



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Option : minéralurgie

Thème

Etude d'influences des impuretés sur la qualité de la baryte, cas de la mine d'Ain Mimoun-Khenchela.

Par :

ZOUAOUI Hamza

ROUMMANI Abdel Hamid

Devant le jury composé de :

Mr. KRIM .M	MA/A	Université Larbi Tébessi	Président
Mr. LARABA .M	MA/A	Université Larbi Tébessi	Encadreur
Mr. AOUATI .S	MA/A	Université Larbi Tébessi	Examineur

Promotion 2016/2017

Au nom du dieu le clément le miséricordieux

Remerciement

Avant tout nous remercions dieu qui nous a donné la patience de terminer ce travail.

Nous tenons grand merci à Mr LARABA Mohamed pour les efforts faits durant l'année universitaire, et pour leurs conseils précieux,

Nous remercions tous les enseignants de département de Génie Minier, Et notre respecte au précédent de jurys et les membres du jury qui nous feront l'honneur d'apprécier notre travail

Nous adressons notre vif remerciement à tous les personnels de la mine D'Ain Mimoun-KHENCHELA-.

Enfin nous tenons à remercier tous ceux ou celles qui ont eu l'honneur, de près ou de loin, à nous aider à présenter ce travail.

Abdelhamid et Hamza



Dédicace

Je dédie ce modeste travail en première lieu à mes chers parents qui ont sacrifié toute leur vie pour faire de moi quoi je suis dans cette moment

A Mes Frères.

Aux personnes qui ont été par leur importance plus des amis Hamid.

Abdeslem. Morad. Ismail. Azza. Saber. Issam

A tous mes ami(e)s

A toute ma Famille.

A tous les membres de département et la promotion de génie des mines 2016-2017

A tous les personnes lesquels je connais de près ou de loin

ZOUAOUI HAMZA



Dédicace

Je dédie ce modeste travail en première lieu à mes chers parents qui ont sacrifié toute leur vie pour faire de moi quoi je suis dans cette moment

A Mes Frères.

Aux personnes qui ont été par leur importance plus

A tous mes ami(e)s

A toute ma Famille.

A tous les membres de département et la promotion de génie des mines 2016-2017

A tous les personnes lesquels je connais de près ou de loin

ROUMMANI Abdel Hamid



RÉSUMÉ

Résumé

• ملخص :

الباريت هو المعدن الذي وجدت استخدام واسع في الصناعة منذ منتصف القرن الماضي. اليوم يتم استخدامه في المقام الأول في صناعة النفط كمادة مضافة للذات الكثافة السكانية العالية طين الحفر الكيميائي في السيارات والمعادن ... الخ يتميز البارييت من كثافة عالية تتراوح 4،2 و 4،6 غ/سم³. صلابة منخفضة، 2،5-3،5 اعتمادا على مقياس موس. و نقطة انصهار عالية 1580 درجة مئوية. الحياض الكيميائية، البياض.....الخ.

وقد وضعت البحوث الببليوغرافية والتجريبية فصل الوسائط المكثفة مع تقدم يمكن الاعتماد عليها لاستخراج الحد الأقصى من منجم البارييت عين ميمون. ولاية خنشلة لأن بعض العمليات ليست مناسبة والآخرى لم تكن فعالة. بهدف تثمين المنتج المحلي حددنا خصائص هذه المادة الأولية كما حددنا الشوائب (الكوارتز). التي تؤثر على جودة البارييت. ثم قمنا بتجارب فصل في أوساط مكثفة و ذلك باستخدام أنواع مختلفة من المحاليل.

نتائج هذه الدراسات سمحت لنا بتثمين المادة الأولية المستخرجة مع التحصل على مركز يتجاوب مع متطلبات المستهلك و ذلك بكثافة تصل إلى 4.37 غ/سم³

Résumé

- **Résumé :**

La barytine est un minéral qui a trouvé une large utilisation dans l'industrie depuis le milieu du siècle dernier. Aujourd'hui elle est utilisée principalement par les industries pétrolières comme additif à forte densité pour les boues de forage, dans l'industrie d'automobile chimique, métallurgique...etc.

La barytine se caractérise par une densité élevée qui varie de 4.2 à 4.6 ; Une dureté faible, de 2,5 à 3.5 selon l'échelle de Mohs. Un point de fusion élevé (1580°C). Une neutralité chimique, une blancheur et une absence d'abrasif.

Les recherches bibliographiques et expérimentales ont permis de définir la séparation par milieu dense comme procédé fiable pour l'extraction maximale de la barytine de la mine d'Ain Mimoun. Wilaya de Khenchela, car certains procédés ne sont pas convenables et d'autres n'étaient pas efficaces.

L'objectif de valoriser le produit local, nous avons identifié les caractéristiques de ce sujet comme les matières premières impures (Quartz), qui affectent la qualité de la barytine. Ensuite, nous avons l'expérience de la séparation entre l'intense et pétrir en utilisant différents types de solutions.

Les résultats de ces études de sujet nous ont permis de peser les matières premières extraites avec le centre obtenu répond aux exigences du consommateur et pétrir une densité allant jusqu'à 4,37 g / cm³.

Résumé

- **Abstract :**

Barite is a mineral that has been widely used in the industry since the middle of the last century. Today it is used mainly by the oil industries as a high density additive for drilling muds, in the chemical, metallurgical and automotive industry.

Barite is characterized by a high density which varies from 4.2 to 4.6; A low hardness, from 2.5 to 3.5 according to the Mohs scale. A high melting point (1580 ° C). Chemical neutrality, whiteness and no abrasive.

Bibliographic and experimental research have made it possible to define separation by dense medium as a reliable process for the maximum extraction of barite from the Ain Mimoun mine. Wilaya of Khenchela, because certain proceeds are not suitable and others were not effective.

The objective of valorizing the local product, we have identified the characteristics of this subject as impurities raw materials (Quartz), which affect the quality of barite. Then we have experience of separating the intense and kneading using different types of solutions.

The results of these subject studies allowed us to weigh the raw materials extracted with the center obtained meets the requirements of the consumer and knead a density up to 4.37 g/cm³

SOMMAIRE

sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I : Recherche Bibliographique	
Introduction	03
I. La barytine	04
I.1. Définition.....	04
I.2. Aspect	05
I.3. Formation de la barytine	05
I.4. Caractéristiques physico-chimiques.....	06
II. Principaux domaines d'utilisation de la baryte	08
II.1. Au niveau national.....	08
II.2. Au niveau mondial.....	08
II.2.A. La barytine dans l'industrie pétrolière.....	08
II.2.B. La barytine comme charge minérale.....	09
II.2.C. La barytine dans l'industrie chimique	10
III. Normes et exigence en matière de qualité de Baryte	12
IV. La production de la baryte	13
IV.1. Au niveau national.....	13
IV.2. Au niveau mondial	13
V. La consommation de la barytine	16
V.1. Au niveau national.....	16
V.2. Au niveau mondial	16
VI. Les cours de la baryte	16
VII. Les réserves de la barytine	17

sommaire

VII.1. Les réserves de la barytine au niveau national	17
VII.2. Les réserves de la barytine au niveau mondial	17
VIII. Méthodes de traitement de minerai barytique.....	18
VIII.1. Au niveau national à L'usine de Bou-Caïd (Tissemsilt)	18
VIII.2. Au niveau mondial	20
IX. Les problèmes qui gênent la production de la baryte	22
Chapitre II : Géologie et Exploitation :	
Introduction	24
I. Situation géographique	25
II. Géologie régionale	25
II.1 Stratigraphie	25
II.1.1. Crétacé	26
II.1.2. Néogène	26
II.1.3. Quaternaire.....	27
II.2. Tectonique	27
II.3. Morphologie.....	28
II.4. Hydrogéologie	28
III. La minéralisation.....	28
III.1. Etudes minéralogiques	28
III.2. Mode génétique de la minéralisation barytique.....	29
III.3. Réserves Générales	29
IV. Techniques d'exploitations utilisées à Ain Mimoun.....	30
IV.1. Exploitation du gisement	30
IV.1.1. Conditions générales du gisement	30
IV.1.2. Mode d'exploitation.....	31
IV.1.3. Mode d'ouverture	31
IV.1.3.1. Description des ouvertures existantes	31
IV.1.3.2. Choix du mode d'ouverture	31
IV.1.3.3. Pression des terrains	31

sommaire

IV.2. La Méthode d'exploitation appliquée (par sous niveaux abattus).....	32
IV.2.1. Principe de la méthode.....	32
IV.2.2. Les principaux paramètres de la méthode.....	33
IV.2.3. Dépilage	34
IV.2.4. Les avantages	34
IV.2.5. Les inconvénients	34
IV.3. Travaux de forage et de tir.....	34
IV.4. Chargement et transport	35
V. Description des filons du champ minéralisé.....	36
V.1. Caractéristiques du filon 4	36
V.1.1. Filon 4 niveau 1770m	36
V.1.2. Filon 4 niveau 1730m	37
V.1.3. Filon 4 niveau 1690m	37
VI. Sécurité des travaux	38
Conclusion.....	39

Chapitre II : Méthodes et Matériels :

Introduction	41
I. Etude du schéma technologique existant	42
I.1. Description du processus	43
I.1.A. Concassage	43
I.1.B. Criblage de contrôle	44
I.1.C. Concassage secondaire	45
I.2.Séparation par jigage et classification	46
I.3.Station de séchage et broyage	47
I.3.A. Séchage	47
I.3.B. Broyage	48
I.3.C. Ensachage et conditionnement	49
II. Les capacités et l'état des installations	49
III. Technologie de traitement du minerai	50
Conclusion	52

sommaire

Chapitre IV : Résultats et Discussions :

Introduction	54
I. Caractérisation du minerai barytique de Ain Mimoun	55
I.1. Aspect physique	55
I.2. Propriétés physiques	55
II. Méthode d'échantillonnage	55
II.1. Quartage manuel.....	55
II.2. Diviseur rotatif.....	56
III. La composition minéralogique	56
IV. L'analyse granulométrique	57
IV.1. Description de l'essai	57
IV.2. Le résultat de l'analyse granulométrique.....	57
V. L'analyse de densité	57
V.1. Mesure de la densité de chaque tranche.....	59
V.2. Description de l'essai.....	59
V.3. Expression des résultats.....	60
VI. La composition chimique	61
IV.A. L'analyse granulo-chimique.....	62
VII. Séparation gravimétrique	63
VII.1. Séparation par accélération différentielle.....	64
VII.2. Séparation par nappe pelliculaire fluente	64
VII.3. Séparation par milieux denses.....	64
VIII. Séparation par milieux denses (heavy media séparation)	65
VIII.1. Avantages du procédé.....	65
VIII.2. Type des liqueurs denses destinées à la séparation densimétrique.....	67
IX. Etapes de la séparation densimétrique dans le laboratoire	68
IX.1. Préparation du minerai à séparer.....	68
IX.2. Préparation de milieu dense (suspension)	68
IX.3. Récupération du milieu dense	68
IX.4. Circuit de récupération de l'eau	68
X. Résultats des essais de la séparation densimétrique	70

sommaire

X.01. Echantillon composite.....	70
X.02. Analyse des résultats.....	73
Conclusion.....	74
Conclusion général.....	77

INTRODUCTION GÉNÉRAL

Introduction Général :

La barytine est un minéral qui a trouvé une large utilisation dans l'industrie depuis le milieu du siècle dernier. Aujourd'hui elle est utilisée principalement par les industries : pétrolières comme additif à forte densité pour les boues de forage ; chimique elle sert particulièrement dans la fabrication des dérivés de baryum, tels les carbonates, chlorures, oxydes, hydroxydes, peroxydes, nitrates et sulfates de baryum ; métallurgique, l'oxyde de baryum permet d'améliorer le rendement du four électrique. Le chlorure de baryum est utilisé comme durcisseur d'acier et de fondant de soudure.

Alors que dans l'industrie automobile, la barytine est employée comme charge inerte dans les matériaux de friction, tels que les plaquettes de freins et les disques d'embrayage. Dans celle de la construction, la barytine entre dans la fabrication des bétons denses utilisés dans la construction de ports ou de terminaux pétroliers. Ce type de béton est également employé comme contrepoids de ponts, stabilisateur de conduits sous-marins, ballast de bateaux et barrière de protection contre d'éventuelles radiations. Il sert aussi dans la construction de laboratoires, de centrales nucléaires et de bases militaires atomique.

La barytine se caractérise par : une densité élevée qui varie de 4,2 à 4,6 ; une dureté faible, de 2,5 à 3,5 selon l'échelle de Mohs ; un point de fusion élevé (1 580 °C), une neutralité chimique, une blancheur et l'absence d'abrasif. Grâce à ses propriétés particulières, Elle est utilisée comme charge minérale dans une grande variété de produits dont les peintures, le papier, le verre, le caoutchouc, les plastiques, les matériaux de friction ainsi que les barrières de protection contre le rayonnement.

Le but essentiel de ce travail est l'étudier l'influence des impuretés sur la qualité de minerai barytique de Ain Mimoun pour améliorer leur qualité. Et proposé afin de trouver la solution aux problèmes posés au niveau de la mine par la séparation par milieu dense pour obtenir un concentré répondant aux exigences industriels, dû à faible extraction de la substance utile et certain problème demeurent sans solutions à savoir :

- la présence du quartz altère la densité de séparation et par conséquence diminue le rendement de la chaîne de traitement d'une façon très remarquable, Ainsi qu'il est provoqué une dégradation des machines à cause de son abrasivité élevée.
- Pertes en minéral utile dans les stériles avec une teneur en BaSO₄ est 20-30%, à cause de jig.
- Diminution de la capacité de la production projetée.

CHAPITRE I :

RECHERCHE

BIBLIOGRAPHIQUE.

Recherche bibliographique

Introduction :

La barytine ou baryte, est un minéral tendre mais lourd, légèrement teinté de blanc, gris, jaune ou brunâtre. Elle présente un éclat vitreux à nacré. Sa poussière est blanche. [01]

La baryte est une espèce minérale composée de sulfate de baryum de formule (BaSO_4) ; avec des traces de Sr, Ca et Pb. Ce minéral, d'origine hydrothermale, présente de nombreuses variétés.

- Une densité élevée qui varie de 4.3 à 4.6
- Une dureté faible, de 2.5 à 3.5 selon l'échelle de Mohs
- Un point de fusion élevé (1580°C)

Le baryum qu'il contient sont les causes principales de ses utilisations industrielles et plusieurs millions de tonnes de barytine sont extraits et produits chaque année. Grande stabilité chimique, blancheur et faible abrasivité. Son usage principal est comme additif de forte densité pour les boues de forage dans l'industrie pétrolière (85 % de la consommation mondiale), mais on l'emploie aussi dans l'industrie chimique pour la production de dérivés du baryum (carbonate de baryum destiné aux tubes cathodiques de télévision ; chlorure, oxyde) et comme charge minérale (papier, peintures, plastiques, etc.), dont elle est l'unique source commerciale.

La production mondiale 4,5 Mt est largement dominée par la Chine (1,72 Mt), les USA (0,434 Mt) et le Maroc (0,32 Mt). [02]

De nombreux affleurements de baryte existent en beaucoup d'endroits d'Algérie, particulièrement dans les zones atlasiques, dont plusieurs sont développés et peu en production, donnant environ 40.000 t/an, essentiellement pour le forage.

Recherche bibliographique

I. La barytine :

I.1. Définition : [02]

La barytine a été depuis fort longtemps remarquée du fait de sa densité élevée. Son nom dérive du mot Grec "barus" qui signifie lourd. Les allemands utilisent le mot "Schwerpat "(spath pesant). En anglais on trouve les termes de "heavy spar", "barite " ou "baryte."

Le terme de barytine est une dénomination d'usage courant dans le commerce et l'industrie pour désigner une espèce minérale bien définie : le sulfate de baryum naturel (BaSO_4). La dénomination de baryte est réservée à l'oxyde de baryum (BaO).

Au point de vue minéralogique, la barytine correspond à la composition :

BaO	65,7%
So ₃	34.3%

Une petite quantité de baryum est toujours remplacées par du strontium ou du calcium. Les barytines anglaises, par exemple, peuvent contenir So_4Sr (0,2 à 1,6%) et So_4Ca (0,7%) en solution solide.



Figure I.01 : Mine de Mibladen, Maroc (33×32 cm) [03]

Recherche bibliographique

I.2. Aspect :

Les cristaux de barytine peuvent être développés et présenter de belles facettes de formes tabulaires très aplaties, réunies sous le faciès de "barytine crêtée". Mais le plus souvent la barytine se présente en concrétion globulaire ou fibreuse, ou en masses lamellaires plus ou moins translucides, généralement blanches, parfois grisâtres ou jaunâtres. Les barytines fortement colorées sont plus rares : les couleurs jaunes, rouge, marron etc. sont dues à des inclusions de matières étrangères : principalement des oxydes de fer, des sulfures et des matières organiques. [02]

I.3. Formation de la barytine :

La barytine est un minéral assez ubiquiste, présent dans des formations géologiques très vastes, aussi bien dans les socles que dans les bassins sédimentaires :

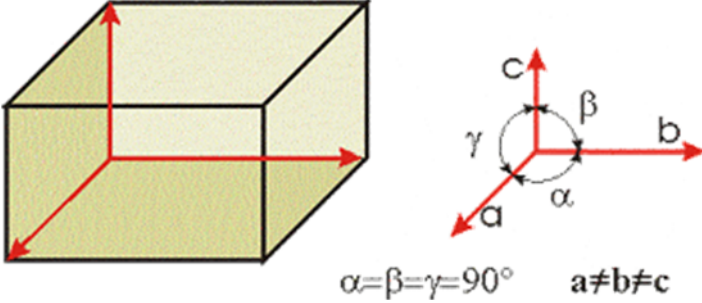


- Dans les roches métamorphiques, magmatiques et volcaniques (granites, basaltes), cas le plus fréquent, les occurrences et les gisements sont de types filonien et parfois stratiformes .la barytine étant généralement associée à d'autres minéraux tels la fluorine, la Célestine (SrSO₄), le quartz, les sulfures de Plomb-Zinc...
- Dans les roches sédimentaires, comme les grès, calcaires, dolomies et marnes, la barytine se présente en lentilles stratiformes, mais aussi en petits filons dans des fissures de ces roches, les occurrences et les gisements étant moins fréquents que dans les roches de socles.

Il existe également des gisements résiduels, issus de la dégradation de gisements Primaires, ou des gisements piégés dans des structures géologiques favorables après remaniement et transport. [02]

Recherche bibliographique

I.4. Caractéristiques physico-chimiques :

Tableau.I.01 : Caractéristiques physico-chimiques de la barytine. [04]

Caractéristiques physico-chimiques	
Composition chimique	BaSO ₄
Sulfate de Baryum	
Classe minéralogique	Sulfates
Système cristallin	Orthorhombique
 <p>$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a \neq b \neq c$</p>	
Forme des cristaux	
	

Recherche bibliographique

Pyramide	Sphénoèdre
Densité	4,48 La baryte est remarquable par son poids exceptionnel et la perfection de ses cristaux.
Clivage	Parfait dans une direction, faible dans les autres. La barytine grossière constitue divers agrégats, en général clivables.
Dureté	3 à 3,5 sur l'échelle de Mohs
Clivage	Parfait dans une direction, faible dans les autres. La barytine grossière constitue divers agrégats, en général clivables.
Fracture	Conchoïdale (comme celle du verre).
Couleur	Elle est de couleur claire. Pure, elle est 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.
Trace	Blanche.
Eclat	Vitreux.
Fluorescence	La baryte n'est pas ou très peu fluorescente, par contre, chauffée, elle devient luminescente

Recherche bibliographique

II. Principaux domaines d'utilisation de la baryte :

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

II.1. Au niveau national :

La barytine algérienne, est utilisée seulement dans le domaine pétrolier ou La barytine est l'alourdissement le plus utilisé dans les boues de forages, afin d'augmenter la densité. [04]

II.2. Au niveau mondial :

La barytine est surtout 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. [02]

II.2. A. La barytine dans l'industrie pétrolière :

Ce secteur correspond à plus de 78 % de la consommation mondiale.

