



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologie

# Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par :

Mlle AHFIR Lydia

## Thème

*Étude d'enrichissement du minerai de barytine  
de Boucaïd par l'application du procédé  
d'hydrocyclonnage et de flottation*

Soutenu le 03 /07 /2023 devant le jury composé de :

<b>Présidente</b>	Mme. BOUNAB .Samia	M.C.B	U.A.M.B
<b>Encadrant</b>	Mme. BOUZIDI Nedjima	Prof.	U.A.M.B
<b>Co-encadrant</b>	Mr. DJEZAIRI. Omar	M.A.A	U.A.M.B
<b>Examineur</b>	Mr. BOUABDALLAH Soufiane	M.C.B	U.A.M.B

## **REMERCIEMENTS**

**TOUT D'ABORD REMERCIONS DIEU TOUT PUISSANT QUI NOUS A GUIDÉ VERS  
LE DROIT CHEMIN.**

*Mes remerciements vont tout droit à mon Co-encadrent monsieur Dezairai. Omer et mon encadrante madame BOUZIDI. Ndjma pour m'avoir encadré avec patience et compétence et grande générosité tout au long des années de mes travaux de recherche. J'ai beaucoup apprécié ses précieux conseils, son soutien permanent, ses encouragements et surtout ses jugements, qu'il trouve ici le témoignage de ma sincère et grande reconnaissance.*

*Je remercie vivement tous les profès de l'université de Bejaia monsieur, Bouabedallah, et madame Bounab d'avoir accepté d'être président du jury*

*Mes vifs remerciements au personnel du Laboratoire des Mines de l'Université de Bejaia au personnel de Laboratoire de Technologie des Matériaux et du Génie des Procédés, Université de Bejaia, pour avoir réalisé les analyses DRX et FX. Mes sincères remerciements vont également à*

*Pièces de monnaie dans le laboratoire génie des procédés pour m'avoir accueilli dans son laboratoire, pour la réalisation des pastilles. Je tiens également à remercier le Professeur monsieur AYADEN, et BOUABDELLEH qui m'a aidé à la réalisation, pour m'avoir accueilli dans laboratoire de l'université de Bejaia ce qui m'a permis de réaliser des essais de l'hydrocyclone et la flottation sur mes échantillons de baryte.*

*Finalement, je remercie tous mes amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Au nom du Dieu le clément le miséricordieux*

*Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

- ✓ *Les plus chers au monde : ma mère et mon père qui m'ont accompagné durant toute ma vie et m'ont notablement encouragés à poursuivre mes études que Dieu les protège et les bénisse.*
- ✓ *Mes chers frères et mes chères sœurs, qui me soutiennent toujours*
- ✓ *Toute la grande famille AFFIR.*
- ✓ *Tous mes amis et collègues.*

## Sommaire

Liste des tableaux .....	I
Liste des figures .....	II
Liste des abréviations .....	III
Liste des symbole .....	IV
Introduction générale .....	1

### **CHAPITRE I : Analyse de la littérature scientifique sur minerais de barytine**

I. Introduction .....	3
I.1 la barytine .....	3
I.1.1 Définition .....	3
I.1.2 Apparition de barytine .....	4
I.1.3 Caractéristiques physico-chimiques .....	4
I.1.4 Production de barytine .....	5
I.1.5 La consommation de la barytine .....	6
I.1.6 Evaluation des prix de la barytine .....	7
I.1.7 les domaines d'Utilisations de la barytine .....	7
I.1.8 Cadre géographique et localisation géographique de la mine de Boucaid .....	9
I.2 Méthodes d'enrichissement de la barytine .....	11
I.2.1 Recherche actuelle sur la valorisation de la barytine .....	14
I.2.1.1 la séparation gravimétrique .....	14
I.2.1.2 la méthode de la nappe pelliculaire fluant .....	14
I.2.1.3 La méthode de l'accélération différentielle .....	15
I.2.1.4 travaux antérieurs sur la séparation gravimétrique de la barytine .....	16
I.2.1.5 La flottation .....	17

I.2.1.5.1 Définition .....	17
I.2.1.5.2 Principe de la flottation .....	17
I.2.1.5.3 Les réactifs de la flottation .....	18
I.2.1.5.4 Les réactifs collecteurs .....	18
I.2.1.5. 5 Les réactifs activant et déprimants .....	19
I.2.1.5.6 Les agents moussants .....	19
I.2.1.5.7 Les régulateurs du milieu .....	20
I.2.1.5.8 L'efficacité de la flottation .....	21
I.2.1.5.8.1 Les grosseurs des minerais à flottés.....	21
I.2.1.5.8.2 La densité de la pulpe de la flottation .....	22
I.2.1.5.8.3 Le régime des réactifs de la flottation.....	22
I.2.1.5.8.4 L'intensité de l'aération et de l'agitation de la pulpe ....	22
I.2.1.5.8.5 La température de la pulpe .....	22
I.2.1.5.8.6 L'influence du Ph .....	22
I.2.1.5.8.7 La durée de la flottation, le schéma de la flottation et le débit de la pulpe .....	23
I.2.1.5. 9 Travaux antérieurs sur la flottation de la Barytine .....	23
I.2.1.6 La séparation magnétique .....	26
I.2.1.6.1 La définition et le principe .....	26
I.2.1.7 La séparation électrostatique .....	27
I.2.1.7.1 La définition et le principe .....	27
I.2.1.7.2 Travaux antérieurs sur la séparation électrostatique de la Barytine ....	28
I.2.1.8 Le futur de l'enrichissement de la Barytine .....	28
Conclusion .....	30

## CHAPITRE II : Matériels et Méthodes

II.1 Caractérisation physiques-chimiques de la barytine de BOUCAID .....	31
II. 1.1 Analyses granulométriques .....	31
II.1.2 Caractérisation minéralogique par diffraction à rayon X .....	32
II.1.2.1 Définition de la DRX .....	32
II.1.2.2 Principe de fonctionnement .....	33
II.1.3 Caractérisations chimique par Fluorescence des rayons x .....	35
II.1.3.1 Définition .....	35
II.1.3.2 Principe de fonctionnement .....	36
II.2 Essai d'enrichissement de barytine de BOUCAID .....	37
II.2.1 l'échantillonnage .....	37
II.2.2 La préparation mécanique des échantillons .....	38
II.2.3 Concassage .....	39
II.2.4 Homogénéisation et Quartage .....	39
II. 2.5 Broyage .....	40
II.3 Essai d'enrichissement par hydrocyclonnage .....	41
II.3.1 Matériel utilisée .....	41
II.3.2 Application de l'essai par l'hydrocyclonnage .....	42
II.4 Essai d'enrichissement par flottation .....	43
II.4.1 Préparation de l'échantillon .....	43
II.4.2 Matériel utilisée .....	44
II.4.3 matériaux et réactifs de flottation .....	45
II.4.3.1 Les produits utilisés .....	45
II.4.3.2 Les réactifs utilisés .....	46
II.4.3.3 Préparation des réactifs .....	46

II.4.3.4 Protocole expérimental des essais .....	46
II.4.3.5 Les choix des facteurs .....	48

## **CHAPITRE III : Résultats et interprétation**

III.1 Résultats et interprétations .....	50
III.1.1 Résultats d'Analyse granulométrique après concassage .....	50
III.1.2 Réulte de l'essai d'enrichissement par l'hydrocyclone .....	52
III.1.2.1 Calcule de la concentration solide .....	52
III.1.2.2 Rendement massiques .....	53
a. Sousverse.....	53
b. Surverse.....	55
III.1.3 Analyses minéralogique et chimique .....	56
III.1.3.1 Caractérisation minéralogique par (DRX) .....	56
III.1.3.2 Analyse chimique par la fluorescence X(FRX) .....	57
III.1.4 Les résultats de l'essai d'enrichissement par la flottation.....	58
III.1.4.1 Analyses minéralogique et chimique.....	59
III.1.4.1.1 Caractérisation minéralogique par DRX .....	59
III.1.4.1.2 Caractérisations chimiques par XRF .....	59
Conclusion .....	60
<b>Conclusion générale</b> .....	61
<b>Références bibliographiques</b> .....	62



## Liste des figures

### **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

<b>Figure I.1</b> : Roches de barytine .....	4
<b>Figure I.2</b> : Localisation géographique de la mine de BOUCAID.....	10
<b>Figure I.3</b> : localisation des principaux types de gisements de Barytine dans le monde ...	11
<b>Figure I.4</b> : les méthodes d'enrichissement de la barytine .....	13
<b>Figure I. 5</b> : le principe de la concentration par la nappe pelliculaire fluant .....	15
<b>Figure I.6</b> : le comportement des particules sur une table a secousse selon leurs poids .....	15
<b>Figure I.7</b> : le cycle de jigage et le comportement des particules pendant le jigage.....	16
<b>Figure I.8</b> : fixation des particules hydrophobes aux bulles d'air .....	18
<b>Figure I.9</b> : Mode d'action d'un moussant .....	20
<b>Figure I.10</b> : L'effet du pH sur la flottation de la barytine du minerai siliceux à l'aide de l'acide oléique.....	23
<b>Figure I.11</b> : La séparation magnétique entre billes de fer et de céramique.....	27

### **CHAPITRE II : caractérisation physiques-chimiques**

<b>Figure II.1</b> : Opération de tamisage (au niveau de laboratoire).....	32
<b>Figure II.2</b> : Principe de fonctionnement de la diffraction par rayons X .....	34
<b>Figure II.3</b> : Diffractomètre a rayons X (niveau CRPC Bejaia). .....	35
<b>Figure II.4</b> : le principe de fonctionnement de diffraction par FX .....	36
<b>Figure II.5</b> : Spectromètre à fluorescence X (de marque SciAps).....	37
<b>Figure II.6</b> : Schéma représentatif de traitements par classificateur hydrocyclonnage .....	38
<b>Figure II. 7</b> : concasseur à mâchoire (laboratoire préparation mécanique) .....	39

## Liste des figures

<b>Figure II.8</b> : l'étape d'homogénéisation et quartage de minerai de la barytine (laboratoire préparation mécanique). .....	40
<b>Figure II.9</b> : broyeur à boulettes (de marque CE425 Kugelmuhle Ball mill).....	41
<b>Figure II. 10</b> : l'hydrocyclone de type de laboratoire.....	43
<b>Figure II.11</b> : Cellule de flottation de laboratoire .....	45
<b>Figure II.12</b> : Protocole expérimental de la flottation.....	47
<b>Figure II.13</b> : Méthode de filtrage et séchage par la flottation de laboratoire .....	48

### **CHAPITRE III : Résultats et discussion**

<b>Figure III.1</b> : Courbe d'analyse granulométrique apres concassage.....	51
<b>FigureIII.2</b> : variation de % solide dans la matière en fonction de la pression .....	52
<b>Figure III. 3</b> : la méthode de filtrage et de séchage au niveau de laboratoire. ....	54
<b>Figure III.4</b> : histogramme de résultats de concentration en matière solide récupérer dans la sousverse .....	54
<b>Figure III.5</b> : résultats de matière solide dans la surverse.....	55
<b>Figure III.6</b> : Analyse semi-quantitatif des minéraux pour la pression 0.5 bar Sousvers. .	56
<b>Figure III.7:</b> Diffractogramme par rayon X pour l'échantillon 0.5 Sous verse.....	56
<b>Figure III.8</b> : Résultat du bilan massique des essais de flottation .....	59

## Listes des tableaux

### CHAPITRE I : : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation

<b>Tableau I.1</b> : Principales propriétés de minerai de baryte .....	5
<b>Tableau I.2</b> : La production mondiale de la barytine.....	6
<b>Tableau I.3</b> : Consommation mondiale de la barytine.....	7
<b>Tableau I.4</b> : Evaluation des prix de la barytine selon la qualité sur le marché mondial ..	7
<b>Tableau I.5</b> : méthodes d'enrichissement de la barytine .....	13
<b>Tableau I.6</b> : Les collecteurs utilisés en flottation de la Barytine .....	19
<b>Tableau I.7</b> : Les réactifs modificateurs largement utilisés en flottation de la Barytine ...	21
<b>Tableau I.8</b> : La composition du concentré barytique obtenu lors de la flottation du minerai brut de Kremikovtzi (Bulgarie) .....	25

### CHAPITRE II : Matériel et Méthode

<b>Tableau II.1</b> : Temps de remplissage des d récipient avec les différentes pression choisis .....	44
<b>Tableau II.2</b> : Réactifs de flottation utilisés .....	46
<b>Tableau II. 3</b> : Variation des facteurs étudiés.....	48

### CHAPITRE III : Résultats et discussion

<b>Tableau III. 1</b> : Résultats d'analyses granulométriques après concassage de minerai de Baryte.....	50
<b>Tableau III.2</b> : Résultats de concentration en matière solide .....	52
<b>Tableau III. 3</b> : Résultats de concentration en matière solide dans la sousverse .....	53
<b>Tableau III.4</b> : résultats de concentration en matière solide dans la surverse.....	55
<b>Tableau III.5</b> : résultats d'analyses minéralurgiques par DRX.....	57
<b>Tableau III.6</b> Résultats d'analyse chimique FRX pour l'ensembles des échantillons .....	58
<b>Tableau III.7</b> : Résultats d'analyses par le procédé de flottation .....	58



## Listes des abréviations

**I** : L'imperfection

**PF** : probabilité de flottation

**PC** : probabilité de collision

**PA** : probabilité d'adhésion

**PS** : probabilité de rupture de l'agrégat.

$\gamma_{SG}$  : tension superficielle solide-gaz

$\gamma_{LG}$  : tension superficielle liquide-gaz

$\gamma_{SL}$  : tension superficielle solide-liquide

**Re** : Nombre de Reynold

**AG** : Analyse granulométrique

**DRX** : Le diffractomètre des rayons X

**FRX** : La fluorescence des rayons X

**MEB** : Le Microscope Electronique à Balayage

**SAA** : Spectrométrie d'absorption atomique

**LTMGP** : laboratoire techniques matérielle génie des procédés

**CRPC** : center de recherche et d'analyses physiques-chimiques

$C_c$  : Facteur de courbe

$C_U$  : Facteur d'uniformité

***INTRODUCTION GENERALE***

# INTRODUCTION GENERALE

## **Introduction générale**

Dans le monde de la recherche et actuellement pour ce qui concerne le domaine de la spécialité minière ainsi que l'enrichissement des minéraux utiles le but primordial est de trouver des procédés de traitement aussi fiables qu'efficaces afin de développer le monde industriel dont le vif de cette recherche est plutôt une exploitation rationnelle des minéraux dans un contexte éco-environnementale durable [1].

La Barytine est l'un des minéraux industriels importants. De par ses diverses applications, de par ses importantes réserves et son intensive exploitation, celle-ci contribue largement au développement économique et industriel du pays. Le domaine d'utilisation de ce minerai est potentiellement polyvalent, du forage pétrolier, à l'hydraulique, à l'industrie des batteries et aux industries chimiques (telle que peinture et recouvrement) et même à la radioscopie. En outre, il peut être aussi utilisé comme capteur de gaz pour les tubes à vide, comme lubrifiant (additif), comme matière de charge et même comme colorant pour les papiers [1].

A l'échelle économique mondiale, la Baryte occupe une place imposante et primordiale parmi les différents minéraux industriels que compose la croûte terrestre et en vue de toute cette large utilisation et suite aux rapports économiques mondiaux la demande de la Baryte ne cesse d'augmenter de façon exponentielle. A cet effet, l'industrie minière dans notre pays s'occupe sincèrement de l'exploitation de ce minerai retrouvé dans plusieurs gisements disposant d'importantes réserves en Barytine dont nous citons parmi ces gisement Boucaid (Tissemsilt) [2].

Ainsi, les connaissances intimes des différents composants de ces minerais sont nécessaires pour l'orientation du choix des traitements à prévoir, ces traitements sont beaucoup plus des traitements d'exploitation et de valorisation. Le développement des méthodes expérimentales aux seins des laboratoires permet la pratique et la réalisation de nombreuses expérimentations venant justifier les résultats des concepts théoriques et de donner un renforcement et un appui aux travaux antérieurs portant sur l'enrichissement des minerais [3].

L'objectif de notre travail est de réaliser des essais d'enrichissement du minerai Barytine de BOUCAID (Tissemsilt), par deux procédés distincts à savoir : l'enrichissement par hydrocyclonnage et par flottation. Sur ce et suite à notre estimation le mémoire est structuré en trois chapitres comportant une partie d'étude bibliographique débutée par une introduction et achevée par une conclusion générale.

## INTRODUCTION GENERALE

- ✓ Après une introduction générale, le premier chapitre est totalement consacré aux généralités sur le minerai Barytine : son domaine d'utilisation, les réserves et la production, les propriétés pétrographiques, minéralogiques et physico-chimiques sont aussi détaillées, ainsi que généralité sur les procédés d'enrichissement de barytine (sous former des exemples connus traité le minerai de barytine).
- ✓ Le deuxième chapitre, nous avons saisi les matériels et méthodes qui composée en deux partie l'une qui représente englobe une littérature bibliographique sur les méthodes de caractérisation physiques-chimiques, Parmi ces caractérisations, nous citons :
  1. L'Analyse Granulométrique (AG)
  2. La Fluorescence X (FRX)
  3. La Diffraction des Rayons X (DRX).

Et la deuxième partie représente essai d'enrichissement de barytine de Boucaid, localisation de la mine, l'échantillonnage et préparation de l'échantillon (concassage, homogénéisations et quartage, broyage et tamisage).

- ✓ Le troisième chapitre concerne les résultats et interprétations sur les analyses granulométriques, et les résultats obtenus après l'hydrocyclonnage des différents échantillons après finalisation des essais et tests de caractérisations ainsi que leurs interprétations, ainsi que les analyses quantitatives et qualitatives par les différentes techniques (DRX, FRX).

Et aussi les résultats concernent la description du procédé et des réactifs de flottation ainsi que le matériel utilisé (préparation des réactifs et les résultats obtenus).

Nous terminons notre travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

## *Chapitre I*

*Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation*

# **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

## **I. Introduction**

La barytine est un sulfate de baryum naturel largement utilisé dans différents secteurs industriels pour ses propriétés particulières : densité élevée, neutralité chimique, blancheur, Absence d'abrasivité.

Les produits les plus purs alimentent les secteurs de la chimie et des charges ; les grandes quantités, aux spécifications moins exigeantes sont consommées en forages. La barytine est utilisée à des fins industrielles depuis le milieu du siècle dernier. Aujourd'hui elle est utilisée principalement par l'industrie pétrolière comme additif à forte densité pour les boues de forage. Les autres utilisations se trouvent dans les-applications chimiques et comme charges minérales dans certains produits : peintures, plastiques, caoutchouc, bétons, plaquettes de freins et disques d'embrayage...

Dans ce chapitre nous allons présenter des généralités sur la barytine et les différents procédés d'enrichissements de minerai de la barytine par procédé physico-chimiques.

### **I.1 la barytine**

#### **I.1.1 Définition**

La barytine est une espèce minérale composée de sulfate de baryum, sa formule chimique est  $BaSO_4$  avec des traces de Sr, Ca et Pb. Est de couleurs blanc, incolore, gris, brun, bleu ou rouge qu'on retrouve dans les roches sédimentaires, ignées et métamorphiques. Elle est composée de 65,7 p. 100 d'oxyde de baryum (BaO) et 34,3 p. 100 de trioxyde de soufre (SO<sub>3</sub>).

Son nom dérive du mot grec « barns » qui signifie lourd. Les allemands le mot « scbwerspost » « spath pesant). En anglais on trouve les termes de « bey spar », « barite » ou « barytine » [4].

Ce minéral, d'origine hydrothermale, présente de nombreuses variétés. Sa densité et le baryum qu'il contient sont les causes principales de ses utilisations industrielles et plusieurs millions de tonnes de barytine sont extraits et produits chaque année.

L'emplacement de la barytine dans le tableau périodique est dans la sixième ligne de la se couche « L » numéro [5].



**Figure I.1 : Roches de barytine [4].**

### **I.1.2 Apparition de barytine**

La barytine se présente souvent sous forme de concrétions et de cristaux remplissant les vides dans les sédiments et les roches sédimentaires. Il est particulièrement courant sous forme de concrétions et de remplissages de veines dans le calcaire et la dolomie. Là où ces unités de roche carbonatée ont été fortement altérées, de grandes accumulations de barytine se trouvent parfois au contact sol-roche. De nombreuses mines commerciales des barytines produisant à partir de ces dépôts du résiduel minérale de la gangue associée aux veines de minerai sulfuré. On le trouve en association avec des minerais d'antimoine, cobalt, le cuivre, de plomb, de manganèse et d'argent. Dans quelque endroit, la barytine est déposée sous forme d'aggloméré dans des sources chaudes.

### **I.1.3 Caractéristiques physico-chimiques**

Ce minéral cristallise généralement sous forme de cristaux aplatis, parfois lamellaires. Sa couleur est variable car bien que parfois incolore, il peut aussi être blanc-grisâtre, jaunâtre ou brunâtre, parfois un peu teinté de rouge, vert ou bleu, parfois zoné ou changeant de couleur selon l'exposition à la lumière. Ces cristaux ont un éclat vitreux, parfois résineux. Le trait de la barytine est blanc. Ce terme de la barytine est une dénomination d'usage courant dans commerce et l'industrie. Le sulfate de baryum naturel désigne une espèce minérale bien défini  $BaSO_4$ . la baryte contient 65,3% de  $BaO$  et 34,3% de  $SO_3$  [6].

Au chalumeau, la barytine décrépète et fond à 1 580 °C en colorant la flamme en vert jaune. Elle est soluble dans l'acide sulfurique concentré, à chaud, et dans l'acide iodhydrique.

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

La barytine peut parfois émettre une fluorescence ou une phosphorescence de couleur crème lorsqu'elle est excitée par des rayonnements ultraviolets. Elle est de plus parfois thermo luminescente » [7] [8].

Le tableau ci-dessus résume les propriétés physiques de la barytine ;

**Tableau I.1** : Principales propriétés de minerai de baryte [4].

<b>Identification</b>	
Masse formulaire	Ba 58,84%, O 27,42, S 13,74%
Couleur	Incolore, parfois blanc, jaune et rarement d'autres couleurs (violée, verdâtre, bleuâtre)
Classe cristalline et groupe d'espace	Dipyramidale pnma
Système cristallin	Orthorhombique
Réseau de bravais	Primitif P
Clivage	La barytine grossière constitue divers agrégats, en général clivables.
Cassure	Irrégulière, conchoïdale
Habitus	Cristaux aplatis selon, parfois lamellaires
Dureté	3 à 3.5 sur l'échelle de Mohs
Trace	Blanche
Eclate	Vitreux à résineux
<b>Propriétés optiques</b>	
Indice de réfraction	$\alpha = 1.634-1.637$ $\beta = 1.636-1.638$ $\gamma = 1.646-1.648$
Pléochroïsme	Incolore
Biréfringence	$\Delta = 0.012$ ; biaxe positif
Dispersion	$2\nu_z - 36 - 38^\circ$
Fluorescence ultraviolet	La baryte n'est pas ou très peu fluorescente, par contre, chauffée, elle devient luminescente
Transparence	Transparent, translucide à opaque
<b>Propriétés chimiques</b>	
Densité	4.48
Température de fusion	Décomposition ; 1600 °c
Fusibilité	Fond à la flamme et donne une boule blanche
Solubilité	Soluble dans H1, dans H2SO4 concentré chaud
Comportement chimique	Colore la flamme en rouge carmin
<b>Propriétés physiques</b>	
Magnétisme	Aucun
Radioactivité	Aucune

### **I.1.4 Production mondiale de barytine**

L'industrie pétrolière et gazière est le principal utilisateur de barytine dans le monde. Là. Il s'agit d'une industrie en croissance, car la demande mondiale de pétrole et de gaz naturel est en augmentation à long terme. De plus, la tendance de forage par baril de pétrole produit.

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

Cela a fait augmenter le prix de la barytine. Les niveaux de prix en 2012 étaient de 10 à 20 % supérieurs à ceux de 2011 sur de nombreux marchés importants. Le prix typique de la barytine de boue de forage est d'environ 150 \$.la tonne métrique à la mine. Les substituts de la barytine dans la boue de forage comprennent la Célestine, l'ilménite, le minerai de fer et l'hématite synthétique. Aucun de ces substituts n'a été efficace pour remplacer la barytine dans une zone de marché majeure. Ils sont trop chers ou ne sont pas compétitifs.

La chine et l'inde sont les principaux producteurs de barytine et possèdent également les plus grandes réserves. Les Etats –unis ne produisent pas assez de barytine pour reprendre à leurs besoins intérieurs. En 2011, les états –unis ont produit environ 700000 tonnes métriques de barytine et importé environ 2300000 tonnes métriques [9]. Le tableau ci-dessus résulte la production mondiale de la barytine.

**Tableau 1.2 : la production mondiale de la barytine [10].**

	<b>production mondiale (Kilotonne/année)</b>			
<b>Pays</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Etats unis	425	316	334	480
Chine	3000	2800	3200	3200
Inde	700	1000	1560	2000
Iran	300	400	550	550
Kazakhstan	300	300	620	620
Mexique	266	250	360	400
Maroc	1000	700	950	1000
Pakistan	122	120	106	110
Russie	210	210	221	220
Thaïlande	171	170	148	150
Turquie	300	250	200	290
Vietnam	100	100	-	-
Les autres pays	520	520	418	460
Totale du monde	7410	7140	8670	9500

### **I.1.5 La consommation mondiale de la barytine**

Globalement, 80 % de la barytine est utilisé pour le forage pétrolier (boues lourds), 10% en charge minérale (peintures, plaquettes de frein) et en maçonnerie (briques barytine et béton lourd, 10 % en produits chimiques barytés (essentiellement verres spéciaux) et forage. Le tableau suivant présente les principaux pays consommateurs de barytine en 2017.

