

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Minier

Laboratoire de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

Flottation sélective d'un minerai polymétallique par l'utilisation d'un réactif écologique

Tarek GUIZ

Billel Mustapha ZAMOUM

Sous la direction de Pr Malek OULD HAMOU

Présenté et soutenu publiquement le 14/07/2022

Composition du Jury :

| | | | |
|---------------|-------------------|-----|-------|
| Président | M. E. MOUSSAOUI | MAA | ENP |
| Promoteur | M. M. OULD HAMOU | PR | ENP |
| Co- Promoteur | Mme. A. MERCHICHI | MCB | ENP |
| Examineur | M. A. KHELOUFI | DR | CRTSE |

ENP 2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Minier

Laboratoire de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

Flottation sélective d'un minerai polymétallique par l'utilisation d'un réactif écologique

Tarek GUIZ

Billel Mustapha ZAMOUM

Sous la direction de Pr Malek OULD HAMOU

Présenté et soutenu publiquement le 14/07/2022

Composition du Jury :

| | | | |
|---------------|-------------------|-----|-------|
| Président | M. E. MOUSSAOUI | MAA | ENP |
| Promoteur | M. M. OULD HAMOU | Pr | ENP |
| Co- Promoteur | Mme. A. MERCHICHI | MCB | ENP |
| Examineur | M. A. KHELOUFI | DR | CRTSE |

ENP 2022

ملخص

في فصل التعويم لخامات الكبريتيد المعقدة ، تضاف المواد المثبطة بشكل انتقائي لمنع معدن معين من الطفو. معظم المثبطات المستخدمة حاليًا في صناعة تعويم الكبريتيد هي مثبطات غير عضوية ، مثل سيانيدات الصوديوم والبوتاسيوم (KCN-NaCN) وثنائي كرومات البوتاسيوم (K₂Cr₂O₇) وهي سامة للإنسان والبيئة .

هذه المثبطات غير العضوية فعالة للغاية ، لكنها سامة وخطيرة ، مما يسبب ضررًا محتملًا ركزت الكثير من الأبحاث على البحث عن بدائل عضوية محتملة غير سامة وصديقة للبيئة مقارنة بالمثبطات غير العضوية كجزء من مشروع التخرج الخاص بنا ، تم اختبار مستخلص حبوب الخروب وزيت الخروب كمثبط انتقائي للبيريت والماركاسيت ، باستخدام الزانثات كمجمع. لقد تم تحقيق نتائج واعدة للغاية .

الكلمات الدالة : الفصل عن طريق التعويم ، مثبط ، الكبريتيدات ، مستخلص حبوب الخروب ، زيت الخروب ، البيريت ، الماركاسيت ، المجمع

Abstract

In the flotation separation of complex sulphide ores, depressants are usually added to selectively prevent a certain mineral from floating. Most of the depressants currently used in the sulphide flotation industry are inorganic depressants, such as sodium and potassium cyanides (NaCN-KCN), potassium dichromate (K₂Cr₂O₇) which are toxic on the one hand and not ecological.

These inorganic depressants are highly effective, yet toxic and dangerous, causing potential harm to humans and the environment.

Much research has focused on investigating potential non-toxic and environmentally friendly organic substitutes in comparison to inorganic depressants.

As part of our graduation project, locust bean gum and locust oil were tested as a selective depressant of pyrite and marcasite, using xanthate as a collector. Very promising results have been achieved.

Key Words : the flotation separation, depressants, the sulphide, locust bean gum, locust oil, pyrite, marcasite, collector

Résumé

Dans la séparation par flottation des minerais sulfurés complexes, les déprimants sont généralement ajoutés pour empêcher sélectivement un certain minéraux de flotter. La plupart des dépresseurs actuellement utilisés dans l'industrie de la flottation des sulfures sont des dépresseurs inorganiques, comme les cyanures de sodium et de potassium (NaCN-KCN), le dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) qui sont toxiques d'une part et non écologiques.

Ces déprimants inorganiques sont très efficaces, mais toxiques et dangereux, entraînant des dommages potentiels pour les humains et l'environnement.