Les boues de forage sont des milieux fluides complexes constitués d'eau ou d'huile, de produits chimiques et des minéraux en suspension. la boue injectée dans les forages, doit être capable de faire remonter correctement à la surface les débris de roche produits au fond du trou.

Elle assure le refroidissement et la lubrification des outils dans le forage. Elle assure aussi l'imperméabilisation et la stabilité des parois du trou. La densité de la boue permet d'équilibrer le poids important des tiges de sonde et les éventuelles venues de gaz sous pression, pour prévenir les risques d'explosion. Par addition de barytine on peut porter la densité des boues de bentonite qui est d'environ 1.05 à la valeur voulue qui peut atteindre 2.5.

La barytine représente jusqu'à 40 % des constituants des boues de forage pétrolier, la consommation de cette matière dans un forage pétrolier varie beaucoup suivant le type de terrain traversé, la pression des gaz rencontrés et la profondeur du forage.

La barytine vendue pour boue de forage doit avoir une densité au moins égale à 4.2 et contenir une très faibles proportion (250 ppm maximum) de sels solubles, tels que le calcium soluble. de 90 à 95 % du produit doit avoir une granulométrie inférieure à 45 μ . la couleur grise ou marron et la présence d'oxyde de fer ne sont pas rédhibitoires. L'humidité du produit livré ne doit pas dépasser 3% ou 5% maximum. Les spécifications précises de la barytine pour boue de forage sont fournies par "American Petroleum Institute" (API), "Oil Companies Material Association" (OCMA) et l'Association de Recherche sur les Techniques d'Exploitation de Pétrole (ARTEP). [02]

Recherche bibliographique

II.2. B. La barytine comme charge minérale :

Seulement 5 à 6 % de la consommation mondiale de barytine correspondent à l'emploi comme charge dans une grande variété de produits.

Avec ces dérivés synthétiques que sont le lithopone et le blanc fixe, la barytine a l'avantage d'être blanche, inerte, dense et non abrasive. Elle est résistante aux intempéries et a la faculté d'absorber les radiations.

Ces différentes qualités sont mises à profit dans la fabrication de peintures, papier, caoutchouc, plastiques, barrières de protection contre les rayonnements et matériaux de friction.

- En peinture automobile, la barytine entre comme charge dans les couches d'apprêt pour contribuer à l'aspect lustré de la dernière couche.
- La barytine entre dans la composition des plastiques et caoutchouc des dessous de moquettes et de certaines carpettes et dans les éléments plats insonorisant pour l'industrie automobile.
- Dans l'industrie papetière, la barytine est utilisée comme support des couches sensibles pour impression photographique.
- Elle entre dans la composition des encres d'imprimeries.
- En verrerie, l'emploi de la barytine permet d'économiser l'énergie, elle décolore les pates de verre, les rends plus aptes aux manipulations et augmente la brillance. Les fabricants verreries demandent généralement une barytine avec $\text{BaSO}_4 > 90\%$; $\text{SiO}_2 < 2.5\%$ et $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.15\%$. La granulométrie doit être comprise entre 0.60 et 0.106 mm (-0.60 +0.106) mm

En général la barytine pour charge doit être blanche ou blanchis sable par traitement à l'acide sulfurique et non abrasif. Dans les charges pour peintures la barytine peut être substituée par des carbonates et sulfates de strontium et des carbonates de calcium, généralement moins chers.

- La barytine est employée dans les bétons denses qui occupent 60 % du volume d'un béton standard. Les applications concernent une grande variété d'ouvrages : construction de ports ou de terminaux pétroliers, contre-poids de ponts, stabilisateurs de conduites sous-marines, ballaste de bateaux.
- Les bétons denses à barytine forment aussi des barrières de protection contre d'éventuelles radiations ; ils sont mis en œuvre pour la construction de laboratoire, de centres nucléaires et de bases militaires atomiques.

Recherche bibliographique

- La barytine est employée comme charge inerte dans les matériaux de friction tels que plaquettes de freins et disques d'embrayage. Selon le produit, la quantité de barytine varie entre 10 et 40 %. La barytine doit avoir une densité au moins égale à 4.3 et 99% du produit doit avoir une granulométrie inférieure à 40 μ . [02]

II.2. C. La barytine dans l'industrie chimique :

L'industrie chimique absorbe près de 16 % de la consommation mondiale. La barytine est la principale matière pour la fabrication des dérivés du baryum : carbonates, chlorures, oxydes, hydroxydes, nitrates, peroxydes et sulfates de baryum.

Le carbonate de baryum est le plus important car il est à l'origine de la production de nombreux autres dérivés. Il est utilisé dans la fabrication de produits en terre cuite, tuiles et brique, pour contrôler les effets dus à la présence de gypse ou de sulfate de magnésium ; pour diminuer la porosité et prévenir la décoloration. Le carbonate de baryum entre dans la composition d'une grande variété de produits : verre spéciaux pour écrans cathodique, téléviseurs, écrans d'ordinateurs, barrières contre les rayonnements, vernis céramiques, électrocéramiques, porcelaines, émaux, ferrites, etc...

Le sulfate de baryum précipité, chimiquement pur, est appelé "blanc fixe". Il est obtenu par traitement d'une solution de sulfure de baryum par une solution de sulfate de sodium. Il est utilisé comme charge blanche dans les peintures, caoutchouc, encres et autres produits qui exigent un degré de pureté supérieur à celui que l'on peut obtenir par adjonction de barytine. Le sulfate de baryum extrêmement pur, ou "blanc-baryte", est donné pour 99% de blancheur, (100%=blanc idéal) ; il sert d'étalon pour l'évaluation de la blancheur d'un produit.

Le lithopone, est le résultat d'une double précipitation d'une solution de sulfate de zinc par une solution de sulfate de baryum. Le produit final contient du sulfate de baryum et de 30% à 60% de sulfure de zinc. La fabrication de lithopone requiert en général une tonne de barytine par tonne de produit. Ce pigment blanc a été longtemps apprécié pour la peinture grâce à ses propriétés : blancheur, résistance aux intempéries, pouvoir couvrant, affinité pour l'huile. Dans le passé il a été fabriqué en gros tonnage, mais actuellement il est largement remplacé par des oxydes de titane.

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 du chlorure de baryum on obtient le baryum métal.

Recherche bibliographique

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

L'oxyde de baryum, permet dans la métallurgie du fer, d'améliorer le rendement du four électrique.

L'hydroxyde de baryum, permet d'obtenir des stéarates de baryum. Les graisses à baryum sont appréciées pour leur résistance au lessivage ; il sert d'additif de stabilisation à la chaleur des PVC.

Le titanate de baryum, entre dans la fabrication de composés électroniques et d'équipements de communication.

Le baryum métal, est aussi produit par réduction de l'oxyde de baryum. Le métal est utilisé comme capteur de gaz dans les tubes sous-vide, dans les alliages pour bougies et dans les tubes électroniques d'émission d'éléments.

La production de carbonate de baryum exige une qualité correspondant à un minimum de 97 à 98 % de BaSO₄. Les impuretés restantes représentent des frais pour le chimiste et des pénalités pour le producteur. Les oxydes de fer ou la silice ne doivent pas dépasser le seuil de 1% ; ce qui correspond, en prix de revient, à une diminution de plusieurs pourcents de BaSO₄. Le ratio SrSO₄ / BaSO₄ exprimé en % doit être aussi faible que possible, environ de 1 %. La teneur en CaF₂ doit correspondre à des traces ; quelques centaines de ppm. Les chimistes veillent à utiliser des concentrés à faibles contenus en sulfures de plomb et de zinc, en cuivre, en nickel, terres rares et carbonates. [02]

Recherche bibliographique

III. Normes et exigence en matière de qualité de Baryte :

Les deux tableaux suivants distribuent les normes et les exigences mondial de la baryte.

Tableau I.02.A : Utilisation et normes pour la Baryte. [05]

Utilisation	Spécification
Boue de forage	Norme OCMA : $d > 4.2$, viscosité – ions soluble – granulométrie. (voir tableau I.02.B)
Verrerie	BaSO ₄ : 96 à 98% , Fe ₂ O ₃ 0.1 à 0.2 % , TiO ₂ : traces
Charge	Suivant utilisateur – couleur en particulier
Pigment	BaSO ₄ : 94% minimum - Fe ₂ O ₃ : 0.05% - matières solubles : 0.2%
Qualité chimique	BaSO ₄ : 95% minimum – Fe ₂ O ₃ < 1% - SrSO ₄ <1% traces fluorine.

Tableau I.02.B: Norme de OCMA pour qualité Boue de forage. [05]

Spécifications	Unités	Requises	Obtenues
Densité	--	4.20 mini	4.23
Granulométrie (n° 200 U.S.S.)	% en poids	97 mini	--
Granulométrie (n° 325 U.S.S.)	% en poids	90+- 5 mini	--
Gels solubles	% en poids	0.1 maxi	--
v. a. avant addition de gypse	cPo	125 maxi	123
v. a. après addition de gypse	cPo	125 maxi	123
(1) Alcalinité Pb	Cm ³ .N/50	Traces maxi	Néant
(1) Calcium sur filtrai.	g/l	0.5 maxi	0.3
(1) Ce ne sont pas des normes O.C.M.A, mais des normes FORAFLUID.			

Recherche bibliographique

IV. La production de la baryte :

IV.1. Production mondiale de la baryte :

Le potentiel de production est représenté par les mines de Bou caïd et Aïn Mimoun actuellement en exploitation et qui fournissent 50 000 tonnes de barytine utilisée principalement dans le secteur des forages pétroliers. [04]

IV.2. Production mondiale de la baryte :

La production mondiale de 7,770 Mt en 2008 (fig. suivante) a été assurée à 84 % par quatre pays, qui sont la Chine (57 %), l'Inde (13 %), les États-Unis (8 %) et le Maroc (6%). Parmi les autres pays représentant 16 % de la production mondiale, certains, comme le Kazakhstan, le Vietnam ou le Mexique, qui possèdent des réserves importantes, pourraient voir leur production actuelle se développer. On note une très forte prédominance de la Chine qui assure plus du tiers de la production mondiale. L'Inde arrive au deuxième rang des pays Producteurs avec un peu plus de 10 %. [07]

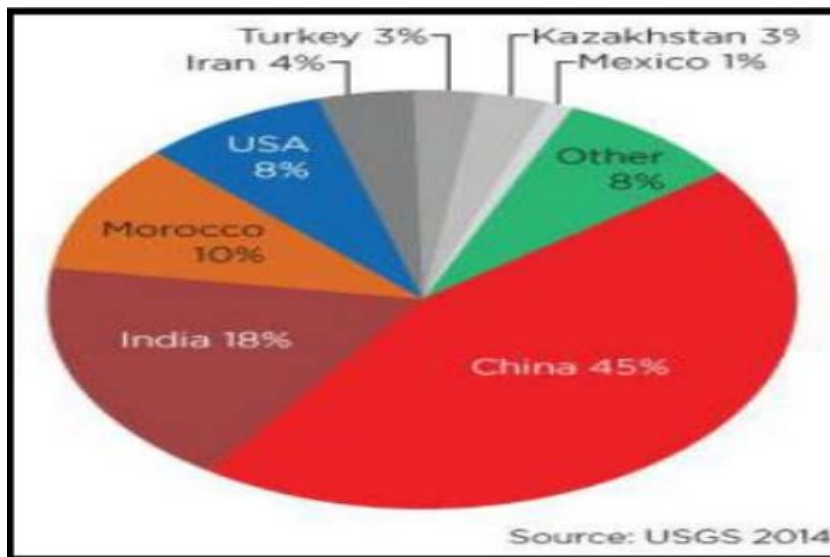


Figure I.2: La production mondiale de la barytine en 2014 (USGS). [07]

L'évolution de la production mondiale (fig. suivante), qui plafonne depuis 2005, est passée de 6,930 Mt en 1997 à 7,770 Mt en 2008 (+ 12,1 %).

Recherche bibliographique

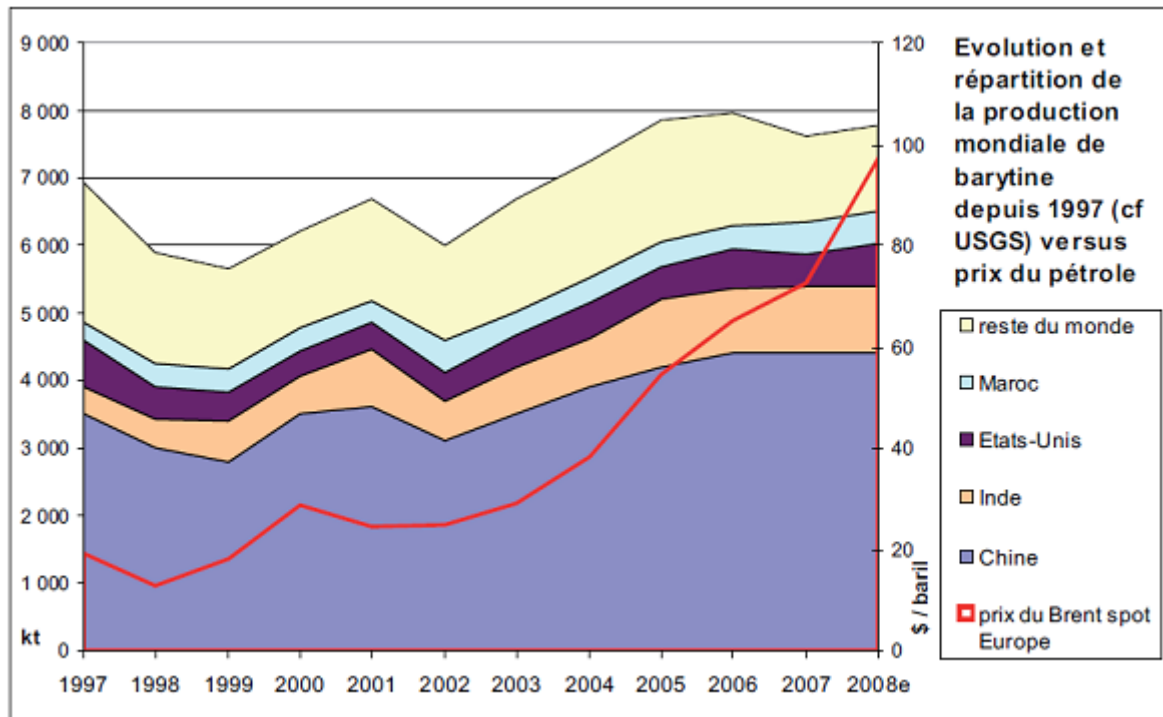


Figure.I.3 : Evolution et répartition de la production mondiale de barytine entre 1997 et 2008. (USGS). [07]

L'évolution des productions sur la période de onze ans considérée montre la domination confortable de la Chine (+ 26 % par rapport à 1997), la montée en puissance de l'Inde (+ 150 %), la progression continue du Maroc (+ 85 %), le retour des États-Unis au niveau de 1997 et une production en baisse du reste du monde, notamment des pays européens.

L'importance du secteur pétrolier et gazier dans la demande de barytine est de 80 % au niveau mondial mais atteint 95 % aux États-Unis où l'évolution du marché domestique est suivie de près par l'USGS.

À l'échelle mondiale, l'évolution sur la période 1997-2008 de différents facteurs intervenant sur les marchés des hydrocarbures/gaz et de la barytine est contrastée. Les progressions des productions d'hydrocarbures et de barytine sont comparables (+ 13 % et + 12 % respectivement) alors que celle de gaz naturel a été plus forte (+ 38 %). Sur fond de progressions de + 27 % de la consommation d'énergie primaire (incluant les énergies alternatives = nucléaire, charbon, hydroélectricité et énergies renouvelables) et de + 99 % de l'index Baker Hugues², le prix du baril (WTI) a augmenté de 386 % alors que le prix de la barytine du marché américain a augmenté de 58%. [07]

Recherche bibliographique

Tableau.I.3 : La production mondiale de la barytine. [07]

Pays	La production ($\times 10^3$ tonnes)	
	En 2013	En 2014
Chine	4.000	4.100
Kazakhstan	250	250
Turquie	250	270
Inde	1.740	1.600
Iran	270	270
États-Unis	700	720
Maroc	1.000	1.000
Algérie	40	50
Mexico	344	400
Pakistan	118	75
Autres pays	558	575

V. La Consommation de barytine :

V.1. Au niveau national :

La consommation de la barytine en Algérie en 2015 a atteint 250000 tonnes. Une part de 100000 tonnes est assurée par les producteurs locaux et le reste par l'importation. [04]

V.2. Au niveau mondial :

Elle se caractérise par des structures assez différentes entre zones géographiques et selon les utilisations en Europe, la chimie et les charges représentent une forte proportion -près de la moitié- de la consommation de barytine. Partout ailleurs, en particulier sur le continent nord-américain, l'industrie pétrolière est de loin (90 % de la consommation aux USA en 1991) le plus important consommateur. [08]

Les produits les plus purs, (les plus nobles), alimentent les secteurs de la chimie et des charges. Les grandes quantités, aux spécifications moins exigeantes, sont consommées en forages.

Recherche bibliographique

Tableau.I.04 : La consommation mondiale de la barytine. [08]

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

VI. Les cours de la baryte :

Les plus bas prix pratiqués correspondent à la barytine brute ou concentrée par jigs ; ces qualités sont principalement destinées aux boues de forage. Les produits qui ont subi un traitement plus évolué, tels que la flottation, ont une valeur supérieure et sont destinés à la chimie, à la verrerie ou à l'utilisation comme charges. Selon "US Bureau of Mines" (USBM) les prix pratiqués en 1991 variaient entre 40\$/t (forages) et plus de 2000 \$/t (applications pharmaceutiques).

En Europe, le coût moyen rendu usine utilisatrice de la barytine pour la chimie varie de 120 à 150 DM (soit 75 à 95 \$, entre 420 et 525 F) pour les charges les prix varient entre 130 et 135\$. Au cours des dernières décennies, on observe une stabilité des prix-valeur constante de la barytine broyée qualité peinture et une érosion sensible des prix des qualités micronisées pour charges. [07]

VII. Les réserves de la barytine :

VII.1. Les réserves de la barytine au niveau national :

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), Mesloula (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-

Recherche bibliographique

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.

Le gisement d'Ichmoul (w. Batna) : le site minier est localisé au versant nord du djebel Ichmoul, à 12 Km au nord du chef-lieu d'Arris. la structure est considérée favorable. Des travaux été effectués en 1971 et avaient conclu l'existence d'un corps barytine BaSO₄ dont le taux était entre 30% et 50% avec des réserves qui peuvent atteindre 1.548.280 tonnes. [04]

VII.2. Les réserves de la barytine au niveau mondial :

Le système développé aux Etats-Unis (US Bureau of Mines & US Geological Survey, 1981 ; US Geological Survey, 1982) définit les réserves en tant que « ressources identifiées en minerai qui peut être extrait de manière profitable au moyen de la technologie existante et dans les conditions économiques actuelles ». [07]

Le tableau suivant donne les importants pays qui ont des grandes réserves de barytine.