Le tableau ci-dessus résulte la consommation mondiale de la barytine.

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

**Tableau 1.3 :** Consommation mondiale de la barytine [11].

<b>Pays</b>	<b>Consommation annuelle en (kilotonnes)</b>
Chine	1450
Etats-Unis	1910
Pays de golf	1650
Amérique du sud	470
Inde	350
Russie	380
Afrique	340
Iran	250
Union européen	780
Totale du Monde	8000

### **I.1.6 Evaluation des prix de la barytine**

Les prix pratiques sont très variables et dépendent de la qualité du matériau et des procédés de transformation plus ou moins avancés utilisés pour répondre aux besoins des consommateurs [12].

Pour la barytine utilisée dans les boues de forage, le prix de base par tonne varie entre (130 à 170) dollars/ tonne. La barytine utilisées dans diverses industries (mastic plastique, béton lourd) se négocie entre (160 à 180) dollars/tonne.

La barytine est utilisée comme charge dans les peintures (granulométrie 350 micromètres, teneur en BaSo<sub>4</sub> 96-98%), ainsi que dans l'industrie chimique. Elle est vendue entre (315 à 400) dollars/tonne. Le tableau (I.4) résulte l'évaluation des prix de la barytine selon la qualité sur le marché mondial.

**Tableau 1.4 :** Evaluation des prix de la barytine selon la qualité sur le marché mondial [12].

<b>Utilisation</b>	<b>Forge</b>	<b>Produits chimique</b>	<b>Charge minérale</b>
<b>Année</b>	<b>Prix (\$/tonne)</b>	<b>Prix (\$/tonne)</b>	<b>Prix (\$/tonne)</b>
2000	40 à 50	75 à 85	220
2014	109 à158	160 à 180	235 à 400
2019	145 à 168	180 à 200	270 à 400

### **I.1.7 Les domaines d'utilisations de la barytine**

Les utilisations industrielles de la barytine sont basées sur sa densité, sa stabilité chimique, sa blancheur et son abondance relative dans la nature.

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

### **➤ Charge minérale**

La barytine est utilisée dans le papier, les plastiques, les peintures, les vernis. Dans l'industrie pétrolière, elle est employée comme boue lourde pour augmenter la densité des fluides de forages et éviter les fuites des gaz. Les boues de forage sont des milieux fluides complexes Constitués d'eau ou d'huile, de produits chimiques et de minéraux en suspension. La boue injectée dans les forages, doit être capable de faire remonter correctement à la surface les débris de roche produits au fond du trou. Elle assure le refroidissement et la lubrification des outils dans le forage. Elle assure aussi l'imperméabilisation Et la stabilité des parois du trou.

### **➤ Absorbeur de rayons gamma**

Elle peut également entrer dans la composition du béton afin d'augmenter considérablement sa densité et son impénétrabilité aux rayons gamma. Ce type de béton est généralement utilisé pour la construction de bâtiments servant pour des tirs radiologiques, ou certains bâtiments des centrales nucléaires.

En peinture automobile, la barytine entre comme charge dans les couches d'apprêt pour contribuer à l'aspect lustré de la dernière couche ;

La barytine entre dans la composition des plastiques et caoutchoucs des dessous de moquettes et de certaines carpettes et dans les éléments plats insonnants pour l'industrie automobile ; Dans l'industrie papetière, la barytine est utilisée comme support des couches sensibles pour impressions photographiques.

### **➤ Source de dérivés du baryum**

La barytine est l'une des principales sources de baryum. Opaque aux rayons X, ce produit toxique est utilisé en médecine, sous une forme insoluble peu dangereuse (sulfate de baryum), pour visualiser le cheminement du bol alimentaire dans le tube digestif. Il permet ainsi de mettre en évidence des fausses routes ou des fistules.

Le baryum sert aussi de base pour la composition de certains pigments comme le « jaune de baryum » ou « jaune de baryte ». Peut-être pour éviter d'évoquer la toxicité du baryum, ce pigment est parfois improprement dénommé « jaune d'outremer », les outremer étant normalement obtenus à partir d'aluminium et de silicium. Le jaune de baryum est composé de chlorure de baryum, de bichromate de potassium et de sodium-. Ce pigment a été créé par Leclair et Barruel au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Il ne semble plus utilisé du fait de sa toxicité et de

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

sa tendance à verdir peu à peu lorsqu'il est exposé à la lumière. Il présenterait aussi des incompatibilités avec certaines couleurs.

La barytine permet aussi la production de carbonate de baryum ( $\text{BaCO}_3$ ), utilisé dans la fabrication de verre (télévision, optique) le verre des écrans des tubes cathodiques, les verres optiques, les verres anti rayonnement, les vernis céramiques. Il est aussi utilisé dans la fabrication des produits en terre cuite tels que les tuiles et briques, afin de contrôler les effets dus à la présence de gypse ou de sulfate de magnésium, pour diminuer la porosité et prévenir la décoloration.

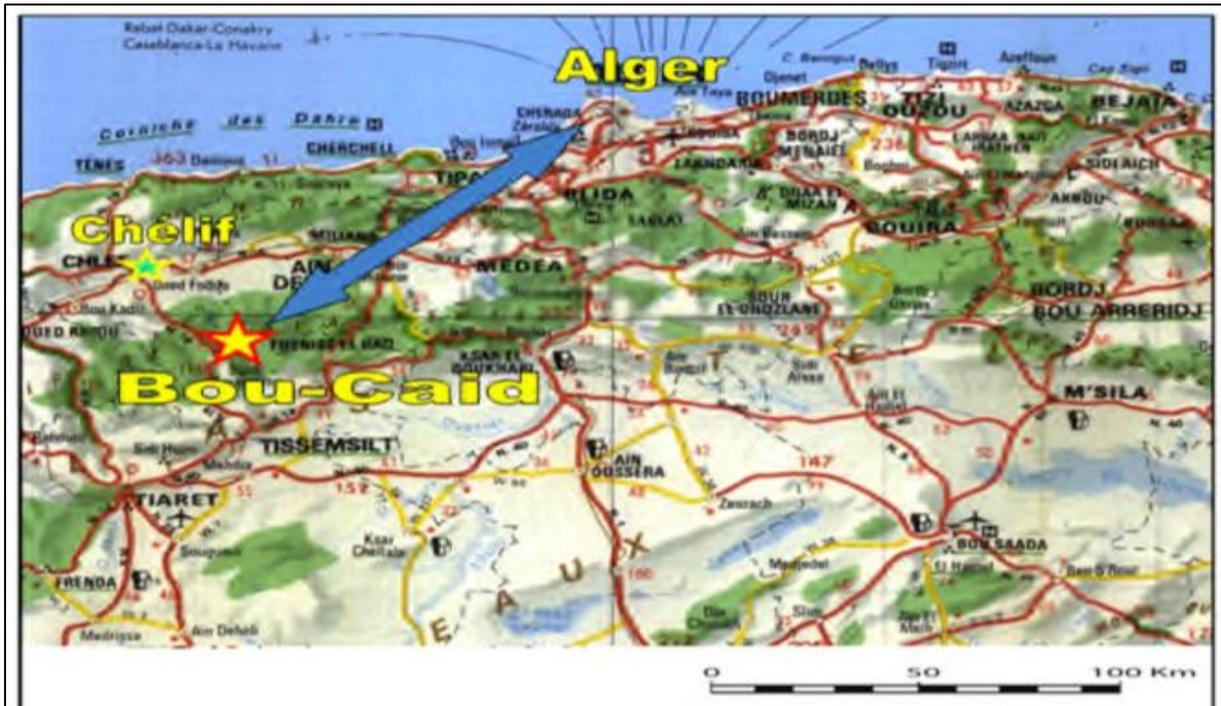
Les composées de barytine sont également utilisées dans les tests médicaux diagnostiques. Si un patient boit une petite tasse de liquide recouvrira l'œsophage du patient. Une radiographie de la gorge prise immédiatement après la « déglutition barytée » donnera une image des tissus mous de l'œsophage (qui sont généralement transparents aux rayons X et bloque leur passage. Un « lavement baryté » peut être utilisé de la même manière pour visualiser la forme du côlon.

### **I.1.8 Cadre géographie et localisation géographique de la mine de Boucaid**

La barytine est considérée comme l'un des matériaux les plus exploitables au monde, de nombreuses mines algériennes s'intéressent à l'extraction de ce minerai ; ainsi, la mine de BOUCAID (province de TISSEMSILT) fait l'objet de cette exploitation. A partir de cette mine, on précisera sa localisation géographique.

L'unité de BOUCAID est située à 250 Km au sud-ouest de la capitale Alger et à 70 Km au nord-Est de la capitale de TISSEMSILT (figure I.2).

## CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation



**Figure I.2:** carte géographique de la mine de BOUCAID [13].

L'origine de La barytine qui est un minéral omniprésent dans de très vastes formations géologiques, aussi bien dans les socles que dans les bassins sédimentaires. Les gisements de barytine peuvent être classés dans les quatre groupes suivants en fonction des propriétés physiques, des propriétés géochimiques : dépôts sédimentaires (sédiments- sédimentaires), volcaniques (volcaniques lignés), veines (remplissage de cavités) et dépôts résidu [14].

Cette classification est similaire aux classifications précédentes [15], mais a été quelque peu modifiée pour tenir compte des sédiments récemment découverts et des résultats d'études géologiques récentes. Les emplacements ou les régions de gisements qui sont relativement grands ou représentatifs des quatre groupes sont illustrés à la figure (I.3).

De nombreux autres gisements sont également identifiés, exploités ou non [16].

## CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation

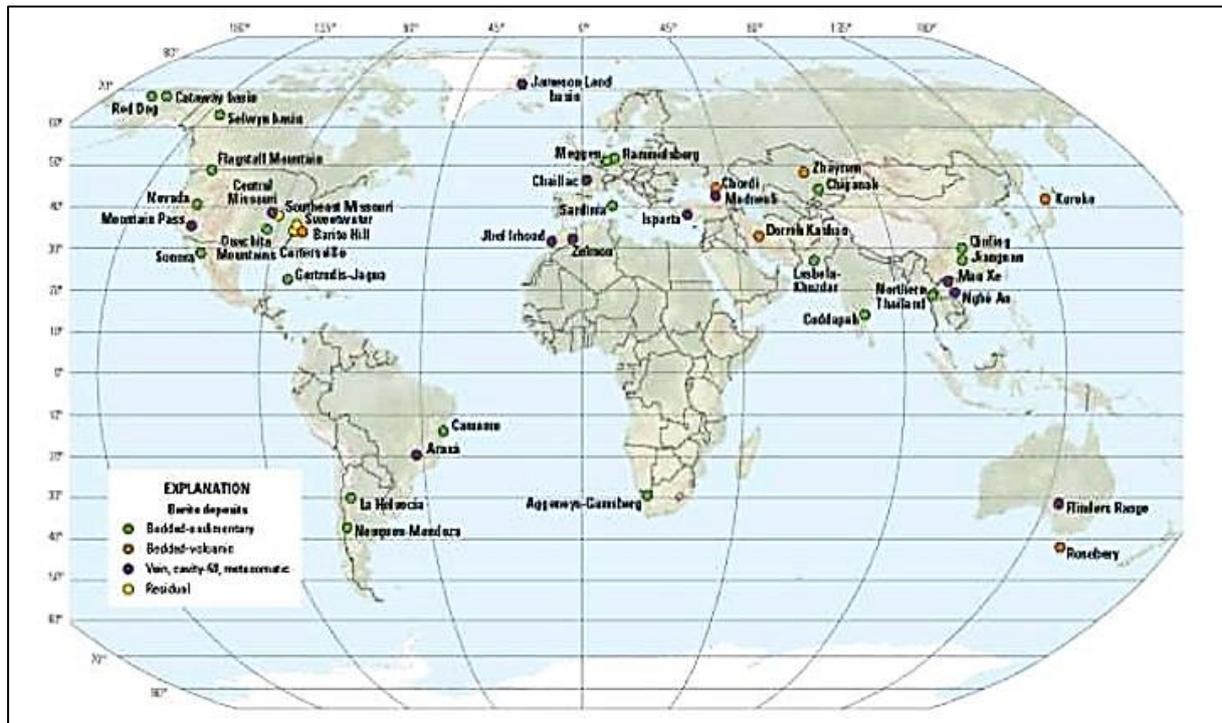


Figure I.3 : localisation des principaux types de gisements de Barytine dans le monde [15].

### I.2 Méthodes d'enrichissement de la barytine

La pratique du traitement des minéraux est aussi la minéralurgie consiste à séparer les différents minerais contenus dans un minerai pour collecter sa partie utile. Pour ce faire, le minerai subit différents procédés de traitement impliquant des techniques physiques et chimiques. Il sera ensuite prêt à être traité par voie métallurgique (traitement thermique et chimiques) afin d'obtenir métaux et alliages.

La barytine est largement utilisée dans les différents secteurs industriels pour ses propriétés particulières. Son usage principal est comme additif de forte densité pour les boues de forage dans l'industrie pétrolière, mais on l'emploie aussi dans l'industrie chimique pour la production de divers composés de baryum et comme charge minérale. Le développement significatif de ces industries les dernières années a entraîné une augmentation rapide de la demande de barytine en quantité et en qualité. L'état actuel de la production de cette matière à haute teneur ne peut développer des gisements de barytine qui génère la nécessité de les valoriser pour améliorer la qualité du concentré obtenu répondant ainsi aux exigences techniques pour les consommateurs.

La plupart des minerais de valeur (métalliques et industriels) sont évalués en fonction de leur pureté. Après libération par réduction et contrôle de taille (concassage, broyage), tous

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

les minerais peuvent être séparés chacun d'eux à part. En fonction de leurs propriétés, ils peuvent être séparés par différentes méthodes de traitement (la séparation gravimétrique, la flottation, séparation électrostatique, les méthodes chimiques). La figure ci-dessus résulte les différentes méthodes d'enrichissement des minerais de barytine à travers le monde.

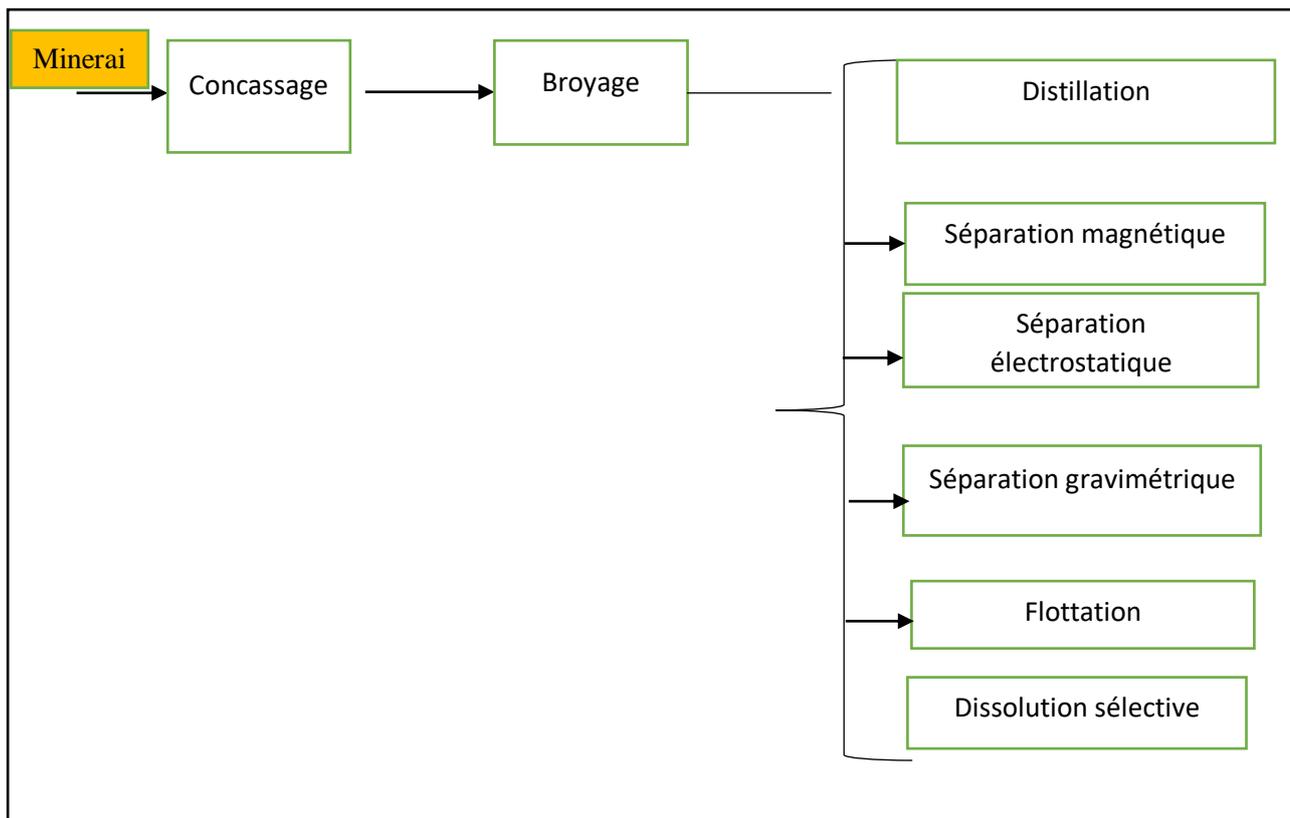
La géologie, la minéralogie, les caractéristiques des produits, les applications, les marchés, la recherche et développement, sont des paramètres très importants à prendre en compte lors du processus d'enrichissement du minerai de barytine [17].

Au cours de ces dernières années, de nombreux travaux de recherche ont été menés sur divers types des minerais de barytine en utilisant des méthodes de flottation, concentration gravimétrique, séparation électrostatique. Les méthodes de flottation sont utilisées pour la récupération de la barytine des minerai complexes. Les techniques de traitement dépendent du type du minerai, de la maille de libération et de composition de la gangue. La méthode de flottation est celle préférée pour la barytine très fine libérée (44 $\mu$ m) selon [18] [19], [20].

L'enrichissement du minerai de barytine par des méthodes physiques (par gravité ou flottation avec 97% en BaSo<sub>4</sub> ou plus [20], [21], [22].

Il est important déterminer si le gisement est à faible ou à haute teneur. L'étude minéralogique fournit des détails sur les minéraux composants et l'association entre eux [17]. Les méthodes de variation servent de guide pour les futures études du minerai avec caractéristiques similaires des minéraux, qui est résumé dans le tableau (I. 5). Il a été constaté que le taux de concentration et de récupération indique l'efficacité d'une technique d'enrichissement pour atteindre un produit désiré. La concentration, tandis que la flottation peut être utilisée pour les grains fins.

La barytine est généralement fragile relativement aux autres minéraux associés, elle va être valorisé sous forme des particules fines après concassage. Lorsque l'oxyde de fer est trouvé en association avec la barytine, il est facilement séparé par la séparation magnétique [23]. La séparation par milieu dense et jiggage ont été utilisé pour récupérer la barytine à gros grains, tandis que la table à secousses, le classificateur à râeaux et des spirales pour récupérer la barytine à grains fins. Il a été rapporté que pour les minerais du Lake Ainslie étaient les plus fins à 80% -44 $\mu$ m, indiquant une maille de libération fine. La taille broyage la plus grossière rapportée était de 420  $\mu$ m [17].



**Figure I.4:** les méthodes d'enrichissement de la barytine [24].

Ci- dessous le tableau qui résume les différents méthodes d'enrichissement de la barytine, principes et applications.

**Tableau I.5 :** méthodes d'enrichissement de la barytine [25].

Méthodes	Principes	Application
Classification	Couleur, densité et autres différences entre Barite et minéraux associés.	Des blocs de baryte étant sélectionnés
Séparation gravimétrique	Différence de la densité entre la baryte et minéraux associés qui est appliqué seulement pour les grosses particules.	Elle comprend le lavage, le dischlammage, le criblage, le jiggage , la table à secousses et autres processus pour des minerai résiduels .
Flottation	Différence entre les propriétés physico-chimiques de surface de la baryte et minéraux associés. Elle est appliquée pour les particules	Utile seulement pour la baryte d'origine sédimentaire et hydrothermale en plus des sulfures et fluorite.
Séparation magnétique	La différence des propriétés magnétiques entre la baryte et autres minéraux associés.	Principalement utilisée pour éliminer les minéraux de gangue d'oxyde de fer.

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

### **I.2.1 Recherche actuelle sur la valorisation de la barytine**

Au cours de ces dernières années, des travaux de recherche ont été effectués sur la valorisation de divers types de minerai de barytine, avec une variation de géologie et des gangues associées [18], [26], [27]. Les méthodes utilisées sont la séparation gravimétrique, la séparation électrostatique et la flottation. Dans le cas de la séparation gravimétrique, dès les recherches ont été menées pour découvrir les milieux organiques denses ( tétra bromure d'acétylène ou tétrabrométhane ), qui garantirait une séparation efficaces des barytines. la séparation électrostatique, c'est une méthode récente utilisée pour la barytine, elle se base sur la différence de conductivité pour séparer les minéraux conducteurs et non conducteurs. Enfin, en flottation, beaucoup de réactifs non couteux et representueux de l'environnement, ont été développés ces dernières années pour améliorer l'efficacité de la séparation entre les minéraux utiles et les minéraux de la gangue [28]. Etudes appropriées de la solubilité, abstraction oléate et mobilité électrophorétiques de ces réactifs a été réalisé [20], [29].

Plusieurs études d'optimisation des paramètres de flottation de la barytine en utilisant plusieurs types des réactifs ont été effectuées [30], [31], [32].

#### **I.2.1.1 la séparation gravimétrique**

Les modèles de concentration des matériaux dans les fluides prennent en compte les différences suivantes : Entre la densité des minéraux précieux et la densité de la gangue aller. En générale, la concentration gravitationnelle se produit dans un champ de force de masse gravité combinée à l'action d'autres forces, telles que la trainée fournie par les objets fluide (généralement de l'eau pour la gravimétrie humide, l'air pour la gravimétrie humide est rare). Méthode du poids sec au mouvement ou au frottement entre les grains à séparer Ces particules et une surface d'appui fixe ou mobile. Lorsque la gravité ne suffit pas, nous avons utilisation de la force centrifuge [33].

#### **I.2.1.2 la méthode de la nappe pelliculaire fluant**

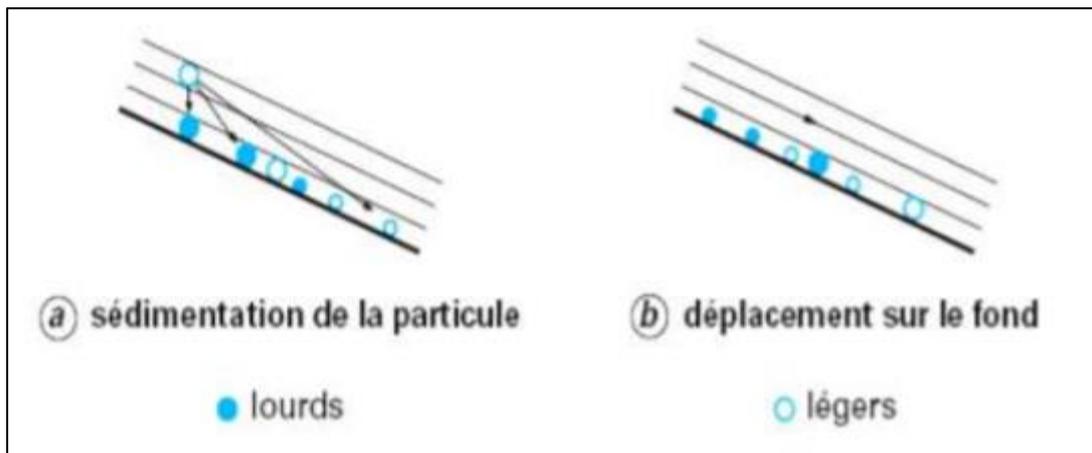
La longueur du chemin parcours par une particule se déplaçant sur un plan il est recouvert d'un film liquide qui coule sur sa surface, qui dépend de deux facteurs principaux :

- Le temps que met une particule pour atteindre la surface d'un plan incliné par rapport à elle densité, granulométrie, module de forme, etc.
- Résistance à l'avancement des particules.

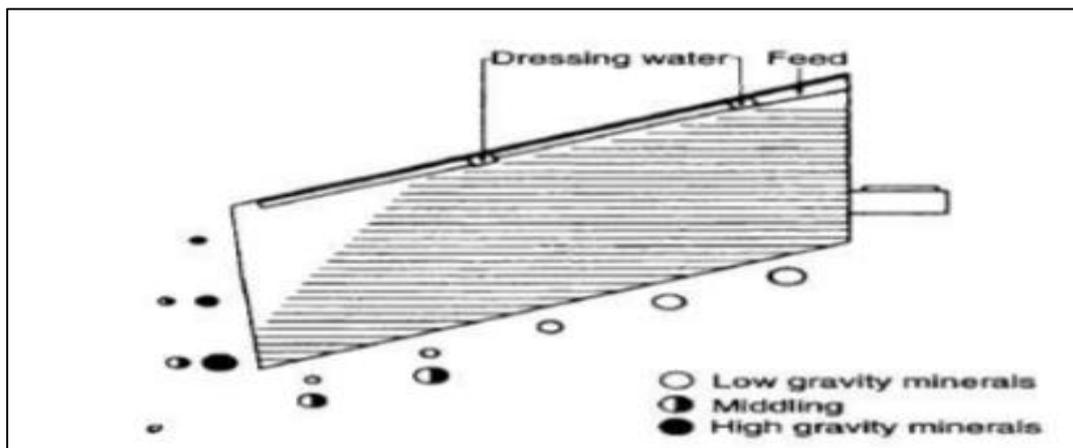
## CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation

L'un des phénomènes en cause est la sédation au cours de laquelle les grains lourds sont les premières à bénéficier d'un soutien et peuvent être piégées sous forme de grains légères et moelleuses elle se laissant emporter par le courant. Les grains qui ont atteint le support se déplacent La salinité et la vitesse d'entraînement dépendent de leur taille. Ainsi, les grains ont une masse les plus grands seront en bas (ou à l'intérieur s'il y a un virage) et ceux pour densité la plus faible, dans la partie supérieure (ou externe) [16].