De nombreuses recherches se sont concentrées sur l'étude des potentiels substitués organiques non toxiques et écologiques en comparaison aux déprimants inorganiques.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, les grains de caroube et l'huile de caroube ont été testées comme déprimant sélectif de la pyrite et de la marcasite, utilisant le xanthate comme collecteur. Des résultats très prometteurs ont été réalisés.

Mots clés : séparation par Flottation, Déprimant, sulfures, les grains de caroube, l'huile de caroube, pyrite, la marcasite, collecteur.

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier **ALLAH** le tout puissant pour nous avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme notre formation et pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements aux personnes suivantes :

- Le Professeur. **Malek OULD HAMOU**, notre promoteur et enseignant ; nous avons eu la chance de bénéficier de ses connaissances et compétences durant notre parcours académique et pour nous avoir accompagné durant ce projet. Il était disponible et toujours à notre écoute. Respect, considération et gratitude Professeur Malek OULD HAMOU
- **Dr MERCHICHI Amira**, pour son soutien, sa disponibilité et pour ses précieux conseils. Elle a été une enseignante exemplaire qui ne ménage aucun effort pour le bien de ses étudiants. Qu'elle trouve l'expression de tout notre respect et considération. Un grand merci à vous Dr MERCHICHI.
- **Aux membres de notre jury, Mr MOUSSAOUI Elabas Et DR KHELOUFI Abdelkarim du CRTSE** pour avoir examiné notre modeste travail en dépit de tous leurs engagements et charges.

Nos remerciements vont également à toute l'équipe technique du laboratoire **C.R.D de Boumerdès**, spécialement **Mr Rahim BOUDHAR** et **Mme Samia** pour leurs précieuses collaborations et de nous avoir aidés dans l'opération d'extraction de l'huile de caroube.

Nous remercions également toute l'équipe de **C.R.A.P.C**, spécialement **Mme DJEMA Souhila**, **Mr REZGUI walid**, **Mme ZEMMACHE Safia**, et aussi l'équipe de **A.S.G** Spécialement **Dr ZOUBIRI safia**, pour nous avoir permis d'effectuer les analyses chimiques et minéralogiques de nos échantillons.

Enfin, nous ne pouvons oublier notre camarade et ami de notre promotion, **NICHE Abdelbaki** de nous avoir ramené les plantes et les grains de caroube.

Dédicace

Je dédie ce travail A ma chère mère, A mon cher père, Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard et de me soutenir pour que je puisse atteindre mes objectifs

*A ma soeur **I**men et à mes frères **A**mine et **O**ussama, **P**our leurs encouragements permanents et leurs conseils tout au long de mes études*

*A ma belle-soeur **H**anane*

*A mon binôme **B**illel, **P**our sa confiance, son entente, et son amitié*

*A mes amis **L**oubna, **I**med, **Z**inou, **B**aki, **l**yna et **s**abrina*

*A mes cousins **H**amid, **M**ustapha, **K**rimou et **A**bdou*

*Tarek **G**UIZ*

Dédicace

Je dédie mon travail à mon cher père, Malheureusement le destin l'a empêché d'assister à ce stade de ma vie, j'espère qu'à l'au-delà il est fier de moi et que dieu bénisse son âme

Ma chère mère qui a toujours été d'un grand soutien émotionnel pour moi

Mon frère Mohammed et mes soeurs Amina et Sarah

Mes chers neveux Tarek, Imad, Mohammed Redha, Ahmed Yacine et Maïssa

Mes grands-parents

Mon binôme et ami Tarek

Mes camarades de classes

ZAMOUM Bilal Mustapha

Table des matières

| | |
|-----------------------------|--|
| Liste des figures..... | |
| Liste des Tableaux | |
| Liste des abréviations..... | |