Tableau.I.05 : La réserve mondiale de la barytine. [07]

Pays	Réserves (×10⁶ tonnes)
Chine	100
Kazkhistane	85
Turquie	35
Inde	32
Thaïlande	18
États-Unis	15
Russie	12
Maroc	10
Algérie	07
Mexico	07
Pakistan	01
Autres pays	66
Total	358

Recherche bibliographique

VII. Méthodes de traitement de minerai barytique :

Dans certains gisements, le minerai est suffisamment pur et peut être simplement criblé et concassé. En général, la barytine primaire est obtenue par triage manuel, ou après concentration par flottation, gravimétrie, séparation magnétique, séparation radiométrique... puis séchage, broyage et classification. [02]



Figure.I.4 : Cellules de flottation dans l'usine de Chaillac. [02]

VII.1. Au niveau national à L'usine de Bou-Caïd (Tissemsilt) :

Le champ minier de Bou-Caïd est situé à 70 Km au Nord-Est du Chef-lieu de la wilaya de Tissemsilt et à 250 Km Au Sud-Ouest de la capitale et 900 Km de Hassi Messaoud. L'usine de Bou-Caïd traite, enrichit et transforme le Tout-venant Barytique provenant des différents quartiers dont le but est d'obtenir un produit marchand conforme aux normes API (American Petroleum Institu). [09]

Le Tout-venant avec une grosseur maximale de 500 millimètres et une teneur minimale de 60% en BaSO₄ passe dans Trois stations.

- station de concassage.
- station d'enrichissement.
- Station de pulvérisation et conditionnement.

Recherche bibliographique

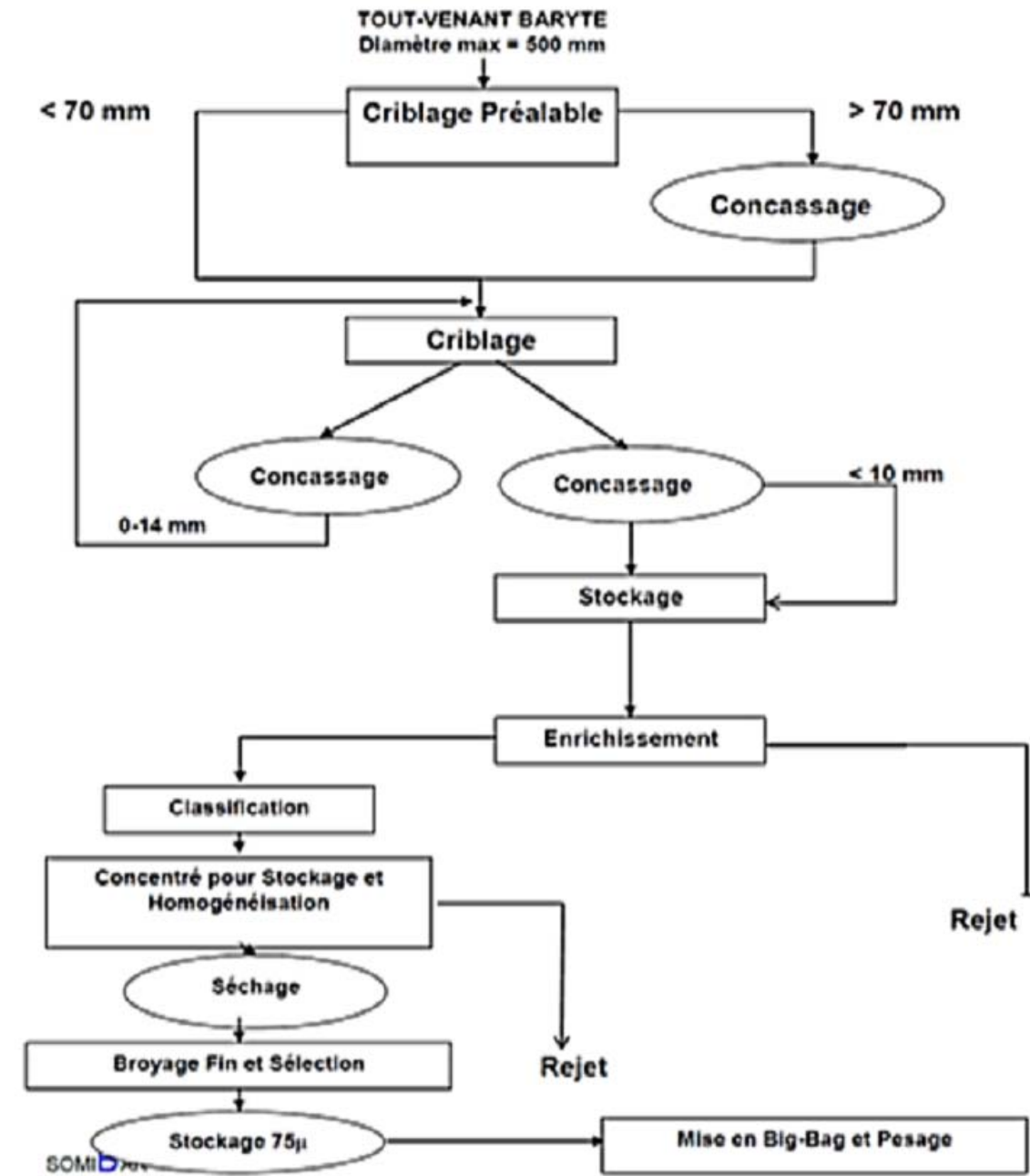


Figure.I.5 : La chaîne de traitement de minerai barytique de Bou-Caïd –Tissemsilt-. [09]

Recherche bibliographique

1. Station de concassage :

Cette étape consiste à réduire le Tout-venant 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. Le Tout-venant avec une grosseur maximale de 500 mm à l'alimentation subit trois opérations de réduction de grosseur :

- Réduction à 70 mm à l'aide d'un concasseur primaire à mâchoires à simple effet type VB67 BERGEAUD.
- Criblage et réduction de grosseur à 14 mm dans un groupe mobile broyeur crible SYMENS.

Cette opération de séparation des granulats entre 10 et 14 mm passe par un crible à 03 étages et qui facilite la séparation et le concassage de cette étape.

- Réduction à 6mm dans un concasseur à cylindres lisse type BCR 60X80. Le Tout-venant réduit à une grosseur inférieure à 6 mm et stocké dans trois trémies tampons de 120 tonnes de capacité à chacune. [09]

2. Station d'enrichissement :

Le Tout-venant réduit à une dimension inférieure à 6 mm subit une séparation gravimétrique humide dans un appareil appelé Remer-Jig de marque WEMCO. Le produit lourd (la Barytine) est récupéré du bas de l'appareil dans un classificateur spiral puis évacué vers des chambres pour l'égouttage. Le produit léger (les rejets) est acheminé en surface avec l'eau vers une digue pour une décantation, stockage et recyclage de l'eau clarifiée. Le produit lourd représente le concentré est déposé à proximité dans une aire de stockage allant jusqu'à 9000 tonnes de capacité. [09]

3. Station de pulvérisation et conditionnement :

Cette opération permet de transformer le concentré à un produit fini marchand conforme aux normes. Le concentré avec une humidité maximale de 2 à 5 % à l'entrée subit une opération de séchage dans un sécheur rotatif de 14 mètres de long et de 2 mètres de diamètre ou il est ramené à un taux inférieur à 0.1% à la sortie du séchage. Le produit séché subit un broyage fin dans un broyeur pendulaire BP16 à un rendement moyen de 14 tonnes/heure et 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 produit réduit à 75 microns est mis en Big-Bag des ensacheuses de marque TESTUT et pesé dans une balance électronique. Le produit

Recherche bibliographique

conditionné dans des Big-Bags de 1,5 tonne représente le produit fini de l'usine. il est destiné pour l'utilisation comme boue de forage pétrolier. [09]

VII.2. Au niveau mondial à L'usine de Chaillac-Frence :

La barytine, produite dans le gisement de Chaillac, était obtenue à partir d'un concentré d'une teneur de 98 % ($\text{BaSO}_4 + \text{SrSO}_4$ avec un rapport Sr/Ba de 1 %). Les faibles teneurs en oxydes de fer ($\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1\%$), en silice ($\text{SiO}_2 < 0,4\%$) et en fluorine (CaF_2 compris entre 300 et 500 ppm) en faisaient son intérêt. [10]

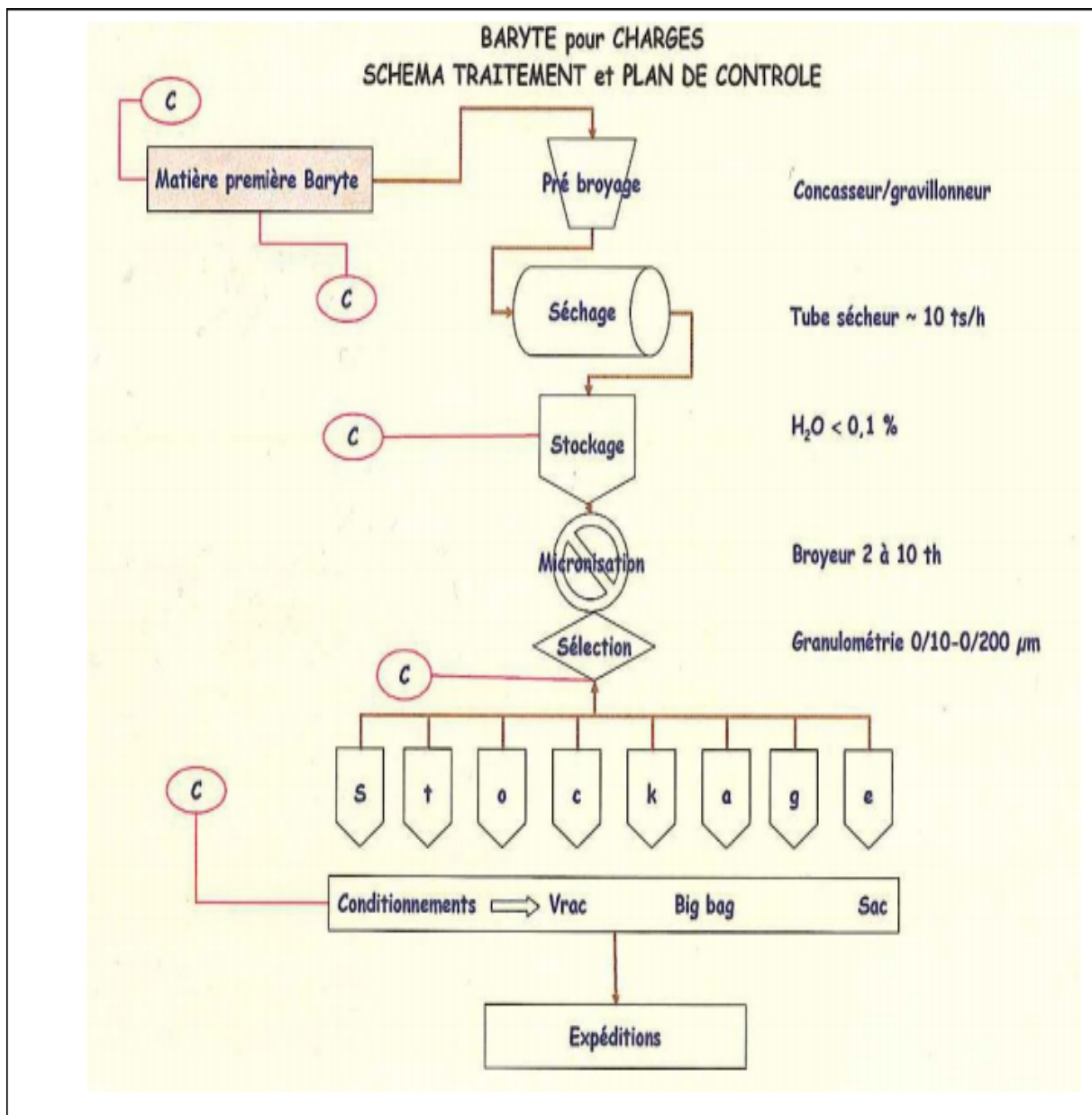


Figure I.6: Schéma de traitement de la barytine pour charge usine de Chaillac. [10]

Tableau.I.06 : La composition chimique de la barytine brute de Chaillac. [10]

Recherche bibliographique

Le composant	Les teneurs (%)
Ba	56.26 soit : BaSO ₄ :95.54
Fe ₂ O ₃	1.09
Al ₂ O ₃	0.09
SiO ₂	1.55
CaO	1.27 soit : CaO ₃ :2.27

IX. Les problèmes qui gênent la production de la baryte de meilleure qualité :

Il y a quelque problème qui gênent la qualité, dans notre cas à Ain Mimoun sont : [12]

- Concentré de moyenne qualité
- Granulométrie limitée (difficulté pour les fines)
- Décharge de stériles nocives dans l'environnement.
- La dureté des autres roches.
- Pertes en minéral utile dans les stériles avec une teneur en BaSO₄.

CHAPITRE II :

GÉOLOGIE ET

MÉTHODE

D'EXPLOITATION DE

LA MINE D'AIN

MIMOUN.

Géologie et méthode d'exploitation

Introduction :

La barytine est un sulfate de baryum naturel ($BaSO_4$), largement utilisée dans différents secteurs industriels, elle correspond à la composition suivante : BaO (65.70%), SO_3 (34.30%), la barytine apparaît dans les environnements géologiques variés seule ou bien en association avec plusieurs minéraux tel que la fluorine, la Célestine, le quartz, la blende, ou la galène.

La barytine appelée plus couramment dans le secteur du forage pétrolier « baryte », est un minéral lourd pouvant atteindre une densité de 4.48 maximum (baryte très pure), ce produit est largement répondu et exploité en carrière ou en sous terrain dans le monde entier.

Le gisement barytique de Ain Mimoun s'allonge dans la partie centrale du massif montagneux de Khenchela et s'étend à la direction Nord-Est. Les filons barytiques du gisement sont classés en 02 groupes suivant leurs conditions de pendage, leur morphologie, stabilité et puissance.

-Le gisement a été découvert en 1968 lors de révision de la carte géologique de la région. Les travaux de recherche sur les filons ont été réalisés de 1968-1970.

- L'exploitation a débuté en 1971 par l'extraction à ciel ouvert et s'est enchaînée par l'extraction mixte (à ciel ouvert, souterrain). [03]

Géologie et méthode d'exploitation

I. Situation géographique :

Le gisement barytique de Ain Mimoun est situé à 28 km au nord-ouest de la wilaya de Khenchela et à 96 km de la ville de Batna, il est constitué d'un ensemble de filets sous forme des filons dont le nombre est de 12. Actuellement le filon n° 1 est le plus bas et se trouve sur les côtes absolues de 1200-1250 m, le filon n° 11 est le plus haut et se trouve à 2015 m.

L'étendue des filons de baryte varie largement en direction de 20-50m à 1400m, on distingue de grands filons de plus de 400m de long et de filons moyens, en profondeur les filons s'étendent jusqu'à 50-100 m. [03]

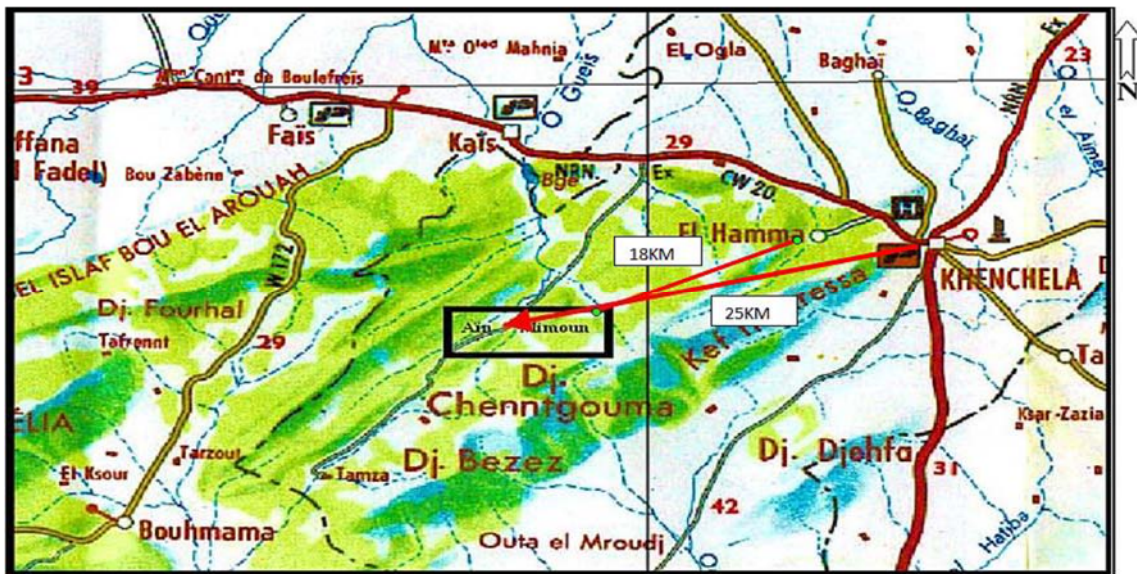


Figure II.01 : Localisation Géographique du gisement de Ain Mimoun (sur la carte touristique d'Algérie). 1cm 5 km. [03]

II. Géologie régionale :

La région du gisement se trouve dans la partie orientale du massif montagneux des Aurès qui s'étend à la direction Nord-Est les flancs Septentrionaux de l'anticlinal de Khenchela qui se caractérise par un relief montagneux typique.

II.1 Stratigraphie :

Les séries stratigraphiques rencontrées dans la région du gisement de MIZAB sont les suivantes :

II.1.1. Crétacé

A. Crétacé inférieur :

1- Barrémien :

Affleure dans le sud de la charnière de l'anticlinal, il est à prédominance de grès quartzeux blancs à stratification entrecroisée caractéristiques d'un faciès continental à intercalations de lits calciques de dolomies et d'argilites. Il a une épaisseur pouvant atteindre 900m. [03]

2-Aptien :

- Aptien supérieur :

Se divise en deux assises ; l'Assise inférieure, est représentée par des grès quartzeux, des marnes et des calcaires. L'Assise supérieure, est représentée par des formations dolomitiques massives avec petits lits de calcaire. [03]

- Aptien inférieur :

Représenté par des grès avec petits lits de marne et calcaire.

- Aptien moyen :

Epais de 120 m, représenté par des calcaires en alternance avec des marnes à la base et des dolomies massives au-dessus qui sont présentés par le cénomaniens. [03]

3- Les dépôts albiens :

- Albien inférieur : est représenté par une alternance d'argilites, degrés et de marne avec marne des bancs de calcaire et dolomies.

- Albien supérieur : est représenté par une alternance de calcaires, calcaires dolomitiques et dolomies avec des petits lits de marnes et degrés.

- Albien moyen : est formé d'une alternance d'argilites, et de grès avec des bancs de calcaires et dolomies.

B. Crétacé supérieur :

- Dépôts de curetage supérieur :

Sont par le cénomaniens inférieur et supérieur :

- cénomaniens inférieur présentés : marnes avec isolés de calcaires marneux ;

- Cénomaniens supérieur : marne avec calcaires.

II.1.2. Néogène :

Est représenté dans deux affleurements isolés :

-Argile de couleur rouge conglomérats massif de l'aquitaine, les quaternaires de plus de 100 m se recentrent par tout aux pieds des montagnes.

Géologie et méthode d'exploitation

- Le pendage général des roches : est au Nord-Ouest ($310-330^\circ$) sous les angles qui changent de (5-10°) dans la partie de tout de l'anticlinal et de (40-50°) sur le filon Nord. Les filons de baryte se trouvent dans les accidents tectoniques formés dans la roche de l'aptien moyen et aptien supérieur. [03]

Dans les roches sous-jacentes et sus-jacentes, les tracés des filons n'ont pas été établis.