Les figures (I.5) et (I.6) représente les la nappe pelliculaire fluant et tableau à secousse selon leurs poids.



**Figure I. 5 :** le principe de la concentration par la nappe pelliculaire fluant [34].



**Figure I.6:** le comportement des particules sur une table a secousse selon leurs poids [35].

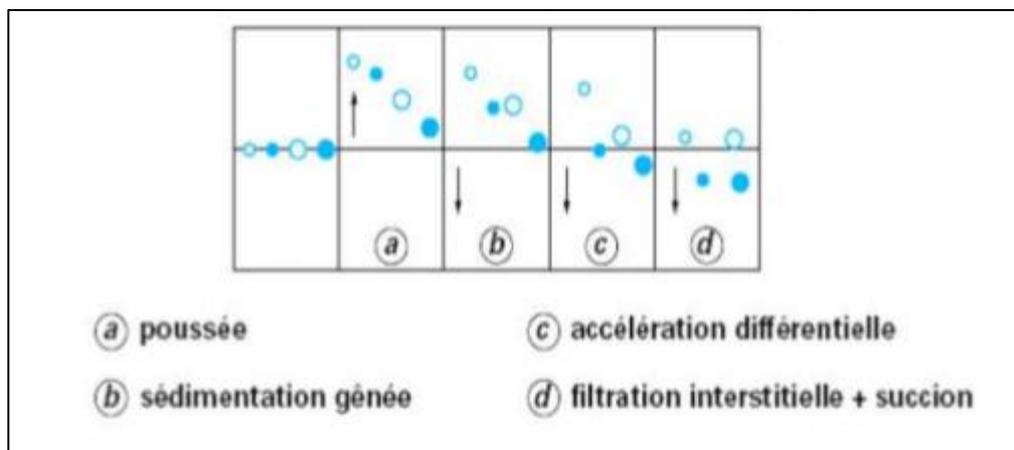
### I.2.1.3 La méthode de l'accélération différentielle

Dans cette méthode les particules à séparer subissent des mouvements périodiques la verticale (impulsions –absorption) imposée au liquide qui provoque la sédimentation la

## CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation

différence entre les phases lourdes et légères. En fait, trois éléments entrent en jeu : il empêche la sédimentation, l'accélération différentielle et la filtration interstitielle [34].

D'un autre côté, les produits subissent une impulsion verticale périodique pendant verser dans un bol. L'impulsion est générée soit par le mouvement de l'escalier, soit par mouvement de l'eau, le réservoir est fixe. Ces dispositifs sont appelés gabarits ou plongeurs. Le saut est l'une des plus anciennes méthodes utilisées. Constitué ou jugé en une couche de matière particulaire fluidisée par les courants ascendants et descendants de l'eau qui se précipite Ainsi, la stratification se fait selon la densité de grains [34]. La figure (I.7) montre le cycle de jigage et leur comportement des particules pendant le jigage.



**Figure I.7** : le cycle de jigage et le comportement des particules pendant le jigage [34].

### **I.2.1.4 travaux antérieurs sur la séparation gravimétrique de la barytine**

En considérant les minerais à haute teneur et à la libération grossière, la séparation par milieu dense et le jigage sont normalement adoptés, tandis que les techniques gravimétriques sont utilisées pour produire et obtenir des concentrés intermédiaires [29]. la méthode de concentration physique pour la récupération de la barytine peut être utilisée pour les minerais contenant des silicates, de la calcite et du fer comme minéraux de gangue principale [18]. une combinaison de la séparation gravimétrique et des méthodes électromagnétiques sont utilisées pour enrichir la barytine de tanga avec une densité moyenne égale à 3.16 [36].

Une séparation par milieu dense et par jigage sont utilisées pour récupérer la barytine à gros grains, tandis que la table à secousses, la spirale et le classificateur à râteau pour récupérer la barytine à grains fin. Une comparaison intéressante entre le jigage humide et sec a été démontrée dans une étude de plusieurs minerais de barytine de la Nouvelle Scotie [17]. Devers études de CANMET en utilisant la concertation gravimétrique ont atteint 90% en

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

BaSo<sub>4</sub>, sauf dans les cas où des matières premières à faible teneur étaient utilisées. Andrew et Collings 1989 ont rapporté que quelque étude de blanchiment a été menée sur la barytine à haute concentration pour éliminer les traces de fer.

### **I.2.1.5 La flottation**

#### **I.2.1.5.1 Définition**

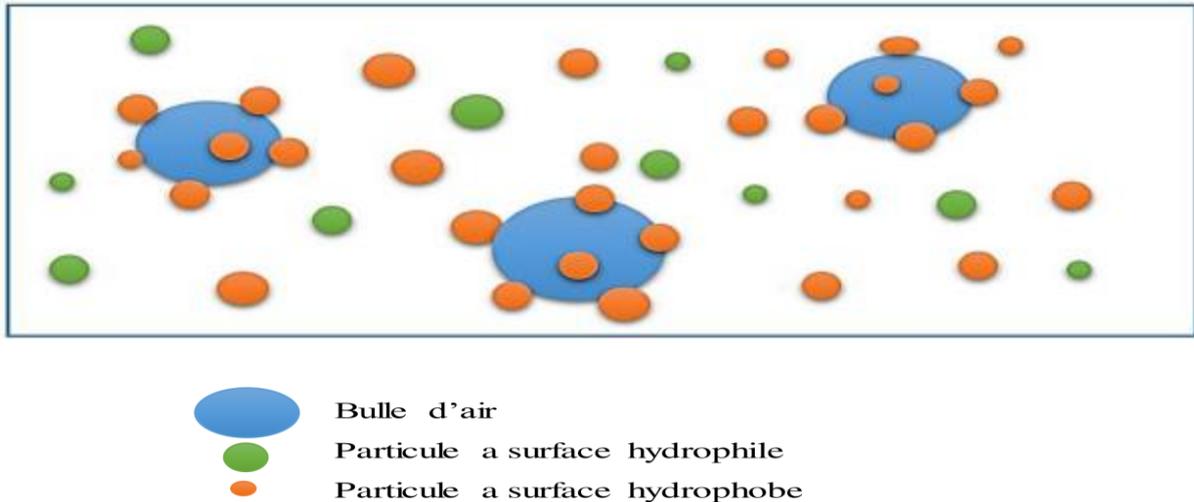
La flottation est une opération unitaire utilisée pour séparer des particules solides ou liquides (phase dispersée) d'une phase liquide (phase continue).

Le domaine d'application de la flottation est théoriquement illimité, n'importe quel minéral peut être séparé par cette technique car il existe des minéraux dans la nature ayant la même valeur d'énergie spécifique superficielle. Dans la pratique l'enrichissement confirme la possibilité d'application de la flottation pour séparer les minéraux, et son objectif dans l'industrie minière s'accroît de jour en jour, son application s'élargit et de variété de la matière première traitée [37].

#### **I.2.1.5.2 Principe de la flottation**

La flottation est une technique de séparation de phase adoptée presque unanimement par les industries. Son principe consiste à injecter des bulles au sein d'une phase continue, d'où l'on veut extraire une phase dispersée solide ou liquide. Sur le chemin de leur ascension au sein de liquide, ces bulles captent des particules en suspension et les entraînent vers la surface du bain où elles s'accumulent pour former une couche superficielle qui sera éliminée mécaniquement [38].

Les particules solides que l'on souhaite séparer, et qui doivent, parfaitement être constituées d'une seule phase, sont mises en suspension dans l'eau [39]. La figure ci-dessous (I.8) représente la fixation des particules hydrophobes aux bulles d'air.



**Figure I.8 :** fixation des particules hydrophobes aux bulles d'air [38].

### **I.2.1.5.3 Les réactifs de la flottation**

Le terme réactif se définit comme un agent qui produit des réactions chimiques ou une substance qui agit sur une autre dans une réaction chimique. Le mot réactif (Fr : réactif, An : reagent, Al : regains, Sp : reactivo). On estime qu'environ 2 milliards de tonnes de minerai sont traités par flottation chaque année [40]. La classification moderne des réactifs est basée sur leurs fonctions. Sur cette base, les réactifs sont divisés en collecteurs, agents moussants, régulateurs et déprimants. Plusieurs milliers de produits chimiques ont été soit testés ou suggérés comme réactifs de flottation. De nos jours, il y a seulement quelques centaines de ces réactifs qui sont largement utilisés dans la flottation [41].

### **I.2.1.5.4 Les réactifs collecteurs**

Les réactifs collecteurs ont pour objectif de rendre hydrophobes les matériaux en suspension, pour faciliter l'adhésion aux bulles d'air collectrices. Les xanthates, les dithiophosphates, les dithiophosphinates, la famille des thioesters, les acides gras et leurs savons, les esters sulfuriques d'alcool et les sulfonates sont des exemples. Les xanthates et les dithiophosphates utilisés pour la flottation des sulfures. Les acides gras et leurs savons utilisés pour les minéraux non métalliques [42], de nombreux travaux de recherche ont été consacrés à l'utilisation de divers collecteurs lors de la flottation de la barytine de différents types de minerais, de bons résultats en présence de l'acide oléique ont été obtenus sur les minerais contenant de la silice sous forme de minéraux gangue [27], [43]. Les collecteurs largement utilisés pour la flottation de la barytine sont représentés dans le tableau I.6. [30], [31], [32].

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

**Tableau I.6 :** Les collecteurs utilisés en flottation de la Barytine

<b>Réactifs</b>	<b>Composition</b>
Oléate de K	Sel de l'acide oléique $C_{17}H_{33}COOH$
Aero 825	Mélange de sulfonât de Na , mazout et eau
S-7723	Sulfate
Sinclair S-40	Sulfonate de Na
Sulfosouccinate 2875	$ROOC-CH_2-CH.COO M+SO_3+M+$
Sulfopon T 35	Alkyl sulfate de Na
Dodecylsulfate de Na	$C_{12}H_{25}SO_4Na$
Flotbel R 171 A	Sel sodique d'un ester phosphaté
Armacflote MF A 18	Collecteur cationique

### **I.2.1.5. 5 Les réactifs activant et déprimants**

Les réactifs activant et déprimants servent à moduler l'action des réactifs collecteurs. En effet, dans le cas d'une flottation sélective, essentiellement en minéralurgie, seule une partie des matériaux en suspension doit être flottée : les minéraux des différents métaux doivent être séparés les uns des autres. Les activant ont alors pour objectif de favoriser la capture d'un type de métal. Au contraire, les déprimants ont pour objectif de défavoriser la capture des autres types de métaux. Ces réactifs sont des sels métalliques, comme le sulfate de cuivre, de zinc ou de fer, des oxydants ou des réducteurs comme les sulfites et le permanganate de potassium, des produits organiques tels l'amidon, cette liste n'est pas exhaustive puisque dépendant de la nature de l'ensemble des matériaux en suspension [42].

D'après des travaux de recherche ; un certain nombre d'agents inorganiques activant la barytine ont été examinés. On peut citer :  $NaCl$ ,  $MgCl_2$ ,  $Pb(NO_3)_2$  et  $BaCl_2$  [27] [44].

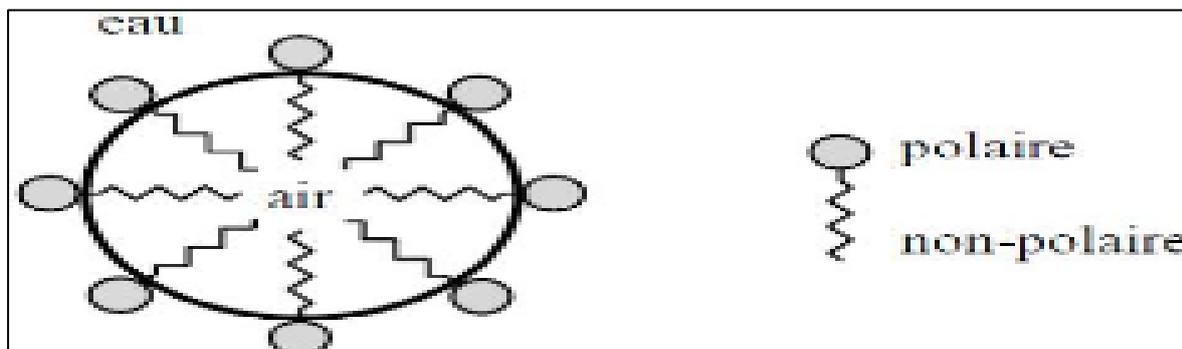
### **I.2.1.5.6 Les agents moussants**

Les moussants sont des agents tensioactifs hétéro polaires de matière organique qui sont absorbé sur l'interface (air-eau-bulles) les particules des moussants comportent une tête polaire orienté vers l'eau et le non polaire vers l'air. Parmi les plus utilisés on a l'huile de pin et alcool aliphatique.

Les agents moussants favorisent d'une part la formation de bulles d'air et, d'autre part, leur stabilité. La stabilité d'une bulle collectrice joue un rôle important dans la stabilité de l'agrégat, notamment à l'arrivée à la surface libre de la cellule de flottation. En effet, l'agrégat

## CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation

doit résister à la technique de récupération des matériaux en suspension, par débordement ou raclage. Une rupture de l'agrégat formé, avant récupération, risque de remettre le matériau en suspension. Le bénéfice de l'opération est dans ce cas perdu (Vincent Sarrot 2006). Plusieurs chercheurs ont utilisé l'huile de pin comme un moussants lors de la flottation de la Barytine [27] [45], [46].



**Figure I.9** : Mode d'action d'un moussant [47].

### **I.2.1.5.7 Les régulateurs du milieu**

Les régulateurs, ou modificateurs, sont largement utilisés en flottation pour modifier l'action du collecteur, soit en intensifiant, soit en réduisant son effet sur la surface minérale. Ils rendent ainsi l'action du collecteur plus sélective vis-à-vis de certains minéraux. Les régulateurs peuvent être classés comme activateurs, dépresseurs ou modificateurs de Ph [48].

Les réactifs modificateurs largement utilisés lors de la flottation de la Barytine sont représentés dans le Tableau I.7. Les carbonates de soude sont généralement utilisés pendant la flottation de la Barytine pour maintenir le pH à 8–10, ce qui dépend du type de collecteur utilisé. L'Hydroxyde de Sodium est une alternative au carbonate de soude, qui est utilisé lorsqu'il y a peu ou pas de Calcite dans l'alimentation de flottation de Barytine. Le Silicate de Sodium est un réactif important lors de la flottation de la barytine. Il agit comme un dépresseur de Silicate. Les concentrations varient généralement de 500 à 2000 g/t. Des études sur le Chlorure d'Aluminium ont montré qu'en présence de chlorure d'aluminium, la dépression de la Calcite est améliorée à des concentrations d'environ 300 g/t. Des ajouts plus élevés ont un effet négatif sur la flottation de la Barytine.

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

**Tableau I.7:** Les réactifs modificateurs largement utilisés en flottation de la Barytine [27].

<b>Réactifs</b>	<b>Composition</b>
Carbonate de soude	Modificateur de Ph , déprimant quartz
Silicate de sodium	Déprimant silice
Chlorure d'aluminium	Déprimant calcite
Quebracho	Déprimant calcite
Acide citrique	Déprimant fluorite
Acide tannique	Déprimant calcite
Acide oxalique	Déprimant silice et d'oxydes de fer
Fluorure de sodium	Déprimant barytine
Chlorure de barium	Activant barytine

### **I.2.1.5.8 L'efficacité de la flottation**

Dans la méthode de flottation, il existe des paramètres tels que le pH, le type et la quantité de réactif, la taille des particules et les propriétés de la pulpe (la température, la densité, le débit de la pulpe ...) qui doivent être contrôlés [49]. En plus de ces paramètres, la taille des bulles, le régime des réactifs et les nouvelles machines sont de nouvelles considérations dans les études de flottation [50]. L'efficacité de la flottation dépend de conditions suivantes :

#### **I.2.1.5.8.1 Les grosseurs des minerais à flottés**

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 minerai 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 sur-broyage du minerai qui aurait pour effet de créer un phénomène d'adulation (recouvrement par les ultrafines) ; les ultrafines, ou schlamms, recouvrent les particules du minerai, gênant ainsi la fixation du collecteur et diminuant le rendement de l'opération. De même, les grandes particules sont indésirables pour la flottation, vu qu'elles exigent une grande consommation des collecteurs pour augmenter leur hydrophobie [45] [51].

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

### **I.2.1.5.8.2 La densité de la pulpe de la flottation**

Il est indésirable d'avoir des pulpes très denses ainsi que les pulpes très diluées. La dilution optimale de la pulpe dépend de la grosseur du minéral à flotter, sa densité et de la qualité voulue du produit de mousse. La densité optimale de la pulpe augmente avec l'augmentation de la grosseur et de la densité du minéral à flotter. Pour diminuer les pertes du minéral utile dans un rejet on utilise les pulpes plus denses. Alors que pour augmenter la qualité du produit de mousse, on utilise les pulpes plus diluées [45] [51].

### **I.2.1.5.8.3 Le régime des réactifs de la flottation**

Il s'agit de :

- La gamme des réactifs de la flottation.
- Le dosage des réactifs de la flottation.
- Les points de chargement.
- La durée de conditionnement de ces produits [45] [51].

### **I.2.1.5.8.4 L'intensité de l'aération et de l'agitation de la pulpe**

Dans les machines de flottation mécaniques, l'aéragé dépend de l'agitation de la pulpe ou bien de la vitesse de rotation des agitateurs. Plus grande est l'agitation, plus grand est l'aéragé, mais il faut rappeler que l'agitation forte contribue à l'augmentation des fins détachants des bulles d'air, alors que la faible agitation contribue à la décantation des grosses particules au fond de la cellule de flottation. En résumé, l'agitation doit être optimale pour assurer un bon aéragé et une meilleure distribution des particules des bulles d'air dans tout le volume de la cellule [45] [51].

### **I.2.1.5.8.5 La température de la pulpe**

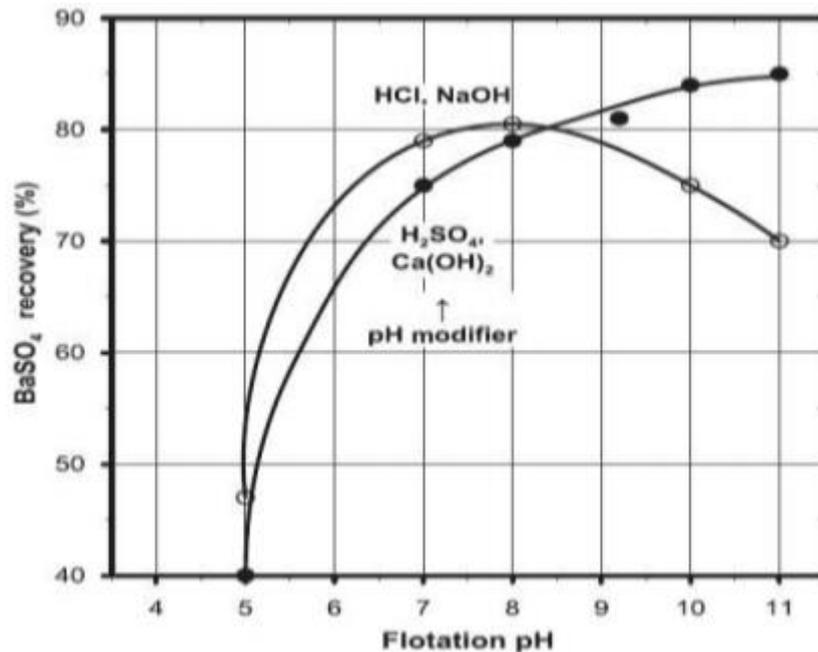
La flottation est un procédé physico-chimique dont la vitesse dépend de la température du milieu à savoir que l'augmentation de la température de la pulpe implique une amélioration en termes de dispersion du collecteur dans la cellule et donc, une augmentation de la vitesse de flottation [45] [51].

### **I.2.1.5.8.6 L'influence du Ph**

Le Ph possède une influence certaine et non-négligeable sur le rendement d'une opération de flottation. Du fait que le pH du milieu agit directement sur le potentiel surfacique des particules. Ainsi, on définit le Point de Charge Nul PCN, pour lequel le potentiel zêta d'une

## CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation

particule minérale est nul, et qui est atteint suite à un pH bien 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 [45]. La Figure I.10 montre l'efficacité du pH lors de la flottation de la barytine à l'aide d'acide oléique [27].



**Figure I.10 :** L'effet du pH sur la flottation de la barytine du minerai siliceux à l'aide de l'acide oléique [27].

### **I.2.1.5.8.7 La durée de la flottation, le schéma de la flottation et le débit de la pulpe**

Toutes ces conditions ont une approche beaucoup plus pratique et sont déterminées à partir de plusieurs essais. Au départ il faut identifier les variables afin de les ajuster tel que la vitesse d'agitation, le débit de l'air et les durées de conditionnement, ensuite nous préparons les solutions des réactifs à base des solutions principales ou des produits solides en respectant les dosages et les quantités à utiliser [45] [51].

### **I.2.1.5. 9 Travaux antérieurs sur la flottation de la Barytine**

Nombre d'auteurs très connus dans cette spécialité ont mené des recherches sur la flottation de la Barytine tels que : Marinakis, Shergold et al.1985, Teke et al.2002, Ozkan et al.2005, Deniz et al.2012, Widanagamage et al. 2015, Wang et al. 2016, Sokic et al.2016. Bulatovic 2015 a mentionné que la flottation de la barytine peut être effectuée par type inverse ou directe. L'élimination des sulfures ou de la Pyrite laissant une perte de Barytine avec les

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

rejets, elle peut être récupérée par la flottation inverse, tandis que la flottation de Barytine des minerais qui contiennent du Feldspath, des Silicates et les oxydes de terre rares est fait de type directe [27]. La meilleure sélectivité entre les minéraux flottants et non flottants a été obtenue à un pH de 10 à partir de la flottation de minerais synthétiques de Barytine et de Célestine [52]. Dans une étude récente [53], une agglomération huilière a été utilisée pour récupérer les particules de la Barytine.

Des nombreuses recherches ont porté sur la flottation directe avec l'usage de l'acide oléique/oléate en tant que collecteurs anioniques. Généralement, l'oléate produit des concentrés de haute qualité, mais généralement inacceptable pour l'application de forage, en raison de l'oléate adsorbé sur la surface de barytine et la perturbation des caractéristiques de sédimentation dans les épaisseurs, ce qui conduit à l'entraînement de l'air et par conséquent, abaisse la densité spécifique de la boue de forage. L'élimination de l'oléate absorbé peut être effectuée par la chaleur. Cependant, il est techniquement difficile et coûteux. D'où la technique de flottation inverse, dans laquelle la Silice, les minéraux silicatés et d'autres minéraux ont flotté en utilisant des amines grasses comme collecteurs cationiques. En outre, il est avantageux de séparer la silice avec environ de 11% de la barytine, car la silice est négativement accusée, les réactifs cationiques sont les plus appropriés en tant que collecteurs [29].

La flottation inverse a été utilisée dans la valorisation des décharges de la barytine de faible teneur imbriquées avec des minéraux de gangue utilisant de l'amine comme collecteur pour éviter le revêtement du collecteur sur la surface de la barytine. La colonne de flottation a été utilisée contre les cellules de flottation conventionnelles [29]. Un prétraitement par ultrasons a été utilisé pour augmenter la sélectivité de la barytine en augmentant le taux de flottation de barytine et de diminuer la sélectivité de la fluorite en diminuant son taux de flottation, les propriétés d'adsorption et la topographie de surface ont également été étudiées [54].

Pradip et Rai 2003, lors d'un essai de flottation de bastnaésites de calcite et de Barytine, il a été observé que les collecteurs d'hydroxamate avaient une sélectivité plus élevée que l'acide gras conventionnel (oléate). Il a également été observé que la bastnaésite a réagi plus fortement à la flottation de l'hydroxamate par rapport à la barytine et à la calcite. Adsorption à l'équilibre la densité de l'hydroxamate a été mesurée à la bastnaésite, la barytine et les surfaces de calcite, rapportées par Zhang et al 2013 en tant que fonction de la concentration d'équilibre de l'hydroxamate. Une bonne sélectivité a été obtenue en combinant le dodécyl-sulfate de sodium et lignine sulfonates de sodium dans un minerai de calcite-barytine [55].

## CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation

La Barytine de Kremikovtzi (Bulgarie) avec la composition chimique suivante : 12.5% Fe, 30,4 %  $BaSO_4$ , 2,5% Mn, 1,21% Pb, 9,6%  $SiO_2$  et 15,9%  $CaO$ , a été enrichie par des essais de flottation dans les conditions suivantes : particules obtenues après le broyage (65-75) % sont de dimension inférieure à 0.074mm, la teneur en solide dans le produit qui alimente la flottation principale est de 34%, la température de la pulpe 26-30°C, pH (8 à 9). Les dosages des réactifs de flottation sont comme suivis : Le collecteur (OMC199) et Aération avec un rapport de 2 :1 et un taux de concentration de l'ordre de 400 à 450 g / t. Les points de chargement sont ; le broyage, la flottation principale, dans le premier et le deuxième stade de flottation de contrôle et dans le premier stade de flottation releveluse s'il est nécessaire. Les moussants (Oreprep F501 :(10 à 15) g/t) sont chargés dans la flottation principale et s'il est nécessaire dans la flottation de contrôle. La consommation des réactifs dans toutes les opérations est de l'ordre de (4 à 4,5) g/t, le tableau suivant présente une comparaison entre la composition du concentré obtenu et celle du produit exigé par l'industrie chimique [56].

