



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 en Mines

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par

Mr. BENZENOUNE Ahmed

Mr. BENDIB Houssam

Thème

Caractérisation physico-chimique des rejets de baryte de la mine de Bou-caïd

Soutenu le 19 / 09 /2017 devant le jury composé de:

President:	Mr. M. MAZARI	M.A.A	U.A.M.B
Promoteur:	Mr. O. DJEZAIRI	M.A.A	U.A.M.B
Examinatrice:	Mme. N. BOUZIDI	M.C.A	U.A.M.B

Année Universitaire: 2016-2017

Remerciements

*On tient à remercier tout d'abord «**ALLAH**» le tout puissant.*

Arrivé au terme de ce travail, on tient à remercier, énormément, tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.

*En premier lieu, on adresse nos sincères remerciements à notre promoteur, **Mr DJEZAIRI Omar**, pour nous avoir toujours fait confiance quant à la façon de mener nos travaux. On le remercie également pour sa disponibilité, son aide, son soutien et ses qualités humaines.*

*On remercie également, Mr. **MAZARI. M**, Mme **BOUZIDI. N**, d'avoir accepté de juger ce travail. C'est un honneur de les compter parmi le jury de ce mémoire.*

Notre reconnaissance la plus sincère aux enseignants du département des mines et géologie en général, grâce à qui nous avons pu en arriver là.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur la baryte.

Introduction	2
I.1. Caractéristiques physico-chimique de la baryte	2
I.1.1 Composition chimique	2
I.1.2 Cristallographie	2
I.1.3. Propriétés physiques.....	3
I.1.4 Genèse	3
I.2 Principaux roches encaissant de la baryte.....	4
I.3 Les principaux gisements de la barytine	4
I.3.1 Les gisements filoniens et de remplissage de cavité	5
I.3.2 Les gisements stratiformes	5
I.3.2.1 Les gisements de couvertures sédimentaires en milieu évaporite	6
I.3.2.2 Les gisements d'origine hydrothermale-exhalative.....	6
I.3.3 Les gisements résiduels	7
I.4 Domaine d'utilisation de la baryte	7
I.5 Production mondial	10
I.5.1 La production en Algérie	11
I.5.2 Les pays consommateurs.....	12
Conclusion.....	12

Chapitre II : Généralités sur le gisement de Bou-caïd.

Introduction	13
II.1 Présentation générale de gisement de Bou-caïd	13
II.1.1 Présentation de groupe ENOF	13
II.1.2 Présentation de l'unité Bou-caïd	13
II.2 Localisation géographique.....	13
II.3. Historiques de travaux de recherche et d'exploitation	15
II.4. Cadre géologique	15
II.4.1. Stratigraphie	15

II.4.1.1. Jurassique	16
II.4.1.2. Crétacé inférieure	18
II.4.2. Tectonique.....	18
II.4.3 Hydrogéologie	18
II.4.4. La morphologie de gisement de Boucaid.....	20
II.5 Travaux d'exploitation	21
II.5.1 Travaux d'ouverture.....	21
II.5.1.1 Mode d'exploitation	21
II.5.1.2 Mode d'ouverture.....	22
II.5.2 Travaux d'abatage.....	22
II.5.2.1 Facteurs de choix d'une méthode d'exploitation souterraine.....	22
II.5.2.2 Principe des méthodes d'exploitation	22
II.5.3 Mode de creusement	25
II.5.3.1 Foration	25
II.5.3.2 Chargement et tir.....	26
II.5.4 Chargement et transport.....	27
II.5.4.1 Chargement et transport souterraine	27
II.5.4.2 Chargement et transport au jour.....	28
II.6 Traitement du minerai	28
II.6.1 Description des installations de traitement	28
II.6.2 Les techniques de traitement.....	29
II.6.2.1 Le concassage.....	29
II.6.2.2 Enrichissement	30
II.6.2.3 Conditionnement et pulvérisation du produit fini	31
a- séchage.....	31
b- broyage fin	32
c- conditionnement et mise en big bag.....	32
II.7 Caractéristiques du produit fini	33
Conclusion.....	33

Chapitre III : Gestion et caractérisation du rejet.

Introduction	34
III.1. Les rejets issus de l'exploitation de la baryte.....	34

III.1.1. Emission de poussière	34
III.1.2. Pollution des eaux.....	34
III.1.2.1. Eaux souterraine	34
III.1.2.2. Eaux superficielle	34
III.1.3. Les stériles de mine	35
III.1.4. Les stériles de laverie	35
III.1.5 Stockage des rejets.....	36
III.2. Valorisation des rejets miniers	36
III.2.1 Application comme sous produit.....	37
III.2.1.1 Matériaux de construction	37
III.2.1.2 Remblayage	37
III.2.2 Réduction de volume d'accumulation	37
III.2.3 Récupération des éléments utiles.....	37
III.3 Caractérisation de rejet de baryte	38
III.3.1 Préparation des échantillons	38
III.3.1.1 L'échantillonnage	38
III.3.1.2 Concassage.....	39
III.3.1.3 Homogénéisation	39
III.3.1.4 Quartage.....	39
III.3.1.5. Broyage.....	40
III.3.2 Les méthodes de caractérisations	41
III.3.2.1. L'analyse granulométriques.....	41
III.3.2.2. Analyse par diffraction des rayons X	42
III.3.2.3. Analyse par spectrométrie à fluorescence X.....	44
Conclusion.....	45

Chapitre IV : Résultats et discussion

Introduction	46
IV.1 Caractérisation de rejet de baryte.....	46
IV.1.1 Analyse granulométrique	46
IV.1.2 Résultats d'analyse minéralogique par DRX	49
IV.2 Une étude de valorisation a été faite sur le rejet de baryte	54
IV.3. Procédé de La flottation	55

IV.3.1. Principe.....	56
IV.3.2 Utilisation de flottation.....	57
IV.3.3 Etude effectuée à l'école polytechnique d'Alger	57
Conclusion.....	60
Conclusion générale	61
Références bibliographiques.	

Listes des figures

Figure I.1 : Le système cristallin.....	2
Figure I.2 : Forme des cristaux	3
Figure I.3 : Minéralisations de barytine filonienne en contextes sédimentaire et métamorphique.....	5
Figure I.4 : Minéralisation de barytine stratiforme ancien.....	6
Figure I.5 : Production mondiale de barytine en 2008	11
Figure II.1 : Situation géographique de l'Ouarsenis.....	14
Figure II.2 : La mine de Bou-caïd	19
Figure II.3 : Schéma représentative de la méthode chambre et pilier.....	23
Figure II.4 : Schéma représentative de la méthode chambre magasin	24
Figure II.5 : Schéma d'exploitation par sous niveau abattu	25
Figure II.6 : Schéma de plan de tir d'une galerie et d'une recoupe.....	26
Figure II.7 : Schéma de plan de tir d'une cheminée.....	27
Figure II.8 : Galerie de roulage.....	28
Figure II.9 : Schéma de station de concassage	30
Figure II.10 : Station d'enrichissement	31
Figure II.11 : Schéma de station de pulvérisation	32
Figure III.1 : Gestion et valorisation des rejets miniers	36
Figure III.2 : Localisation des points de prélèvement de l'échantillon	38
Figure III.3 : Concasseur à mâchoire de laboratoire	39
Figure III.4 : Schéma de préparation de l'échantillon.....	41
Figure III.5 : Principe de la DRX	43
Figure IV.1 : Histogramme de la répartition granulométrique de rejet	47
Figure IV.2 : Diffractogramme des différentes classe granulométriques du rejet.....	48
Figure IV.3 : Diffractogramme de la fraction supérieur à 5mm	49
Figure IV.4 : Diffractogramme de la fraction de 2.5 à 5 mm	50
Figure IV.5 : Diffractogramme de la fraction de 0.5mm à 2.5 mm.....	51
Figure IV.6 : Diffractogramme de la fraction de 0.125 mm à 0.5 mm.....	52
Figure IV.7 : Diffractogramme de la fraction inférieure à 0.125 mm	53
Figure IV.8 : Principe de la flottation	56
Figure IV.9 : Cellule de flottation.....	57
Figure IV.10 : Schéma technologique de flottation	58

Liste des tableaux

Tableau I.1 : La consommation mondiale de la barytine.....	12
Tableau II.1 : Tableau résumant l'essentielle de la stratigraphique	16
Tableau II.2 : Les réserves géologiques et exploitables	21
Tableau IV.1 : Classement dimensionnelle par tamisage en voie sèche	46
Tableau IV.2 : Pics de baryte dans l'échantillon b	49
Tableau IV.3 : Pics de vatérite dans l'échantillon b	49
Tableau IV.4 : Pics de baryte dans l'échantillon c	50
Tableau IV.5 : Pics de vatérite dans l'échantillon c	50
Tableau IV.6 : Pics de baryte dans l'échantillon e	52
Tableau IV.7 : Pics de vatérite dans l'échantillon e	52
Tableau IV.8 : Pics de baryte dans l'échantillon f.....	53
Tableau IV.9 : Les intenses pics de baryte dans la fraction de 125µm et inférieur à 125 µm	54
Tableau IV.10 : Réactifs utilisé dans la flottation	57
Tableau IV.11 : Paramètre de la flottation.....	59
Tableau IV.12 : Densité après la flottation du rejet.....	59

Liste des abréviations

ENOF : Entreprise Nationale Des Produits Miniers Non - Ferreux Et Des Substances Utiles.

SONAREM : Société National de Recherche et d'Exploitation des Ressources Minières.

API : American Pétrolier Institute.

DRX : Diffraction du Rayon X.

FX : Fluorescence X.

ENP : Ecole National Polytechnique.

Introduction générale

Introduction générale

L'exploitation et le traitement de la baryte de la mine de Bou-caïd, a commencé en 1976 dont le procédé adopté est la séparation gravimétrique, cette dernière a présenté en premiers temps une récupération satisfaisante de baryte, mais cette récupération devient de plus en plus moins avec l'épuisement des certains quartiers de la mine. [1]

La production de l'unité de Bou-caïd en barytine est diminuée au moins de 4000 tonnes par an. En parallèle, des quantités importantes de rejets de la baryte sont produites, occupant de plus en plus de l'espace dans le carreau de la mine. [1]

Dans un autre côté, ces rejets issus de la séparation gravimétrique, détient toujours une teneur en baryte non négligeable justifiant l'inefficacité du traitement abouti, et pour ces raisons, et vu l'importance et les besoins de pays de ce minérale, la société a proposés une étude de valorisation de rejets issu de traitement de minerai de baryte.

Notre étude est commencée inévitablement par une introduction générale, dans le premier chapitre, une présentation générale de la barytine, ces caractéristiques physico-chimique, le domaine d'utilisation et la production mondiale.

Ensuite nous avons enchainé par l'exposé du cadre géographique et géologique du gisement, sa texture, sa genèse, arrivée au vaste usage industriel dont fait l'objet de la barytine de Bou-caïd et une présentation du cycle technologique d'exploitation de notre gisement, ainsi que les déférentes étapes de traitement présenté dans le deuxième chapitre.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté les différents rejets issus de l'exploitation de la baryte au niveau de la mine de Bou-caïd, et les méthodes et techniques de caractérisation physico-chimique utilise pour caractériser les différents types des matériaux.

Le chapitre IV présente le résultat de la procédure expérimentale de l'analyse chimique et granulométriques, et leur interprétation. Enfin la proposition d'un procédés de flottation pour la valorisation de ces rejets.

Finalement, le manuscrite se termine par une conclusion générale qui résume les points forts de cette étude.

Chapitre I :
Généralités sur la baryte

Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter une généralité sur la baryte à savoir, ses caractéristiques physico-chimiques, ses différents domaines d'utilisation, ainsi que les principaux pays producteurs et consommateurs de baryte.

I.1 Caractéristiques physico-chimiques de la baryte

I.1.1 Composition chimique

La barytine est le minéral de baryum le plus important, sa composition chimique est de BaSO_4 . Ce minéral est composé de sulfate de baryum. [1]

I.1.2 Cristallographie

La barytine se cristallise dans le système orthorhombique et forme habituellement des cristaux plutôt plats et mais aussi en cristaux tabulaires, prismatiques épais, rhombiques ; des cristaux peuvent être présente en granulats(en générale clivables), lamelliformes et fibreux (rarement) et toutes ces formes atteignent souvent des démentions très importantes. Souvent ces cristaux lenticulaires et groupés en rosettes, les prétendues rosettes de barytine. [1]

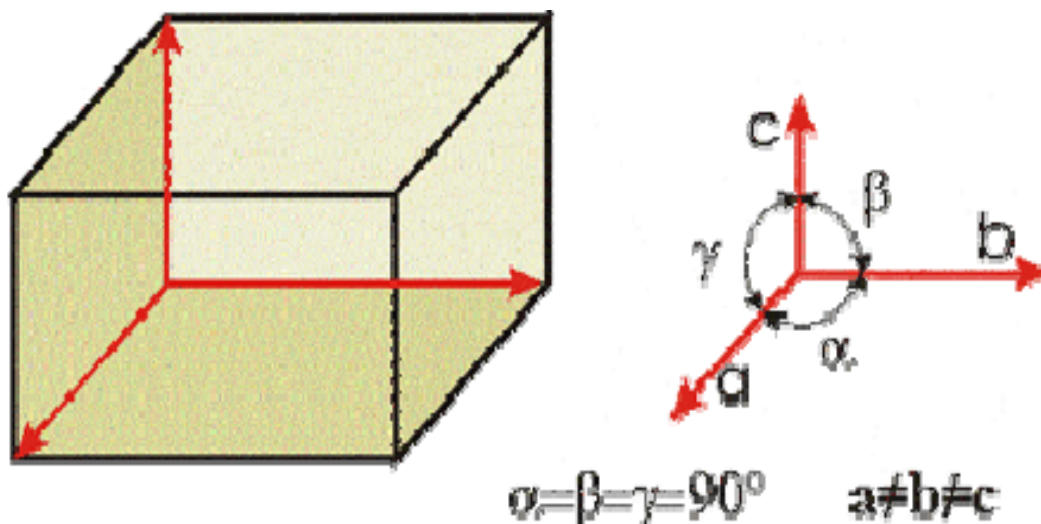


Figure I.1 : Le système cristallin. [1]



Pyramid

phénoèdre

Figure I.2 : Forme des cristaux de Baryte [1]

I.1.3 Propriétés physique

La baryte est remarquable par son poids exceptionnel et la perfection de ses cristaux. Sa densité est de 4,48, sa dureté 3 à 3,5 sur l'échelle de Mohs.

Elle est de couleur claire, Pure, incolore ou blanche, mais on la trouve le plus souvent colorée diversement par des adjonctions. Elle devient alors safran, gris léger, brun pâle au brun foncé, mais aussi rouge, bleu, vert et noir.

La baryte n'est pas ou très fluorescente, par contre, chauffée, elle devient lumineuse.[1]

I.1.4 Genèse

La naissance de veines indépendantes de baryte comprenant assez souvent un mélange de fluorine ordinaire en étroite connexion avec le massif de granit. Et c'est précisément la présence de baryte en morceaux dans ces veines qui a la plus grande importance pratique. Mais les dépôts déjà cités de roches sédimentaires dans lesquelles se forment parfois des tubercules sont aussi importants. Elle se dépose également dans certaines sources chaudes. On trouve fréquemment la baryte dans les cavités des filons associée aux minerais sulfureux, notamment ceux du plomb, de zinc et d'argent. Elle est formée par dépôt de solutions hydrothermales remontées des profondeurs surtout à des températures élevées. Souvent, elle constitue le filon à elle seule ou bien on la trouve dans des gisements sédimentaires. On appelle "wolnyn" certaines variétés de cristaux en colonne, qui se différencient quelque peu de l'évolution normale des cristaux.[1]

I.2. Principaux roches encaissant de la barytine

Généralement on trouve la baryte :

- ✓ Dans les filons de basse température avec calcite, dolomite, fluorine, galène, sulfates de plomb, etc.
- ✓ Dans les calcaires, sous forme lenticulaire.
- ✓ Dans les grès et les arkoses dont elle est un liant.
- ✓ Dans les sources thermales.
- ✓ Dans des paléo karsts.
- ✓ Dans l'interface entre le socle granitique et la couverture de sédiments ou de retombées volcaniques.
- ✓ Dans l'anglésite, minéral, associée au sulfate de plomb (PbSO_4), avec des traces de cuivre.
- ✓ Dans la Célestine, minéral où la baryte est associée au sulfate naturel de strontium (SrSO_4) avec des traces de Calcium. « La Célestine (pôle strontium) donne un isomorphisme complet avec la baryte (pôle baryum). Elle fait partie du groupe de la Baryte. Paradoxalement la couleur bleu pâle qui semble la caractériser n'est pas la plus couramment rencontrée.[2]

I.3. Les principaux gisements de la barytine

La baryte apparait dans des environnements géologiques variés, seul ou en association avec plusieurs minéraux tels que la fluorine, Célestine, quartz, blende ou galène.

Les gisements exploitables sont largement distribués dans le monde au sein de roches sédimentaires, métamorphiques ou ignées.

Trois types de dépôts sont généralement distingués :

- ✓ Les gisements filoniens et de remplissage de cavités ;
- ✓ Les gisements stratiformes de couvertures sédimentaires et le gisement stratiformes d'origine hydrothermale exhalative ;
- ✓ Les gisements résiduels.[2]

I.3.1. Les gisements filoniens et de remplissage de cavités

On distingue les gisements strictement filoniens et les remplissages de cavités en milieu carbonaté.

La barytine apportée par les fluides hydrothermaux est déposée dans les failles, fractures, joints, cavité, plan de stratification et toutes autres ouvertures existant au moment du dépôt. Les veines, poches, ou amas minéralisés ainsi formés, sont caractérisés par des contacts nets avec la roche encaissante et par l'extrême variabilité de leur géométrie, lentilles irrégulières d'extension variable, faiblement enracinées en profondeur et chargeant d'azimut brutalement.

Dans les gisements filoniens on distingue les filons de socle encaissés dans les roches anciennes, magmatiques ou métamorphiques et les filons de couverture sédimentaire ; chacun étant caractérisé par son contenu dominant : filons essentiellement barytiques ; filons à barytine, quartz et fluorine ; filons à barytine et galène [2].

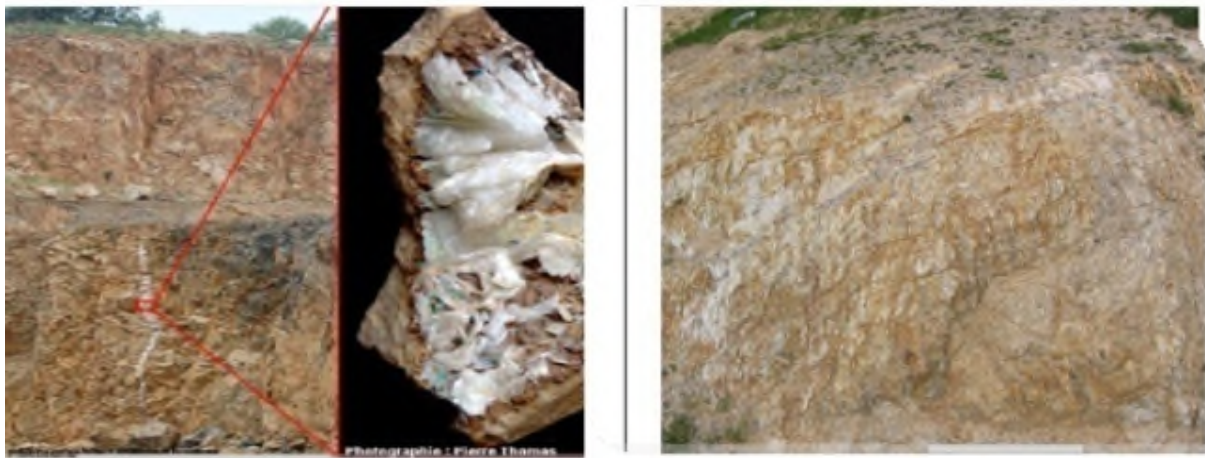


Figure I.3 : Minéralisations de barytine filonienne en contextes sédimentaire et métamorphique. [2]

I.3.2. Les gisements stratiformes

La baryte est partie intégrante de la séquence sédimentaire, soit comme constituant principal, soit comme ciment. Les gisements portent l'emprunte des conditions de dépôt qui permettent de les caractériser.

I.3.2.1. Les gisements de couvertures sédimentaires en milieu évaporite, lagunaire ou lacustre

La barytine apparaît en concentrations stratiformes ou liées aux strates dans un environnement sédimentaire évaporitique, lagunaire ou lacustre.