II.1.3. Quaternaire

Ce sont des formations largement répandues dans l'Aurès. Elles sont surtout représentées par les éboulis nappant les pentes des reliefs, et alluvions qui se développent dans les zones basses des terrasses. Vers le Sud-ouest, ce sont les dunes constituées d'argiles sableuses qui se forment dans les environs de Biskra et le long de la flexure sud atlasique. [03]



Figure II.02 : Affleurement du Miocène en discordance angulaire sur les faciès du Crétacé Inférieur dans la région dite TAKALIAT (Aux environs du filon N°4). [03]

II.2. Tectonique :

Les assises des roches faisant partie du gisement sont disloquées en entoilant suivant l'étendue Nord-Est (40-50°) aux flancs arqués. Le champ de minerai s'étend sur le flanc Nord-Ouest sous les angles qui changent de (5-50°) avec un pendage sud-vertical.

Le 1er système d'accident et de caractère de faille de direction Nord Est ($40-50^\circ$) avec un pendage sud-vertical. Le 2eme système d'accident du 5eme et 6eme ordre sont parallèles à l'axe dupli suivant la direction ($40-50^\circ$). [03]

II.3. Morphologie :

Les contacts de tous les filons avec les roches encaissantes sont brusques et assez droits.

Dans les contacts, les roches encaissantes sont représentées par des brèches avec un ciment barytine, l'architecture inférieure du filon est assez simple, les filons représentent des agrégats monominéraux de baryte par fois avec des intercalations de roche. Les roches encaissantes et le minerai sont principalement peu résistant sauf le lieu où le filon passe dans les marnes dans ce cas les roches sont toutes affaiblies. Le coefficient de solidité des roches encaissantes et du minerai est de 7 à 10.

II.4. Hydrogéologie :

Les conditions hydrogéologiques du gisement d'Ain Mimoun sont assez simples, on distingue

- Les eaux de fissures bancs dans les dépôts carbonatés.
- Les eaux dans de fissures filons dans les accidents techniques.
- Les eaux de fissures sol.
- L'afflux d'eau maximal dans les galeries et de l'ordre de 100 m³/jour à 270m³/jour, lors des pluies torrentielles.

III. La minéralisation :

III.1. Etudes minéralogiques :

Outre les filons de baryte, on rencontre plusieurs indices comme la minéralisation de cuivre, de plomb, de quartz, de calcite, etc.

- **La baryte (BaSO₄)** : Se présente sous deux espèces
 - Barytine 1 : ou Baryte du premier stade, se caractérise par des cristaux grossiers à émanations allongées (de 0.2x2 à 7x200mm) ou bien sous forme d'agrégats à structure fibreuse et actiniforme.
 - Barytine 2 : ou Baryte du deuxième stade, se présente par des cristaux plus menus de (0.03 à 0.2mm) formant des plages en formes de grains isométriques entre la Barytine 1.
- **Le quartz(SiO₂)** : Se présente sous deux générations
 - Quartz 1 : coulé, gris, en forme de séparations allotriomphes (de 0.1 à 0.5mm), se développe dans la partie du contact du filon et contient un grand nombre d'intercalations de roches encaissantes.
 - Quartz 2 : se trouve dans la masse barytique en forme de cristaux automorphes, prismatiques (de 0.2 à 1.2mm) ainsi qu'en séparations en coup de balai.

Géologie et méthode d'exploitation

- **Le diopside ($\text{CuSiO}_3, \text{H}_2\text{O}$)** : (Cuivre gris) se présente sous l'aspect de grains arrondis et angulaires disséminés dans la baryte.
- **La chalcopirite (CuFeS_2)** : Se rencontre en forme de séparation irrégulière le long des fissures dans la baryte.
- **La sphalérite (ZnS)** : Se présente sous forme de grains arrondis.
- **Le cinabre (HgS)** : Est représentée en dissémination dans la base.
- **La calcite (CaCO_3)** : Donne des séparations à contact irréguliers.
- **La Dolomite** : À cristaux grossiers de couleur brune, est développée dans la partie centrale sous forme de veinules et de séparations irrégulières.
- **Les hydroxydes de fer ($\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$)** : Sont disposés irrégulièrement dans le contact le long des fissures.
- **La malachite et l'azurite ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$)** : Se rencontrent en forme de séparation et nids isolés. Tous ces indices métallifères sont en quantités négligeables et ne présentent aucun intérêt économique. [03]

III.2. Mode génétique de la minéralisation barytique : [03]

Les contraintes compressives génératrices des structures plicatives ont donné naissance à des fractures qui ont permis la circulation des eaux chaudes chargées de minéraux métallifères et siliceux.

La minéralisation barytique dans le Champ Minier de Mizab et sa mise en place se rapportent au phénomène de l'hydrothermalisme, qui se manifeste par le biais de la circulation d'eau chaude liée à la fin d'une éruption volcanique ou à celle de la cristallisation d'un magma, ou encore aux sources qui peuvent éventuellement en résulter. Les solutions hydrothermales dites aussi « hydrothermales » à $100^\circ\text{-}400^\circ\text{C}$ et sous pression, contiennent divers corps avec : Fe, Ti, Cu, Pb, Zn, Sn, Hg ; ainsi que plusieurs autres éléments volatils. [03]

Ces corps issus du magma lui-même, ou encore prélevés des roches encaissantes peuvent ensuite précipiter et se concentrer en filons ; c'est le cas de notre champ de Mizab. [03]

III.3. Réserves Générales :

Avant d'entamer un projet d'exploitation d'un gisement, il est nécessaire de mettre en évidence sa valeur industrielle, c'est pourquoi on procède aux travaux de reconnaissance qui suivent ceux de savoir la quantité des minéraux utiles et leurs qualités. Toutes les réserves des minéraux d'un gisement donné s'appellent géologiques suivant leurs importances dans l'économie nationale, on les partage en réserves exploitables et inexploitables.

Géologie et méthode d'exploitation

Les réserves exploitables sont celles qui répondent aux conditions industrielles et peuvent être exploitées avec profit. Les réserves inexploitablees sont des réserves qui ne peuvent pas être à présent utilisées. [03]

La prospection des filons de barytes par la catégorie C-1 a été effectuée par tranchées en surface et par sondage carotté en profondeur. Pour la catégorie B, la prospection en surface et par sondage carotté en profondeur. Les réserves dans la catégorie C2 sont évaluées par extrapolation de 20 à 30 m.

Avant le début de l'exploitation, les réserves étaient de l'ordre :

Total : 2147500 tonnes à 86% de BaSO₄.

Cat. B : 276500 tonnes à 90% de BaSO₄.

Cat. C1 : 1372600 tonnes à 85.9% de BaSO₄.

Cat. C2 : 499400 tonnes à 84.0% de BaSO₄. [03]

IV. Techniques d'exploitations utilisées à Ain Mimoun :

C'est un ensemble d'opérations pour exploiter un gisement de substance utile, à savoir :

- Choix de la méthode d'exploitation.
- Préparation.
- Abattage.
- Extraction.
- Transport. [3]

IV.1. Exploitation du gisement :

IV.1.1. Conditions générales du gisement :

L'exploitation du gisement concerne le minerai de baryte à savoir sulfate de baryum. Le minerai de baryte se trouve en forme de deux espèces l'un à cristaux grossiers qui donne des émanations allongées et agrégats à structure fibreuse, l'autre à cristaux fins forme de grains isométriques. [11]

Les contacts de tous les filons avec les roches encaissantes sont brusques et assez droits. Les roches encaissantes sont présentées par des calcaires, calcaires dolomitiques, dolomie, grès et des argilites.

- La teneur en baryte varie de 60 % à 95%.
- La puissance des filons varie de 0,8 à 6 m.
- La dureté est de 3 à 4 pour la baryte.
- La profondeur des filons arrive jusqu'à 120 m et même plus. [3]

IV.1.2. Mode d'exploitation

L'exploitation du minerai est à ciel ouvert et souterrain.

Pour les travaux souterrains, l'accès au filon est réalisé par galerie au jour en direction ou en perpendiculaire au roche, et ceci suivant la description du filon et les conditions topographiques. Pour les travaux à ciel ouvert, l'exploitation s'effectue sur des affleurements des filons et d'autres indices (apophyse). [3]

IV.1.3. Mode d'ouverture :

IV.1.3.1. Description des ouvertures existantes :

L'ouvrage existant pour l'ouverture est une galerie au jour dont la section est de 7,2 m², qui donne l'accès au filon soit en direction ou en perpendiculaire à la roche

IV.1.3.2. Choix du mode d'ouverture :

L'ouverture d'un filon consiste au choix du type, de l'endroit d'emplacement et de la position de l'ouvrage. Le mode d'ouverture rationnel doit assurer :

- La sécurité des travaux.
- Haute qualité économique.

Selon les investissements et frais d'exploitation et le degré, d'utilisation des réserves du gisement Intensité et commodité nécessaire des travaux.

Vu les conditions du relief l'ouverture retenu pour les filons est par galerie au jour creusé dans le minerai ou au rochet. [3]

IV.1.3.3. Pression des terrains :

L'évaluation de la stabilité du contour se fait habituellement, selon l'état de pression simple, car en qualité de critère d'évaluation, on se sert d'un coefficient de stabilité (de sécurité) en utilisant la résistance de la roche et les contraintes pour le cas de l'état de pression unilatérale. On peut faire l'évaluation de la stabilité des roches et le choix du soutènement de l'ouvrage selon la valeur du coefficient sans dimension appelé indice de stabilité qui est recommandé pour le choix du soutènement.

- Méthode d'exploitation est le plus important dans un projet, la méthode choisie doit répondre aux exigences principales suivantes :

- Protection du travail.
- Intensification de l'exploitation de gîte.
- Prix de revient bas d'extraction du minerai.
- Performance du travail. [3]

IV.2. La Méthode d'exploitation appliquée (par sous niveaux abattus) :

Le choix de la méthode d'exploitation est le plus important dans un projet. Les méthodes retenues sont :

- Chambres et piliers.
- Chambres magasins.
- Méthode d'exploitation par sous niveaux abattus.
- Méthode d'exploitation par traçage et dépilage.

La méthode appliquée au niveau du filon 4 est celle de sous niveaux abattus.

La décision à prendre en matière de choix de la méthode est une situation fréquente, puisqu'elle se présente non seulement pour un gisement nouveau, mais a chaque fois un paramètre important connaît une variation sensible exigeant pour le moins une adaptation de la méthode précédente. [12]

En se basant sur les propriétés physico-mécaniques du minerai et des roches encaissantes, le pendage des filons qui varie de 28°- 80°, ainsi que des possibilités techniques de la mine, les méthodes retenues sont :

- Le sous- niveau abattu
- Chambre et piliers artificiels

Ces deux méthodes seront utilisées ainsi que la non application de ces méthodes dans le cas où un paramètre exige un changement de la méthode.

La rentabilité des méthodes retenues consiste dans la récupération rapide du minerai et une meilleure sécurité mais l'inconvénient est le volume important des travaux préparatoires :[12]

IV.2.1. Principe de la méthode :

- Sous-niveaux abattus :

Pour cette méthode, les travaux préparatoires consistent au découpage des blocs par des cheminées espacées de 40 m, creusées à partir de la galerie principale vers la galerie de niveau supérieur ou la surface du jour. Le boisage de ces dernières est à cadres jointifs à deux compartiments, l'une destinée à la montée et la descente du personnel, l'autre pour le minerai.

A partir des cheminées des blocs des galeries de sous niveaux de section carrée sont creusées, un stot de protection de 04 m est conservé entre chaque deux galerie de sous niveaux.

Des entonnoirs sont creusés à partir de la galerie principale jusqu'à la première de sous niveau. Le bloc est divisé dans son milieu par une cheminée coupante à un seul compartiment

Géologie et méthode d'exploitation

creusé à partir de la première galerie de sous-niveau. Le minerai abattu tombe dans les entonnoirs d'où il est sorti directement dans les wagons. [12]

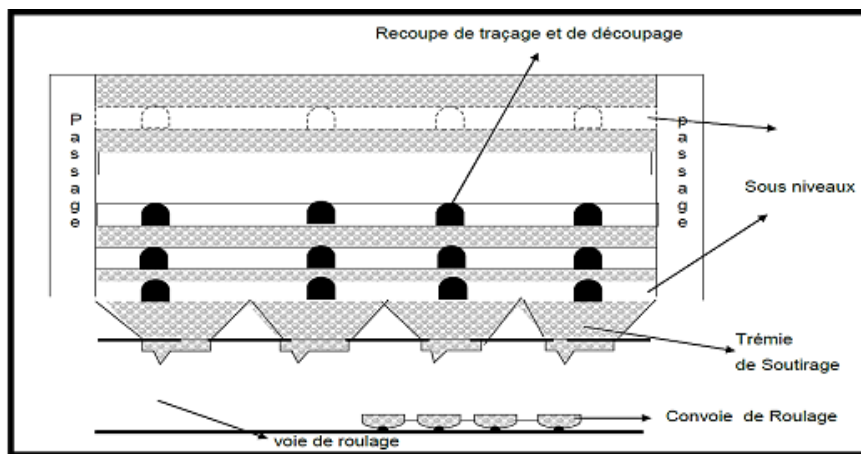


Figure II.03 : Schéma de la méthode des sous niveaux abattus. : [12]

• Chambre et piliers artificiels :

En se basant sur les conditions géologiques et miniers du filon, le système d'exploitation le plus acceptable est celui par chambre et piliers c'est-à-dire avec le soutènement de l'espace d'abattage par des piliers et avec l'abattage du front de la taille sur toute la puissance du filon par des trous miniers la distance entre les piliers est de 2 m pour cette méthode, les travaux préparatoires consistent au découpage des chambres par des cheminées inclinées espacées de 30m à partir de la galerie principale vers la galerie du niveau supérieur ou la surface du jour à partir des cheminées de la chambre d'autres cheminées sont creusées chaque 2 m.

L'abattage s'effectue par des trous de mine sur toutes puissances du filon.

Le minerai abattu est évacué à l'aide des treuils de stripage jusqu'à la galerie principale et directement versé dans les wagons. [12]

IV.2.2. Les principaux paramètres de la méthode :

La longueur du bloc varie de 30 à 60 m pour la disposition des chambres en direction du gisement, et de 50 à 80 m, disposition des chambres en travers de la direction du gisement :

- La hauteur du bloc varie de 30 à 60 m.
- L'épaisseur du pilier de couronne varie de 5 à 7 m.
- L'épaisseur du pilier de base varie de 8 à 15 m.
- Démentions du pilier entre les chambres varie de 6 à 12 m.
- Distance entre les chainées de soutirage de 4 à 6 m. [12]

IV.2.3. Dépilage :

L'abatage du minerai se réalise par des trous profonds verticaux ou en éventail. Le minerai abattu chute dans des entonnoirs auxquels par la galerie de roulage, il sera évacué dans des berlines vers le jour.

IV.2.4. Les avantages :

- Sécurité durant les travaux.
- L'aérage dans les chantiers d'abatage se réalise sans difficulté.
- Faible consommation du bois.
- Bon rendement.

IV.2.5. Les inconvénients :

- Coût des travaux dans le bloc important.

IV.3. Travaux de forage et de tir : [12]

En général les travaux d'abattages sont les plus essentiels des travaux miniers, qui comprennent les procédés suivants :

- Travaux de forages.
- Chargement des trous.
- Bourrage.
- Tir.

Ainsi pour faire les travaux de tir, il faut faire une connexion qui réside à un tir, c'est-à-dire quand doit choisir une connexion entre les trous de forage qui donnent un bon tir et une bonne fragmentation des roches, d'où il existe les méthodes de connexion suivant :

- Connexion en série.
- Connexion en parallèle.
- Connexion mixte.

Enfin, après chaque tir, la ventilation joue un rôle répondant pour évacuer les poussières et gaz toxiques revenant et des moteurs explosions et pour rendre l'air qui se trouve dans l'excavation respirable (la méthode utilisée au niveau de Ain Mimoun est l'aération naturel).[12]

Géologie et méthode d'exploitation

IV.4. Chargement et transport :

Les déblais sont chargés soit à l'aide des pelles sur rails, qui versent leurs contenus dans les wagonnets enchaînés et entraînés par un locotracteur.



Figure II.04 : Loco tracteur (diésel). [12]



Figure II.05 : Pelle sur rail de chargement. [12]

L'évacuation du minerai et des déblais de fond vers l'aire de stockage ou vers les terrils se fait par les wagonnets de capacité de 2 tonnes pour chacune enchaîné avec un locotracteur qui ramène ces wagonnets à l'extérieur. Et pour le transport du minerai de la zone de stockage vers les laveries et les stations de traitement, ils utilisent des camions de capacité de 18 tonnes pour chacun, et une pelle chargeuse de godet de volume de 1.5 m³. : [03]



Figure II.06 : Camion du Transport. [12]



Figure II.07 : Pelle chargeuse. [12]

V. Description des filons du champ minéralisé :

L'étendu des filons de baryte en direction varie largement de (20-50) m, 1400 m, d'après l'étendue se distingue les grands filons plus de 400 m de longueur, [N°= 01.02.03.04.05.10 et11] ; les filons moyens de 100 m à 400 m, de [N° 5.06.07.08.09.12] et les filons menus de premières dizaines de mètres jusqu'à 100m en profondeur les filons s'entendent jusqu'à 50-100 m. [12]

V.1. Caractéristiques du filon 4 :

Le filon 4 est situé à 11 km à l'Est de l'usine de traitement relié à celle-ci par une piste praticable, ce filon a été découvert par 27 tranchés en surface et 20 sondages en profondeur.

- Longueur de filon : 1450 m.
- Puissance moyenne minéralisée : 1,80 m.
- Pendage de filon : 45° à 83°.
- Les réserves géologiques initiales : 529100 tonne.
- Réserves extraits : 141496 tonne.

Dans le filon 04, il existe trois niveaux : 1690 m, 1730 m, 1770 m. [12]

V.1.1. Filon 4 niveau 1770m :

Ce niveau renferme un potentiel de 226560 tonnes classées, leur exploitation a débuté en 2012.



Figure II.08: L'entrée de la galerie du niveau 1770 m. [12]

Géologie et méthode d'exploitation

V.1.2. Filon 4 niveau 1730m :

Ce niveau renferme un potentiel de 56565 tonnes dont 35673 tonnes, qui représente les pertes en exploitation, le niveau 1730 m a déjà été exploité en 2015 avec une production en tout venant de 15000 tonnes. [12]



Figure II.09 : L'entrée de la galerie du niveau 1730 m. [12]

V.1.3. Filon 4 niveau 1690m :

Ce niveau renferme un potentiel de 67496 tonnes, le niveau 1690 m à déjà été exploité en 2015 avec une production en tout venant de 16000 tonnes. [12]



Figure II.10: L'entrée de la galerie du niveau 1690 m. [12]

VI. Sécurité des travaux :

Le choix de la méthode d'exploitation répond aux règles de la sécurité minière, dimensionnement des piliers, abattage en rabattant, aérage des chantiers, les issues de secours.

La protection de travail est une discipline qui traite plusieurs questions concernant l'amélioration des procédés de production en conservant l'état de santé des travailleurs.