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Introduction Générale..... | 12 |
| Chapitre I : GENERALITES SUR LA FLOTTATION..... | 13 |
| Efficacité d'une opération de flottation | 14 |
| I.1 HYDROPHOBIE / HYDROPHILIE..... | 15 |
| I.2. Les réactifs de flottation..... | 16 |
| I.2.1. Destination et classification des réactifs de flottation | 16 |
| I.2.2. L'efficacité du procédé de flottation | 18 |
| I.3. Les machines de flottation..... | 18 |
| I.3.1. Cellules de flottation mécaniques | 18 |
| I.3.2. Cellules de flottation pneumatiques | 19 |
| I.3.3. Colonne de flottation..... | 20 |
| I.4. Impact des réactifs sur l'environnement..... | 20 |
| CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude..... | 22 |
| II.1. Localisation géographique | 23 |
| II.2. Géologie de la région | 24 |
| II.3. Lithostratigraphie..... | 26 |
| II.4. Traitement du tout-venant au niveau de l'usine..... | 26 |
| II.4.1. Le concassage | 26 |
| II.4.2. Flottation et Filtration..... | 27 |
| CHAPITRE III : PARTIE EXPERIMENTALE..... | 28 |
| III.1. Echantillonnage..... | 29 |
| III.1.1. Prélèvement des échantillons au niveau du site de Chaabet El Hamra | 29 |
| III.1.2. Préparation des échantillons (Traitement mécanique)..... | 30 |
| III.2. Matériels et Méthodes Utilisées | 33 |
| III.2.1. Diffraction par rayon X..... | 33 |
| III.2.2. Fluorescence X..... | 34 |
| III.3. Flottation | 34 |

| | |
|---|-----------|
| III.3.1. Mode opératoire..... | 34 |
| III.3.2. Le matériel utilisé | 34 |
| III.4. Les essais de flottation | 39 |
| III.4.1. Première phase : (Flottation de premier échantillon)..... | 39 |
| III.4.1.1. Déprimant chimique..... | 39 |
| III – 4.1.2. Déprimant écologique | 40 |
| III.4.2. deuxième phase : (Flottation de deuxième échantillon)..... | 41 |
| III.4.2.1. Déprimant chimique..... | 41 |
| III-4.2.2. Déprimant écologique..... | 42 |
| Chapitre IV : Interprétation et conclusionIntroduction..... | 43 |
| IV.1. Première partie : Caractérisation chimique des deux échantillons demineraï | 44 |
| IV.1.1 Résultats par DRX..... | 44 |
| IV.1.2. Résultats par FRX..... | 46 |
| IV.2. Deuxième partie | 48 |
| Echantillon n°1 | 48 |
| IV.3. Troisième partie..... | 51 |
| IV.3.1. Echantillon n°1 | 51 |
| IV.3.2. Echantillon n°2..... | 52 |
| IV.4. Quatrième partie | 55 |
| IV.4.1. Echantillon n°1..... | 55 |
| IV.4.2. Echantillon n°2..... | 56 |
| IV.5. Comparaison générale | 58 |
| Conclusion générale..... | 59 |
| Références Bibliographies..... | 60 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure I 1 : fixation sélective des bulles d'airs sur des particules hydrophobes | 16 |
| Figure I 2 : Schématisation de l'adsorption de collecteur [7] | 17 |
| Figure I 3 : Schématisation de l'effet de déprimant [7] | 17 |
| Figure I 4 Schéma d'une cellule de flottation mécanique | 19 |
| Figure I 5 : Schéma d'une colonne de flottation..... | 20 |
| | |
| figure II 1 : Géolocalisation de la mine de Kharzet Youcef | 23 |
| figure II 2 : Géolocalisation de la mine de Chabaat el hamra | 24 |
| figure II 3 : Schéma de la coupe géologique de Kharzet Youcef | 25 |
| figure II 4 : Bloc diagramme de gisement de Kharzet youcef..... | 26 |
| | |
| figure III 1 : Lieu de prélèvement de premier échantillon | 29 |
| figure III 2 :Lieu de prélèvement de premier échantillon..... | 30 |
| figure III 3 : Processus de la préparation mécanique de l'échantillon pour les besoins de la séparation par flottation | 30 |
| figure III 4 :Concasseur à mâchoire | 31 |
| figure III 5 : Concasseur giratoire..... | 31 |
| figure III 6 : Broyeur à boulet de laboratoire | 32 |
| figure III 7: Tamiseuse de marque Retsch modèle AS 200 | 32 |
| figure III 8 : Diagramme schématique d'un système de diffraction | 33 |
| figure III 9 : Diagramme schématique d'un système Fluorescence X..... | 34 |
| figure III 10 : Machine de Flottation Mécanique DENVER..... | 35 |
| figure III 11 : Extracteur de la matière Organique Soxhelt | 36 |
| figure III 12 Fraction saturée de l'huile de caroube..... | 36 |
| Figure III 13 . Les Grains de Caroube | 38 |
| figure III 14 Plante de Caroube..... | 38 |
| figure III 15 grains de Caroube en poudre | 38 |
| Figure III 16 : Grains de caroube épluchés | 38 |
| figure III 17 Solution de grains de caroube..... | 38 |
| figure III 18 : Protocole de flottation par déprimant chimique | 39 |
| figure III 19 : Protocole de flottation par déprimant écologique | 40 |
| | |
| figure IV 1: Spectroscopie de la composition minéralogique de l'échantillon n°1..... | 44 |
| figure IV 2 : Spectroscopie de la composition minéralogique de l'échantillon n°2 | 45 |
| figure IV 3 Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de collecteur..... | 49 |