Ces dépôts sont généralement en relation avec des fractures d'extension régionale qui affectent le socle ou la couverture. La minéralisation émerge dans le milieu de dépôt à la faveur de faille-drains. Les gisements sont contrôlés par les failles sédimentaires et par la paléogéographie du milieu de dépôt. [2]



Figure I.4 : Minéralisations de barytine stratiforme ancien.[2]

I.3.2.2. Les gisements d'origine hydrothermale-exhalative

Les couches ou amas de barytine sont parfois associées aux gisements stratiformes de sulfures massifs d'origine exhalative. Les observations ont montré que leur genèse est liée à des griffons hydrothermaux sous-marins en relation avec une activité volcanique importante ou plus en plus ou moins discrète. Les gisements sont contrôlés par la paléogéographie et par l'instabilité du milieu de dépôt : pièges, subsidence active, cycles de pulsations des griffons. Ces phénomènes se traduisent par les variations latérales de faciès très rapides à l'échelle du gisement et par des substitutions et des remobilisations fréquentes. On observe très souvent un passage latéral entre la barytine et les minéralisations pyriteuses et/ou zincifères.

Les gisements stratiformes d'origine hydrothermale-exhalative sont classés en cinq groupes :

- Les amas sulfurés polymétalliques à barytine avec roches volcaniques ou volcanico-sédimentaires associées ;
- Les amas sulfurés polymétalliques à barytine sans roche volcanique ou volcano-sédimentaire associée ;
- Les amas de barytine seule avec roche volcanique ou volcano-sédimentaires associées ;
- Les amas de barytine seule, associées à des cherts sans roche volcanique ou volcano-sédimentaires connues ;
- Les amas de barytine transportés et redéposés. [2]

I.3.3. Les gisements résiduels

La barytine provient de la destruction de gisement préexistant, généralement encaissés dans les dolomies. Les blocs de barytine de dimension variable sont emballés dans de l'argile rouge résiduelle. Les dépôts de ce type peuvent être étendus, mais leur taille, leur dimension et leur teneur sont extrêmement variables. [2]

I.4 Domaines d'utilisation de la Baryte

Au niveau mondial, la barytine est destinée à la confection de boues de forages pour la recherche pétrolière et gazière. Les utilisations dans le génie civil, en chimie et comme charge minérale, moindres en volume, jouent un rôle important dans de nombreuses industries.

➤ Boues de forage

La barytine est utilisée en premier lieu dans la préparation de boues lourdes (augmentation de la densité des boues à base de bentonite) dans les forages profonds de recherche d'hydrocarbures, liquides et gazeux, de gaz de schiste éventuellement dans les forages géothermiques. Ses propriétés de colmatage permettent un meilleur contrôle des émissions de fluides sous haute pression, et de maîtriser ainsi les arrivées d'eau, de saumures ou d'hydrocarbures lors de la foration. Par ailleurs, les boues barytées permettent d'alléger le poids du train de tige. L'utilisation de la barytine est cependant déconseillée dans les forages hydrologiques et géothermiques, les aquifères risquant d'être colmatés de façon définitive. Son utilisation et sa mise en œuvre sont assez complexes, car il faut calculer la contrepression à appliquer sur le terrain en fonction de la profondeur et de la pression d'arrivée des fluides et

de leur nature, et donc la concentration à utiliser, puis bien maîtriser l'injection des boues pour éviter que la barytine ne se dépose dans le forage. [3]

➤ **Charges minérales et pigments**

Le deuxième usage le plus important de la barytine est le domaine des charges minérales pour papiers, peintures, plastiques et caoutchoucs. Le marché automobile est le premier consommateur de ces produits sous forme d'insonorisant (tapis et caisses d'habitacle) et autres composants (plaquettes de frein, ...). [3]

➤ **Industrie chimique**

La barytine est la principale matière première pour la fabrication des dérivés du baryum : carbonate, chlorures, oxydes, hydroxyde, nitrates, peroxydes, et sulfates de baryum.

- Le carbonate de baryum est le sel le plus utilisé il entre dans la composition des verres spéciaux et notamment le verre des écrans des tubes cathodiques, les verres optiques, les verres anti-rayonnement, les vernis céramique. 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.

- Le sulfate de baryum précipité chimiquement pur, est appelé (blanc fixe) il est utilisé comme charge blanche dans les peintures, caoutchoucs, encres ...le sulfate de baryum extrêmement pur, ou (blanc baryte) est donné pour 99% de blancheur (100%=blanc idéale). Il sert d'étalon pour l'évaluation de la blancheur d'un produit.

- Le lithopone provient d'une double précipitation d'une solution de sulfate de zinc par une solution de sulfate de baryum. Il a été très employé en peinture pour sa blancheur, sa résistance aux intempéries, son pouvoir couvrant et son affinité pour l'huile.

- Le chlorure de baryum est utilisé dans le traitement de surface comme durcisseur de l'acier, dans la purification des eaux, dans le traitement du cuir et des tissus et dans la fabrication du magnésium métal. Par électrolyse, on obtient le baryum métal.

- Le nitrate de baryum est utilisé en pyrotechnie (couleur verte), dans la fabrication de balles traçantes de détonateurs et d'émaux.

- L'oxyde de baryum permet d'améliorer le rendement des fours électriques, dans la métallurgie.

– L’hydroxyde de baryum permet d’améliorer le rendement des fours électriques, dans la métallurgie et aussi L’hydroxyde de baryum entre dans la fabrication de composés électroniques et d’équipements de communication.

– Le baryum métal est utilisé comme capteur de gaz dans les tubes sous-vide. Il entre dans les alliages pour bougies et dans les tubes électroniques d’émission d’éléments. -Les ferrites de baryum sont utilisées pour la fabrication des aimants permanents des petits moteurs électriques à courant continu très utilisés dans l’automobile. L’utilisation de la barytine dans l’industrie chimique représente environ 10% de la consommation mondiale. Les spécifications requises concernent la composition chimique de la barytine qui doit être aussi riche que possible en BaSO_4 . La production de carbonate de baryum exige un minimum de 97 à 98% de Ba (Sr) SO_4 . Les oxydes de fer et la silice ne doivent pas dépasser 1%. Le ratio $\text{SrSO}_4/\text{BaSO}_4$ exprimé en % doit être aussi faible que possible, environ 1% .la teneur en CaF_2 doit correspondre à des traces (quelques centaines de ppm). [3]

➤ **Génie civil**

La barytine est utilisée dans la confection de bétons lourds et de briques barytées, ayant une masse volumique de 3.2 t/m³ (contre 2.3 t/m³ pour un béton classique), permettant la réalisation d'ouvrages de protection contre les radiations (rayons X, rayons gamma et autres rayons radioactifs), ou de culées et de contrepoids. Les plâtres barytés sont aussi utilisés dans la réalisation de parois de protection aux RX. [3]

➤ **Médecine, pharmacie**

La barytine est utilisée pour la confection de solutions barytées, servant d’agents de contraste aux RX en radiologie, pour établir des diagnostics médicaux. La barytine pure n’a aucune toxicité pour l’homme (contrairement à certains produits chimiques obtenus à base de baryum). [3]

➤ **Feu d'artifice**

On ajoute du chromate de baryum (BaCrO_4) à un feu d'artifice à cause de sa couleur verte spéciale. On utilise du nitrate de baryum $\{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2\}$ dans des feux de Bengale à cause de cette même couleur verte. On utilise également du chlorate de baryum dans des feux d'artifices $\{\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2\}$ comme substance cédant de l'oxygène; il apporte également une

couleur verte. Dans les balles traçantes, on utilise du peroxyde de baryum (BaO_2) comme oxydant. [3]

➤ **Capteur de gaz**

Pour tubes à vide On utilise du baryum comme capteur de gaz (getter) dans des tubes électroniques sous vide. Il peut lier l'oxygène, l'azote et l'hydrogène. La vapeur de baryum réagit avec ces gaz résiduels et les substances solides, qui se forment alors, précipitent sous forme de miroir sur la paroi en verre. [3]

➤ **Matière de charge et colorant pour papier**

Le pigment "blanc fixe" (blanc permanent ou blanc de baryte) que l'on ajoute à du papier est le sulfate de baryum (BaSO_4). Cette substance résiste à la lumière et à l'air, et fait office de pigment et de matière de charge. On l'utilise également dans le papier photographique (à cause de son pouvoir réfléchissant élevé), le coton, le papier, les peintures, les matières synthétiques, les articles en caoutchouc, le verre et le plâtre de pavement. [3]

➤ **Radio de l'estomac**

La bouillie barytée (BaSO_4) est un agent de contraste pour radiographies lors de l'examen du tube digestif.

I.5 Production mondiale

La production minière mondiale de barytine en 2014 a été estimée à 9,26Mt. Ce sont la Chine (44%), l'Inde (17%) le Maroc (11%) et les États-Unis (8%) qui produisent 80% de la quantité de barytine (Fig.I.5). La majorité de la consommation de barytine aux USA est utilisée comme produit de charge dans les fluides pour les forages d'huile et de gaz naturel (Miller, 2015). En 2013, le prix moyen à la tonne aux USA était de 113\$ US. La Chine qui produit de la barytine de grade chimique coûte à l'importation aux USA de 161\$ à 180\$ la tonne. [4]

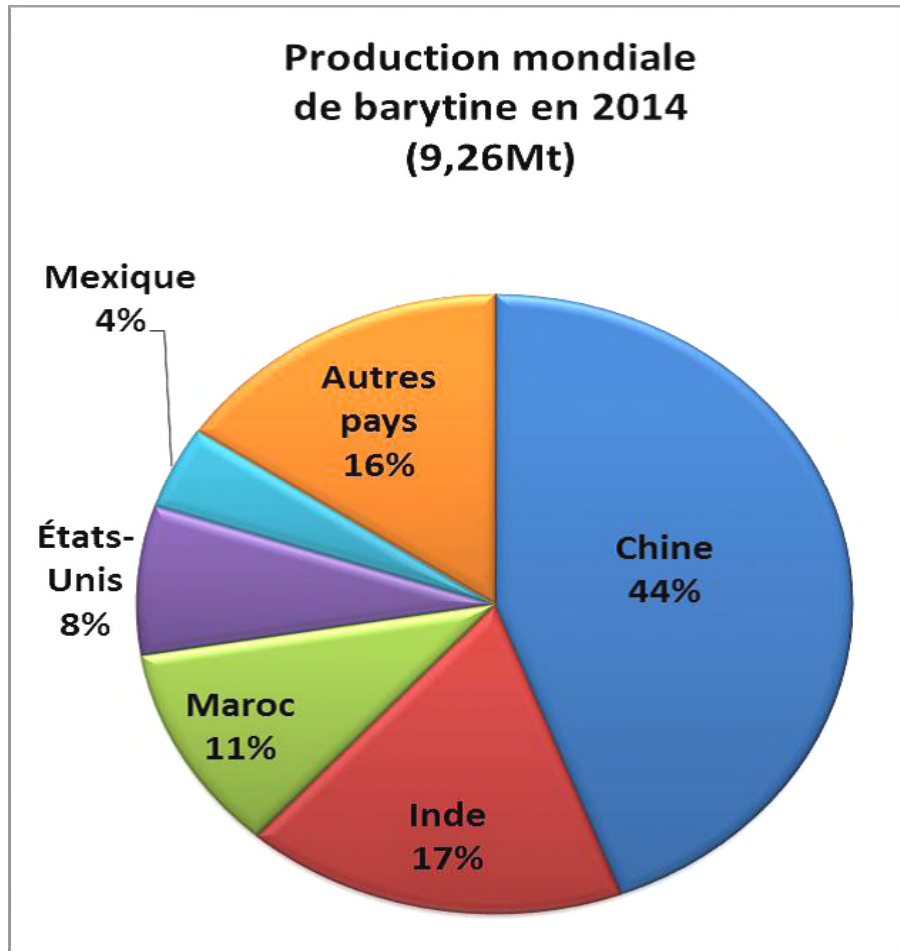


Figure I.5 : Production mondiale de barytine en 2014 (Données tirées de Miller, 2015).[2]

I.5.1 La production en Algérie :

Les gisements barytiques présentant un intérêt économique sont localisés au Nord du pays à Aïn Mimoun (W. Khenchela), Bou caïd (W. Tissemsilt), Mellal (W. Tlemcen), Mesloulia (Tébessa) et Koudiat Safia (W. Médéa).

Par ailleurs, des travaux de recherche minière ont permis de mettre en évidence plusieurs gisements dans le Sud-Ouest algérien près de Béchar. Il s'agit des gisements de Draïssa Sud Ouest, Djebel Draïssa, Draïssa Nord-Est et Draïssa Guelb El Tahtani. Cet ensemble de gisement totalise des réserves près de 07 Mln de tonnes de baryte. [5]

Le potentiel de production est représenté par 50 000 tonnes de barytine utilisée principalement dans le secteur des forages pétroliers.

I.5.2 Les pays consommateurs

Tableau I.1 : La consommation mondiale de la barytine.[5]

Pays	La consommation ($\times 10^3$ tonnes)
Chine	1450
États-Unis	2690
Pays de golfe	700
Amérique du sude	370
Inde	330
Russie	330
Afrique	290
Malaisie	210
Union européen	670
Monde	8400

Conclusion

A la fin de ce chapitre nous avons conclu que la barytine est un minéral très important dans le domaine industriel et surtout dans l'industrie pétrolier et chimique à cause de ces différentes propriétés (densité, blancheur, absorbance des rayons ...etc).

L'Algérie contient plusieurs gisements barytique autre que le gisement de Bou-caïd mais ne sont pas mis en exploitation (Berouaghia, Ichmoul, Dhraïssa...etc) sauf le gisement de Ain Mimoun (W, Khenchela).

Chapitre II :
Généralités sur le gisement
de Bou-caïd

Introduction

De nombreux affleurements de baryte existent en beaucoup d'endroits d'Algérie, particulièrement dans les zones atlasiques dans lequel, il existe trois gisements de barytine répertoriés en Algérie, parmi lequel la mine de Bou-caïd.

II.1. Présentation générale du gisement de Bou-caïd

II.1.1. Présentation de groupe ENOF

L'Entreprise Nationale Des Produits Miniers Non - Ferreux Et Des Substances Utiles (ENOF). Créé le 01/01/2001, elle a pour vocation de la recherche, l'exploitation, la production, le développement, la commercialisation et l'exportation en l'état ou après transformation de la baryte et de tous produits miniers et substances minérales non métalliques.

Elle est constituée de plusieurs unités au niveau national parmi lesquelles l'unité de Bou-Caïd (W, Tissemsilt) qui est l'une des plus grandes et anciennes mines qui produit la baryte. [6]

II.1.2. Présentation de l'unité de Bou-caïd

L'unité de Bou-caïd est située dans la commune de Bou-caïd daïra de Lazharia, à 60 km au Nord du Chef-lieu de la Wilaya de Tissemsilt et distante de 120 km du port de Ténès et 250 km du port effectué d'Oran. L'exploitation du minerai de Baryte, en souterrain avec une capacité de production de 40 000 tonnes de baryte en sacs et en Big-bags. Les sites dit "El KimaOulia" (Haut sommet), dans la commune de Bou-Caïd, fait actuellement l'objet de travaux d'exploration en vue d'augmenter les capacités de production à 32.000 tonnes/an.

Les gisements les plus importants de la mine de Bou-Caïd sont : Lakhdar, Ammal, Grand Pic, Nord-Ouest et Sidi Djbar. [6]

II.2. Localisation géographique

Le champ minier de l'Ouarsenis est situé à 250 km au Sud-Ouest d'Alger, c'est la partie la plus élevée du massif appartenant au système montagneux de l'atlas tellien.

Le relief est très accidenté, avec des dénivelées de 500 à 900 m, ce qui explique les conditions d'affleurement excellentes, dont les formes positives de la topographie sont constituées de pointements de roches Jurassiques composées le plus souvent du calcaire. Ces

derniers affleurent sous forme de crêtes étroites et de sommets rocheux. Les massifs sont peu boisés et la végétation n'est observée qu'au pied des montagnes. [6]

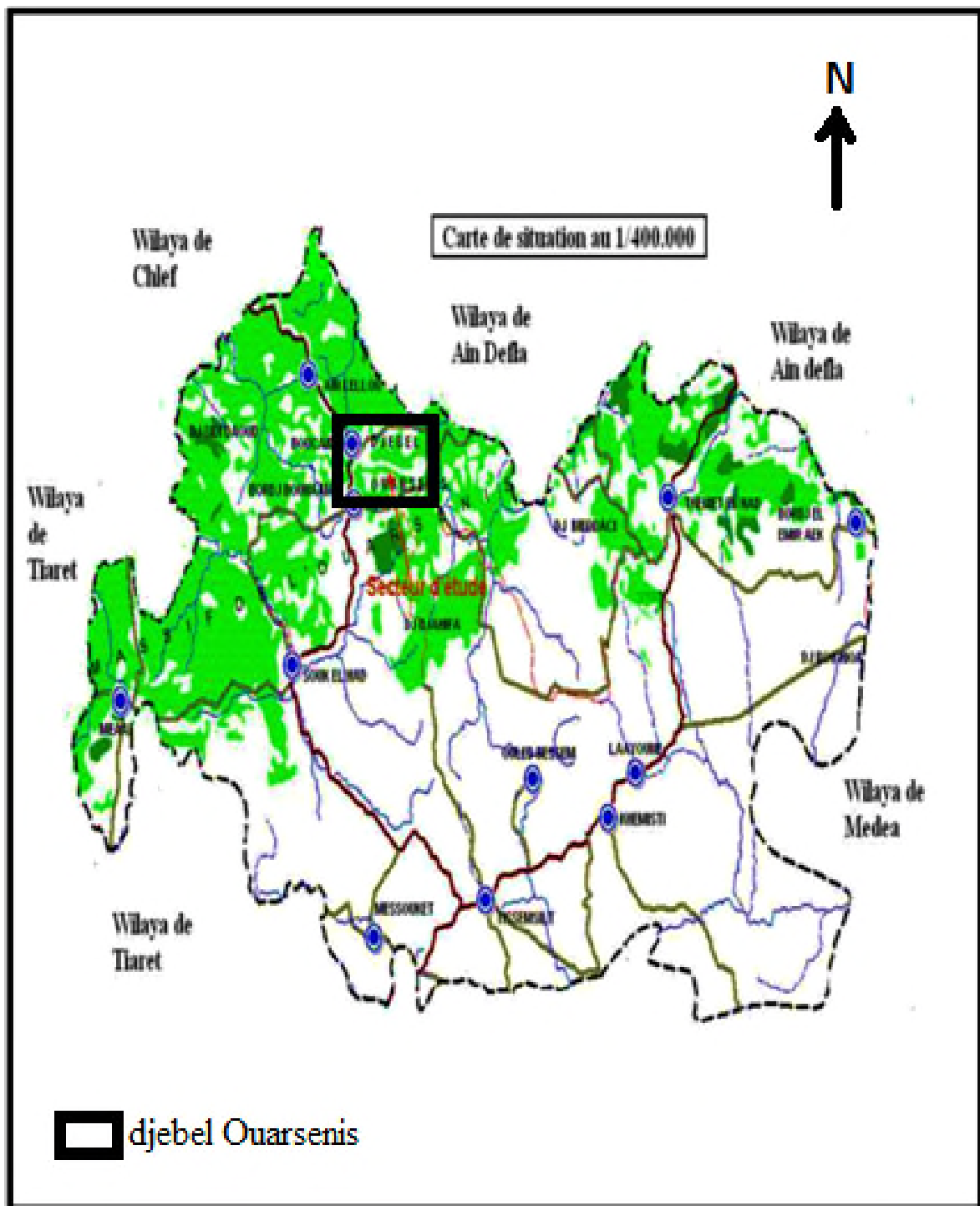


Figure II.1 : Situation géographique de l’Ouarsenis. [6]

II.3. Historique de travaux de recherche et d'exploitation

La mise en exploitation du gisement de Bou-Caïd date de la fin du 19^{ème} siècle pour les polymétaux (Pb-Zn), qui a connu son apogée dans les 1940 suite aux études réalisées par le géologue français M. Fourmel.

La deuxième période a démarré avec la nationalisation des mines en 1966 et la continuité en matière d'exploitation des polymétaux, parallèlement la SONAREM a entamé les travaux de prospection à partir de 1967 qui consistent dans les études et la reconnaissance systématique du gisement. En 1975, lors des travaux de levé géologique au 1/5000 du gîte de Sidi Bel Abbes, il y a eu la découverte d'une puissante structure barytisée de 850 mètres de longueur. Cette dernière a fait l'objet de travaux de prospection et d'évaluation de 1977 à 1981. L'exploitation et le traitement de la baryte a commencé en 1976.

Parallèlement aux travaux d'évaluation du gîte de Sidi Bel Abbes, la prospection a été lancée sur les sites de Sidi Ouaddah, sur les flancs oriental et occidental du gîte Nord (Massif d'Abdelkader) et sur le flanc occidental du massif de Belkheiret.

