

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA UNIVERSITY

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA

Département Des Mines



جامعة باجي مختار - عنابة -

كلية علوم الأرض

قسم المناجم

Thèse

Présentée pour obtenir le diplôme de

Doctorat En Sciences

Spécialité : Valorisation et Gestion des Ressources Minérales

Par :

BALADAH Fares

Thème :

**Caractérisation du minerai barytique des filons (4 et 10) en vue
d'une meilleure récupération :**

Cas de la mine d'Ain Mimoun Khenchela

Thèse soutenue le 22/ 09 /2024 devant le jury composé de :

N°	Nom et prénom	Grade	Etablissement	Qualité
01	BOUNOUALA Mohamed	Prof	Université Badji Mokhtar -Annaba	Président
02	CHETTIBI Mohamed	Prof	Université Badji Mokhtar -Annaba	Rapporteur
03	MEKTI Zohir	MCA	Université Badji Mokhtar -Annaba	Examineur
04	AMARA Mourad	Prof	USTHB Alger	Examineur
05	NEMAMCHA Abderrafik	Prof	Université 08 mai 1945, Guelma	Examineur
06	NETTOUR Djamel	MCA	ENSTI, Annaba	Examineur

Année universitaire 2024 / 2025



Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force et la foi et de m'avoir permis d'arriver à ce stade de finalisation de ma thèse de doctorat en mines option valorisation des ressources minérales.

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier chaleureusement le professeur **CHETTIBI MOHAMED** qui a assuré ma direction scientifique ; Je le remercie vivement pour ses nombreux conseils, sa disponibilité et son soutien sans faille tout au long de ce travail, qu'il trouve ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.*

J'exprime tous mes remerciements et ma reconnaissance à l'ensemble des membres de jury de soutenance qui m'ont honoré par leur présence dans cette soutenance et accepter d'examiner ce travail.

Pr BOUNOUALA Mohamed de l'Université Badji Mokhtar-Annaba ;

Pr AMARA Mourad de USTHB Alger ;

Pr NEMAMCHA Abderrafik de l'Université 08 mai 1945, Guelma ;

Dr NETTOUR Djamel de ENSTI, Annaba ;

Dr MEKTI Zohir de l'Université Badji Mokhtar-Annaba ;

*Mes vifs remerciements à l'équipe du laboratoire de ressources Minérales et
environnement de l'université d'El-Manar- Tunis en particulier Pr
CHAABANI FREDJ de m'avoir facilité la tâche pour réaliser des tests de
caractérisation physico-chimique d'un échantillon de baryte et l'entreprise
publique économique /ORGM/ Spa*

*Je tiens à remercier mes collègues enseignants Dr BOUTRID AZIZ
Dr CHAIB ABDESLEM et Dr AYADEN BRAHIM et Mr MENACER
KAMEL.*





Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail de thèse de doctorat en mines -
valorisation des ressources minérales à ma grande famille :*

- ❖ *A ma femme et mes enfants*
- ❖ *A mes chers parents*
- ❖ *A mes frères et sœurs*
- ❖ *Et à tous mes amis*



« تشخيص واختيار طريقة أمثل لاستخراج البارييت من العرق (4 و10) لمنجم عين ميمون
بخنشلة »

الملخص:

تتم معالجة البارييت الخام في الجزائر في مصنع عين ميمون بولاية خنشلة عن طريق عملية الفرز والتي تعتمد على الجاذبية الارضية وكثافة المعادن. على الرغم من إنتاجية المصنع التي تزداد يوماً بعد يوم والجودة العالية للمعدن المرك، إلا أننا نلاحظ استخلاصاً غير كلي للمعدن المركز المفرز من البارييت الخام الخاص بالعروق 10 و 4. إذ ان هذه الاخيرة وبعد معاينتها عن طريق التحليل المعدني اتضح أن بلورات البارييت مغطاة ببلورات السليس مما يتعذر فرزهم عن طريق آلة القفز. وبهدف تحقيق أقصى قدر من استخلاص البارييت، تم إجراء تشخيص تفصيلي للخام من الأوردة 10 و4، بالإضافة إلى اختبارات فصل مختلفة بواسطة (خزان المكبس و طاولة الاهتزاز) يتم إجراء دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية والمعدنية على عينات تمثيلية مأخوذة من الموقع. تشمل التحليلات مضان الأشعة السينية وحيود الأشعة السينية والمجهر الإلكتروني الماسح ، بالإضافة إلى التحليل المجهرى للمقاطع الرقيقة.

أظهرت نتائج اختبارات الفصل أن استخدام خزان المكبس مقارنة باستخدام طاولات الاهتزاز يعطي نتائج أفضل، وينتج بالوزن فننتي حجم جسيمات المركز (-500+250) و(-250+150) ملم، تراوحت من 91.43 إلى 87.18% على التوالي، في حين تم الاحتفاظ بأفضل صفات المركز في فننتي الحجم الحبيبي (-250+125) و (-125+63) ملم بكثافات 4.1 و 4.2 على التوالي جعلت طاولة الاهتزاز من الممكن الحصول على إنتاجية تصل إلى 74.48% من فئة حجم الجسيمات (-500+250) مم وكثافة 3.58.

الكلمات المفتاحية: الباريوم ، عين ميمون ، العروق 10 و 4 ، التوصيف ، الانفصال عن طريق الجاذبية ، خزان المكبس طاولة اهتزاز.

Abstract

« **Characterization of barite ore of the vein (4 and 10) for best recovering Case of the Ain Mimoun de posit Khenchela** »

The processing of barite ore in the country takes place at the Ain Mimoun laundry and the enrichment process used is gravimetric separation by jiggling. Despite the productivity of the factory which increases day by day and the good quality of the concentrate from the jig, we notice an irrational extraction of the useful substance, the processing of barite ore from veins 10 and 4 encounter ascertain difficulties induction's mineral logical structure. Mineral logical analysis showed that the barite parti cleared end crusted with those of silica. To this end, and with the aim maximum extraction of barite, a very detailed characterization of the ore from veins 10 and 4, as well as various separation tests by jig and shaking tables were carried out.

The different methods of analysis were used for the physicochemical and mineralogical characterization of baryte, are the following, XRF, XRD, and SEM and micro scope observation of different mineral fractions.

The results of the separation tests showed that the use of the piston tank, compared with that of shaking tables, gives bettered salts, yields by weigh to fthe concentrate particles size classes (-500+250) and (-250+150) mm, ranging from 91.43 to 87.18% respectively, while the best qualities of concentrate were retained in the particle size classes (-250+125) and

(-125+63) mm of densities 4.1 and 4.2 respectively. The shaking table made it possible to obtain yields of up to 74.48% of particle size class (-500+250) mm and a density of 3.58.

Key words: Barium , Ain Mimoun , Veins 10 and 4 , Characterization , Separation by Gravitation , Piston tank , Shaking table.

« Caractérisation du minerai barytique des filons (4 et 10) en vue d'une meilleure récupération Cas de la mine de Ain Mimoun, Khenchela »

Résumé :

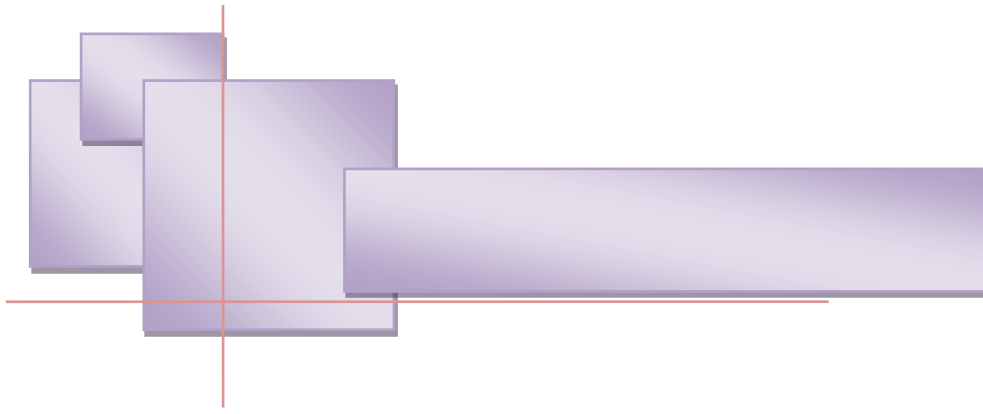
L'enrichissement de la barytine en Algérie se produit à l'usine de Ain Mimoun par le moyen de jig. Le procédé de jiggage assure une bonne qualité du concentré quoiqu'il n'assure pas une extraction rationnelle de la substance utile, surtout dans le cas du minerai veines 10 et 4 , où une certaine difficulté se rencontre en raison de sa structure minéralogique. L'analyse minéralogique a montré que les particules de barytine sont incrustées avec celles de silice.

À cet effet, et dans le but d'une extraction maximale de la baryte, une caractérisation bien détaillée du minerai, ainsi de différents essais de gravitation sont réalisées.

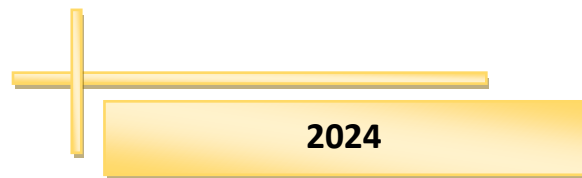
L'identification des échantillons représentatifs prélevés a été réalisés au moyen de FRX, DRX, MEB et l'observation sous microscope binoculaire de différentes tranches granulométriques.

Les résultats des essais de séparation ont montré que l'utilisation du bac à piston en comparant avec celle de table à secousses, donne des meilleurs résultats, des rendements pondéraux du concentré classes granulométriques (-500+250) et (-250+150) mm, allant respectivement de 91,43% à 87,18%, tandis que les meilleures qualités de concentré ont été retenues dans les classes granulométriques (-250+125) et (-125+63) mm de densités 4,1 et 4.2 respectivement. La table à secousses a permis d'obtenir des rendements allant jusqu'à 74.48% de classe granulométrique (-500+250) mm et d'une densité de 3.58.

Mots clés : Baryte, Ain Mimoun, Veines 10 et 4 ; Caractérisation ; Séparation par Gravitation ; Bac à piston ; Table à secousse.



NOTATIONS ET SYMBOLES



NOTATIONS ET SYMBOLES

API	American Petroleum Institute
AFNOR	Association Française de Normalisation
ARTEP	Association de Recherche sur les Techniques d'Exploitation de Pétrole
CANMET	Canadian Centre for Mineral and Energy Technology
OCMA	Oil Companies Material Association
USGS	United States Geological Survey
UICPA	Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée
ENOF	Entreprise National des produits Non-Ferreux et substances utiles
EMRU	Elegant Materials Research Unity
LGM	Laboratoire de Recherche de Génie Mécanique
LPA	Lumière Polarisée
LM	Lames Minces
DRX	Diffraction des Rayons X
FRX	Fluorescence des Rayons X
MEB	Microscope Electronique à Balayage
EDX	Energy-Dispersive X-ray
BP	Broyeur à Pendule
PS	Post-scriptum
BTP	Bâtiment et travaux publics

NOTATIONS ET SYMBOLES

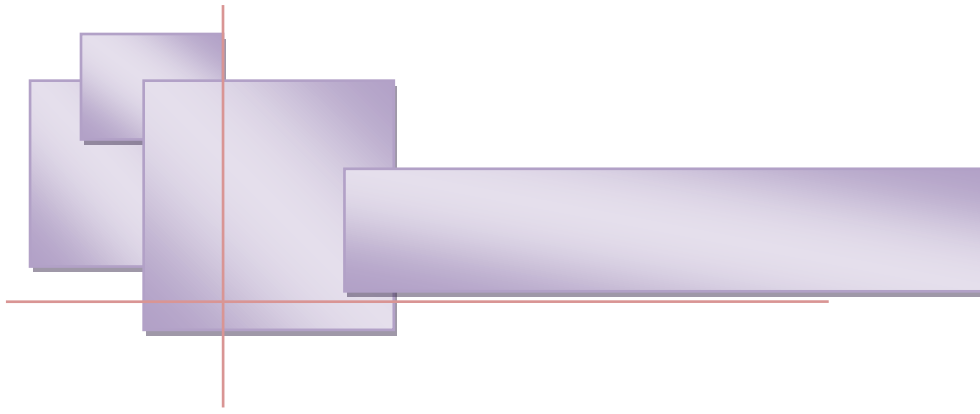


TABLE DE MATIÈRES

2024



Table de Matière

✚ Notation et symboles	i
✚ Table de matière	iii
✚ Liste des figures	vi
✚ Liste des tableaux.....	ix
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Géologie du gisement d'Ain Mimoun

I.GENERALITES SUR LE GISEMENT D'AIN MIMOUN.....	4
I.1. Régime de travail de l'unité	4
I.1.1. Installation de concassage.....	4
I.1.2. Installation d'enrichissement	4
I.1.3. Installation de séchage et broyage fin.....	4
I.2. Généralités sur le gisement d'Ain Mimoun	5
I.2.1. Historique de gisement	5
I.2.2. Cadre géographique	6
I.2.3. Cadre géologique	7
I.2.4. Morphologie	9
I.2.5. Minéralisation	9
I.2.5.1.Relation génétique en tré la baryte et les par agenaises minérales.....	9
I.3. Niveau de production annuelle de tout venant d'Ain Mimoun dans la période	12

Chapitre II: Techniques et technologies du traitement de la baryte d'Ain Mimoun

II. ENRICHISSEMENT DE LA BARYTINE AU NIVEAU DE L'USINE D'AIN MIMOUN	14
II.1.Préparation mécanique du minerai	14
II.1.1. Concassage primaire	14
II.1.1.1. Criblage.....	15
II.1.2. Concassage secondaire	16
II.1.2.1. Concassage tertiaire	17
II.1.3. Séparation par jig.....	18
II.1.3.1. Principe du fonctionnement du jig.....	19

Table de Matière

II.1.4. Classification	21
II.1.5. Station de séchage et broyage	23
II.1.5.1. Séchage	23
II.1.5.2. Broyage	23
Conclusion	26

Chapitre III: L'état d'art sur la valorisation de la barytine

Introduction	28
III. PROCEDE DE SEPARATION PAR GRAVITE	28
III.1. Procédé de la flottation.....	30
III.1.1. Les réactifs collecteurs.....	31
III.1.2. Travaux antérieurs sur la flottation de la Barytine.....	32
III.2. Séparation magnétique	35
III.2.1. Définition et principe	35
III.2.2. Travaux antérieurs sur la séparation magnétique	36
III.3. Séparation électrostatique	37
III.3.1. Définition et principe	37
III.3.2. Travaux antérieurs sur la séparation électrostatique.....	37
III.4. Méthodes de séparation combinées	38
Conclusion	39

Chapitre IV: caractérisation granulo-chimique du minerais barytique

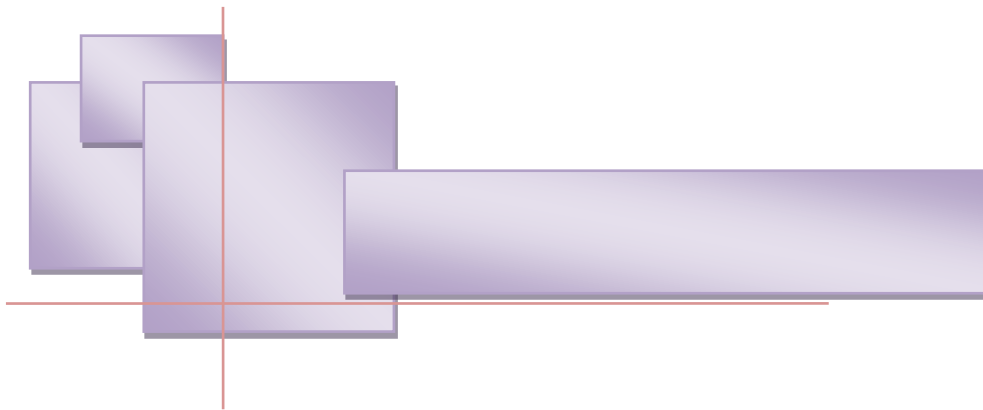
Introduction	42
IV. ECHANTILLONNAGE.....	42
IV.1. Préparation des échantillons.....	43
IV.2. Analyse granulométrique	44
IV.3. Analyse microscopique	45
IV.4. Analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX).....	46
IV.4.1. Diffraction des rayons X.....	46

Table de Matière

IV.4.2. Analyse par fluorescence des rayons X « FRX »	47
IV.5. Observations au microscope électronique à balayage.....	48
IV.6. Résultats et discussions.....	49
IV.6.1. Analyse granulométrique.....	49
IV.6.2. Détermination du coefficient d'uniformité.....	51
IV.6.3. Détermination du coefficient de courbure	52
IV.6.4. Observation microscopique	52
IV.6.5. Analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX)	55
IV.6.6. La Fluorescence X (FX)	59
IV.6.7. Analyse morphologique par MEB	60
Conclusion.....	63

Chapitre V: Essai de séparation du minéral de baryte

Introduction	65
V. PRINCIPE DE LA SEPARATION GRAVIMETRIQUE.....	65
V.1.Essai de séparation de la baryte.....	67
V.1.1. Séparation par bac à piston.....	67
V.1.2. Construction d'un bac à piston	68
V.1.3. Principe de travail.....	68
V.2.Essai de séparation par la table à secousses	70
V.2.1. Analyse physique des produits de séparation	72
V.2.2. Description des résultats	72
V.3.Discussion des résultats.....	75
Conclusion.....	76
Conclusion générale	78



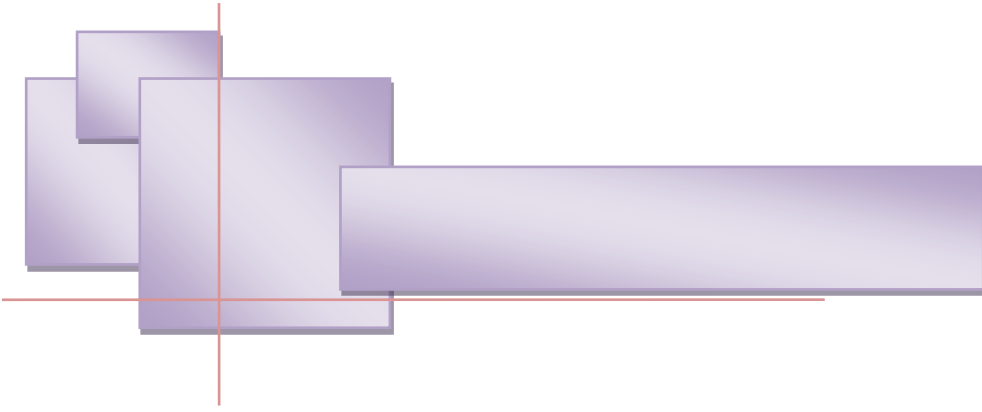
LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure.I.1:Coupe stratigraphique schématique du gisement de Mizab.	8
Figure.I.2:Graphe donne une décomposition par année	12
Figure.II.1:Concasseur primaire (concasseur à mâchoires ENOF 2016).	15
Figure.II.2:Concasseur à mâchoires (ENOF 2016)	15
Figure.II.3:Schéma d'un tamis vibrant à deux étages de marque BERGEAUT	16
Figure.II.4:Schéma d'un concasseur à de marque LORO PARISINI	17
Figure.II.5:Schéma d'un concasseur à cylindreREFERENCES + ce de l'usine.....	18
Figure.II.6:Le jig WEMCO d'Ain Mimoun.....	19
Figure.II.7:Eléments constituant un jig	20
Figure.II.8:Stratification des produits dans un jig	21
Figure.II.9:Classificateur à vis	23
Figure.II.10:Station de séchage Broyeur pendulaire	24
Figure.II.11:Stockage des big-bag.....	24
Figure.II.12:Schéma technologique de traitement du minerai barytique de la mine d'Ain Mimoun [ENOF, 2016]	25
Figure.III.1:Les méthodes d'enrichissement de la Barytine	28
Figure.III.2:Le principe du procédé de flottation	30
Figure.III.3:Une bulle d'air transportant les minerais sélectionnés	30
Figure.III.4:La séparation magnétique entre billes de fer et de céramique. : boule de fer, boule en céramiques.....	36
Figure.III.5:Principe de base du traitement électrostatique	37
Figure.IV.1:Méthode de quartage.....	44
Figure.IV.1:Séparation d'un ensemble de particules en plusieurs fractions granulométriques	44

Figure.IV.2:Tamiseuse électrique	45
Figure.IV.3:Diffractomètre des rayons X.....	46
Figure.IV.4:Un Spectromètre à fluorescence X (SPECTROMETRE AXIOS PANalytical)	48
Figure.IV.5:Microscope électronique à balayage MEB (-0.25+0.125) et (-0.125+0.063) et ce, pour identifier les phases minéralogiques qui existent dans chaque fraction ainsi que leur distribution par classement dimensionnel.	49
Figure.IV.6:Courbe granulométrique	51
Figure.IV.7:Photos au microscope binoculaire de la fraction -0,5 +0,25mm	53
Figure.IV.8:Photos au microscope binoculaire de la fraction -0,250+0,125mm.	54
Figure.IV.9:Photos au microscope binoculaire de la fraction -0,125+0,063mm	54
Figure.IV.10:Résultats d'analyse minéralogique par DRX de différentes tranches granulométriques, tout venant (CM0),	56
Figure.IV.11:Résultats d'analyse minéralogique par DRX du minerai tout venant (CM 0).....	56
Figure.IV.12:Pics de diffraction par RX représentatifs des diverses phases	57
Figure.IV.13:Résultats de calcul des valeurs des cristallites size, ainsi que des surfaces spécifiques de la baryte.....	58
Figure.IV.14:Principaux composés (oxydes) présents en plus de la baryte	60
Figure.IV.15: Micrographies électroniques à balayage de cristaux de baryte représentatives du gisement de baryte d'Ain Mimoun-Khenchela (Algérie)	61
Figure.IV.16:Résultats d'analyses EDS	62
Figure.V.1:Les différents mécanismes de séparation gravimétrique	67
Figure.V.2:Schéma d'un bac à piston.....	67
Figure.V.3:Parties constituantes d'un bac à piston	68
Figure.V.4:Schéma d'une table à secousse	71

Figure.V.5:Histogramme d'rendement pondéral en fonction de dimension	73
Figure.V.6:Graphe de rendement pondéral en fonction de dimension.....	74
Figure.V.7:Rendement pondérale en fonction de la granulométrie	74
Figure.V.8:Histogramme de la densité en fonction de granulométrie.....	76

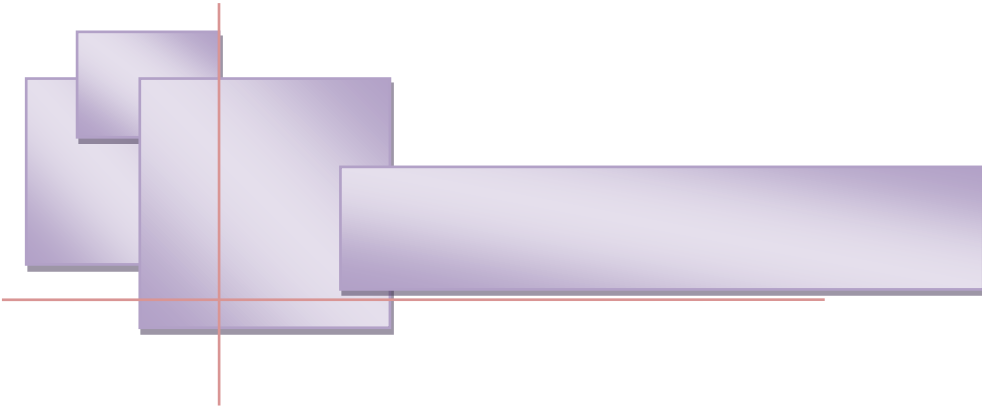


LISTE DES TABLEAUX



LISTE DES TABLEAUX

Tableau.I.1:Capacités et état des installations de l'unité.....	4
Tableau.I.2:Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun. [ENOF].....	10
Tableau.I.3:Les propriétés fondamentales de la Barytine	11
Tableau.III.1: Les collecteurs utilisés en flottation de la Barytine.....	32
Tableau.III.2: La composition du concentré barytique obtenu lors de la flottation du minerai brut de Kremikovtzi (Bulgarie)	33
Tableau.IV.1 Résultats de l'analyse de tamisag	50
Tableau.IV.2: Résultats de l'analyse minéralogique par comptage microscopique.....	55
Tableau.IV.3: Résultats d'analyse de différentes tranches granulométriques par fluorescence des rayons X.....	59
Tableau.IV.4: Concentrations moyennes de différentes composantes chimiques des échantillons	59
Tableau.V.1Les prévisions de possibilités de traitement par le critère de Taggart	66
Tableau.V.2Résultats des essais de séparation par bac à piston.....	72
Tableau.V.3Résultats des essais de séparation par table à secousses.....	73
Tableau.V.4Résultats de mesures de la densité.....	75



INTRODUCTION GÉNÉRALE



Introduction générale

Le sulfate de baryum, communément appelé baryte, est l'un des minéraux industriels les plus importants et largement utilisé dans de nombreux domaines tels que le forage pétrolier, l'hydraulique, les supports de catalyseurs, les matériaux adsorbants et le secteur chimique (peinture), et les industries radiosopiques. Entre autres, il peut être utilisé comme capteur de gaz pour les tubes à vide, comme lubrifiant (additif) et comme charge et colorant pour le papier.

À l'échelle nationale, il existe un nombre important de gisements de barytine, à savoir, Boucaid W. Tissemsilt; Mellal W. De Tlemsen; Koudiat Safa W. De Médéa ; Djbel Draïssa W. de Béchar, le plus grand et le plus important gisement est celui d'Ain Mimoun. Le gisement de barytine d'Ain Mimoun est situé sur le territoire de la wilaya de Khenchela, à 28 km à l'ouest de la capitale. Il a été découvert en 1968 lors des travaux géologiques de révision de la région de l'anti clinal de Khenchela par la base (B) de l'ancien SONAREM. Les travaux de recherche spéciale sur les filons de barytine avec évaluation des réserves ont été réalisés de 1968 à 1970.

La plupart des minerais de valeur sont toujours traités en deux étapes, la première étape, c'est la préparation mécanique par laquelle les minerais seront réduits en petits morceaux convenable à l'opération de séparation appropriée et en même temps s'effectue la libération des substances utiles de la gangue. En fonction de leurs caractéristiques chimiques, physicochimiques et physiques, ils peuvent être séparés par différentes méthodes conventionnelles d'enrichissement.

La séparation de la baryte de la mine d'Ain Mimoun s'effectue au niveau des jigs dont le principe de fonctionnement est basé sur le mécanisme de pulsation et stratification, lors du mouvement du diaphragme se produit deux types de courants d'eau, un courant ascendant provoque la dispersion des particules minérales dans le milieu aqueux, et un courant descendant assurant la décantation des particules avec des vitesses différentielles où se produit la séparation en fonction de la densité des phases minérales constituant le minerai à séparer.

Le tout venant traité de lamine de Ain Mimoun contient essentiellement de la baryte à des proportions atteignant 68.47% qui est accompagnée de calcite et de quartz (15% pour chacun) ce qui est considéré comme excessif pour une utilisation industrielle d'où le recours à un traitement d'enrichissement qui va consister à la séparation de la baryte en tant que produit

Introduction générale

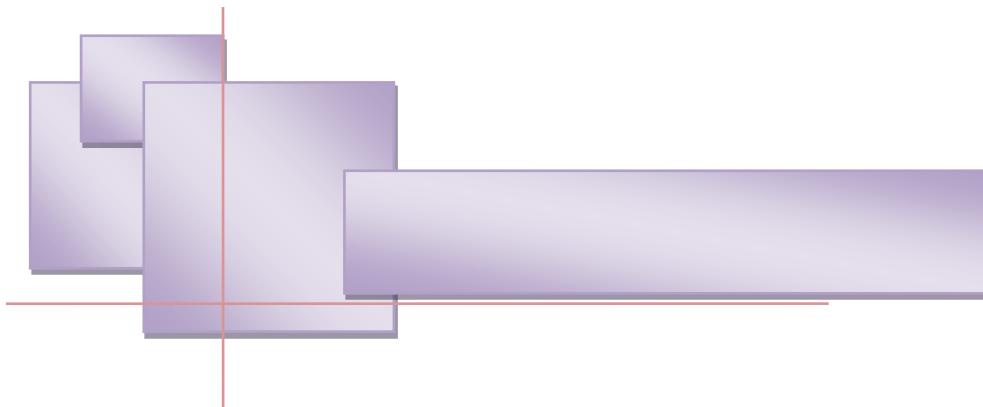
indépendant sans toutefois changer sa composition pour en faire un produit marchand.

À l'heure actuelle, le traitement du minerai de barytine des veines 10 et 4 rencontrent certaines difficultés en raison des structures minéralogique. L'analyse minéralogique a montré que les particules de barytine sont incrustées avec celles de silice, ce qui rend leur séparation difficile par jigging à l'usine d'Ain Mimoun.