Les mesures de sécurité à prendre sont :

- Instruire et former les ouvriers dans diverses spécialités, concernant les mines, dans le but de bien savoir exploiter les équipements existants à fin d'éviter les accidents de travail,
- Instruction systématique au début de chaque poste pour rappeler des règles de sécurité,
- Arrosage des lieux de la foration intensive de la poussière,
- Foration des trous de mines avec injection d'eau,
- Aération active des fronts de taille en activité,
- Port des effets de sécurité (masques anti poussière, casques, oreillettes de protection, tampon),
- Aménagement des sorties de secours avec une signalisation distincte,
- Interdiction l'accès au chantier abandonné,
- Surveillance systématique de l'état d'isolement des câbles électriques,
- Système électrique sécurisé,
- Les galeries de roulages doivent être bien éclairées,
- Ne pas descendre sans lampes mineurs. [12]

Conclusion :

Le gisement de Ain Mimoun est sous forme d'une structure filonienne, avec des réserves de barytine importantes (ressources géologiques de 1.86 MT et des réserves exploitables estimées à 1.25 MT) et avec une teneur moyenne de 70% en BaSO₄. [12]

Comme types de minéralisation dans la mine de Ain Mimoun, on trouve la minéralisation hydrothermale de malachite, azurite et parfois de cinabre, de sphalérite et de chalcopryrite.

Le choix de la méthode d'exploitation est le plus important. La méthode choisie doit répondre aux exigences principales à savoir :

- Protection de travail.
- Intensification d'exploitation du gite.
- Un bas prix de revient d'extraction au minerai.
- Bonne productivité haute de du travail.
- Taux minimum de perte et dilution minérale en minerai.

La méthode d'exploitation appliquée au niveau de la mine de Ain Mimoun est celle des sous niveaux abattus. [12]

CHAPITRE III :

TRAITEMENT DE MINRAI BARYTIQUE D'AIN MIMOUN.

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

Introduction :

L'usine de Ain Mimoun traite, enrichit le Tout-venant Barytique provenant des différents filons dont le but est d'obtenir un produit marchand conforme aux normes API (American Petroleum Institu).

Le procédé de traitement du minerai barytique de la mine de Ain Mimoun est la séparation gravimétrique par jigage qui est basé sur le principe suivant :

Opération de séparation de deux minéraux de poids spécifique différent. Les produits sont soumis à une pulsation verticale périodique au cours de leur écoulement dans un bac. La pulsation est engendrée soit par le mouvement du bac, soit par le mouvement de l'eau, le bac étant fixe. Ces appareils se sont les jigs ou les bacs à piston.

Le traitement de minerai barytique de Ain Mimoun passe par les étapes suivantes :

- Concassage : réduction de la taille des particules afin de libérer le minéral utile de la gangue stérile.
- Criblage : cette opération consiste de faire contrôler la granulométrie du minerai concassé et l'efficacité de cette fragmentation, jusque à l'obtention d'une granulométrie acceptable pour le procédé d'enrichissement suivant.
- Jigage : classement des particules suivant leur densité dans un courant d'eau.
- Séchage : réduction de l'humidité du produit sous l'effet de la chaleur.
- Broyage et classification : pulvérisation du produit et classification granulométrique. Ensachage et conditionnement du produit fini pour l'expédition et la commercialisation. [12]

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

I. Etude du schéma technologique existant :

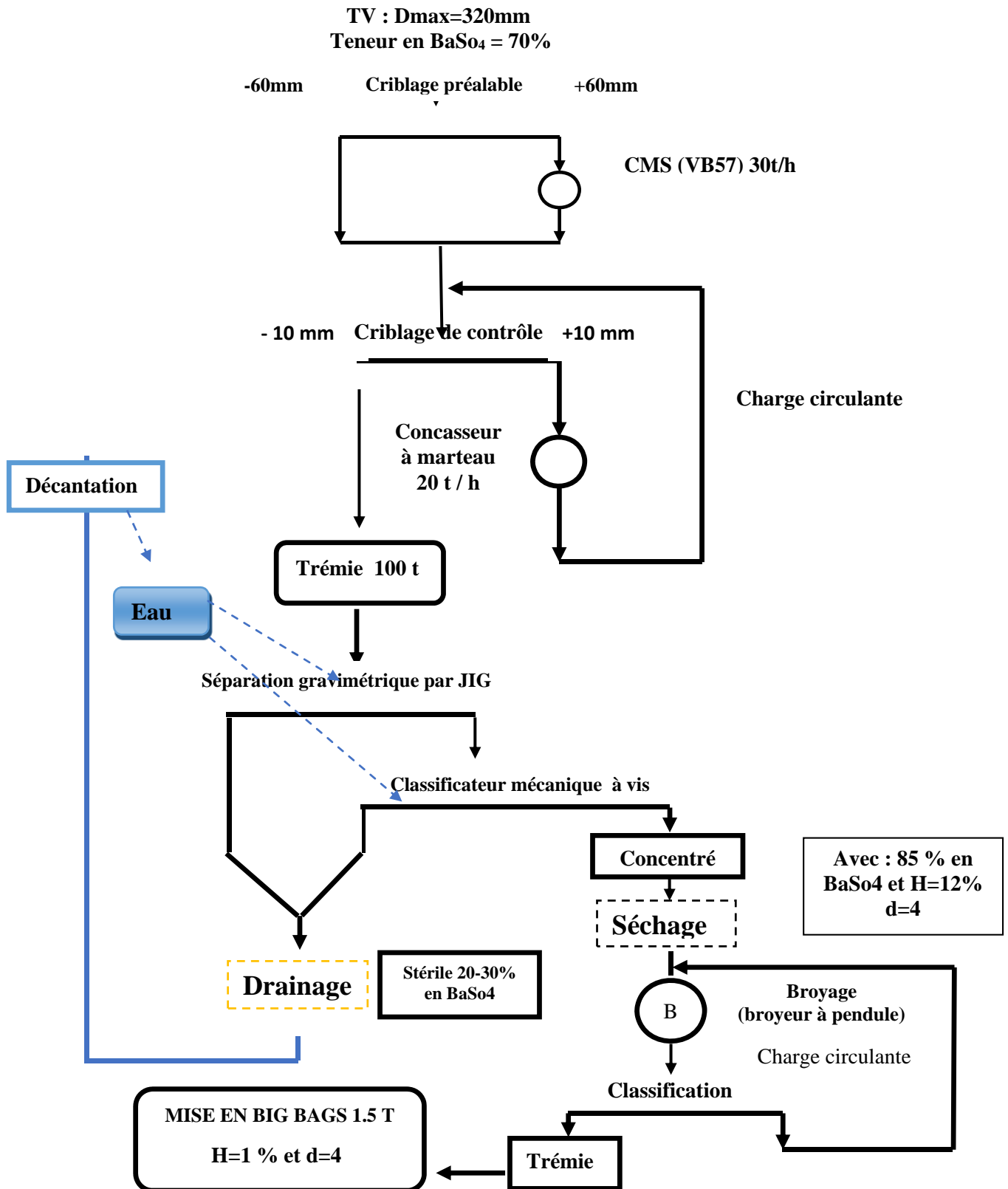


Figure III.01 : Schéma technologique de traitement de la Barytine de Ain Mimoun. [12]

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

I.1. Description du processus :

Cette étape est très importante, ayant pour but de fragmenter le minerai jusqu'à une grosseur nécessaire pour la séparation gravimétrique et en même temps elle assure la libération de la barytine de la gangue. Plusieurs opérations contribuant dans cette étape à savoir ; concassage, criblage, broyage et la classification.

Le minerai se conduit vert des cribles à barreaux pour le criblage préalable, ou les blocs hors gabarit plus de 400-450 mm sont débités à part manuellement ou à l'aide de moyen mécanique comme marteau piqueur. [12]

I.1.A. Concassage :

Le concassage constitue la première étape de la comminution. Son objectif n'est pas la libération des minéraux, mais simplement la réduction de dimension afin de faciliter la manipulation ultérieure du minerai. Il est normalement fait à sec en deux ou trois étapes. [13]

Le minerai stocké sur une aire de stockage de tout-venant est repris par une pelle chargeuse qui le déverse dans une trémie réceptrice installée au-dessus du concasseur primaire une grille de protection pour ne laisser passer que les blocs inférieurs à 320 mm, le concasseur primaire à mâchoire de marque **BERGEAUT (VB57)** est alimenté par un vibro-alimentateur situé au fond de la trémie réceptrice qui permettait d'avoir une alimentation constante et régulière. Les produits obtenus après fragmentation ont une dimension inférieure à 60 mm, la capacité du concasseur primaire est de 20 t/h. [12]

Les concasseurs à mâchoires consistent en deux plaques de métal placées en angle, l'une fixe et l'autre pouvant pivoter autour d'un point d'ancrage, lui permettant d'exécuter un mouvement de va-et-vient. Le matériel alimenté entre les mâchoires est alternativement écrasé et relâché par leur mouvement de va-et-vient, jusqu'à ce qu'il sorte par l'extrémité inférieure.

Les plaques peuvent être lisses ou cumulées, ces dernières meilleures pour des minerais durs ou abrasifs. L'angle entre les mâchoires est inférieur à 26°, car un angle plus grand produirait du glissement qui réduit la capacité et augmente l'usure. [12]

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

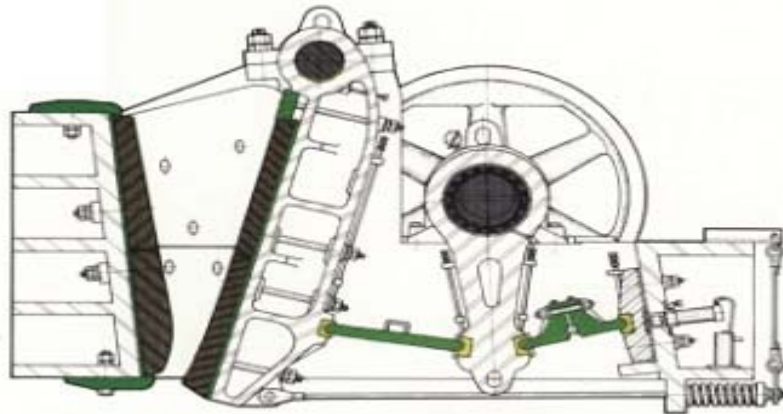


Figure.III.2 Concasseur à mâchoires à simple effet. [13]

1. mâchoire fixe. 6. plaques articulées.
2. Mâchoire mobile. 7. ressort.
3. Volant. 8. la tige.
4. Arbre excentrique. 9. les plaques des revêtements.
5. La bielle.

➤ Principe de fonctionnement :

Il se compose de deux mâchoires. L'une est fixe **1**, et l'autre mobile **2**, autour d'un axe, La mâchoire mobile est animée d'un mouvement alternatif par un volant **3**, excentrique **4**, bielle**5**, et deux plaques articulées **6**. La mâchoire mobile se rapproche de la mâchoire fixe lorsque la bielle commandée par l'excentrique, monte lors de la rotation de l'arbre excentrique à l'aide de la bielle et les plaques articulées provoquant un mouvement de va-et-vient de la mâchoire mobile. Le retour de la mâchoire mobile est assuré par son propre poids et le ressort **7**, avec la tige **8**. Le concassage de minerai s'effectue périodiquement au rapprochement des mâchoires, lors de recul de la mâchoire mobile de celle fixe, s'effectue le déchargement des matériaux concassés. [12]

I.1.B. Criblage de contrôle :

Le minerai de granulométrie inférieure à 60 mm est acheminé à l'aide d'une bande transporteuse sur un crible vibrant de marque **BERGEAUT CVB 1020**. Le crible muni d'une toile tissée de mailles de 10 mm d'ouverture. Le refus du crible (+10mm) passe dans un concasseur à percussion (à marteau) pour réduire la dimension jusqu'à 10mm. Après

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

fragmentation, la charge retourne avec le minerai sorti du concasseur primaire et déversé sur le même crible pour contrôler la granulométrie.

Le crible vibrant installé dans la chaîne de traitement de Ain Mimoun est dans une mauvaise état, ce qui influe sur l'efficacité de séparation du jig. [12]



Figure III.3 : Crible vibrant de Ain Mimoun.

I.1.C. Concassage secondaire :

Le refus du crible +10 mm passe dans un concasseur à percussion de marque **LORO PARISINI**. Après fragmentation la charge retourne avec le minerai qui sort du concasseur primaire sur crible. [12]

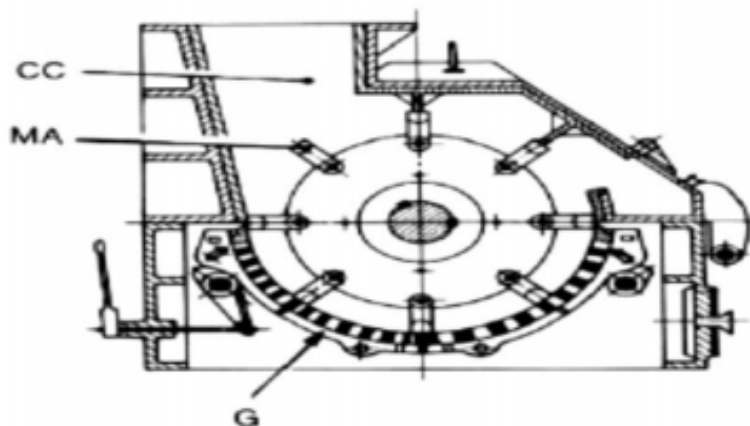


Figure III.4 : Concasseur à percussion (mono rotor à marteau articulé) [13]

CC : Chambre de concassage.

MA : Marteau articulé.

G : Grille de décharge.

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

➤ Mode de fonctionnement du concasseur à marteaux :

Le mode d'action principal de ces concasseurs est la percussion. Celle-ci peut être soit directe sous l'action d'outils métalliques tournant à grande vitesse, soit indirecte par projection des matériaux à très grande vitesse contre des plaques de choc formant des enclumes fixes. Les appareils sont donc munis de rotors équipés d'outils de choc qui tournent à grande vitesse autour d'un axe, généralement horizontal, à l'intérieur d'une chambre de concassage dont la sortie peut être équipée d'une grille. Communément, on différencie les concasseurs à impact (percussion indirecte) des concasseurs à marteaux articulés (percussion directe), bien que tous les deux conjuguent les mêmes modes d'action. Le passant du crible dont la granulométrie est inférieure à 10 mm transporter à l'aide d'une bande transporteuse est déverser dans une trémie intermédiaire de 100 t, cette dernière permettait, d'une part d'avoir une autonomie de fonctionnement pour le jig de 3 à 4 heures d'autre part d'avoir une alimentation contrôlée et constante au niveau de la section Jigage. [16]

I.2.Séparation par jigage et classification :

Le minerai concassé inférieur à 10 mm stocké dans la trémie qui alimente un jig **WEMCO REMER** qui consiste à enrichir le produit par la séparation des particules légères par voie humide et dont le rendement dépend de la qualité du minerai concassé, de sa granulométrie et du rapport solide / liquide qui doit être de 0,3 à 0,5.

Dans le traitement gravimétrique deux produits sont obtenus :

-Produit lourde dite : concentré.

-Produit légère dite : stérile. [12]



Figure III.5: Jig WEMCO de Ain Mimoun. [12]

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

- Le produit lourd, soit la Baryte, est récupéré du bas de l'appareil dans un classificateur spiral puis évacué vers des chambres pour égouttage. Le concentré ainsi évacué par le classificateur avec une humidité avoisinant de 20 à 25 % et à l'aide d'une bande transporteuse est mis sur une aire de stockage, pour lui permettre de s'égoutter naturellement et de réduire l'humidité, la capacité du jig est de 10 à 12 T/heure.
- Le produit léger, soit les rejets, est acheminés en surface avec l'eau vers une digue pour décantation et stockage et recyclage de l'eau clarifiée. Plan ex
- Le concentré après égouttage est repris par une pelle chargeuse pour y être stocké dans une trémie à proximité du four sécheur. L'usine est alimentée en eau claire par un sondage situé à quelques kilomètres en amont de l'usine, cette eau qui arrive à l'usine par gravité est stockée dans un bassin qui alimente le jig, et l'eau de traitement est recyclée après décantation dans une digue. [12]

I.3. Station de séchage et broyage :

I.3.A. Séchage :

Un sécheur rotatif Soudron CHM200 avec une vitesse de rotation de 2.5 tr / min et une température qui peut atteindre 120 °C. Le sécheur est alimenté en minerai concentré avec H= 12 % max par un distributeur et une bande transporteuse. Le produit se débarrasse de l'humidité 1% max et par l'intermédiaire d'un élévateur, il sera stocké dans la trémie du produit brut. [12]



Figure III.6: Station de séchage. [12]

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

I.3.B. Broyage :

Le broyage est la dernière étape du processus de comminution. Il est accompli par un mécanisme combiné d'abrasion, d'attrition et d'impact soit en milieu sec ou humide. [14]

Le produit séché subit un broyage fin dans un broyeur pendulaire **Soudron SACRE BP16** d'un rendement moyen de 14 tonnes/heure et une séparation en granulométrie dans un séparateur statique où les particules inférieures à 74 Microns sont stockées dans une trémie de stockage de produit fini. Le produit réduit à 74 microns est mis en Big-Bag à l'aide de trois ensacheuses de marque TESTUT et pesé dans une balance électronique. [12]

Alors, Le broyeur pendulaire **BP16** est alimentés par la trémie de produit sec ($d < 10$ mm), ce dernier est broyé jusqu'à une finesse de 3 % max refus de la classe $74\mu\text{m}$, le produit broyé passe à une trémie de stockage par une voie d'air (aspiration par un ventilateur à grande capacité), les schlamms du broyeur sont aspirés et stockés.

Description pour l'installation de broyeur : [15]

1-Le broyeur repose sur la base 1 autour de laquelle se trouve une volute de répartition de l'air de transport de la matière pulvérisée. La base est munie d'aubes profilées qui assurent l'entrée tangentielle de l'air dans le broyeur, ce qui provoque une première sélection.

2- La base supporte le chemin de roulement horizontal 2.

3- Au-dessus de la base se trouve la chambre de broyage 3 composée de segments démontables permettant un accès aisé aux pendules pour leur lubrification et leur démontage durant les périodes d'entretien.

4- L'extrémité inférieure de l'arbre vertical supporte une étoile 5 à deux, trois ou quatre branches

5- A chacune des branches est suspendu librement un pendule vertical 6 par l'intermédiaire de deux tourillons

6- A l'extrémité de chaque pendule se trouve un galet 7 tournant librement. La rotation de l'étoile entraîne les pendules et le broyage s'effectue sous la pression des galets contre le chemin de roulement

7- La matière à broyer est alimentée par le distributeur alvéolaire 8 et tombe dans la base

8- La matière à broyer est reprise par les socs 9 pour être projetée entre les galets et le chemin de roulement.