En 1976, les sites de l'Ain et le Nord furent transmis à la mine de Bou-Caïd dont les réserves sont de 50 000 tonnes pour le premier et 10 000 tonnes pour le second.

Durant la période 1978 à 1982, quatre sites ont été évalués et sont passés à l'exploitation à savoir : Ammal, Rasfa, Grand Pic et Nord.

Il est à noter que 90% des travaux ont été réalisés sur le site de Sidi Bel Abbes. Pour les autres sites les travaux de recherche réalisés sont insignifiants.[6]

II.4. Cadre géologique

II.4.1. Stratigraphie

Tous les termes stratifiés du massif de l'Ouarsenis sont divisés selon leurs compositions lithologiques et la relation entre les roches en des âges et sous étages différents, le tableau ci-dessous résume ces derniers et leurs formations géologiques.[7]

Tableau II.1 : Tableau résumant l'essentielle de la stratigraphique : Selon Calambert, 1952.[7]

Age	Formations
Aptien-Albien	Marnes et schistes, lentilles gréseuses, nodules ferrugineux, conglomérats, orbitolines et huîtres.
Néocomien	Valanginien : Bancs de calcaires bariolés à la partie inférieure puis calcaires endalles ; marnes sublithographiques. Hauterivien : Nombreuses Ammonites pyriteuses, microfaunes riches.
Malm	Lusitanien : Bancs alternant de calcaires bariolés, rognoneux ou compact et demarnes schistoïdes ; fossiles abondants. Tithonique-Berriasien : Strates régulières de marnes et de calcaires jaunâtre alternant avec des calcaires foncés à grains fins ; fossiles rares.
Dogger	Bajocien : Formations de poudingues riches en micro-organismes ; grès ; calcaires à silex ; calcaires en strates régulières ; fossiles abondants. Bathonien : inexistant ou très réduit. Callovien-Oxfordien : Bancs marno-calcaire ; bancs bariolés inter stratifiés à la partie supérieure.
Lias	Infralias : Dolomies ; calcaires dolomitiques ; veines de baryte et de calcite. Lias moyen : Bancs de calcaires blanchâtres ; filons de baryte et de calcite. Lias supérieur : Bancs de calcaires ; calcaires à silex ; niveaux conglomératiques ; fossiles abondants.
Trias	Dolomies ; gypse ; argiles bariolées ; cargneules. Ophites ; roches cristallophylliennes ; roches éruptives ; brèches de sédimentation.

II.4.1.1. Jurassique

Il est constitué par des formations concordantes de tous les étages dont l'épaisseur totale est de 650 à 850m.

Jurassique inférieur (Lias)

➤ Lias inférieur

Les formations de cet âge sont reconnues sur les massifs des Grands Pic, Sra Abdelkader et Rokba mais leurs limites stratigraphiques inférieures ne sont pas claires. L'épaisseur du Lias

inférieure est maximale sur le massif Abdelkader où elle atteint 110 - 250m. Au Nord, les terrains du Lias inférieur sont limités par un accident tectonique et sont en contact avec les schistes argileux du Crétacé inférieur.

Les dépôts sont essentiellement représentés par des dolomies et calcaires dolomitiques compacts, de teinte grise et gris foncé et par des brèches de dolomies. La stratification est absente. [7]

➤ **Lias moyen et supérieur :**

Les dépôts du Lias moyen et supérieur sont développés sur tous les massifs indiqués plus hauts et leur épaisseur est assez stable qui varie entre 400 à 470m. Sur le massif Sra Abdelkader seulement l'épaisseur diminue d'Ouest en Est jusqu'à 300m.

Les dépôts sont essentiellement constitués de calcaires massifs à grains fins de couleur grise ou gris clair. Il y a des variétés oolithiques de calcaires et des bancs rares de conglomérats et brèches calcaires et de marnes. Dans la partie inférieure de la coupe un paquet intermédiaire de calcaire dolomitique d'épaisseur 20 à 40m.[8]

Jurassique Moyen (Dogger)

Les dépôts du Dogger sont constitués de deux faisceaux : inférieur grès et supérieur calcaire. Les grès ne s'observent que sur le grand pic et ont une épaisseur de 0 à 130 m. Le faisceau supérieur se rencontre dans tous les massifs de roches jurassiques, son épaisseur varie de 12 à 18 m sur les massifs de Belkheiret et de Rokba à 90-130 m dans la partie Nord-Ouest du massif Grand Pic. Le faisceau est constitué de calcaire gris foncé presque partout sont répons des calcaires à ruinos rognons de silex de forme irrégulière. Des passés minces de marnes y sont fréquents. [8]

Jurassique supérieur (Malm)

La coupe complète du Malm est observée sur les massifs d'Abdelkader et du Grand Pic. Les épaisseurs varient de la même façon que pour les dépôts du Dogger.

A la base de la coupe du Malm se trouve des calcaires rouges et conglomératiques, auxquels fait suite une alternance de calcaires, de calcaires marneux, et de marnes, d'abord rouges au début et gris par la suite. [7]

II.4.1.2. Crétacé inférieur

Il consiste en assise monotone de schistes argileux à intercalation de grès, quartzites, rarement de marnes leur épaisseur dépasse 100 m.

I.4.2. Tectonique

Le massif de l'Ouarsenis de roches jurassiques a été amené à la surface à la faveur d'une faille profonde, morcelé en plusieurs blocs.

Certains blocs ont été arrachés à leur socle et déplacés en direction du Sud-Est (Massifs de Belkheiret et Rokba). Vers l'Est la tectonique devienne moins forte et le bloc suivant a été déversé sans déplacement considérable (Massif Grand Pic).

L'action tectonique de même direction sur le massif d'Abdelkader s'est traduite par le renversement partiel vers le sud-est de ses flancs occidentaux. Après la stabilisation tectonique, sur le versant sud du Grand Pic, se manifestent largement les phénomènes de déplacement et de glissement par gravité des blocs. [7]

II.4.3 Hydrogéologie :

L'Ouarsenis est un réservoir d'eau par sa formation calcaire qui laisse les eaux s'infiltrer. Les divers cours d'eau constituent le poids hydrologique dans la commune de Bordj Bounaâma qui se résume à des puits et sources localisées dans les différents douars et sont destinées à la consommation locale, tel que :

- Ain Tolba : Elle s'agit de l'exécutive d'une nappe perchée due à la disposition tabulaire en bassin des assises liasiques.
- Ain Khadra : Elle apparaît dans des éboulis à proximité du contact par faibles déformations liasiques des chaînons Belkheiret qui s'élève à une altitude de 1662 m avec le flysch du socle au bord Sud.
- Dans la région de Bordj Bounaâma, la nature des formations géologiques ne permet pas la présence d'aquifère important. L'eau des pluies s'infiltré dans les calcaires par des fissures et réapparaît à la surface à des niveaux bas, sous forme de résurgences ou sources d'eau. [6]

La commune de Bordj Bounaâma est alimentée à partir de trois (3) sources :

1- Ain Tolba: 9, 6 L/s 2- Ain Khalia: 6, 6 L/s 3- Ain Nsour : 5,6 L/s

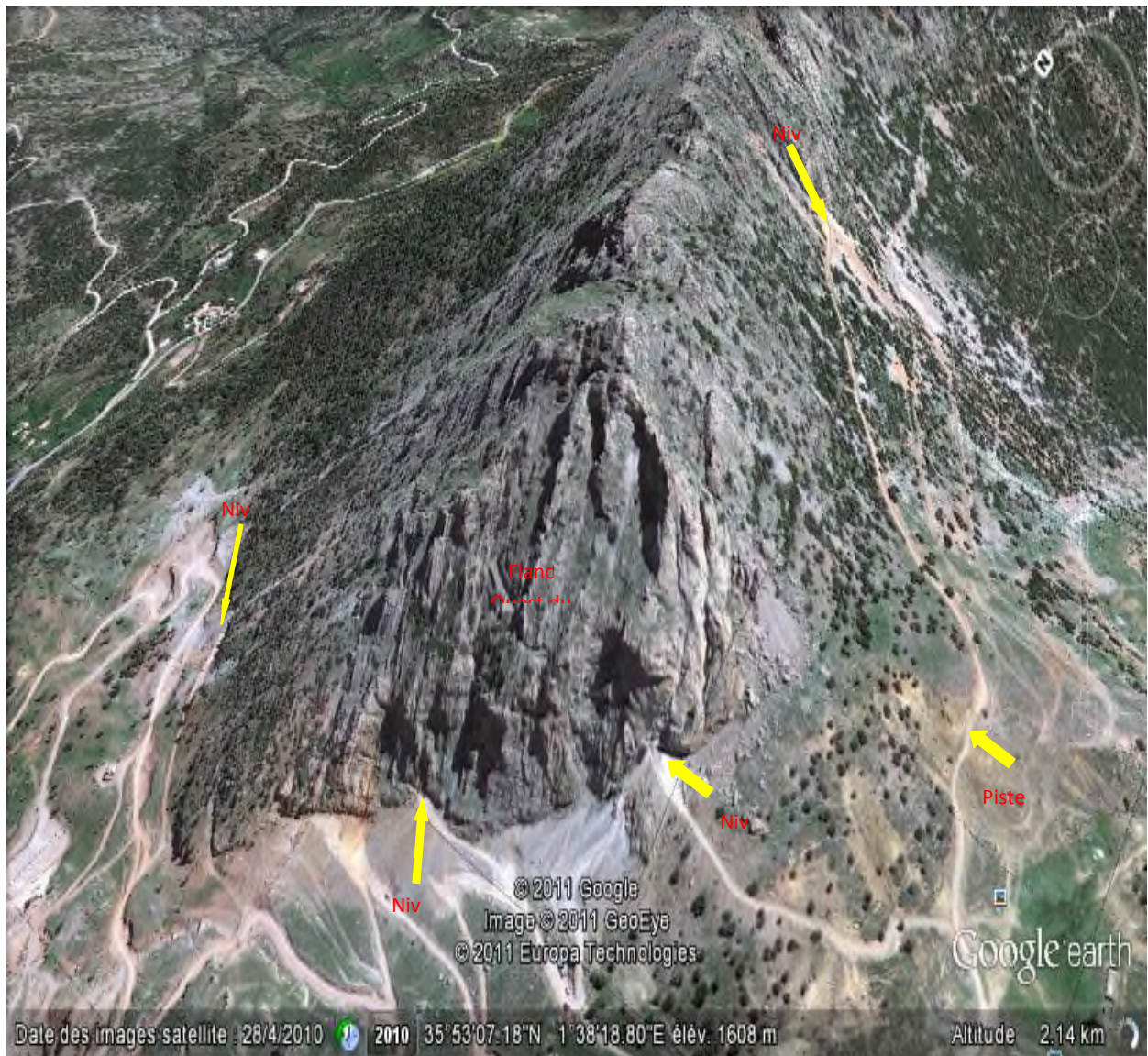


Figure II.2 : La mine de Bou-caïd (extrait et modifiée de Google Earth). [6]

II.4.4 La morphologie du gisement de Bou-caïd [6]

La morphologie du gisement de l'oursenis est conditionnée par les accidents tectoniques que subit les terrains, il se présente sous généralement sous deux formes possibles :

Les filons

Le corps minéralisé qui a naturellement 03 dimensions se caractérise par l'importance de l'une de ces 03 dimensions.

Dans la mine de Bou-Caïd se caractérise par les filons suivants :

- Filon Sidi Djabar
- Filon Sidi Ouadhah
- Filon de Nord

Amas :

Dans ce cas les 03 dimensions du corps minéralisés sont à peu près égales, on l'appelle aussi 'corps', on distingue :

- Corps du Grand Pic
- Corps Lakhdar :

Il se présente sous forme d'un fuseau dont le grand axe du corps est allongé suivant une direction latitudinale.

La minéralisation barytique est développée dans les dépôts du Lias moyen-supérieur et du Jurassique inférieur.

La barytine est de couleur grisâtre à mouchetures minces de galène.

Les travaux d'exploitation sont terminés dans les quartiers Sidi Djabar, Sidi Ouadhah, et les quartiers qui sont en cour d'exploitation sont : gisement Lakhdar, gisement Ammal, gisement Nord. Le tableau suivant représente les réserves géologiques et exploitables des différents gisements.

Tableau II.2 : Les réserves géologiques et exploitables.

Quartier	Réserves géologiques fin 2016 (t)	Réserves exploitables fin 2016 (t)	Réserves récupérables fin 2016 (t)
Lakhdar	219 453	202 297	150 418
Nord	185 234	160 652	117 861
Ammal	140 000	119 130	91 917
Total	544 691	482 079	360 196

Les réserves estimées à la fin 2016 étaient de l'ordre de **544 691** tonnes. Les réserves exploitables totales estimées à la fin 2016 étaient de l'ordre de **482 079** tonnes.

II.5.Travaux d'exploitation

L'exploitation minière de la baryte dépend des conditions géologiques, structurales, et du type des gisements (filonienne, amas), ainsi que de leur morphologie et leur taille, elle se fait soit en souterraine soit en ciel ouvert.

II.5.1 Travaux d'ouverture

II.5.1.1 Mode d'exploitation :

Le choix du mode d'exploitation dépend de la valeur du rapport de recouvrement qui est le rapport entre la quantité des stériles et la quantité de minerai extraite simultanément dans un projet ou phase d'exploitation.

Pour cela le mode d'exploitation adéquat dans la mine de Bou-caïd est l'exploitation souterraine. [8]

II.5.1.2 Mode d'ouverture :

Le gisement de la mine de Bou-Caïd est un relief à flanc de coteau, dans ce cas on emploie le mode d'ouverture par galerie au jour qui est au même temps un accès au gisement et un chemin pour l'évacuation du tout-venant. [8]

II.5.2 Travaux d'abatage

II.5.2.1 Facteurs de choix d'une méthode d'exploitation sous terrain :

Le choix de la méthode d'exploitation dépend de plusieurs paramètres, dont les principaux sont :

- La morphologie du gisement.
- Pendage du gisement.
- Puissance du gisement.
- Les caractéristiques physico mécaniques du minerai et des encaissants.
- Pertes et salissures minimums.
- Volume minimum des ouvrages préparatoires par 1000 tonnes.
- Prix de revient minimum pour le maximum rendement des travaux.
- Sécurité des travaux et des travailleurs.
- Rendement.

II.5.2.2 Principes des méthodes d'exploitation

En tenant compte de ces paramètres, les Gisements de baryte de Bou-Caïd répondent aux méthodes d'exploitation suivantes :

a) exploitation par chambre et pilier :

L'Exploitation par chambres et piliers en gisement filoniens concerne les gisements tabulaires à pendage compris entre 15 et 30°. Les méthodes d'exploitation traditionnelles des gisements reposent sur le travail manuel. Les mineurs forent les trous de mines avec un marteau perforateur, et les matériaux abattus sont déblayés par des scrapeurs.

L'exploitation commence par le traçage de chambres horizontales, à partir d'une galerie servant à la fois d'accès et de roulage (galerie principale). Le premier étage horizontal suit le toit, l'étage suivant est tracé un peu plus bas dans la même direction et ainsi de suite en descendant de façon à obtenir un découpage en gradins. [8]

Des piliers de minerai sont laissés en place pour supporter le toit. Après avoir tracé complètement deux ou trois chambres contigües, on passe à l'étage inférieur, en laissant un long pilier de minerai. Des parties de ce pilier peuvent être récupérées ultérieurement, en pratiquant des recoupes depuis le chantier situé au-dessous.

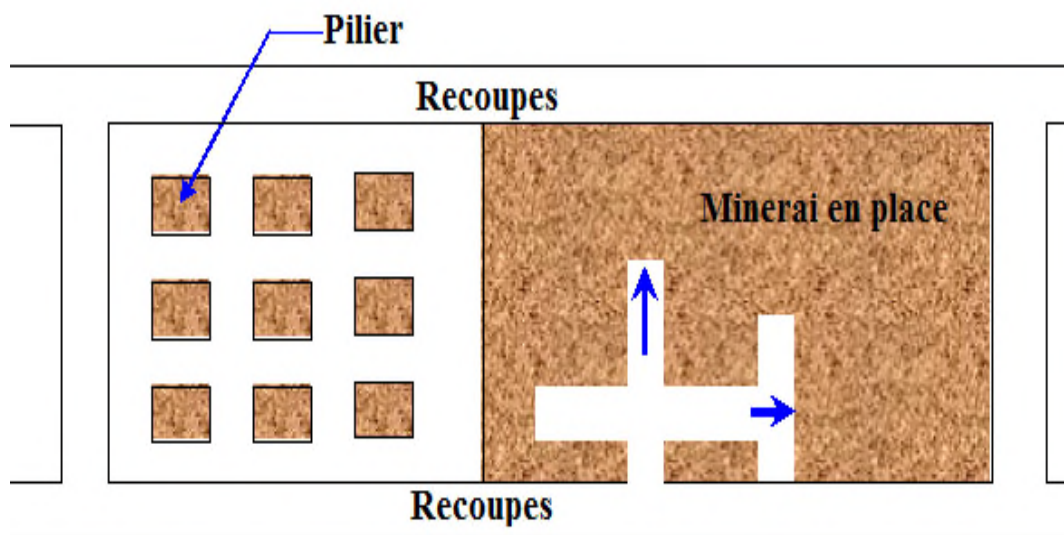


Figure II.3 : Schéma représentative de la méthode chambre et pilier. [8]

b) Exploitation par chambres magasins :

Est une méthode d'exploitation classique, sans doute la plus répandue durant la majeure partie du siècle dernier. Cette méthode est employée pour les gisements verticaux et sub-verticaux (86° à 90°) qui se présentant sous forme filoniennes.

Elle est caractérisée par le déblocage par gravité, les matériaux abattus tombant directement dans des berlines sur rail via des trémies, ce qui est traditionnellement la tâche la plus répandue et la plus fastidieuse du travail de mineur.

Dans l'exploitation par chambre magasin, le minerai est enlevé par tranches horizontales en partant du bas.

La plus grande partie des matériaux abattus est provisoirement laissé en place utilisée comme plancher de travail pour la préparation de la volée suivante ou comme soutènement provisoire des parements.

Comme la fragmentation augmente, le volume de la roche d'environ 60%, quelques 40% des matériaux abattus sont soutirés au fur et à mesure par la voie de base afin de laisser un espace de travail suffisant entre le minerai abattu et le front de taille. Le reste est soutiré après l'abattage de la dernière tranche. [8]

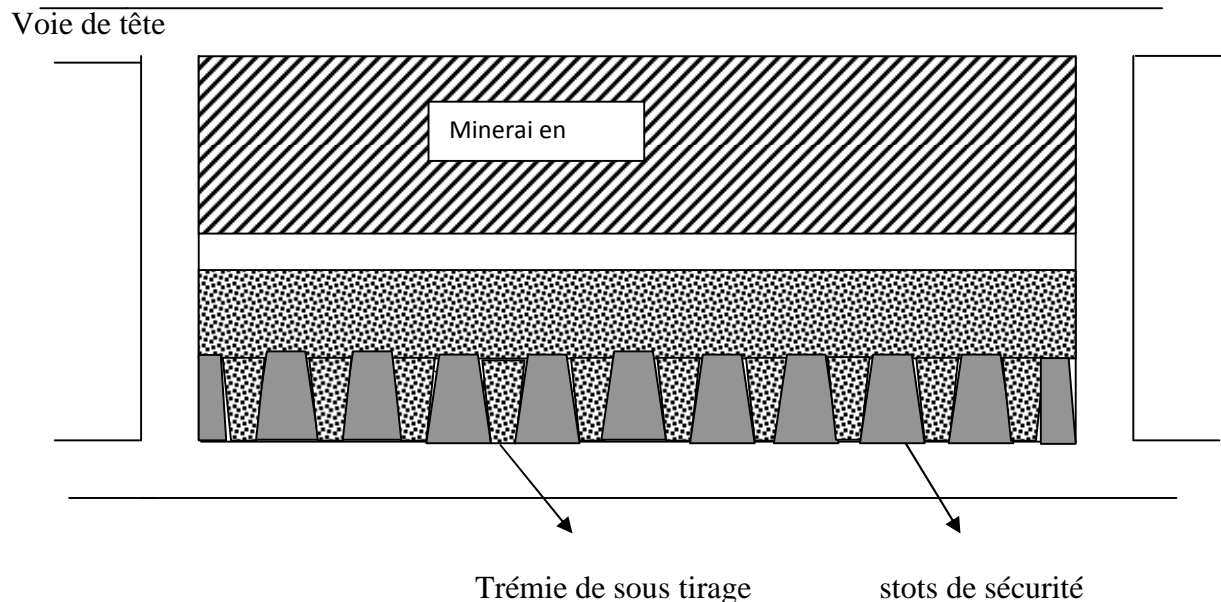


Figure II.4 : Schéma représentative de la méthode chambre magasin. [8]

c) Exploitation par sous niveau abattus :

Pour les amas puissants où la baryte est allongée verticalement, la méthode des sous-niveaux abattus nous semble être la méthode la plus indiquée. Dans cette méthode, on extrait le minerai par tranches horizontales de 5-6 m d'épaisseur en descendant.