L'objectif de ce travail est donc réside dans la réalisation d'une large caractérisation granulo-chimique et minéralogique des échantillons représentatifs prélevés de deux veines 4 et 10, au moyen d'analyse de tamisage; diffraction aux rayons (DRX) observation microscopique de tranches de différentes tailles de particules au microscope binoculaire La fluore scincidés rayons (FRX) ainsi que la microscopie électronique à balayage (MEB-EDX), afin d'identifier les veines 4 et 10, et de pouvoir choisir un procédé fiable pour enrichir le minerai des veines en question.

Le mémoire de thèse est structuré en différents chapitres, une recherche bibliographique bien détaillée concernant la géologie du gisement d'Ain Mimoun et domaines d'utilisation de la baryte englobés dans le premier chapitre où il a été présenté les réserves et la production de la baryte. Les propriétés pétrographiques, minéralogiques et physico-chimiques sont aussi détaillées. Entre autres, une présentation des techniques de traitement et les technologies utilisées au niveau de Ain Mimoun sont présentées dans le deuxième chapitre.

Le troisième chapitre porte sur l'état d'art de la valorisation du minerai barytique à l'échelle mondiale. Dans cette partie une synthèse d'un ensemble important de travaux de recherche destinés à la valorisation de la barytine. Les deux derniers chapitres quatrième et cinquième sont consacrés pour la partie expérimentale. Une description des techniques et du matériel utilisé pour la préparation et la caractérisation du minerai d'Ain Mimoun, la préparation mécanique (concassage, homogénéisation, quartage, tamisage et broyage) des échantillons ainsi que les analyses quantitatives et qualitatives par les différentes techniques (DRX, FRX, MEB, ...) sont bien présentées dans le chapitre quatre, entre autres, ce dernier englobe les résultats obtenus et collectés après finalisation des essais et tests de caractérisations ainsi que leurs interprétations. Le cinquième et dernier chapitre est consacré aux essais de traitement et d'enrichissement du minerai d'Ain Mimoun par gravitation. Le mémoire est achevé par une conclusion générale et recommandation.



CHAPITRE I

GÉOLOGIE DU GISEMENT

D'AIN MIMOUN

2024

I. Généralités sur le gisement d'Ain Mimoun

I.1. Régime de travail de l'unité

I.1.1. Installation de concassage

- ❖ Nombre de jours ouvrables : 254 ;
- ❖ Nombre d'heures travaillées par poste : 07 heures ;
- ❖ La production moyenne du tout-venant traité par poste : $23251/254=91.5$ tonnes.

I.1.2. Installation d'enrichissement

- ❖ Nombre d'heures travaillées par poste : 07 heures ;
- ❖ La moyenne du produit semi fini par poste : $13830/254=54.5$ tonnes.

I.1.3. Installation de séchage et broyage fin

- ❖ Nombre d'heures travaillées par poste : 07 heures ;
- ❖ La moyenne du produit fini par poste : $13000/254=52$ tonnes.

Tableau.I.1: Capacités et état des installations de l'unité

Désignations	Capacité installée en T/H	Capacité actuelle en T/H	Etat des équipements
Concassage primaire	60	20	Moyen (vibration anormale du châssis, mâchoires usées)
Concassage secondaire	35	18	Moyen (mâchoires usées)
Concassage tertiaire	25	16	Mauvais (cylindres usés et faible rendement)
Jig	20	8	Moyen (support en béton et joint défectueux)
Classificateur à spirale	/	/	Mauvais (non adéquat pour la baryte)
Four sécheur	15	15	Bon
Broyeur	12	10	Bon
Conditionnement	16	10	Bon

I.2. Généralités sur le gisement d'Ain Mimoun

I.2.1. Historique de gisement

Le champ minier de Mizab (Ain Mimoun) a été découvert en 1968 au cours des travaux géologiques de révision de la région de l'anticlinal de Khenchela par des spécialistes soviétiques [Documentation de l'usine]

Les travaux spéciaux de recherche suivant les filons de baryte avec évaluation des réserves ont été réalisés en 1968-1970, et ce n'est qu'en 1971 qu'a débuté l'exploitation des filons N°1 et N°3 à ciel ouvert.

L'objectif essentiel de l'équipe de recherche sur le champ minier de Mizab au cours des années 68-70 était la prospection détaillée des filons N°1, 2, 3, 4, 5, 10 ainsi que l'évaluation d'autres filons. Principalement, la quantité de réserve prospectée est prévue pour l'exploitation souterraine.

Dans la zone « Ouest » sont concentrés les filons N°1, 2, 4, 5, 10, 11, 12 par contre, dans la partie « Est » se concentrent les filons N° 3, 7, 8 et 9 [Documentation de l'usine]

I.2.2. HISTORIQUE DES TRAVAUX DE PROSPECTION

Toutes les premières exploitations dans les monts d'Aurès datent de 1840, où Bablaye (officier de l'état-major français) signala l'existence de calcaires à nummulites.

- En 1859 furent découverts les premiers indices de blende, galène et cinabre à Taghit par Bacrie ;
- En 1860 Coquand parcourut le Sud de la province constantinoise et le massif de l'Aurès. Tissot en tant qu'ingénieur des mines établit les levés géologiques au 1/800.000^e ;
- En 1939, R.Laffite publia sa thèse sur le massif de l'Aurès ;
- En 1968, SONAREM mena des travaux de prospection sur le champ minier de Mizab, ces travaux ont permis la mise en évidence de douze filons barytiques (filon n°1 jusqu'à filon n°12) avec un potentiel réserve de l'ordre de 2179700 tonnes ;

- En 1972, commencèrent les premiers travaux d'exploitation de la baryte à ciel ouvert avec une production annuelle en tout venant de 35356 tonnes à partir du filon n°3 qui offrait des conditions favorables à ce type d'exploitation (pendage moyen de 30°) ;
- Et ce n'est qu'en 1974 que commencèrent les premiers travaux d'exploitation souterraine au niveau du filon n°1 (5023 tonnes) accompagnée toujours d'une exploitation à ciel ouvert au niveau des filons : 3, 4,9 (28686 tonnes) ;

Les travaux de recherche menés par le service géologique de la mine de Ain Mimoun ont permis par la suite de mettre en évidence 18 filons barytiques il s'agit des filons : 13,14,15,16, 17, 18, 19, 21, kissan1, kissan2, kissan3, Igni1, Igni2, Igni3 ,1ouest, 2ouest, 7Ouest et 8Ouest avec un potentiel réserve de l'ordre de 704680 tonnes [Documentation de l'usine]

I.2.2. Cadre géographique

Le champ minier du Mizab est situé dans la partie orientale des monts des Aurès constituant une partie de l'Atlas saharien oriental, il sépare les hautes Plaines constantinoises du Sahara ; région nettement individualisée par ses altitudes qui culminent à 2328m, il s'agit du mont « Iree N'Keltoume ».

Les monts des Aurès sont limités à l'Est par les monts des Nememchas, à l'Ouest par le bassin D'El Outaya, au Sud par la plate-forme saharienne et au Nord par le bassin néogène de Timgad. Voir figure I.2.

Le gisement de baryte de Ain Mimoun s'étend dans la partie centrale du flanc septentrional (NW) de l'Anticlinal de Khenchela, dont les sommets culminent à plus de 2000 m « Djebel IchentGouma : 2119m.

Ce gisement est lié administrativement à la Wilaya de Khenchela. De la côte Nord – Est, il est limité à environ 16 km par la ville de Khenchela, au Nord par la Daïra de Kais et à l'Ouest par « Djebel Feraoun ».[Zedam.R , Laouar.R , Bouhlel.S. 2007]

I.2.3. Cadre géologique

La région du gisement se trouve dans la partie orientale des montagnes des Aurès sur les filons septentrionaux de l'anticlinal de Khenchela qui se caractérise par un relief montagneux typique qui s'étend à la direction Nord-Est, les sommets dépassent 2000m, le massif est divisé par des vallées profondes. L'altitude des filons, varie entre 1200met 2015m dans la région du gisement, on y trouve les roches barrémiennes de L'aptien de l'albien du néogène et du quaternaire [Zedam .R 2012].

Chapitre I : Géologie du gisement d'Ain Mimoun

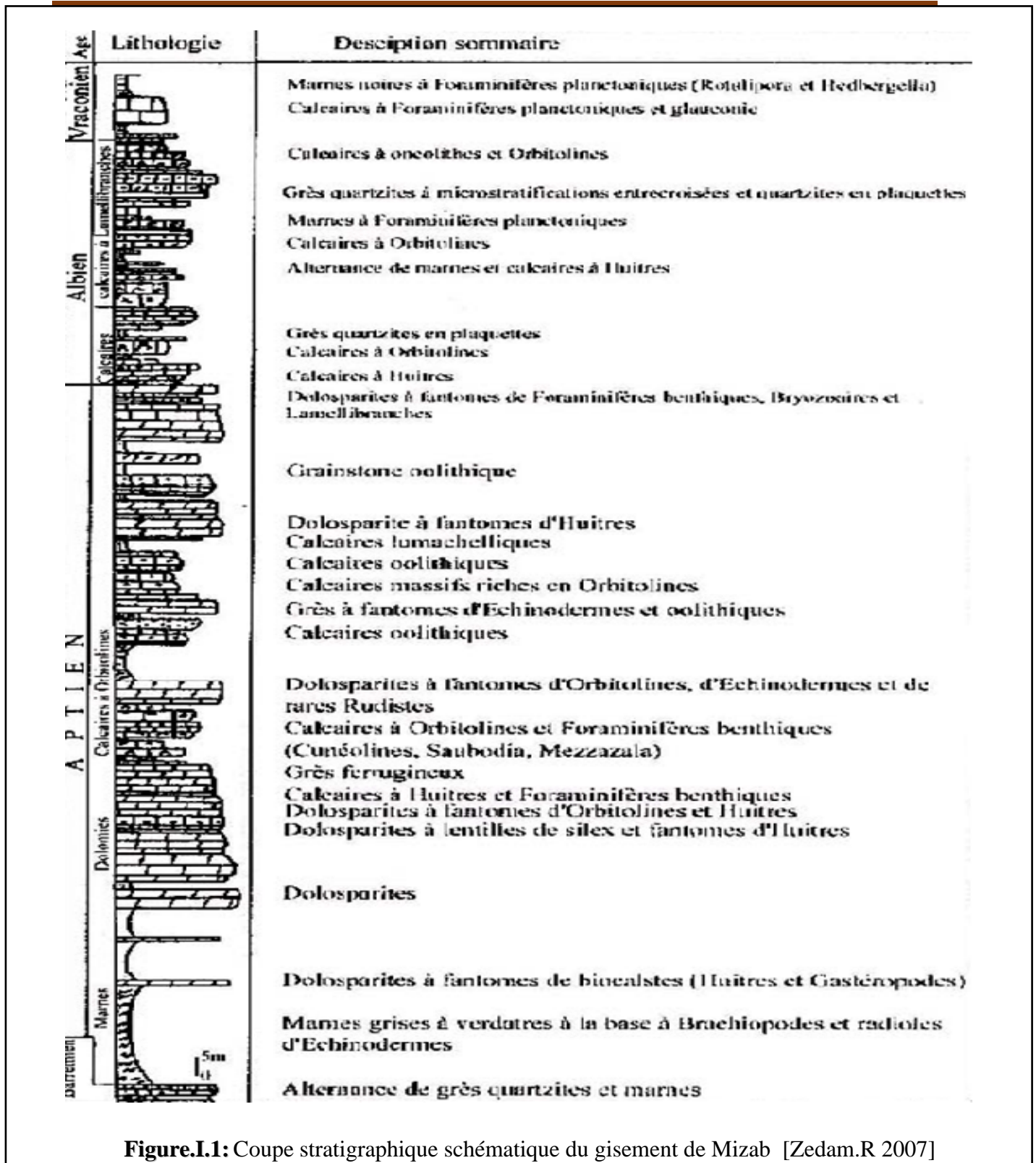


Figure.I.1: Coupe stratigraphique schématique du gisement de Mizab [Zedam.R 2007]

I.2.4. Morphologie

Des roches faisant partie du gisement sont disloquées en entoilant suivant l'étendue Nord-Est (40-50°) aux flans arqués. Le champ de minerais s'étend sur le flanc Nord – Ouest sous les angles qui changent de (5-50°), on distingue le développement de six systèmes de fissure et d'accident

- ❖ 1^{er} système d'accident est caractérisé par une faille de direction Nord – Est (40-50) avec un pendage subvertical .
- ❖ 2^{ème} système d'accident est de direction Nord-Ouest avec un pendage subvertical .
- ❖ Accidents du 3^{ème} et du 4^{ème} système sont conformément aux directions presque d'altitudes (80-90°) et méridionales (0-20°) avec les angles rapides de pendage, on y observe un déplacement des roches qui n'est pas très important .
- ❖ Accidents du 5^{ème} et 6^{ème} système ordre sont parallèles à l'axe du pli suivant la direction (40-50°) avec un pendage faible à l'Est

[ENOF, 2015]

I.2.5. Minéralisation

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°-400°C et sous pression, contiennent divers corps avec : Fe, Ti, Cu, Pb, Zn, Sn, Hg ; ainsi que plusieurs autres éléments volatils [Zedame. R 2012].

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.

I.2.5.1. Relation génétique entre la baryte et les paragenèses minérales

Les filons barytiques dans le champ minier de Mizab présentent habituellement un contact avec l'encaissant. Cette zone de contact se manifeste parfois par des brèches avec du

Chapitre I : Géologie du gisement d'Ain Mimoun

ciment barytique. L'architecture intérieure des filons est assez simple, ils sont représentés par un agrégat mono minéral de Baryte, parfois avec des intercalations de roches encaissantes.

Comme règle on rencontre généralement la minéralisation de: Panabase, Malachite, Azurite parfois Cinabre, Sphalérite et chalcopryrite dans les parties de contact. La puissance des zones minéralisées, qui d'habitude n'est pas considérable, ne dépasse pas 20 à 30cm. La minéralisation de : Panabase, Malachite, Azurite, Cinabre et Sphalérite peut se développer aussi dans les parois des filons barytiques. Les minéraux de Quartz et Calcites sont associés généralement à tous les filons barytiques du champ minier de Mizab, on les rencontre en petites quantités dans les filons :1,2,3, 7, 8 et 9. Le minerai barytique de Ain Mimoun contient de différentes espèces minérales, récapitulées dans le tableau.1.2 [Zedame. R 2012].

Tableau.I.2: Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun

Minerai	Composition	Densité g/cm ³	Dureté	Couleur
Baryte	BaSO ₄	4,4	3,5	Blanche
Calcite	CaCO ₃	2,72	2,5-3	Incolore ou blanc opaque
Quartz	SiO ₂	2,5-2,7	5-7	Blanche
Hématite	Fe ₂ O ₃	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	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	3,9-4,05	3,54	Vert brillant
Feldspath	KAlSi ₃ O ₃	2,5-2,6	6-6,5	Incolore
Bauxite	Al ₂ O ₃	2,5	friable	Gris bleuté

Tableau.I.3: Les propriétés fondamentales de la Barytine [Moussaoui. E 2015]

Identification	
Masse formulaire	Ba 58,84%, O 27,42% ,S13,74%,
Couleur	Incolore , par fois blanc, jaune et rarement d'autres couleurs (violée, verdâtre, bleuâtre)
Classe cristalline et groupe d'espace	Dipyramidale Pnma
Système cristallin	Orthorhombique
Réseau de Bravais	Primitif P
Clivage	La barytine grossière constitue divers agrégats, en général clivables.
Cassure	Irrégulière, conchoïdale
Habitus	Cristaux aplatis selon, parfois lamellaires
Dureté	3 à 3,5 sur l'échelle de Mohs
Trace	Blanche
Éclat	Vitreux à résineux
Propriétés optiques	
Indice de réfraction	$\alpha=1,634-1,637$ $\beta=1,636-1,638$ $\gamma=1,646-1,648$
Pléochroïsme	Incolore
Biréfringence	$\Delta=0,012$; biaxe positif
Dispersion	$2vz\sim 36-38^\circ$
Fluorescence ultraviolet	La baryte n'est pas ou très peu fluorescente , par contre, chauffée, elle devient luminescente
Transparence	Transparent ,translucide à opaque
Propriétés chimiques	
Densité	4,48
Température de fusion	Décomposition:1600°C
Fusibilité	Fond à la flamme et donne une boule blanche
Solubilité	Soluble dans HI. dans H ₂ SO ₄ concentré chaud
Comportement chimique	Colore la flamme en rouge carmin
Propriétés physiques	
Magnétisme	Aucun
Radioactivité	Aucune

I.3. Niveau de production annuelle de tout venant d'Ain Mimoun dans la période 2010- 2024

Le graphe donne une décomposition par année, Le niveau de production retenue ira croissant de 33 350 tonnes de tout venant pour atteindre 52 000 tonnes à partir de l'année 2015 [S.a.r.l GENERALE DES MINES 2009]

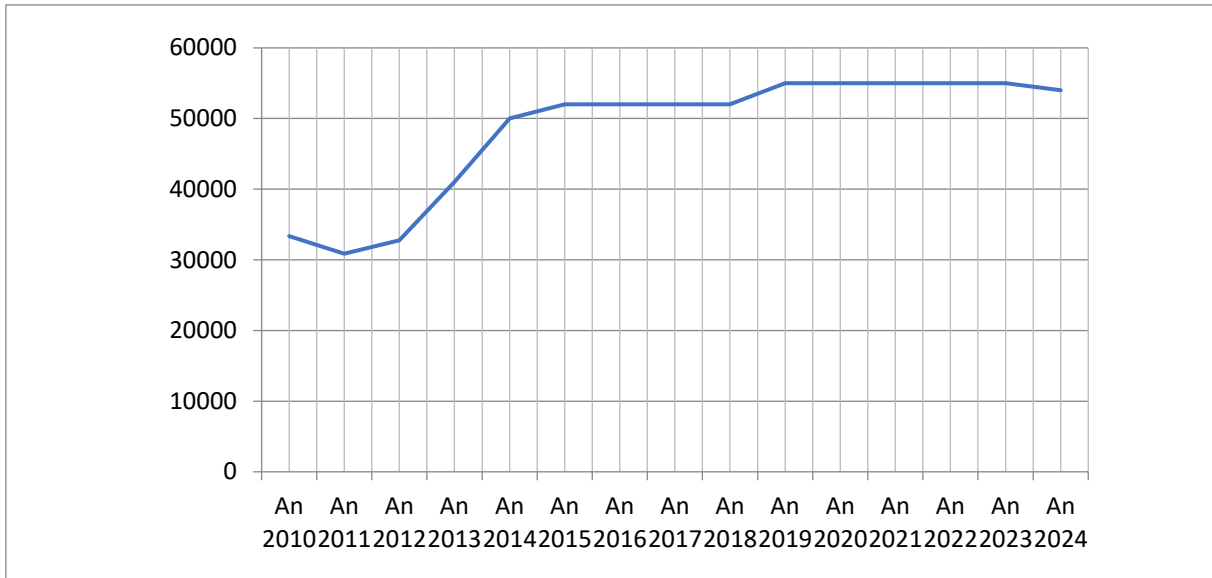
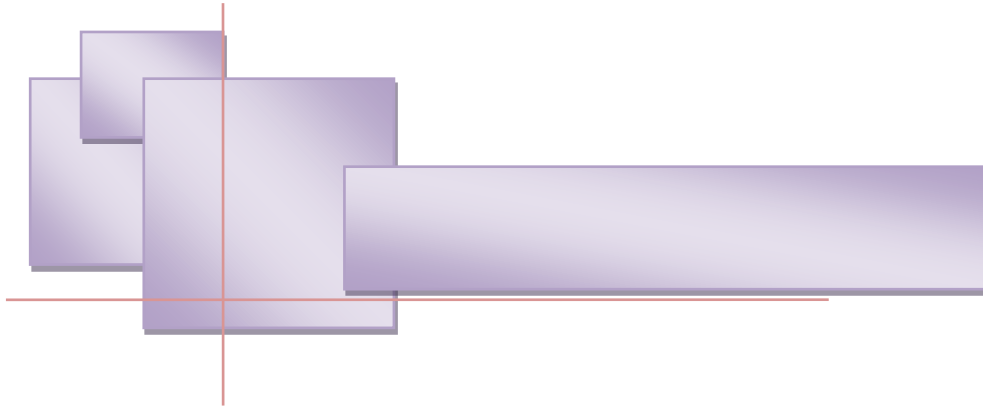
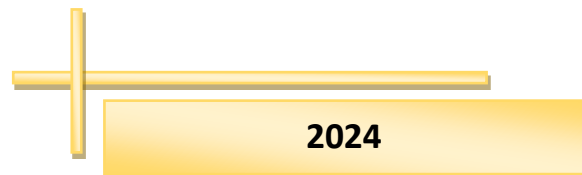


Figure.I.2: Graphe donne une décomposition par année



CHAPITRE II

TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DE LA BARYTE D'AIN MIMOUN



2024

Chapitre II: Techniques et technologies de traitement de la baryte d'Ain Mimoun.

Le minerai du gisement d'étude se constitue approximativement de 68.47% de la baryte étant accompagnée de calcite et de quartz (15% pour chacun) ce qui est considéré comme excessif pour une utilisation industrielle d'où le recours à un traitement d'enrichissement qui va consister à la séparation de la baryte en tant que produit indépendant sans toutefois changer sa composition pour en faire un produit marchand.

En se basant sur l'analyse chimique et sur tout le fait que la baryte n'a pas des méthodes charretées et que cette dernière possède une densité élevée, la méthode de traitement gravitationnelle est indiquée, est le cas à l'unité d'Ain Mimoun.

L'équipement de séparation utilisé est le jig, dont le principe de séparation est la vitesse de sédimentation différentielle des minéraux suite à leur densité différente.

II. Enrichissement de la barytine au niveau de l'usine d'Ain Mimoun

II.1. Préparation mécanique du minerai

II.1.1. Concassage primaire

Ce stade est assuré par les concasseurs à mâchoires primaires d'une capacité de 20 t/h, l'alimentation de ces derniers réalisée à l'aide d'un alimentateur vibrant placée au fond d'une trémie réceptrice permettant une alimentation constante et régulière. La granulométrie d'alimentation ne dépasse pas 350 mm. Un crible de contrôle est installé au-dessus du concasseur pour prévenir le passage des blocs inférieurs à 350 mm dans le concasseur. Le produit sortant est d'une dimension inférieure à 60 mm, la capacité du concasseur primaire est de 20t/h. Les casseurs à mâchoires sont des équipements de travail intense, donc leur construction doit être très robuste.



Fig.II.1: Concasseur primaire (concasseeur à mâchoires ENOF 2016). De marque BERGEAUT (VB57)

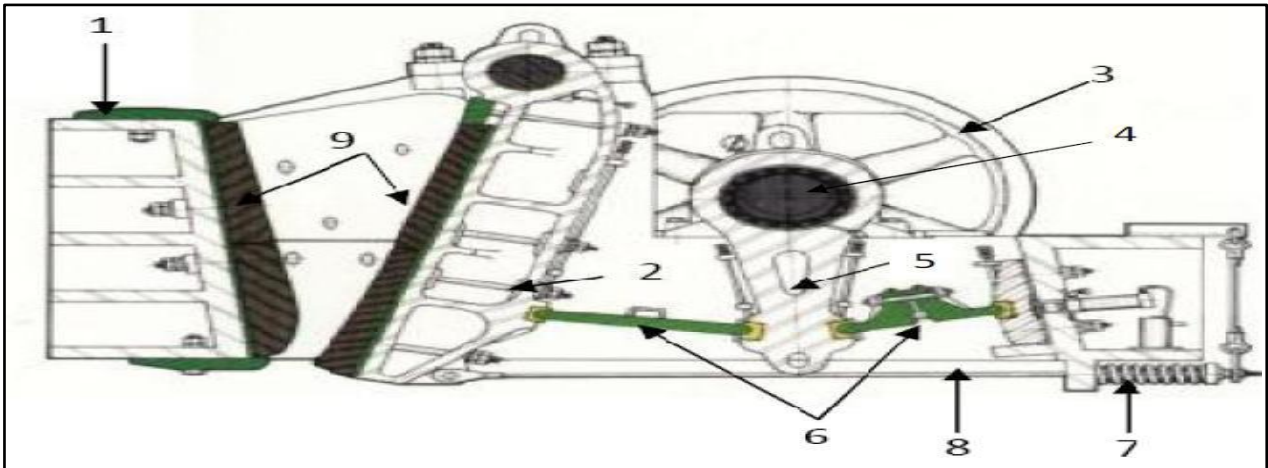


Fig.II.2: Concasseur à mâchoires (ENOF 2016)

Légende

- | | | |
|------------------------|----------------------|------------------------------|
| 1. Mâchoire fixe ; | 2. Mâchoire mobile ; | 3. Volant ; |
| 4. Arbre excentrique ; | 5. Bielle ; | 6. Plaques articulées ; |
| 7. Ressort ; | 8. Tige ; | 9. Plaques des revêtements ; |

II.1.1.1. Criblage

Le minerai sortant du concasseur primaire est acheminé, à l'aide d'une bande transporteuse, vers un crible vibrant à deux étages dont les mailles des tamis sont de 60 mm et 25 mm. Le refus du premier tamis retourne au concassage grossier, par contre ceux du deuxième

tamis est acheminé vers le concassage secondaire. Le passant du dernier tamis passe directement vers le concassage tertiaire.

