La caractérisation de tout venant(KT1) a montré que le kaolin de Tamazert contient beaucoup d'impuretés qui sont : les micas, le quartz, les feldspaths, les oxydes de fer.

Les essais effectués sur la séparation magnétique révèlent que l'humidité influence négativement sur la captation des minéraux magnétique (hématite)

Plusieurs essais de flottation ont été effectués pour éliminer les impuretés ; les micas sans flottés en utilisant l'aeropromoteur 830(un amide) avec un pH acide. Les feldspaths sont flottés en utilisant l'aeropromoteur 830 et l'aerofroth 76. Le quartz est éliminé avec l'amidon à un pH basique, enfin les oxydes de fer sont flottés avec l'acide oléique.

Après avoir appliqué quatre flottations successives, les impuretés sont éliminées à certaines proportions. Au fil de cette opération, on a pu mettre en évidence l'effet du broyage sur la flottation, les particules fines donnent un bon pourcentage de kaolinite.

Les résultats des analyses faites sur les produits de la flottation pour chaque fraction granulométrique ont montré que la fraction qui donne un bon produit et qui répond aux exigences de l'industrie céramique c'est celle qui est inférieure à 50 μm .

Références

- (1) Argiles et propriétés thermiques du sol
- (2) Les minéraux industriels façonnent notre univers **IMA-EUROPE**
- (3) **BOUKOFFA Mechat** ; Caractérisation géologique, géochimique et minéralogique du phénomène de kaolinisation L'exemple du gisement de Tamazert EL Milia
W.JJEL
- (4) Mpas of world, <http://fr.mapsofworld.com/>
- (5) **RABEHI Bahia** ; Evaluation des propriétés réfractaires et cimentaires du kaolin de Djebel Debbagh (2012/2013)
- (6) **Loudjhani Foued** Etude géologique Chaîne d'exploitation et de production du gisement d'El-Milia (1999)
- (7) **Audit environnemental** SOALKA 2014 / SPA El-Milia
- (8) **Dr.OuldHamou M.**, "Cours de Minéralurgie", Ecole Nationale Polytechnique d'Alger 2014
- (9) **MeïssaABABOU Isma OTMANE**, *Essais de valorisation de la pegmatite d'Abouda Bouada (Grande Kabylie) et du kaolin d'Adjarda (Jijel)*(2012)
- (10) **M.S. Prasad a, K.J. Reid" and H.H. Murray**; *Kaolin: processing, properties and applications* (1990).
- (11) **Harrat Mohamed** ; *Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique Etude sur site : unité Maghreb céramique de Touggourt* (2007).
- (12) Mining chemical shand book Cyanamid
- (12) **BOUKOFFA Mechat**; *Caractérisation géologique, géochimique et minéralogique du phénomène de kaolinisation, l'exemple du gisement de Tamazert El milia .W.jjel.*
- (13) **LALMI Kheir** ; *Etude par diffraction de RX de matériaux a base de kaolin de KT2 et DD*
- (14) **HELLAL Radia**, *Etude et caractérisation d'un réfractaire a base de K.T (Kaolin de Tamazert)*
- (15) **BAOUCHE Hakim, BENMAMMAR Samir** ; *Essais de flottation du kaolin de Tamazert dans le but de l'élimination des impuretés oxydes, Fe₂O₃, MnO et Cr₂O₃* (2005)
- (16) **CHERIFI Tahar, HARBI Kahina** ; *Analyses physico-chimiques des sous-produits du kaolin GW1 et GW2 du complexe* (2005/2006).