A cet effet, l'amas de minerai est exploité et découpé en étage et panneaux de 30-40 m de haut et 40-50 m de long dans lesquels on aménage les voies de circulation : galeries de tête et de base pour la circulation du minerai du matériel et de l'air, cheminées d'accès aux sous-niveaux aux extrémités pour établir la communication avec les galeries.

Dans chaque sous-niveau d'une hauteur de 5-6 m, les travaux préparatoires consistent à creuser des recoupes au plancher du sous-niveau et au minerai selon un plan établi soit une recoupe principale reliant les voies de communication croisées avec des recoupes secondaires creusées jusqu'à la limite de la minéralisation, les travaux d'abattage évacués vers la recoupe principale ou une cheminée plus proche. [8]

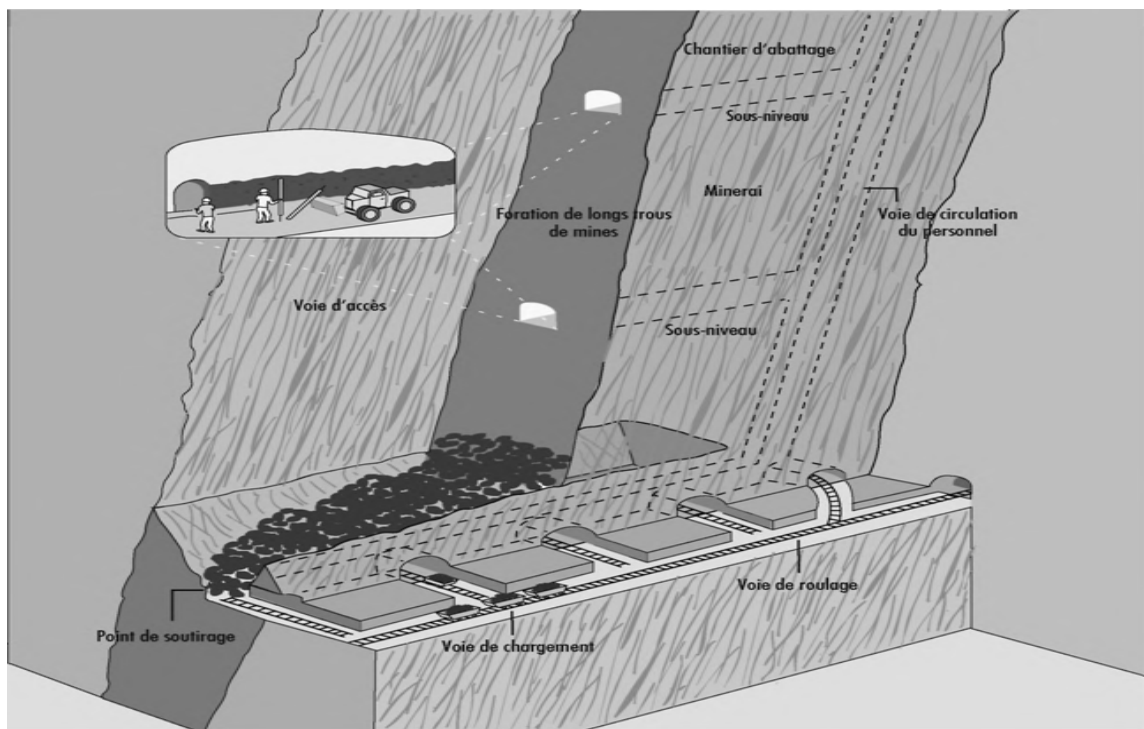


Figure II.5 : Schéma d'exploitation par sous niveau abattu. [8]

II.5.3 Mode de creusement

Les galeries et les recoupes ainsi que les cheminées représentent les travaux de creusement des ouvrages miniers. Les galeries et les recoupes ont une section horizontale de forme de cloche, par contre, les cheminées ont une structure verticale de forme carrée.

- Section d'une galerie = 6m^2 .
- Section d'une recoupe ou d'une chambre = 6m^2 .
- Section d'une cheminée de passage ou de recherche = 2m^2 .

II.5.3.1 Foration :

Le creusement des ouvrages miniers commence par la foration (C'est l'action de creuser des cavités dans un front) des trous de mines à l'aide des marteaux perforateurs montés type T21 sur des poussoirs pneumatiques (à l'air comprimé) individuels, ces trous forés ont environ 0.8m à 2.4 m de longueur selon la nature de l'ouvrage :

- De 0.8 m à 1.2 m pour les cheminées de passages et de recherches.
- De 1.6 m à 1.8 m pour les galeries et les recoupes.
- Le diamètre des trous de mine est de 40 mm, celui de la cartouche de TEMEX est de 30 mm (un espace libre entre la cartouche et les parois pour éviter le coincement). [8]

II.5.3.2 Chargement et tir :

Une fois les travaux de foration sont terminés et les trous sont bien nettoyer (soufflage) on procède au chargement de ces derniers par l'introduction de la matière explosive de type Temex 30mm sous forme de cartouches de 250g, à l'aide d'un bourroir en bois en commençant d'abord par la cartouche amorce puis le reste de la charge .l' amorçage des charges explosive est effectuer par des détonateurs électrique type DER. Par la suite intervient le bourrage des trous à l'aide de l'argile ainsi le chargement étant terminés on effectue la connexion des détonateurs (connexion en série), les relies à la ligne de tir qui est relie à son tour à la source d'explosion (exploseur). [8]

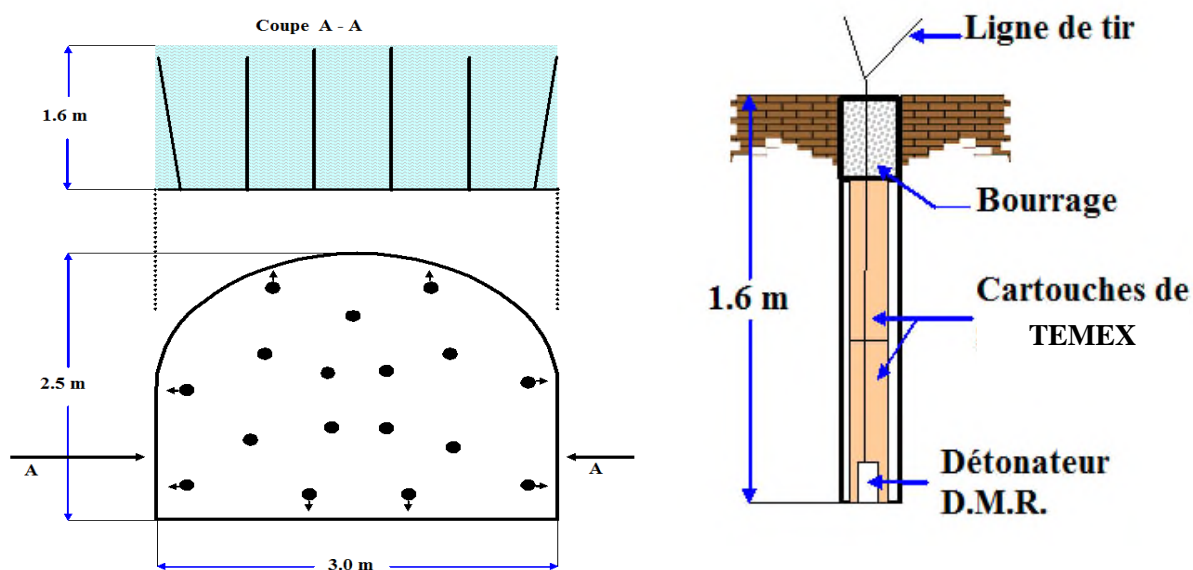


Figure II.6 : Schéma du plan de tir d'une galerie et d'une recoupe. [8]

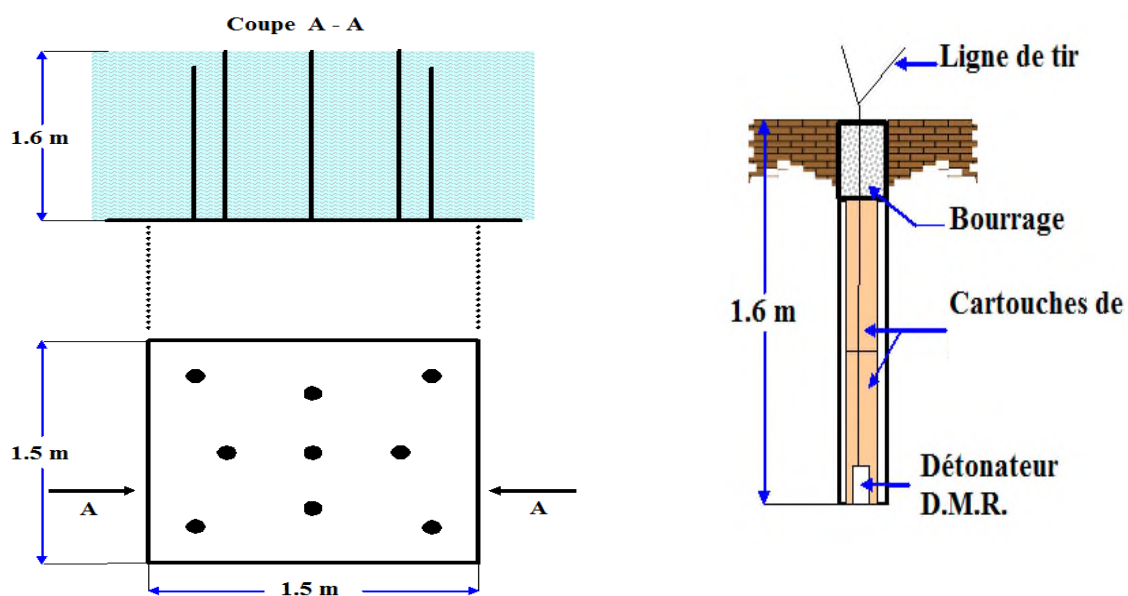


Figure II.7 : Schéma du plan de tir d'une cheminée. [8]

II.5.4 Chargement et transport [8]

On distingue deux types de chargement et transport :

- Chargement et transport souterrain.
- Chargement et transport au jour.

II.5.4.1 Chargement et transport souterrain :

Généralement, Le transport souterrain de minerais abattu s'effectue par gravité le cas de gisement sub-vertical ou par des racleurs dans le cas de gisement incliné

Le chargement se fait par soutirage à partir des trémies de soutirage et on utilise les moyens suivants :

- Des Pelles chargeuses sur rail pour le chargement de la roche abattu dans les avancements (galeries).
- Wagonnets pour le transport vers l'extérieure de la mine.
- Locotracteur (électrique ou diesel) pour tracter les wagonnets vers les aires de stockage du tout-venant à l'extérieure de la mine.

II.5.4.2 Chargement et transport au jour :

Le chargement et le transport de la substance utile à partir des aires de stockage à l'usine de traitement, constitue un processus très important.

L'unité de Boucaïd dispose plusieurs gisements exploitable comme : gisement Lakhdar, gisement de grand pic, gisement ammal, gisement nord.



Figure II.8 : Galerie de roulage. [6]

II.6 Traitement du minerai

II.6.1 Descriptions des installations de traitement

L'usine de Boucaïd traite, enrichit et transforme le Tout-venant de Baryte provenant des différents quartiers dans un but d'obtenir un produit marchand conforme aux normes **API**. Le Tout-venant avec une grosseur maximale de 500 millimètres et une teneur minimale de 60% en BaSO_4 est traité dans les stations suivantes pour avoir le produit fini :

- **Station de concassage :** préparation du tout-venant à l'enrichissement.
- **Station d'enrichissement :** l'enrichissement du tout-venant se fait par la méthode de séparation gravimétrique à voie humide.
- **Station de broyage :** séchage, broyage fin à 75 microns et mise en big bag. [6]

II.6.2 Les techniques de traitement [8]

II.6.2.1 Le concassage

Cette étape consiste à réduire le Tout-venant Baryte jusqu'à une grosseur admise par la prochaine étape pour pouvoir l'enrichir.

Le Tout-venant est chargé à l'aide d'une pelle chargeuse dans une trémie réceptrice de capacité de 120 tonnes à partir d'une aire de stockage pouvant atteindre jusqu'à 5000 tonnes.

Ils existent trois stades de concassage avec une capacité de 30t/h pour la réduction de grosseur de tout venant à l'usine de traitement de Bou-Caïd.

- **Concassage primaire :**

Réduction de la grosseur de tout venant de 500 mm à 70 mm à l'aide d'un concasseur à mâchoires à simple volet type VB67 BERGEAUD.

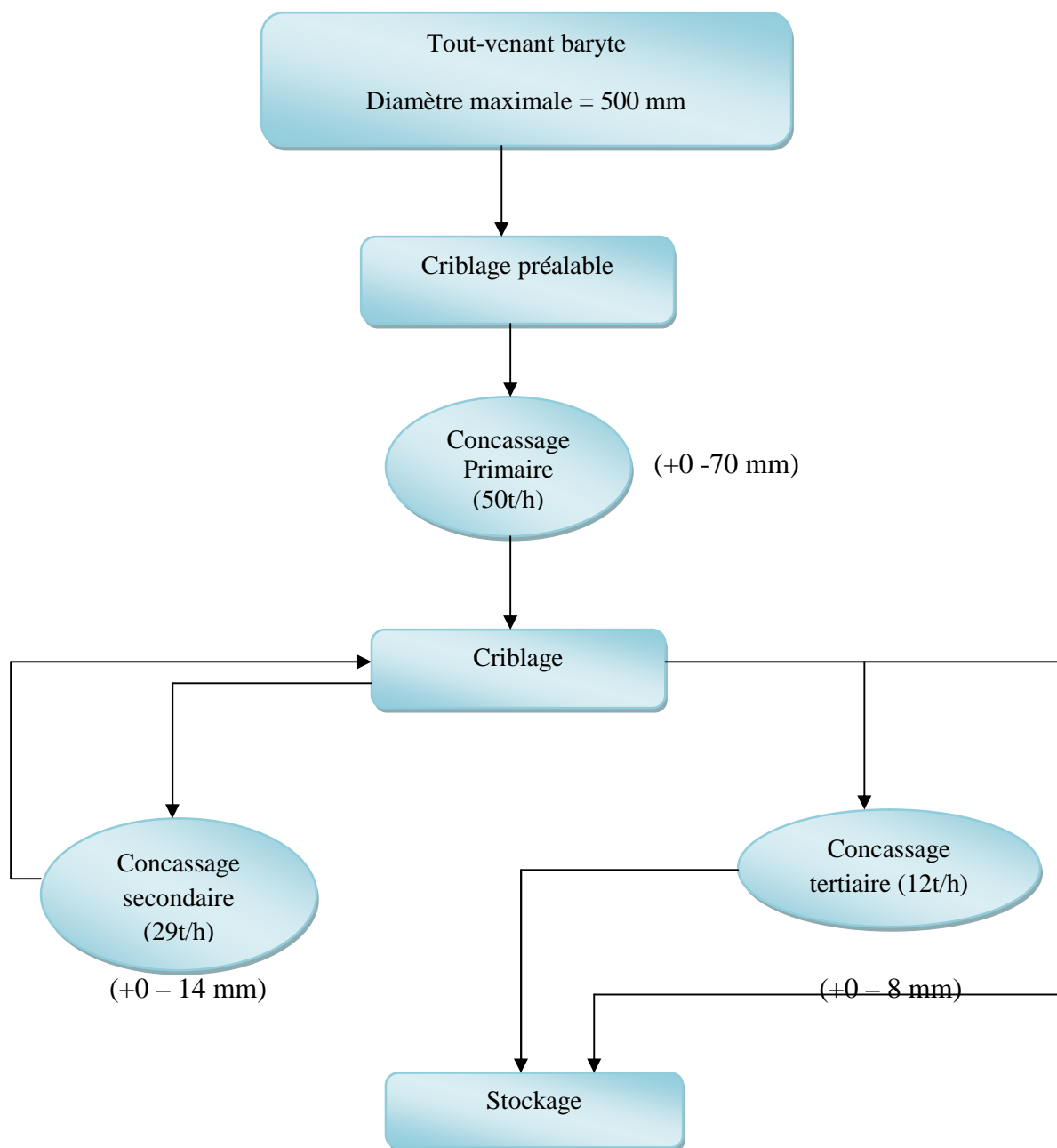
- **Concassage secondaire :**

Criblage et réduction de grosseur à 14 mm dans un groupe mobile broyeur crible SYMENS. Cette opération consiste à séparer les granulats de dimension variée entre 08 et 14mm par un crible à 03 étages, ce dernier facilite la séparation et le concassage.

- **Concassage tertiaire :**

Réduction à 8 mm dans un concasseur à cylindres lisses type BCR 60X80.

Le Tout-venant réduit à une grosseur comprise entre zéro et huit millimètre (+0-08 mm) est stocké dans trois trémies tampons de 120 tonnes de capacité chacune.

Schéma de station de concassage**Figure II.9 : Schéma de station de concassage. [8]****II.6.2.2 Enrichissement :**

Le Tout-venant réduit à (0 – 08mm) subit une séparation gravimétrique humide, dans un appareil appelé Remer-Jig de marque WEMCO. Le produit lourd soit la Baryte est récupéré du bas de l'appareil dans un classificateur spiral puis évacué vers des chambres pour l'égouttage. Le

produit léger soit les rejets est acheminés en surface avec l'eau vers une digue pour décantation, stockage et recyclage de l'eau clarifiée.

Le produit lourd représente le concentré est stocké à proximité dans une aire de stockage allant jusqu'à 9000 tonnes de capacité.

Le rendement de cette installation est de 12 tonne/heure en concentré.

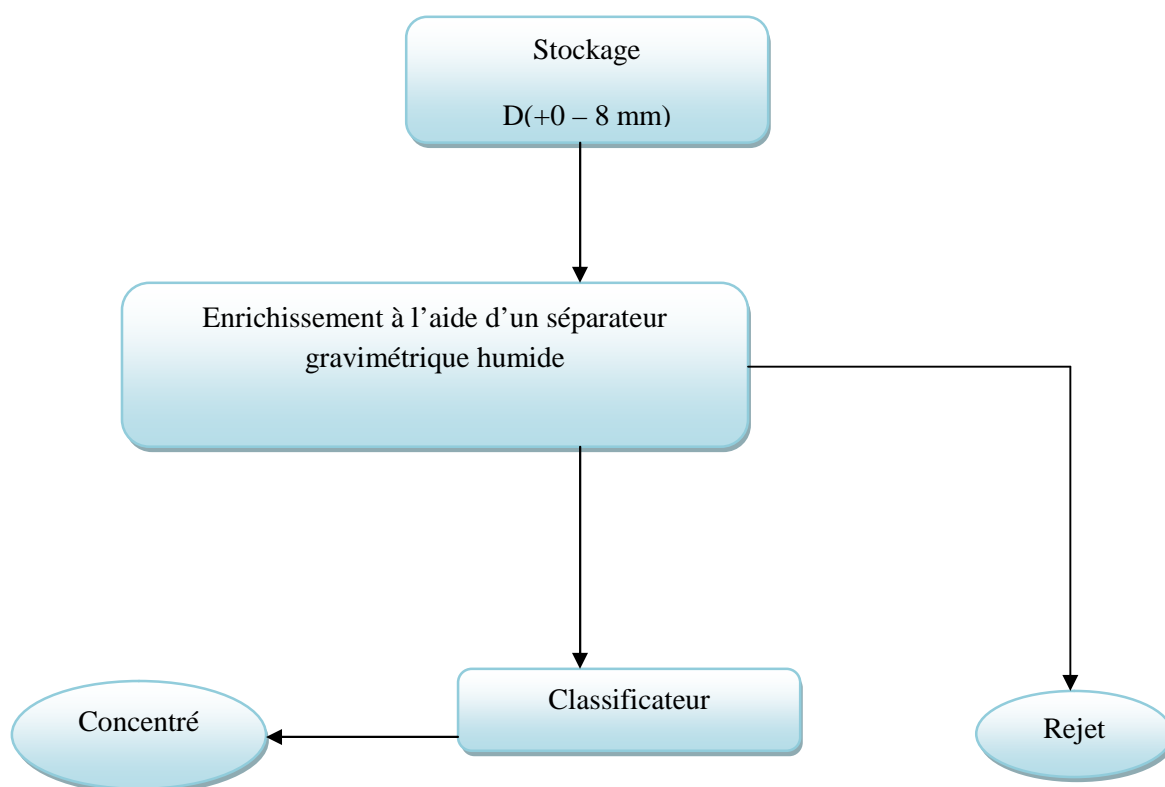


Figure II.10 : Station d'enrichissement. [8]

II.6.2.3 Conditionnement et pulvérisation du produit fini

Cette opération permet de transformer le concentré à un produit fini marchand conforme aux normes.

a) Séchage

Le concentré avec une humidité maximale de 12% à l'entrée du four, subit une opération de séchage dans un sécheur rotatif de 14 mètres de long et deux mètres de diamètre doté d'un

bruleur à gaz naturel de la marque GUENOD ou l'humidité de concentré est ramené à un taux inférieur à 1% à la sortie du séchage.

b) Broyage fin :

Le produit séché subit un broyage fin dans un broyeur pendulaire BP16 de la marque SOUDRON SACRE, ainsi une séparation en granulométrie dans un séparateur statique ou les particules inférieures à 75 Microns sont stockées dans une trémie de stockage de produit fini, le rendement moyen de cette étape est de 14 tonnes/heure.

c) Conditionnement et mise en big bag :

Le produit réduit à 75 microns est mis en BigBag de 1500 kg à l'aide des ensacheuses de marque TESTUT et pesé dans une balance électronique.