Les cribles vibrants sont des appareils de classification les plus utilisés. Ils sont constitués d'une surface tamisant inclinée selon un angle d'environ 35° par rapport à l'horizontale. La vibration peut être induite de façon circulaire, elliptique ou par chocs. En plus de favoriser le déplacement du matériel, elle sert à prévenir le colmatage des surfaces de tamisage. Qu'ils soient suspendus ou montés sur une base à ressorts, les tamis vibrants occupent très peu d'espace. La figure.II.3, présente un exemple de tamis vibrants à deux étages. Il s'agit d'un système où les surfaces de tamisage sont agencées par ordre décroissant de grosseur des ouvertures et sont actionnées par le même mécanisme vibratoire. Le matériel à tamiser est introduit par le haut de la pente du tamis supérieur. Les particules qui sont retenues par ce tamis sont récupérées au bas de la pente tandis que celles qui le traversent tombent sur le tamis inférieur [Anne.G, et al 1999]

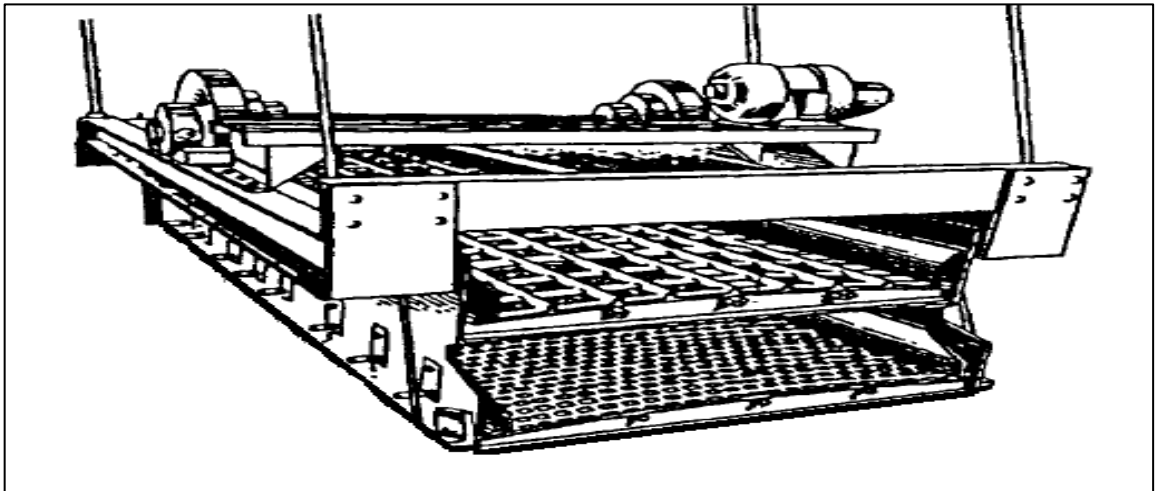


Fig.II.3: Schéma d'un tamis vibrant à deux étages de marque BERGEAUT CVB102

II.1.2. Concassage secondaire

La tranche granulométrique -60 +25 passe vers le concassage secondaire assuré par un concasseur à marteaux ; ce dernier est constitué d'une chambre à percussion limitée par des surfaces de blindages, à l'intérieur de laquelle tournent marteaux articulés disposés autour d'un arbre horizontal dont la vitesse de rotation est de 20 à 80 m/s, les parties inférieures de la chambre de percussion sont équipées d'une grille de contrôle à travers laquelle s'échappent les

particules suffisamment réduites. Le produit obtenu a une dimension inférieure à 25 mm, la capacité du concasseur secondaire est de 18 t/h [Anne G., et al 1999]

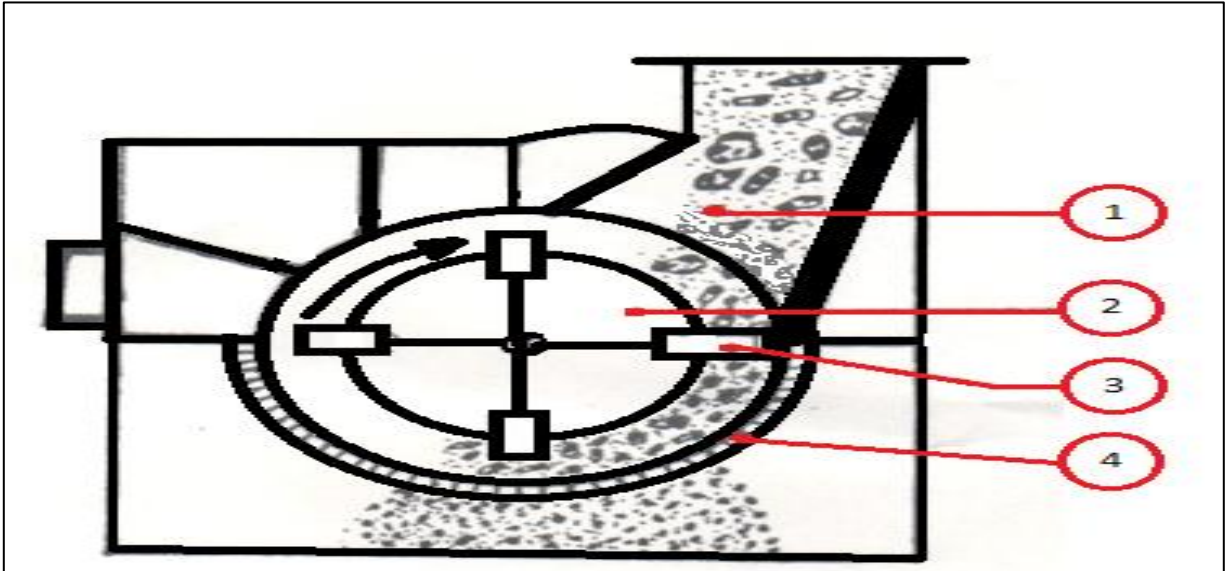


Fig.II.4: Schéma d'un concasseur à de marque LORO PARISINI

Légendes

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1. Chambre de percussion | 2. Arbre horizontal |
| 3. Marteaux | 4. Grille d'évacuation |

II.1.2.1. Concassage tertiaire

Ce dernier stade de concassage permet de réduire les grosseurs jusqu'à 8 mm à l'aide d'un concasseur à cylindres lisses. La matière entre dans une chambre délimitée par deux cylindres aux mouvements de rotation à basse vitesse, Il a pour principe de soumettre la matière à des forces de frottement ou d'attrition combinée avec une action d'écrasement pour causer la fracturation [Serge .B 2001]

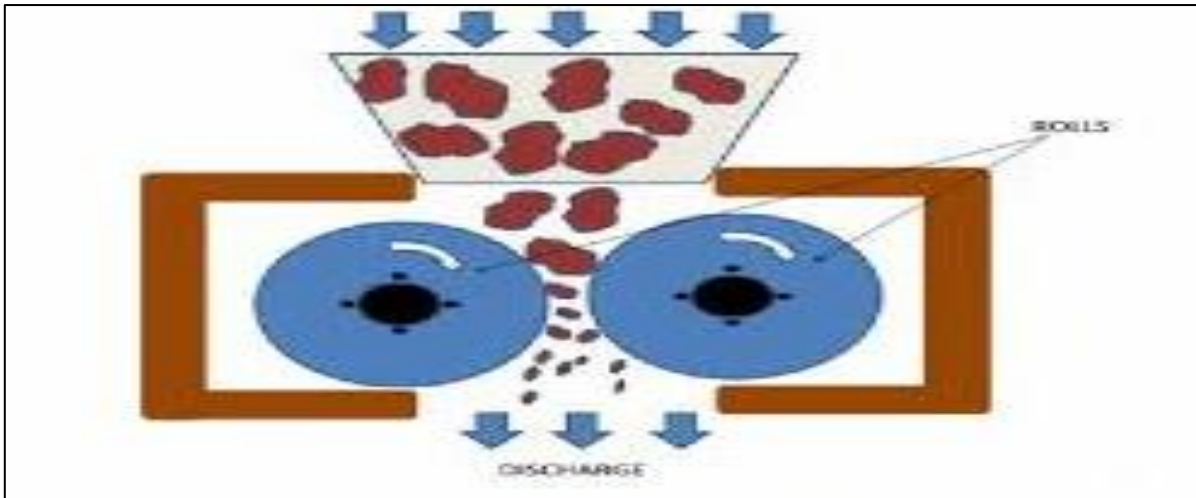


Fig.II.5:Schéma d'un concasseur à cylindre

II.1.3. Séparation par jig

Le minerai provenant de la section de préparation à une granulométrie inférieure à 08 mm est stocké dans la trémie d'alimentation régulière du jig ayant une capacité 08t/h. A son tour, il sépare ce dernier en deux fractions dont l'une légère et l'autre lourde dans un milieu aqueux ayant un rapport S/L devra être 30 à 50 % dépendant de teneur des fines dans le produit broyé.

Le concentré étant la fraction lourde subit une classification au moyen d'un classificateur à vis alimenté par l'intermédiaire d'une goulotte qui transporte la fraction lourde des jig. A l'aide d'une bande transporteuse, le sable sortant du classificateur avec une humidité de 20 à 25 %, est mis à l'air libre pour s'égoutter davantage. Une fois le concentré est égoutté, il subit un séchage au niveau du four sécheur. Finalement, le concentré obtenu doit être conforme à la norme API (Densité > 4,20) Alors que l'eau de débordement est recyclée après décantation.

Néanmoins, les stériles étant la fraction légère, se sont évacuées par gravité, puis à l'aide d'une goulotte elles sont mises à l'air libre de stockage, pour un égouttage préalable avant qu'elles soient stockées à l'extérieur du site.

Chapitre II: Techniques et technologies de traitement de la baryte d'Ain Mimoun.

L'alimentation de l'usine en eau claire est assurée par sondage situé à quelques kilomètres en amont de l'usine, elle arrive à l'usine par gravité, est stockée dans un bassin qui alimente le jig, et l'eau de traitement

II.1.3.1. Principe du fonctionnement du jig

Le jig fonctionne par le mécanisme connu depuis fort longtemps de l'action d'un mouvement de pulsation vertical de l'eau à travers une masse de minerai qui provoque un classement des différents constituants par gravité ; mécanisme de pulsation et stratification.

Les particules les plus lourdes se déposent au fond du lit ; les plus légères sont acheminées vers la surface. Il en résulte une stratification horizontale suivant le poids spécifique des particules. Après un certain parcours dans le jig , une séparation des couches du lit est possible et l'on recueille d'une part ; à la partie supérieure du lit les particules les plus légères et d'autre part, à la base du lit se stratifient les plus lourdes. Comme le produit recherché est plus ou moins lourd que le stérile, le concentré sera prélevé à la base ou à la partie inférieure du lit [Anne.G., et al 1999].



Fig.II.6: Le jig WEMCO d'Ain Mimoun

Chapitre II: Techniques et technologies de traitement de la baryte d'Ain Mimoun.

❖ Description

Le Jig est constitué d'une table fixe en tôle perforée muni des plateaux transversaux disposés verticalement. Entre ces plateaux on crée, avant la mise en marche, un lit en bille d'acier. Au cours du fonctionnement de l'appareil, une partie du minerai constitue des grains à la fois denses et de forte granulométrie (supérieurs aux ouvertures de la grille), se dépose entre ces plateaux, ces grains et les billes d'acier constituant l'ensemble de lit du jig lors du fonctionnement, la table d'alimentation est légèrement inclinée vers la sortie des produits.

Au-dessous de la table se trouve une cuve reliée à cette dernière par un diaphragme en caoutchouc, au niveau de ce diaphragme, qui est animé par un mouvement de va-et-vient, s'effectue l'arrivée d'eau. Ce mouvement alternatif vertical est commandé par une bielle fixée à un excentrique monté sur roulement.

Le mouvement est communiqué par l'eau aux produits, ce qui permet leur classification. La particularité consiste dans l'action conjuguée de l'excentrique qui provoque les mouvements alternatifs relativement lents des jigs ordinaires, avec une pulsation de fréquence plus élevée, qui assure une grande dispersion des particules de lit. Au cours du classement le minerai se comporte à la façon d'un produit « fluidisé ».

Grace à la transmission directe du mouvement de la cuve à l'eau qu'elle contient, la répartition des pulsations en largeur et en longueur est parfaite et le lit de produit n'effectue aucune « zone morte » ni turbulence. La cuve est montée sur des ressorts et fixée en position par des bras [Anne G., et al. 1999].

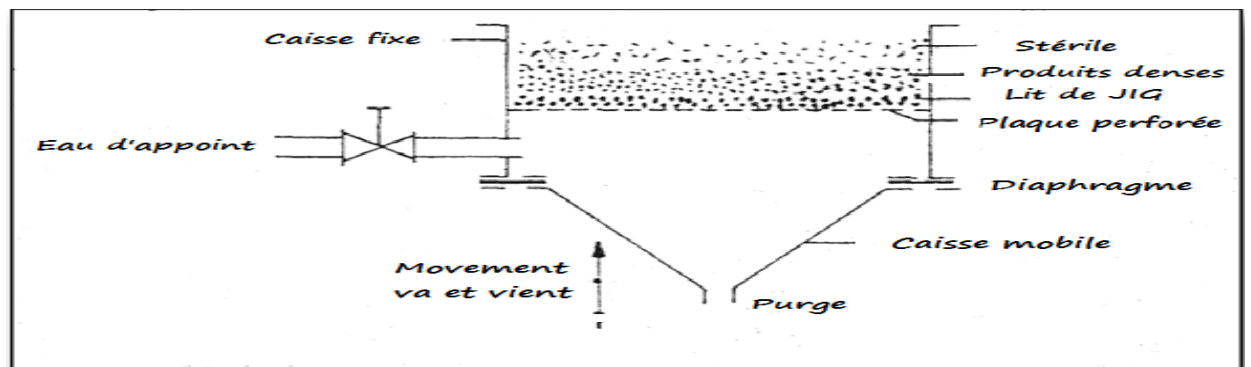


Fig.II.7:Eléments constituant un jig [bouchard.S 2001]

Chapitre II: Techniques et technologies de traitement de la baryte d'Ain Mimoun.

L'appareil permet la séparation en trois produits :

- Les produits denses fins ;
- Les produits denses gros ;
- Les produits légers.

Les produits denses dont les dimensions sont plus petites que les ouvertures de la grille passent à travers cette dernière et sont évacués aux purges (les produits denses fins).

La sortie des produits denses à grosse granulométrie s'effectue par un seuil réglable qui détermine le niveau de lit dans le jig, les produits légers débordent dans un couloir transversal fixe.

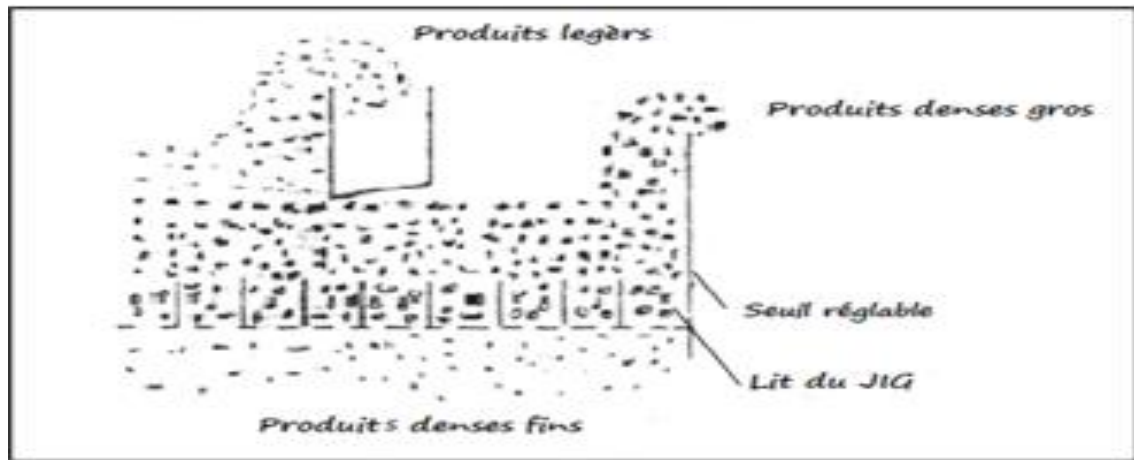


Fig.II.8: Stratification des produits dans un jig [bouchard.S 2001]

II.1.4. Classification

La classification du minerai barytique est réalisée au niveau des classificateurs mécaniques à vis. Ces derniers permettent d'obtenir deux produits, les sables qui sont les particules dont la vitesse terminale de chute est élevée, et le débordement qui est les particules dont la vitesse terminale de chute est faible pour qu'elles demeurent en suspension. Ces équipements sont constitués d'une longue vis baignant dans un canal à fond incliné (voir Figure II.9.) La force mécanique est assurée par la rotation de la vis qui assure la dispersion de la pulpe ainsi que le transport des particules sédimentées.

Chapitre II: Techniques et technologies de traitement de la baryte d'Ain Mimoun.

La pulpe à traiter ne doit pas contenir plus de 30% de solides et elle est alimentée par le dessus du canal. Le classificateur mécanique à vis est divisé en trois zones distinctes. La zone de transport qui est située entre l'alimentation et la sortie de la surverse est caractérisée par la sédimentation libre des particules. La chicane qui divise cette zone a pour fonction d'ajuster la profondeur et de dévier le parcours des particules en provenance de l'alimentation. Elle contribue aussi à augmenter l'effet de turbulence engendré par la rotation de la vis.

La zone de classification qui est située sous la zone de transport est caractérisée par des sédimentations entravées des particules. La troisième zone est celle des solides sédimentés qui est localisée complètement au fond du canal. Ces solides forment une couche hétérogène qui est constamment remuée et entraînée vers le haut par le vis. Ils sont transportés à un niveau supérieur à celui de la pulpe où ils subissent un lavage par jets d'eau qui a pour fonction de retourner dans la zone de sédimentation les particules fines qui ont été accidentellement entraînées par les autres particules. [Anne G., et al.1999]. L'efficacité de classification peut régler en fonction les paramètres suivants :

- La vitesse de rotation du vis ;
- L'angle d'inclinaison du canal ;
- La densité de la pulpe.

Les classificateurs à vis sont conçus pour la classification des minerais ayant une granulométrie inférieure à 25 mm. et dont le point de coupure varie entre 45mm et 1mm.



Fig.II.9: Classificateur à vis

II.1.5. Station de séchage et broyage

II.1.5.1. Séchage

L'opération est assurée à l'aide d'un four rotatif, qui est alimenté en minerai (concentré) par un distributeur et une bande transporteuse. Le produit séché est d'une humidité de 1% en max, et par l'intermédiaire d'un élévateur sera stocké dans la trémie du produit brut

[ENOF, 2016]

II.1.5.2. Broyage

Le broyeur pendulaire (Soudron SACRE BP16) est alimenté par la trémie de produit séché, ce dernier est broyé jusqu'à une finesse maximum 3 % de refus classe 74 μ m. Le produit broyé passe à une trémie de stockage par voie d'air (aspiration par un ventilateur à grande capacité). Les schlamms du broyeur sont aspirés et stockés dans des filtres [ENOF2016]

Chapitre II: Techniques et technologies de traitement de la baryte d'Ain Mimoun.



Fig.II.10: Station de séchage Broyeur pendulaire



Fig.II.11: Stockage des big-bags

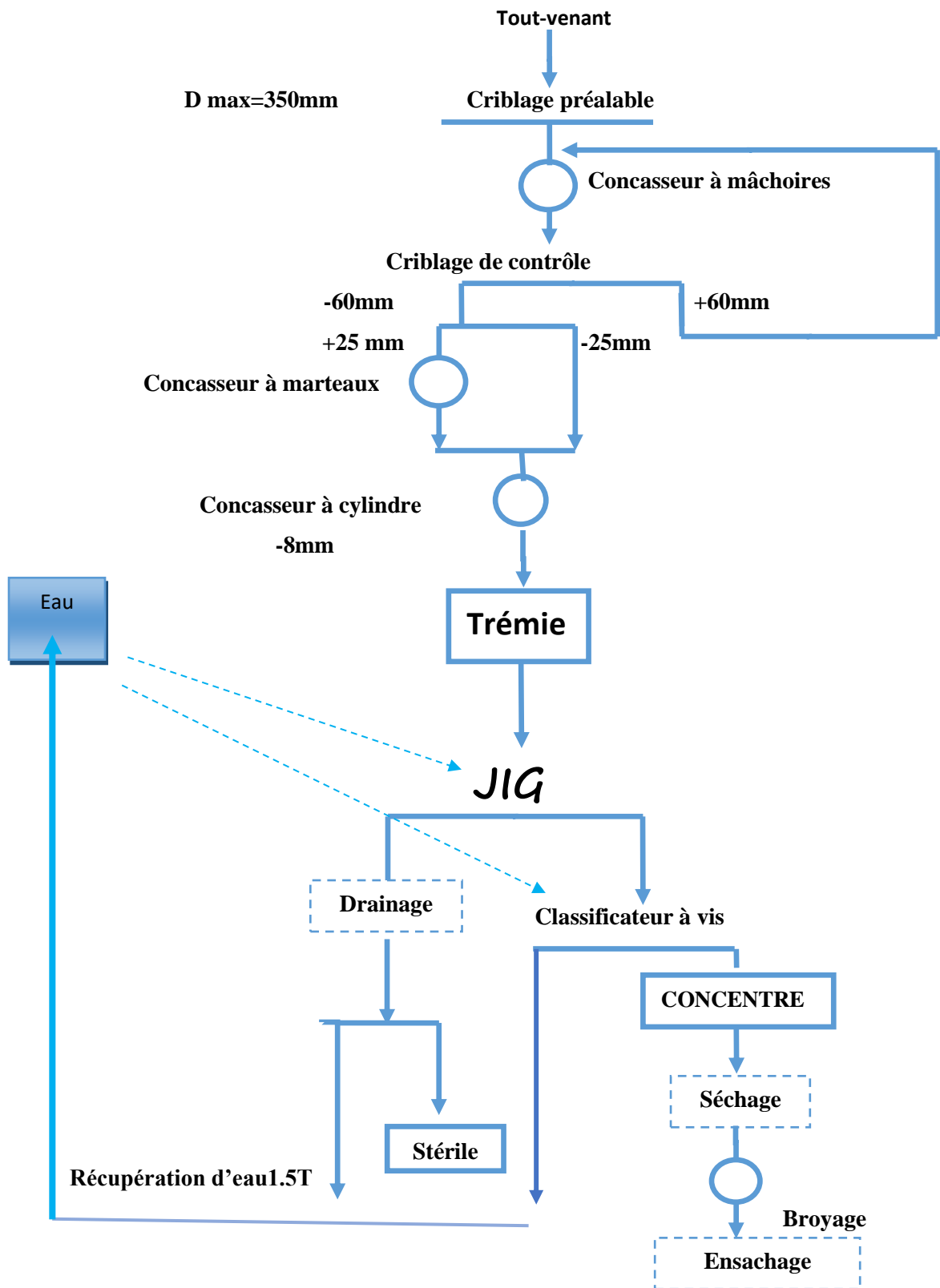
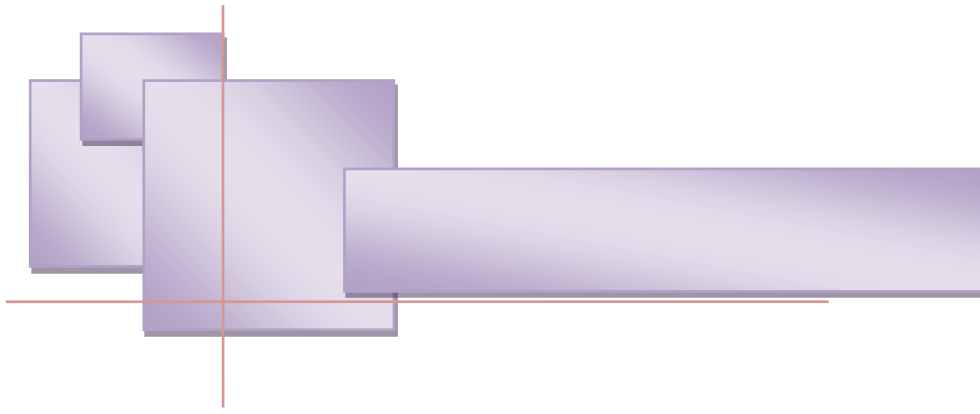


Fig.II.12: Schéma technologique de traitement du minerai barytique d'Ain Mimoun

Conclusion

La période de stage à l'usine de traitement et la consultation de différentes documentations stipulant les schémas technologiques de traitement du minerai barytique d'Ain Mimoun, nous permettent de conclure les points suivants :

- ❖ Dans la section de fragmentation, on utilise trois étages de concassage, le concassage primaire dans lequel utilisent un concasseur à mâchoires, le concassage secondaire où ils utilisent un concasseur à marteaux et pour le concassage tertiaire utilisent un concasseur à cylindres. Le produit sortant de cette section est d'une granulométrie de 8mm ;
- ❖ La méthode de séparation appliquée est celle de gravitation, dont le mécanisme consiste en la pulsation et stratification par jigage. Malheureusement ce procédé engendre une quantité énorme de rejets qui sont très nuisibles pour l'environnement ;
- ❖ Le concentré obtenu subit un séchage préliminaire dans un four rotatif à température de 105°C ;
- ❖ Le produit séché sera broyé au niveau de broyeur pendulaire jusqu'à une granulométrie inférieur à 0.074mm. Finalement, la baryte sera ensachée dans des sacs de 50 kg ;
- ❖ Le schéma de traitement de minerai barytique existant porte quelques inconvénients, la préparation mécanique n'est pas conforme aux exigences dimensionnelles, vu l'état dégradé de l'ensemble des équipements (concasseur, broyeur, etc.), et par conséquence, la concentration du produit dans le jig reste faible et ne pourra pas satisfaire en qualité et en quantité la demande et les exigences nationales.



CHAPITRE III

L'ÉTAT D'ART SUR LA VALORISATION DE LA BARYTINE



Introduction

Les méthodes d'enrichissement de la barytine sont les mêmes pour n'importe quels minerais, elles dépendent de différents paramètres dont certains liés aux procédés et d'autres liés aux minerais tels que la composition minéralogique, les propriétés physiques, physicochimiques et chimiques, etc. Ces méthodes sont illustrées dans la figure III.1 [Bulatovic. 1987, 2015 ; Bhaskar Raju.G et al 2004 ; Kolawole.F.O et al 2019 ; Browning J.S., Rampacek C., 1964]. [Ciccuro et al 1987, Deniz, 2000, Kolawole.F.O et al 2019].

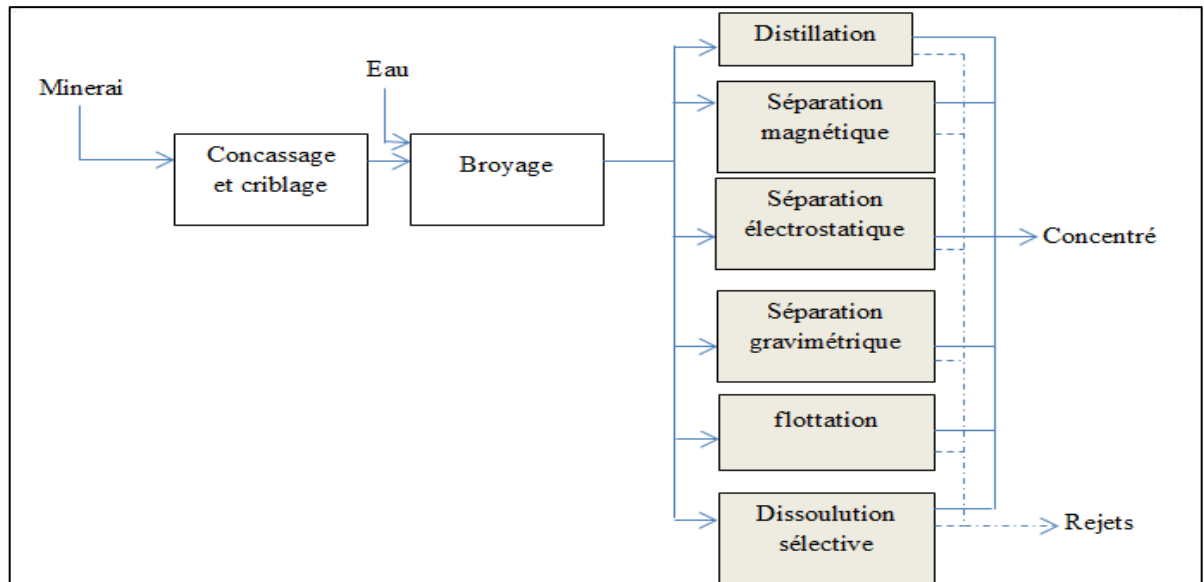


Fig.III.1: Les méthodes d'enrichissement de la Barytine

[Ripley.E et al 1996, Lottermoser, B. G. 2007, Kolawole.F.O et al 2019].

III. Procédé de séparation par gravité

Les méthodes de séparation par gravité utilisées dans les études de CANMET ont largement réussi à concentrer les minerais de barytine à >90% de BaSO₄. L'incapacité à atteindre 90 % de BaSO₄ était généralement liée aux échantillons principaux de faibles teneurs, par exemple inférieur à 30 % de BaSO₄. La séparation dans les milieux denses et dans les jigs ont été utilisés sur les minerais de barytine à gros grains.

Plusieurs études sur le minerai de barytine de Walton ont eu recours à une séparation densimétrique. Une étude comparative a été effectuée la séparation par jiggage en voie humide

Chapitre III : L'état d'art sur la valorisation de la barytine

et sèche de la nouvelle Ecosse, une pesée de 365 kg de barytine brun rougeâtre d'une teneur de 63,4% en BaSO₄, principalement contient de la barytine avec un peu de quartz et de carbonates.

Après un concassage et criblage humide jusqu'à - 9+4,8 mm, une séparation par milieu dense dans un séparateur à tambour Wemco, la densité du milieu est de 3,10 à 3,20, a permis l'obtention d'un concentré contenant de 85,5% BaSO₄, avec une récupération de 70,1%.

De meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant le ferrosilicium comme milieu dense (2,80), pour la séparation du minerai barytique dans un séparateur à tambour à milieu dense, les échantillons sont deux lots: le premier —morceaux de minerai de 150— 200 mm avec une teneur de 83,3% en BaSO₄. Lot 2 : baryte de 150 -200 mm, d'une teneur de 89,4 % en BaSO₄. Après un concassage, broyage et calibrage à—50+1,7 mm. Pour le Lot N°1 un concentré d'une teneur de 95,6% en BaSO₄ a été produit, avec une récupération de 80,8%. Pour le lot 2, un concentré analysant 93,5 % de BaSO₄ a été produit, avec une récupération de 82,8 %.

[Haw .V.A. 1957].

Biére H.L. pendant une séparation d'un minerai de barytine de L'ÎLEMCKELLAR à teneur de 87,3% en BaSO₄, concassé à —25mm, dans milieu dense de Galène d'une fraction granulométrique de -1,7+25 mm ; dépôt d'amendes de —2,4 mm. Il a obtenu un produit d'une teneur de 91,1% en BaSO₄, et 64,2 % de récupération. Et un concentré de table a été obtenu analysant 94,2 % de BaSO₄, avec une récupération de 16,3 %. La récupération combinée était de 80,5 %. [Wyman. R.A 1960].