**Tableau II.8 :** La composition du concentré barytique obtenu lors de la flottation du minerai brut de Kremikovtzi (Bulgarie) [56].

Le composant	Les teneurs (%)	
	Obtenues	Exigés
$BaSO_4$	97,08	>95,00
$SiO_2$	0,44	<2,50
$Fe_2O_3$	0,60	<0,15
CaO	0,05	-
$MnO$	0,90	-
$Pb$	0,07	-
$CaF_2$	-	<1,00

D'après Mr. Udenko.A et al 2011, utilisent l'acide dalmatique comme un collecteur pendant la flottation de la Barytine de la région d'AZARA (NIGERIA) afin de réduire le cout d'utilisation des réactifs chimiques et de l'acide oléique, la composition chimique du minerai barytique d'AZARA est : [75,40%  $BaSO_4$  , 7,98%  $SiO_2$ , 6,48%  $Fe_2O_3$ , 1,39% SrO, 1,10%  $TiO_2$ , 0,20%  $MgO$ , 0,14%  $CaO$ , 0,09%  $CaO$ , 0,08%  $ZrO_2$ , 0,07%  $SO_4$ , 0,05%  $Na_2O$  et 0,05%  $Ga_2O_3$ ]. La teneur en  $BaSO_4$  est améliorée par la flottation jusqu'à l'ordre de 91.9%.

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

La flottation du Plomb et de la Barytine des stériles de la mine de Ichemoul (W. BATNA. ALGERIE) a été étudiée relativement aux différents types de réactifs à des dosages par Larachi.N et al. 2019. Pendant la flottation du Plomb, la récupération moyenne obtenue est de 70% de Sulfure de Plomb et 40% de concentré d'oxyde de plomb obtenu par sulfuration du réactif. La désulfuration des stériles miniers réussit en présence d'une combinaison de xanthate et d'Aero 407. Quant à la Barytine, une récupération moyenne de 50% et des concentrés allant de (80 à 90) % en  $BaSO_4$  de Barytine ont été atteints.

Selon Ibisi.M.I. 1991, un concentré de Barytine (96.8% en) est obtenu suite à plusieurs stades de flottation et qui sont : une flottation principale, une flottation de contrôle et quatre flottations relevelées plus le procédé de séparation magnétique du minerai brut provenant de Nigeria ( $BaSO_4$ : 89,3%,  $SrSO_4$ : 1,8%,  $CaF_2$ : 0,25%,  $SiO_2$  : 5,0%,  $Al_2O_3$  : 0,2%,  $Fe_2O_3$ : 3.1%, :  $CaCO_3$  0.30%,  $MgCO_3$  : 0.007%,  $PbO$ : 0.0015%). Les conditions de flottation sont les suivantes : grosseur du minerai à flotter : - 200  $\mu m$ , pH : 10.8,  $N_aOH$  comme régulateur du milieu, Na-Cetylsulfate comme un collecteur, sulfate de sodium comme un déprimant et le moussant est un hexamétophosphate de sodium.

L'enrichissement de Barytine du gisement de Manga pet (Inde) par flottation a été étudié en utilisant des collecteurs cationiques et anioniques. Le minerai brut contenant 80% de barytine avec  $SiO_2$  et  $CaCO_3$  comme principaux minéraux de gangue. Le matériau a été broyé à une taille inférieure à 45 microns (80%) pour libérer la Barytine des autres minéraux de gangue. Des amines grasses telles que l'Armoflote 17 et le Liquide B50 ont été essayées comme collecteurs cationiques pour faire flotter les minéraux de gangue (flottation inverse) tandis que l'acide oléique (collecteurs anioniques) était utilisé pour la flottation directe de la barytine. Un concentré de Barytine avec 96% en  $BaSO_4$  et moins de 1% en  $SiO_2$  a été obtenu par flottation inverse en utilisant des collecteurs cationiques. Tandis qu'un concentré de Barytine avec 95% en  $BaSO_4$  et moins de 2.5% en  $SiO_2$  a été obtenu par flottation directe avec l'usage de l'acide oléique [57].

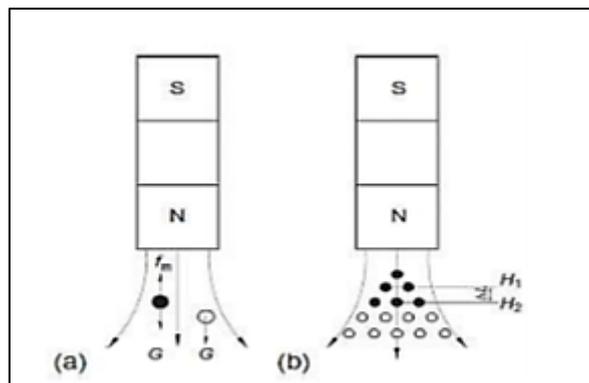
### **I.2.1.6 La séparation magnétique**

#### **I.2.1.6.1 La définition et le principe**

La séparation magnétique est un procédé technique utilisant la force engendrée par un système magnétique pour séparer des particules présentant des propriétés magnétiques différentes [58].

## CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation

Les matériaux possèdent une différence des propriétés magnétiques ce qui facilite leur séparation. La figure (a) présente quand des boules en acier et en céramique traversent un aimant permanent, on remarque que les boules d'acier sont attirées par l'aimant. La figure (b) montre que lorsqu'un aimant placé à proximité des particules de fer et boules en céramique ; la plupart des boules de fer sont attirés, tandis que la plupart des boules en céramique ne seront pas attirées. Les boules qui ne sont pas attirées tomberont en raison de la gravité. Si la force magnétique agissant sur une particule est plus forte que la force gravitationnelle, la particule va se déplacer vers l'aimant. La plupart des techniques de séparation magnétique des minéraux sont humide ou à sec, donc les forces d'entraînement dans un fluide et la tension inter faciale de surface sont également des forces concurrentes. Seulement si la force magnétique agissant sur une particule est plus forte que la somme de toutes les forces concurrentes, la particule va se déplacer vers l'aimant [59].



**Figure I.11** : La séparation magnétique entre billes de fer et de céramique.

- : boule de fer, ○ : boule en céramique, S : pôle sud de l'aimant, N : pôle nord de l'aimant,  $F_m$  : force magnétique, G : force de gravité, H : l'intensité du champ magnétique [59].

### I.2.1.7 La séparation électrostatique

#### I.2.1.7.1 La définition et le principe

La séparation électrique est basée sur le fait que les minéraux et les matériaux peuvent être chargés différemment et, par conséquent, séparés lorsqu'un champ électrique externe est appliqué. Cette méthode utilise les différences inhérentes de la charge de friction, la conductivité électrique et les propriétés diélectriques entre les composants des substances. La force électrostatique est proportionnelle à la charge de la surface des particules et l'intensité du champ électrique, les particules fines et légères peuvent être grandement influencé par la force électrostatique. Par conséquent, une séparation efficace des particules peut être obtenue [60].

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

Il existe deux types de séparateurs électrostatiques : les séparateurs électrostatiques et les séparateurs électrodynamiques [61].

### **I.2.1.7.2 Travaux antérieurs sur la séparation électrostatique de la Barytine**

Bittner et al.2014 ont mentionné que l'utilisation la séparation électrostatique pour la séparation des minéraux conducteurs des minéraux non conducteurs. ST Equipment and Technology, LLC (STET) ont été utilisé pour séparer vitreux aluminosilicates/carbone, calcite/quartz, talc/magnésite et barytine/quartz. Les auteurs ont également signalé que l'utilisation de la séparation turbo-électrostatiques est plus rentable que la flottation conventionnelle pour la séparation baryte/quartz [62].

La séparation électrostatique a été utilisée pour la séparation de barytine et sphalérite à partir de l'eau ordinaire. Les auteurs ont signalé l'utilisation des séparateurs à bande pour la séparation des matériaux très fins (<1 µm) à moyennement grossiers (300 µm) avec des débits très élevés. Les minéraux Barytines-Silicates et Fluorite-Barytine Calcite ont été séparés en utilisant cette méthode considérée comme respectueuse de l'environnement et ne nécessite que peu ou pas de prétraitements [62].

La séparation électrostatique, utilisant une polarité positive a été utilisée pour séparer la barytine du quartz. Un concentré de 84,1% en  $BaSO_4$  a été atteint ; dans une autre étude, la fluorite était concentrée, les deux minéraux agissent comme des non-conducteurs. Le tri électronique du minerai a été utilisé sur le minerai de barytine de Yarrow en Ontario [63].

### **II.2.1.8 Le futur de l'enrichissement de la Barytine**

Les biomasses ont été utilisées comme des agents de flottation de la Célestine et des minéraux associés, de la Calcite, de la Barytine et du Quartz. La Calcite et la Barytine ont été déprimées en utilisant 10 mg/l des biomasses tandis qu'environ 20% de la Célestine ont été flottés sélectivement. (50 à 75) mg/l des biomasses ont déprimé tous les minéraux associés. Les macromolécules biomasses ont la capacité d'hydrate en solution aqueuse et à être plus sélectivement adsorbé sur les minéraux de la gangue qui les rendent déprimeurs potentiels dans la flottation du minerai non sulfuré [20] [64].

Aujourd'hui, les scientifiques ont été en mesure de fournir les différents mécanismes impliqués dans la biolixiviation, mais il y a toujours des facettes à comprendre vraiment et, plus important encore, sur la façon dont la recherche à l'échelle du laboratoire peut être transformée en opération à grande échelle en intensifiant la recherche et en optimisant l'aspect

## **CHAPITRE I : Les procédés d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et par flottation**

technique de la recherche [20] [65]. Les futures technologies d'enrichissement de la barytine prennent en considération l'économie, l'environnement et la durabilité, des méthodes telles que la biolixiviation, l'utilisation de la biomasse et la biovalorisation (micro-organismes) [20] .

## **Conclusion**

Le choix des méthodes de traitement du minerai dépend de plusieurs facteurs tels que : le type du minerai, sa composition chimique, minéralogique, sa finesse...etc. Les méthodes les plus utilisées sont la séparation gravimétrique (milieu dense, spirales, table à secousses...etc.), la séparation magnétique, la flottation, la séparation électrostatique, le traitement chimique et la bio-minéralisation. Les méthodes les plus couramment utilisées pour l'enrichissement de la Barytine sont la séparation gravimétrique (jiggage) et la flottation.

Les grandes laveries du monde traitent le minerai de Barytine par la méthode de la flottation, qui donne un produit très riche avec peu de perte.

Parfois, une seule méthode n'est pas suffisante pour obtenir un concentré de haute qualité à cause de la diversification de la composition du minerai, il est donc nécessaire de mettre en œuvre un traitement combiné de deux ou plusieurs procédés d'enrichissement.

*Chapitre II*  
*Matériels et méthodes*

### **Introduction**

La caractérisation de la barytine est réalisée à l'aide de différentes méthodes portées essentiellement sur l'analyse par DRX qui a pour but de déterminer les phases majeures présentes dans les échantillons, ainsi que les analyses chimiques par FRX, faisant l'objet d'une connaissance de la composition chimique dans différents échantillons analysés. Avant de procéder à une analyse quelconque d'un échantillon solide, nous lui faisons subir un traitement mécanique

### **II.1 Caractérisation physiques-chimiques de la barytine de BOUCAID**

Il s'agit d'identification les différentes espèces minérales constitutives du minerai de la barytine de BOUCAID, cette caractérisation va nous permettre d'orienter les paramètres utilisés de la méthode d'enrichissement des produits et de comprendre l'influence de la granulométrie sur le degré de la séparation, à cet effet, diverses analyses ont été effectuées à savoir :

- Analyse granulométrique (AG)
- Le diffractomètre à rayons X (DRX)
- La fluorescence X (FRX)

#### **II. 1.1 Analyses granulométriques**

C'est un ensemble d'opération qui aboutissent à une séparation en fonction de leur taille, les éléments qui composent l'échantillon, à l'aide d'un tamis à trous carrés pour obtenir représentation de la distribution massique des particules à l'état sec dimension, ce type d'analyse vise généralement à évaluer dans quelle tranche, la taille des particules et le degré de libération sont importants [66].

Lors de ce test, la norme AFNOR (NF-ISO 331062) est utilisée. Les tamis sont empilés verticalement avec un maillage réduit du haut vers le bas, implique la détermination de la répartition granulométrique se fait par classement dimensionnel à travers une série de tamis d'ouvertures de mailles décroissantes. Pour les différentes analyses granulométriques, et bien sûr différents masses et une série de tamis qui l'ressemble avec :

- Temps :  $t = 15$  min ;
- Fréquence :  $f = 60$  ;
- Amplitude : 6 A.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes

Le processus de caractérisation consiste à identifier la composition. Afin d'atteindre l'objectif, une séquence d'étapes doit être suivie impliquant l'oxyde et divers éléments trouvés dans le minerai de barytine. Différentes caractérisations sont menées, dont la DRX et FX.

Ces analyses sont réalisées au niveau du plateau technique en analyse physico-chimique de CRAPC, unité de Bejaia.

La figure (II.1) représente une tamiseuse ;



**Figure II.1:** Opération de tamisage (laboratoire préparation mécanique).

### **II.1.2 Caractérisation minéralogique par diffraction à rayon X**

#### **II.1.2.1 Définition de la DRX**

C'est une méthode d'analyse de la structure cristalline des matériaux cristallisés, qu'ils soient massifs, sous forme de Poudre ou Solide.

En observant le motif de diffraction produit par les rayons X qui le traversent.

Cette technique analytique est également utile pour détecter la présence d'impuretés ou de contaminants, qui pourraient affecter la qualité du produit final. La quantification des phases minérales et de leurs éléments respectifs est un aspect critique de l'analyse minéralogique [67].

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes

De plus, la DRX est largement utilisée dans de nombreux domaines comme moyen non destructif et de déterminer l'arrangement atomique et moléculaire de ces matériaux, donnant les propriétés d'une variété de ces matériaux, y compris les minéraux, la céramique et les métaux, aussi est utilisé pour caractériser la structure cristalline des matériaux cristallins, ainsi que la texture et la microstructure qui l'accompagne grâce à cette technique est non destructive, locale, sélective et quantitative [67].

### **II.1.2.2 Principe de fonctionnement**

L'application d'une méthode d'analyse minéralogique est employée pour l'examen des matériaux cristallisés, elle s'applique sur des échantillons massifs. Grâce à l'examen de ces propriétés, les scientifiques peuvent identifier à la fois la composition et la pureté du matériau.

Le traitement des diffractogramme obtenu est un spectre s'effectue à l'aide d'un logiciel « X perte plus » basé sur les fiche d'une base de données faisant correspondre les distances inter réticulaires d'aux angles  $2\theta$  enregistrés.

$2\theta$  DRX balayés. Chaque phase minérale cristallisée est caractérisée par un ensemble de pics  $2\theta$  DRX correspondant à la périodicité de la distance réticulaire. La méthode Rietveld (1993) permet une interprétation quantitative d'un diffractogramme. La position des pics de diffraction permet l'identification des structures ou phases cristallines présentes et donc la détermination de la composition cristallographique de l'échantillon analysé [68].

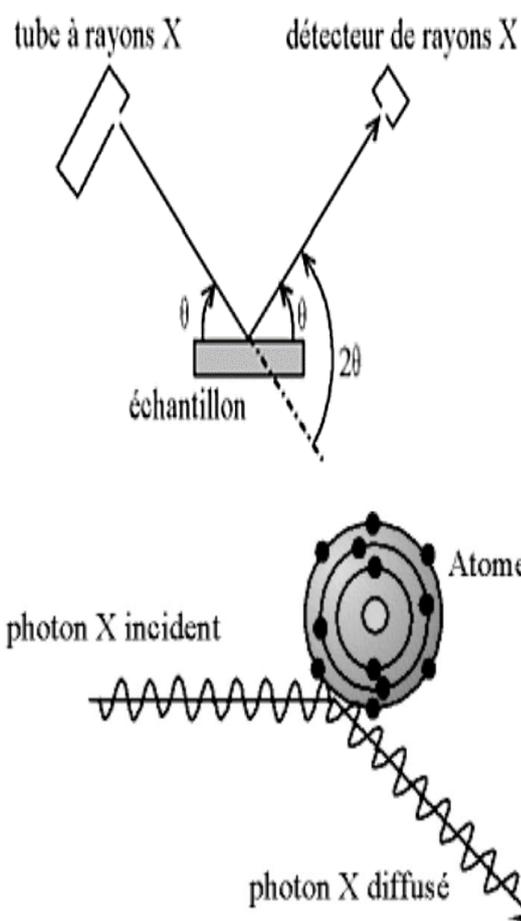
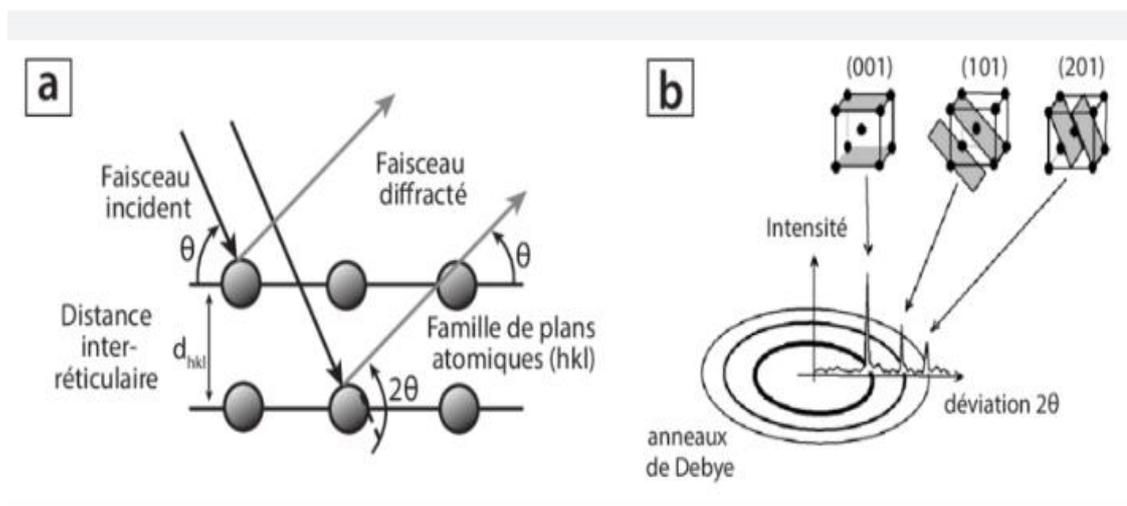
La condition de la réflexion est donnée par l'équation de Bragg dans laquelle est exprimée sous la forme (Derfouf. Ch. 2011) :

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

Avec :

- **n** : l'ordre de la diffraction ;
- **$\lambda$**  : longueur d'onde de rayon X ;
- **$\theta$**  : l'angle entre le faisceau incident et le plan diffractant ;
- **d** : la distance inter réticulaire entre deux plans diffractant d'un cristal.

Elle s'applique sur des poudres ou des échantillons massifs. La figure ci-dessous représente le principe de fonctionnement de la diffraction par rayons X :



**Figure II.2:** Principe de fonctionnement de la diffraction par rayons X [69].

L'analyse métallurgique par DRX (figure II.2) a été réalisée sur les échantillons obtenus à l'aide d'un diffractomètre au niveau CRAPC, les échantillons caractérisés par DRX sont : le produit initial et les différents produits et produits issus de l'opération de flottation et de la séparation par hydrocyclone.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes



**Figure II.3:** Diffractomètre a rayons X (CRAPC. Bejaia)

### **II.1.3 Caractérisations chimique par Fluorescence des rayons x**

#### **II.1.3.1 Définition**

La spectrométrie de fluorescence X est méthode d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Comme est une propriété spectrale des atomes qui est analysée pour obtenir des informations qualitatives sur la composition élémentaire de divers mélanges [70].

Cette technique peut être utilisée pour des matériaux très variés : minéraux, céramiques, ciments, métaux, huiles, eau, verres... sous forme des composées (molécules, cristaux polyatomiques) dans le métal initial. Elle peut donc être souhaitable de présenter des pourcentages de composées plutôt que d'élément chimiques. On exprime souvent les concentrations des oxydes par exemple, en particulier en géochimie ou pour les ciments.

Exemple du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) dans des gammes de concentration allant de quelques ppm à 100%, avec des résultats précis et surtout reproductibles.

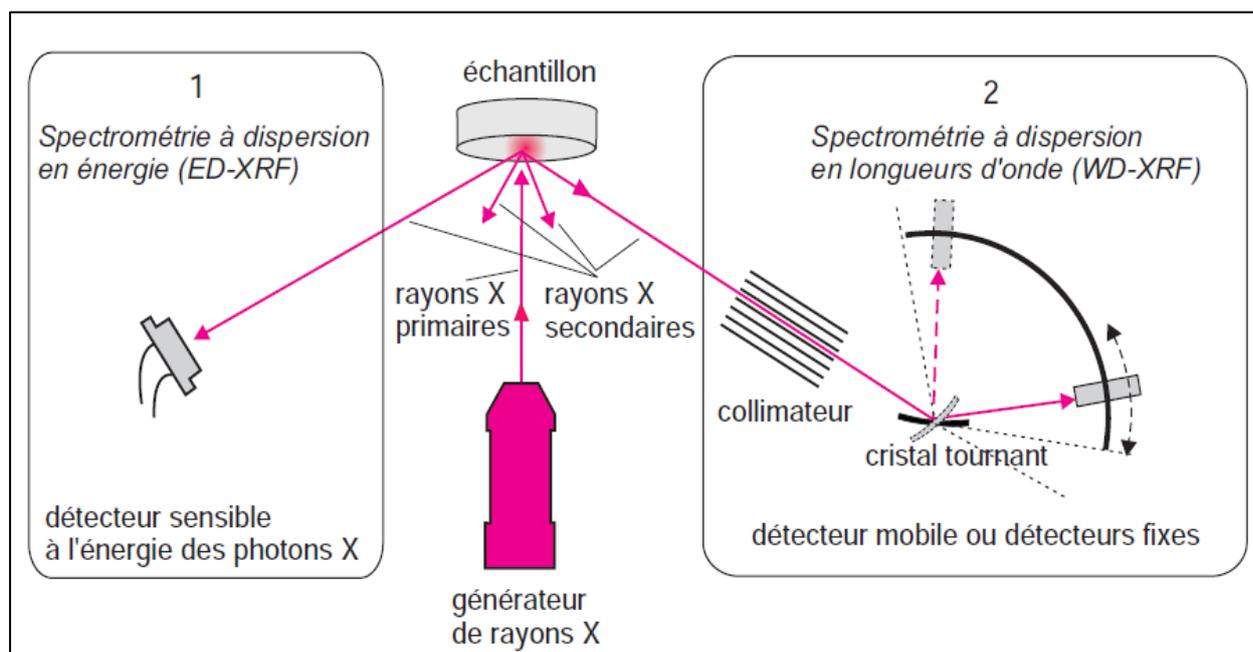
## CHAPITRE II : Matériels et méthodes

### II.1.3.2 Principe de fonctionnement

Lorsqu'un matériau est exposé à un rayonnement de courte longueur d'onde haute énergie, comme les rayons X, les rayons gamma ou les faisceaux d'électrons ou des ions suffisamment accélérés pour que les atomes qui composent le matériau puissent subir ionisation, c'est -à-dire qu'un ou plusieurs électrons par atome (on dit aussi orbitales atomiques). Par conséquent, le rayonnement de fluorescence peut être analysé d'une manière équivalente en énergie par logiciel d'analyse, à partir des concentrations élémentaires et des formules chimiques on parle d'analyse de dispersion d'énergie ou de longueur d'onde [69].

Le spectre du matériau analysé est intensité du rayonnement en fonction de l'énergie, généralement exprimée en électronvolts (ev) ou en longueur d'onde. C'est un outil puissant pour l'analyse chimique élémentaire, branche de la chimie analytique.

La (figure II.4) montre le principe de fonctionnement de diffraction par FX ;



**Figure II.4:** le principe de fonctionnement de diffraction par FX [69].

L'analyse de la fluorescence aux rayons X (XRF) figure (II.4), a été réalisée au niveau de plateau technique en analyse physico-chimique du CRAPC de Bejaia.

La méthode utilisée est le pastillage qui permet une mesure directe sur la poudre fine d'avoir les premières informations sur la composition chimique de notre échantillon.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes



**Figure II.5 :** Spectromètre à fluorescence X (de marque SciAps).

## **II.2 Essai d'enrichissement de barytine de BOUCAID**

### **III.2.1 l'échantillonnage**

L'échantillonnage est défini comme un processus dans lequel une partie extraite est représentative. Les matériaux ou produits pour lesquels des échantillons représentatifs sont fournis ont été échantillonnés pour analyse.

Les principales étapes de caractérisation du processus d'échantillonnage pour collecter des échantillons sur le terrain, conservation des échantillons et leur préparation pour diverses analyses et méthodes traiter. la valeur de la représentation résultante dépend de l'implémentation suffit de compléter toutes les étapes.