Chaque lot de 19.5 tonnes est constitué de 13 Big Bag, sera analysé selon la norme au laboratoire de l'unité de Bou-Caïd.

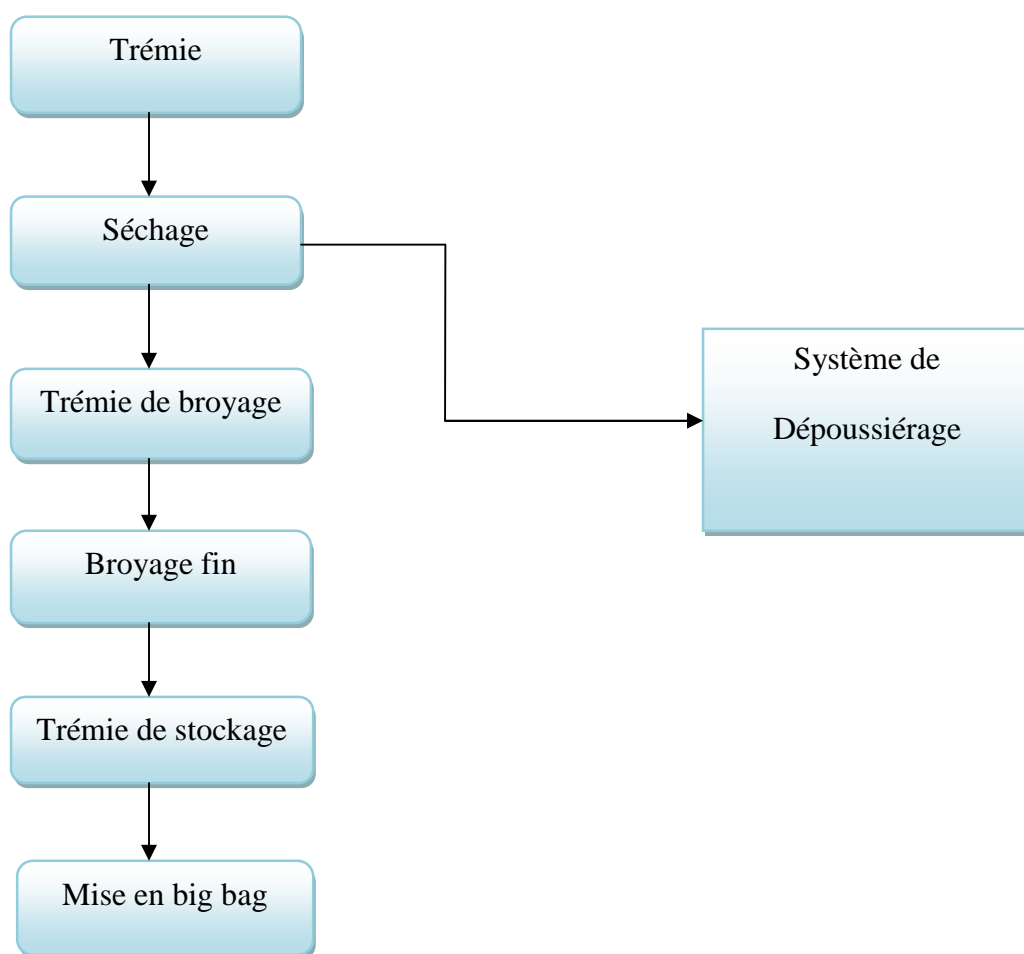


Figure II.11 : Schéma de station de pulvérisation. [8]

II.7 Caractéristiques de produit fini

Nom : barytine appelée communément Baryte dans le domaine pétrolier.

Formule chimique : sulfate de baryum (BaSO_4).

Aspect physique :

- Couleur : blanche à blanc grisâtre et blanc brunâtre
- Solubilité : Insoluble dans l'eau
- Absorption : Réfractaire aux rayons X.

Caractéristiques physico-chimique:

La norme API fixe les caractéristiques suivantes :

- Densité : 4,20 min
- Métaux alcalino-terreux : 250 mg/kg max (Exprimé en calcium)
- Résidus supérieurs à 75 micron : 3 % max
- Particules inférieures à 6 micron : 30 % max [8]

Conclusion

La mine de Bou-Caïd a une grande importance économique et industrielle pour le groupe ENOF, pour cela, le déroulement des travaux se fait d'une manière efficace vigoureux, où on a bien observé qu'il y'a une bonne homogénéisation, de la mine (le fond) jusqu'aux les différents services au niveau de l'unité, et aussi la bonne organisation entre eux.

D'un autre part, on a quelques remarques qui peuvent aider à augmenter le rendement de l'unité, construire des plates formes en bétons au niveau des aires de stockage ainsi au niveau des pentes de renversement des wagonnets de minerai dans ces aires de stockage pour diminuer les pertes.

La production annuelle de Baryte au niveau de la mine de Bou-Caïd est d'environ 20 000 tonnes par an, avec une production par jour qui peut atteindre 150 tonnes.

Chapitre III :
Gestion et caractérisation
du rejet

Introduction

Différents méthodes et techniques de caractérisation physico-chimique peut être utilise pour caractériser les différents types des matériaux. Ce chapitre expose les différents rejets issus de l'exploitation de la baryte au niveau de la mine de Bou-Caïd, et les méthodes de caractérisation par la diffraction des rayons X, et la fluorescence X.

III.1 les rejets issus de traitement de la baryte :

III.1.1 Emission de poussière :

Le mode d'exploitation utilisé à l'unité de Bou-Caïd est souterrain donc, à l'exception de la poussière dégagée par l'action du transport et du chargement au fond, il n'y a pas de poussières qui arrivent à l'atmosphère.

A la station de concassage et dans le cas où le minerai traité est sec, un dispositif d'arrosage d'eau est utilisé pour diminuer l'émanation de poussières. Cependant à l'atelier de pulvérisation, un système de dépoussiérage est installé, ce qui permet de réduire le taux de poussières dégagées de 6.9 g/m³ à un taux de 0.11 g/m³, les constituants de cette poussière ne présentant pas des concentrations nocives ou toxiques. [9]

III.1.2 Pollution des eaux :

III.1.2.1 Eaux souterraine :

Dans la zone d'étude, le réseau hydrogéologique est assez développé dans cette région montagneuse constituée de roches calcaires réputées imperméables, mais on note la présence de sources d'eau. Ces sources d'eau fonctionnent normalement et on ne note ainsi aucune pollution des eaux souterraines due à l'activité minière de l'unité de Bou-Caïd. [9]

III.1.2.2 Eaux superficielles :

Les oueds éloignés peuvent effectivement recevoir les poussières de calcaire soit directement (dépôt de ces poussières, transportées par le vent, dans le lit d'oued), soit indirectement (drainage des eaux de pluies riches en poussières déposées localement), mais il s'agit d'un matériau naturel non pollué.

Le traitement de minerai à la mine de Bou-Caïd est un traitement purement mécanique qui ne nécessite pas le rajout de réactifs quelconques pour son traitement par voie humide. Les rejets

de traitement sont constitués de calcaire qui est récupéré dans une digue de décantation et qui peut être utilisé dans les travaux miniers dans les couches de base et/ou les couches de fondation. Les eaux utilisées dans l'enrichissement du minerai sont récupérées pour être réutilisées dans le processus de traitement grâce à un système fermé de pompage et tuyauteries. Le minerai traité est un minerai naturel et insoluble dans les eaux, donc pratiquement non polluant. [9]

III.1.3. Les stériles de la mine :

Il y a d'abord les stocks de minerais pauvres extraits, pour atteindre le minerai normal, dont la teneur est supérieure à la teneur limite. Leur teneur en sulfures est assez élevée pour que l'eau de ruissellement à travers ces tas ait un pH bas et des métaux en solution.

Les autres stériles peuvent venir, des traçages dans une mine souterraine. Dans le cas où les roches contiennent quelques pourcent de sulfures (pyrite par exemple), avec les infiltrations à travers ces stériles, on entre dans un type d'impacts sur l'environnement hydrologique dont on se préoccupait peu par le passé et qui représentent des enjeux importants. Ces impacts apparaissent le plus souvent après la fermeture des exploitations.

Pour le cas de la mine de Bou-Caïd, il n'y a pas de dépôts de stériles de mine. [9]

III.1.4. Les stériles de laverie :

Il s'agit généralement d'un matériau homogène, de fine granulométrie et avec des teneurs en métaux supérieures à celles des stériles de mine. Les problèmes causés à l'environnement sont connus et deux points sont à considérer: la stabilité et la qualité des eaux infiltrées.

Ces deux points sont pris en compte dès le début du dépôt. A son achèvement, la construction de canaux de détournement en prévision de précipitations exceptionnelles termine les dispositions à prendre pour la stabilité de l'ouvrage. Celle-ci dépend du niveau de l'eau dans les stériles, le contrôle est assuré par des piézomètres.

La qualité de l'eau sortante après percolation est variable dans le temps et des contrôles périodiques devraient permettre de prendre les dispositions qui, pour le moindre coût, permettraient de respecter les normes de qualité des eaux.

Les stériles de l'usine de traitement de Bou-Caïd ne posent pas de problème pour l'environnement car il s'agit d'un produit calcaireux utilisable pour les couches de fondation des travaux routiers et d'autres travaux de fondation. [9]

III.1.5 Stockage des rejets

Les résidus de traitement sont des sous-produits des opérations de traitement du minerai par différentes techniques après préparation par concassage/broyage, et le jugage. Ils sont stockés sur site (Figure III.2). Ils ont de granulométries millimétriques à quelques dizaines de centimétriques, nécessitant une gestion adaptée dans le cadre de l'après-mine.

L'instabilité chimique et physique des rejets miniers entreposés dans les aires d'accumulation peuvent constituer une source de nombreux problèmes environnementaux et sécuritaires. Les aires d'entreposage de rejets et leur stabilité physico-chimiques doivent cependant être améliorées et contrôlées.

III.2 Valorisation des rejets miniers

Les activités de traitement du minerai produisent des résidus qui sont rejetés dans les parcs à résidus miniers. Il existe différentes techniques de gestion et valorisation des rejets miniers. Toutefois, le choix de la méthode de gestion à appliquer dépend d'une évaluation de trois facteurs à savoir : le coût, les performances environnementales et les risques d'accidents. Une bonne gestion des résidus et stériles comporte une évaluation des différentes solutions entre autres pour :

- Limiter le plus possible le volume des résidus et des stériles produits au départ, notamment par un choix judicieux de la méthode d'exploitation,
- Multiplier les occasions d'utiliser autrement les résidus et stériles,
- Conditionner les résidus et les stériles lors du traitement pour réduire autant que possible les risques pour l'environnement ou la sécurité. [12]

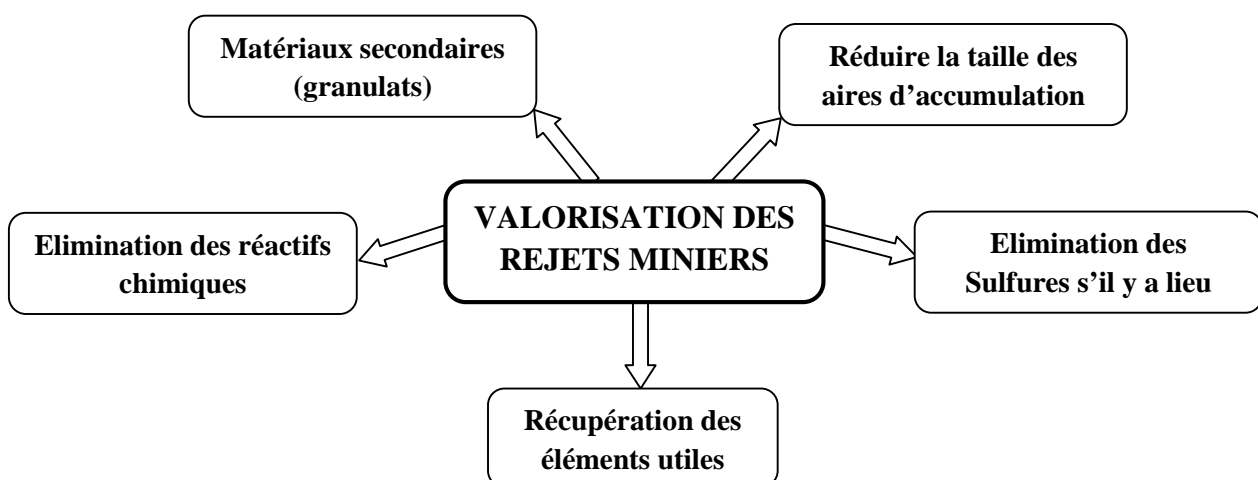


Figure III.1: Gestion et valorisation des rejets [12]

III.2.1 Application comme sous-produit

L'utilisation des rejets dans le domaine de construction est une forme de valorisation des rejets carbonatés de granulométrie plus ou moins grossière, et qui répondent à certaines caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques. De tels rejets peuvent être utilisés comme granulats ou une charge dans les matériaux de construction (ciments et bétons).

III.2.1.1. Matériaux de construction

Les rejets miniers sont fréquemment utilisés comme matériaux de construction pour l'aménagement de routes et de digues autour des parcs de résidus. Ils sont utilisés pour des travaux se situant à l'extérieur des sites miniers, utilisés aussi pour les ballasts de chemin de fer, comme agrégat dans la composition du ciment portland et comme matériaux d'ennoiment.

III.2.1.2. Remblayage

L'utilisation des rejets miniers comme remblais a des avantages environnementaux soient maintenant bien connus (réduire la superficie des parcs à résidus et les haldes de stérile), ce sont des nécessités économiques et sécuritaires qui ont rendu cette pratique indispensable pour les exploitations souterraines. Ces remblais servent aussi de pilier secondaire afin de consolider la structure de la mine.

Certaines considérations doivent être prises en compte pour cette technique soit environnementale, la plus importante est la composition chimique des résidus. [12]

III.2.2 Réduction du volume d'accumulation

Plusieurs millions de tonnes de résidus de concentration et de stériles miniers qui sont produits annuellement et qui sont entreposés sur des aires d'accumulation. Ces lieux d'entreposage présentent une grande superficie.

La production de ces rejets est cependant inévitable: elle est une conséquence de la production minière et une partie importante intégrante des processus d'extraction et de traitement du minerai. Il faut ainsi trouver des méthodes de gestion qui permettent de réduire la superficie des aires d'entreposage sans compromettre la production minière. [12]

III.2.3 Récupération des éléments utiles

Les rejets miniers issus du traitement des minerais de baryte depuis plusieurs centaines d'années sont essentiellement gérés pour leurs impacts potentiels sur l'environnement. Toutefois, certains de ces résidus miniers restent riches en métaux et représentent une ressource secondaire d'avenir pour

l'approvisionnement de certains minéraux (baryte). La prise en compte de la dimension des rejets va dans le sens d'une gestion intégrée et optimisée qu'il convient d'étudier au cas par cas. [12]

III.3. Caractérisation de rejets de Baryte

Avant de décider l'utilisation des rejets dans le domaine de construction ou de récupérer les éléments utiles (baryte), il faut commencer par la valorisation de ce dernier, commençant par la préparation mécanique des échantillons et par la suite la caractérisation.

III.3.1 Préparation des échantillons

III.3.1.1 Echantillonnage

L'échantillonnage se définit comme une procédure dans laquelle une portion de substance, de matériau ou de produit est prélevée pour fournir un échantillon représentatif de l'ensemble pour les besoins de l'analyse. [11]

Le prélèvement des échantillons est effectué en quatre points déferent de la digue de décantation, il s'agit d'un échantillon des stériles de laverie, le poids de l'échantillon recevait est d'environ 20 Kg, et d'une granulométrie compris entre 0 mm et 15 mm.



Figure III.2 : Localisation des points de prélèvement de l'échantillon

Avant de procéder à une analyse quelconque d'un échantillon solide, nous lui faisons subir un traitement mécanique qui est la phase la plus délicate pour préparer un échantillon représentatif. Pour atteindre cet objectif, les opérations suivantes sont nécessaires:

III.3.1.2 Concassage :

On appelle concassage, le processus de réduction des matériaux solides en morceaux plus petits, échelle centimétrique à millimétrique. [10]

Cette opération a pour but d'obtenir un échantillon d'une granulométrie entre 0 mm et 8 mm.

Le concassage est réalisé au niveau de laboratoire de technologie des matériaux de génie de procédés, université de Bejaïa, à l'aide d'un concasseur à mâchoire.



Figure III.3 : Concasseur à mâchoire de laboratoire.

III.3.1.3 Homogénéisation

C'est un procédé mécanique qui consiste à mélanger l'échantillon de manière à le rendre homogène. On a effectué cette opération trois fois, afin d'assurer l'homogénéisation de l'échantillon globale, à l'aide d'un diviseur au niveau de laboratoire de technologie des matériaux et de génie des procédés, université de Bejaia.

III.3.1.4 Quartage

Le quartage est une opération indispensable pour une meilleure représentativité de l'échantillon, par transformation 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'analyse. [11]

Ce procédé obéit à la loi de RICHARDSE exprimé par la relation suivante :

$$\begin{aligned} Q &\geq kd^2 \\ m &\leq Q/kd^2, \quad m = 2^n \\ n &= \ln(m)/\ln(2) \end{aligned}$$

Avec

Q : la masse initial à quarter ;

m : la masse déterminant le nombre de quartage, utilisé comme moyen de vérification ;

d : diamètre de plus gros grain ;

k : coefficient de répartition de la minéralisation (k=0.1 pour matériau homogène, k=0.5 pour matériau hétérogène)

n : le nombre de quartage.

Dans notre cas, nous avons effectué deux opérations de quartages pour obtenez la masse du rejet nécessaire afin de réaliser notre essais.

III.3.1.5 Broyage

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

Le broyage est l'une des étapes les plus coûteuses de l'enrichissement et produit comme résultat de très fines particules qui facilitent une meilleure extraction du métal. [11]

L'opération de broyage est réalisée pour le but de prépare l'échantillon afin de faire les analyses chimiques. Le broyage est effectué à l'aide d'un broyeur à disque au niveau de laboratoire de génie civile, université de Bejaia.