| | |
|---|----|
| figure IV 4 : Protocole idéale de la flottation avec déprimant chimique..... | 50 |
| figure IV 5 :Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de déprimant écologique | 51 |
| figure IV 6 :Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de déprimant écologique | 52 |
| figure IV 7 : Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction du temps de conditionnement..... | 53 |
| figure IV 8 : Protocole idéale de la flottation avec le déprimant écologique (Solution des grains de caroube)..... | 54 |
| figure IV 9 : Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de déprimant écologique | 55 |
| figure IV 10 : Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de déprimant écologique | 56 |
| figure IV 11 : Protocole idéale de flottation avec le déprimant huile de caroube | 57 |
| figure IV 12 :Histogramme de comparaison entre les 4 déprimants utilisés en fonction de la récupération..... | 58 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau II 1 : Coordonnées de la Géo-location de la mine de Kharzet Youcef et Chaabet el Hamra | 24 |
| Tableau III 1 Variation de la dose des collecteurs | 40 |
| Tableau III 2 : Variation de la dose de déprimant caroube huile pour l'échantillon n°1 | 41 |
| Tableau III 3 : Variation de la dose de déprimant grains de caroube pour l'échantillon n°2 . | 41 |
| Tableau III 4 : Essai avec le déprimant chimique pour l'échantillon n°2 | 41 |
| Tableau III 5 :Variation de la dose de déprimant grains de caroube pour l'échantillon n°2 ... | 42 |
| Tableau III 6 :Variation de la dose de déprimant caroube huile pour l'échantillon n°2 | 42 |
| Tableau IV 1 : FRX - Liste des éléments chimiques de l'échantillon n°1..... | 46 |
| Tableau IV 2 :FRX - Liste des éléments chimiques de l'échantillon n°1..... | 47 |
| Tableau IV 3 Résultat de récupération de zinc après variation de la dose de collecteur..... | 48 |
| Tableau IV 4 : –Comparaison de résultat de récupération entre l'échantillon n°1 et n°2 | 50 |
| Tableau IV 5 / Résultat de récupération en variant le déprimant grains de caroube pour l'échantillon n°1..... | 51 |
| Tableau IV 6 : – Résultat de récupération en variant le déprimant grains de caroube pour l'échantillon n°2..... | 52 |
| Tableau IV 7 Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction du temps de conditionnement..... | 53 |
| Tableau IV 8 : Résultat de récupération en variant le déprimant huile de caroube pour l'échantillon n°1..... | 55 |
| Tableau IV 9 Résultat de récupération en variant le déprimant huile de caroube pour l'échantillon n°2..... | 56 |

Liste des abréviations

ENOF : L'Entreprise nationale des produits miniers non ferreux et substances utiles

pH : Potentiel hydrogène

FRX : Spectrométrie à fluorescence DRX :