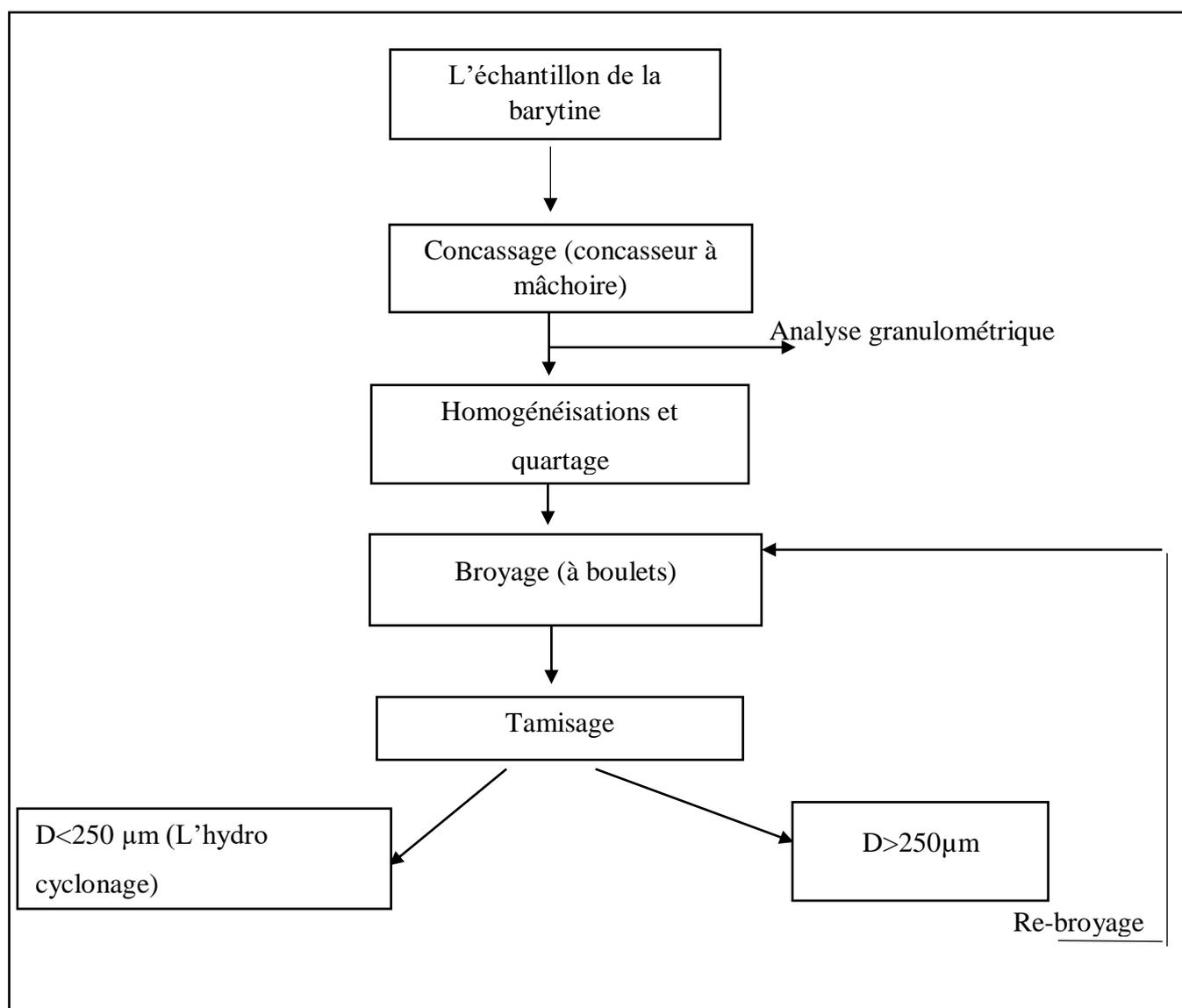
Les stratégies d'échantillonnages, dépendent essentiellement de la quantité ainsi que du nombre de la sélection des échantillons points d'échantillonnage (nombre et lieu). La Représentation de l'échantillon dépend la grande partie des choix qui sont faits [71]. L'échantillonnage est réalisé au niveau de la mine de barytine de Boucaid.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes

### II.2.2 La préparation mécanique des échantillons

L'échantillon récupéré a subi une préparation mécanique au niveau du laboratoire de l'université de Bejaia (LTMGP), par un concassage (concasseurs à mâchoire) suivi par un tamisage, après broyage intensif (broyeur à boulettes) et analyse granulométriques, puis l'essai d'enrichissement par l'hydrocyclonnage et finalement filtrage puis re-broyage de la partie grossière.

La figure II.6, Ci-dessus, représente le schéma d'enrichissement de barytine ;



**Figure II.6 :** Schéma représentatif de traitements par classificateur hydrocyclonnage.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes

### III.2.3 Concassage

C'est un traitement mécanique qui réduit les dimensions des matières premières de l'ordre de fractions de quelques millimètres. Un concasseur à mâchoires a été utilisé de marque Fritsch Pulvérisent, modèle « N° 2553/BF/FF/2011 » [72]. La masse de l'échantillon est 2000 (g) et la fraction n'a pas réduit le diamètre des grains divers spécimens atteignent moins de diamètre < 1mm. Généralement la fragmentation par concassage est suivie par une opération de séchage et de broyage pour une préparation des échantillons aux différents analyses subséquentes telles que granulométrie [69].

La figure (II.7) représente concasseur à mâchoire de type de laboratoire.



**Figure II. 7 :** concasseur à mâchoire (laboratoire préparation mécanique)

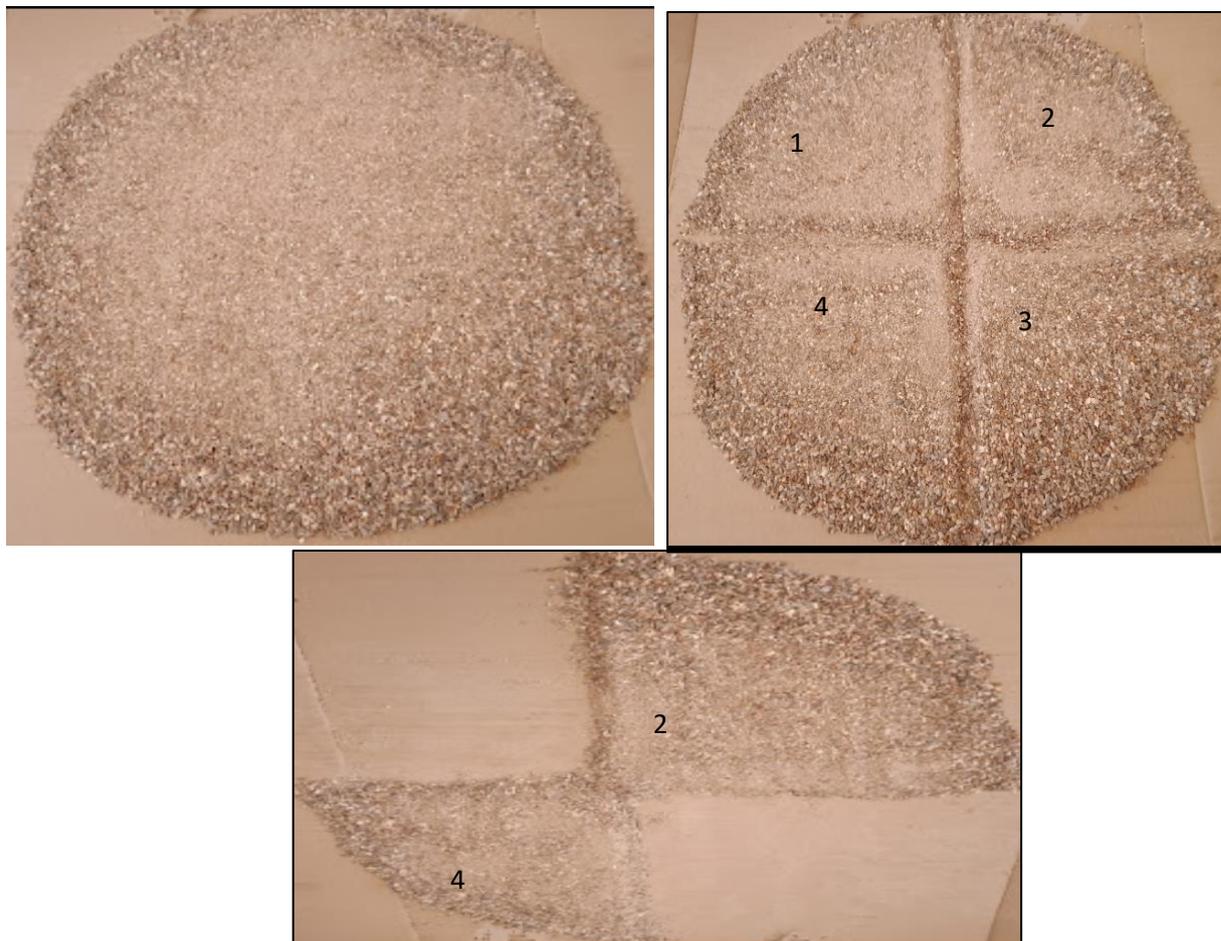
### III.2.4 Homogénéisation et Quartage

Le Quartage est une opération indispensable pour une meilleure représentativité de L'échantillon, par division en quatre quarts, dont on prélève deux quarts opposés, les deux autres quarts seront gardés comme témoin, c'est une opération de réduction de poids de L'échantillon pour l'analyser.

L'échantillon concassé et homogénéisé est étalé sous forme d'une galette puis divisée en 4 parties égales numérotées ((1+3 et 2+4)), On prendra une partie des deux parties opposées (1+3 ou 2+4) puis on gardera une autre partie comme témoin.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes

La figure (II.8) montre l'étape d'homogénéisation et quartage de minerai de la barytine ;



**Figure II.8** : l'étape d'homogénéisation et quartage de minerai de la barytine (laboratoire préparation mécanique).

### **III. 2.5 Broyage**

Le broyage de l'échantillon est effectué par un broyeur de type broyeur à boulettes de marque CE 245 Kugelmuhle Ball mill (Figure II.9) (au niveau de laboratoire de préparation mécanique). Le broyage s'effectue jusqu'à une granulométrie  $< 250\mu\text{m}$  avec une vitesse 332t/min pendant 30 min.



**Figure II.9 :** broyeur à boulettes (de marque CE425 Kugelmuhle Ball mill).

### **II.3 Essai d'enrichissement par hydrocyclonnage**

#### **II.3.1 Matériels utilisées**

##### **➤ L'hydrocyclone**

Un hydrocyclone est un dispositif cylindro-conique statique ou cylindrique, l'effluent est injecté tangentiellement sous sa pression partielle cylindrique. La classification hydro cyclonique est une méthode de classification des particules en fonction de leur réponse au fluide en mouvement, leur vitesse de sédimentation dans le fluide sous l'effet de l'accélération centrifuge.

##### **➤ Autres équipements :**

- **Etuve :** pour le séchage de l'échantillon de minerai de baryte a été effectué à l'aide étuve muni d'un système de contrôle de température de marque Memmert et LMDS d'université de Bejaia.
- **Balance :** les opérations de peser des poids a été faites à l'aïd d'une balance de marque Scout-pro DHAUS modèle « SPU 402 » de de laboratoire LTMGP d'université de Bejaia.
- **Tamiseuse :** les opérations de tamisage ont été faites au niveau de laboratoire pédagogique Mines et Géologie (LPMG) de l'université de Bejaia (figure II.1).
- **Concasseur :** le concasseur utilise est à mâchoires de marque Frisch Pulveristte, modèle « 01.302 N=° 1097 » au niveau de laboratoire pédagogique Mines et Géologie (LPMG) de l'université de Bejaia (figure II.7).

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes

- **Broyeur à boulettes** : De laboratoire pédagogique Mines et Géologie (LTMGP) de l'université de Bejaïa (figure II.9).
- **Bécher** : des béchers de 750 ml et 1000 ml.
- **L'entonnoir et des éprouvette gradées et le papier filtres** : pour faire le filtrage des échantillons au niveau de labo 24 de Bejaia.
- **Spatule** : pour but de verser le minerai de la barytine (solide).

### II.3.2 Application de l'essai par l'hydrocyclonnage

Afin d'assurer la séparation des particules les plus légères (argiles et autres) débordent et se déchargent par sur-vers, tandis que la barytine plus dense est évacuée dans le bac de floculation par la sous-verse de l'hydrocyclone et participe à la formation de la couche de floculation [73].

➤ Pour réaliser notre étude, soit 5% de solide en masse, une quantité de 3.2 kg de la poudre de la barytine d'une granulométrie  $< 250 \mu\text{m}$  a été mélangé avec un volume de 60L d'eau, soit un rapport de solide /liquide de 5% (% SM=5%), la pulpe obtenue a été introduite dans la partie cylindrique de l'hydrocyclone, l'appareil a été étendu à différentes pressions (0.5 ,0.8,1.1 et 1.4 bar), pendant 03 min, le débit d'alimentation a été stabilisé à 100 L/min, en réglant la fréquence du moteur de la pompe.

➤ Le régime d'équilibre est vérifiable en observant une stabilité de la pression et le débit d'alimentations.

➤ On définit le débit dans la sousverse et la surverse par mesure volumétrique à l'aide d'un chronométrée (voir tableau II.1).

➤ Avant de fixer les différentes pressions par des autres essais, on prélève un échantillon de l'alimentation pour qu'on détermine la concentration initiale dans l'alimentation.

➤ Les échantillons de la pulpe sont pesés puis filtrés pour éliminer l'eau. Ensuite, on les sèche à l'étuve à 105 °C pendant 24h.

➤ Les échantillons séchés sont pesés pour permettre le calcul de concentration solide et le liquide de la pulpe

➤ Finalement, le solide est conservé pour effectuer des analyses physiques-chimiques.

En calcule % solide en masse ( $S_m\%$ )=  $[M \text{ solide} / (M \text{ solide} + M \text{ liquide})]$ .

Cette étape a été réalisé au niveau de laboratoire des procédés minéralogique (labo 24) de l'université de Bejaïa à l'aide d'un hydrocyclone de marque HARTON Anlagentechnik GmbH Ahonweg 13.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes



**Figure II. 10** : l'hydrocyclone de type de laboratoire.

Les débits de l'alimentation dans l'hydrocyclone sont présentés dans le tableau ci-dessus, (tableau II.1). Le débit de la pulpe dans l'alimentation est de 100 L/min.

**Tableau II.1** : Temps de remplissage des débits récipient avec les différentes pression choisies.

<b>Pression (bar)</b>	<b>Débit (L/min)</b>	<b>Temps de remplissage (s)</b>
0,5	71	06,74
0,8	81,60	05,92
1,1	95,30	04,93
1,4	101,50	04,78

### **II.4 Essai d'enrichissement par flottation**

Dans cette méthode d'enrichissement, nous abordons la réalisation des essais visant à enrichir le minerai de barytine provenant de la mine de BOUCAID par le procédé de flottation. Nous détaillerons les divers paramètres de flottation examinés, ainsi que les réactifs utilisés, les résultats obtenus et leurs interprétations.

#### **II.4.1 Préparation de l'échantillon**

##### **➤ Broyage de l'échantillon**

Avec le même échantillon utilisé dans le procédé d'enrichissement par hydrocyclone, nous avons broyé un échantillon de 1539,2 g de minerai de baryte d'une granulométrie inférieure à

## **CHAPITRE II : Matériels et méthodes**

250  $\mu\text{m}$  à l'aide d'un broyeur à boulets de marque CE 245 Kugelmuhle Ball mill. Le broyage a été effectué jusqu'à atteindre une granulométrie inférieure à 125  $\mu\text{m}$ , à une vitesse de 332 tours par minute, pendant une durée de 30 minutes, afin de préparer la poudre d'essai pour la flottation.

### **II.4.2 Matériel utilisée**

#### **➤ Cellule de la flottation**

La cellule de laboratoire permet étudier à petite échelle divers phénomènes liés à la flottation dans des cellules agitées mécaniquement. La cellule de la figure (II.11) Contient un moteur entraîné par un moteur électrique, et l'agitateur est immergé dans une cellule .la taille de la cellule est variable et est choisie en fonction de l'application. L'air est injecté dans la cellule à la base de l'agitateur d'aspiration à travers l'axe de l'agitateur est de 1200t/min.

La flottation à l'aide d'une cellule de laboratoire est un procédé discontinu. Il faut d'abord broyer le minerai et ensuite transférer le mélange dans la cellule. Des réactifs sont ajoutés et le mélange pulpe-réactif est conditionné pendant une période temps 3 minute prédéterminée. L'injection d'air permet d'amorcer la flottation. Le concentré est ensuite reconstitué en grattant l'écume à le temps constant. Entre la récupération de chaque concentré, l'entrée d'air est fermée et le niveau de la pulpe est rajouté à son niveau original avec de l'eau. Une fois la dernière concentration réalisée, les rejets et concentrés sont filtrés, séchés et envoyés pour analyse. La figure ci-dessous représente la cellule de l'laboratoire LTMGP à l'aide d'une cellule de flottation de type metso.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes



**Figure II.11 :** Cellule de flottation de laboratoire.

### ➤ **Autres équipements ;**

- **Etuve :** pour le séchage de l'échantillon de minerai de baryte a été effectué à l'aide étuve muni d'un système de contrôle de température de marque Memmert et LMDS d'université de BEJAIA.
- **Balance :** les opérations de peser des poids a été faites à l'aïd d'une balance de marque Scout-pro DHAUS modèle « SPU 402 » de de laboratoire LTMGP d'université de BEJAIA
- **Broyeur à boulets :** De laboratoire pédagogique Mines et Géologie (LTMGP) de l'université de Bejaïa.
- **Bécher :** des béchers de 1000 ml pour la préparation des réactifs.
- **L'entonnoir et des éprouvette gradées et le papier filtres :** pour faire le filtrage des échantillons au niveau de labo 24 de Bejaia.
- **Spatule :** pour but de verser le minerai de la barytine (solide).

### **II.4.3 matériaux et réactifs de flottation**

#### **II.4.3.1 Les produits utilisés**

Les produits lus utilisées dans cette méthode de flottation nous avons ;

- L'eau distillé pour éviter la contamination des particules.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes

- Un échantillon de minerai de la barytine de BOUCAID broyer à 125  $\mu\text{m}$ .

### II.4.3.2 Les réactifs utilisés

Le choix des réactifs de chaque famille a été fait en fonction des travaux de recherche réalisés ultérieurement (Bénéficiassions of Barite Ores CHAPITER 34), afin de cibler les produits chimiques les plus appropriés à utiliser. Un autre point important à prendre en considération est celui de la disponibilité de ces produits chimiques. Ci-dessous un tableau résumant tous les réactifs utilisés et leur action.

**Tableau II.2** : Réactifs de flottation utilisés

Réactifs	Nom du Réactif	Quantité(g) utilisé pour 250 g de solide
Collecteur	Acide oléique	03 essais [ 0,16 ;0,18 ; 0,20] (ml)
Déprimant	Chlorure d'aluminium	0,215 (ml)
Activant	Baryum	0,225
Régulateur du milieu	La chaux	Ajustement de pH entre 8,5 et 10,5
Moussant	Huile de pin	2 goutte

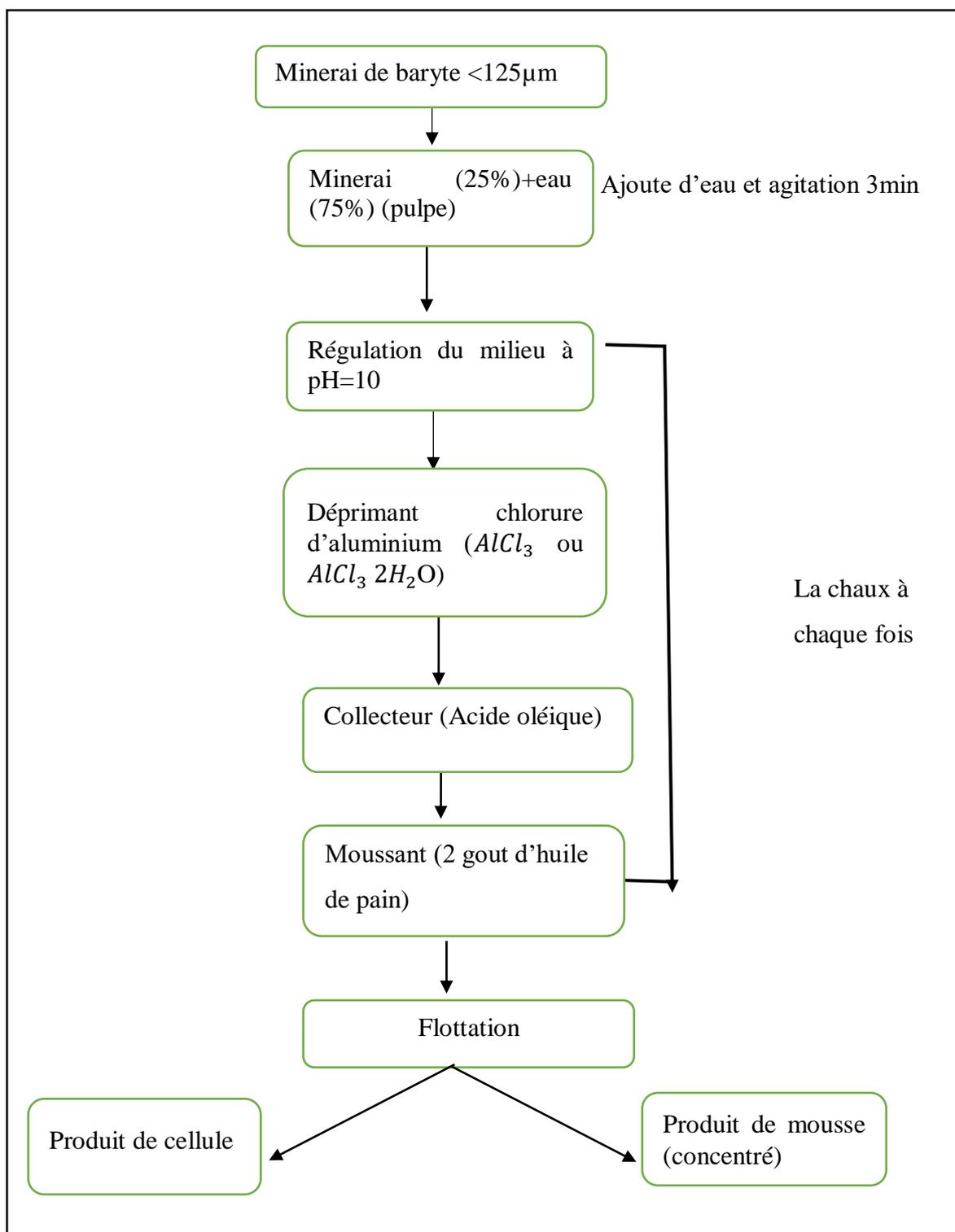
### II.4.3.3 Préparation des réactifs

Il s'agit de la chaux ( $C_aO$ ), et chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$  ou  $AlCl_3 \cdot 2H_2O$ ). Pour ces deux réactifs, la démarche est la même. Il faut peser 250 g de produits solide qui ont une pureté presque totale et le mettre dans un bécher de 100 ml d'eau distillé et bien agiter le mélange pour obtenir une pulpe concentrée.

### II.4.3.4 Protocole expérimental des essais

La cellule de flottation doit être remplie avec l'eau distillé, on ajoute le minerai de façon à obtenir une pulpe d'une densité d'environ 25% en solide. Ces trois essais de flottations comprennent plusieurs paramètres qui peuvent influencer sur la qualité du concentré ou bien du produit de la cellule à savoir : la granulométrie du minerai, la densité de la pulpe, la concentration des réactifs, le temps de conditionnement, le type et la consommation des réactifs. L'objectif de cette méthode d'enrichissement par flottation est la récupération de la barytine. Pour cela on à essayer de varier à chaque fois un paramètre sans toucher aux autres paramètres en utilisant le protocole représenté dans la figure (II.12) expliquant clairement le procédé de la flottation suivi.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes



**Figure II.12 :** Protocole expérimental de la flottation.

Les deux produits obtenus après la flottation sont appelés produit de mousse (le concentré) et produit de fond de la cellule. Les deux derniers sont filtrés, séchés ensuite préparés pour l'analyse chimique et minéralogique afin de contrôler l'efficacité des essais de flottation.

## CHAPITRE II : Matériels et méthodes



**Figure II.13 :** Méthode de filtrage et séchage par la flottation de laboratoire.

### II.4.3.5 Les choix des facteurs

On a étudié l'influence de trois facteurs importants dans la flottation, qui en générale sont :

- La consommation des collecteurs.
- La consommation des déprimants.
- Le temps de flottation.

Durant toutes les expériences on doit garder les autres constants (dilution de la pulpe 25%, milieu de flottation « pH : 8,5 à 10 » machine de flottation de baryte dans la température ambiante, débit d'air, agitation : 1200 t/min, dimension des grains <125 $\mu$ m, et on ne change qu'un seul facteur à la fois parmi les trois facteur choisis, les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II. 3 :** Variation des facteurs étudiés

N ° essais	Temps(mn)			T°(C)	pH	
	Agitation de la pulpe + chaux	Conditionnement (déprimant +collecteur)	Flottation = après l'ajout de moussant		Théorique	Mesuré
1	2	Dép. 1mn+col	4	25	8,5 a10,5	9.15
2	2	Dép. 1mn+col	4	25	8,5 a10,6	8.90
3	2	Dép. 1mn+col	4	25	8,5 a10,7	10

## **CHAPITRE II : Matériels et méthodes**

*Chapitre III*  
*Résultats et discussion*

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

### III.1 Résultats et interprétations

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats d'enrichissement par la flottation et l'hydrocyclonnage obtenus et par la suite les différentes interprétations possibles qui en découlent.