On représente tous ces opérations par un schéma de préparation :

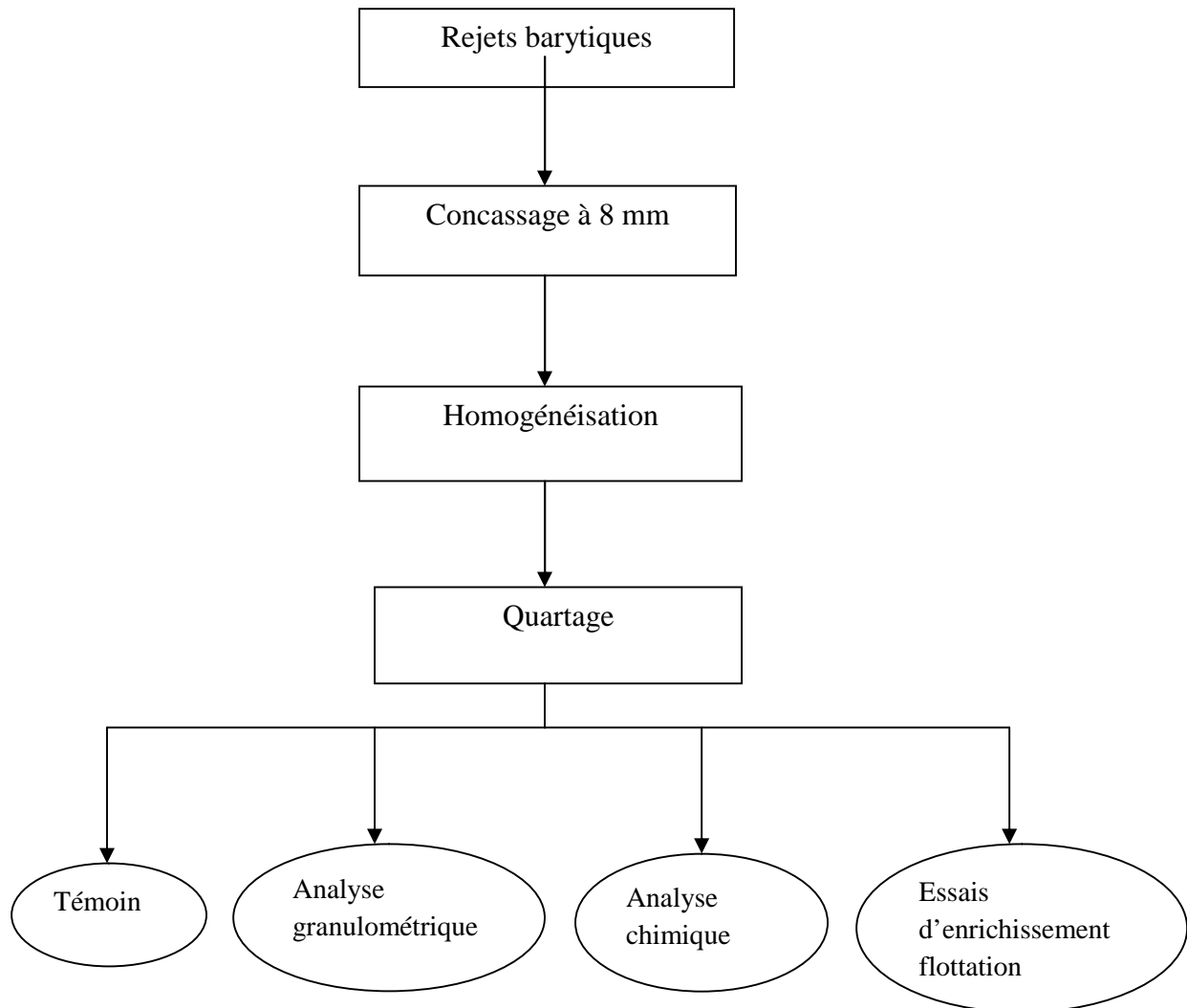


Figure III.4 : Préparation de l'échantillon.

III.3.2 Les méthodes de caractérisation

III.3.2.1 L'analyse granulométrique

Le criblage peut être défini comme une opération mécanique qui sépare les particules en fonction de leur calibre et selon qu'ils sont admis ou rejetés par les ouvertures d'une face de criblage. Les particules qui sont plus grosses que les ouvertures des cribles sont retenues, et constituent les déclassés supérieurs. Inversement, celles qui sont plus petites passent à travers la surface de criblage et forment les déclassés inférieurs. [12]

Les analyses granulométriques ont pour objectif de mesurer la distribution par taille des particules d'un échantillon. L'identification des différentes familles granulométriques qui constituent un échantillon permet par ailleurs de définir sa texture. L'obtention des différentes fractions granulométriques, via cette analyse, a également permis d'étudier plus finement la répartition des espèces minérales par diffraction des rayons X (DRX).

L'objet de cette analyse consiste à déterminer les proportions massiques de minerai fragmenté, tout en respectant les standards en matière de classification directe (le criblage). Cette classification reprend à des normes internationales. [13]

Dans notre cas nous avons utilisés une série de tamis d'ouvertures variant de 6.3 mm jusqu'à 0.063 mm. Cette opération est réalisée au laboratoire de mécanique de sols, département de génie civil. Le retenu de chaque tamis est pesée, et les résultats sont récapitulé dans un tableau (voire chapitre 4).

III.3.2.2. Analyse par diffraction des rayons X

La diffraction aux rayons X est une technique conventionnelle pour l'identification des phases minéralogique des matériaux cristallins .L'appareil de diffraction des rayons X fonctionne selon le principe de la relation de Wulff-Bragg. En effet, des rayons X monochromatiques, sont diffractés par des plans atomiques suivant la loi de Bragg pour donner des pics de diffraction sur un diffractogramme. [14]

Principe de la diffraction des rayons X :

La diffraction des rayons X est une méthode de caractérisation des matériaux. Elle est appliquée à des minéraux dont les cristaux n'ont pas d'orientation préférentielle ou ayant une orientation préférentielle comme dans le cas des argiles.

Chaque cristal est caractérisé par une disposition spécifique des atomes constituant des plans parallèles équidistants appelés plans réticulaires $\{h,k,l\}$. Les distances réticulaires entre ces derniers varient entre 0,15 et 15 Å. La diffraction des rayons X détecte ces distances. Selon la loi de Bragg, un faisceau de rayons X monochromatique de longueur d'onde connue frappant la surface d'un cristal peut être diffracté selon le même angle d'incidence θ du faisceau de rayon X initial. Ce dernier est caractéristique de la distance, inter réticulaire d , caractéristique du minéral analysé. [15]

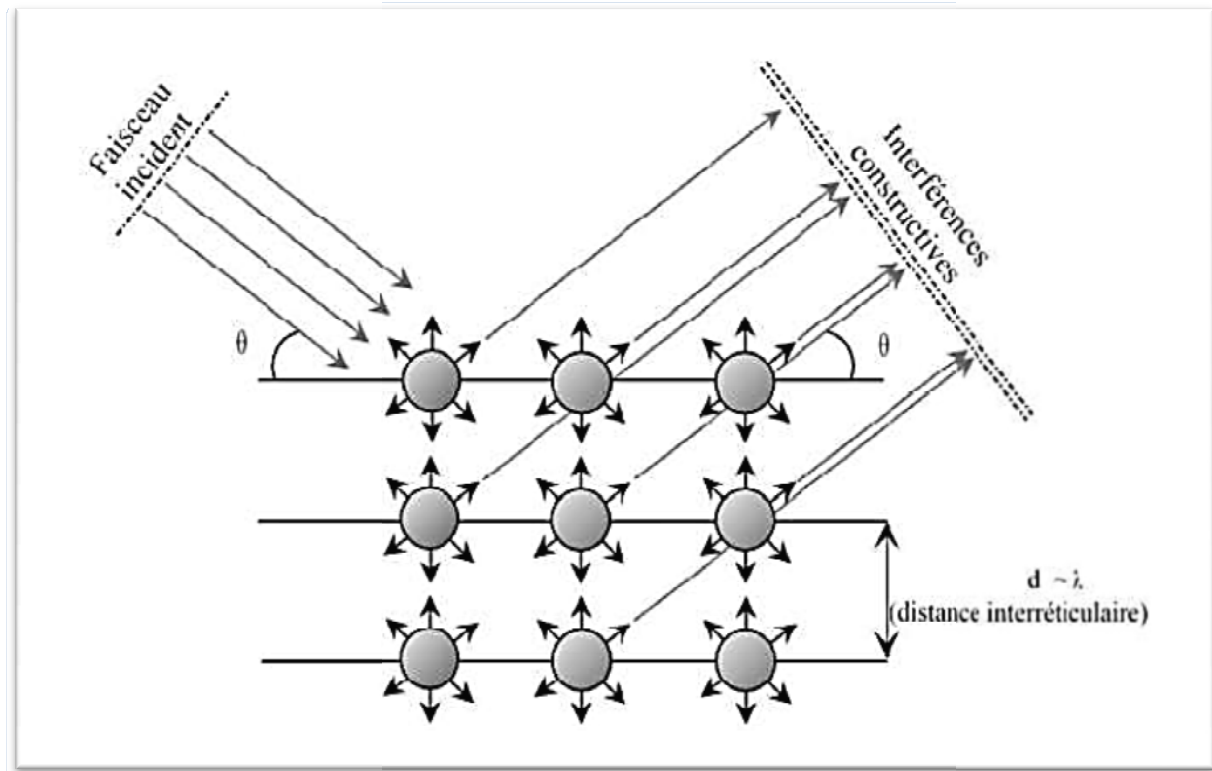


Figure III.5 : Principe de la DRX. [16]

La loi de Bragg :

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

Avec :

n : l'ordre de la diffraction ;

λ : longueur d'onde de rayon X ;

θ : l'angle entre le faisceau incident et le plan diffractant ;

d : la distance inter réticulaire entre deux plans diffractant d'un cristal.

Les résultats d'un balayage de l'échantillon à différents angles incidents sont exprimés sur un diagramme donnant l'intensité I diffusée en fonction de l'angle θ . Le diagramme d'un minéral bien cristallisé présente des raies de diffraction, plus ou moins fines. Chaque espèce cristalline donne un diagramme de diffraction caractéristique, c'est-à-dire un ensemble de raies de diffraction dont la position et l'intensité correspondent à sa structure cristalline. [17]

Cette méthode est réalisée sur des échantillons répartis en fraction selon l'analyse granulométrique comme suite :

- $d > 5 \text{ mm}$
- $2.5 \text{ mm} < d < 5 \text{ mm}$
- $0.5 \text{ mm} < d < 2.5 \text{ mm}$
- $0.125 \text{ mm} < d < 0.5 \text{ mm}$
- $d < 0.125 \text{ mm}$

Avec, d : l'ouverture des tamis en (mm).

III.3.2.3. Analyse par spectrométrie a fluorescence X

La fluorescence X est une propriété spectrale des atomes exploitée en analyse pour obtenir des renseignements qualitatifs sur la composition élémentaire de toute sorte des mélanges.

Cette méthode est non destructive et ne nécessite pas de préparation d'échantillons, (pour les échantillons de petites dimensions seule une adaptation du porte échantillon est nécessaire). La configuration de certains appareils permettant de travailler très près de l'échantillon est un avantage important, particulièrement lorsque celui-ci est de petite taille.

L'analyse qualitative par spectrométrie de fluorescence X à dispersion d'énergie permet d'obtenir de façon rapide et globale la totalité des éléments chimiques contenus dans l'échantillon. L'analyse ne dure que quelques minutes et avec un seul spectre on peut avoir l'ensemble des éléments détectés. L'interprétation des résultats est donc très rapide. Toute fois dans certains cas on peut noter une légère difficulté dans la lecture du spectre due à la superposition de certains pics. [18]

Principe de la FX :

Le principe consiste à irradier l'échantillon soit par faisceau de rayon X, soit par un bombardement avec des particules, généralement les électrons ayants suffisamment d'énergie, pour que les atomes ainsi ionisés émettent un rayonnement de fluorescence également dans le domaine des rayin X.

Quand on irradie avec des photons ou quand on bombarde avec des particules de grande énergie entre 5 et 100 kev, un matériau servant de cible celui-ci émet une fluorescence situé dans le domaine des rayons X.

Le spectre de cette photoluminescence comporte des radiation dont les longueurs d'ondes sont caractéristiques des atomes de ce matériau. Le mode d'extraction pour provoquer ce qu'on nomme la fluorescence X des atomes sont nombreux : photon ou particules.

L'application en analyse chimique est évidente, elle consiste à comparer le spectre de fluorescence X émis par l'échantillon inconnu à des spectre de référence dont les compositions sont connu ou à des spectre d'élément purs allant du bor Br ($Z = 5$) à l'uranium ($Z = 92$).

L'échantillon soit finement broyé non seulement pour assurer l'homogénéité, mais aussi pour éviter l'effet de grain sur le trajet des rayons X qui perturberait le résultat. [18]

Conclusion

La valorisation et gestion des rejets de baryte constitue une opération très importante dans la mine de Bou-Caïd. Non seulement influe sur la gestion des résidus et l'impact environnementale mais aussi, c'est une façon de récupérer le minerai de baryte donc, c'est un intérêt économique pour la société.

Chapitre IV : *Résultats et discussion*

Introduction

Ce dernier chapitre sera orienté principalement à la valorisation de rejets de baryte à partir de l'interprétation des résultats obtenue par les différentes méthodes de caractérisations ainsi que l'adoption de procédé de flottation.

IV.1 Caractérisation des rejets de baryte

Pour atteindre à notre objectif il faut d'abord interpréter les caractéristiques physico-chimiques de rejets de baryte, et ensuite de proposer des procédés de traitement à celui-ci, mais on fait appel à une libération totale de minerai de baryte par la réduction des matériaux solides en morceaux plus petits, à échelle centimétrique à millimétrique.

IV.1.1 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique de l'échantillon a été réalisée au niveau de laboratoire sur une série des tamis allant de 6.3 mm à 0.063 mm.

Les résultats obtenus de cette analyse sont présentés dans le tableau(IV.1).

Tableau IV.1 : Classement dimensionnelle par tamisage en voie sèche.

Ouvertures (mm)	Rendement en poids		Refus cumulés %	Passant Cumulés %
	En gramme	En %		
> 6.3	194.06	6.48	6.48	93.52
5 – 6.3	238.9	7.97	14.45	85.55
4 – 5	294.3	9.82	24.27	75.73
2.5 – 4	512.8	17.12	41.39	58.61
1 – 2.5	640.08	21.36	62.75	37.25
0.5 – 1	294.68	9.84	72.59	27.41
0.25 – 0.5	295.87	9.88	82.47	17.53
0.125 – 0.25	423.65	14.14	96.61	3.39
0.063 – 0.125	70	2.34	98.95	1.05
< 0.063	31.7	1.05	100	00
Total	2996.04	100	/	/

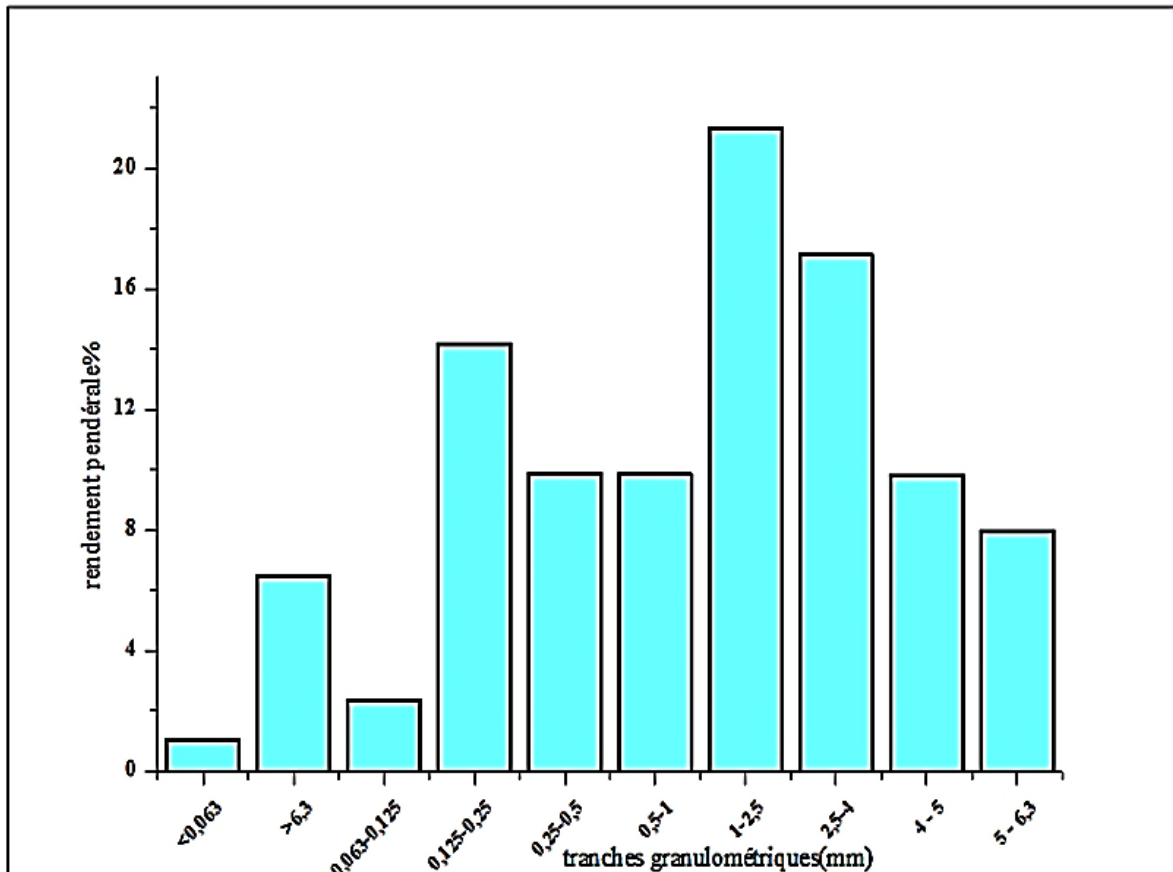


Figure IV.1 : Histogramme de la répartition granulométrique de rejet.

La figure IV.1 représente l'histogramme qui montre la variation des rendements en poids en fonction d'ouverture des tamis obtenue après l'opération du tamisage, suite à cette présentation, on constate que la distribution en poids des tranches granulométriques est irrégulière.

On remarque aussi la prédominance de la tranche [1mm – 2.5mm], 21.36% de la masse initial, et la tranche [2.5mm – 4mm], 17.12% de la masse initial.

Les particules qui sont un diamètre moyenne [les classes : 0.125 – 0.25 mm, 0.25 – 0.5mm, 0.5 – 1mm] représente 33.86 % de la masse initial, les fines particules (<0.125) représente 3.39 %, et 24.27 % sont des particules supérieure à 4 mm.

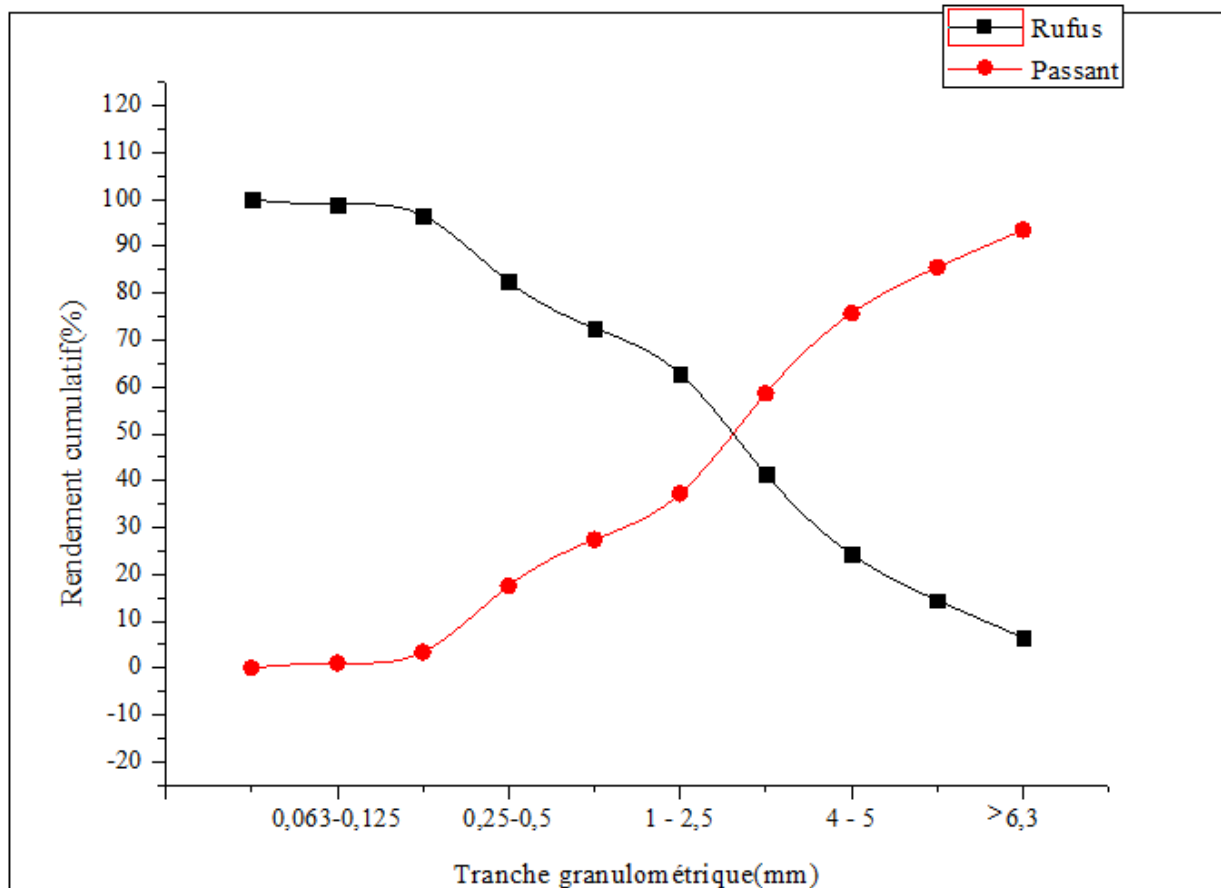


Figure IV.2 : Distribution granulométrique.