La diffraction aux rayons X C : Concentré
de flottation

R : Rejet de flottation

C.R.D : Centre de Recherche et de développement

Introduction Générale

Les minéraux sulfurés sont des sources majeures de métaux de base, tels que le cuivre, le plomb, le zinc et le nickel. Pour des raisons économiques et technologiques, l'alimentation minérale des fonderies de métaux doit répondre aux normes de haute qualité et de faible teneur en impuretés conditions. Cependant, les minéraux sulfurés sont toujours entrelacés avec d'autres minéraux sulfurés et non sulfurés dans un minerai (Huang, 2013). Par conséquent, pour répondre aux exigences des fonderies, la flottation par mousse est utilisée pour améliorer le contenu d'un minéral sulfuré spécifique dans un minerai et éliminer les impuretés délétères. (Bulatovic, 2007).

Dans la séparation par flottation des minerais sulfurés complexes, les dépresseurs sont généralement ajoutés pour empêcher sélectivement un certain minéral de flotter (Bıçak et al., 2012 ; Chandra et Gerson, 2009). La plupart des dépresseurs actuellement utilisés dans l'industrie de la flottation des sulfures sont des dépresseurs inorganiques, comme les cyanures de sodium et de potassium (NaCN-KCN), le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) et la chaux (CaO) (El-Shall et al., 2000 ; Mu et al., 2016).

Ces dépresseurs inorganiques sont certes très efficaces, mais toxiques et dangereux, entraînant des dommages potentiels à la fois pour l'homme et pour l'environnement. De nombreuses recherches se sont concentrées sur l'étude de substituts non toxiques potentiels pour les dépresseurs inorganiques toxiques (Gül et al., 2008 ; Sarquís et al., 2014). Les polymères naturels tels que l'amidon, la dextrine, la cellulose, et la gomme de guar, ont été testés ou utilisés comme dépresseurs sélectifs (Liu et Zhang 2000 ; Pawlik et al., 2003 ; Shortridge et al., 2000). Le mécanisme d'adsorption entre les polysaccharides et minéraux est complexe. Cependant, le manque de compréhension du mécanisme d'adsorption des polysaccharides sur les minéraux entrave leur application dans le traitement des minéraux. Les grains de caroube est une gomme végétale de galactomannane extraite de graines de caroubier et a été utilisé comme déprimant utile pour la séparation par flottation de lachalcopyrite du talc (Feng et al., 2018).

Cependant, les grains de caroube n'a pas encore été utilisée comme déprimant de ZnS-FeS/FeS₂ séparation.

Cette étude visait à déterminer le rôle des grains de caroube et son huile dans la flottation de la blende et de la pyrite et/ou de la marcasite. Les échantillons utilisaient provenaient de la mine de Kharzet Youcef et Chaabet El Hamra, dans la wilaya de Sétif. Des résultats très prometteurs ont été obtenus.

Chapitre I

GENERALITES SUR LA FLOTTATION

Chapitre I : GENERALITES SUR LA FLOTTATION

Introduction

La technique de séparation sélective de la flottation par écumage peut être appliquée efficacement aux matériaux ayant subi une très bonne séparation mécanique, où les minéraux de valeur et de gangue sont supposés être suffisamment libérés. Il s'agit d'un procédé de valorisation des minerais qui exploite les différences de propriétés physico-chimiques de surface entre les minéraux de valeur et la gangue.

Efficacité d'une opération de flottation

Il n'existe pas de méthode universelle pour exprimer l'efficacité d'une séparation, mais il existe plusieurs méthodes utiles pour évaluer les résultats d'une séparation par la flottation :

2.1- Les indices technologiques

a- Rapport de concentration : Le rapport de concentration est le poids de minerai par rapport au poids du concentré, qui s'exprime comme suit :

$$\text{Rapport de concentration} = F/C$$

Où

F : poids du tout-venant

C : poids du concentré

L'une des limites de ce calcul est qu'il utilise les poids du tout-venant et du concentré. Bien que ces données peuvent être obtenues à partir d'expériences en laboratoire, dans l'usine, il est probable que le minerai ne soit pas pesé et que seules des analyses soient effectuées.