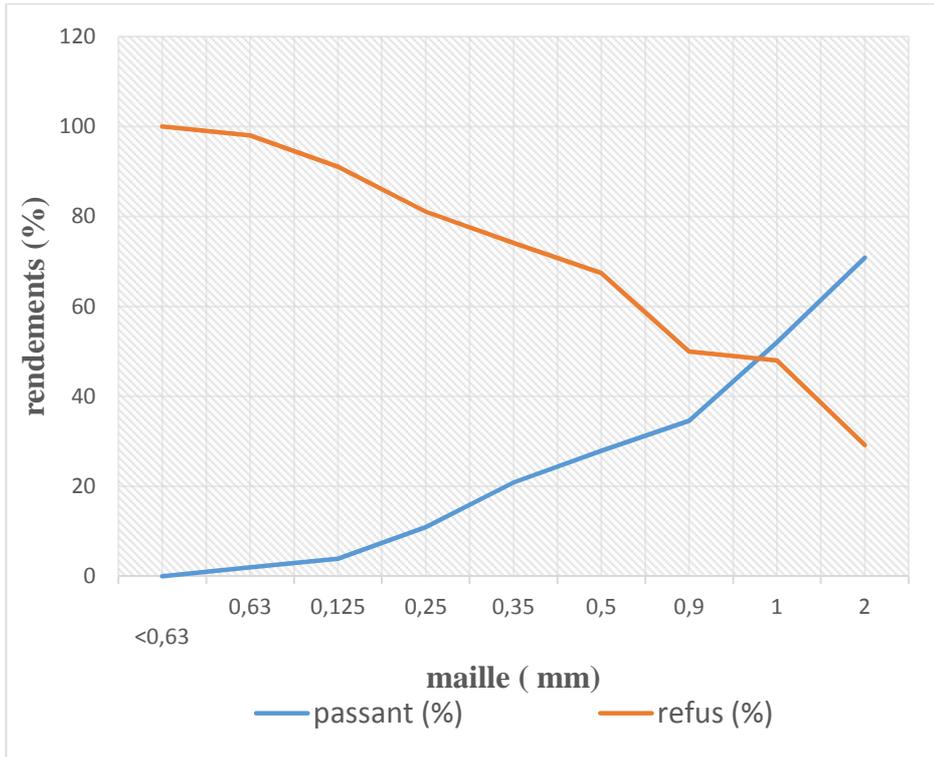
#### III.1.1 Résultats d'Analyse granulométrique après concassage

Le tamisage du minerai de baryte de BOUCAID notre échantillon après lavage a été faite sur une série de tamis allant de, (2mm, 1mm, 0,9mm, 0,5mm ; 0,35mm ; 0,25mm ; 0,125mm ; 0.63mm et <0.63mm) selon la norme BRITI%SH. les résultats portés dans le tableau (III. 1) et représenté par les courbes de la figure (III.1).

**Tableau III. 1 :** Résultats d'analyses granulométriques après concassage de minerai de baryte.

La maille de Tamis (mm)	Poids massif (g)	Rendement pondérale %	Rendement cumulé (%)	
			Passant %	Refus%
2	580	29,18	70,82	29,18
1	373,6	18,79	52,03	47,97
0,9	39,3	1,98	34,55	49,95
0,5	347,6	17,48	27,9	67,43
0,35	132,3	6,65	20,9	74,08
0,25	139,3	7,00	10,93	81,08
0,125	198,3	9,97	3,93	91,05
0,63	139,1	7,00	1,99	98,05
<0,63	38,5	1,94	0,00	100
Fond de tamis	1988	100	-	-

### CHAPITRE III : Résultats et discussion



**Figure III.1 :** Courbe d'analyse granulométrique après concassage.

Les diamètres : D10, D30, D50, D60, représentent respectivement les diamètres des éléments correspondant à 10%, 30%, 50%, 60% de tamisât. Ils représentent respectivement les diamètres des mailles des tamis qui permettent le passage de : 10%, 30%, 50%, 60%, du matériau de départ.

➤ **Facteur de courbe :**

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} * D_{60})}$$

➤ **Facteur d'uniformité :**

$$C_U = D_{60} / D_{10} \text{ [69].}$$

$C_U$  : le coefficient de HAZEN, d'après CAQUOT et KERISEL.

- $C_U < 2$  : la granulométrie est serrée (uniforme) ;
- $C_U > 2$  : la granulométrie est étalée.
- $1 < C_c < 3$  : la granulométrie est bien graduée (continuité bien répartie) ;
- $C_c < 1$  et  $C_c > 3$  : la granulométrie est mal graduée (continuité mal répartie)

D'après la courbe d'analyse granulométrique, on a obtenu : D10= 0 mm, D30= 2 mm, D50= 0,99 mm, D60= 0,7mm, D90= 0,125 mm on calcule après le coefficient de HAZEN ( $C_U$ ) et le coefficient de courbure pour savoir l'état de notre matière :

### CHAPITRE III : Résultats et discussion

$$Cu = D_{60} / D_{10} \rightarrow Cu = 1,59$$

$$Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60} \rightarrow Cc = 0,025$$

Le coefficient d'uniformité d'HAZEN ( $Cu$ ) est très grand [ $Cc = 1,59 > 0,025$ ], c'est-à-dire la granulométrie est étalée ; le minerai présente donc une granulométrie hétérogène, ce qui nous laisse à dire que la résistance mécanique des différents composants minéralogiques de l'échantillon est très variable.

Le coefficient de courbure ( $Cc$ ) étant inférieur à [1 ;3], et cela s'explique par le fait que la granulométrie est mal graduée (continuité mal répartie).

#### III.1.2 Résulte de l'essai d'enrichissement par l'hydrocyclone

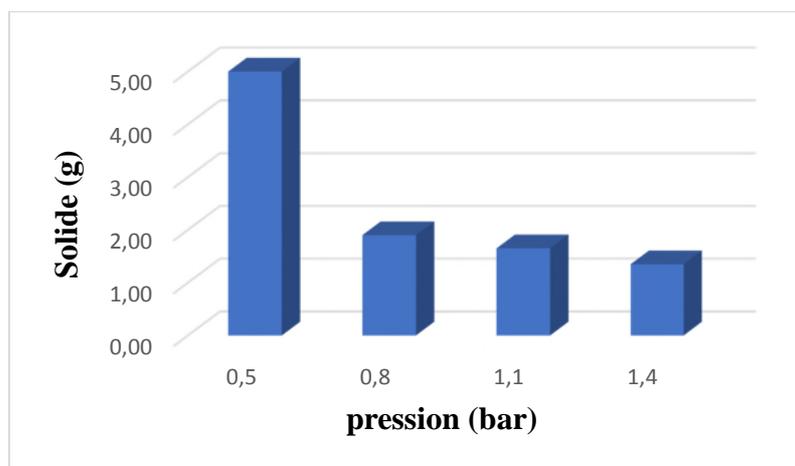
##### III.1.2.1 Calcule de la concentration solide

Après chaque prise d'essais nous avons procédé à la vérification de % solide restant dans notre produit, à cet effet, une succession de prélèvement à l'aide de béccher ont été faite.

Les résultats des % solide en masse obtenus par l'hydro-cyclone sont présentés dans le tableau (III. 2) :

**Tableau III.2 : Résultats de concentration en matière solide**

Pression (bar)	Masse des béchers vide (g)	Masse des béchers remplis (g)	Solide Ms (g)		Solide ML (g)	
			Poids remplis (g)	MP (ml)	Ms (g)	% solide
0,8	72,4	230,4	158	154	3	1,9
1,1	71,6	232,6	161	154	2,65	1,65
1,4	73,6	234,3	169,7	158	2,29	1,35



**Figure III.2 : variation de % solide dans la matière en fonction de la pression**

### **CHAPITRE III : Résultats et discussion**

D'après le tableau (III.2) et l'histogramme, une grande diminution du pourcentage de solides en masse (% Sm) après chaque augmentation de la pression (essai).

#### **III.1.2.2 Rendement massiques**

##### **a. Sousverse**

Après la séparation, la fraction la plus dense ou la plus grossière chemine par cet orifice, la quantité de matière solide de cette fraction récupérée par la sousverse de l'hydrocyclone dans des béchers de 1 litre.

Après le filtrage, les échantillons séchés pendant 24 heures dans une étuve à 105 °C, puis sont pesés pour permettre le calcul de concentration solide et le liquide de la pulpe.

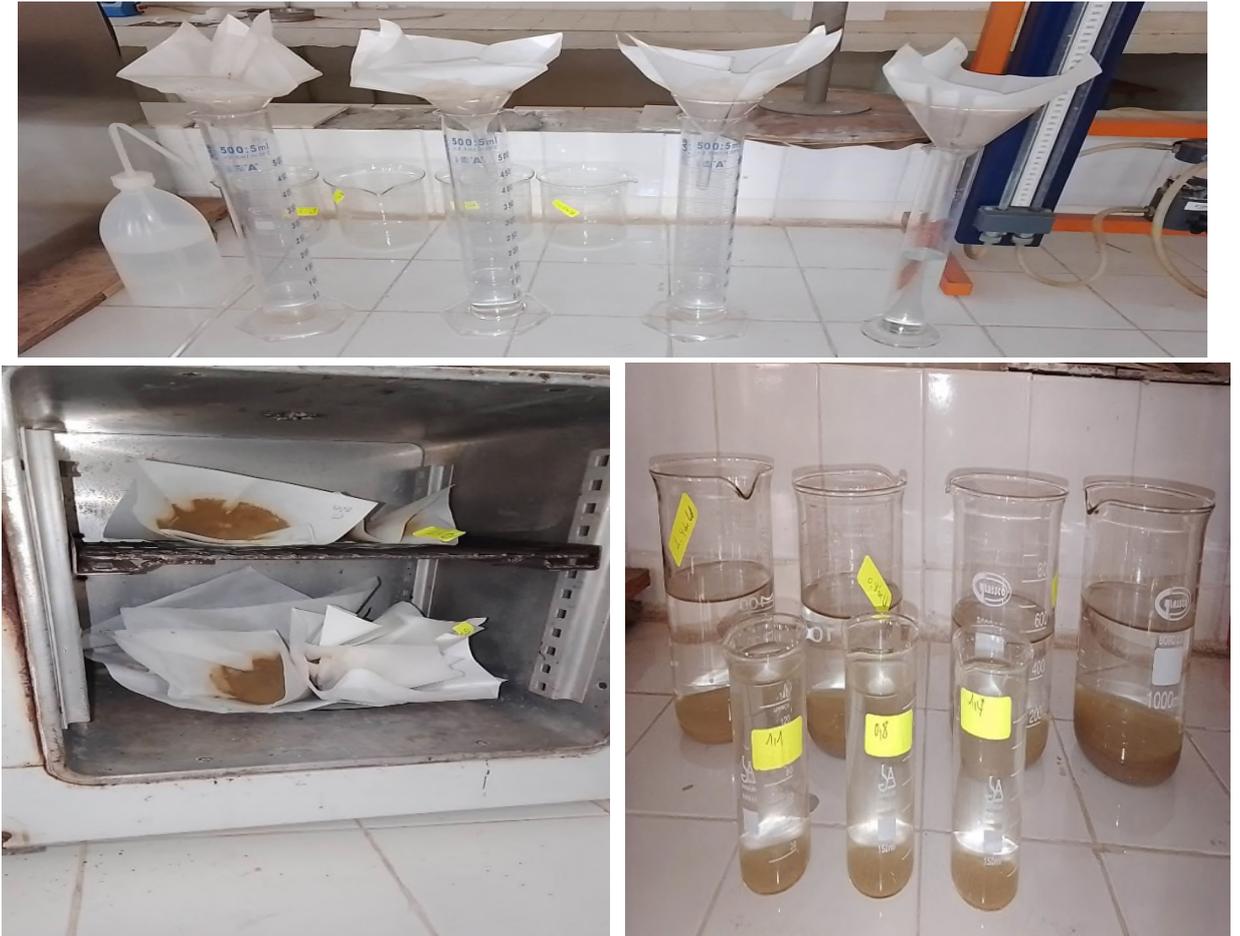
Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (III.3).

**Tableau III. 3 :** Résultats de concentration en matière solide dans la sousverse.

<b>Pression (bar)</b>	<b>Poids de bécher vide (g)</b>	<b>Poids de bécher rempli (bécher + pulpe) (g)</b>	<b>Pulpe (g) (Solide + eau)</b>	<b>Solide (g)</b>
0,5	303,7	1130,6	826,9	275
0,8	293,2	1011,2	718	182
1,1	302	917,7	615,7	113,95
1,4	295,4	957,6	662,2	87,45

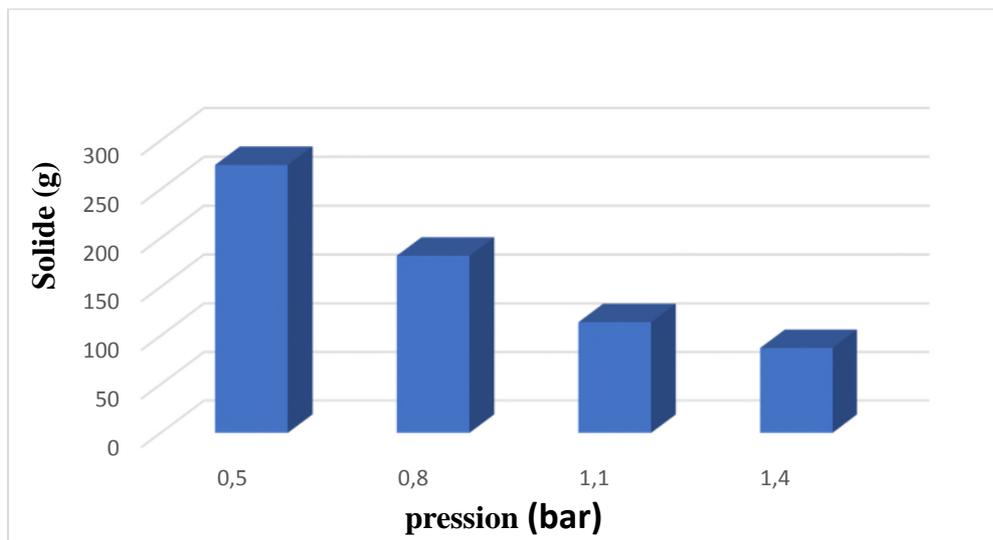
La figure (III.3) Ci-dessus représente la méthode de filtrage et de séchage des échantillons au niveau de laboratoire.

### CHAPITRE III : Résultats et discussion



**Figure III. 3 :** la méthode de filtrage et de séchage au niveau de laboratoire.

La figure (III.4) représente l’histogramme des résultats de concentration en matière solide dans la sousverse ;



**Figure III.4 :** histogramme de résultats de concentration en matière solide récupérer dans la sousverse.

### CHAPITRE III : Résultats et discussion

D'après l'histogramme de la figure (III.4), on constate qu'une augmentation de mélange (S+L) dans les différentes pressions (0,5 ; 0,8 ; 1,1 ; 1,4) bar respectivement (826,9 ; 718 ; 615 ; 662,2) g et le poids des particules solides (275 ; 182 ; 113,95 ; 87,45) g.

#### **b. Surverse**

La quantité de matière solide de la fraction légère ou plus fine récupérée par la surverse de l'hydrocyclone dans des seaux.

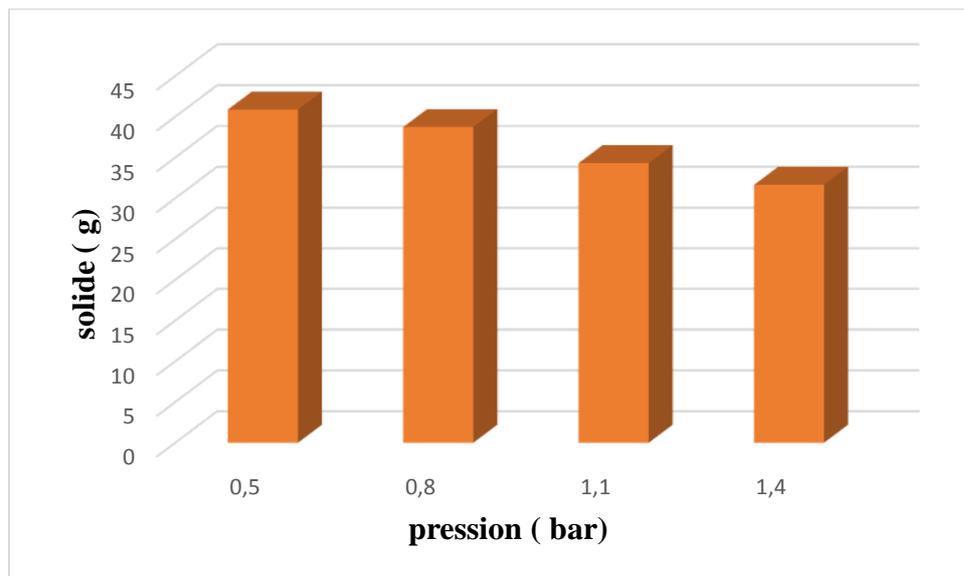
Après le filtrage, les échantillons séchés pendant 24 heures dans l'étuve à 105 °C, puis sont pesés pour permettre le calcul de concentration solide et le liquide de la pulpe.

Les résultats de concentration en matière solide dans la surverse, sont présentés dans le tableau (III.4).

**Tableau III.4 :** résultats de concentration en matière solide dans la surverse.

Pression (bar)	Poids de seau vide (g)	Poids de seau rempli (g)	Pulpe (Solide + Liquide) (g)	Solide (g)
0,5	587	7388,2	6801,2	40,88
0,8	294,2	6812,2	6518	38,73
1,1	478,7	6704,4	6225,7	34,30
1,4	588,9	5608,3	5919,4	31,63

La figure (III.5) représente l'histogramme des résultats de concentration en matière solide dans la surverse.



**Figure III.5 :** Résultats de matière solide dans la surverse.

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

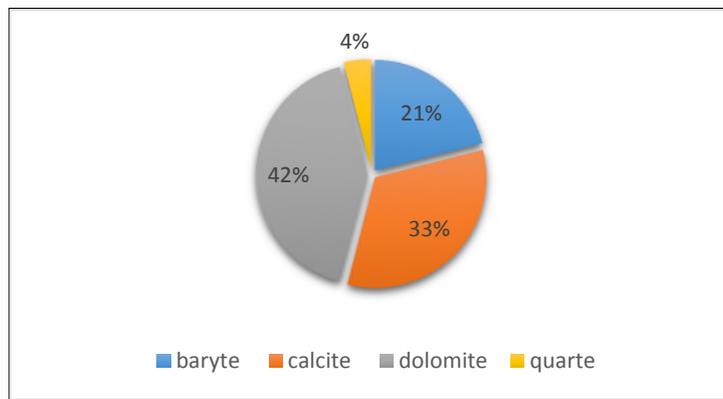
D'après la figure (III.5), on constate que le poids (S+L) en g est en augmentation dans les différentes pressions (0,5 ; 0,8 ; 1,1 ; 1,4) bar ; elles sont respectivement (6801,2 ; 6518 ; 6225,7 ; 5608,3) g et diminution en masse des particules solides qui sont de (40,88 ; 38,73 ; 34,30 ; 31,63) g respectivement.

### III.1.3 Analyses minéralogique et chimique

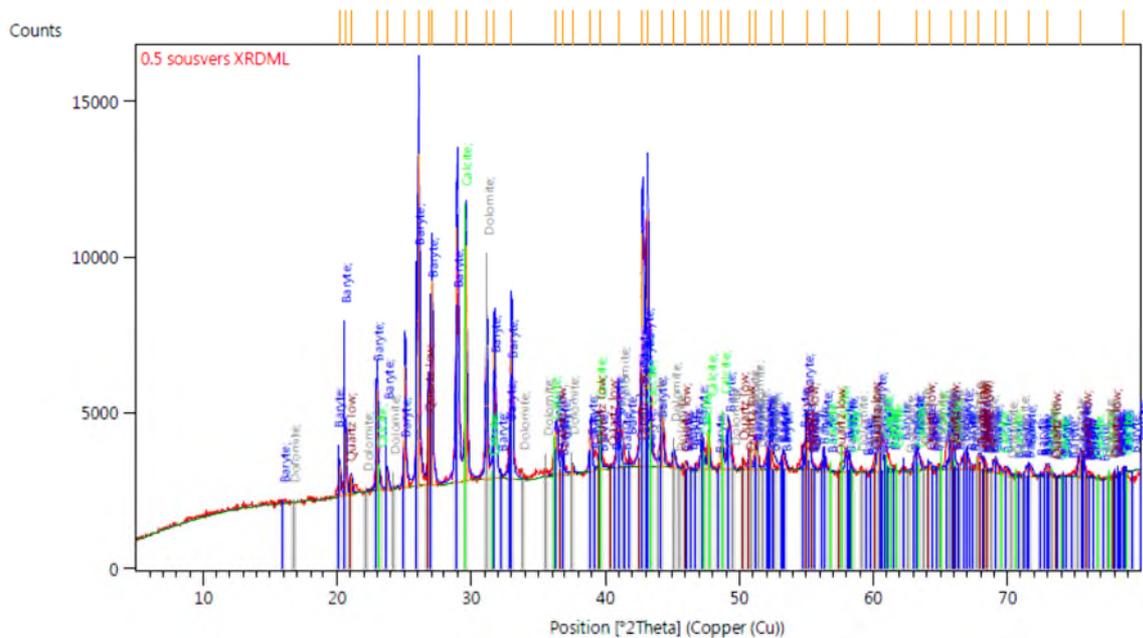
#### III.1.3.1 Caractérisation minéralogique par (DRX)

Le résultat de l'analyse minéralogique par DRX pour l'échantillon de 0,5 bar de surverse est présenté dans le diffractogramme ci-dessous. Les autres résultats sont présentés en annexe.

La figure (III.6) représente l'analyse semi-quantitative des principaux minéraux trouvés dans l'échantillon à pression 0,5 bar. Sous-verse des minéraux à pression 0,5 bar.



**Figure III.6 :** Analyse semi-quantitative des minéraux pour la pression 0.5 bar Sous-verse.



**Figure III.7:** Diffractogramme par rayon X pour l'échantillon 0.5 Sous-verse.

### **CHAPITRE III : Résultats et discussion**

Le diffractogramme (DRX) nous montre que l'échantillon 0.5 bar de notre minerai est contient de la barytine ( $BaSO_4$ ) de 21%. De plus, l'échantillon est caractérisé par gangue représenté dolomite (DO), calcite ( $CaCO_3$ ) et quarte ( $SiO_2$ ) avec des taux (42% ;33% ;4%) respectivement. Les résultats d'analyses minéralurgiques par DRX sont montrés dans le tableau ci-dessous ;

**Tableau III.5** : résultats d'analyses minéralurgiques par DRX.

Pressions (bar)		Minéraux (%)				Somme (%)
		Dolomite	Calcite	Barytine	Quartz	
Surverse (SR)	0,5	32	41	21	6	100
	1,1	30	44	20	6	100
	1,4	28,3	51,5	16,2	4	100
Sousverse (SO)	0,5	42	33	21	4	100
	1,1	31	38	27	4	100

D'après le tableau (III.5) nous montre qu'il contient de la barytine de l'ensembles des échantillons (0,5 SR ; 1,1 SR ; 1,4 SR ;0,5 SO ; 1,1 SO) respectivement (21 ;20 ; 16,2 ;21 ; 27 %). De plus, l'ensemble des échantillons (0,5 SR ;1,1 SR ;1,4 SR ;0,5 SO ; 1,1 SO) est caractérisé par gangue représenté la dolomite, calcite et une petite quantité de quarte respectivement avec (32 ;30 ;28,3 ;42 ;31%) ; (41 ;44 ;51,5 ;33 ;38%) ;(6 et 4%).

#### **III.1.3.2 Analyse chimique par la fluorescence X(FRX)**

Les résultats d'analyses chimiques pour l'ensemble des échantillons sont montrés dans le tableau suivant.

### CHAPITRE III : Résultats et discussion

**Tableau III.6:** Résultats d'analyse chimique FRX pour l'ensembles des échantillons

Les éléments	Souverse (bar)		Surverse(bar)		
	0,5	1,1	0,5	1,1	1,4
	Teneurs (%)				
<b>Al</b>	2,18	2,04	1,44	1,38	1,61
<b>S</b>	6,33	6,07	6,79	5,59	6,7
<b>Ca</b>	11,58	10,46	13,11	12,58	14,74
<b>V</b>	2	1,92	2,03	2,17	2,18
<b>Fe</b>	4,19	4,28	3,38	3,28	3,24
<b>Zn</b>	1,2	1,21	1,35	1,1	1,13
<b>Sr</b>	0,414	0,383	0,451	0,461	0,453
<b>Mg</b>	1,94	1,9	1,86	2,55	2,67
<b>Si</b>	4,34	4,17	4,21	4,68	5,75
<b>K</b>	0,252	0,258	0,073	0,07	0,095
<b>Ba</b>	12,22	12,74	10,54	10,67	10,89
<b>Mn</b>	0,307	0,28	0,228	0,25	0,259
<b>Cu</b>	0,014	0,017	0,014	0,018	0,01
<b>As</b>	0,053	0,057	0,026	0,024	0,033
<b>Pb</b>	0,907	0,907	0,598	0,661	0,656
<b>Y</b>	0,003	/	/	/	/
<b>El</b>	52,61	55,17	52,91	52,97	47,71
<b>Total</b>	100,54	101,862	99,01	98,454	98,126

On remarque que le taux de Barium varie entre de 12,22 à 12,74% dans la sous-verse à des pressions respectives de 0,5 et 1,1 bars respectivement. Dans la surverse, le taux de Barium varie entre 10,54 et 10,89 % à des pressions respectives de 0,5, ;1,1 et 1,4 bar ; ce taux augmente légèrement à mesure que la pression augmente.

On remarque que les éléments, Ca, Ba, Fe, Si et S sont les éléments majeurs, suivi par les éléments mineurs Al, V, Mg, Zn. Le Pb, Sr, Mn, K sont en traces. La matière légère représente 54% de l'échantillon qui représente les matières organiques, les carbonates et les sulfures.