D'après les résultats obtenus, on constate que les rendements cumulatifs des tamisât sont croissants en fonction des diamètres moyens des tamis. Par contre les rendements cumulatifs des refus sont décroissants en fonction des diamètres moyens des tamis. De plus, ces deux courbes (refus - tamisât) sont symétriques et elles se coupent en un point : D_{50} .

Les diamètres D_{10} , D_{30} , D_{50} , D_{60} respectivement les diamètres des éléments correspondant à 10%, 30%, 50% et 60% de tamisât. Ils représentent respectivement les diamètres des mailles des tamis qui permettent le passage 10%, 30%, 50% et 60% du matériau de départ.

D'après la courbe on obtient :

- $D_{10} = 0.3 \text{ mm}$
- $D_{30} = 0.97 \text{ mm}$
- $D_{50} = 2.75 \text{ mm}$
- $D_{60} = 3.45 \text{ mm}$

IV.1.2. Résultats d'analyse minéralogique par DRX

Cinq échantillons répartis en fraction selon leur granulométries ont été préparés et soumis aux analyses par DRX pour une détermination et confirmation de la composition minéralogique des rejets de baryte.

L'identification des composés présente dans un mélange en poudre cristallin se fait par comparaison du diffractogramme enregistré avec les diffractogramme de composés de référence stockés dans la base de données PDF (Powder Diffraction File).

Les résultats obtenus sont présentés par les cinq diffractogrammes illustrés par les figures ci-après.

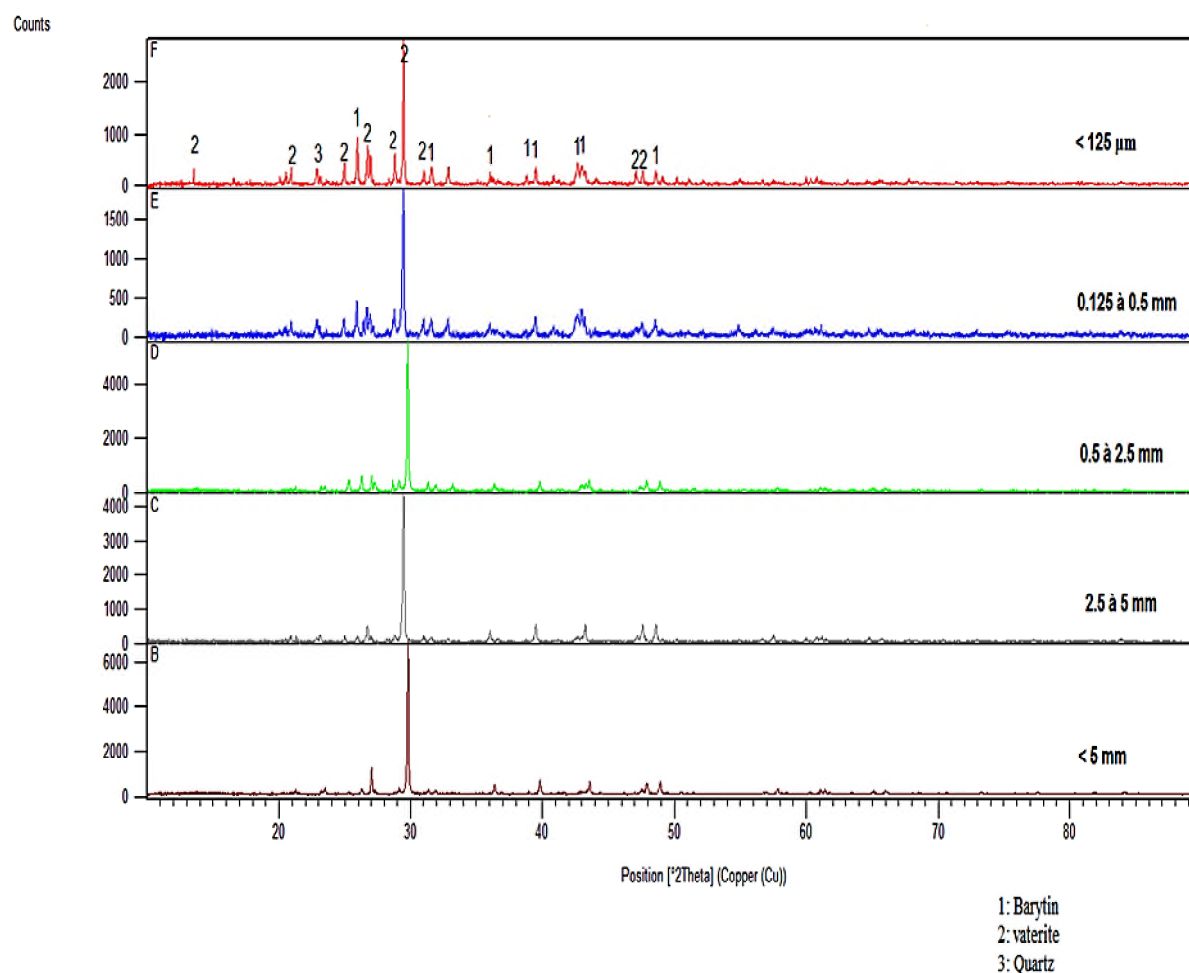


Figure IV.3 : Spectromètres des différentes fractions granulométriques du rejet.

a. Echantillon b [d > 5 mm]

Après le lissage afin d'éliminer les pics non intenses, nous avons obtenu 62 pics, 38 pics correspondent à la baryte, sur la base des données minérales de la baryte, dans notre échantillon, nous avons trouvé quatre pics intenses de baryte comme indiqués dans le tableau ci-dessous.

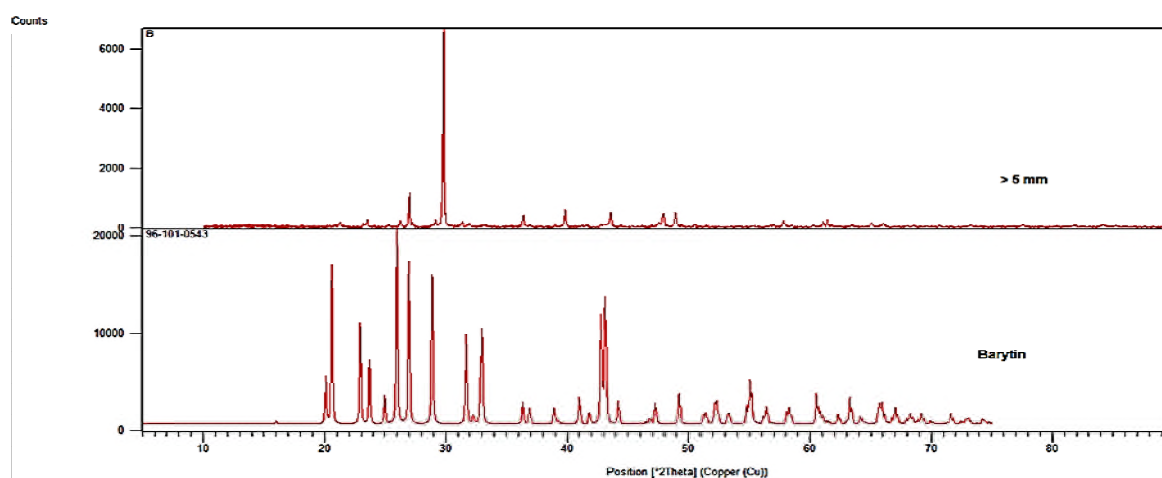
Tableau IV.2 : Pics de baryte dans l'échantillon b

Nombre de pic	d [Å]	2Theta [degré]	Intensité(%)
3	4.31954	20.545	77.7
7	3.43049	25.952	100
8	3.30656	26.943	85
9	3.0913	28.858	79

La vaterite a été trouvée dans notre échantillon avec 3 pics intenses comme cela est indiqué dans le tableau ci-dessous

Tableau IV.3 : Pics de vaterite dans l'échantillon b

Nombre de pic	d[Å]	2Theta [degré]	Intensité(%)
6	3.6449	24.401	61.8
12	3.3475	26.622	100
19	2.7577	32.439	86.4

**Figure IV.4 : Diffractogramme de la fraction supérieure à 5 mm.**

b. Echantillon c [2.5 mm – 5 mm]

Dans cet échantillon, nous avons obtenu 63 pics, tandis que 38 pics d'entre eux correspondent à la baryte; en comparaison avec les données minérales de la baryte, 3 de ces pics sont intenses comme le montre le tableau.

Tableau IV.4 : Pics de baryte dans l'échantillon c

Nombre de pic	d[Å]	2Theta[degré]	Intensité(%)
7	3.44491	25.842	98.20
8	3.3179	26.849	64.7
9	3.10421	28.736	100

La vaterite a été trouvée dans notre échantillon avec 3 pics intenses comme cela est indiqué dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.5 : Pics de vaterite dans l'échantillon c

Nombre de pic	d[Å]	2Theta[degré]	Intensité(%)
6	3.5419	24.566	61.1
12	3.3265	26.650	100
19	2.6821	32.524	86.7

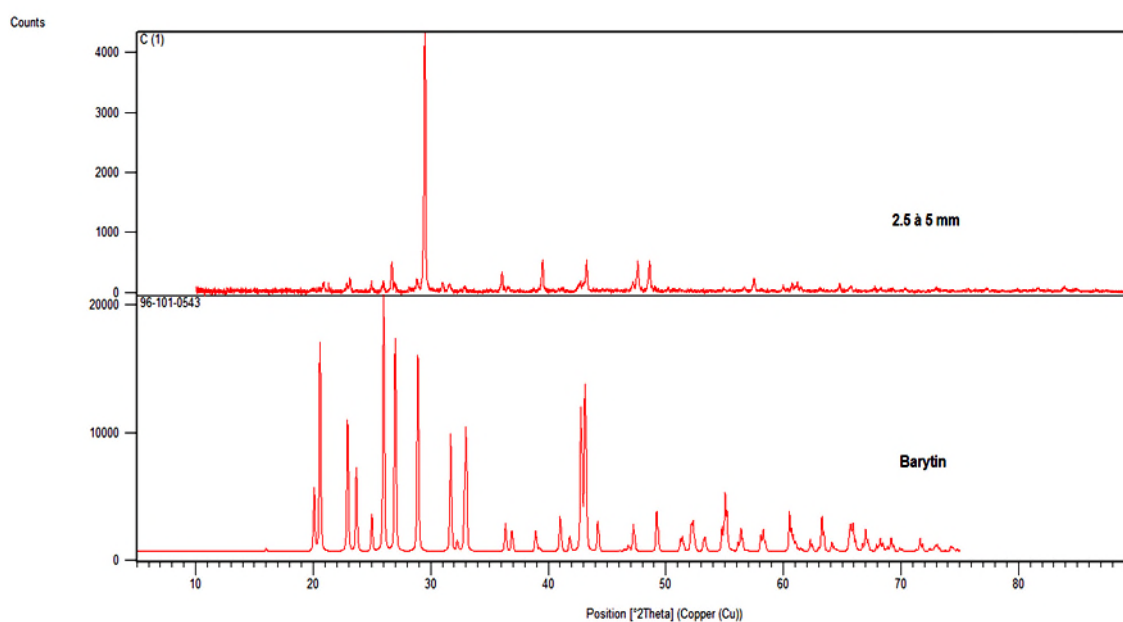


Figure IV.5 : Diffractogramme de la fraction 2.5mm à 5 mm.

c. Échantillon d [0.5 mm – 2.5 mm]

Dans cet échantillon, nous avons obtenu 62 sommets. 37 pics correspondent à la baryte, nous avons trouvé quatre pics intenses de baryte, et ils sont exactement les mêmes dans le tableau de l'échantillon b

La vaterite a également été trouvée avec trois pics intenses et ils sont exactement les mêmes que ceux indiqués dans l'échantillon b.

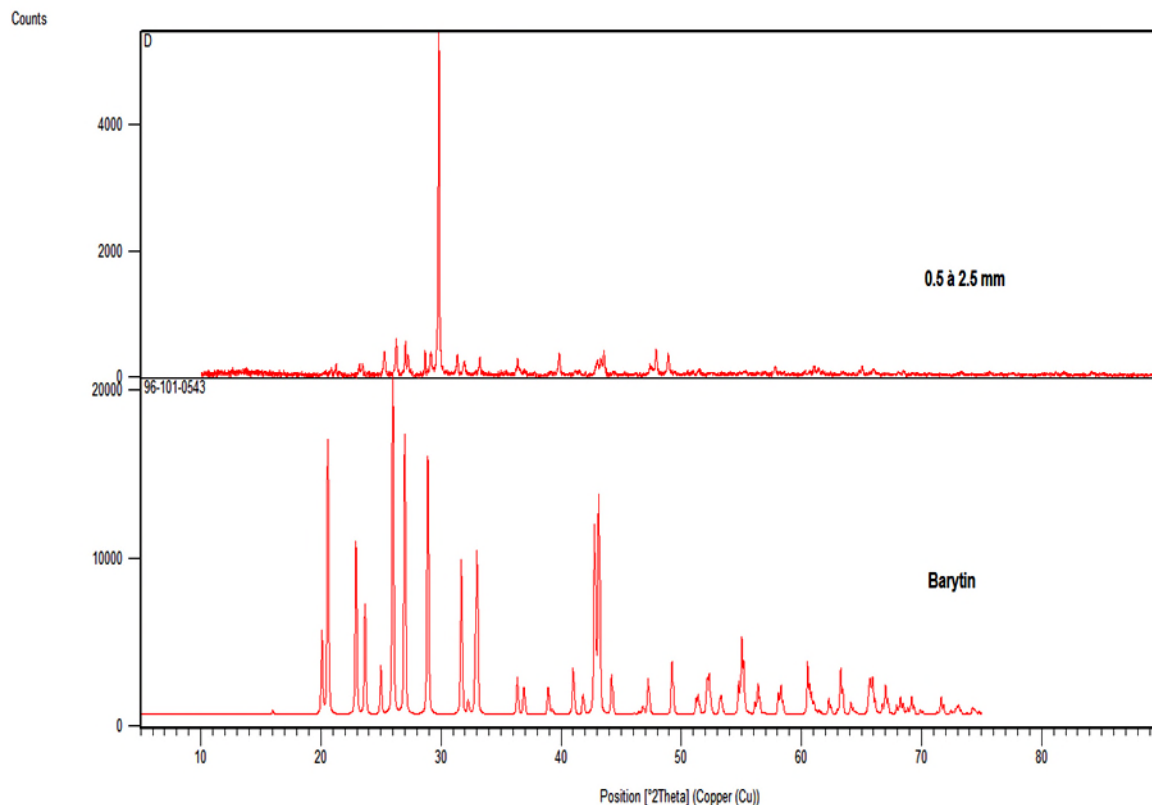


Figure IV.6 : Diffractogramme de la fraction 0.5mm à 2.5mm.

d. Échantillon e [0.125mm - 0.5 mm]

Dans cet échantillon, nous avons obtenu 62 pics, tandis que 39 pics d'entre eux correspondent à la baryte, 4 de ces pics sont intenses comme le montre dans le tableau.

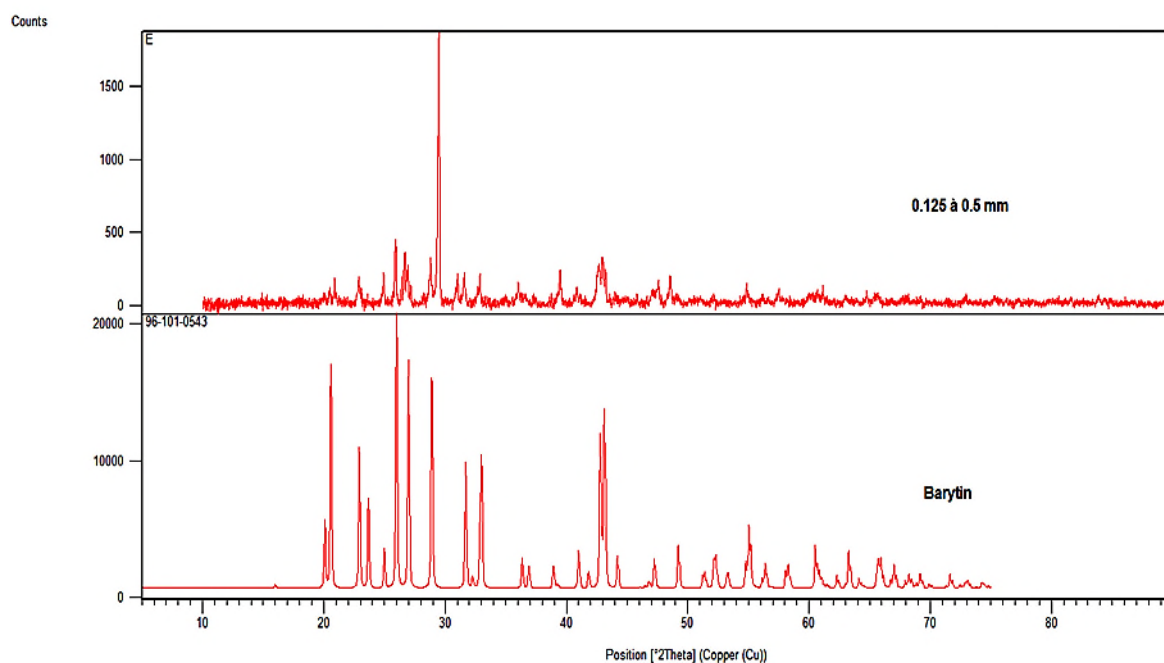
Tableau IV.6 : Pics de baryte dans l'échantillon e

Nombre de pic	d[Å]	2Theta[degré]	Intensité(%)
4	3.89910	22.788	49.20
7	3.44491	25.842	97.4
8	3.31929	26.838	65.20
9	3.10421	28.736	100

La vaterite a été trouvée dans cet échantillon avec 3 pics intenses tableau 7

Tableau IV.7 : Pics de vaterite dans l'échantillon e.

Nombre de pic	d[Å]	2Theta[degré]	Intensité(%)
23	4.16578	21.312	42.50
31	3.56019	24.991	76.7
32	3.52496	25.245	100

**Figure IV.7 : Diffractogramme de la fraction 0.125mm à 0.5 mm.**

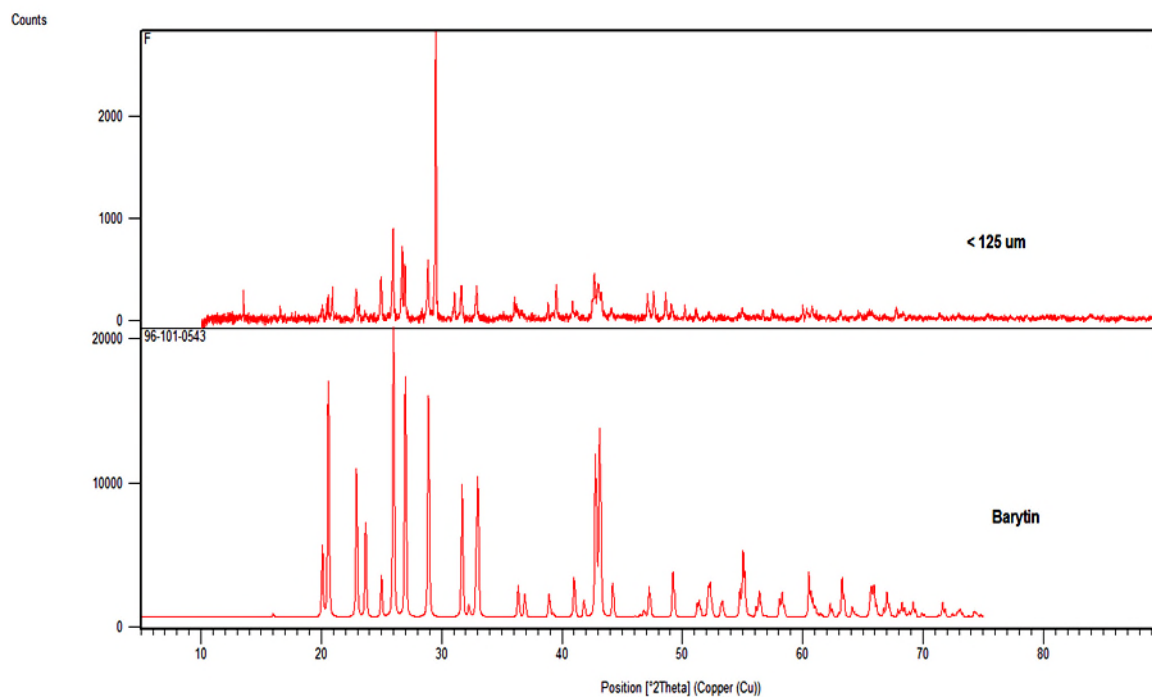
e. Echantillon f [d < 125 μm]

Dans cet échantillon nous avons obtenus 61 pics 39 correspondent à la baryte, nous avons trouvé 7 intense pics de baryte comme indiqués dans le tableau ci-dessous

Tableau IV.8 : Pics de baryte dans l'échantillon f.