Cependant, il est possible d'exprimer le rapport de concentration en termes de dosage du minerai.

b/ Les bilans massiques

$$F = C + T$$

$$Ff = Cc + Tt$$

où

F, C, et T = poids de minerai, du concentré, et des résidus, respectivement.

f, c et t = Teneurs en Mineral utile, dans le tout-venant, concentré et résidu, respectivement.

c- Taux de récupération des métaux :

Le taux de récupération du métal est le rapport de la quantité du métal dans le concentré à la quantité de métal contenu dans l'alimentation initiale. Il est calculé par la formule :

$$E = (C_c/F_f) * 100\%$$

Ou parce que $C/F = (f - t)/(c - t)$, le taux de récupération du métal peut être calculé à partir des teneurs seulement :

$$100(c/f) (f - t)/(c - t).$$

Rendement pondéral : C'est essentiellement l'inverse du rapport de concentration et est égal à :

$$100C/F = 100(f - t)/(c - t).$$

Le rapport d'enrichissement : Le taux d'enrichissement est calculé directement à partir des essais comme c/f. Les poids n'interviennent pas dans le calcul.

I.1 HYDROPHOBIE / HYDROPHILIE

La base de la flottation par écumage est la différence de mouillabilité de différents minéraux. Les particules vont de celles qui sont facilement mouillables par l'eau (hydrophiles) à celles qui sont hydrofuges (hydrophobes). Si un mélange de particules hydrophobes et hydrophiles est suspendu dans l'eau et que l'on fait barboter de l'air dans la suspension, les particules hydrophobes auront tendance à se fixer aux bulles d'air et à flotter à la surface, comme le montre la figure I-1.

La couche d'écume qui se forme à la surface est alors fortement chargée en minéraux hydrophobes, et il peut être retiré comme un produit séparé. Les particules hydrophiles n'auront pas ou peu tendance à s'attacher aux bulles d'air, elles resteront donc en suspension et seront transportées dans la boue (Whelan et Brown 1956).

Les particules peuvent être naturellement hydrophobes, ou l'hydrophobie peut être induite par des traitements chimiques. Les matériaux naturellement hydrophobes comprennent les hydrocarbures et les solides non polaires tels que le soufre élémentaire. Le charbon est un bon exemple d'un matériau qui est naturellement hydrophobe, parce qu'il est principalement composé d'hydrocarbures. Les traitements chimiques pour rendre une surface hydrophobe sont essentiellement des méthodes pour enduire sélectivement la surface d'une particule d'une monocouche d'huile non polaire.

L'attachement des bulles à la surface est déterminé par les énergies interraciales entre les phases solides, liquides et les phases gazeuses. Celle-ci est déterminée par l'équation de Young-Dupré

comme suit :