#### **III.1.4 Les résultats de l'essai d'enrichissement par la flottation**

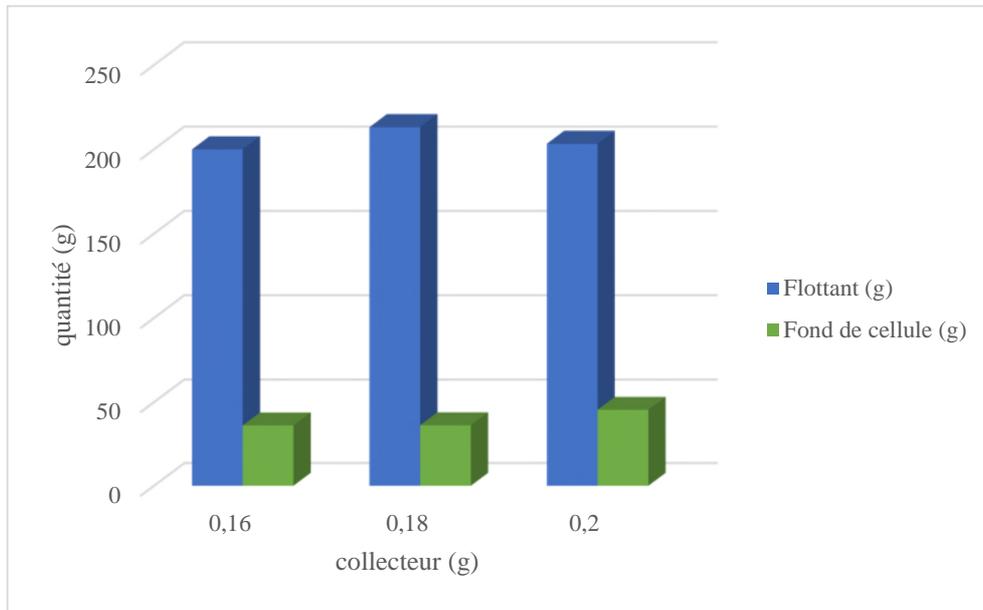
Les résultats d'enrichissement sont montrés dans le tableau (III.7).

**Tableau III.7 :** Résultats d'analyses par le procédé de flottation.

N° essai	Flottant (g)	Fond de cellule (g)	Totale (g)
0,16	200	36,10	236,1
0,18	213,12	36,20	249,32
0,20	203,30	45,40	248,7

### CHAPITRE III : Résultats et discussion

La figure (III.8) montre les bilans massiques des essais de flottation.



**Figure III.8 : Résultat du bilan massique des essais de flottation**

## CHAPITRE III : Résultats et discussion

### **Conclusion**

Les différentes techniques d'analyses (DRX, FX) utilisées pour la caractérisation de minerai de barytine et l'analyse granulométrie ont montré :

- L'analyse granulométrique, le classement dimensionnel effectuée par tamisage a révélé que les particules majeures de la masse de minerai globale sont représentées par la tranche granulométrique  $< 250\mu\text{m}$ .
- Les phases minérales identifiées par diffraction des rayons DRX sont principalement ; la barytine, et présence de la dolomite et la calcite et un peu de quartz.
- L'analyse chimique par FRX des échantillons a révélé un taux de Barium allant de 12,22 à 12,74% existant dans la sous-verse à des pressions respectives de 0,5 et 1,1 bars. Dans la surverse, le taux de Barium varie entre 10,54 et 10,89 % à des pressions respectives de 0,5 ; 1,1 et 1,4 bar ; ce taux augmente légèrement à mesure que la pression augmente. D'autres part, la présence de nombreux éléments accessoires tels que Le Pb, Sr, Mn, K, sont en traces. Les matières légères caractérisées par les éléments légers sont en moyenne de 54% ; celles-ci sont principalement les matières organiques, les carbonates et les sulfures.

Dans la l'essai d'enrichissement par flottation on a réalisée 3 essais de flottation, on a utilisée l'Acide oléique, les, Chlorures d'aluminium  $AlCl_3 \cdot 2H_2O$ , de Baryum  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ , la chaux ( $CaO$ ) et Huile de pin.

On a constaté que la masse du flottant est toujours plus importante que la masse de la partie déprimée au fond de la cuve, ce qui nous emmène à dire que les particules de la barytine sont beaucoup plus hydrophiles que hydrophobes, mais aussi le taux de récupération de la barytine par le procédé de flottation est plus important à 0,2.

***CONCLUSION GENERALE***

## CONCLUSION GENERALE

### Conclusion générale

Le choix des méthodes de traitement du minerai dépend de plusieurs facteurs tels que ; type du minerai, sa composition chimique, minéralogique, sa finesse...etc.

Les méthodes les plus couramment utilisées pour l'enrichissement de la Barytine sont le classificateur de l'hydrocyclonnage et la flottation. A cet effet, l'objectif de ce travail est de réaliser un essai d'enrichissement du minerai de baryte de Boucaid, par l'hydrocyclonnage et par la flottation. Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

La première méthode d'enrichissement c'est par l'hydrocyclone. Les différentes techniques d'analyses (DRX, FX) utilisées pour la caractérisation de minerai de barytine et l'analyse granulométrie ont montré :

- L'analyse granulométrique, le classement dimensionnel effectué par tamisage a révélé que les particules majeures de la masse de minerai globale sont représentées par la tranche granulométrique  $< 250\mu\text{m}$ .
- Les phases minérales identifiées par diffraction des rayons DRX sont principalement ; la barytine, et présence de la dolomite et la calcite et un peu de quartz.
- L'analyse chimique par FRX des échantillons a révélé un taux de Barium allant de 12,22 à 12,74% existant dans la sous-verse à des pressions respectives de 0,5 et 1,1 bars. Dans la surverse, le taux de Barium varie entre 10,54 et 10,89 % à des pressions respectives de 0,5 ; 1,1 et 1,4 bar ; ce taux augmente légèrement à mesure que la pression augmente. D'autres part, la présence de nombreux éléments accessoires tels que ; Le Pb, Sr, Mn, K, sont en traces.
- Les matières légères caractérisées par les éléments légers sont en moyenne de 54% ; celles-ci sont principalement les matières organiques, les carbonates et les sulfures.

La deuxième méthode d'enrichissement par flottation, nous avons utilisée l'Acide oléique, les Chlorures d'aluminium  $AlCl_3 \cdot 2H_2O$ , Baryum  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ , la chaux ( $CaO$ ) et Huile de pin. La flottation de la barytine de Boucaid a été réalisée sur la fraction de taille inférieure à 125  $\mu\text{m}$ . L'acide oléique a été utilisé comme collecteur à différentes concentrations dans un milieu de pH basique (entre 8,5 et 10). Le procédé de flottation a montré de bons rendements massiques avec l'utilisation de l'acide oléique.

## **CONCLUSION GENERALE**

On a constaté que la masse du flottant est toujours plus importante que la masse de la partie cuve, ce qui nous emmène à dire que les particules de la barytine sont beaucoup plus hydrophiles que hydrophobes, mais aussi le taux de récupération de la barytine par le procédé de flottation.

***REFERENCES BIBLIOGRAPHIES***

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### **Les références bibliographiques**

- [1] Batouche Toufik, Caractérisation et traitement du minerai barytique d'Ain Mimoun pour l'obtention d'un concentré de haute qualité 2021.
- [2] Djili Ibtissem, Touat Meriem, Conception d'un plan de tir pour l'exploitation du niveau 1160m du gisement AMMAL-BOUCAID « Tissemsilt »2016.
- [3] Meghellet Lounis, Belaid Mourad, Etude géotechnique de la stabilité d'une mine souterraine cas de la mine Bou-caïd (Tissemsilt) 2019.
- [4] L. ALBOUY, CH. ROUSSEAU, Mémento roches et minéraux industriels, la barytine, rapport brgm r 37775, aout 2014.
- [5] Robert.G 2019. Completion and extension of the periodic table of elements beyond uranium. C.R.Physique 2019 , <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2018.12.006>
- [6] Jacobsen, S.D., J.R. Smyth, R.J. Swope, And R.T. Downs, rigid-body character of the so4 groups in Celestine, anglesite, and barite (1998).
- [7] HARVEY E. NEWTON, *A History of Luminescence: From the Earliest Times until 1900, Memoirs of the American Physical Society*, Philadelphia, J. H. FURST Company, Baltimore, Maryland (USA), vol. 44, chap. 1, p. 11-43. (1957).
- [8] Philippe F. Smet, Iwan Moreels, Zeger Hens et Dirk Poelman, « Luminescence in Sulfides: A Rich History and a Bright Future », *Materials*, vol. 3, n° 4, 2010, p. 2834–2883 (ISSN 1996-1944, DOI 10.3390/ma3042834).
- [9] L.E. Hetherington, T.J. Brown, A.J. Benham, P.A.J. Lusty et N.E. Idoine, *World mineral production : 2001-2005*, Amersham, Buckinghamshire, British Geological Survey, 2007, 81 p. (ISBN 978-0-85272-592-4, lire en ligne [archive] [PDF]), p. 7 du livre ; 13 du pdf
- [10] Sally. J et Suzette M, USGS ; United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, p31. Janvier 2017.
- [11] Jean-Louis Vinges et autres...,SULFATE DE BARYUM, [http://www.societechimique de France](http://www.societechimique.de France), 2006
- [12] Duflos. G. La baryte ou barytine. Association des Amis d'Allègre.Association de la Neira. P 01. 2014
- [13] Gosselin. A, Blachburn et Bergeron.M. Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide est des technologies minéralurgiques, 1999.
- [14] FARAH Omar, DEMIA Hamza (2015). Conception d'un plan de tir pour l'exploitation du niveau 1160 m du gisement AMMAL-BOUCAID « Tissemsilt ». Mémoire de fin d'étude 2016.
- [15] Johnson, C. A, Piatak, N.M., and Miller, M.M, 2017, Barite (Barium), chap. D of Schulz, K. J., De Young, J. H., Jr, Seal, R. R., II, and Bradley, D.C., eds., Critical mineral

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

resources of the United States-Economic and environmental geology and prospects for future supply: U. S. Geological Survey Professional Paper 1802, p. D1-D18, <https://doi.org/10.3133/pp1802D>.

[16] AFFROUN Mansour, ELKIM Tinhinane. Treatment et caractérisation du minéral Célestine par hydro cyclone cas de gisement de Beni Mansour-Bejaia Mémoire de fin d'étude 2022.

[17] Andrews, P. R. A. and Collings, R. K. Beneficiation of barite : A review of processing studies at CANMET. Mining Engineering, 457 – 461, 1989.

[18] Bulatovic, S. M. Beneficiation of Barite Ore, Handbook of Flotation Reagents : Chemistry, Theory and Practice, 34(3), 129-141. 2015

[19] Bhaskar Raju.G, Prabhakar.S and Subba Rao.S 2015, 2004. Studies on the Beneficiation of Barite. International Seminar on Mineral Processing Technology (MPT – 2004). La dernière modification 04 Dec 2013.p 322-330. <http://eprints.nmlindia.org/6144>.

[20] Kolawole.F. O, Bergerman.M. G, Ulsen.C et Kolawole.S. K. A global review of barite beneficiation processes : a case study of azara barite ores in Nigeria. Nigerian Journal of Engineering. Vol. 26, No. 1, April 2019.ISSN: 0794 – 4756, 2019.

[21] Ciccu, R. Curreli, L. Giuliani, S. Manca, P. P. and Massacci, O. "Optimization of an Integrated Flowsheet for Barite Processing," in Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries, Johannesburg, 1987.

[22] Deniz, V. Recovery of barite from BASER Co. barite processing plant slimes by using MGS. GEOSOUND Sci. Technol. Bull. Earth Sci. 36 : 207-212. 2000.

[23] Da Luz, A.B., Baltar, C.A.M. Usos E Especificacoes, Barita. In : da Luz, A.B., Lins, F.F., eds. Usos E Especificacoes, Rio de Janeiro : Centro de Tecnologia Mineral – Ministerio da Ciencia E Tecnologia, 263 – 277, 2005.

[24] Ripley. E.A., Redmann, R.E., Crowder, A.A. Environmental effects of mining. St Lucie Press, Delray Beach, Florida, USA. (1996).

[25] Bulatovic, S. M. Beneficiation of barite ore, handbook of flotation reagents : chemistry, theory and practice, 34(3), 129- 141. 2015.

[26] Browning JS, Rampacek C. Flotation of complex barite fluorspar ores. In : Proceedings 7th international mineral processing congress ; 1964. pp. 221–6.

[27] Bulatovic, S. M. Beneficiation of Barite Ore, Handbook of Flotation Reagents : Chemistry, Theory and Practice, 34(3), 129-141. 2015.

[28] Molaei, N., Razavi, H., Chelgani, S. C. Designing different beneficiation techniques by Taguchi method for upgrading Mehdi-Abad white barite ore, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 1 – 5. (2017).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [29] Raju, G. B, Ratchambigai. S, Rao. M. A, Vasumathi. N, Kumar. T. V. V, Prabhakar. S, Rao. S. S. Beneficiation of Barite Dumps by Flotation Column ; Lab-Scale Studies to Commercial Production. Transactions of the Indian Institute of Metals, 69(1), 75–81, 2016.
- [30] Kecir.M. Etude générale de la flottation différentielle Barytine-Fluorine. Mines et carrière. Décembre 1993.ISSN 0999-5714.P47-55,1993.
- [31] Kecir.M et Botula.J. Optimisation of barite flotation parameters. October 2015. DOI : 10.13140/RG.2.1.1579.0807, 2015.
- [32] Kecir.M et Kecir. A. Selective Flotation of Barite and Associated Minerals : A Comparative Study. Inżynieria Mineralna. Journal of the Polish Mineral Engineering Society.P117-124,2015.
- [33] Robert .H et Robert. J : Concentration gravimétrique, Techniques de L'ingénieur 04/03/2012. Réf : A 5 190
- [34] pierre. B, ROBERT. J 2012a : Concentration par gravité principes, Techniques de L'ingénieur 04/03/2012. Réf : j 3 190.
- [35] Barry. A. Wills, Tim Napier-Munn.2006 : An Introduction to the practical Aspects of ore treatment and mineral recovery. Gravity concentration, mineral processing technology. Elsevier science &technology Books. October 2006. ISBN : 075064654508.450p.
- [36] Oladapo, M. I., Adeoye-Oladapo, O. O. Geophysical investigation of barite deposit in Tunga, Northeastern Nigeria. International Journal of the Physical Sciences, 6(20), 47604774. (2011).
- [37] Rao, G.V., Markandeya R., Sharma, S.K., 2016. Recovery of Iron Values from Iron Ore Slimes of Donimalai Tailing Dam. Transactions of the Indian Institute of Metals Volume 69, Issue 1, 1 January 2016, Pages 143-150]
- [38] BENDJAOUHDOU Chaouki Encadreur : NEDJAR Zohir. Etude théorique et expérimentale de l'adsorption de xanthate sur la pyrite (FeS<sub>2</sub>) Mémoire de Master en Génie des Procédés Option. Université Mohamed Khider – Biskra. (2016).
- [39] HUANG ZHUJUN. Efficacité de capture dans les procédés de flottation, thèse doctorat, université de Toulouse, (2009).
- [40] Pearse.M.J, 2005. An overview of the use of chemical reagents in mineral processing. Minerals Engineering 18 (2005) p139–149.
- [41] Srdjan M. Bulatovic, Handbook of Flotation Reagents Chemistry, Theory and Practice : Flotation of Sulfide Ores, Publisher : Elsevier Science &Technology Books, 2007.
- [42] Vincent. S. Capture de fines particules par des inclusions fluides. Thèse de doctorat Transferts, Dynamique des Fluides, Energétique et Procédés. Spécialité Génie des Procédés et

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

de l'Environnement. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. FRANCE. P292, 2006.

[43] Albert B, et al. Effect of organic and unorganic chemicals on the flotation, non-sulphide minerals using fatty acid collector Po Obogascheniu Poleznik Iskopaemih Leningrad. ; 1968.

[44] Hicyilmaz C, Ghaemi M. The effect of inorganic agents on the flotation of barite and fluorite Changing Scope of Mineral Processing ; 1996. Rotterdam Conference.

[45] MOUSSAOUI.E. Essais de valorisation du minerai Plombo-barytique du gisement d'Ichemoul (W. Batna) par flottation. Thèse de Magistère en génie minier, ENP ALGER.114 p, 2015.

[46] BALADHA.F. Revalorisation des rejets barytique issues des jigs et impacts environnementales : cas de la mine de Ain Mimoun. Mémoire de magister en mine 2011-2012

[47] R. HUPPE, évaluation, optimisation et comparaison des cellules et des colonnes de flottation afin de retirer des contaminants organiques de sédiments portuaires, Thèse doctorat, Université du QUEBEC (INRS Géo-Ressources),2001.

[48] Barry A. Wills, Tim Napier-Mun : An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. Gravity concentration, Mineral Processing Technology. Elsevier Science & Technology Books. October 2006. ISBN : 0750644508.450P.

[49] Güven, Ö., Çelik, M. S., Drelich, J. W. Flotation of methylated roughened glass particles and analysis of particle bubble energy barrier. Minerals Engineering, 79, 125-132. (2015).

[50] Tülay. T, Sultan. G, M. Kadir G, Burakhan E, Enes K, Gülay. B : Développements in Flotation Technology. IMPC Eurasia Conference 31 October-2 November 2019 Antalya – Türkiye. 2019.

[51] Gilles BARBERY : Flottation, Mécanismes et réactifs. Techniques de l'Ingénieur 10 août 1981. Réf : A5350 v1.

[52] Estefan. Radiometric study of the adsorption of chromate ions in anionic flotation of barite and Celestine minerals. Published by Elsevier Volume 9, Issue 1, January 1974, Pages 19-22. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(74\)80004-5](https://doi.org/10.1016/0032-5910(74)80004-5).

[53] Sonmez, I., Cebeci, Y. A Study on spherical oil agglomeration of barite suspensions, International Journal of Mineral Processing 71, 219–232. (2003).

[54] Slaczke, A. Effects of an Ultrasonic Field on the Flotation Selectively of Barite from a Barite-Fluorite-Quartz Ore. International Journal of Mineral Processing, 20, 193 – 210. (1987).

[55] Sadowski, Z. The influence of sodium lignin sulfonate on the adsorption of sodium dodecyl sulfate on salt-type mineral surfaces. Minerals Engineering, 5, 421 – 428. (1992).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

- [56] Hadjiev.A., Peter Hadjiev, Rashko Georgiev, Flotation of barite from complex iron ore. International Symposium On Processing Of Fines (Prof-2000), Nml Jamshedpur, India, 2000.P222-230.
- [57] Bhaskar Raju.G, Prabhakar.S and Subba Rao.S. Studies on the Beneficiation of Barite. International Seminar on Mineral Processing Technology (MPT – 2004). La dernière modification 04 Dec 2013.p 322-330. <http://eprints.nmlindia.org/6144>.
- [58] Gérard GILLET. Séparation magnétique. Techniques de l'Ingénieur 10 nov. 1991. Réf : A5220 V1.
- [59] Xiong, D., Lu, L., & Holmes, R. J. Developments in the physical separation of iron ore : magnetic separation. In Iron Ore (pp. 283-307), (2015).
- [60] Manouchehri, H. R., Rao, K. H., & Forssberg, K. S. E. Review of electrical separation methods. Mining, Metallurgy & Exploration, 17(1), 23-36. (2000).
- [61] Gosselin.A, Blackburn et Bergeron.M. Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques,1999.
- [62] Bittner, J. D. Flynn, K. P. Hrach, F. J. b. Expanding Applications in Dry Triboelectric Separation of Minerals. XXVII International Mineral Processing Congress, 1 – 13. 2014.
- [63] Wyman, R. A. Experimental work on barite from Yarrow. Ontario. Division Report 70, 51 (IR). CANMET. Energy, Mines and Resources Canada. (1970).
- [64] Somasundaran, P., Yelloji Rao, M. K. (n.d.). Reagents of Biological Origin in Metallurgy, Chapter 25, 255 – 256.
- [65] Gahan, C.S, Srichandan, H., Kim, D., Akcil, A., Bio hydrometallurgy and Bio mineral Processing Technology : A Review on its Past, Present and Future. Research Journal of Recent Sciences, 1(10), 85-99. 2012.
- [66] VON .M, LAUE. Z. KRISTALLOGR. (6), pp,115. 1926.
- [67] Von. M et Laue. Z 1926, Bragg. WL 1934, BARRETT.CS 1957, HANK.V et Genzel.Ch 1997.
- [68] ADJISSA M, Analyse et caractérisation de minerai de fer de Gara Djebilet (ouest Tindouf\_ Algérie), Mémoire de fin d'étude, mine et géologies université de Bejaia ,2019.
- [69] FRANCIS ROUESSAC ANNICK ROUESSAC, analyse chimique, méthodes et Techniques instrumentales modernes 6e édition dunode 2007.
- [70] Coussy. S. H. B. Stabilisation de rejets miniers pollués à l'arsenic à l'aide de Sous-produits cimentaires : étude de l'influence de la cristallogénie sur le risque de mobilisation des polluants. Thèse doctorat. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, p 373.
- [71] MOUSSACEB. K. Optimisation du système de gestion de l'homogénéisation du cru et du processus technologique de fabrication de ciment dans le système carrière usine de fabrication, application aux cimenteries algériennes, thèse doctorat 2007.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

[71] Bhaskar Raju.G, Prabhakar.S and Subba Rao.S. Studies on the Beneficiation of Barite. International Seminar on Mineral Processing Technology (MPT – 2004). La dernière modification 04 Dec 2013.p 322-330. <http://eprints.nmlindia.org/6144>.

[72] Shaikh, A. M. H., Banerjee, S.S., Dixit, S.G. Use of magnetic surfactants in the high gradient magnetic separation of essentially nonmagnetic calcite and barite. Separation Technology 4, 174 – 179, (1994).

[73] FARAH Omar, DEMIA Hamza. Etude quantitative et qualitative des rejets du Kaolin du complexe SOALKA spa pour une meilleure gestion. Mémoire de fin d'étude en mine et géologies. Université de Bejaia, (2015).

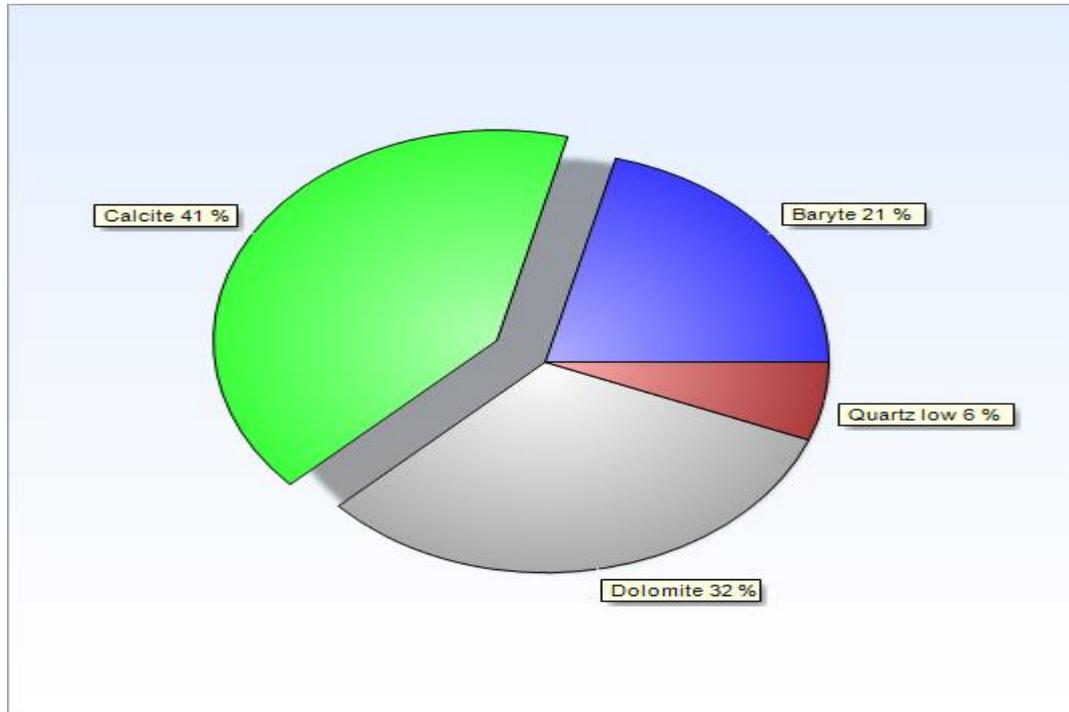
## ***ANNEXES***

## Liste des Annexes

### Annexe N°1 :

Les résultats de la DRX de l'échantillon 0.5 surverse (SR) ;

Cette figure représente les pourcentages de présence des minéraux à la pression 0.5 bar.