R.K. Collings et S.S.B Wang ont procédé à la séparation d'un mélange de Barytine et dolomite ;50% BaSO₄, 50 % MgCO₃, sous forme d'échantillon préparé artificiellement ; en utilisant air jigging et air tabling. Dans les résultats : L'air jigging de la fraction —13 +2,5 mm a produit de la barytine de qualité boue, avec une récupération de 48%. Table d'air— fraction de 2,5+0,15 mm produite mudgiadehante, avec une récupération de 44 %. Quoique, dans leur travail, où ils ont utilisé le jigging et tabling humides et secs ; classification aérienne. Résultats : Une combinaison d'air jigging et d'air tabling a produit un concentré de sp gr >4,2 avec une récupération de 80,2% sur une alimentation de —9,4 mm. Une combinaison de jigging humide et de tabling humide a produit un concentré de sp gr >4,2, avec une récupération de 77,2 % sur une alimentation de —4,8 mm.[Collings.R.K et al. 1986]

III.1. Procédé de la flottation

On peut expliquer le principe de la flottation illustré dans la Figure III.2, comme suit : les particules minérales ayant une surface hydrophobe se fixent sur la surface des bulles d'air qui vont les faire transporter à la surface de la pulpe où elles forment une mousse minéralisée qui est raclée régulièrement dans un récipient. Tandis que, les particules ayant des surfaces hydrophiles n'ont aucune affinité avec les bulles d'air, alors, elles restent suspendues dans la pulpe ou bien elles noient dans le bas de la cellule suite à une densité importante. [Vincent Sarrot, 2006]

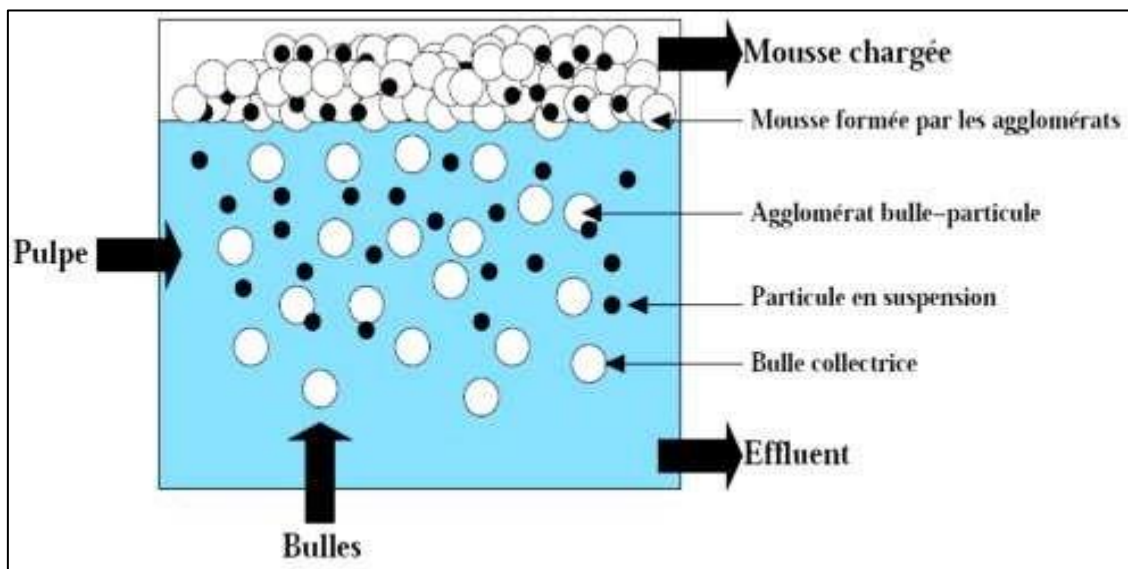


Fig.III.2: Le principe du procédé de flottation [Vincent Sarrot 2006]

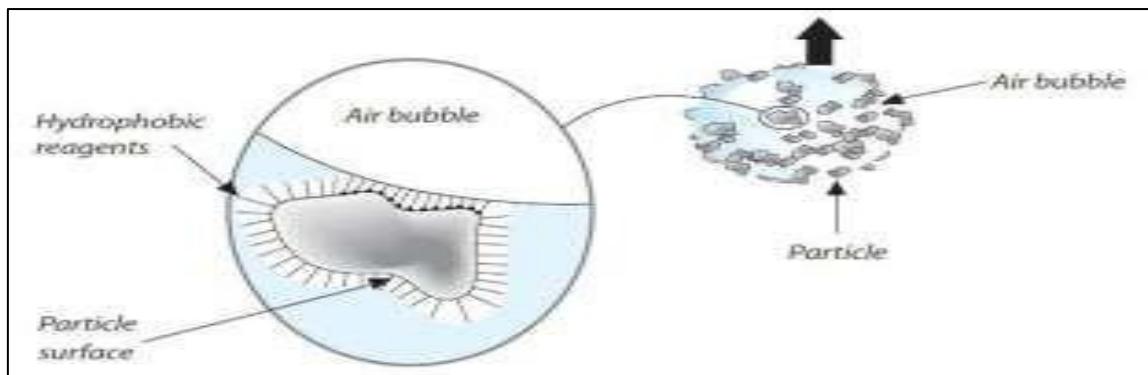


Fig.III.3: Une bulle d'air transportant les minerais sélectionnés

[Basics in Minerals Processing 2010]

Les réactifs de flottation stimulant les caractéristiques de surfaces, en fonction de leur rôle peuvent être classés en quatre groupes, les collecteurs modificateurs (voir Tableau III 1) rendant la surface minérale hydrophobe, et contrairement les déprimants qui limitent l'interaction des collecteurs avec les surfaces minérales et les rendre hydrophile. Le troisième groupe c'est ce des moussants, ayant une importance primordiale dans la qualité de la mousse et la cinétique des bulles d'air, alors que le groupe des régulateurs du milieu intervient dans le réglage des paramètres physicochimiques du procédé en totalité.

III.1.1. Les réactifs collecteurs

Les réactifs collecteurs ont pour objectif de rendre hydrophobes les matériaux en suspension, pour faciliter l'adhésion aux bulles d'air collectrices. Les xanthates, les dithiophosphates, les dithiophosphinates, la famille des thioesters, les acides gras et leurs savons, les esters sulfuriques d'alcool et les sulfonates sont des exemples. Les xanthates et les dithiophosphates utilisés pour la flottation des sulfures. Les acides gras et leurs savons utilisés pour les minéraux non métalliques (Vincent Sarrot 2006), de nombreux travaux de recherche ont été consacrés à l'utilisation de divers collecteurs lors de la flottation de la barytine de différents types de minerais, de bons résultats en présence de l'acide oléique ont été obtenus sur les minerais contenant de la silice sous forme de minerais gangue (Albert.B et al 1968, Bulatovic 2015). Les collecteurs largement utilisés pour la flottation de la barytine sont représentés dans le tableau III.2. [Kecir.M, 1993, Kecir.M et Botula.J, 2015, Bulatovic.2015].

Tab.III.1: Les collecteurs utilisés en flottation de la Barytine

Réactifs	Composition
<ul style="list-style-type: none">▪ Oléat de K▪ Aero 825▪ S-7723▪ Sinclair S-40▪ Sulfosuccinate 2875▪ Sulfopon T 35▪ Dodecylsulfate de Na▪ Flotbel R 171 A▪ Armacflote MFA 18	<ul style="list-style-type: none">▪ Sel de l'acide oléique C17 H33 COOH▪ Mélange de sulfonât de Na, mazout et eau▪ Sulfate▪ Sulfonate de Na▪ ROOC-CH2 – CH. COO M+ SO3 M+▪ Alkylsulfate de Na▪ C12 H25 SO4 Na▪ Sel sodique d'un ester phosphaté▪ Collecteur cationique

III.1.2. Travaux antérieurs sur la flottation de la Barytine

La barytine peut être traitée par flottation directe dans le cas des minerais contenant du Feldspath, des Silicates et les oxydes de terre rares, même la flottation inverse peut avoir lieu dans le cas des rejets de flottation des sulfures. [Marinakis, Shergold et al.1985 ; Teke et al.2002 ; Ozkan et al.2005 ; Deniz et al.2012 ;Widanagamage et al. 2015 ;Wang et al.2015 ; Sokic et al.2016 ; Bulatovic, 2015 ; Labidi N. S.2018 ;K.Abdellaoui et al 2019 ;Bulatovic, 2015].

La flottation d'un mélange de barytine et de Célestine synthétique effectuée dans un milieu à pH = 10 a donné de très bonne sélectivité entre les deux phases hydrophobe et hydrophile. [Estefan 1974].

La flottation de la barytine réalisée à l'interface liquide-liquide [Sonmez et Cebeci, 2003] a permis de récupérer le concentré sous forme d'une couche d'huile minéralisée. Un prétraitement de la surface par ultrasons est recommandé pour améliorer la sélectivité de séparation de la barytine et la fluorite, et augmenter la récupération du concentré. [Slaczke.1987]

L'acide oléique tant que collecteur permet l'obtention d'un concentré de très bonne qualité ayant trouvé une large utilisation notamment dans le domaine pharmaceutique et

Chapitre III : L'état d'art sur la valorisation de la barytine

parapharmaceutique à part le domaine de l'industrie pétrolière suite à la perturbation des valeurs de densité de boues.

Pour la flottation inverse de la barytine, Raju utilise les réactifs cationiques (les amines grasses) en tant que collecteurs pour flotter la Silice et les minéraux silicatés avec environ 11% de la barytine, car ces derniers sont négativement chargés. Les résultats sont obtenus dans le cas d'enrichissement des rejets de la barytine de faible teneur imbriquée avec des minéraux de gangue. [Raju et al.2016].

L'utilisé de l'hydroxamate comme collecteur a présenté une sélectivité plus élevée que l'acide oléique pour l'essai de flottation de bastnaésites, de calcite et de Barytine. La bastnaésite a réagi plus intensivement à la flottation par rapport aux autres minéraux. La combinaison de dodécyl-sulfate de sodium et lignine sulfonâtes de sodium a bien sélectionnée la flottation du minerai de calcite-barytine [Sadowski, 1992 ; Pradip et Rai, 2003 ; Zhang et al 2013].

Dans la condition de flottation de pH varie de 8 à 9, une pulpe chauffée jusqu'à 30°C, un rapport de 34% S/L, de 400à 450g/t de collecteur (OMC199), et 10 à15 g/t du moussant Oreprep F501. La granulométrie du minerai du gisement Kremikovtzi (Bulgarie) est de (65-75) % classe 74 µm. Le collecteur est introduit dans les opérations de broyage, la flottation principale dans le premier et le deuxième stade de flottation de contrôle et dans le premier stade de flottation releveluse s'il est nécessaire. Tandis que le moussant est introduit dans la flottation principale. Le [tableau III.2] présente la qualité du concentré obtenu où la teneur en BaSO₄ atteint 97,08%[Hadjiev.A et al 2000].

Tab.III.2: La composition du concentré barytique obtenulors de la flottation du minerai brut de Kremikovtzi (Bulgarie) [Hadjiev A. et al 2000].

Les composants	Les teneurs en%	
	Obtenues	Exigés
BaSO₄	97.08	>95.00
SiO₂	0.44	<2.50
Fe₂O₃	0.60	<0.15
CaO	0.05	...
MnO	0.90	...
Pb	0.07	...
CaF₂	...	<1.00

Chapitre III : L'état d'art sur la valorisation de la barytine

Udenko A a utilisé l'acide palmatique comme un collecteur pour la flottation de la Barytine de la région d'AZARA (NIGERIA), Afin de réduire le coût d'utilisation des réactifs chimiques et de l'acide oléique. Dans le résultat, un concentré de 91,9 % de Barytine a été obtenu. [Udenko.A et al 2011]

Des résultats très proches ont été obtenus par Larachi N., lors de la flottation du Plomb et de la Barytine des stériles de la mine de Ichemoul (W. BATNA. ALGERIE). La désulfuration des stériles miniers est réussie en présence d'une combinaison de xanthate et d'Aero407. Quant à la Barytine, une récupération moyenne de 50% et des concentrés allant de (80 à 90) % en BaSO₄ ont été atteints. [Larachi.N et al 2019]

Le résultat d'application de plusieurs stades de flottation, une granulométrie du minerai de Nigeria inférieure à 200 µm, réglage du pH=10.8 par le NaOH, Na-Cetylsulfate comme collecteur, le sulfate de sodium entant qu'un déprimant et le hexamétaphosphate de sodium comme moussant, a conduit d'obtenir un concentré de Barytine (96.8% en BaSO₄). [Ibisi.M.I. 1991]

Les collecteurs généralement préférés étaient le sulfate d'alkyle, en particulier le Dupanol L.S. (acide gras sulfoné) et les alkylsulfonates, en particulier la série Aerofloat 800. Dans une étude, l'oléoyltaurate (IgeponT33) a été utilisé (20), tandis que l'acide oléique a été utilisé dans une autre (57).

La concentration du collecteur était généralement comprise entre 250 et 500 g/t. Les modificateurs et dépresseurs utilisés comprenaient Na₂CO₃, Na₂SiO₃, Quebracho, BaC₁₂ et l'acide citrique. En général, la flottation des barytines plus grossières était assez rapide, de 2 à 5 minutes, bien qu'avec des tailles plus fines, le temps de flottation était plus long. La flottation a été réalisée dans des conditions légèrement alcalines, de pH 7 à 10, et un nettoyage en plusieurs étapes a été nécessaire pour obtenir des qualités élevées. Les densités de pâte variaient entre 13 et 30 % de matières solides. [Haw.V.A1953]

Dans son travail de laboratoire, V.A. Haw a effectué des essais de flottation sur la baryte de port Arthur,—minerai de 50mm; 88,1% BaSO₄. : Principalement barytine avec des oxydes et carbonates de fer mineurs. : Broyage à -420 g, dépôt ; re broyage des mélanges de table et des résidus combinés à -210g suivi d'une flottation.: Un concentré de table analysant 97,7% de BaSO₄, avec une récupération de 72,5% a été obtenu; la flottation a produit un concentré

analysant 96,3 % de BaSO₄, avec une récupération de 15,5 % ; la récupération combinée était de 88 %[Haw.V.A 1953]

La flottation avec un relavage en plusieurs étapes du minerai de baryte et fluorite du lac Ainslie, réalisée par [Wynian .R.A 1968], a permis d'obtenir un concentré de barytine d'une teneur de 95,0% en BaSO₄, avec une récupération de 90%, et un concentré de fluorine d'une teneur de 97,5% en CaF₂, avec une récupération de 85,8%.

Remarques : Le programme de flottation élaboré est le suivant; IgeponT33 (oléoyltaurate) a été utilisé pour faire flotter sélectivement la barytine.

Les essais préliminaires de concentration effectués par H.L Beer .Dans les conditions d'une composition minéralogique suivante : 59,32% BaSO₄ ; 30,35% SiO₂ ; 4,34 % Pb, 1,28 % Zn, et 1,78 % CaO, du minerai de Galène/Baryte de la mine de Spillimacheen, des essais de flottation ont été effectués. Principalement la barytine avec le quartz comme minéral majeur de la gangue, la flottation de la barytine, tout en déprimant la silice, a eu plus de succès, produisant un concentré d'une teneur de 93,1% en BaSO₄, avec une récupération de 61,3%. [Beer H.L 1949]

III.2. Séparation magnétique

III.2.1. Définition et principe

La séparation magnétique est un procédé qui est basé sur la différence des propriétés magnétiques des minéraux telle que la susceptibilité magnétique, Le principe de séparation est très bien expliqué dans la (figure 4) [Gérard .G 1991].

Dans les séparateurs magnétiques, les particules minérales ayant une susceptibilité magnétique importante seront colées à la surface là où le champ magnétique présent, tandis que les particules non magnétiques les boules en céramiques par exemple tombent par gravité dans le récipient des produits non magnétiques.

La séparation magnétique peut être réalisée par voie humide ou par voie sèche. Donc pour que la particule s'oriente vers le champ magnétique, la force magnétique doit être supérieure à celles d'entraînement dans un fluide et la tension interfaciale de surface

[Xiong. D, et al 2015] .

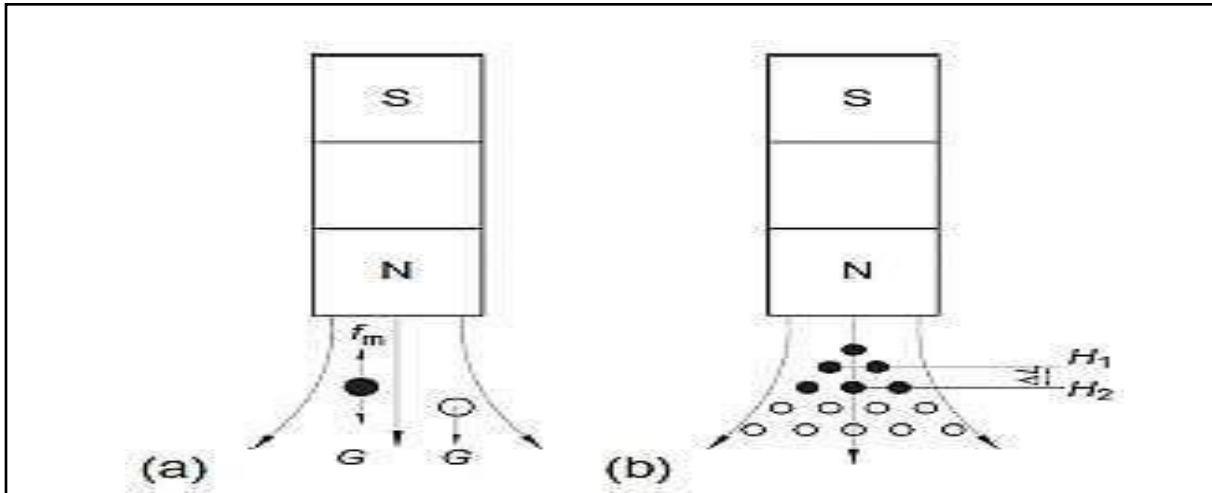


Fig.III.4: La séparation magnétique entre billes de fer et de céramique. : boule de fer, boule en céramiques : pôle sud de l'aimant, N: pôle nord de l'aimant, **fm**: force magnétique, **G**: force de gravité, **H**: l'intensité du champ magnétique [Xiong.D et al2015].

III.2.2. Travaux antérieurs sur la séparation magnétique

La séparation magnétique a été impossible pour certains minéraux non magnétiques l'exemple la calcite et la barytine. Mais, Shaikh et al. Dans leur travail de recherche ont mentionné qu'un nouveau concept avait été développé. C'est la conversion des minéraux non magnétiques en autres magnétiques par le moyen des réactifs surfactants magnétiques tel que le manganèse stéarate et oléate de manganèse. Une augmentation de la concentration de ces produits a conduit à l'augmentation des propriétés magnétiques de la calcite et de la barytine permettant de récupérer la calcite et la barytine [Shaikh et al 1994].

Dans le cas d'une présence des quantités considérable des phases magnétiques dans les minerais barytiques, une séparation magnétique à haute intensité est recommandée pour une flottation adéquate de la barytine même une séparation gravimétrique préalable peut être recommandée, le cas du gisement de Barytine et fluorite d'Eskisehir-Beylikahir. Dans le même contexte Jakabsky et al. ont utilisé la séparation magnétique pour le concentré de sidérite pour obtenir un produit magnétique, suivi par flottation d'un produit non magnétique pour obtenir un concentré (Barytine) et résidus (quartz).(95-100)% de Barytine. [Jakabsky et al 2010 ; Ozbas et Hicyilmaz, 1994 et Grigorova et al 2014].

III.3. Séparation électrostatique

III.3.1. Définition et principe

Le principe général du traitement électrostatique est le suivant : lorsqu'une particule chargée électriquement est à proximité d'une électrode positive et d'une électrode négative, elle sera attirée par celle qui est de signe contraire et repoussée par celle qui est de même signe. Le dessin de la (figure III.5) illustre ce comportement ainsi que la nécessité d'utiliser une tension continue pour un traitement électrostatique ; autrement, le changement de signe systématique du plus au moins, caractéristique des tensions alternatives, ferait changer du plus au moins le signe de chaque électrode, de sorte qu'un traitement serait impossible.

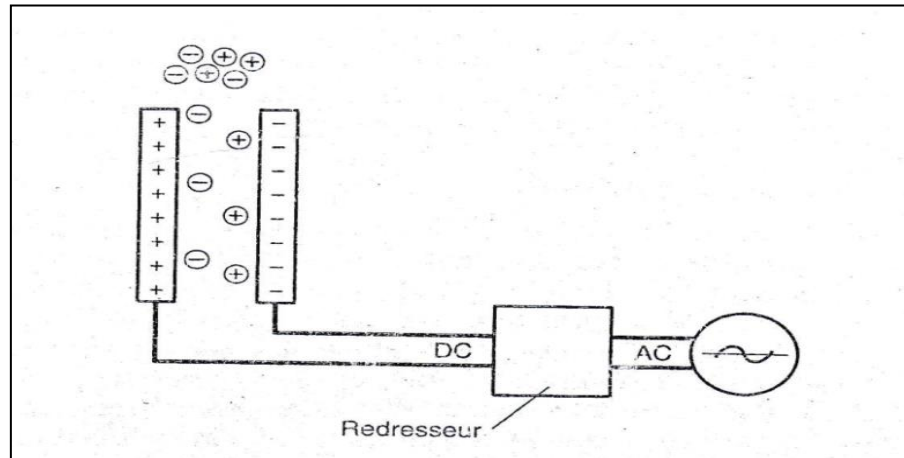


Fig.III.5: Principe de base du traitement électrostatique [Bouchard .S 2001]

III.3.2. Travaux antérieurs sur la séparation électrostatique

Les auteurs Bittner et al.2014 ont signalé dans leur travail de recherche que l'utilisation de la séparation turbo-électrostatiques est plus rentable que la flottation conventionnelle pour la séparation baryte/quartz. Conover et Morris l'ont également confirmé. Où ils ont utilisé des séparateurs à bande pour la séparation des matériaux très fins (<1 μm) à moyennement grossiers (300 μm) avec des débits très élevés. Ils considèrent cette méthode comme respectueuse de l'environnement ente nécessite que peu ou pas de prétraitements.

Pour la valorisation de la baryte du gisement de Memramcook une séparation électrostatique est utilisée. La composition minéralogique de l'échantillon est : 50% de Barytine et de fluorine, et 40 % de quartz fortement coloré en fer. Les fines inferieures à 150 μm ont été

éliminées par criblage, la séparation électrostatique a été réalisée sur la fraction-420+150g; la séparation magnétique a été utilisée pour éliminer le quartz coloré par le fer. La séparation électrostatique a été la plus réussie en utilisant une polarité positive, la barytine et la fluorite agissant comme non-conducteurs. Un concentré d'une teneur de 84,1 % en BaSO₄ a été obtenu, la récupération n'a pas été efficace puisque la fluorite est restée associée avec la barytine. La séparation électrostatique en tant que technique de préconcentration pour la barytine nécessite des recherches plus approfondies. [Bittner et al 2014b ; Conover et Morris 1912 ; Wyman 1970; E.G. Dewolf. 1957]

III.4. Méthodes de séparation combinées

Une étude du traitement des échantillons de baryte de quatre lots provenant de dépôts sélectionnés :

- ❖ Lot 1: 150 mm de minerai provenant de Scotsville; spgr 4,28.
- ❖ Lot 2 : 150 mm de minerai provenant du lac Ainslie ; sp gr 3,77.
- ❖ Lot 3: 150 mm de minerai provenant de Pine Brook ; sp le 4.04.

Lot 4: —Minerai de 150 mm provenant de Brookfield; spgr 4.27. Minéralogie : La barytine de Scotsville se trouve avec des quantités mineures de calcite et de fluorine. La barytine du lac Ainslie se trouve avec de la fluorine verte et un peu de calcite. La barytine Pine Brook est présente avec des quantités importantes de calcite et des sulfures mineurs. La barytine Brookfield se trouve avec la sidérite. Valorisation : Concassage à 12 mm ; jigging à sec et air tabling; jigging humide et table mouillée avec classification avant table mouillée.

Les fines de -150 µm provenant des échantillons de Scotsville et de Pine Brook ont été soumises à une flottation. La séparation magnétique a été utilisée pour éliminer la sidérite de la barytine Brookfield. Résultats : De la barytine de qualité boue (sp gr >4,2) a été obtenue avec chaque échantillon de dépôt. [R.K. Collings et S.S.B. Wang and J.M. Lamothe 1986]

La concentration de la baryte contenue dans les résidus issus des mines GIANT MASCOT en utilisant la flottation et les tables à secousses comme procédés de séparation, dans les conditions de calibrage à 44 µm avec tablage de la fraction +44 µm et flottation de la fraction -44 µm. La mise en table a produit un concentré analysant 88,2% de BaSO₄, et la flottation, un concentré analysant 95,6% de BaSO₄; la récupération combinée était de 79,2%. Il est peu

probable que la barytine provenant de ce gisement convienne comme pigment de peinture, bien qu'elle soit acceptable comme additif pour la boue de forage [Wyman.R.A 1958] et [Johnson. J.D 1940].

La séparation de la baryte des échantillons de Baryte/Fluorite de la mine Lac Ainsi ayant les proportions suivantes 57,5 % BaSO_4 , 24,8 % CaF_2 , a été effectuée à l'aide de la séparation magnétique et les tables à secousses. Il était préférable de déposer des fractions calibrées séparément, -500+ 150 μm et -150 μm , plutôt que de déposer du minerai non calibré. En combinant les deux minerais et en traitant Les deux tailles séparément, un concentré de 91% de BaSO_4 (qualité boue) a été obtenu, avec une récupération de 68 %. La séparation magnétique a été utilisée pour éliminer le manganèse. [Wyman.R.A 1966] La concentration gravitaire, suivie d'une flottation à la barytine et la fluorine a permis l'obtention d'un concentré combiné de table et de flottation de barytine d'une teneur de 93,6% en BaSO_4 , avec une récupération de 94,7 %. Un traitement concentré de fluorine a donné un produit analysant 97,6 % de CaF_2 , avec une récupération de 83,3 %. Les minerais utilisés sont de Johnson; 77,9 % BaSO_4 , 19,2 % CaF_2 , 2,4 % CaCO_3 ; et de la rivière Trout; 25,0 % BaSO_4 , 48,0 % CaF_2 , 27,0 % CaCO_3 . Le mélange des deux types de minerais 1:1 de 52,4 % BaSO_4 , 34,5 % CaF_2 , 13,4 % CaCO_3 a subi un concassage à une granulométrie de 12 mm, puis un broyage et criblage à -300 μm

[Carr.E.L 1945]

Conclusion

Les minerais arrivant à l'usine de traitement pour une séparation, ils doivent passer par la section de préparation mécanique pour deux buts principaux sans lesquels la séparation ne peut pas avoir lieu, la réduction de leur taille et la libération de la substance utile de la gangue. La préparation mécanique comporte les opérations suivantes : le concassage, le broyage, le criblage et la classification.

Par la suite, pour choisir le procédé convenable à la séparation de ces minerais, il est nécessaire de savoir toutes les caractéristiques physiques, physicochimiques, chimiques et la minéralogique de ces derniers. Les méthodes conventionnelles existées pour la concentration sont la séparation magnétique qui exploite les propriétés magnétique des minéraux telle que la susceptibilité magnétique, la séparation électrostatique qui est basée sur la propriété de

Chapitre III : L'état d'art sur la valorisation de la barytine

conductibilité du courant électrique, la gravitation étant la plus ancienne méthode de traitement exploitant la différence de densité des minéraux et finalement la flottation, le procédé qui a trouvé une large utilisation à l'heure actuelle, il est basé sur la différence des propriétés superficielles des minéraux.

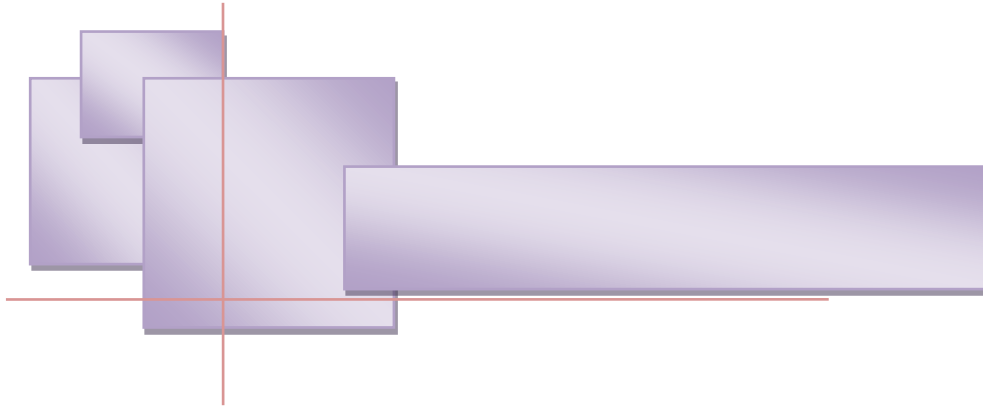
L'analyse de nombreuses sources bibliographiques nous a permis de conclure les points suivants :

La barytine peut être enrichie par le moyen de différentes méthodes. Mais seules la flottation et la gravitation ont trouvé une large utilisation indépendamment quel est le type du minerai barytique est en question ;

La flottation a permis d'obtenir un concentré de haute qualité pouvant atteindre une teneur de 96 % en barytine, destiné pour divers domaines, tel que l'industrie pharmaceutique, parapharmaceutique, le papier, etc. Ce type de concentré malheureusement ne peut pas être utilisé dans les travaux de forage pour des raisons techniques, la diminution de la densité de la boue à cause des réactifs chimiques.

L'utilisation de la gravitation a conduit à obtenir un concentré de bonne qualité où la teneur en barytine atteint les 80 %, ce type de produit est destiné beaucoup plus pour les travaux de forage ;

La méthode de séparation combinée, où ils utilisent l'ensemble de différentes opérations pour l'enrichissement des rejets barytiques et les minerais complexes contenant plus d'un minéral utile, a trouvé aussi une large utilisation, à l'aide de laquelle on peut obtenir des concentrés de différentes teneurs en barytine atteignant de 76.5 %



CHAPITRE IV
CARACTÉRISATION
GRANULO-CHIMIQUE
DU MINÉRAI
BARYTIQUE

Introduction

Pendant la période de stage à la mine d'Ain Mimoun et après avoir bien visité le site, on s'est rencontré avec le problème du minerai barytique du filon 4 et 10. Ce type de minerai est caractérisé par la présence de la silice qui incruste les particules de baryte, ce qui rend leur séparation relativement difficile.