$$\gamma_{lv} \cos \theta = (\gamma_{sv} - \gamma_{sl})$$

où

γ_{lv} = énergie de surface de l'interface liquide-vapeur

γ_{sv} = énergie de surface de l'interface solide-vapeur

γ_{sl} = énergie de surface de l'interface solide-liquide

θ = "angle de contact

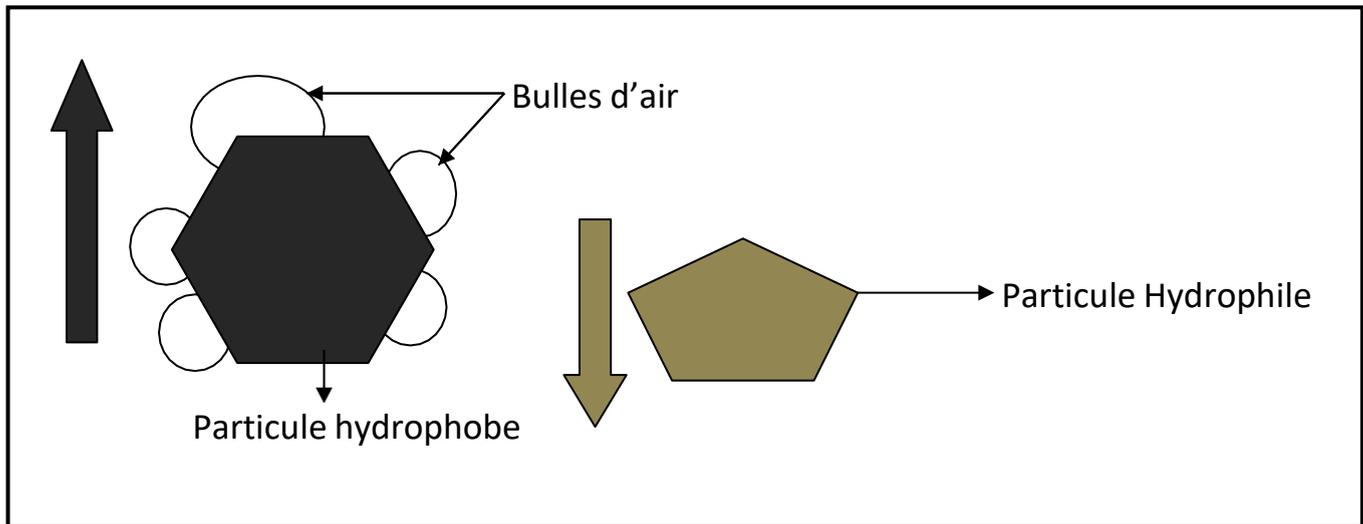


Figure I 1 : fixation sélective des bulles d'airs sur des particules hydrophobes :

I.2. Les réactifs de flottation

Les propriétés des mélanges de minéraux bruts en suspension dans l'eau de circulation normale de l'usine sont rarement adaptées à la flottation par écumage. Des produits chimiques sont nécessaires à la fois pour contrôler les hydrophobies relatives des particules et pour maintenir les caractéristiques appropriées de la mousse. Par conséquent, de nombreux réactifs différents sont impliqués dans le processus de flottation par écumage, le choix des réactifs dépendant des mélanges minéraux spécifiques à traiter. (Klimpel 1980 ; Thompson 2002).

I.2.1. Destination et classification des réactifs de flottation

La théorie de l'acte élémentaire de flottation explique la fixation des particules sur la surface de séparation gaz-liquide, mais elle ne donne pas les modes pour régler la vitesse de flottation des minéraux. La vitesse de flottation des minéraux est déterminée par :

- L'indice de flottabilité (plus grand est l'indice de flottabilité, plus grande est la probabilité de fixation des minéraux sur les bulles d'air).
- Par le nombre et la dimension des bulles d'air (l'augmentation des nombres des bulles d'air dans la pulpe augmente la probabilité de contact des minéraux entre eux ; la diminution de la dimension des bulles d'air jusqu'à la limite bien définie, augmente leur nombre).
- La solidité de la mousse (si la mousse n'est pas solide, les bulles d'air s'éclatent sur la surface de la pulpe et les minéraux qui se sont fixés tombent au fond de la cellule de flottation).

La variation de l'indice de flottation, du nombre et dimensions des bulles d'air et de la solidité de la mousse sont assurés par l'utilisation des réactifs de flottation.

Les réactifs de flottation sont des matières chimiques introduites dans la pulpe pour pouvoir créer la flottation sélective des minéraux. Ils se divisent en deux classes :

- Première classe : Les réactifs de flottation agissent sur la surface des minéraux ; en dépendance de leur fonction, ces réactifs se divisent en groupes :
- ✓ Collecteurs : Ce sont des substances organiques. L'action des collecteurs consiste à diminuer la mouillabilité des surfaces des minéraux par la formation sur leur surface, des pellicules hydrophobes qui contribuent à une meilleure adhérence des particules aux bulles d'air.