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun



Figure III.7 : Broyeur à pendules (pendulaire). [15]

I.3.C. Ensachage et conditionnement :

Le produit fini est ensaché et conditionné dans des big - bag de 1,5 tonne par des ensacheuses de marque Testut. Un contrôle est effectué par prélèvement sur chaque lot de 20 tonnes, les résultats sont consignés sur le registre journalier de production de produit. [12]

II. Les capacités et l'état des installations :

La station de concassage criblage est reconnue vétuste et pose les problèmes suivants :

- Arrêts fréquents.
- Difficultés de réparation compte tenu de l'ancienneté des équipements (difficultés de trouver des pièces sur le marché, irrationalité du système de criblage ...etc.) On voit qu'en cas d'augmentation de la production, les capacités opérationnelles seront en mesure d'y faire face, sans doute avec plus de difficulté de maintenance. la rénovation des installations de concassage sont prévues. [12]

Tableau III.01 : Les capacités et l'état des installations [12]

Désignation	Capacité installée en T/Heure	Capacité actuelle en T/Heure	Etat des équipements
Concassage primaire	60	30	Mauvais
Concassage secondaire	35	18	Mauvais
Jig	20-30 en tout-venant	12 à 15	Etat de dégradation très avancé
Séchage	12-16	12-16	Bon
Broyage fin	12-15	12-15	Bon
Conditionnement	16	10-12	Bon

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

III. Technologie de traitement du minerai :

Dans l'usine la méthode utilisée c'est simple, la séparation gravimétrique vue la composition du tout- venant, sans introduction de produit nocif. Avec cette méthode, on ne peut pas obtenir plusieurs concentrés en même temps, et elle nous ne permet pas d'avoir le concentré de haute qualité. Des fois, on trouve un grand problème de séparation de deux produits ayant de poids spécifique proche l'un de l'autre. Avec cette méthode, on est obligé d'utiliser d'autres méthodes d'enrichissement. [18]

A l'unité, on obtient le concentré de baryte ayant une teneur de 82% en $BaSO_4$, qui est acceptable comme boue de forage pétrolier, mais elle est faible pour d'autres industrie, tels que la céramique ou la peinture qui exige un concentré ayant une teneur supérieure à 95% en $BaSO_4$, alors à l'unité ils sont obligés d'avoir cette qualité pour l'exigence du consommateur, de passer le concentré plusieurs fois dans le cycle du schéma de traitement.

Le minerai est transporté à l'usine par des camions dont leurs capacités sont de 20t, dans un stock où elle se fait l'homogénéisation, vu la teneur en $BaSO_4$ des filons est variable. Plus tard, le minerai se conduit vert des cribles à barreaux pour le criblage préalable, ou les blocs hors gabarit plus de 400-450 mm sont débités à part manuellement ou à l'aide de moyen mécanique comme marteau piqueur. Après ce stade le minerai passe à travers trois stades de concassage. Dans le premier stade pour un concassage grossier utilisent un concasseur à mâchoires, et pour l'intermédiaire - un concasseur à cônes et en fin un concasseur à cylindre est destiné pour le concassage fin. [18]

La productivité de cette chaîne est de 30-40t/h, selon l'indice moyen en fonction de la composition granulométrique du minerai arrivant du fond et de la carrière.

Le minerai alimenté pénètre dans la trémie d'alimentation du produit initial ou (tout venant) de volume de 50m³ afin d'assurer la disponibilité du minerai durant le travail d'un poste. L'alimentateur vibrant fait envoyer le minerai dans le concasseur à mâchoires, où il sort à une dimension de 60-80 mm à l'aide du transporteur. Tandis que le minerai de granulométrie inférieure à 60mm est acheminé à l'aide d'une bande transporteuse sur un crible vibrant muni d'une forme tissée à mailles de 25 mm d'ouverture.

Le minerai concassé inférieure à 8 mm stocké dans la trémie alimente le jig qui consiste à enrichir le produit par la séparation des particules légères par voie humide et dont le rendement dépend de la qualité du minerai concassé, de sa granulométrie et du rapport solide /liquide qui

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

doit être de 1/2 à 1/3, après traitement gravimétrique deux produits sont obtenus : Une fraction lourde dite : concentré, une fraction légère dite : stérile. [18]

La fraction lourde (concentré) par l'intermédiaire d'une goulotte est déversée dans un classificateur à vis sans fin. Cette dernière assure la remonte du concentré en continu tout en laissant s'écouler l'eau. Le concentré évacué par le classificateur avec un taux d'humidité voisin à 20-25% est mis sur une aire de stockage à l'aide d'une bande transporteuse, pour lui permettre de s'égoutter l'avantage. La capacité du jig est de 10 t/h.

La fraction légère (stérile) est évacuée sur une aire de stockage à l'aide d'une goulotte, après d'être égouttée, elle est récupérée à l'aide d'une chargeuse pour être stockée à l'extérieur du site.

Le concentré après égouttage est repris par une pelle chargeuse pour y être stocké dans une trémie à proximité de four séchoir.

L'usine est alimentée en eau claire par un sondage situé à quelques kilomètres en amont de l'usine, cette eau arrivée à l'usine par gravité est stockée dans un bassin ayant pour but d'alimenter le jig par contre l'eau de traitement est recyclée après la décantation dans un jig.

Le minerai est traité dans le but d'obtenir un produit marchand conforme à la norme API spécification 13 A section 2 (densité > 4,20).

Finalement, le concentré obtenu rejoint la station de séchage au niveau d'un four rotatif à séchage direct, à l'aide d'un élévateur à godet, le minerai passe dans le broyeur pendulaire pour le broyage fin là où il atteint une dimension très fine inférieure à 0,074mm.

Les schlamms du broyage sont aspirés et stockés dans des filtres. Le produit fini marchand est ensaché dans des sacs de 50 kg sur palettes de 02 tonnes houssées et cerclées et conditionnées dans des big-bag de 1,5 tonne. Un contrôle est effectué par prélèvement sur chaque lot de 20 tonne, les résultats sont consignés sur le registre journalier de production du produit fini. L'identification des lots est décrite selon la procédure d'identification et traçabilité.

La capacité nominale de l'usine est conditionnée par le concentré issu de l'atelier de jigage qui environ de 10 t/h. [18]

Traitement de minerai barytique d'Ain Mimoun

Conclusion :

La méthode de traitement gravitationnelle appliquée au niveau de la mine de Ain Mimoun a démontré ses limites. Le concentré obtenu par la chaîne de traitement actuel ne répond pas en quantité et en qualité aux exigences de certains consommateurs (produits pharmaceutiques et chimiques etc.).

La méthode de traitement gravitationnelle est considérée comme étant la plus économique, cependant certains problèmes demeurent sans solutions.

- Concentré de moyenne qualité
- Granulométrie limitée (difficulté pour les fines)
- Décharge de stériles nocives dans l'environnement.
- La dureté des autres roches.

La valorisation interne du produit reste faible et ne pourra pas satisfaire en quantité et qualité la demande nationale vu la structure actuelle des ateliers et le schéma technologique de traitement utilisé. Entraînant ainsi :

- Pertes en minéral utile dans les stériles avec une teneur en BaSO_4 de 20 à 30%
- Diminution de la capacité de production projetée
- Augmentation du prix de revient d'une tonne de concentré de barytine. [12]

CHAPITRE IV :

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.

Résultats et discussions

Introduction :

L'exploitation et le traitement du filon n°4 du gisement d'Ain Mimoun est actuellement en instance, vu à la difficulté d'enrichissement de ce type de minerai par la méthode existée au niveau de l'usine de traitement (la séparation gravimétrique par jigage). Dû à la composition minéralogique différente à celle des autres filons. Une grande teneur en silice qui varié entre 10-20%. Sachant que, une telle teneur peut provoquer un problème d'usure du matériel de traitement, à titre d'exemple les outillés des broyages. Les essais de séparation par jigage, nous permettrions d'obtenir un concentré dans la densité est de 3.9 g/cm^3 .

Un concentré avec une telle densité ne correspond pas aux exigences industrielles, ou la valeur minimale de la densité du concentré de baryte destiné pour la recherche pétrolière doit être égale ou supérieur a 4.2g/cm^3 . Pour cette raison, et dans le but de valoriser de produit de filon 4, une caractérisation des différentes propriétés de ce type de minerai a été effectuée.

Les résultats de cette caractérisation nous a permis d'étudier l'influence des impuretés sur la qualité de la Baryte et choisir la méthode optimale pour enrichir le minerai. La séparation par densimètre est la seule voie pour obtenir un concentré est répondant au exigence des consommateurs, dont la densité peut atteindre 4.3g/cm^3

Résultats et discussions

I. Caractérisation du minerai barytique de Ain Mimoun :

L'étude de caractérisation a pour but de déterminer les différentes espèces minérales constituant le minerai d'Ain Mimoun et leurs proportions. Dans cette étude on a aussi réalisé quelques essais sur des échantillons prélevés lors du stage pratique au sein de la mine.

I.1. Aspect physique :

-Couleur : grise blanche. -Insoluble dans l'eau. -Impénétrable par les RX.

I.2. Propriétés physiques : [19]

- Densité de Chatelier : (3.5-4.3) g/cm³ MIN
- Métaux alcalino-terreux exprime en calcium : 250mg/kg MAX.
- Résidu 75microns : 3% en poids MAX.
- Particules inférieure à 6 microns : 30% en poids MAX.

II. Méthode d'échantillonnage :

L'échantillonnage est l'opération qui permet d'obtenir plusieurs échantillons représentatifs à partir d'un seul échantillon primaire en le divisant suivant des procédures bien précises ou bien en utilisant des machines conçues spécialement pour ça. Cette étape est très importante dans une opération de valorisation, car c'est à partir de là qu'on peut juger la fiabilité des résultats en fonction de la manière de l'effectuer. Il s'agit d'une phase décisive du travail, car seul le bon échantillonnage assure la représentativité de l'échantillon et donc la conservation des propriétés initiales du tout-venant. [20]

On distingue les méthodes suivantes :

II.1. Quartage manuel :

Le minerai doit être disposé sur une surface plane en formant un parallélépipède de faible épaisseur. Après brassage, il est partagé en quatre quarts équitables, dont deux quarts opposés vont constituer l'échantillon. Le reste constituera un stock témoin. Il est aussi possible de procéder en formant un cône qui sera aplati par la suite de manière à obtenir un cylindre de faible épaisseur. La prise de l'échantillon et la manière de la faire est la même que celle décrite précédemment, par deux axes perpendiculaires. On réitère l'opération jusqu'à atteindre la quantité voulue. [20]

Résultats et discussions

II.2. Diviseur rotatif :

C'est une opération qui consiste à diviser une quantité de minerai donnée en plusieurs parties représentatives et homogènes en utilisant un appareil spécifique qu'on nomme le diviseur rotatif. Le minerai est déposé sur une goulotte d'alimentation de vitesse réglable qui permet de transporter le minerai vers la couronne dont la vitesse de rotation est réglable à son tour. Cette dernière est responsable de la répartition de l'échantillon sur les récipients. A la fin de l'opération, tous les récipients sont homogènes et représentatifs et peuvent être objet d'analyses et diverses manipulations nécessaires. [20]

III. La composition minéralogique :

Le gisement barytine appartenant aux gisement hydrothermaux présente la caractéristique spécifique se reflétant surtout sur son para genèse minéral, Le filon est constitué essentiellement par une mono-minéralisation barytine associée parfois à des intercalations carbonatées, cette association minérale peut se développer aussi dans des paries des roches encaissantes, la minéralisation calcique et Quartzique souvent présenté en quantité considérable. [12]

Tableau IV.01 : Composition minéralogique de la barytine de Ain Mimoun. [12]

Minéral	Densité	Dureté	Couleur
Sulfate de Baryum BaSO₄	4,4	3 - 3, 5	Blanche
Calcite CaCO₃	2,72	2,5 - 3	Incolore ou blanc opaque
Quartz SiO₂	2,5 - 2,6-5	7	Blanc
Hématite Fe₂O₃	5,26	5 - 6	Gris ou noir
Galène PbS	7,58	2,5	Gris de plomb
Covelline CuS	4,6 - 4,76	1,5 - 2	Bleu
Malachite Cu₂CO	3,9 - 4,05	3,5 - 4	Vert brillant
Feldspath KAlSi₃	2,5 - 2,6	6 - 6,5	Incolore
Bauxite Al₂ O₃	2, 5	Friable	gris bleuté

Résultats et discussions

IV. L'analyse granulométrique :

IV.1. Description de l'essai :

Le matériau est séché dans l'étuve à une température de 105 °C (ou sur une plaque chauffante), après on fait l'homogénéisation en utilisant le diviseur pour un échantillon représentatif. On emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fines. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage.

On appellera tamisât le poids du matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.



Figure IV.01: Tamiseuse électro-vibrante de laboratoire des mines. [12]

IV.2. Le résultat de l'analyse granulométrique :

Les résultats de la composition granulométrique du tout-venant TV qui alimente le jig sont représentés dans le tableau suivant :

Résultats et discussions

Tableau IV.02: Résultats d'analyse granulométrique du TV concassé qui alimente le jig.

Tranches Granulométriques En (mm)		Poids en (g)	Rendements		
			Partiale y en (%)	Cummulé des classes refus $\downarrow \sum y$ en (%)	Cummulé des classes passées $\uparrow \sum y$ en (%)
-10	+8	89.7	7.1	7.1	100
-8	+6	202.6	16.05	23.15	92.9
-6	+4	198.1	15.69	38.84	76.85
-4	+2	172.8	13.69	52.53	61.16
-2	+01	158	12.52	65.05	47.47
-1	+0.85	19.3	1.55	66.6	34.95
-0.85	+0.50	101.5	8.04	74.64	33.4
-0.5	+0.16	165.2	13.09	87.73	25.36
-0.16	+00	154.8	12.27	100	12.27
Total		1262	100		

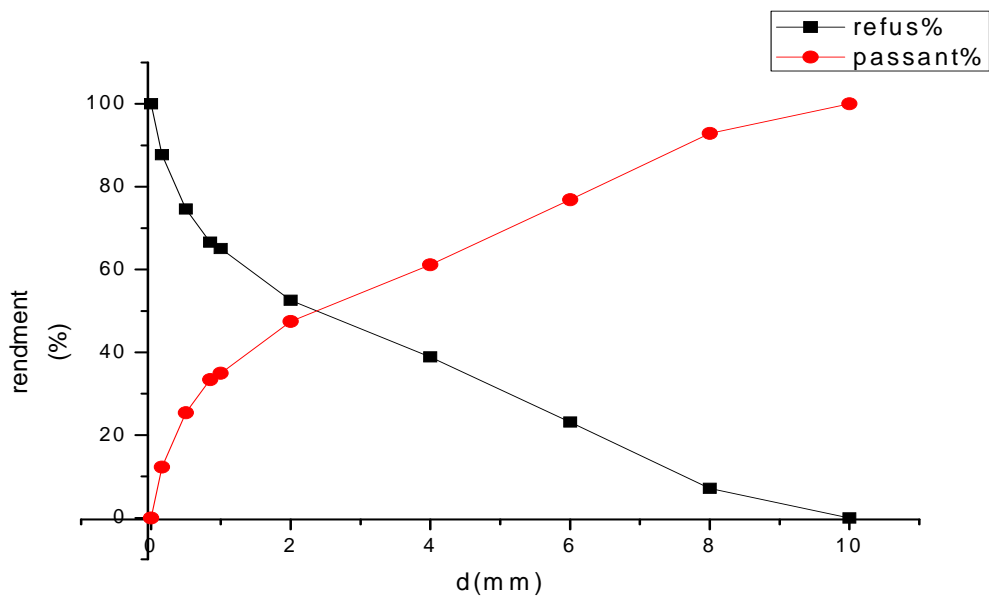


Figure IV.02 : La courbe d'analyse granulométrique.

D'après la courbe granulométrique on remarque qu'il y a beaucoup plus de particules fines que les particules grosses, on peut dire que le minerai de baryte d'Ain Mimoun est tendre.

Résultats et discussions

V. L'analyse de densité :

V.1. Mesure de la densité de chaque tranche :

La densité est l'une des propriétés bien connue de la barytine et lié directement à son usage dans plusieurs domaines. Cette propriété varie en fonction de la teneur en BaSO₄. On a réalisé l'essai de densité sur chaque tranche granulométrique pour déterminer la tranche la plus riche en BaSO₄.

V.2. Description de l'essai :

La densité est le rapport de la masse volumique d'un solide sur la masse volumique du liquide utilisé pour mesurer la densité (l'eau en général). Il existe plusieurs méthodes pour déterminé la densité, la méthode pycnométrique est utilisée dans notre présente étude. Qui se base sur le changement d'un volume connue (V_i) a un volume final (V_f) après de déverser une masse connue d'une tranche granulométrique dans le pycnomètre gradué.



Figure IV.03: Pycnomètre gradué utilisé pour l'essai. [12]

La densité = la masse volumique du solide / la masse volumique du liquide (eau)

$$d = \rho_{\text{solide}} / \rho_{\text{eau}}$$

ρ_{solide} : la masse volumique du solide (g/ cm³). ρ_{eau} : la masse volumique du liquide (eau) (g/ cm³).

La masse volumique calculée selon la formule suivante :

$$\text{la masse volumique} = \frac{\text{masse du solide}}{\text{volume finale} - \text{volume initial}} (\text{g/ cm}^3)$$

Résultats et discussions

La masse du solide : la masse de tranche prélevée (g).

Volume initial dans le pycnomètre : V_i en (cm^3).

Volume final dans le pycnomètre : V_f en (cm^3).

La masse volumique du liquide (eau) $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g} / \text{cm}^3$.

V.3. Expression des résultats :

Les résultats des densités obtenues de chaque tranche sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.03: Résultats de la densité de chaque tranche avant jig.

La tranche granulométrique (mm)	masse (g)	V_i (cm^3)	V_f (cm^3)	P solide (g / cm^3)	Densité
-10.0 +8.00	89.6	150	173	3.58	3.89
-8.00 +4.00	198.1	150	205	3.6	3.61
-4.00 +2.00	172.8	200	245	3.84	3.84
-2.00 +1.00	158	200	245	3.95	3.51
-1.00 +0.85	19.3	100	105	3.86	3.86
-0.85 +0.50	101.5	200	230	3.40	3.40
-0.50 +0.16	165.2	180	220	4.13	4.13
-0.16 +0	154.8	250	290	3.88	3.88

Résultats et discussions

Tableau IV.4 : L'analyse de la densité de Concentré de jig (concentré). [19]

La tranche granulométrique (mm)		Densité
-10.00	+8.00	3.97
-8.00	-4.00	3.85
-4.00	+2.00	4.02
-2.00	+1.00	4.03
-1.00	+0.85	3.9
-0.85	+0.50	3.84
-0.50	+0.16	4.21
-0.16	+0	4.11

D'après l'analyse de la densité : les tableaux présentent des densités en fonction de la granulométrie des tranches, ils montrent que la tranche la plus riche en BaSO_4 est celle de [0.5 à 0.16] avant et après jigage, par contre les tranches supérieures de cette classe sont pauvres.

VI. La composition chimique :

Tableau IV.05 : la composition chimique de la barytine de Ain Mimoun [17]

Teneur des éléments majeurs (%)											
BaSO_4	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	SrO	P_2O_5	PAF
70.82	23.13	0.46	0.60	1.45	0.01	0.52	0.01	0.39	2.19	-----	0.80

D'après l'analyse chimique, nous constatons que :

La composition chimique de La barytine de Ain Mimoun il est remarquable que le sulfate de baryum BaSO_4 est dominant (70.82 %) avec une présence d'une teneur importante de silice (SiO_2). Il contient des teneurs très faibles d'autres éléments (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO).

- Alors, la silice est contenue en quantité très élevée dans la baryte de Ain Mimoun.

Résultats et discussions

IV.A. L'analyse granulo-chimique :

Dans le but de savoir la distribution granulo-chimique de minerai et la teneur des classes en BaSO₄ et SiO₂ une analyse a été effectuée sur la Baryte, les résultats des analyses sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.06 : résultats des analyses granulo-chimique avant Jig. [21]

Classe(mm)	Teneur de BaSO ₄ et SiO ₂ en baryte(%)	
	BaSO ₄	SiO ₂
-8 +6	76.81	17.03
-6 +4	74.25	18.13
-4 +2	73.63	20.07
-2 +01	68.52	26.80
-01 +0.85	70.64	24.12
-0.85 +0.5	72.52	19.03
-0.5 +0.16	76.01	17.19
-0.16 +0	79.49	16.86

Tableau IV.07 : résultats des analyses granulo-chimique après Jig. [21]

Classe(mm)	Teneur des éléments majeurs (%)	
	BaSO ₄	SiO ₂
-8 +6	81.29	13.43
-6 +4	81.57	12.33
-4 +2	78.44	15.35
-2 +01	78.09	15.50
-01 +0.85	76.84	16.19
-0.85 +0.5	79.25	14.11
-0.5 +0.16	80.33	11.79
-0.16 +0	82.50	9.96

D'après les résultats des analyses granulo-chimiques, nous constatons que :

- La silice est contenue en quantité très élevée dans toutes les classes granulométriques.
- Dans les deux produits, l'alimentation de jig et le concentré jigué, le taux le plus élevé en silice libre est contenu dans les classes granulométriques [4 à 2], [2 à 1], [1 à 0.85] et [0.85 à 0.5].