La caractérisation physico-chimique et minéralogique du minerai barytique du filon 4 et 10, nous permettra de s'orienter dans la recherche et le choix d'une méthode de séparation fiable et adoptée. Cette étude nous permettra de :

- Définir la distribution granulométrique de différentes classes composant l'échantillon ;
- Connaitre les minéraux constituant le minerai (leur nature et leur composition) ;
- Les proportions relatives de ces minéraux ;
- La forme et dimensions des grains.

Cette caractérisation a été effectuée sur différents échantillons du minerai des filons 4 et 10, en utilisant de différents outils d'analyse qui seront bien présentés dans ce chapitre.

- Analyse granulométrique ;
- Observation microscopique (microscope binoculaire);
- Microscopie Electronique à Balayage (MEB) ;
- Fluorescence des rayons X (FRX) ;
- Diffractomètre à Rayons X (DRX).

IV. Echantillonnage

Le but visé par l'échantillonnage est d'obtenir un éventail d'échantillons représentatifs qui reflète toutes les caractéristiques physiques et chimiques de l'ensemble du site étudié.

Les minerais sont caractérisés par leur grande variabilité minéralogique d'un site à l'autre mais aussi sur un même site, ce qui leur confère une nature hautement hétérogène.

À la suite du prélèvement, certaines conditions de conservation des échantillons pour le transporter l'entreposage doivent être respectées. Ces conditions concernent essentiellement la température à laquelle doit être maintenue les échantillons ainsi que le type de contenants dans lesquels ils doivent être conservés. Il est important de préserver les échantillons contre toutes les formes de dégradation possibles (biologique, chimique, physique, thermique, rayons ultraviolets, etc.) [Anne. G et al 1999]

L'échantillon utilisé pour notre étude a été prélevé et stocké par l'ingénieur du laboratoire de l'unité de traitement.

IV.1. Préparation des échantillons

Plusieurs opérations de préparation sont impliquées telles que le broyage, l'homogénéisation et quartage. Les opérations requises doivent donc être effectuées de façon à préserver l'intégrité des échantillons.

a) Broyage

Modes d'opération

- ✧ Á sec
- ✧ Durée : 10 mn
- ✧ d_{\max} : 8 mm
- ✧ D_{\max} : 20 mm

b) Homogénéisation

Les échantillons qui subiront l'analyse doivent être homogènes et exempts de toute agglomération et gros débris. C'est une méthode de laboratoire permettant de disperser parfaitement les particules initialement agglomères.

c) Quartage

C'est une opération indispensable pour une meilleure représentativité de l'échantillon. Après l'opération d'homogénéisation, le quartage sert à constituer un cône régulier au moyen d'une pelle, puis on le transforme sous forme de galette plate de contour plus au moins circulaire. Cette galette est ensuite partagée en quatre (04) quarts égaux, on prélève deux quarts opposés, alors que les deux autres seront gardés comme témoins. On recommence la même procédure de

fractionnement jusqu'au dernier quartage. Par cette méthode on réduit de volume de l'échantillon sans modification de sa teneur moyenne.

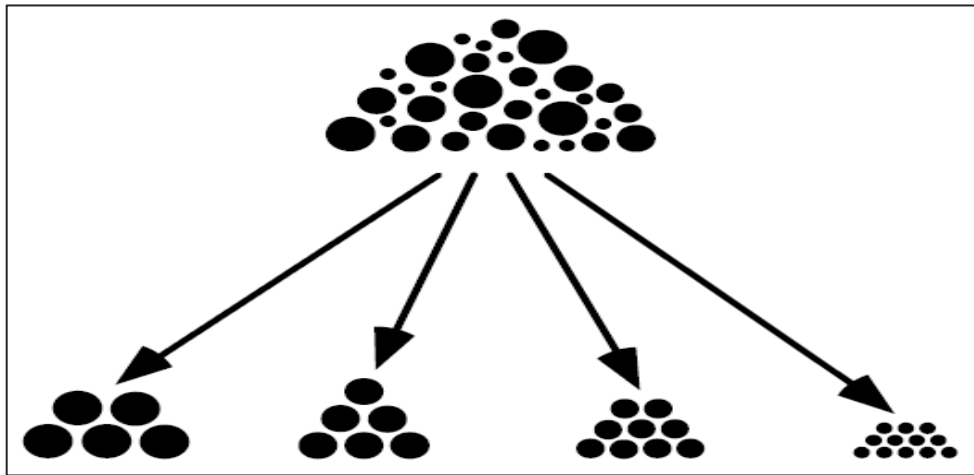


Fig.IV.1: Méthode de quartage.

IV.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est définie comme étant la séparation d'un ensemble de particules en fonction de leur grosseur afin d'obtenir des ensembles de particule appelés fractions granulométriques. Pour l'analyse granulométrique on utilise la méthode de tamisage. Ces fractions sont constituées de particules dont la grosseur couvre un intervalle relativement restreint et diminue d'une fraction à l'autre.

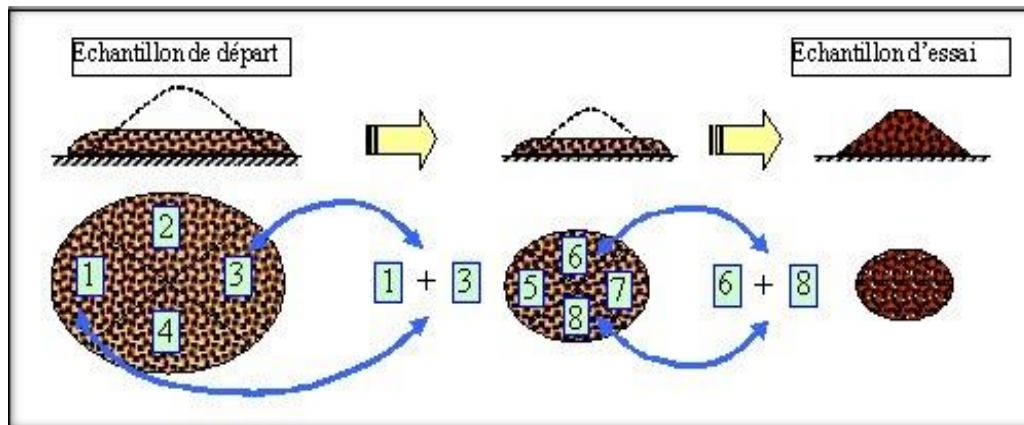


Fig.IV.1: Séparation d'un ensemble de particules en plusieurs fractions granulométriques

[Anne. G et al 1999]

Chapitre IV : Caractérisation granulo-chimique du minerai barytique

Lors de l'essai de tamisage à sec conventionnel, la série de tamis sont dans les mailles suivantes (mm) : (4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063; 0,045), les tamis sont sélectionnés et empilés verticalement selon la taille des ouvertures de tamis qui décroît de haut en bas. Le tamis le plus grossier est sur le dessus de la pile et celui le plus fin est en dessous.

Avant l'opération de tamisage il est nécessaire de sécher les échantillons dans un étuve à une température de 105°C pendant 24h ; afin d'éviter le colmatage du matériau (eau d'humidité) dans les ouvertures des tamis utilisés.

L'échantillon sec pesant 800 grammes est introduit sur le tamis du haut et la pile entière est soumise à un mouvement de secousses horizontales et verticales grâce à un appareil de tamisage (tamiseuse électrique) spécialement conçu à cette fin voir figure IV.3, pendant 20min.

L'analyse granulométrique s'effectue au niveau de laboratoire de valorisation des ressources minières et environnement (LAVAMINES) de département des mines de l'université de Badji Mokhtar Annaba.

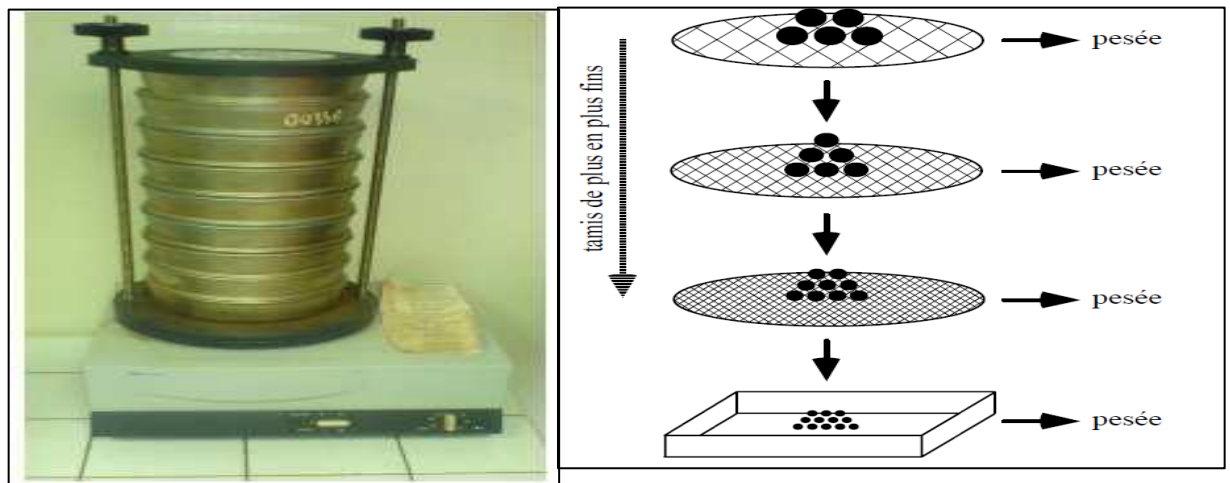


Fig.IV.2:Tamiseuse électrique

IV.3. Analyse microscopique

Les classes de grosseur destinées à l'observation microscopique sont :

(-0.5+0.25) (-0.25+0.125) et (-0.125+0.063), ces dernières ont subi préalablement un lavage et séchage au four à 60°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. L'observation a été effectuée sous un microscope binoculaire de laboratoire du département de géologie de l'université d'Annaba.

IV.4. Analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X (DRX) est l'une des techniques non-destructrice des mélanges à plusieurs composants, elle permet une analyse rapide et communément utilisée pour identifier les différentes espèces minérales présentes au sein d'un matériau ainsi que leurs paramètres de mailles. Elle peut aussi être utilisée pour accéder à des informations quantitatives comme la proportion relative de chacune des espèces dans une matrice. Elle peut également nous renseigner sur la nature et parfois quantifier les minéraux cristallins constituant un corps solide, elle peut aussi être utilisée pour déterminer le degré de cristallinité dans une phase. [Gravereau. p 2012]

IV.4.1. Diffraction des rayons X

L'identification minéralogique est effectuée par diffractométrie des rayons X. L'appareillage utilisé est un diffractomètre PANalytical automatisé et le traitement des spectres est réalisé par un logiciel de dépouillement X'Pert Pro MPD. Un faisceau monochromatique (anticathode Cu $K\alpha$; $\gamma = 1.541838 \text{ \AA}$; filtre Ni) est envoyé sur les plaques avec un balayage de 3 à 65°, par pas de 0,02° d'une durée de 2s. Les raies diffractées correspondent aux distances inter réticulaires caractéristiques des différents minéraux présents. Les analyses ont été faites au Laboratoire des Ressources Minérales et Environnement université d'Al-Manar, Tunis.



Fig.IV.3: Diffractomètre des rayons X.

IV.4.2. Analyse par fluorescence des rayons X « FRX »

La fluorescence X est une propriété spectrale des atomes exploitée en analyse pour obtenir des renseignements qualitatifs sur la composition élémentaire de toutes sortes de mélanges. Cette méthode est non destructive et ne nécessite pas de préparation d'échantillons, (pour les échantillons de petites dimensions seule une adaptation du porte échantillon est nécessaire). La configuration de certains appareils permettant de travailler très près de l'échantillon est un avantage important, particulièrement lorsque celui-ci est de petite taille.

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

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

Quand on irradie avec des photons ou quand on bombarde avec des particules de grande énergie entre 5 et 100 keV, un matériau servant de cible celui-ci émet une fluorescence située dans le domaine des rayons X. Le spectre de cette photoluminescence comporte des radiations dont les longueurs d'ondes sont caractéristiques des atomes de ce matériau. Le mode d'extraction pour provoquer ce qu'on nomme la fluorescence X des atomes sont nombreux : photon ou particules.

L'application en analyse chimique est évidente, elle consiste à comparer le spectre de fluorescence X émis par l'échantillon inconnu à des spectres de référence dont les compositions sont connues ou à des spectres d'éléments purs allant du bor Br ($Z = 5$) à l'uranium ($Z = 92$). L'échantillon est finement broyé non seulement pour assurer l'homogénéité, mais aussi pour éviter l'effet de grain sur le trajet des rayons X qui perturberait le résultat

[Francis.R et Annick.R 2007].

L'analyse de la fluorescence X (XRF), a été réalisée dans une entreprise publique économique / ORGM.spa.



Fig.IV.4: Un Spectromètre à fluorescence X (SPECTROMETRE AXIOS PANalytical)

IV.5. Observations au microscope électronique à balayage

Les observations microscopiques sur sept tranches granulométriques du minerai de baryte étudié ont été réalisées par microscope électronique à balayage MEB au laboratoire de l'école nationale supérieure des mines et métallurgie d'Annaba. Elle sont consistées à l'imagerie à l'aide d'un microscope de marque FTIQUANTA250 (FigureIV.5), et ce, afin d'étudier la morphologie des minéraux principaux qui constituent le minerai barytine. Les observations microscopiques au MEB ont été réalisées sur les tranches granulométriques :

(-0.5+0.25) ; (-0.25+0.125) ; (-0.125+0.063) et ce pour identifier les phases minéralogiques qui existent dans chaque fraction ainsi que leur distribution par classement dimensionnel.

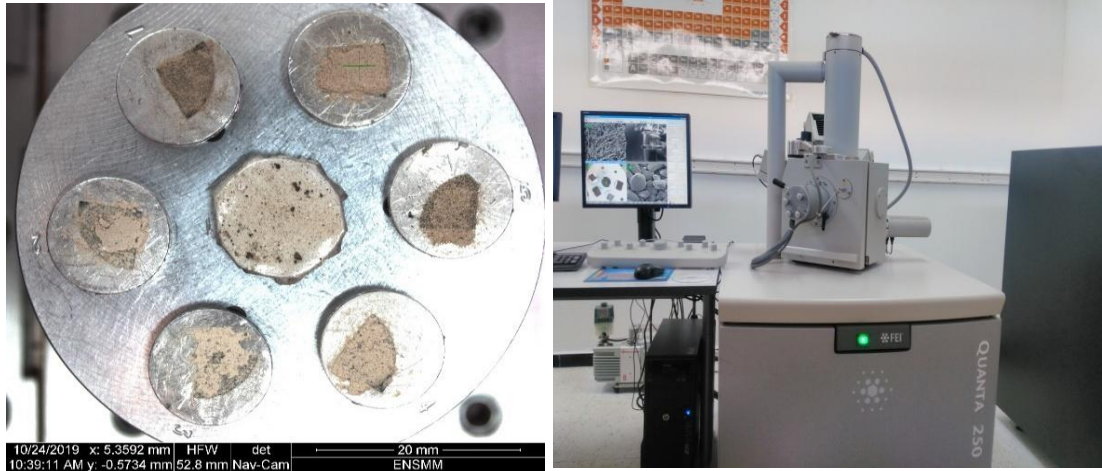


Fig.IV.5: Microscope électronique à balayage MEB(-0.25+0.125) et (-0.125+0.063).et ce, pour identifier les phases minéralogiques qui existent dans chaque fraction ainsi que leur distribution par classement dimensionnel.

IV.6. Résultats et discussions

IV.6.1. Analyse granulométrique

Les résultats du tamisage peuvent être compilés de trois différentes étapes :

- a. en calculant le pourcentage massique de chaque fraction,
- b. en calculant le pourcentage cumulé retenu sur chaque tamis
- c. en calculant le pourcentage cumulé passant chaque tamis. Les résultats de l'analyse granulométrique sont présentés dans le (tableau IV.1) et illustrés dans la (figure IV.6).

Selon les résultats de l'analyse granulométrique présentés dans le (tableau IV.1) on remarque que la classe (-0.5+0.25) est d'un rendement plus élevé, elle occupe plus de $\frac{1}{4}$ de la totalité d'échantillon On constate un faible rendement en ce qui concerne la classe +4mm.

Tab.IV.1: Résultats de l'analyse de tamisage

Tranche Granulométrique (mm)	Rendement Pondéral (g)	Rendement Partiel (%)	Rendement Cumulé refus (%)	Rendement Cumulé Passant (%)
+4	1.07	0.13	0.13	100
-4 ; +2	14.21	1.78	1.91	99.87
-2 ; +1	56.21	7.03	8.94	98.09
-1 ; +0,5	153.89	19.24	28.18	91.06
-0.5 ; +0,25	208.17	26.02	54.2	71.82
-0.25 ; +0,125	153.26	19.16	73.36	45.8
-0.125 ; +0,063	103.91	12.99	86.35	26.64
-0.063 ; +0,045	83.45	10.43	96.78	13.65
-0.045 ; +0	25.83	3.22	100	3.22
Masse totale	800	100		

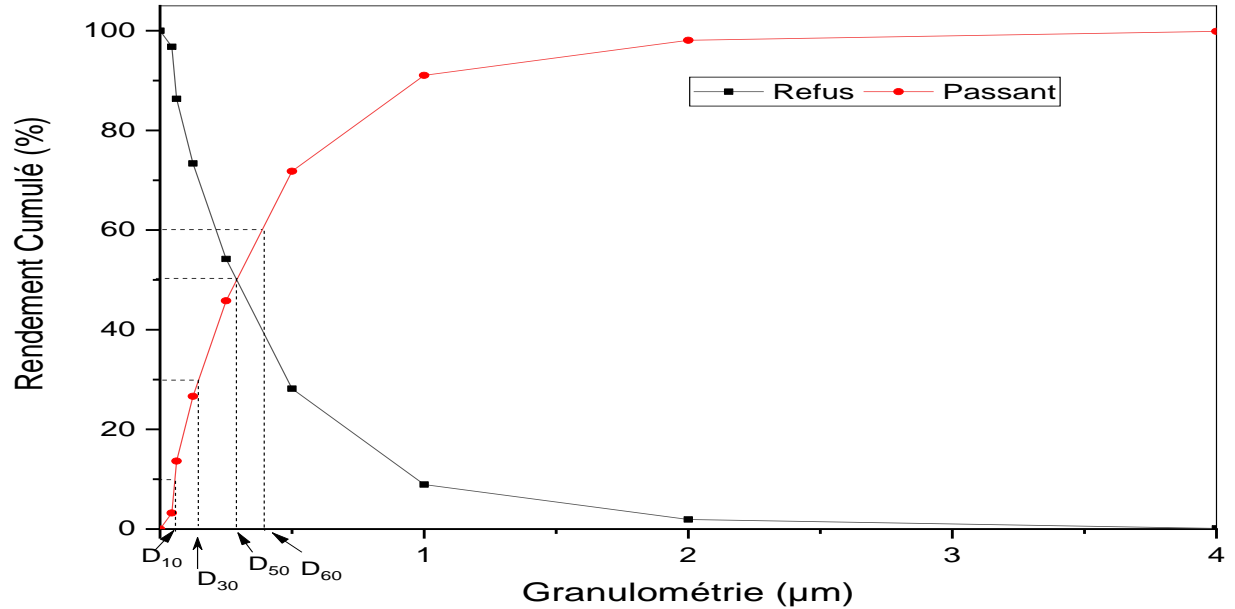


Fig.IV.6: Courbe granulométrique

D'après la présentation graphique des résultats de l'analyse de tamisage, voire (figure. IV.6) on remarque que la forme concave de la courbe des passants ce qui nous permet de juger la prédominance des fines particules et la fragilité du minerai, c'est-à-dire on a affaire à un type de minerai tendre.

IV.6.2. Détermination du coefficient d'uniformité

Les caractéristiques de la courbe granulométrique sont alors définies comme suit : D10, D30, D50, D60 désignant respectivement les diamètres des éléments correspondant à 10, 30, 50 et 60 (%) du tamisat.

Autrement dit, la taille de maille de la catégorie de tamis utilisé, laissant passer les 10, 30, 50 ou 60 (%) du minerai de départ.

D'après la courbe tamisat-refus on obtient les résultats suivants :

- D10 = 0,12 mm
- D30 = 0,30 mm
- D50 = 0,60 mm
- D60 = 0,80 mm

Il faut bien un moyen qui puisse rendre compte si la granulométrie est serrée (uniforme) ou plutôt étalée, c'est justement le rôle du coefficient de HAZEN (coefficient d'uniformité), définie par la relation suivante :

$$\text{➤ } C_u = D_{60} / D_{10}$$

$$\text{➤ } C_u = 0,80 / 0,12 = 6,66$$

➤ C_u : Coefficient de HAZEN, d'après CAQUOT et KERISEL ;

➤ $C_u < 2$: granulométrie serrée (uniforme) ;

➤ $C_u > 2$: granulométrie étalée.

Alors, notre minerai est d'une granulométrie étalée.

IV.6.3. Détermination du coefficient de courbure

Le coefficient de courbure tient lieu de complément au coefficient de HAZEN dans la classification des minerais. Afin de déterminer si la granulométrie est male graduée (ou une fraction de ses grains prédominant). Le coefficient de courbure est donné par l'équation suivante:

$$\checkmark C_c = (D_{30})^2 / D_{10} * D_{60} = 0,94$$

✓ C_c : Coefficient de courbure :

✓ $1 < C_c < 3$: granulométrie bien graduée (continuité bien répartie) ;

✓ $C_c < 1$ et $C_c > 3$: granulométrie male graduée (continuité male répartie).

Alors, on a affaire à une granulométrie male graduée.

IV.6.4. Observation microscopique

Les résultats de l'observation et du comptage microscopique de différentes fractions granulométrique sont présentés dans les figures IV. 7-8-9, et sur le tableau IV.2.

Fraction -500+250

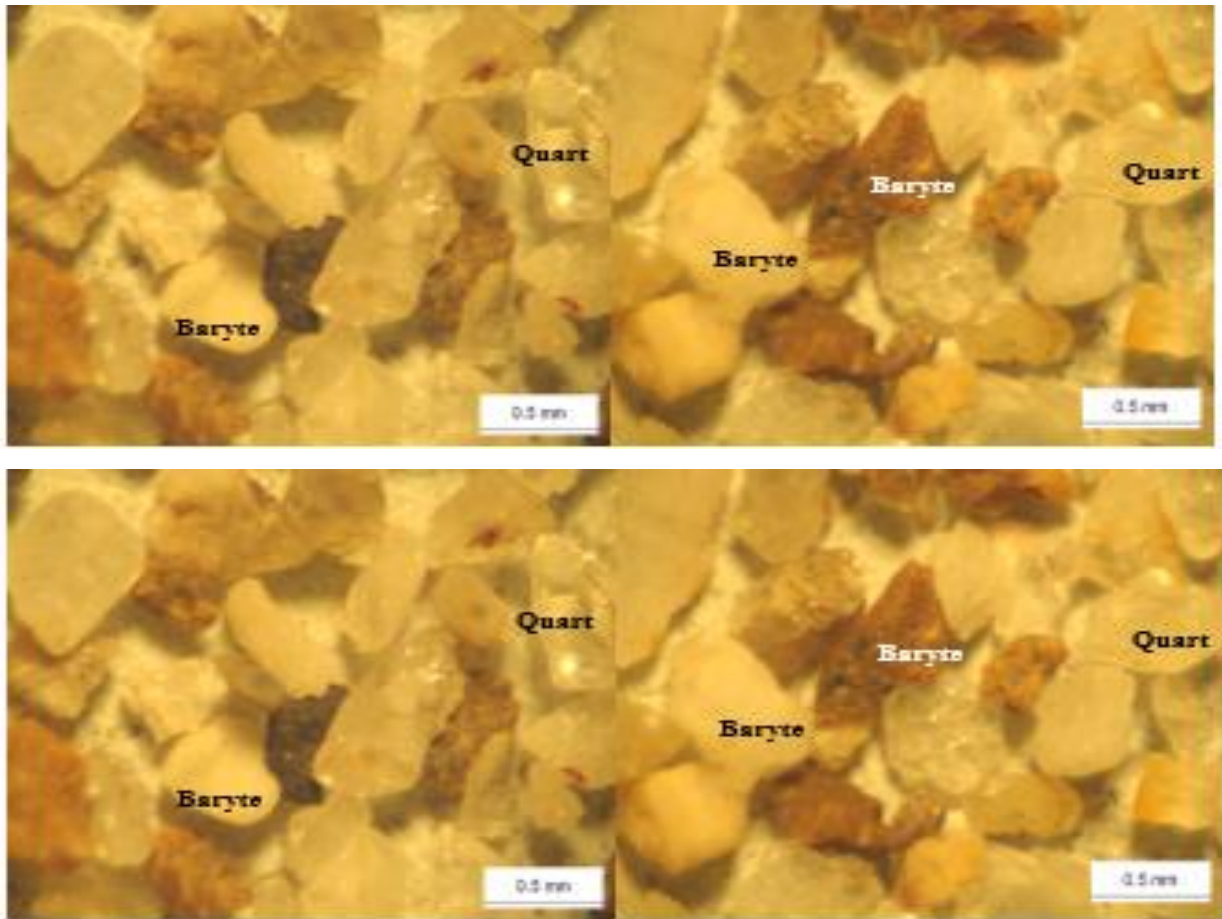


Fig.IV.7: Photos au microscope binoculaire de la fraction -0,5 +0,25mm

Fraction -250+125

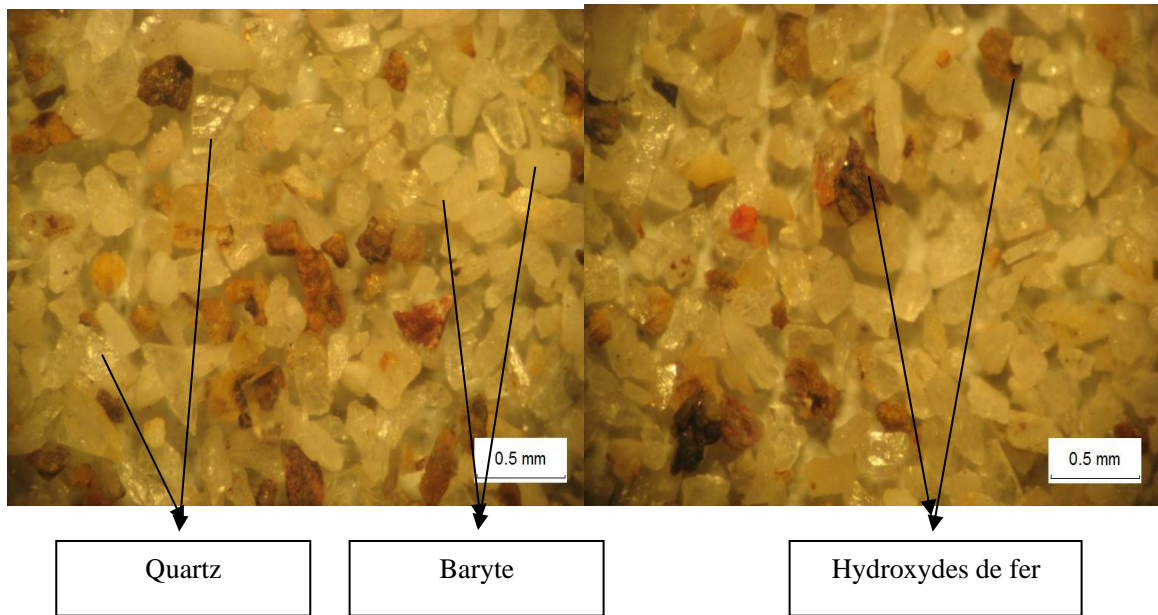
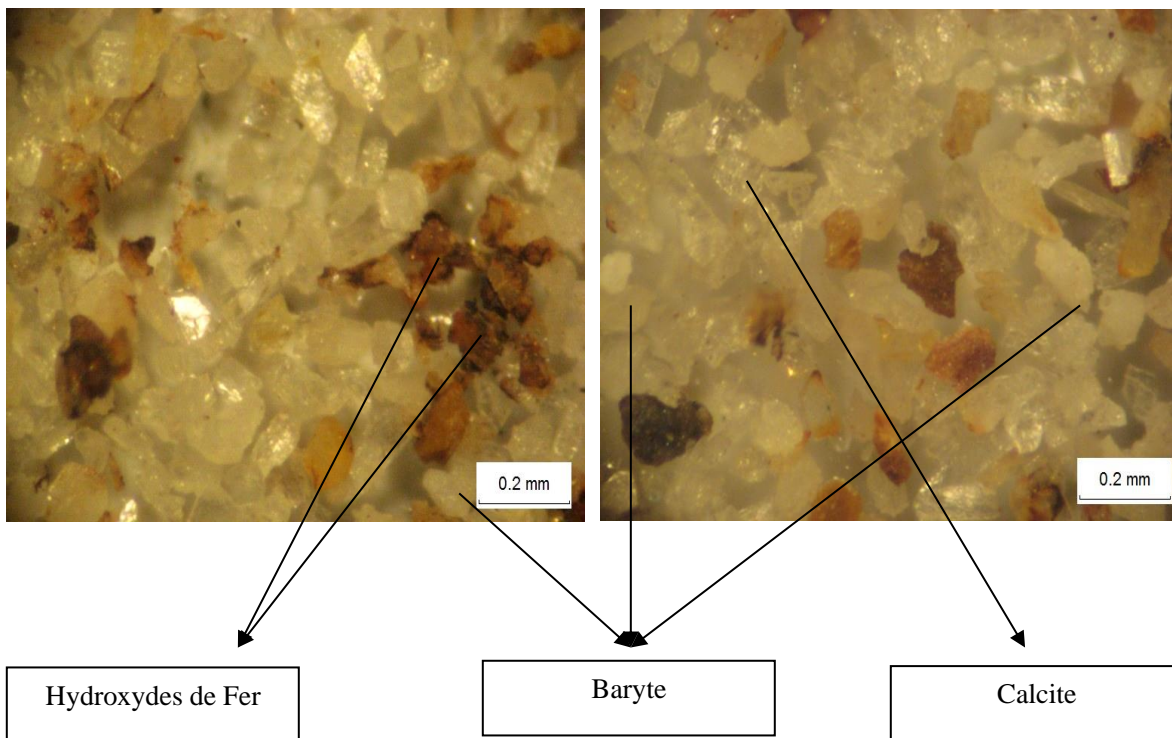


Fig.IV.8: Photos au microscope binoculaire de la fraction -0,250+0,125mm



Fraction -125+63

Fig.IV.9: Photos au microscope binoculaire de la fraction -0,125+0,063mm

Tab.IV.2: Résultats de l'analyse minéralogique par comptage microscopique.