Nombre de pic	d[Å]	2Theta [degré]	Intensité(%)
3	4.31954	20.545	77.7
4	3.88246	22.877	49.50
7	3.43049	25.952	100
8	3.30656	26.943	85
9	3.0913	28.858	79
10	2.82434	31.654	47.90
13	2.71438	32.967	46

Les pics intenses de vaterite sont les mêmes mentionnés dans le tableau d'échantillon e

**Figure IV.8 : Diffractogramme de la fraction inférieure à 0.125mm.**

Interprétation

Après la comparaison entre les diffractogramme de chaque échantillon nous avons trouvé sept (07) intenses pics dans la fraction f, ce qui nous permet de déclarer que la taille de libération de la baryte contenue dans les rejets est dans la fraction f, c'est à dire les particules qui ont un diamètre inférieur à 125 μm .

IV.2 Une étude de valorisation a été faite sur le rejet de baryte

Une étude de valorisation a été faite sur le rejet de baryte de la mine de Bou-caid, basée principalement sur des analyses minéralogiques par DRX, qui consistent à prélever des échantillons des différents endroits de la digue de la baryte et faire des interprétations des résultats de spectromètres des déférentes fractions granulométriques du rejet.

Le tableau ci-dessous présent les intenses pics qui est obtenu par H.TABET en 2016 dans la fraction 125 μm et inférieur à 125 μm , elle a déclaré que la taille de libération de la baryte est 125 μm et inferieur a 125 μm .

Tableau IV.9 : Intenses pics de la baryte dans la fraction 125 μm et inférieur à 125 μm . [19]

Nombre de pic	d[Å]	2Theta [degré]	Intensité(%)
3	4.31989	20.543	77.7
4	3.88209	22.890	49.5
7	3.43024	25.954	100.0
8	3.30679	26.941	85
9	3.09112	28.860	79
10	2.82429	31.655	47.9
13	2.71500	32.965	46

IV.3. Procédé de Flottation

La flottation est une méthode utilisée en minéralurgie, pour séparer des minéraux entre eux, cette séparation est basé sur les propriétés d'hydrophobie des phases minérales et à lieu dans une cellule de flottation. Différents réactifs chimiques (activant, collecteurs,...etc.) sont utilisés pour ce procédés, et la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'appliquent à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide. [20]

IV.3.1. Principe

Les particules solides que l'on désire séparer, et qui doivent être idéalement constituées d'une seule phase, sont mises en suspension dans l'eau, et le système est appelé pulpe. On traite tout d'abord cette pulpe avec certains réactifs chimiques, dont le rôle est de rendre hydrophobe la surface de certains solides, de manière à ce qu'elle ait une plus grande affinité pour l'air que pour l'eau.

Parmi les réactifs qui sont utilisés, un ou plusieurs sont appelés collecteurs, plus généralement, surfactants et ont pour fonction de modifier l'hydrophobicité à la surface des particules. A la fin de la phase de conditionnement, la surface des particules constituées de la phase solides que l'on désire séparer est seule devenue hydrophobe, ce qui permet de réaliser une flottation différentielle.

La pulpe ainsi conditionnée est alors introduite dans des cellules de flottation, c'est-à-dire des réacteurs munis d'agitateurs, de diaphragme, ou d'électrodes qui dispersent ou engendrent des bulles d'air dans la suspension. Les bulles d'air vont se fixer sur les particules dont la surface est hydrophobe. Sous l'action de la poussée d'Archimède résultante, l'ensemble particule + bulle flotte à la surface de la cellule dans une écume (mousse) dynamiquement stable, formée un agent moussant. [20]

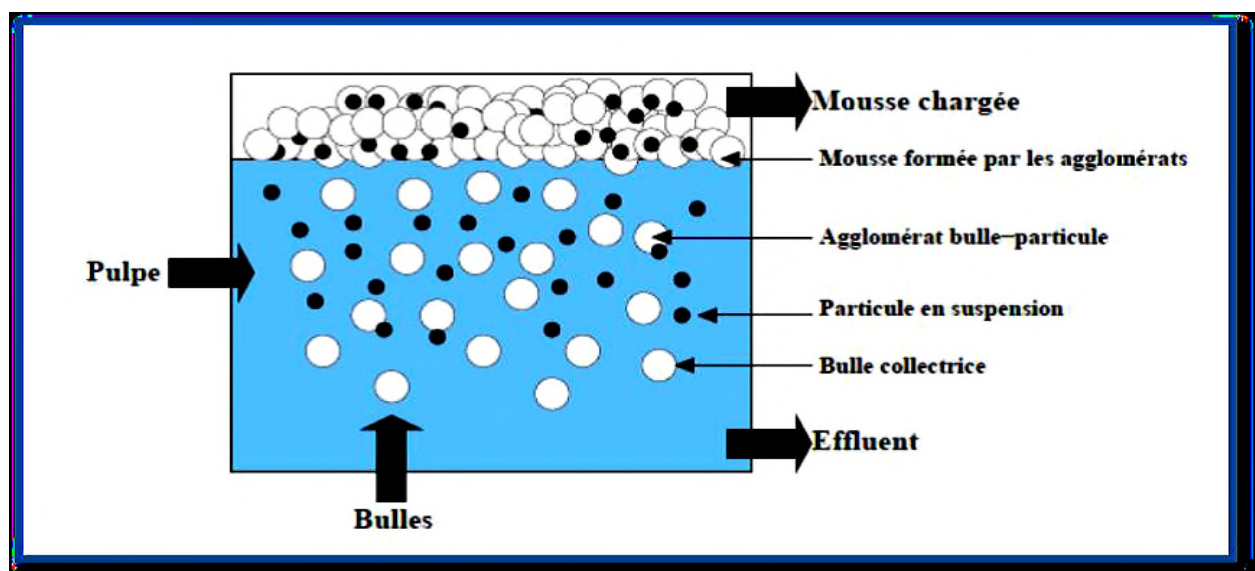


Figure IV.9 : Principe de la flottation. [20]

IV.3.2 Utilisation de la flottation

Il s'agit de la principale technique de séparation utilisée dans le traitement du minerai, pour les minerais à base de métaux. Initialement employée pour concentrer les sulfures, les minerais de cuivre, de zinc et de plomb, elle s'utilise aujourd'hui également dans le traitement de minerais non métalliques, tels que les fines de charbon, la fluorite et le phosphate, la potasse, les oxydes comme la cassitérite et l'hématite, et les oxydes minéraux comme la cérusite et la malachite. [20]

La flottation fait appel à 5 types de réactifs : le collecteur, l'activant le déprimant et les régulateurs de pH agissent à la surface des minéraux, alors que le moussant agit sur l'hydrodynamique du système pulpe-écume.

L'efficacité du procédé de flottation dépend des conditions suivantes :

- ✓ La grandeur de minerai à flotter
- ✓ La densité de la pulpe de flottation
- ✓ La gamme des réactifs de flottation utilisée
- ✓ L'intensité de l'aération et de l'agitation de la pulpe
- ✓ La température de la pulpe
- ✓ Influence du pH

IV.3.3 Etude effectuée à l'école polytechnique d'Alger

➤ Objet de l'étude

L'étude a été faite sur de rejet de baryte de la mine de Bou-caïd, basée principalement sur le procédé de flottation, qui consiste à prélever des échantillons des différents endroits de la digue de la baryte.

➤ Préparation des échantillons

Afin de procéder à des essais de flottations, il faut d'abord atteindre la meilleure maille de libération qui permet d'avoir le concentré le plus riche en matière utile.

Les classes granulométriques choisis sont les suivantes : 80 μ m, 160 μ m, 250 μ m qui seront le sujet des essais de flottations.

Les essais de flottation sont été effectués avec une quantité de 250g par essai. Un broyage suivi de tamisage a été réalisé pour chaque classe jusqu'à l'obtention des quantités suffisantes.

Mode opératoire

La cellule de flottation (type Denver D12) doit être remplie d'eau distillée, puis le minerai est ajouté de façon à obtenir une pulpe d'environ 25% en solide. Donc l'essai comprend 250g de minerai pour 1L d'eau distillée.

Les réactifs utilisés sont décrits dans le tableau ci-dessous :



Figure IV.10 : cellule de flottation.[21]

Tableau IV.10 : Réactifs utilisée dans la flottation. [21]

Réactif	Nom du réactif	Concentration	Quantité utilisée
Régulateur de milieu	Carbonate de sodium Na_2CO_3	2%	25 ml
Déprimant	Silicate de sodium Na_2SiO_3	2%	25 ml
Collecteur	Cetyl sulfate	2%	150 ml

Le procédé de flottation est lustré dans le schéma ci-après.

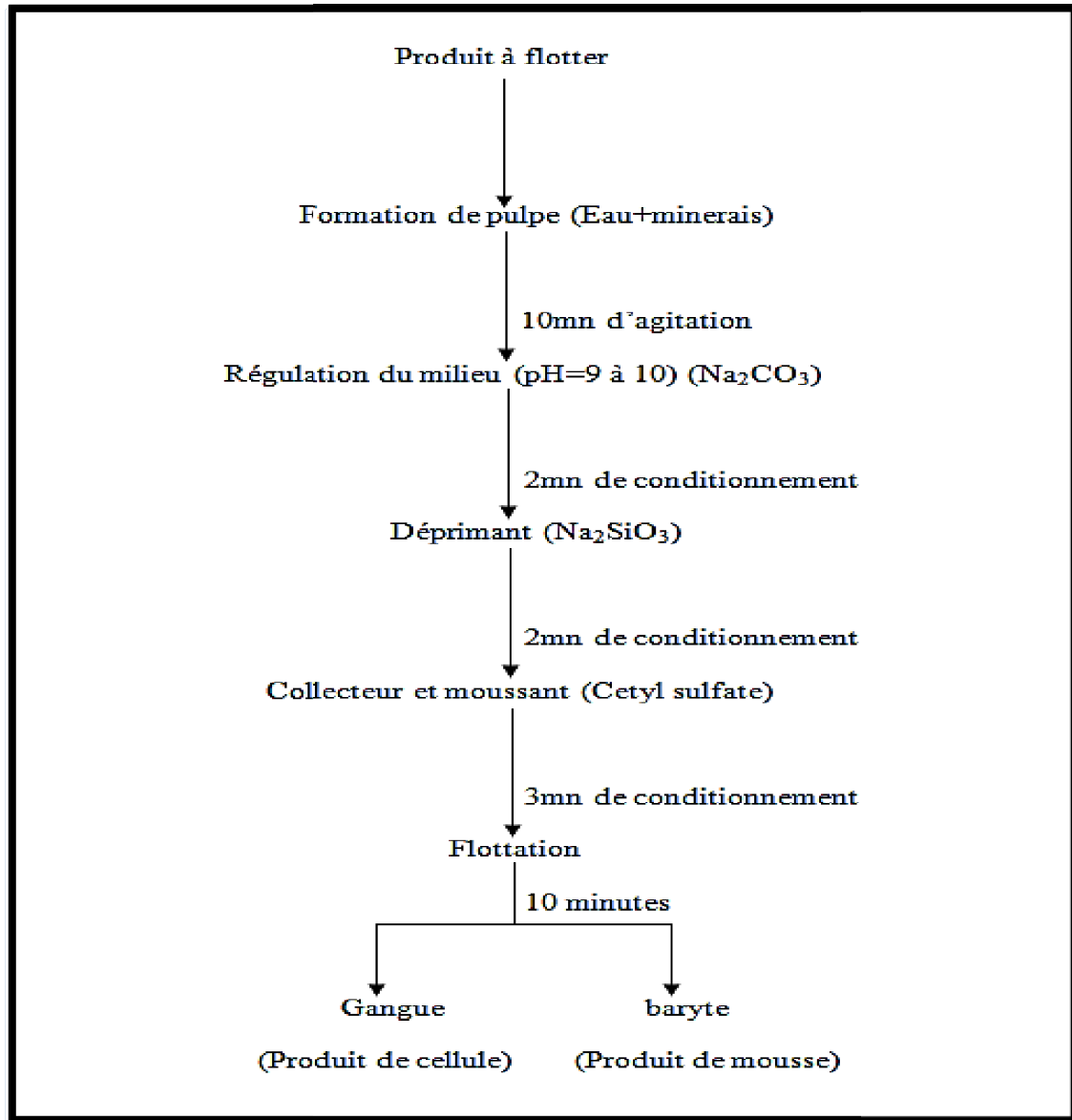


Figure IV.11 : Schéma technologique de flottation. [21]

➤ Essais de flottation

Pour calculer la densité des rejets avant et après flottation et celle de des produits de mousse, la méthode de LECHATELIER a été appliquée.

La méthode de LECHATELIER est utilisée pour calculer la densité des concentrés. Mais cette méthode ne s'applique que sur des produits séchés. Dans cette étape et, afin de transformer le concentré de son état de mousse à un état de solide sec, il est nécessaire de procéder d'abord à une opération de filtration qui est suivie par un assèchement soit dans une étuve.

Les résultats de calcul des densités sont représentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau IV.11 : Densité du rejet avant et après flottation de rejet. [21]

Granulométrie	Densité avant flottation	Densité après flottation
< 250µm	3.32	4.06
< 160µm	3.37	4.06
< 80µm	3.41	4.10

Tableau IV.12 : Paramètre de flottation. [21]

Granulométrie	PH	Temps de flottation	Récupération
< 250 µm	9	10 mn	94.8 g
< 160 µm	10	7 mn	100 g
< 80 µm	9	5 mn	98.5 g

En termes de densité de rejets, on remarque que les trois classes ont presque la même densité. Après avoir effectué les essais de flottation, on a eu une importante augmentation de la valeur de la densité jusqu'à atteindre 4,10, valeur qui reste sujet d'autres essais de flottation afin d'arriver à la valeur commerciale demandé sur le marché.

Reste à penser à changer les paramètres de flottation pour augmenter le rendement poids dans le but de rentabiliser cette opération.

Conclusion

Suite aux résultats de l'analyse minéralurgique par la diffraction du rayon X, on conclut que le rejet de baryte de l'unité de Bou-caïd contient une quantité importante de baryte, surtout dans les fractions fines, ça veut dire que la méthode gravimétrique par jigage n'est pas efficace.

La fraction qui contient les plus intenses pics c'est la fraction des particules qui ont un diamètre inférieur à 125 µm, donc on peut dire que la maille de libération de baryte dans le rejet est 125 µm.

D'après les essais qui ont été réalisé au niveau de l'école national polytechnique, la flottation des stériles donne des bons résultats avec une valeur de densité de 4.10.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans notre travail nous avons essayé à caractériser et valoriser les rejets de l'unité de bou-caid en utilisant les moyenne disponible, à partir de la préparation mécanique passant par le quartage et le tamisage jusqu'à notre analyse DRX, Les résultats de cette étude nous a conduit de conclure les points suivants :

- Le rejet de baryte contient un bon potentiel dans leurs déférentes classes granulaires, mais les potentiels les plus élevés ont été enregistrés dans les tailles fines et selon nos résultats, la baryte est libérée dans les fractions inférieures à 125 μ m ;
- Il est clair que la granulométrie est un paramètre très important à contrôler, c'est à dire réduire à moins de 125mm, avec une procédé de flottation qui servira a diminué les pertes en baryte.
- D'après les travaux antérieurs effectués au niveau de l'école nationale polytechnique d'Alger, la flottation a donné de très bons résultats.
- La séparation gravimétrique ne permet pas d'extraire la baryte d'une façon complète.

Références

- [1] **BELMEDJAHED Hichem**, étude minéralogique du gisement de baryte de Boucaïd (W. Tissemsilt-Algérie), mémoire de master en mine, université de Bejaia, 2014.
- [2] **MARTEAU P**, avec la collaboration de **COLIN S** et **VINCENS B** – Mémento barytine. Rapport BRGM /RP-63974-FR, 2014.
- [3] **BALADAH Fares**, Revalorisation des rejets barytiques issues des jigs et impact environnemental cas de la mine d'Ain mimoune-Khenchla, mémoire de magister en mines, université Badji Mokhtar Annaba, 2012
- [4] **MARTEAU Pascal**, coup d'œil sur le marché mondial de la barytine. Importance de l'usage dans l'activité de forages d'hydrocarbures. Eco note-ECOMINE, 2009.
- [5] **BATOUCHE Toufik, ABBASSI Ishak**, Calcul qualitatif quantitatif d'un nouveau schéma de traitement du minerai barytique d'Ain Mimoun KHENCHELA, mémoire de master en génie minier, Tébessa 2016.
- [6] **SAROU Boudjemaa**, rapport géologique et plan de calcul des réserves géologiques, mine de BOUCAID, W-Tessemsilt, 2016.
- [7] **Z. CHAOUCHE**, Contribution à l'analyse d'aérage du quartier Lakhdar de la mine souterraine de Bou-Caïd (Wilaya de Tissemsilt), mémoire d'ingénieur d'état en génie minier, école nationale polytechnique 2013.
- [8] Plan d'exploitation, Entreprise Nationale des produits miniers Non - Ferreux et des substances utiles (ENOF), mine de Bou-caïd (W Tissemsilt) 2017.
- [9] **Lamine MEFTEH**, Expert minier agréé-Consultant, mémoire sur l'impact des travaux sur l'environnement, unité de boucaïd, 2010.
- [10] **RANDRIANGANAHARY, SERAPHIN**, contribution à l'étude et à la réhabilitation d'un concasseur à mâchoire, université d'Antananarivo, école supérieur polytechnique, mémoire de fin d'étude d'ingénieur, 2010.
- [11] **MOUSSACEB Karim**, 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.
- [12] **COMMISSION EUROPÉENNE**, Document de référence sur les meilleures techniques disponibles. Gestion des résidus et stériles des activités minières, 2009.

- [13] **Marie LOUSTAU CAZALET**, Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traité aux liants hydrauliques– Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques. Thèse doctorat 2012.
- [14] **Jean Marie KANDA NTUMBA**. Etude de la flottabilité de la malachite à l'aide de l'amyloxanthate de potassium et des acides gras. Cas d'étude : Flottation du minerai oxydé de Kamfundwa au Katanga en RD Congo. Thèse doctorat 2012.
- [15] **Agathe DUVERGER**, Valorisation par flottation des minerais a faible teneur en uranium : étude de la texture et des effets synergiques des réactifs de flottation. Thèse doctorat 2013.
- [16] **Dominique WETSHONDO OSOMBA**, Caractérisation et valorisation des matériaux argileux de la province de Kinshasa (RD Congo), thèse doctorat, 2012.
- [17] **SAMIA KHERFI**, Caractérisation physico-chimique des géomatériaux, mémoire de Magister en Physique. Université Mentouri-Constantine, 2012.
- [18] **BAGHDADI Mohamed Yacine, MANSOURI Kamel**, Etude d'enrichissement du minerai de la baryte de gisement de Draissa- Bechar, mémoire de master, 2015.
- [19] **TABET Hanane**, Characterization and valorization of Bou-caïd's barite rejects, Master dissertation, university of Bejaia, 2016.
- [20] **GUETTAF Hamza**, Etude de l'adsorption de xanthate de type KPX sur les sulfures (PbS, ZnS et FeS₂) mémoire de master en génie de procédés, Biskra 2015.
- [21] **BOURBALA Brahim, MOUSSAOUI El Abas**. Essais de valorisation de la Barytine du Gisement de Bou-Caïd par Flottation (W Tissemsilt). Mémoire d'ingénieur d'état en génie minier, école nationale polytechnique 2013.

Résumé

Le traitement de minerai de baryte de l'unité de Bou-caïd (W. Tissemsilt), a un problème lié à la production des quantités énormes des rejets miniers issu de séparation gravimétrique.

A cet effet une caractérisation minéralogique est préconisée afin d'obtenir une vision générale sur la composition minéralogique de ces rejets. Pour cette raison, des échantillons ont été prélevés et soumis à des analyses chimiques (DRX) et granulométriques.

Les résultats de cette étude prouvent que la baryte contenue dans ces rejets est libérée dans les fractions qui sont inférieure à 125 μm , donc pour appliquer la méthode de flottation, il faut un broyage jusqu'à 125 μm .

Mots clés : Rejets de baryte, caractérisation, Analyse granulométrique, DRX. Flottation.

Abstract

The treatment of barite ore of the Bou-caïd unit (W. Tissemsilt) has a problem related to the production of enormous quantities of mining waste resulting from gravimetric separation.

For this purpose a mineralogical characterization is recommended in order to obtain a general view on the mineralogical composition of these rejects. For this reason, samples were taken and subjected to chemical analysis (DRX) and granulometric analysis.

The results of this study prove that the barite contained in these rejects is released in the fractions which are less than 125 μm , so to apply the flotation method, grinding is required up to 125 μm .

Key words: Barite rejects, characterization, Particle size analysis, XRD. Flotation.