Résultats et discussions

Une telle teneur en Silice supérieur entre 14.11 et 26.90 % est indésirable pour la préparation ultérieure du concentré jigé dans le broyeur, car elle influe sur la qualité de baryte (mauvaise rendement) et elle peut provoquer une usure accélérée des pendules et chemin des roulements d'installation de broyage, ce qui a été prouvé par l'analyse du minerai afin de déterminer la quantité des composantes abrasive.

Alors, on a besoin d'une autre opération de séparation est obligatoire, afin d'obtenir un concentré avec une teneur en silice acceptable. La méthode densimétrique est la plus favorable vu aux propriétés physiques et la dimension plus efficace et les autres avantages technico-économiques.

VII. Séparation gravimétrique :

Les méthodes gravimétriques sont sans aucun doute la procédure de concentration de minerais la plus ancienne. Ces méthodes de séparation sont utilisées pour une grande variété de matériaux, allant des sulfures lourds (galène) jusqu'au charbon pour des dimensions de particules jusqu'à 50 m. Suite au développement de la flottation, ces méthodes ont perdu en popularité. Elles demeurent cependant les méthodes par excellence dans la séparation du fer et de l'étain. Elles sont aussi préférées quand la libération des minéraux de valeur se produit à des dimensions de particules plus grandes que le rang normalement utilisé dans la flottation (typiquement pour les minerais de fer, d'étain, de wolframite, etc.). [22]

Comme ces méthodes n'utilisent pas de réactifs chimiques, elles sont beaucoup moins polluantes et ont des coûts d'opérations inférieurs aux autres procédés de séparation. Les coûts d'épaississage des concentrés produits par séparation gravimétrique sont aussi inférieurs en raison de la plus grande dimension des particules et de l'absence de réactifs. À cause des coûts croissants des réactifs de flottation, les méthodes de séparation gravimétrique commencent à reprendre de l'intérêt dans les usines minéralurgiques. Des nouveaux appareils, capables de traiter en-dessous de 50 :m et avec de plus grandes capacités, ont aussi été développés. [22]

Quoi qu'il en soit, les méthodes de concentration gravimétrique s'avèrent très avantageuses comme première étape de séparation (pré concentration), laissant la flottation ou autres méthodes pour nettoyer les concentrés ainsi produits, à un coût inférieur (car le volume de matériel à traiter est maintenant inférieur). On peut classer ces méthodes en trois grandes catégories :

Résultats et discussions

- a) par liquides lourds,
- b) par accélération différentielle,
- c) par nappe pelliculaire fluant, [22]

VII.1. Séparation par accélération différentielle :

C'est une des plus anciennes méthodes de séparation par gravité. On l'utilise plutôt dans le rang des particules grossières. Pour des particules assez homogènes en dimension (3 à 10 mm), on peut produire une assez bonne séparation même pour les minéraux dont la densité est très semblable (fluorite, 3.2 et quartz, 2.65). Plus la différence de densité est élevée, plus de marge de manœuvre on dispose vis-à-vis la dimension des particules. La séparation est produite ici par la stratification des particules dans un lit rendu fluide par un courant d'eau intermittent.

L'objectif est de dilater suffisamment le lit pour que les particules plus pesantes (et plus petites) pénètrent dans les interstices du lit en même temps que les particules plus grosses se déposent dans des conditions similaires à la sédimentation entravée. Typiquement, une jig est capable de traiter 4 (t/h) /m² de lit sous forme de suspension à environ 50% de solides (poids)[23]

VII.2. Séparation par nappe pelliculaire fluente :

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

- a) la sédimentation de la particule,
- b) le déplacement sur le fond.

VII.3. Séparation par milieux denses :

La séparation est réalisée dans un liquide de masse volumique déterminée. Elle constitue la seule utilisation réelle de la gravité. En laboratoire, on emploie des liqueurs organiques, tandis qu'industriellement ce sont des suspensions (pseudo-solutions) d'un matériau fin et dense dans l'eau. [23]

VIII. Séparation par milieux denses (heavy media séparation) :

Elle consiste à plonger le minerai dans un fluide dont la masse volumique est comprise entre celle de la composante lourde et celle de la composante légère. La séparation se fait

Résultats et discussions

suivant la poussée d'Archimède aidée ou non par la force centrifuge (selon l'appareil utilisé). La précision de la séparation dépend essentiellement des qualités du fluide et du degré de libération atteint. [22]

C'est un procédé qui offre de nombreux avantages sur d'autres méthodes : on peut obtenir des séparations assez prononcées avec des différences de densités plutôt faibles et en traitant des débits importants (ce qui fait le procédé plus rentable) et on peut produire des stériles dès les premières opérations, ce qui simplifie le circuit en aval. Cependant, c'est un procédé relativement coûteux surtout en raison du coût de récupération du fluide utilisé. [22]

Idéalement, le milieu dense à utiliser devrait être homogène, ce qui limite le choix à des liquides organiques normalement assez dispendieux et très souvent toxiques. Ce type de produits est alors utilisé exclusivement lors des expériences de laboratoire. Au niveau industriel, le choix du milieu dense a alors été porté vers des solutions à densité élevée (choix plutôt restreint) comme le chlorure de calcium ou vers des pseudo-solutions, en réalité, des suspensions de solides à masse volumique élevée et finement divisés. [22]

VIII.1. Avantages du procédé :

Les débits admis peuvent être très importants. L'écart probable est le plus souvent faible et l'on peut espérer faire une bonne séparation avec un simple écart de densité Δd 0,05. Ce procédé peut produire un stérile rejeté dès les premières opérations, ce qui limite le circuit aval. Le prix de revient est souvent modéré, le coût étant lié aux pertes en médium. [22]

C'est ainsi qu'on a développé des milieux denses composés de suspensions de barytine et d'argile en eau ($D=1.6$) pour le traitement du charbon ou de galène en eau ($D=2.7$) pour le traitement de minerais. Plus récemment, la technologie s'est orientée vers l'utilisation de suspensions de magnétite ($D<2.5$), de Ferro-silicium ($D>2.75$) ou de mélanges ($2.5<D<2.75$). L'utilisation de cyclones DMS permet de monter toutes ces limites d'environ 0.25. [22]

- **Propriétés :**

- Bon taux de sédimentation. -Particules jusqu'à 10cm.
- Diamètre jusqu'à 6 cm. - Flottants retirés de débordement.
- Capacité jusqu'à 500 tph. -Plongeants par pompe (externe), ou par air comprimé (interne).

Résultats et discussions

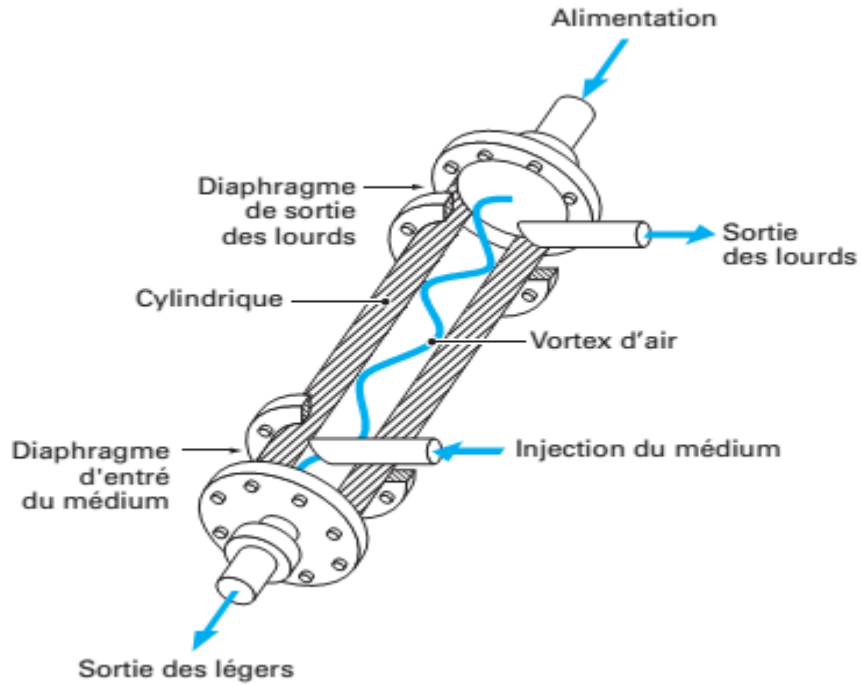


Figure IV.04 : Séparateur Dyna-Whirlpool (Dynamique). [24]

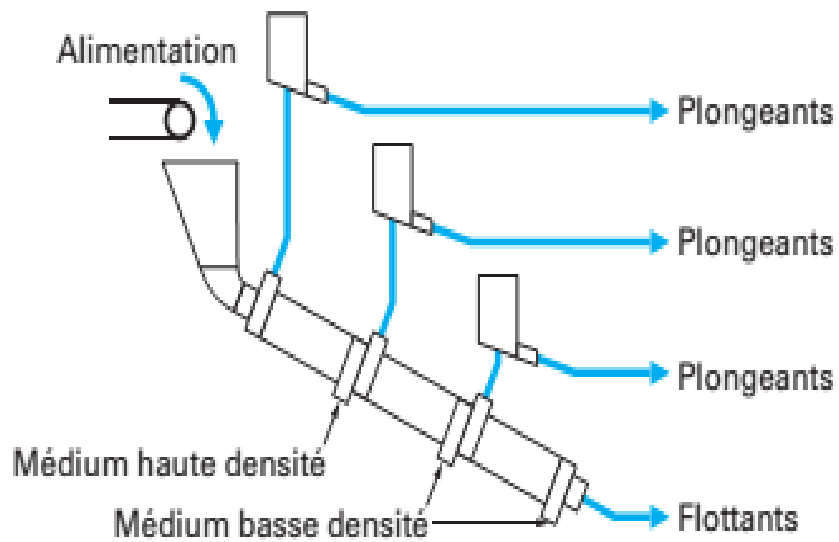


Figure IV.05 : Séparateur Tri-Flo, (Dynamique). [24]

Résultats et discussions

VIII.2. Type des liqueurs denses destinées à la séparation densimétrique :

Les différentes liqueurs trouvant une large utilisation dans la séparation gravimétrique et leurs différentes caractéristiques sont rassemblées le tableau. Leurs masses volumiques croissantes, permettent de séparer le produit en tranche densimétriques. Ces sont en général des liqueurs organiques. Une liqueur des densité d a une masse volumique $p = p_0.d$, étant la masse volumique de la liqueur de référence (généralement l'eau, donc $p_0 = 1$). [23]

Le poids et la teneur des divers plongeurs (et/ou flottants) sont alors déterminés et on calcule ensuite les valeurs suivantes :

- le rendement pondéral de chaque tranche densimétrique,
- le rendement pondéral des plongeurs à chaque densité,
- le rendement pondéral des flottants par différence,
- les teneurs cumulées des plongeurs à chaque densité,
- les teneurs cumulées des flottants par différence.

On appelle rendement pondéral d'un produit : le rapport de la masse de ce produit à la masse de brut (alimentation) exprime en (%). [23]

Tableau IV.08 : les liqueurs utilisées dans la séparation densimétrique. [23]

Liquide	Formule	D [g/cm ³]	Diluant
Polytungstate de sodium	$3\text{Na}_2\text{WO}_4, 9\text{WO}_3, \text{H}_2\text{O}$	< 2.9	Eau
Tétrabrométhane	$(\text{CHBr}_2)_2$	2.96	Acétone, éther
Iodure de méthylène	CH_2I_2	3.32	Acétone, éther
Iodure de Mohrbach	-	3.59	Eau
Liqueur de Clérici	Formiate-malonate dethallium	4.2 à 5	Eau

Résultats et discussions

IX. Etapes de la séparation densimétrique dans le laboratoire :

IX.1. Préparation du minerai à séparer :

- Après avoir effectué l'analyse de tamisage, on doit séparément traiter les classes de grosseur suivants : (-8+5 ; -5+4 ; -4+2.5 ; -2.5+1).
- Chaque classe de grosseur précédente doit subir un déschlammage par lavage au niveau d'un crible avec l'eau, dans le but d'éliminer les fines particules colées sur la surface minérale des grains, influant négativement sur le procédé de séparation.
- Elimination de l'eau résiduelle est obligatoire.

IX.2. Préparation de milieu dense (suspension) :

Dans le cadre des milieux denses, on a utilisé deux différentes liqueurs de différentes densités :

1. Liqueur de Clérici : 4.06 g/cm^3 .
2. Liqueur de Rohrbach : 3.50 g/cm^3 .

Le réglage de la densité des deux milieux se produit en ajoutant de l'eau et de légèrement chauffer la pulpe afin de bien l'homogénéiser et d'obtenir un milieu de séparation uniforme.

IX.3. Récupération du milieu dense :

La récupération du milieu dense est assurée en égouttant les produits traités et les faire bien laver à l'aide d'un crible, dans le but de recycler les liqueurs pour la prochaine opération d'une part et d'une autre pour préserver l'environnement, vu que, ces liqueurs utilisées sont des composants toxiques. [22]

IX.4. Circuit de récupération de l'eau :

Le milieu dense est un gros consommateur d'eau pour la préparation et le lavage intense de l'alimentation est à surveiller pour ne pas trop altérer le niveau densimétrique choisi. [22]

Résultats et discussions

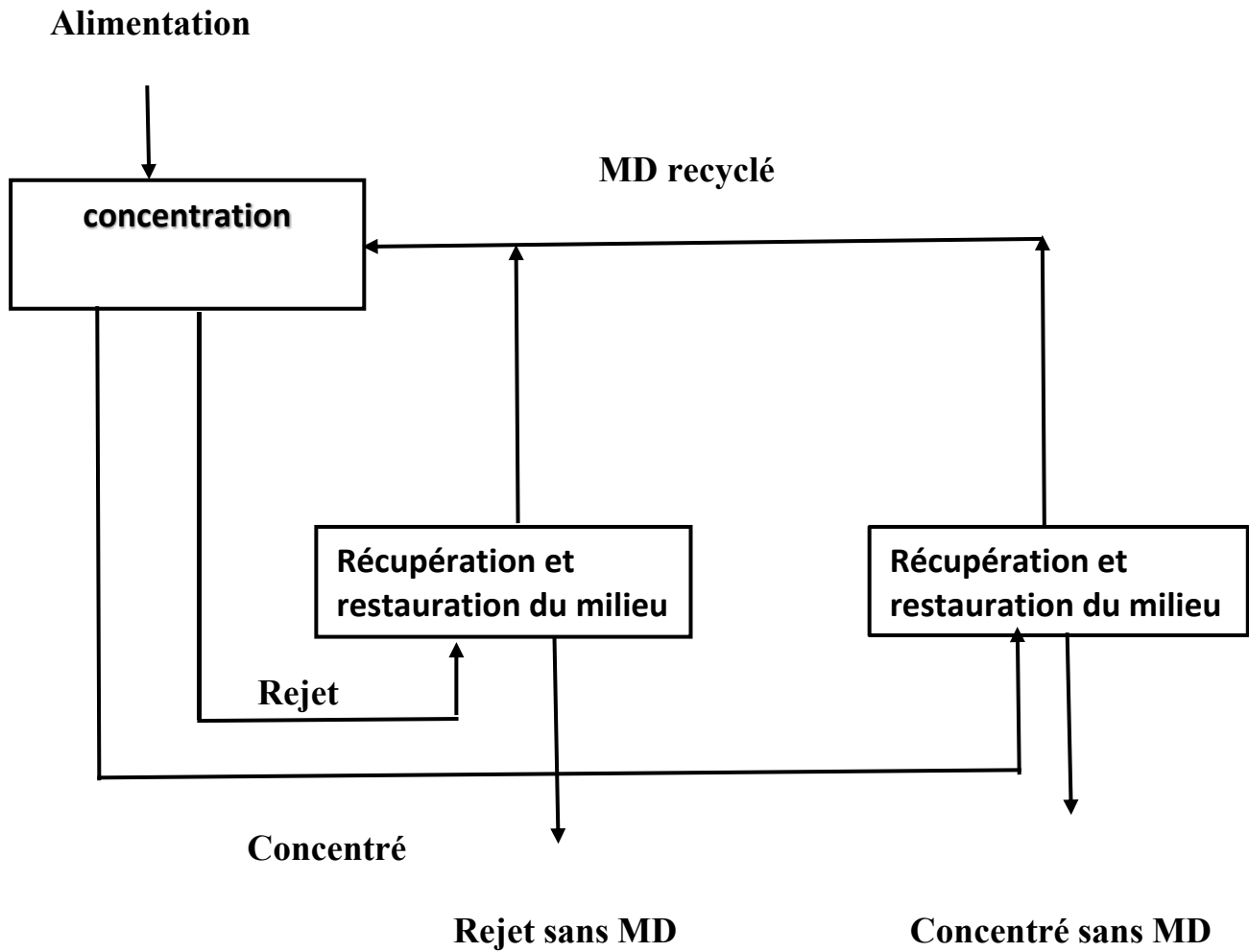


Figure IV.06 : Schéma général de la séparation granulométrique. [23]

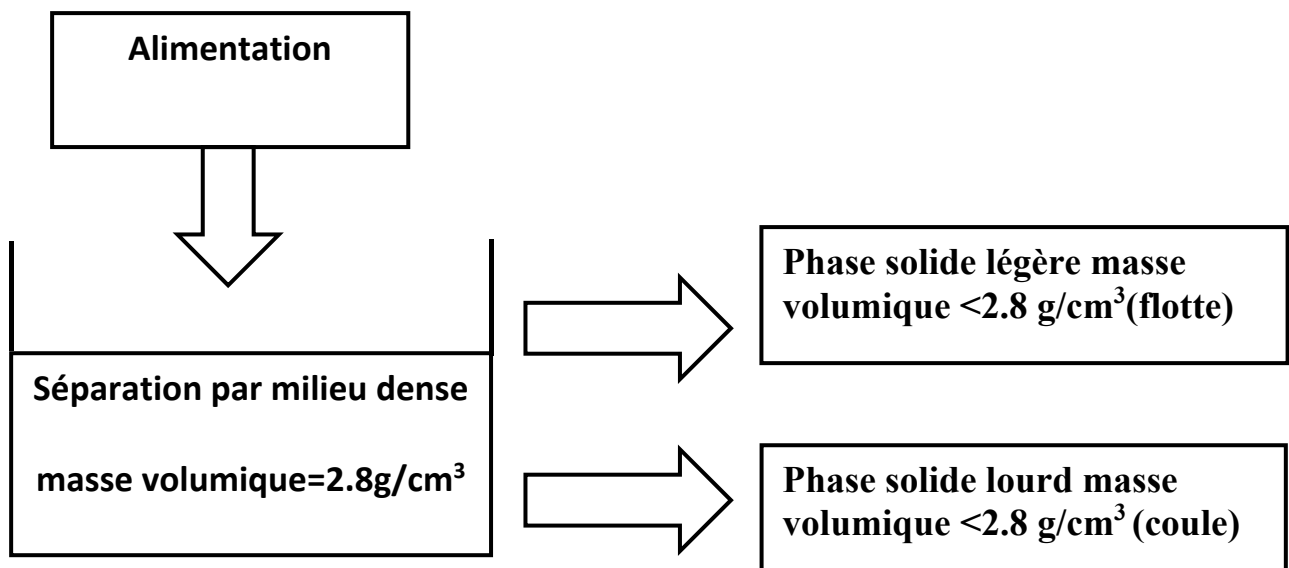


Figure IV.07 : explication de méthode de la séparation densimétrique. [23]

Résultats et discussions

X. Résultats des essais de la séparation densimétrique :

Les essais ont été faits sur une échantillons principaux pris dans des différents composites de filon n°4.