Classe granulométrique «mm »	Baryte, %	Calcite, %	Quartz, %	hydroxyde de fer, %	Autres,%
-500+250	50.07	8.87	33.76	1.77	5.54
-250+125	52.87	9.55	33.24	1.72	2.62
-125+63	50.60	8.59	35.57	2.1	3.15

Les résultats de l'observation microscopique montrent que la fraction -0.5 +0.25mm se caractérise par la présence de cristaux de calcite automorphes caractéristiques sous forme de losanges voire (figure.IV.7) Certains cristaux de calcite contiennent des inclusions rougeâtres d'oxydes de fer. On note également la présence cristaux de quartz transparents et limpides. Cette fraction contient de nombreux cristaux de couleur brunâtre suggérant la présence d'oxyde de fer. La baryte est omniprésente sous forme de cristaux automorphes blanchâtres ou brunes.

La fraction -0.25 +0.125mm voire (figure IV.8) se caractérise par sa richesse en cristaux bien formés de barytine blanche laiteuse. Quelques hydroxydes de fer sont dispersés. Dans cette fraction on observe quelques cristaux de quartz qui se présentent sous forme de cristaux translucides. Aussi que, dans cette classe granulométrique, on remarque bien que la totalité des particules minérales sont libres avec une teneur en baryte atteint jusqu'à 52% selon les résultats de comptage voir (tableau IV.2)

La fraction -0.125 +0.63mm riche en calcite et en barytine. Quelques hydroxydes de fer sont également présents (voire figure IV.9).

IV.6.5. Analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX)

Les diagrammes de diffraction des rayons X des particules de sulfate de baryum pour différentes tranches granulométriques sont présentés dans la (figure IV10) Une étude par diffraction des rayons X a été utilisée pour identifier la structure cristalline et déterminer la taille des particules. Tous les plans de réflexion correspondent à une phase orthorhombique de sulfate de baryum, avec des constantes de cellule cristalline $a = 7,144$, $b = 8,865$ et $c = 5,445 \text{ \AA}$, qui sont fondamentalement en accord avec les valeurs rapportées (JCPDS Fichiers de cartes n° 80-0512) groupe spatial Pnma.

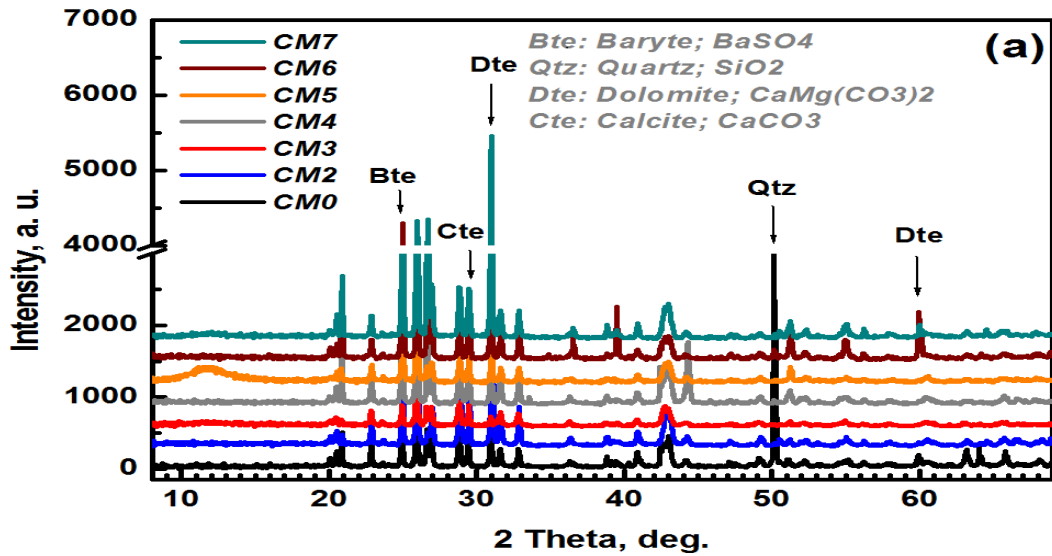


Fig.IV.10: Résultats d'analyse minéralogique par DRX de différentes tranches granulométriques, tout venant (CM0),

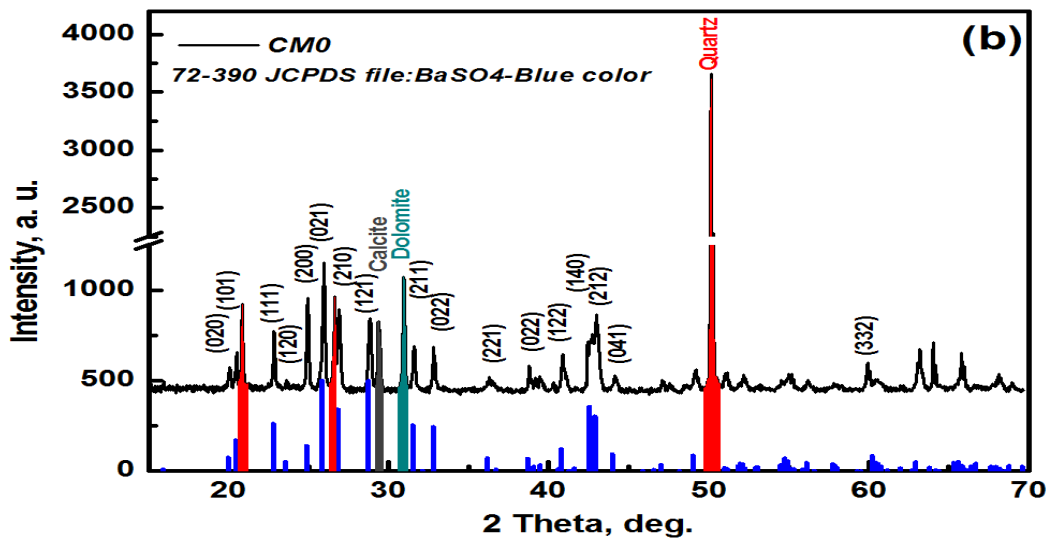


Fig.IV.11: Résultats d'analyse minéralogique par DRX du minerai tout venant (CM 0)

Les tailles cristallines de la baryte naturelle sont calculées à l'aide de la formule de Scherer pour les quatres pics de haute intensité observés à 22,84°, 24,93°, 31,60°, 32,84°, 42,61° et 42,99 °(2θ) avec des valeurs hkl (111), (200), (211), (002), (140) et (410), un exemple de pic est présenté à la (Figure.IV.11) Avec λ la longueur d'onde des rayons X (0,15406 nm) et θ l'angle de diffraction de Bragg. Les valeurs des paramètres β et θ sont estimées par ajustement gaussien

Chapitre IV : Caractérisation granulo-chimique du minerai barytique

des pics XRD. Cette formule n'est pas limitée par l'orientation préférentielle est valable pour un profil XRD ordinaire.

Les différences des largeurs des pics, indiquent des différences de dimensions des cristallites et aussi des surfaces spécifiques. La méthode de Scherrer permet d'estimer la taille moyenne des cristallites, lorsque celles-ci sont inférieure à 100 nm. La formule de Scherrer s'écrit :

$$D = \frac{K * \lambda}{\beta hkl * \cos(\theta hkl)} \quad (3)$$

$$\beta hkl = W \frac{\pi}{180} \quad (4)$$

$$Sa = \frac{6}{\rho * D} \quad (5)$$

- ❖ **D** : La taille moyenne des cristallites dans la direction perpendiculaire aux plans (hkl),
- ❖ **K** : Constante,
- ❖ **λ** : La longueur d'onde monochromatique, dans notre cas elle correspond au doublet $CuK_{\alpha 1+\alpha 2}$
- ❖ **β hkl** : la demi largeur totale (FWHM) du pic de diffraction des rayons x, en radians.
- ❖ **2θ hkl** : Angle de Bragg au sommet de la raie choisie,
- ❖ **ρ** : La densité de l'oxyde,
- ❖ **Sa** : La surface spécifique de l'oxyde.

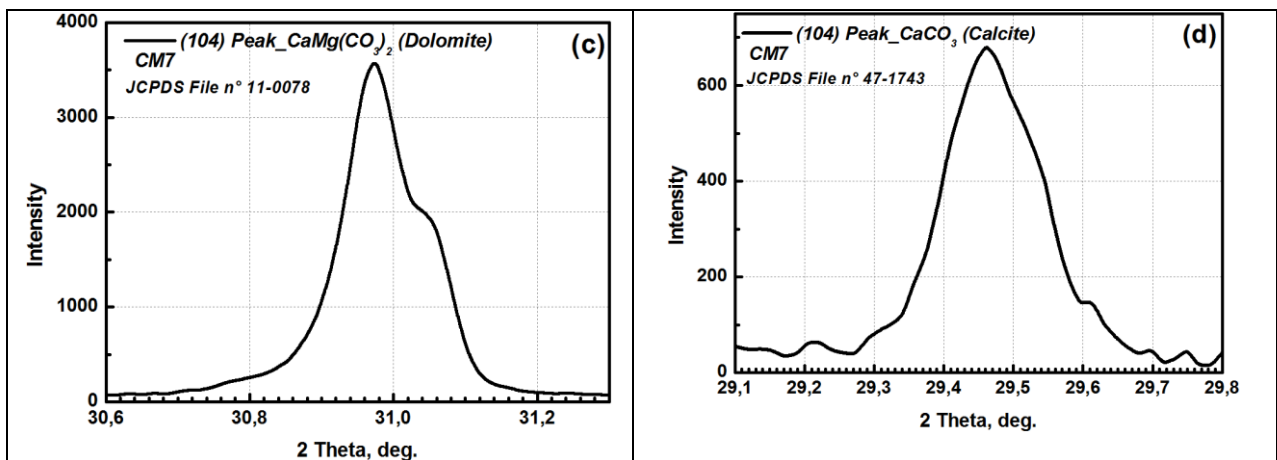


Fig.IV.12: Pics de diffraction par RX représentatifs des diverses phases présentes dans la baryte

Les résultats de calculs sont représentés sur les (figures. IV.13 a et b), qui correspondent aux valeurs des cristallites size, ainsi que des surfaces spécifiques. La taille des cristallites moyenne de la baryte est estimée aux alentours de ~ 43 nm. La surface spécifique inversement proportionnelle à D, celle-ci est de l'ordre de ~ 33 m²/g.

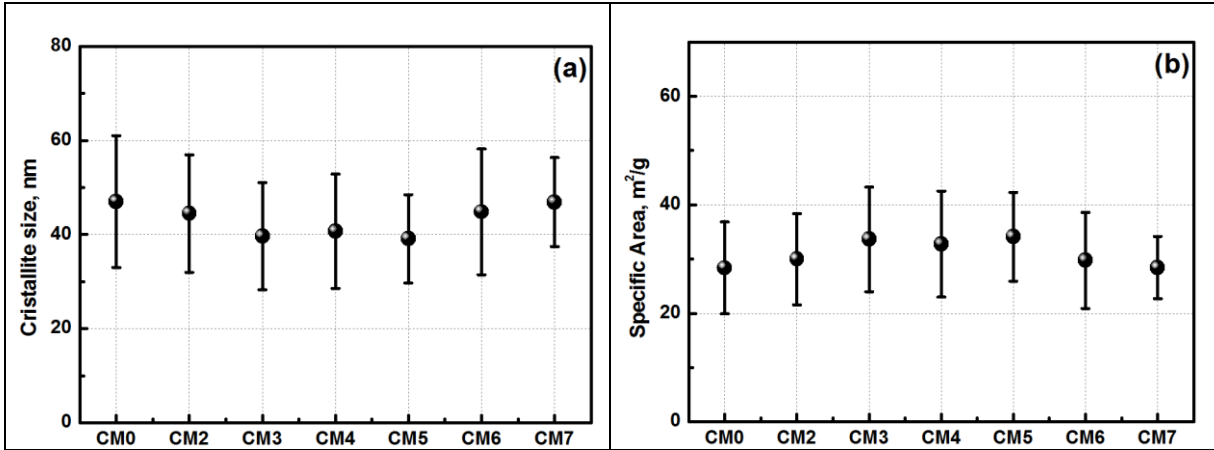


Fig.IV.13:Résultats de calcul des valeurs des tailles des cristallites ainsi que des surfaces spécifiques de la baryte.

IV.6.6. La Fluorescence X (FX)

Les résultats de l'analyse XRF récapitulés dans (les tableaux IV.3 et 4) confirment la présence des différents composants de la barytine, tels que BaSO₄, SiO₂, CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃, P₂O₅, K₂O, Na₂O, TiO₂, MnO, et d'autres oxydes tels que ZnO, CuO, etc.

Tab.IV.3: Résultats d'analyse de différentes tranches granulométriques par fluorescence des rayons X

Classe granulométrique	(%)											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	PAF	BaSO ₄
CM0 P initial	13.06	1.38	2.94	7.79	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.32	6.08	67
CM2 -2 +1	11.83	1.10	3.28	11.13	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.29	11.30	57.64
CM3 -1+0,5	10.94	1.61	2.12	6.68	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.48	8.92	73.51
CM4 -0,5+0,25	13.38	1.42	2.59	7.65	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.44	5.97	66.29
CM5 -0,25+0,125	13.68	1.28	2.55	7.98	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.58	8.04	65.57
CM6 -0,125+0,063	15.02	2.14	3.86	9.21	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.68	8.58	57.70
CM7 -0,063+0,045	14.29	2.27	4.02	9.47	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.76	7.40	60.56

Tab.IV.4: Concentrations moyennes de différentes composantes chimiques des échantillons

	(%)											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	PAF	BaSO ₄
Moyenne	13.23	1.56	3.12	8.68	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.53	11.72	64.26
	+/-	+/-	+/-	+/-						+/-	+/-	+/-
	1.29	0.41	0.56	1.37						0.16	4.05	5.33

Les résultats illustrés dans la figure IV.16 représentent les principaux composés (oxydes) présents en plus de la baryte, parmi lesquels nous comptons par ordre de présence : SiO₂, CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃, P₂O₅, Na₂O, K₂O, TiO₂, MnO, et PAF (perte au feu) ou bien L.O.I. (loss on ignition) ; qui correspond aux éléments qui se sont évaporés lors de l'analyse (éléments organiques et autres inorganiques).

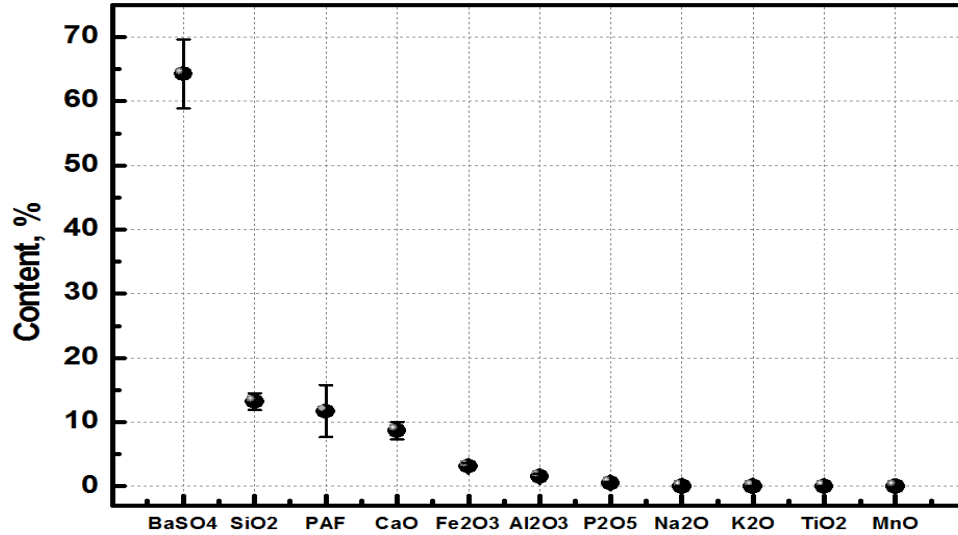


Fig.IV.14: Principaux composés (oxydes) présents en plus de la baryte

IV.6.7. Analyse morphologique par MEB

Les micrographies des diverses poudres sont représentées sur la (Figure.IV.15) On remarque des grains de couleur blanchâtre, correspondant à la baryte, et des grains plutôt gris qui peuvent être associés à la dolomite ou calcite.

Le minéral de barytine est doux mais lourd, légèrement teinté de blanc, de gris, de jaune ou de brunâtre. La barytine est une espèce minérale composée de sulfate de baryum BaSO₄ de formule avec des traces de Sr, Ca et Pb. D'origine hydrothermale, la barytine présente des compositions variées. Riche en Pb, Sr, C, Ra, ou plusieurs de ces éléments qui leur sont associés ou autres, dédie ce minéral aux multiples usages. Ce minéral cristallise généralement sous forme de cristaux aplatis, parfois lamellaires. Les cristaux sont tabulaires, prismatiques et aussi granuleux agrégats.

Les cristaux peuvent être présents sous forme d'agrégats (généralement clivables), et ces cristaux sont lenticulaires regroupés en rosettes. Les cristaux individuels sont souvent jumelés et peuvent être assez gros. Peut également être massive, nodulaire, fibreuse, stalactitique et sous forme de rosettes parfaites.

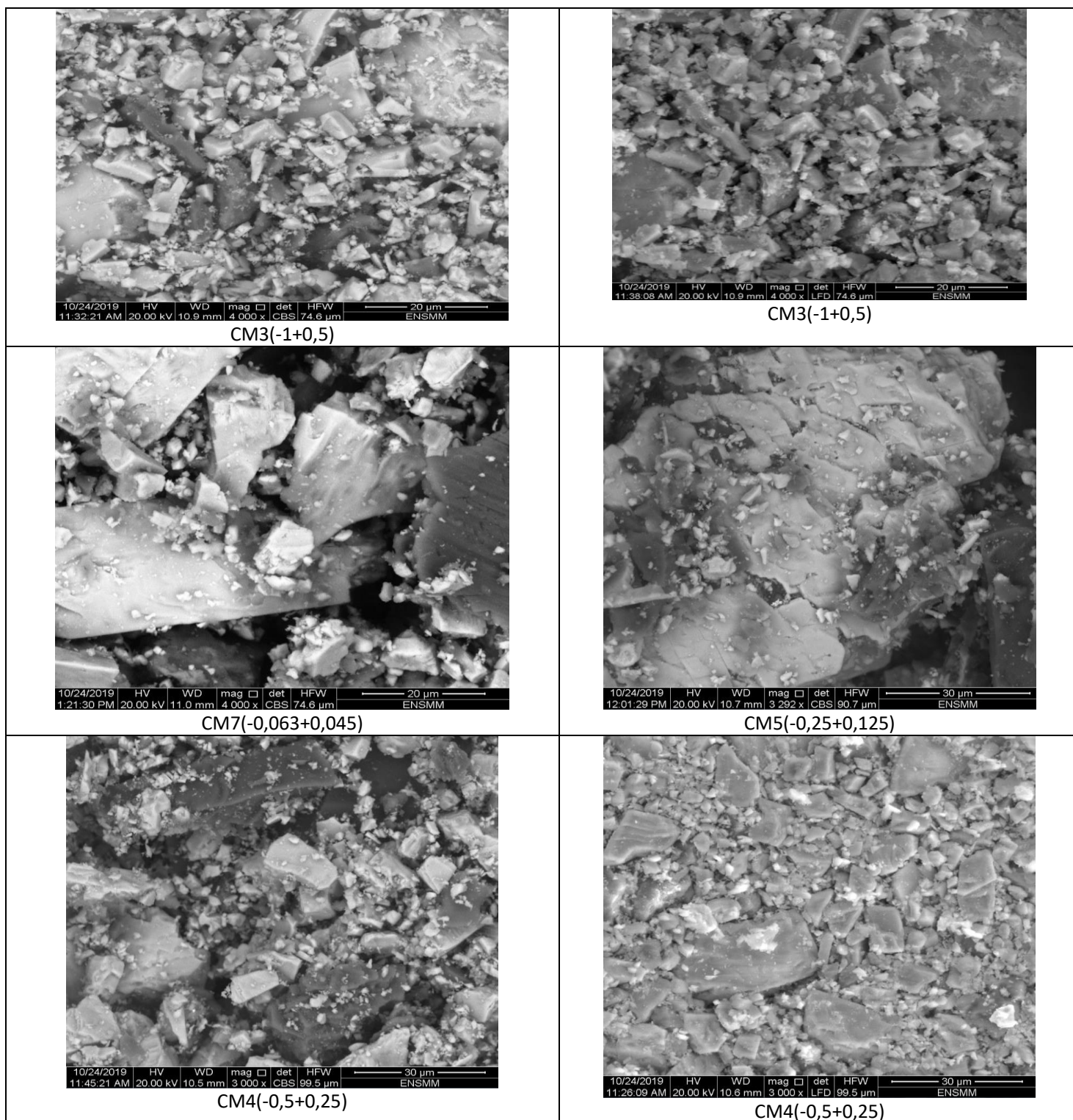


Fig.IV.15: Micrographies électroniques à balayage de cristaux de baryte représentatives du gisement de baryte d'Ain Mimoun Khenchela (Algérie)

Chapitre IV : Caractérisation granulo-chimique du minerai barytique

Les résultats d'analyses EDS confirment la présence des éléments Ba, S, O, Si, Ca, Mr, Fe, Al, correspondants à la présence respectivement des composés Baryte, Quartz, Dolomite, calcite, oxyde de fer, oxyde d'aluminium. (Figure IV.16)

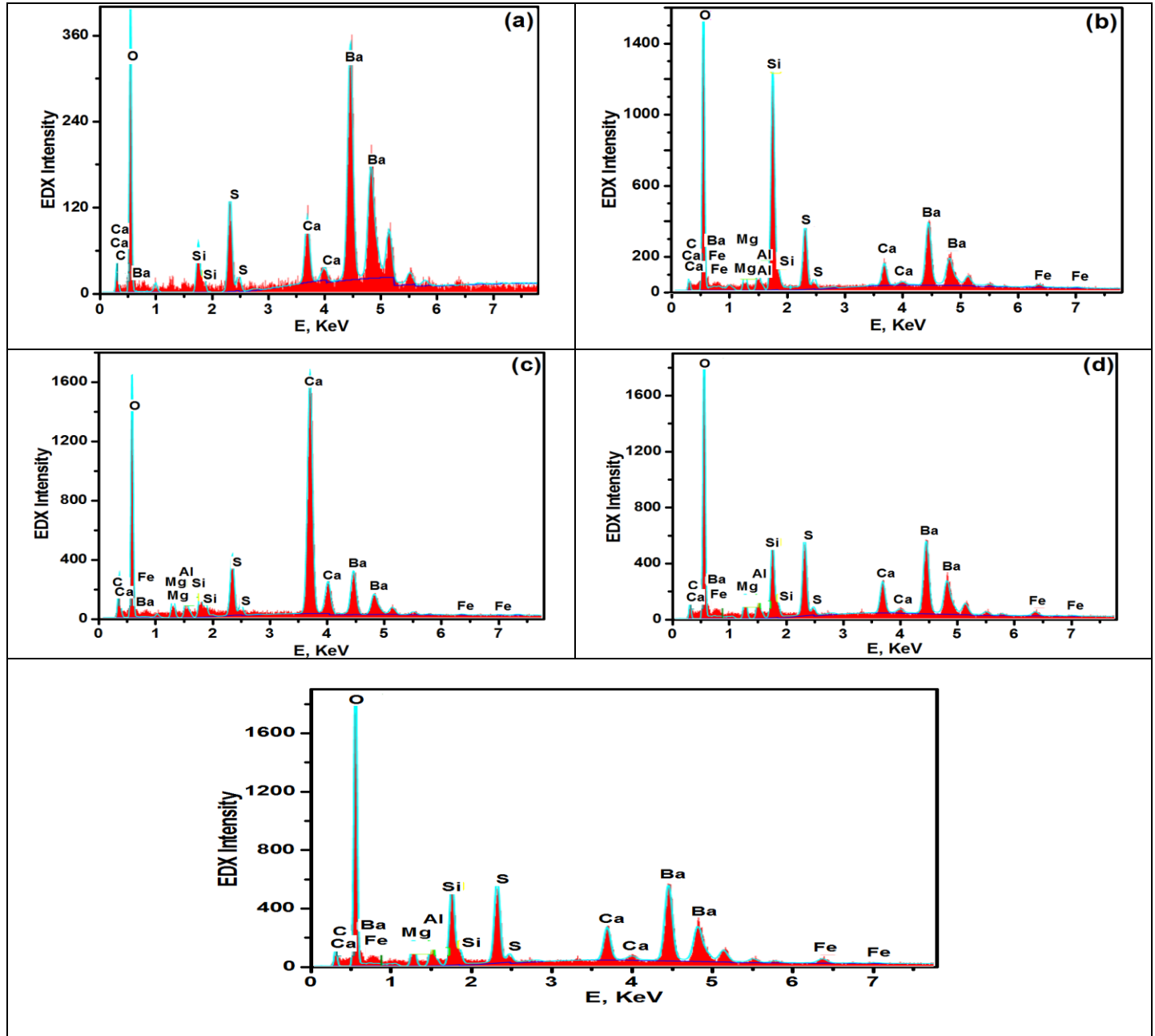


Fig.IV.16: Résultats d'analyses EDS

Conclusion

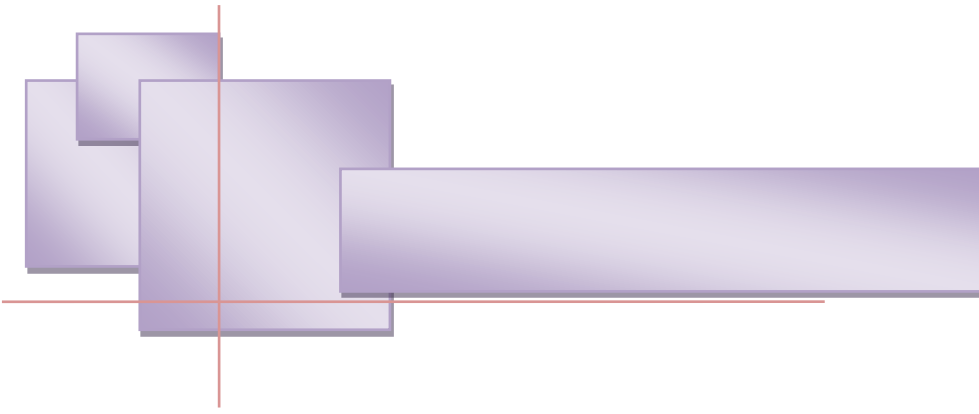
L'étude du minerai baryte de Ain Mimoun a permis d'analyser l'évolution des caractéristiques, granulométriques, minéralogiques et morphologique de différentes tranches granulométriques du minerai. Les résultats obtenus ont permis de conclure les points suivants :

L'analyse par tamisage des échantillons du minerai, a montré que la tranche granulométrique (-250 + 125) μm , représente la majeure partie de la masse globale du tout-venant, est caractérisé par sa richesse en baryte (52 %).

✓ Les phases minérales majeures sont : SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; CaO ; MgO ; Na_2O ; K_2O ; TiO_2 ; MnO ; P_2O_5 .

✓ Les résultats obtenus par DRX confirment ceux d'observations au microscope électronique à balayage (MEB). \rightarrow Les teneurs en BaSO_4 varient de 57.64 à 73.51% (Moyenne = 64.26%). Les teneurs de SiO_2 varient de 10.94 à 15.02% (Moyenne = 13.23%). Les teneurs de CaO varient de 6.68 à 11.13% (Moyenne = 8.68%).

Certaines roches présentent aussi des taches bleues, et autres verdâtres liées aux présences d'azurite ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), et de malachite ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$). Les calculs obtenus par DRX, des tailles de cristallites, et de surface spécifique montrent que ceux-ci sont de l'ordre de 43 nm, et de 33 m^2/g respectivement.