**Figure 1 :** Cercle relatif indiquant les pourcentages de présence des minéraux à la pression 0.5 bar de souverse.

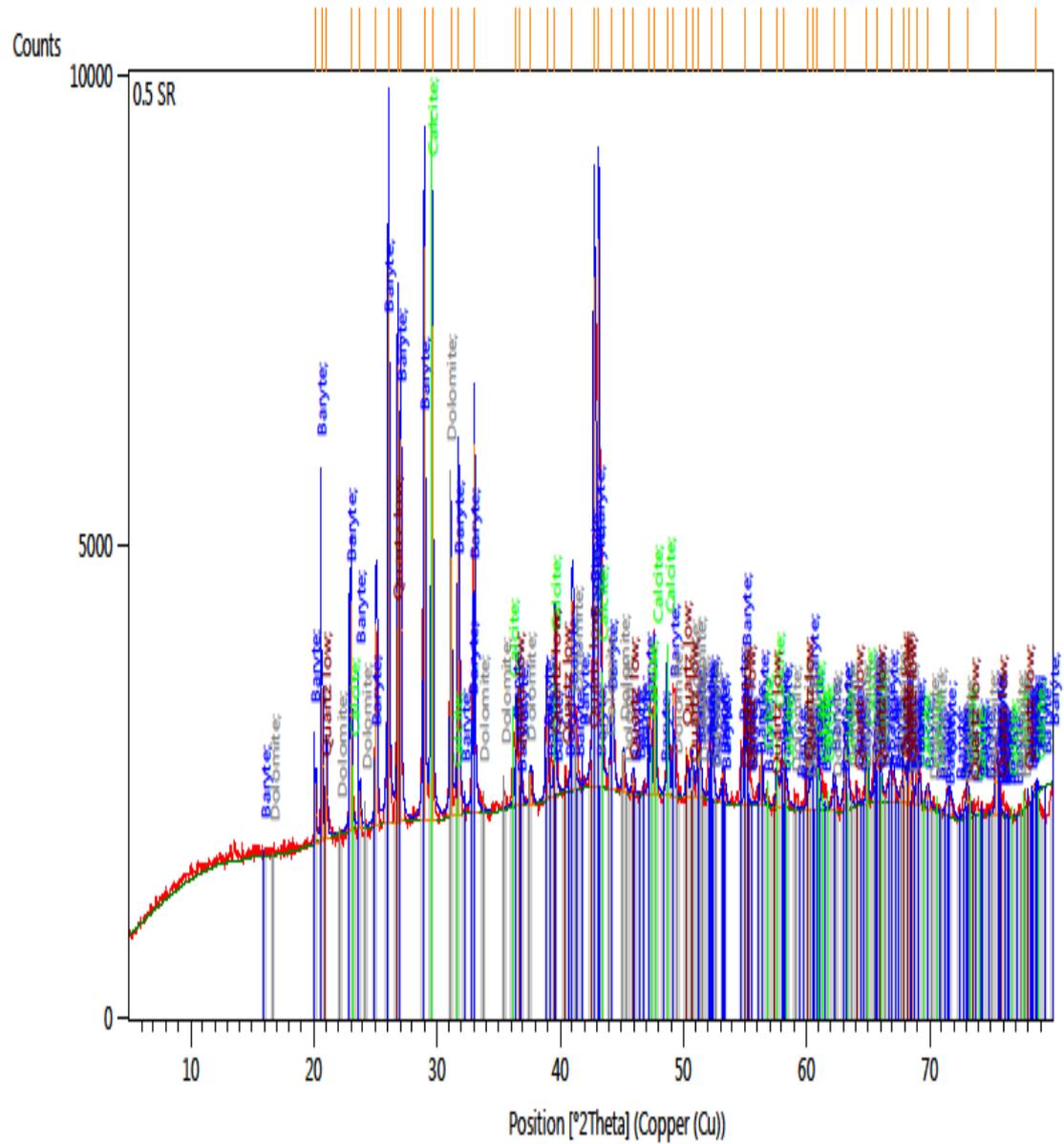
Les résultats d'analyse DRX représenté dans la figure (02) à la pression 0.5 bar SR ;

# Liste des Annexes

Date: 14.06.23 Time: 10:17:10

File: 0.5 SR.HPF

User: BejaiaNet

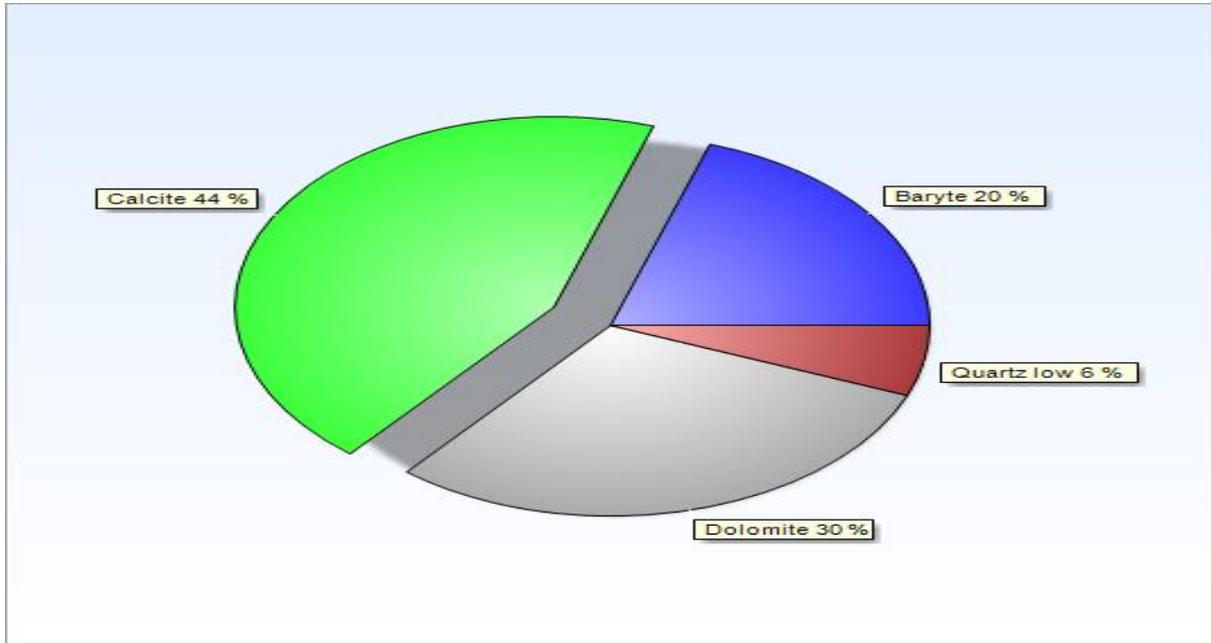


**Figure 02 :** Diffractogramme par rayon X pour l'échantillon 0.5 SR.

## Liste des Annexes

### Annexes N°02 :

Cette figure représente les pourcentages de présence des minéraux à la pression 1.1 bar SR.



**Figure 03 :** un cercle relatif indiquant les pourcentages de présence des minéraux de pression 1.1SR.

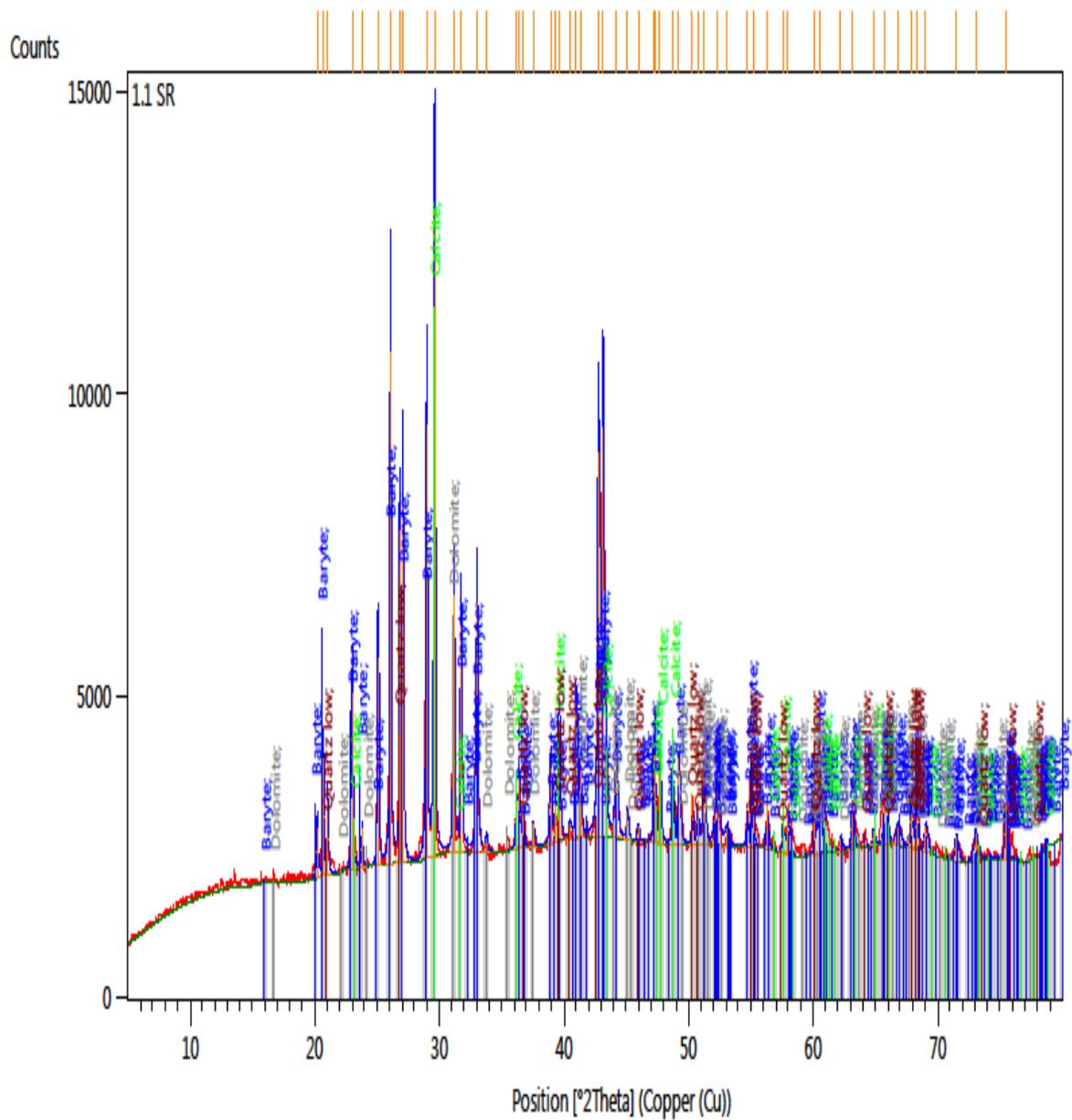
Les résultats d'analyse DRX représenté dans la figure (03) à la pression 1.1 SR ;

# Liste des Annexes

Date: 14.06.23 Time: 11:06:57

File: 1

User: BejaiaNet

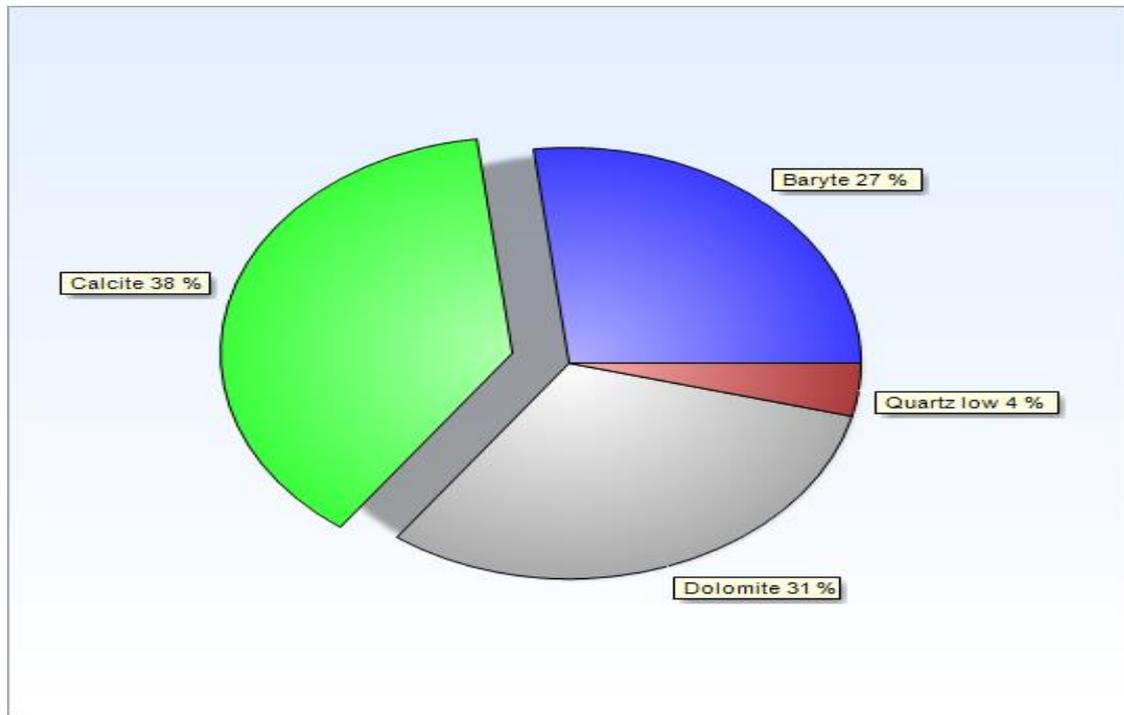


**Figure 04** : diffractogramme par rayon X pour l'échantillon 1.1 SR.

## Liste des Annexes

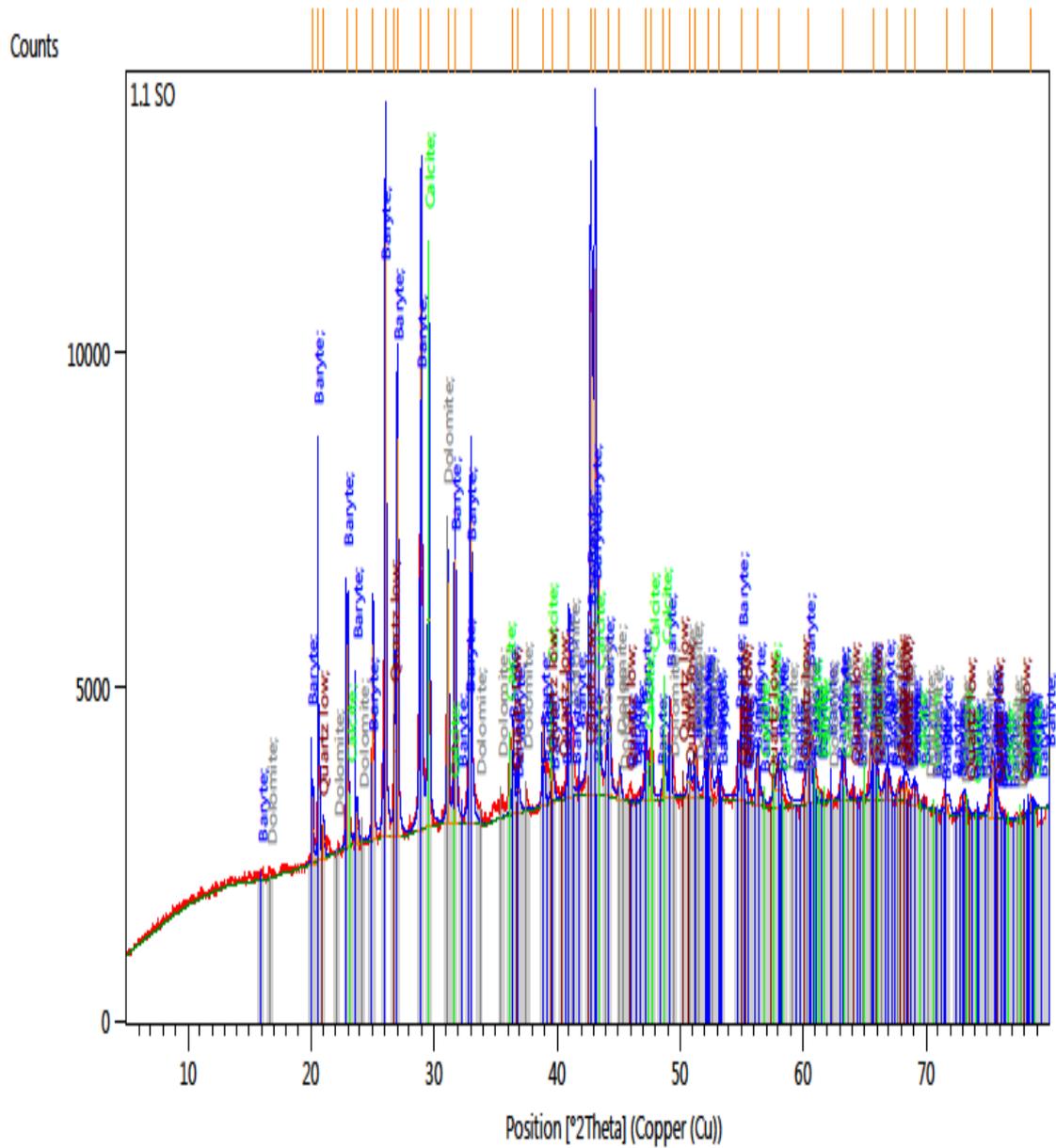
### ANNEXES N°03 :

Cette figure représente les pourcentages de présence des minéraux de pression 1.1 SO (sous verse).



**Figure 05 :** Cercle relatif indiquant les pourcentages de présence des minéraux à la pression 1.1 SO.

Les résultats d'analyse DRX représenté dans la figure (06) pour la pression 1.1 SR ;

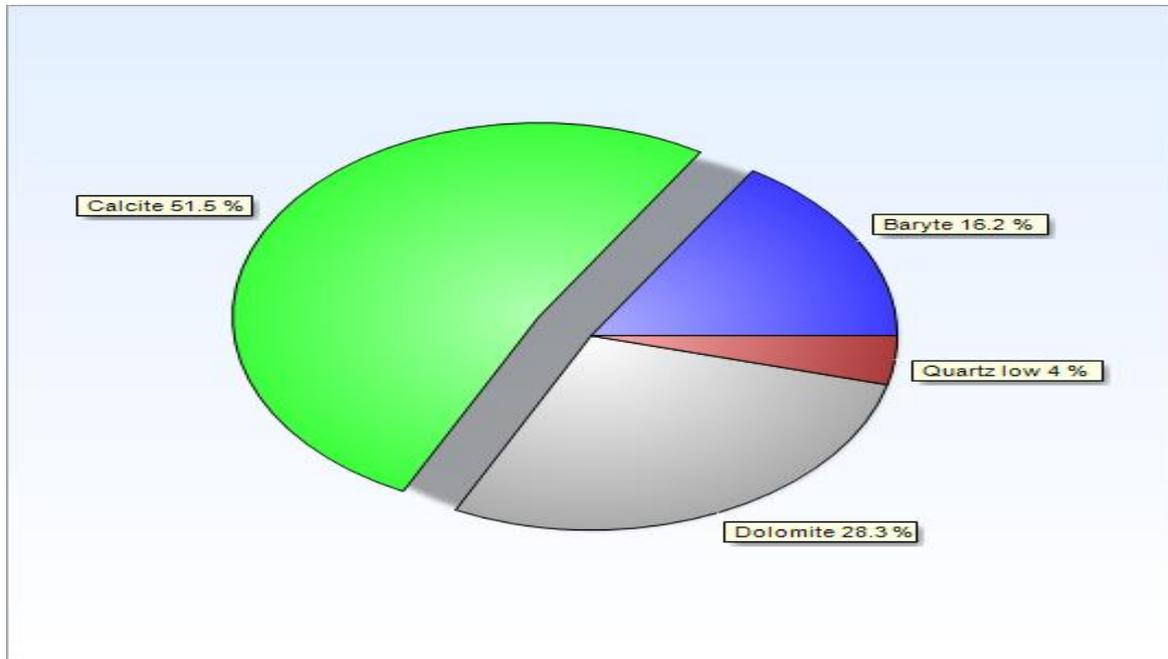


**Figure 06** : Diffractogramme par rayon X pour l'échantillon 0.5 SR.

## Liste des Annexes

### Annexes N° 04 :

Cette figure représente les pourcentages de présence des minéraux à la pression 1.4 SR (surverse).



**Figure 07 :** Cercle relatif indiquant les pourcentages de présence des minéraux à la pression 1.4 SR.

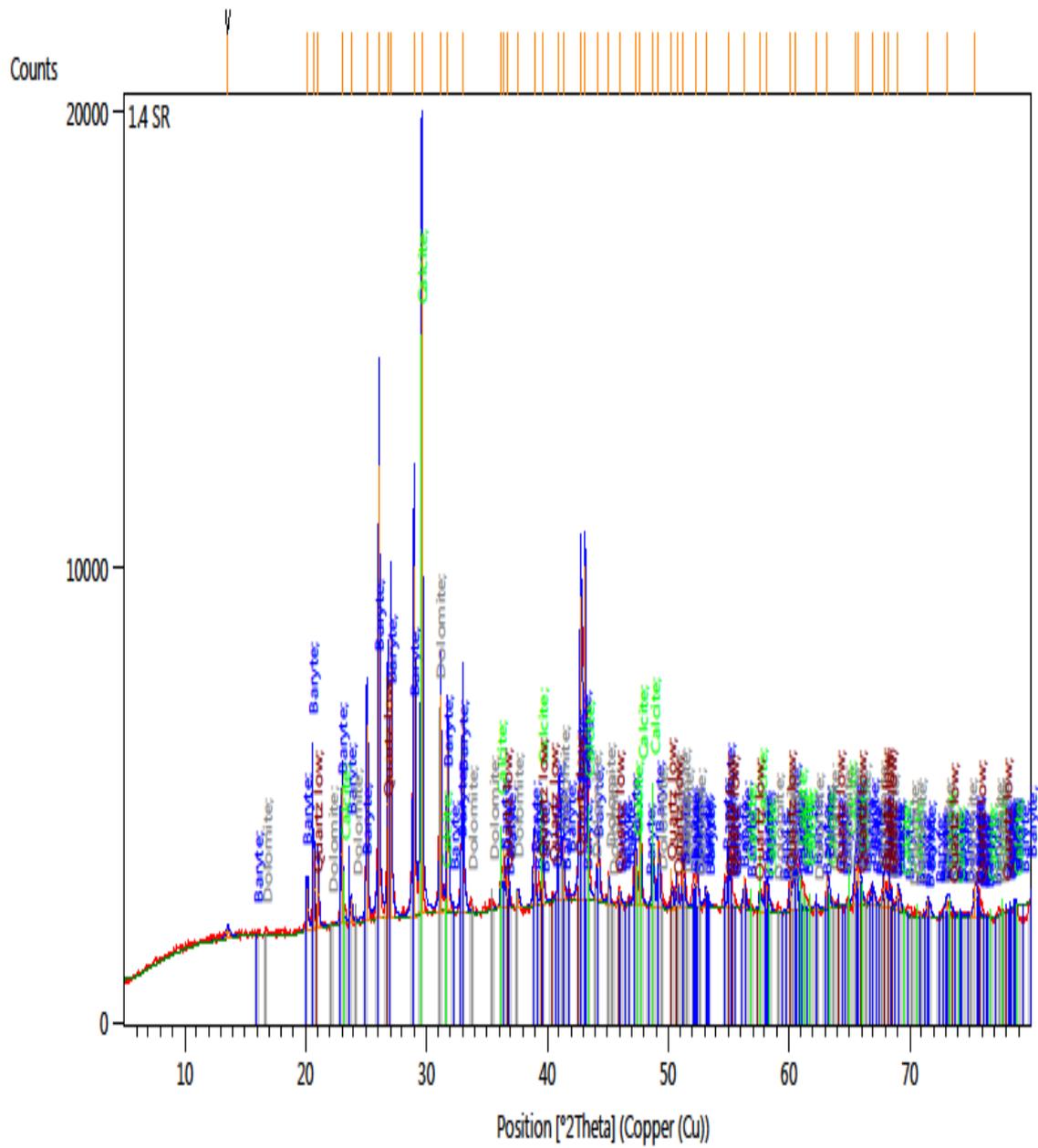
Les résultats d'analyse DRX représenté dans la figure (08) pour la pression 1.4 SR ;

# Liste des Annexes

Date: 14.06.23 Time: 11:11:11

File: 1

User: BejaiaNet



**Figure 08 :** Diffractogramme par rayon X pour l'échantillon 1.4 SR.

## Résumé

L'objectif de ce travail consiste à mener une étude visant à enrichir le minerai barytique extrait de la mine de Boucaid (W. Tissemsilt) en utilisant les techniques de l'hydrocyclonnage et de la flottation. A cet effet, une recherche bibliographique approfondie a été réalisée pour examiner les caractéristiques de ce type de minerai, la géologie du gisement, ainsi que les méthodes de traitement utilisées actuellement et les pratiques d'enrichissement appliquées à travers le monde.

Par la suite, des échantillons représentatifs ont été prélevés sur le site afin de mener une étude approfondie de leur caractérisation physico-chimique et minéralogique. Ces analyses incluent des techniques telles que la Fluorescence X (FRX) et la Diffraction à Rayons X (DRX).

Plusieurs essais d'hydrocyclonnage ont été effectués en suivant un protocole expérimental spécifique. Ces essais ont impliqué la manipulation de différents paramètres et l'utilisation de débits d'alimentation variables pour la surverse et la souverse.

Trois essais de flottation ont été réalisés en utilisant des réactifs spécifiques et en modifiant la quantité de collecteur. Ces essais ont permis de valoriser efficacement la barytine de Boucaid en améliorant son rendement et en réduisant les impuretés présentes dans le minerai.

**Mots clés :** Barytine, Caractérisation, hydrocyclonnage, Flottation, Boucaid, Valorisation.

## Abstract

The objective of this work is to conduct a study aiming to enrich the barite ore extracted from the Boucaid mine (W. Tissemsilt) using the techniques of hydrocycloning and flotation. To this end, an in-depth literature review was conducted to examine the characteristics of this type of ore, the geology of the deposit, as well as the currently used treatment methods and enrichment practices applied worldwide.

Subsequently, representative samples were collected from the site to carry out a comprehensive study of their physicochemical and mineralogical characterization. These analyses include techniques such as X-ray Fluorescence (XRF) and X-ray Diffraction (XRD).

Several hydrocycloning trials were performed following a specific experimental protocol. These trials involved manipulating different parameters and using varying feed rates for overflow and underflow.

Three flotation tests were conducted using specific reagents and modifying the collector dosage. These tests effectively allowed the valorization of the Boucaid baryte by improving its yield and reducing the impurities present in the ore.

**Key words:** Barite; Characterization; hydrocyclon; Flotation; Boucaid; Valorisation.