X.01. Echantillon composite :

La densité de minerai est de 3.74g/cm^3 . La séparation a été effectuée par la liqueur de Rohrbach pour les classes de grosseurs : -8+5 ; -5+4 ; -4+2.5 ; -2.5+1. Tandis que la liqueur de Clérici pour les classes : -4+2.5 ; -2.5+1. Les composants chimiques de ces échantillons sont montrés dans le tableaux suivant :

Tableau IV.09 : Résultat de l'analyse chimique de composite. [17]

Teneur des éléments majeurs (%)											
BaSO ₄	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SrO	P ₂ O ₅	PAF
73.98	20.13	0.46	0.60	1.45	0.01	0.52	0.01	0.39	2.19	-	0.80

Le traitement gravimétrique dans les milieux denses d'échantillon. Nous avons permis d'obtenir des résultats suivant la liqueur et les classes de grosseurs utilisées « voir les tableaux suivantes ».

Tableau IV.10: Résultat de la séparation de la fraction lourde avec la liqueur de Rohrbach. [21]

Classes en mm	Densité de la liqueur	Fraction	Rendement pondéral %	Densité
-8+5	3.5	Fraction légère	19.90	-
		Fraction lourde	80.10	4.30
-5+4	3.5	Fraction légère	17.16	-
		Fraction lourde	82.85	4.35
-4+2.5	3.5	Fraction légère	12.50	-
		Fraction lourde	86.90	4.26
-2.5+1	3.5	Fraction légère	16.90	-
		Fraction lourde	81.42	4.33

Résultats et discussions

Tableau IV.11 : Résultat de la séparation de la fraction lourde avec la liqueur de Clérici. [21]

Classes en mm	Densité de la liqueur	Fraction	Rendement pondéral %	Densité
-4+2.5	4.06	Fraction légère	28.08	-
		Fraction lourde	74.57	4.35
-2.5+1	4.06	Fraction légère	20.33	-
		Fraction lourde	81.70	4.37

Tableau IV.12 : Rendement pondéral des fractions lourdes par rapport au T.V. [21]

Classes en mm	Rendement pondéral %	Fraction	Densité
-8+5	21.06	Fraction lourde	4.30
-5+4	9.52	Fraction lourde	4.31
-4+2.5	16.93	Fraction lourde	4.26
-2.5+1	18.33	Fraction lourde	4.33

Tableau IV.13 : Etude minéralogique de la fraction légère. [18]

Densité de la liqueur	Classe en mm	Barytine	Quartz Barytine	Carbonate	Quartz	Agrégats
3.50	-8+5	-	8.3	-	66.7	25
	-5+4	-	3.0	<1	92.3	4.7
	-4+2.5	1	3.0	<1	94.5	1.5
	-2.5+1	-	2.5	1	94.0	3.5

Résultats et discussions

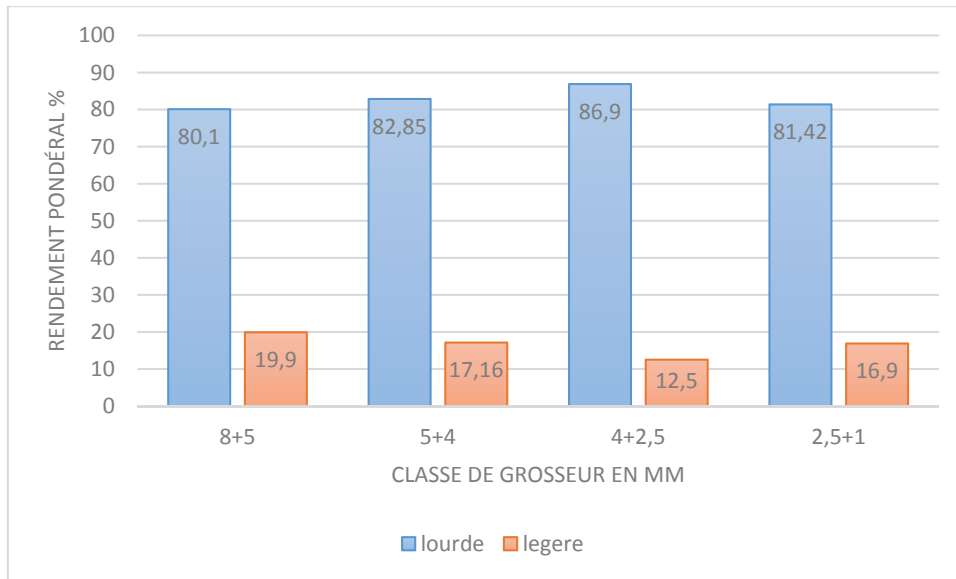


Figure IV.08 : Rendement pondéral des fractions par liqueur de Rohrbach.

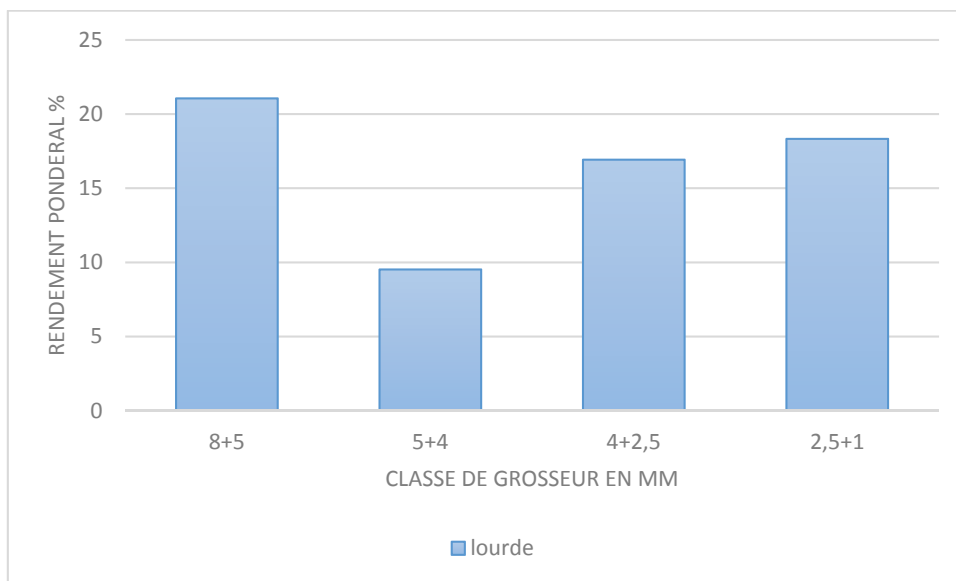


Figure IV.09 : Rendement pondéral des fractions lourdes par rapport au TV.

Résultats et discussions

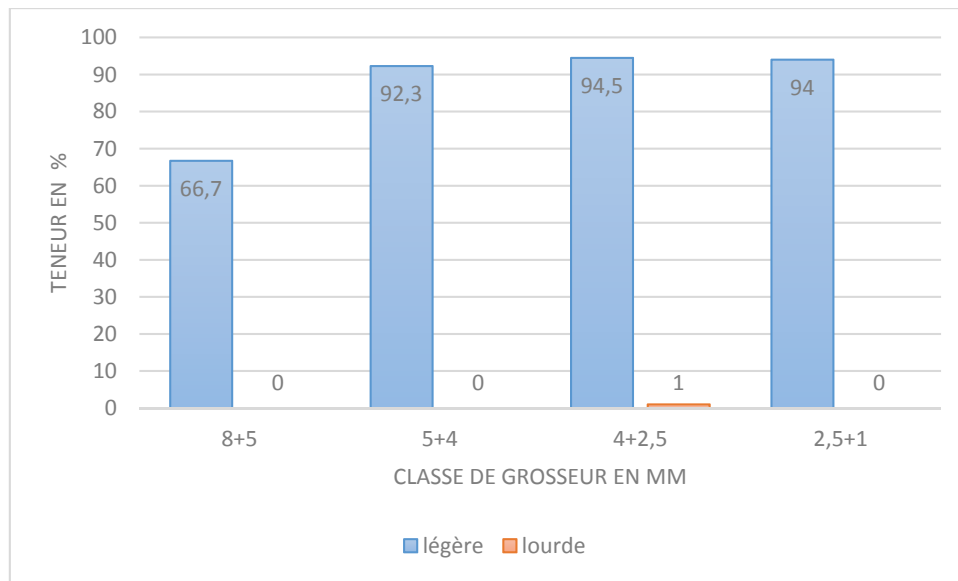


Figure IV.10 : Etude minéralogique des fractions légères

X.02. Analyse des résultats :

L'échantillon composite présente les caractères suivants :

- La barytine est présente en faible teneur (<1%) dans les fractions légères.
- Les gains de quartz représentent des teneurs allant de 66.7 à 94.5% en SiO₂ dans les fractions légères.
- La présence également de quartz liée à la barytine ce qui explique une bonne libération des grains de la barytine.
- La séparation densimétrique a permis de mettre en valeur diminués supérieures à 4.20 g/cm³ (densité minimale industrielle) dans les différentes classes granulométriques.

Résultats et discussions

Conclusion :

D'après les informations rassemblées durant notre stage et les analyses granulométriques, de densité, chimique, granulo-chimique et minéralogique ; On a constaté que la seule impureté qui influe sur notre minerai de baryte est bien le quartz, les autres sont moins d'importance.

Alors, on a besoin d'une autre opération de séparation est obligatoire, afin d'obtenir un concentré avec une teneur en silice acceptable. La méthode densimétrique est la plus favorable vu aux propriétés physiques et la dimension plus efficace et les autres avantages technico-économiques.

Les essais de la séparation densimétrique effectués sur les échantillons qu'il s'agit le filon n°4 d'Ain Mimoun, nous avons permis d'obtenir des différents résultats. D'après les quels, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les grains de quartz représentent des teneurs allant de 66.7 à 94.5% en SiO₂ dans les fractions légères.
- La barytine est présente en faible teneur (<1%) dans les fractions légères.
- La présence également de quartz liée à la barytine ce qui explique une bonne libération des grains de la barytine.
- La séparation densimétrique a permis de mettre en valeur diminués supérieures à 4.20 g/cm³ (densité minimale industrielle) dans les différentes classes granulométriques.

CONCLUSION GÉNÉRAL

Conclusion Général :

Dans la recherche bibliographique nous avons constaté 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).

- Barytine utilisé dans le domaine pharmaceutique exige une teneur supérieure égale ou supérieur à 95 % en BaSO₄.
 - Barytine utilisée dans l'industrie chimique exige une teneur de 90% BaSO₄ au minimum.
- Parmi les méthodes les plus utilisées pour traiter la barytine au niveau mondial on peut citer :
- La séparation gravimétrique.
 - La séparation optique et radiométrique.

Le gisement de Ain Mimoun est sous forme d'une structure filonienne, avec des réserves de barytine importantes (ressources géologiques de 1.86 MT et des réserves exploitables estimées à 1.25 MT) et avec une teneur moyenne de 70 % en BaSO₄. Comme types de minéralisation dans la mine de Ain Mimoun, on trouve la minéralisation hydrothermale de malachite, azurite et parfois de cinabre, de sphalérite et de chalcopryrite. La méthode d'exploitation appliquée au niveau de la mine de Ain Mimoun est celle des sous niveaux abattus. Le traitement de minerai barytique de Ain Mimoun Tout-Venant avec 70 % en BaSO₄ passe par deux stades de concassage avec un criblage préalable et de contrôle, ensuite le jigage et la classification, enfin le séchage, le broyage et le conditionnement. La méthode de traitement gravitationnelle appliquée au niveau de la mine de Ain Mimoun a démontré ces limites. Le concentré obtenu par la chaîne de traitement actuel ne répond pas en quantité et en qualité aux exigences des consommateurs (pharmaceutique, chimique etc.), en plus la présence des pertes en minéral utile dans les stériles avec une teneur en BaSO₄ de 20 à 30%.

D'après les informations rassemblés durant les analyses granulométriques, de densité, chimique, granulo-chimique et minéralogique ; On a constaté que la seule impureté qui influe sur notre minerai de baryte est bien le quartz, les autres sont moins d'importance.

Alors, on a besoin d'une autre opération de séparation est obligatoire, afin d'obtenir un concentré avec une teneur en silice acceptable. La méthode densimétrique est la plus favorable vu aux propriétés physiques et la dimension plus efficace et les autres avantages technico-économiques.

Conclusion Général :

L'essai de séparation densimétrique est obtenu les résultats suivants :

- La présence également de quartz liée à la barytine ce qui explique une bonne libération des grains de la barytine.
- La séparation densimétrique a permis de mettre en valeur diminués supérieures à 4.20 g/cm³ (densité minimale industrielle) dans les différentes classes granulométriques.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

Références Bibliographique

- [01] : La baryte ou barytine. Association des Amis d'Allègre. Association de La Neira 2014. G Duflos.
- [02] : Mémento La Barytine rapport BRGM R37775 DMM-RMI-93 de – la Barytine – (page 01).
- [03] : Rapport géologique champ minier Mizab Ain Mimoun 2015.
- [04] : MEM ; Ministère d'énergie et des mines site officiel.
- [05] : Etude minéralurgique préliminaire d'un échantillon de minerai de barytine D'arrens (Hautes- Pyrénées) Annex 2
- [06] : Article sur internet (Ich'moul..., la ville au cœur brisé !) L'ALGÉRIE PROFONDE / ACTUALITÉS –BATNA-2015
- [07]: USGS; United States Geological Survey (janvier 2015)
- [08]: <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/mine/BaSO4/cadBaSO4.htm>.
- [09] : Rapport de stage SOMIBAR Bocaiide 2012 réalisé par (H.Lakhdhar, S.Mouhamed, L.Slimene) 4 ème année mines École Nationale Polytechnique d'Alger.
- [10] : Mémento Barytine. Rapport final. BRGM/RP-63974-FR. novembre 2014.
- [11] : Broyeur pendulaire [http/ : INFO@LTASA.COM](http://INFO@LTASA.COM).
- [12] : PLAN D'EXPLOITATION 2017. MINE D'AIN MIMOUN.
- [13] : Procédés minéralurgique. Chapitre 4. Concassage.
- [14] : : Procédés minéralurgique. Chapitre 4. Broyage.
- [15] : Broyeur pendulaire [http/ : INFO@LTASA.COM](http://INFO@LTASA.COM).
- [16] : Fragmentation technologie Technique de l'ingénieur.
- [17] : Rapport Préliminaire Projet Baryte-Ain Mimoun Groupe ENOF.
- [18] : Rapport géologique de l'ORGM.
- [19] : LABO de Ain Mimoun 2016.
- [20] : Technique de l'ingénieur p220 Echantillonnage.

Références Bibliographique

[21] : traitement de minerai de baryte de l'ORGM.

[22] : Technique de l'ingénieur Chapitre 08 Séparation gravimétrique.

[23] : Technique de l'ingénieur Concentration par gravité. J3 190.

[24] : Technique de l'ingénieur Concentration par gravité. J3 191.

ANNEXES

Liste des Tableaux :

N° :	Noms :	Page :
Chapitre I : Recherche bibliographique :		
I.01	Caractéristiques physico-chimiques de la barytine	06
I.02.A	Utilisation et normes pour la Baryte	12
I.02.B	Norme de OCMA pour qualité Boue de forage	12
I.03	La production mondiale de la barytine	15
I.04	La consommation mondiale de la barytine	16
I.05	La réserve mondiale de la barytine	17
I.06	La composition chimique de la barytine brute de Chaillac	22
Chapitre III : Méthodes et Matériels :		
III.01	Les capacités et l'état des installations	49
Chapitre IV : Résultats et Discussions :		
IV.01	Composition minéralogique de la barytine de Ain Mimoun	55
IV.02	Résultats d'analyse granulométrique du TV concassé qui alimente le jig.	57
IV.03	Résultats de la densité de chaque tranche avant jig.	59
IV.04	L'analyse de la densité de Concentré de jig (concentré).	60
IV.05	la composition chimique de la barytine de Ain Mimoun	60
IV.06	Résultats des analyses granulo-chimique avant Jig.	61
IV.07	Résultats des analyses granulo-chimique après Jig.	61
IV.08	les liqueurs utilisées dans la séparation densimétrique.	66
IV.09	Résultat de l'analyse chimique de composite.	69
IV.10	Résultat de la séparation de la fraction lourde avec la liqueur de Rohrbach.	69
IV.11	Résultat de la séparation de la fraction lourde avec la liqueur de Clérici.	70
IV.12	Rendement pondéral des fractions lourdes par rapport au T.V.	70
IV.13	Etude minéralogique de la fraction légère	70

Liste des figures :

N° :	Nom de figure :	Page :
Chapitre I : Recherche bibliographique :		
I.01	Mine de Mibladen, Maroc (33×32 cm)	04
I.02	La production mondiale de la barytine en 2014 (USGS).	13
I.03	Evolution et répartition de la production mondiale de barytine	14
I.04	Cellules de flottation dans l'usine de Chaillac	18
I.05	La chaîne de traitement de minerai barytique de Bou-Caïd Tissemsilt	19
I.06	Schéma de traitement de la barytine pour charge usine de Chaillac	21
Chapitre II : Géologie et Exploitation :		
II.01	Localisation Géographique du gisement de Ain Mimoun	25
II.02	Affleurement du Miocène en discordance angulaire sur les faciès du Crétacé Inférieur dans la région dite TAKALIAT.	27
II.03	Schéma de la méthode des sous niveaux abattus	33
II.04	Loco tracteur (diésel).	35
II.05	Pelle sur rail de chargement.	35
II.06	Camion du Transport.	35
II.07	Pelle chargeuse.	35
II.08	L'entrée de la galerie du niveau 1770 m	36
II.09	L'entrée de la galerie du niveau 1730 m	37
II.10	L'entrée de la galerie du niveau 1690 m	37
Chapitre III : Méthodes et matériels :		
III.01	Schéma technologique de traitement de la Barytine de Ain Mimoun	38
III.02	Concasseur à mâchoires à simple effet.	43
III.03	Crible vibrant de Ain Mimoun	44
III.04	Concasseur à percussion (mono rotor à marteau articulé	44
III.05	Jig WEMCO de Ain Mimoun	45
III.06	Station de séchage	46
III.07	Broyeur à pendules (pendulaire).	48

Liste des figures :

Chapitre VI : Résultats et discussions :

IV.01	Tamiseuse électro-vibrante de laboratoire des mines.	56
IV.02	La courbe d'analyse granulométrique.	57
IV.03	Pycnomètre gradué utilisé pour l'essai.	58
IV.04	Séparateur Dyna-Whirlpool (Dynamique).	65
IV.05	Séparateur Tri-Flo, (Dynamique).	65
IV.06	Schéma général de la séparation granulométrique.	68
IV.07	Explication de méthode de la séparation densimétrique.	68
IV.08	Rendement pondéral des fractions par liqueur de Rohrbach.	71
IV.09	Rendement pondéral des fractions lourdes par rapport au TV.	71
IV.10	Etude minéralogique des fractions légères.	72