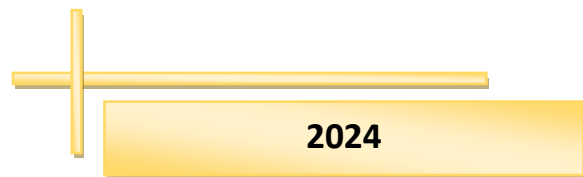
CHAPITRE V

ESSAI DE

SÉPARATION DU

MINÉRAL DE

BARYTE



2024

Introduction

La séparation par gravité ou gravimétrie est une méthode classique très importante dans la minéralurgie. En effet, certains minerais pondéreux, peuvent faire leurs concentrations par une technique gravimétrie. Les équipements de concentration gravimétrie exploitent la différence de masse volumique entre les matériaux pour accomplir la séparation grâce à l'action combinée de la gravité et de différentes forces.

La réussite d'une séparation gravimétrie repose sur la connaissance poussée des paramètres minéralogiques du minerai à traiter (maille de libération, masse volumique des divers constituants, présence de mixtes minéralogiques, répartition granulométrique des espèces minérales etc) [AFEEA.B 1985].

V. Principe de la séparation gravimétrie

La concentration gravimétrie est possible grâce aux différences de mouvement des particules dans un fluide en fonction de l'action simultanée de la gravité (ou d'une force centrifuge) et d'une ou plusieurs autres forces, en général la résistance à la pénétration dans un milieu plus ou moins fluide (gaz, eau, liquide homogène ou mélange composé d'un fluide et de particules solides maintenues en suspension) [Pierre .B. ; Robert .J ; 2012a].

Il est essentiel pour une séparation efficace qu'il y ait une différence de densité entre le minéral et la gangue. Une idée du type de séparation possible peut être tirée du critère de concentration (critère de Taggart CT) [Barry. A ; Tim. N 2006]

$$C_T = (\rho_1 - \rho_f) / (\rho_2 - \rho_f) \quad (1)$$

Ou;

- ❖ ρ_f : masse volumique du fluide ;
- ❖ ρ_1 : masse volumique du minéral lourd ;
- ❖ ρ_2 : masse volumique du minéral léger.

Tab.V.1 Les prévisions de possibilités de traitement par le critère de Taggart [Pierre. B, Robert. J, 2012a]

Valeur du critère de Taggart	Remarques		
	Séparation	Méthodes	Granulométrie min.
> 2,5	Facile	Toutes	75 μm
2,5-1,75	Efficace	Toutes	150 μm
1,75-1,50	Possible mais difficile	Toutes	2 mm
1,50 à 1,25	Possible mais difficile	Toutes	6,5 mm
< 1,25	-----	DMS	-----

Dans notre cas le critère de Taggart est calculé comme suit :

$$\checkmark C_T = \frac{(\rho_{BaSO_4} - \rho_f)}{(\rho_{CaCO_3} - \rho_f)} = \frac{(4,2 - 1)}{(2,65 - 1)} = 2,06$$

Selon le mode de fonctionnement et le principe de la séparation impliquée, les équipements déconcentration gravimétrique fonctionnent suivant quatre mécanismes étant illustrés dans la figure VI.16.

- ❖ Mécanisme de nappe pelliculaire fluente ;
- ❖ Mécanisme de pulsation et stratification ;
- ❖ Mécanisme par action de secousses ;
- ❖ Mécanisme par milieux denses.

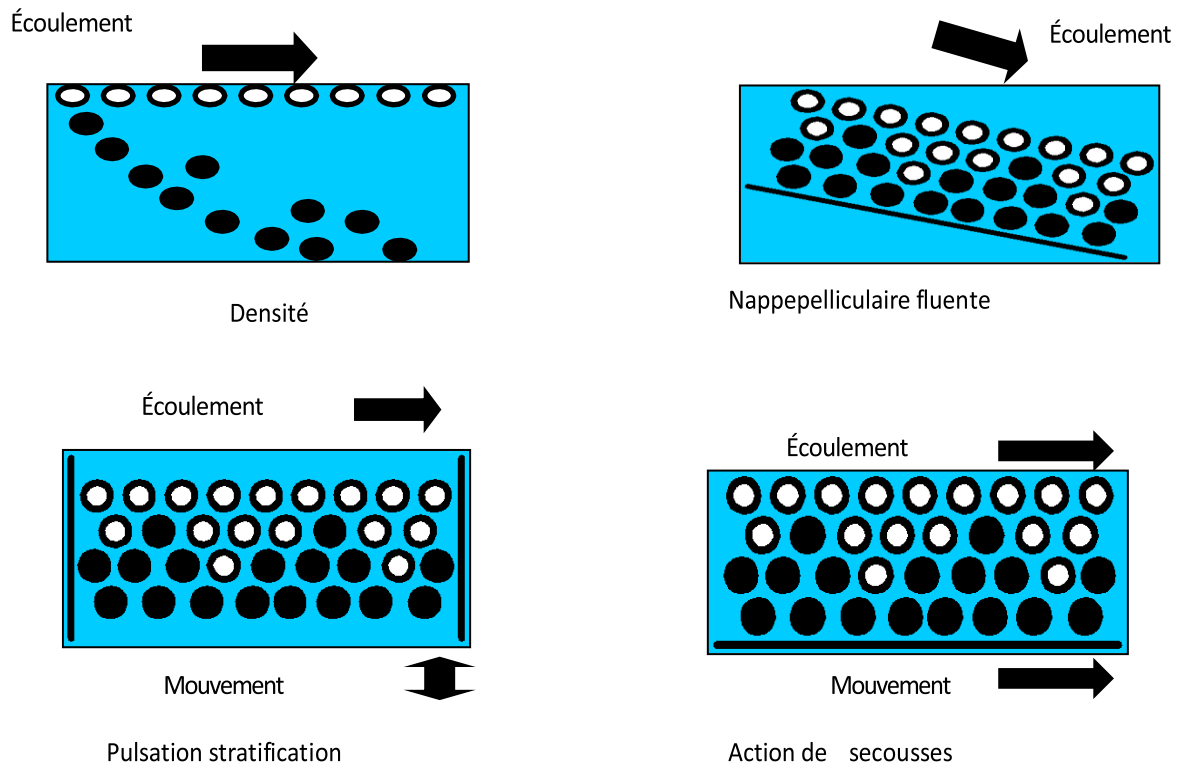


Fig.V.1: LES DIFFERENTS MECANISMES DE SEPARATION GRAVIMETRIQUE

V.1. Essai de séparation de la baryte

V.1.1. Séparation par bac à piston



Fig.V.2: SCHEMA D'UN BAC A PISTON.

V.1.2. Construction d'un bac à piston

Il comporte les parties suivantes : (figure I.4)

- ✓ Systèmes d'alimentation régularisée de la pulpe et de soutirage du concentré et du rejet ;
- ✓ Dispositif pour produire le mouvement périodique sinusoïdal, dans ce cas-ci un piston dans un cylindre ;
- ✓ Huche servant de réserve inertielle de d'eau ;
- ✓ Chambre de concentration ;
- ✓ Grille ou un tamis pour empêcher la majorité des particules de se rendre dans la huche, sauf les très petites particules de masse volumique élevée ;
- ✓ Lit de grosses particules ou de billes métalliques retenues en permanence sur la grille ;
- ✓ Mécanisme pour moduler le mouvement périodique sinusoïdal.

V.1.3. Principe de travail

Lorsque la huche et la chambre de concentration sont remplies d'eau, qu'il n'y a pas de minerai et que le piston se meut à l'intérieur de son cylindre de façon cyclique et continue, il

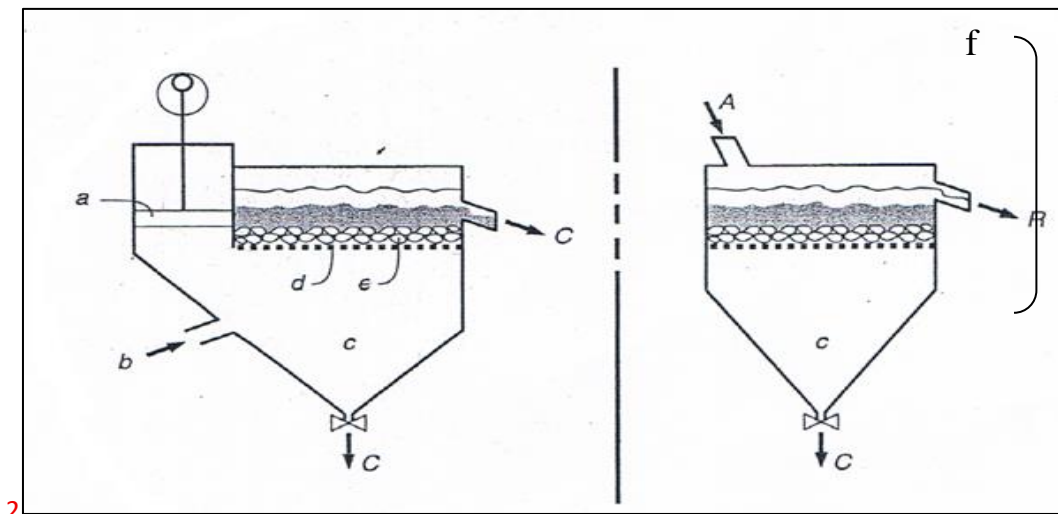


Fig.V.3: Parties constituantes d'un bac a piston [BOUCHARD S., 2001]

Légende :

- a /mécanisme pour le mouvement périodique sinusoïdal
- b/eau de modulation
- c/Huche
- d/grille trouée
- e/ragging
- f/chambre de concentration
- R/ rejet
- C/ concentré

Se produit un déplacement du liquide continu dans la huche, de sorte que le niveau d'eau se déplace en correspondance du côté opposé au piston, dans la chambre de concentration : si le piston monte dans le cylindre, le niveau de l'eau descend et le contraire se produit si le piston descend. Ainsi, le niveau et la vitesse de l'eau dans la chambre de concentration change continuellement : c'est le mouvement périodique sinusoïdal, montré dans la (figure .V.3) La vitesse est maximale (positive ou négative) quand le niveau de l'eau est dans une position intermédiaire et nulle quand il est dans une position extrême. Par ailleurs, l'accélération est nulle aux positions intermédiaires du piston et maximale aux positions extrêmes.

Lorsque le minéral est dans le jig, qu'il s'est accumulé un lit de particules sur la grille et que le mouvement sinusoïdal fonctionne, le lit de particule est soumis alternativement à une pulsion lorsque le piston descend et une succion lorsqu'il monte. Le résultat de cette répétition de cycles est la formation de deux lits de particules superposés, un lit de particules de faibles masses volumiques sur le dessus. Déversées par-dessus un seuil de débordement, et un lit de particules de masse volumique élevée au-dessous.

La pulsation étant caractérisée par une vitesse ascendante de liquide. Les particules sont entraînées sélectivement selon cette vitesse, car l'aptitude d'une particule à être entraînée par un liquide en mouvement dépend de l'aire qu'elle offre perpendiculairement à la direction de l'écoulement. Le résultat est donc une ségrégation de bas en haut, les petites particules de masse volumique élevée étant localisées au bas, les petites de masse volumique peu élevée au plus

haut, et les grosses de masse volumique peu élevée et les petites de masse volumique peu élevée au milieu.

Lorsqu'à la fin de la pulsation, la vitesse ascendante du liquide diminue pour cesser éventuellement, les phénomènes observés commencent à ressembler à ceux du début de la succion. Ainsi, pendant cette période de temps, deux phénomènes se produisent : l'accélération différentielle et la sédimentation entravée.

En fin, vers la fin de la succion, la sédimentation entravée cesse au moment où le lit de particules se compacte (tassement). Dès lors, l'eau est siphonnée à travers le lit, entraînant avec elle les plus petites particules de masse volumique élevée : c'est l'effet de la stratification assistée (consolidated trickling). Ces particules s'accumulent dans le fond de la huche, pour en être soutirées périodiquement, formant un concentré relativement pur.

Les échantillons préparés préalablement dont les classes granulométriques (-0.5+0.25) ; (-0.25+0.125) et (-0.125+0.063), subissent une séparation par bac à piston dans les conditions opératoires suivantes : débit d'eau 2 l/min, une amplitude de pulsation constante. Les différentes fractions récupérées passent par une opération de séchage et de pesages, Les résultats obtenus sont présentés dans le (tableau V.2), (figure V.5)

V.2. Essai de séparation par table à secousses

La table à secousses est communément une pièce d'équipement de concentration par gravité. Ils sont employés pour le traitement du minerai, leur capacité varie principalement en fonction de la taille des particules à séparer. Il est possible de récupérer le long de la bordure transversale deux produits différents, l'un d'eux comporte un concentré de fines particules denses alors que l'autre est constitué de grosses particules denses mélangées à des particules mixtes.

Les tables à secousses sont employées pour le traitement des particules dont le diamètre varie entre 75 μm et 4,75 mm. Par conséquent, elle est opérée facilement pour produire un concentré de minerai de haute qualité, un sous-concentré(mixte) et un rejet (voir la figure).

Elles sont composées d'une table légèrement inclinée (réglable de 0° à 6°) dans le sens de la largeur et équipée d'un mécanisme qui lui communique longitudinalement un mouvement de va-et-vient asymétrique. L'amplitude et la vitesse de ce mouvement sont aussi réglables. La

surface de la table est couverte de rainures longitudinales et parallèles dont la profondeur diminue progressivement à partir du point d'alimentation de la pulpe jusqu'à la sortie qui est diamétralement opposée. L'eau de lavage qui s'écoule sur la table entraîne les particules légères dans la direction transversale (vers le bas).

La stratification des particules entre les rainures se produit sous l'action des secousses et du courant d'eau de lavage. Les secousses contribuent à dilater le lit de particules afin de permettre aux grosses particules denses de le traverser jusqu'à la surface de la table.

L'effet des secousses entraîne la formation de deux couches de particules distinctes dont l'une est composée des particules de masse volumique élevée (couche inférieure) et l'autre des particules de masse volumique faible (couche supérieure).

La stratification obtenue est identique à celle qui se produit dans les jigs. Les particules légères sont entraînées par l'eau de lavage jusqu'au bas de la pente de la table où elles sont collectées, les particules lourdes sont acheminées longitudinalement à l'autre extrémité de la table grâce à la direction et à la nature asymétrique des secousses.

Les échantillons préparés préalablement dont les classes granulométriques $(-0.5+0.25)$; $(-0.25+0.125)$ et $(-0.125+0.063)$, subissent une séparation sur la table à secousses de laboratoire dans les conditions opératoires suivantes : débit d'eau 2 l/min, une amplitude de pulsation constante, angle d'inclinaison de 6° . Les différentes fractions récupérées passent par une opération de séchage et de pesages, les résultats de séparation obtenus sont représentés dans le tableau , figure .

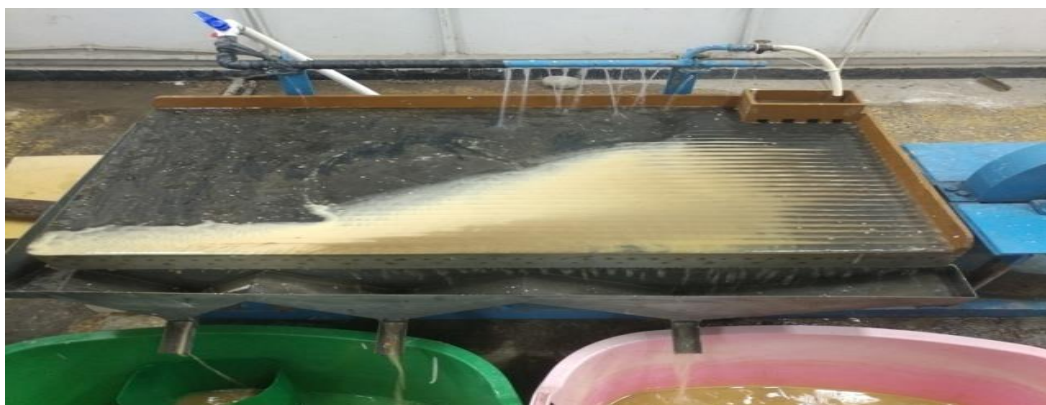


Fig.V.4: Schéma d'une table à secousse

V.2.1. Analyse physique des produits de séparation

Pour le contrôle des produits de séparation, on a effectué des mesures de densité de chaque produit de séparation en utilisant la méthode volumétrique. Les différentes fractions du tout-venant et ceux des concentrés obtenus (fraction lourde après traitement subissent une opération de broyage puis on les ramène vers l'usine de SOMIBAR, pour déterminer leurs densités au niveau du laboratoire. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau.V.2.

Après la séparation par le jig et la table à secousse on va calculer la densité de chaque concentré récupéré pour les différentes granulométries dans le but de connaître la teneur en concentré.

V.2.2. Description des résultats

Tab.V.2 Résultats des essais de séparation par bac à piston

Classes granulométriques, mm	Fractions	Poids, g	Rendement pondérale, %
(-500+250)	Fraction lourde	411.47	91.43
	Fraction légère	28.53	6.34
(-250+125)	Fraction lourde	392.33	87.18
	Fraction légère	47.67	10.59
(-125+63)	Fraction lourde	319.6	71.02
	Fraction légère	120.40	26.75

D'après les résultats obtenus, on constate que la granulométrie du minerai a une influence sur la méthode de séparation par jig, car selon le graphe de rendement pondéral en fonction de dimension de minerai on voit qu'il y a une relation entre eux tel que l'augmentation des dimensions de TV résulte une diminution pour le rendement pondéral de concentré.

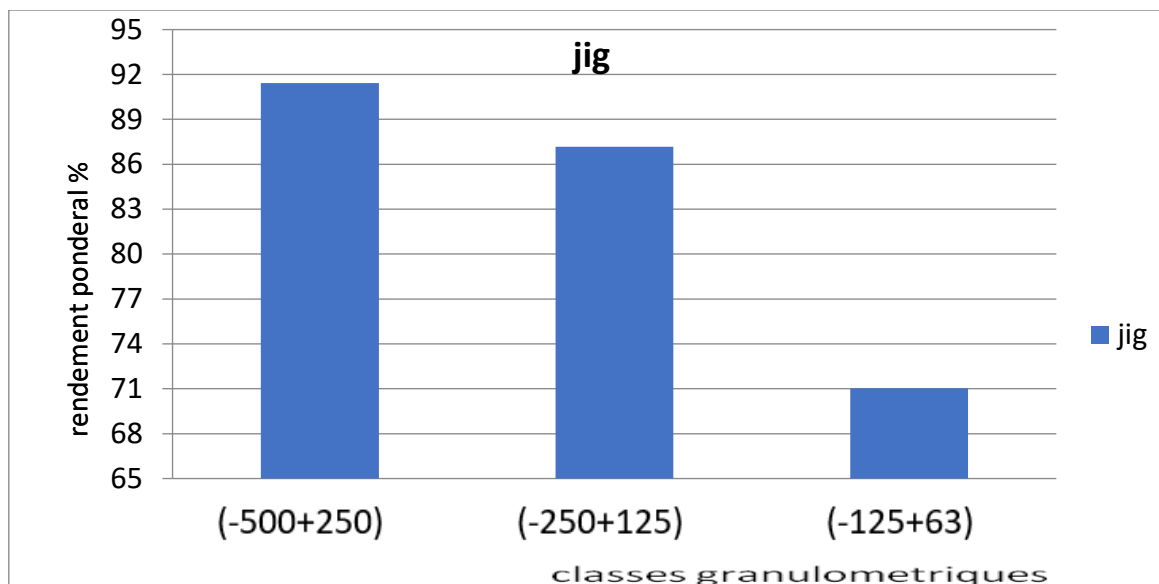


Fig.V.5: Histogramme de rendement pondéral en fonction de dimension

Tab.V.3 Résultats des essais de séparation par table à secousses

Classes granulométriques, mm	Fractions	Poids,g	Rendement pondérale, %
(-500+250)	Fraction lourde	335.20	74.48
	Fraction mixte	79.91	17.75
	Fraction légère	24.60	5.46
(-250+125)	Fraction lourde	320.20	71.15
	Fraction mixte	55.52	12.33
	Fraction légère	30.60	6.80
(-125+63)	Fraction lourde	334.20	74.26
	Fraction mixte	27.80	6.17
	Fraction légère	47.37	10.52

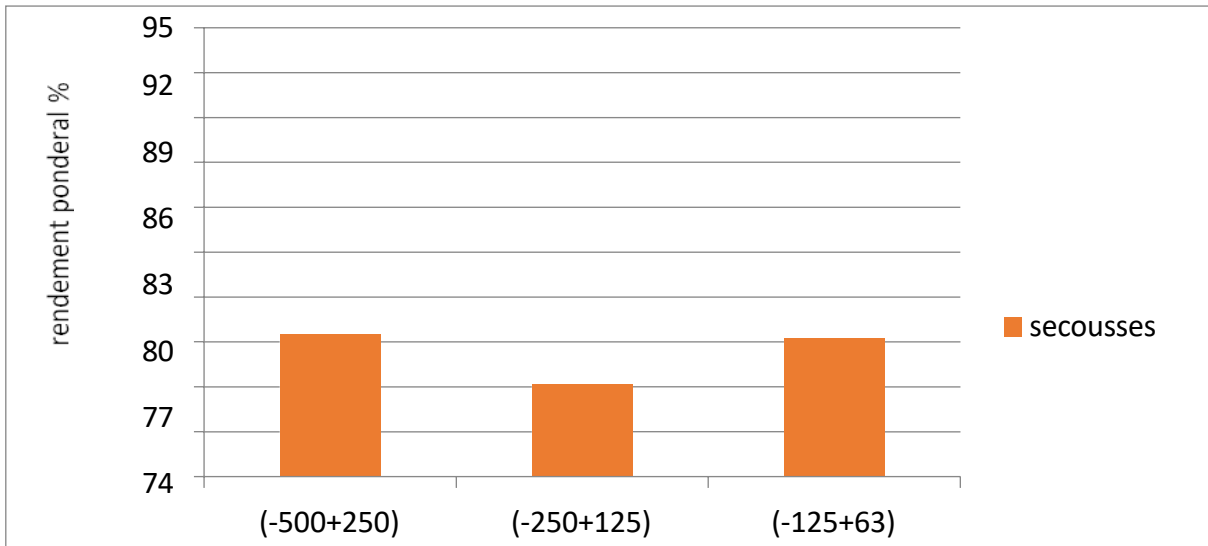


Fig.V.6: Rendement pondéral en fonction de dimension

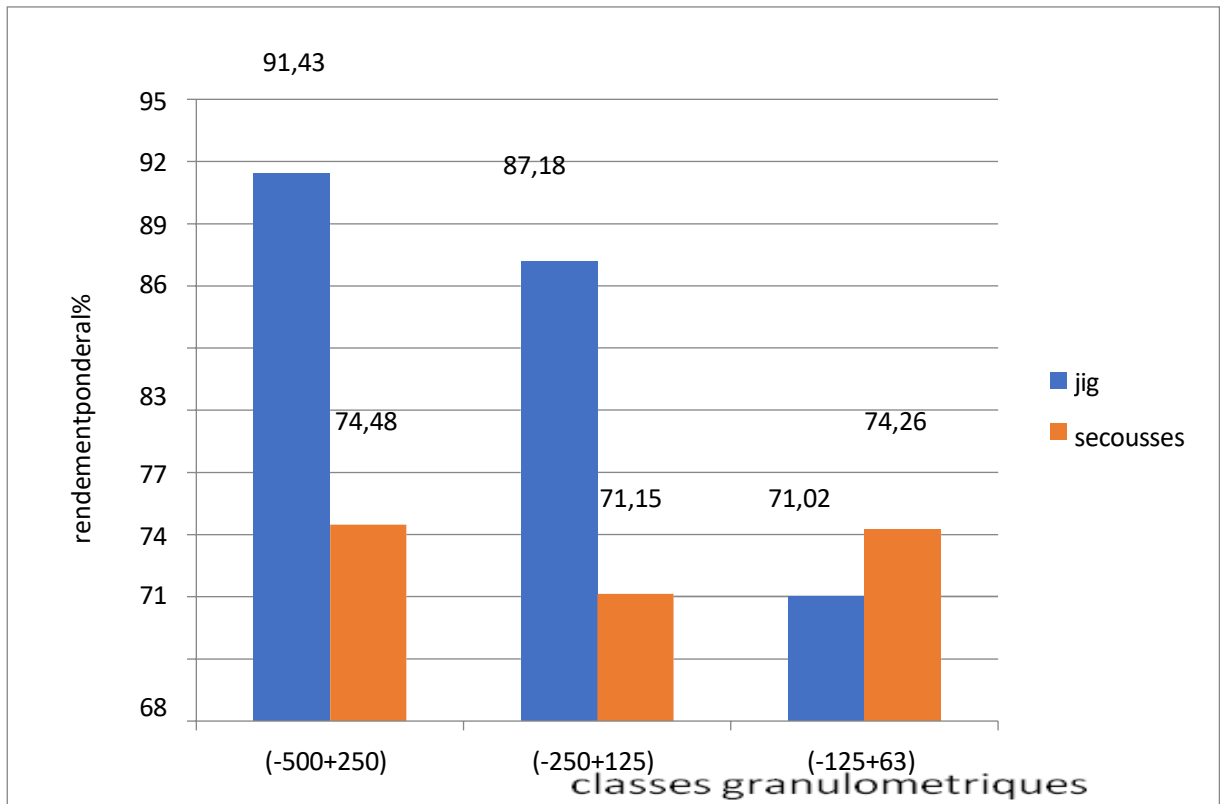


Fig.V.7: Rendement pondérale en fonction de la granulométrie

V.3. Discussion des résultats

Les résultats des essais de séparation par jig et table à secousses sont présentés respectivement dans les (tableaux V.2, V.3) et (figure V.5, 6 et 7) ; On remarque que les résultats des essais de séparation effectuée par bac à piston présentent des meilleurs rendements pondéraux du concentré sont ceux des classes granulométriques (-500+250) et (-250+150) mm, allant de 91,43% à 87,18%. Alors que, les résultats des essais de séparation effectuée par table à secousse présentent un meilleur rendement pondéral du concentré dans la classe granulométrique (-500+250) mm allant jusqu'à 74.48.

Une analyse physique, mesure de densité, des concentrés obtenus lors de la séparation sur table à secousses et bac à piston, a été effectuée au niveau du laboratoire de la mine d'Ain Mimoun. Les résultats d'analyse sont mentionnés dans le (tableau.V.4) et la (figure.V.8)

Tab.V.4 Résultats de mesures de la densité

Classes granulométriques, mm.	Densité du tout-venant	Densité du concentré de la table à secousse	Densité du concentré de Jig
(-500+250)	3,2	3,45	3,58
(-250+125)	3,3	3,4	4,01
(-125+63)	3,2	3,3	4,02

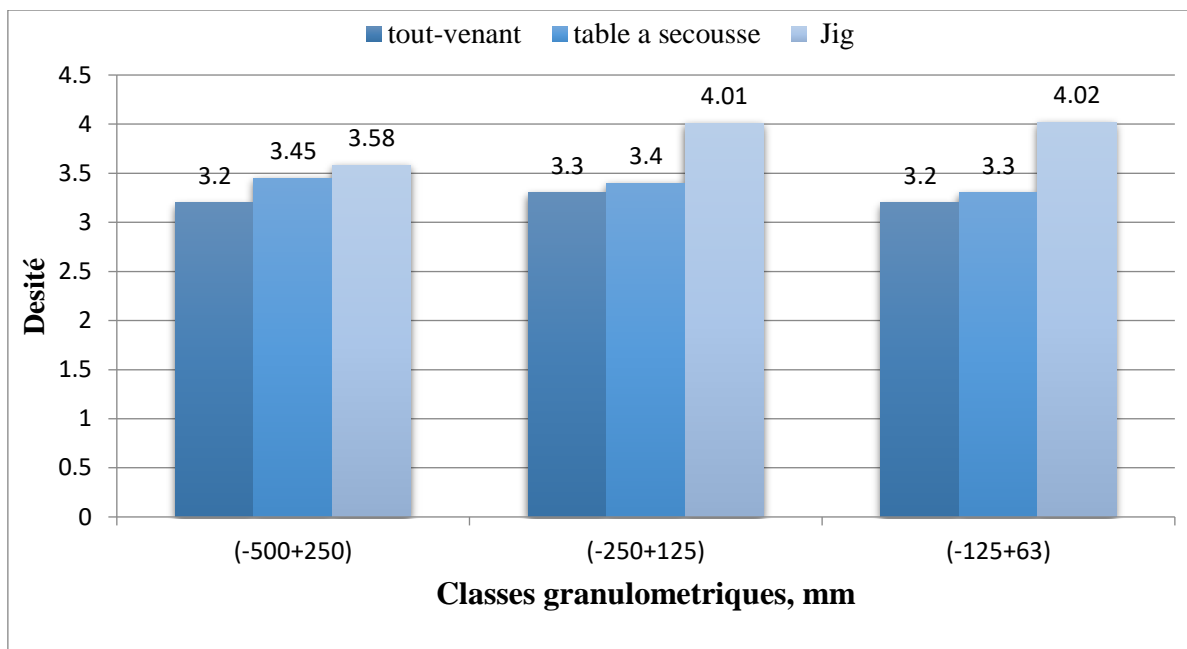
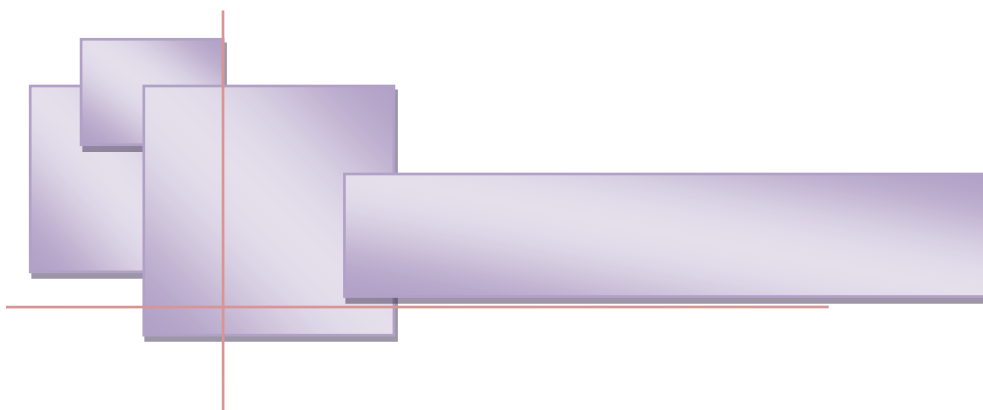


Fig.V.8: Histogramme de la densité en fonction de granulométrie.

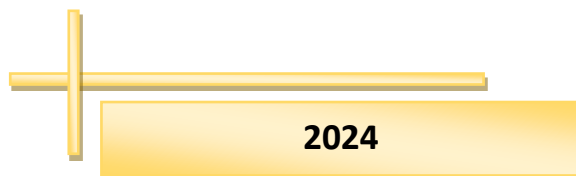
Suite aux résultats de mesures de la densité (voir tableau V.4 et figure V.8), on remarque que le concentré de la classe granulométrique (-250+125) et (-125+63) mm obtenu au niveau du Jig présente la meilleure densité, elle est de 4,1 et 4,2. Entre autres, une densité importante du concentré veut dire une teneur importante en baryte. Cependant, une baisse de densité est obtenue pour les concentrés du jig et de la table à secousses respectivement 3,45 et 3,58 pour la classe (-500+250) mm.

Conclusion

- La séparation par jigage de point de vue quantitatif est rentable par rapport à la table à secousses dans toutes les fractions sauf la fraction (-500+250 mm), où le rendement pondéral du concentré atteint de grande valeur lors de la séparation au niveau du jig.
- De point de vu densité, on peut dire que la séparation de la classe (-125 +63 mm) par jigage et au moyen de la table à secousses a donné de bon concentré avec une meilleure densité.
- La fraction (-125+63 mm) a donné les meilleurs résultats que ce soit par jigage ou la densité atteint 4.02 ou au moyen de la table à secousses, la densité égale 3.3



CONCLUSION GÉNÉRALE



Conclusion générale

Le sulfate de baryum, communément appelé baryte, est l'un des minéraux industriels les plus importants et largement utilisé dans de nombreux domaines tels que le forage pétrolier, l'hydraulique, les supports de catalyseurs, les matériaux adsorbants et le secteur chimique (peinture), et les industries radioscopiques. Entre autres, il peut être utilisé comme capteur de gaz pour les tubes à vide, comme lubrifiant (additif) et comme charge et colorant pour le papier.

Le gisement de barytine d'Ain Mimoun est un complexe filonien de type hydrothermal qui représente un potentiel minier très intéressant sur le plan économique, au vu de la quantité et de la qualité du minerai extrait. Ce gisement est abrité dans des formations géologiques d'âge Crétacé, allant du Barrémien jusqu'au Cénomaniens, coiffées par du Miocène transgressif, présentant ainsi un inventaire pétrographique riche et diversifié. Le cortège minéralogique est composé de deux catégories de minéraux, à savoir les minéraux métalliques et ceux de gangue citée précédemment (Baryte, dolomite, quartz et calcite).

La méthode actuelle de traitement 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, ainsi que les pertes en minéral utile dans les stériles avec une teneur en BaSO_4 20-30%.

La synthèse de différents travaux de recherche menés sur la barytine témoigne que seule la séparation par flottation et la gravitation ont trouvé une large utilisation dans l'enrichissement du minerai barytique.

Les différentes techniques d'analyses appliquées (Analyse granulométrique, DRX, MEB, Fx) ont mis en évidence des caractérisations globales pour notre minerai. Les résultats de la caractérisation ont montré que la tranche granulométrique (-250+125) μm , représente la majeure partie de la masse globale du tout-venant, est caractérisé par sa richesse en baryte (52 %) Les teneurs en BaSO_4 varient de 57.64 à 73.51% (Moyenne = 64.26%). Les teneurs de SiO_2 varient de 10.94 à 15.02% (Moyenne = 13.23%). Les teneurs de CaO varient de 6.68 à 11.13% (Moyenne = 8.68%).

Chapitre V : Essai de séparation du minéral de baryte

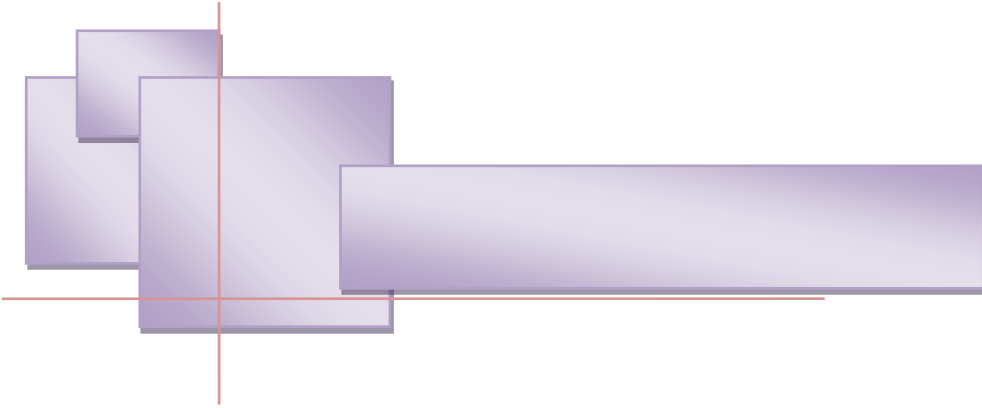
L'observation microscopique par le binoculaire a montré que les classes riches dont le degré de libération est maximal sont : la classe (- 0,250mm+0,125mm) dont la teneur en baryte est de 52.87 %, et la classe (-0,125mm +0,63 mm) ou la teneur en baryte est de 50.60 %.

La séparation par jigage de point de vue quantitatif est rentable par rapport à la table à secousses dans toutes les fractions sauf la fraction (-0,125mm +0,63 mm), où le rendement pondéral du concentré atteint de grande valeur lors de la séparation au niveau du jig.

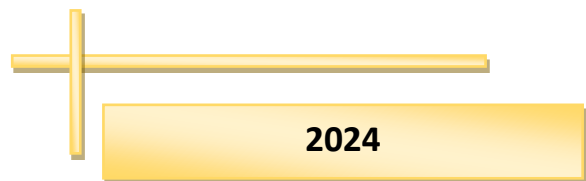
la séparation de la classe (-500mm+250)mm par jigage et au moyen de la table à secousses a donné de bon concentré .

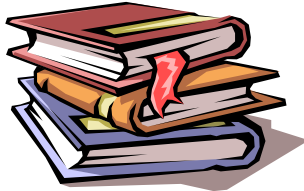
La fraction (-0,125mm +0,63 mm) a donné les meilleurs résultats que ce soit par jigage ou la densité atteint 4,02 ou au moyen de la table à secousses, la densité égale 3,3

Dans le futur, nous recommandons l'utilisation du procédé de flottation pour la séparation de la baryte car selon les résultats de la synthèse des travaux antérieurs ce dernier a donné des résultats très significatifs. Nous aurons du faire, mais suite au manque des réactifs et des moyens nous n'avons pas pu réaliser.

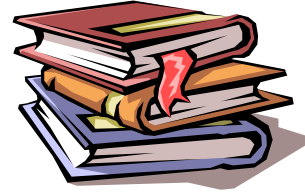


BIBLIOGRAPHIES





Biographie



A

- Anne Gosselin, ing., M.Sc. Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques, mars 1999, Sainte-Foy, Canada.
- Abdellaoui.K, Boumaza.A, Kamoun.N, Boutaleb.A, 2019.Chemical and Physical Investigation on the barite of Ain Mimoun ore deposit Khenchela North-eastern Algeria. Journal of Advanced Research in Science and Technology, 2019, 6(1), 865-877.
- Andrews, P.R.A. and Collings, R.K., 1989.Beneficiation of barite: A review of processing studies at CANMET. MiningEngineering,457 –461.
- Albert B ,et al .Effect of organic and unorganic chemicals on the flotation, non-sulphide minerals using fatty acid collector Po Obogascheniu Polezник Iskopaemih Leningrad. ; 1968
- AFEEAB Association française pour l'étude des eaux et analyse des boues généralités et analyse physique Tome N 1 ,paris ;1985

B

- Batouche .T, Bouzzenana .A, Zedam. R,Bourourou.M, 2019(b).Mineralogical and physico-chemical characterization of barite wastes from Ain Mimoun deposit (Khenchela ,Algeria), Solid State Physics, Mineral Processing, DOI: 10.29202/nvngu/2019-3/5.
- BLAZY Pierre et Robert JOUSSEMET, Concentration Par Gravité- Technique de L'ingénieur, Traité génie des procédés [J 3190 « 2-7 », J3191
- Batouche.T, Zedam.R, Bouzzenana.A, 2019(a). Description mineralogique des minéraux de gangue du gisement de barytine, d'Ain Mimoun ,KHENCHELA, NE ALGERIE.Le 1er Séminaire National en Géosciences et Environnement(SGSE-2019).Tamanrasset .ALGERIE.

Biographie

- Baladah.F,2012. Revalorisation des rejets barytique issues des jigs et impacts environnementales :cas de la mine de Ain Mimoun. Mémoire de magister en mine2011-2012
- BarryA.Wills,TimNapier-Munn.2006 :An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery .Gravity concentration ,Mineral Processing Technology. Elsevier Science & Technology Books . October 2006.ISBN: 0750644508.450P.
- Basics in minerals processing. 2010,Metso Expect results, Edition 7.
- Bhaskar Raju.G, Prabhakar . Sand Subba Rao.S,2004. Studies on the Beneficiation of Barite. International Seminar on Mineral Processing Technology (MPT2004).La dernière modification Dec2013.p 322-330. <http://eprints.nmlindia.org/6144>.
- Bittner, J.D. Hrach, F.J.Gasiorowski, S.A.Canellopoulus, L.A., Guicherd, H. 2014a. Tribo electric belt separator for beneficiation o f fine minerals. Procedia Engineering,83,122–129.
- Bittner, J.D. Flynn, K.P. Hrach, F.J.2014b.Expanding Applications in Dry Triboelectric Separation of Minerals. XXVII International Mineral Processing Congress, 1– 13.
- Browning JS, Rampacek C. Flotation of complex barite fluorspar ores.In:Proceedings7th international mineral processing congress;1964. pp. 221–6.
- Bulatovic, S.M. 2015. Beneficiation of Barite Ore, Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice, 34(3), 129-141.
- Bulatovic S. Flotation of barite and celestite using new reagent schemes Report of Investigation, Lakefield Research,1987. 120 pp.
- Beer. H.L 1949. Preliminary Concentration Tests On A Lead/Barite Ore From Spillimacheen., Ore Dressing Investigation Report 2576. CANMET, Energy,Mines and Ressources, Canada].

C

- Christophe.A, 2009. Diffraction Des Rayons X Techniques Et Études Des Structures Cristallines , Laboratoire de Chimie, École Normale Supérieure de Lyon.
- Camoin.G,Bouju.J.P,Maurin.A.F,Perthuisot.V,Rouchy.J.M,1990.Relationrécifs-diapirs: l'exemple du Sénonien de larégion de Khenchela .(Algérie centre- orientale).Bull.Soc. Géol. France, (8), tVI, N°5, (1990), pp.831-841.

Biographie

- Ciccu. R, Curreli. L, Giuliani. S, Manca. P.P. and Massacci. O, Optimization of an Integrated Flowsheet for Barite Processing, in Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries, Johannesburg, 1987.
- Collings R.K. et S.S.B. Wang and J.M. Lamothe. (1986). A Study Of The Processing Of Barite Samples From Selected Deposits In N.S. Of Canada, Division Report 86-95 Pp. Canmet, Energy, Mines And Ressources, Canada.].
- Carr. E.L.1945. Concentration Tests On Barite/Fluorite Ore From The Johnson Mine, Lake Ainslie Ore Dressing Investigation Report 1851. Canmet, Energy, Mines and Ressources, Canada.].

D

- DaLuz, A.B., Baltar, C.A.M, 2005. Usos E Especificacoes, Barita. In: da Luz, A.B., Lins, F.F., eds. Usos E Especificacoes, Rio de Janeiro : Centro de Tecnologia Mineral – Ministerio da Ciencia E Tecnologia, 263– 277.
- Deniz, V. 2000. Recovery of barite from Baser Co. Barite Processing Plant Slimes By Using Mgs. Geosound Sci. Technol. Bull. Earth Sci. 36: 207-212.
- Deniz, V, 2012. The effects of ball filling and ball diameter on kinetic breakage parameters. Advanced Powder Technology, 23, 640–646.
- DENIZ Vedat et Taki GULER. 2018. Production of White Barite from Barite Concentrates of Shaking Tables by Bleaching Process after Magnetic Methods. <http://doi.org/10.29227/IM-2018-01-12>.
- Duflos G 2014. Labaryte ou barytine, 2014. Association des Amis d'Allègre. Association de La Neira. p 01.
- Dewolf. E.G. 1957 Beneficiation Of Barite From Memramcook. N, By Electrostatic Separation Industrial Minerals Report 466. Canmet, Energy, Mines And Ressources, Canada.].

E

- Estefan, 1974. Radiometric study of the adsorption of chromate ions in anionic flotation of barite and Celestine minerals. Published by Elsevier Volume 9, Issue 1, January 1974, Pages 19-22. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(74\)80004-5](https://doi.org/10.1016/0032-5910(74)80004-5).
- ENOF 2016 Plan D'exploitation Mine D'Ain Mimoun 2016, 93 pages

F

- Francis Rouessac et Annick Rouessac ,2007.Analyse Chimique, Méthodes et Techniques Instrumentales Modernes 6 Edition Dunode.

G

- Gravereau.p;2012.la pratique de la diffraction des rayons X par les poudres. 3rd cycle. Diffraction des rayons X par les poudres, Université Bordeaux 1, France. 2012, pp.209.
- Gérard GILLET.1991. Séparation magnétique. Techniques de l'Ingénieur 10 nov1991.Réf : A5220 V1.
- Gosselin.A, Blackburn et Bergeron.M.1999. Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques.
- Guiraud.R, 1990.Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du Bassin du Hodna et des régions voisines. Publ. Office National de la Géologie,
- Grigorova, I.L., Dzhamyarov, S. D., Nishkov, I. M.(2014).Tailings Characterization of "Chelophechene" Tailings Pond ,Journal of International Scientific Publications :Materials, Methods and Technologies, 8, 778– 785.

H

- Haddouche .o, Hebert.R, Boutaleb.A 2010.Géologie, gîtologie et micro thermométrie des minéralisations à Ba - Pb (Zn, Cu), liées au segment NE du Djebel Azreg - Djebel Khenchela (Monts des Aurès) : Exemple des gisements d'ichmoul et d'Ain Mimoun.
- Hadjiev.A., Peter Hadjiev, Rashko Georgiev.2000, Flotation of barite from complex ironore. International Symposium On Processing Of Fines (Prof-2000), Nml Jamshedpur, India, 2000.P222-230.
- Herkat.M, 2005.Analyse quantitative des bioassociations et caractérisation des cortèges sédimentaires et des ensembles paléogéographiques des séries du Cénomano- Turonien des Aurès et du Tell oriental(Algérie).Bull. Soc. Géol. France, t 176, No 2, (2005),pp. 183-190.
- Herkat.M, 1992.Manifestations diapiriques du Trias dans les séries du Crétacé supérieur de l'Atlas Saharien et des Aurès. Bull. Serv. Géol. Algérie, vol.3, N°1, 199, (1992),pp.15-27.

Biographie

- Hicyilmaz C, Ghaemi M. The effect of inorganic agents on the flotation of barite and fluorite. Changing Scope of Mineral Processing; 1996. Rotterdam Conference.
- Haw. V.A. 1957. Heavy—Media Separation Of Barite From Magnet Cove, Walton, N.S., Industrial Minerals Report 460. Canmet, Energy, Mines And Resources, Canada.]. [M38-13-88-2 Eng Pdf]
- Haw. V.A. 1953. Beneficiation Tests On Barite Ore From Port Arthur, Ont. Industrial Minerals Report 192. Canmet, Energy, Mines And Resources, Canada.]. [M38-13-88-2 Eng Pdf]

I

- Ibisi. M.I, 1991 Characterization and upgrading of a Nigerian barite sand, Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. 30 (1991)2, 101-103.

J

- Johnson. J.D. 1940. Concentration Tests On A Sample Of Barite From Lavant, Lanark, Ore Dressing Investigation Report 863. CANMET, Energy, Mines and Resources, Canada.].
- Jakabsky. S, Karoli. A, Hredzak. S, Lovas. M, Znamenackova. I. (2010). Possibilities of Processing and Utilization of Tailings from the Settling Pit nearby the Rudnany Village (Eastern Slovakia), 42, 305–308.

K

- Kolawole. F.O, Bergerman. M.G, Ulsen. C et Kolawole. S.K, 2019. A global review of barite beneficiation processes: a case study of azara barite ores in Nigeria. Nigerian Journal of Engineering. Vol. 26, No. 1, April 2019. ISSN: 0794–4756.
- Kecir. M, 1993. Etude générale de la flottation différentielle Barytine-Fluorine. Mines et carrière. Décembre 1993. ISSN 0999-5714. P47-55.
- Kecir. M et Botula. J, 2015. Optimisation of barite flotation parameters. October 2015. DOI:10.13140/RG.2.1.1579.0807.

Biographie

- Kecir.M et Kecir.A, 2015. Selective Flotation of Barite and Associated Minerals: A Comparative Study. *Inżynieria Mineralna*. 2015. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*. P117-124

L

- Labidi NS (2018) Flotation of Barium Sulfate Contaminants Soils. *Biodiversity Int J* 2(3): 00049. DOI: 10.15406/bij.2018.02.00049
- Laffitte.R, 1939. Etude géologique des Aurès. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie*, 484 p, 2ème série, N° 15, Alger. (1939), pp.175-451.
- Larachi.N, Bali.A, Ould Hamou.M, Bensaadi.S, 2019. Recovery of lead and barite from the abandoned Ichmoul mine wastes in Algeria. *Environmental Earth Sciences*(2019) 78:601. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8593-5>
- Lottermoser, B. G. (2007). *Mine Wastes Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. 3rd ed., Springer, New York, 6P.

M

- Marinakis, K.I., Shergold, H.L. (1985). The mechanism of fatty acid adsorption in the presence of fluorite, calcite and barite. *International of Mineral Processing*, 14, 161-176.
- Manouchehri, H.R., Rao, K.H., & Forsberg, K.S.E. (2000). Review of electrical separation methods *Mining, Metallurgy & Exploration*, 17(1), 23-36.
- MOUSSAOUIE, 2015. Essais de valorisation du minerai Plombo-barytique du gisement d'Ichmoul (W. Batna) par flottation. Thèse de Magistère en génie minier, ENP ALGER. 114 p

O

- Oladapo, M.I., Adeoye-Oladapo, O.O. (2011). Geophysical investigation of barite deposit in Tunga, Northeastern Nigeria. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(20), 4760-4774.
- Ovtcharov.V., et Khassiev.T, 1986. *MINERALURGIE. Flottation égouttage technologies*. Université de ANNABA-1986.
- Ozkan.A., Aydogan, S., Yekeler, M. (2005). Critical solution surface tension for oil agglomeration. *International Journal of Mineral Processing*, 76, 83– 91.

Biographie

- Ozbas, K.E., Hicyilmaz, C. (1994). Concentration of Barite and Fluorite Materials of Eskisehir- Beylikahir District. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 28, 65-74.

P

- Pradip et Rai, B.(2003).Molecular modeling and rational design of flotation reagents. *International Journal of Mineral Processing*, 72,95– 110.
- Pierre.B,Robert.J.2012a:Concentration par gravité Principes ,Techniques de l'Ingénieur 04/03/2012. Réf : J3 190.

R

- Ripley. E. A., Redmann, R. E., Crowder. A. A, (1996). Environmental effects of mining. St Lucie Press, Delray Beach, Florida, USA
- Raju.G.B,Ratchambigai.S,Rao.M.A,Vasumathi.N,Kumar.T.V.V,Prabhakar.S,Rao. S.S,2016.Beneficiation of Barite Dumps by Flotation Column; Lab-Scale Studies to Commercial Production. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 69(1), 75–81.

S

- Sokić .M., Matković. V., Marković. B., Manojlović.V, Štrbac. N., Živković, D., Kamberović, Z. (2016). Complex Sulphide - Barite Ore Leaching in Ferric Chloride Solution. *Metallurgical and Materials Engineering* 22 (2), 81-89
- Serge BOUCHARD, 2001, *Traitement des minerais : méthodes physique et flottation*,
- S.a.r.l GENERALE DES MINES 2009
- Sonmez,I., Cebeci,Y.(2003).AStudy onspherical oil agglomeration of barite suspensions, *International Journal of Mineral Processing*71, 219–232.
- Sadowski,Z.(1992).The influence of sodium lignin sulfonate on the adsorption of sodium dodecyl sulfate on salt-type mineral surfaces. *Minerals Engineering*, 5, 421– 428.
- Shaikh, A. M.H., Banerjee, S.S., Dixit, S.G.(1994).Use of magnetic surfactants in the high gradient magnetic separation of essentially nonmagnetic calcite and barite .*Separation Technology*4, 174 – 179.

T

- Teke, E., Yekeler, M., Ulusoy, U., Canbazoglu, M. (2002). Kinetics of dry grinding of industrial minerals: calcite and barite. *International Journal of Mineral Processing* 67, 29–42.

U

- Udenko, A., Onyedika Gerald, C., Ogwuegbu Martins et Ayuk Ausaji. 2011. Flotation recovery of barite from ore using palm bunch based collector, *Int. J. Chem. Sci.*:9(3), 2011, p1518-1524.

V

- Vincent, S., 2006. Capture de fines particules par des inclusions fluides. Thèse de doctorat Transferts, Dynamique des Fluides, Énergétique et Procédés. Spécialité Génie des Procédés et de l'Environnement. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. FRANCE. P 292.
- Vila, J.M., 1977. Carte géologique de l'Algérie au 1/50.000, feuille de Khenchela N°(203), Sonatrach, Direction exploration. (1977).

W

- Wang, Y., Yang, S., Li, H. (2015). Studies on the leaching of tungsten from composite barite-scheelite concentrate. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 54, 284–288.
- Widanagamage, I.H., Griffith, E.M., Singer, D.M., Scher, H.D., Buckley, W.P., Senko, J.M. (2015). Controls on stable Sr isotope fractionation in continental barite. *Chemical Geology* 411, 215–227.
- Wyman, R.A. 1970. Experimental work on barite from Yarrow, Ontario. Division Report 70, 51 (IR). CANMET. Energy, Mines and Resources Canada.
- Wyman, R.A. (1960). Beneficiation Of Barite From Summit Lake. Division Report 60-87pp. Canmet, Energy, Mines and Resources, Canada. [M38-13-88-2 eng pdf]
- Wynian, R.A. 1968. Beneficiation Of Barite/Fluorite From Lake Ainslie, N.S., Division Report 68-70 Pp. Canmet, Energy, Mines and Resources, Canada].

Biographie

- Wyman. R.A.1958. Concentration Of Barite From A Sample Of Tailings From Giant Mascot Mines, Division Report 58-16 pp. CANMET, Energy, Mines and Ressources, Canada.].
- Wyman.R.A.1966. Tabling Tests On Barite/Fluorite Samples From Lake Ainslie Division Report 66-100 Pp. Canmet, Energy, Mines and Ressources, Canada.].

X

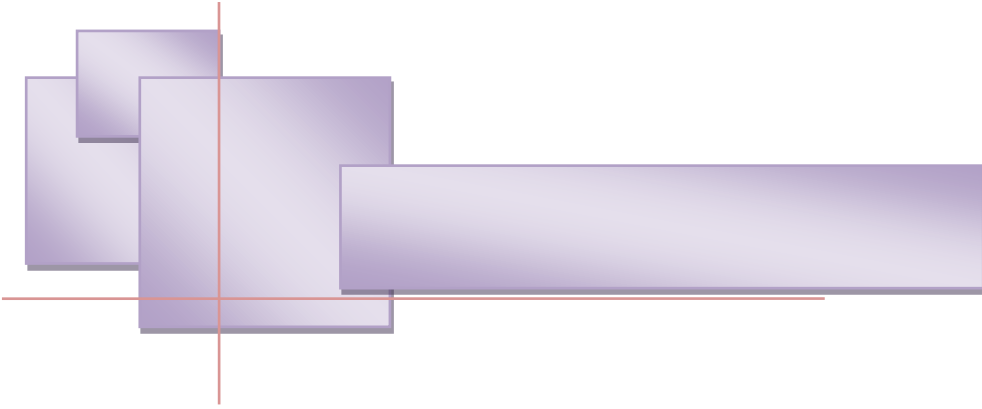
- Xiong,D.,Lu,L.,& amp ;Holmes,R.J. (2015).Developments in the physical separation of iron ore: magnetic separation. In Iron Ore (pp. 283-307)

Y

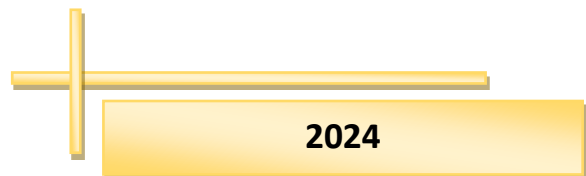
- Yahiaoui.A,1990.La partie inférieure de la série marnocalcaire du Crétacé supérieur. (Cénomaniens sup.à Coniacien inf.)entre Batna et El-Kantara(Algérie orientale).Thèse de Doctorat.207p, Université de Nancy, (1990).

Z

- ZEDAM.R, 1998. Etude géologique du gisement de Barytine Mizab, Ain Mimoun, Khenchela. Thèse de Magistère, Univ. BADJI Mokhtar, septembre1998. 130 pages.
- Zedam.R,LAOUAR.R,BOUHLEL.S.2007Analyse Petrographique et Sedimentologique de L'albien D'ain Mimoun, Khenchela, (Nord-Est Algerie).Sciences & amp; Technologie D– N°26, Décembre (2007),09-20.
- ZEDAM R, 2012 , Mise en place d'une Minéralisation Hydrothermale au flanc Nord de L'Anticlinal de Khenchela. Identification et détermination sur fond Litho stratigraphique et Tectonique.Thèse de Doctorat sciences ,université Mentouri, FSTGAT ,département des sciences de la terre. Juillet 2012, 220 pages.
- Zhang, X., Du, H., Wang, X., Miller, J.D.2013.Surface chemistry aspects of bastnaesite flotation with octyl hydroxamate. International Journal of Mineral Processing, 133, 29– 38.



ANNEXES





SECTION GENERALE

شركة اقتصادية
ENTREPRISE PUBLIQUE ECONOMIQUE / ORGM.Spa

Société par actions au Capital Social 1.500.000.000 DA


DEPARTEMENT DES LABORATOIRES ET VALORISATION
LABORATOIRE DE CHIMIE

RAPPORT DES ESSAIS DE LABORATOIRE

Client : BALADAH FARES
Commande N° : LB 444/2017



MOIS : MAI 2017

 ORGM	ENREGISTREMENT SYSTEME QUALITE	Edition 21/05/2017
	Résultats d'analyses chimiques	REF : ENRG 9876

RAPPORT D'ESSAI

Commande	LB 444-17
Nature et référence de l'échantillon	Minerai
Date de réception	10/05/2017
Date de l'essai	21/05/2017

Nature des essais	code	Nombre
Analyse des éléments majeurs par Fluorescence X		07

I - ESSAIS REALISES :

- Détermination des éléments par Fluorescence X
- Analyse chimique.

II - MODALITES DES ESSAIS :

- Appareillage utilisé : SPECTROMETRE AXIOS PANalytical.
- Seuil de détection de l'ordre de 0.05%.
- Teneur exprimée en pourcentage (%).
- Méthode de préparation utilisée par notre laboratoire : Pastille avec mélange (d'acide borique et cellulose), puis passage au spectromètre.
- Etalonnage par des standards internationaux.