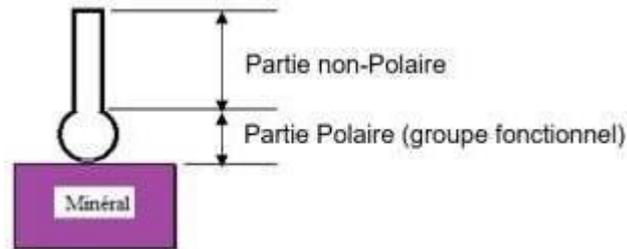


Figure 12 : Schématisation de l'adsorption de collecteur

- ✓ Les déprimants (déprimeurs). Ces réactifs sont utilisés afin de diminuer la flottabilité des minéraux de la roche stérile ou de diminuer la flottabilité des minéraux qui doivent passer en produits de cellule. Les déprimants empêchent la fixation des collecteurs sur la surface des minéraux.

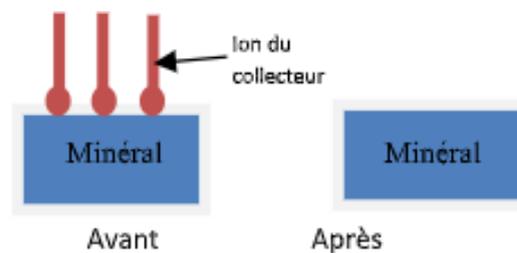


Figure 13 : Schématisation de l'effet de déprimant

- ✓ Activants : Ils contribuent à la fixation des collecteurs sur la surface des minéraux.
- ✓ Régulateurs de milieu : Ils sont utilisés afin de créer les conditions favorables lors de la flottation. Leur destination principale est le réglage de la composition des ions dans la pulpe. Les régulateurs exercent une influence sur les procédés d'action des collecteurs, des activants et des déprimants avec les minéraux.

- Deuxième classe : Les réactifs de flottation agissent sur la surface de séparation gaz-liquide. Ce sont les moussants ; ils contribuent à la dispersion de l'air qui est aspiré dans la cellule de flottation et il contribue à la formation d'une mousse stable et solide.

I.2.2. L'efficacité du procédé de flottation

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

- ✓ De la grosseur du minerai à flotter
- ✓ La densité de la pulpe
- ✓ De la gamme des réactifs de flottation utilisés et de leur ordre de charge dans la pulpe
- ✓ De l'intensité de l'aération et de l'agitation de la pulpe
- ✓ De l'intensité de décharge de la mousse
- ✓ De la température de la pulpe
- ✓ De la durée de la flottation
- ✓ Du schéma de flottation
- ✓ Du débit de la pulpe

I.3. Les machines de flottation

L'équipement utilisé dans la flottation doit fournir une interface d'air pour que les particules hydrophobes puissent se fixer. L'interface d'air est fournie sous la forme de bulles d'air introduites dans un réservoir contenant une pulpe, avec agitation pour créer un environnement permettant un contact maximal entre les particules et les bulles. Les équipements de flottation peuvent être divisés en plusieurs catégories en fonction de la méthode d'introduction de l'air dans la cellule. Il s'agit notamment de :

1. Mécanique (sous-aération)
2. Pneumatique
3. Sous vide
4. Électroflottation
5. Flottation à l'air dissous

Les deux premiers types de machines de flottation sont de loin les plus utilisés dans l'industrie. Le vide et à air dissous repose sur la précipitation de l'air dissous dans l'eau sur les particules hydrophobes. L'électroflottation implique l'électrolyse de l'eau en fines bulles d'hydrogène et d'oxygène.

I.3.1. Cellules de flottation mécaniques

Ces types de machines ou de cellules consistent en une région hautement turbulente produite par une roue à aubes, afin de fournir l'agitation nécessaire pour maintenir les particules en suspension, disperser les bulles d'air et provoquer le contact entre les particules et les bulles. En outre, la cellule doit contenir une zone de quiescence où les bulles lissées par les minéraux peuvent s'échapper. Zone de repos où les bulles chargées de minéraux peuvent remonter à la surface de la cellule sans que les particules ne soient perdues en raison de la turbulence perturbatrice. Un certain nombre de conceptions différentes de cellules ont été développées

pour répondre à ces besoins. L'élimination de l'écume de la cellule peut se faire soit par débordement non assisté, soit par raclage mécanique en utilisant des tampons. ou par raclage mécanique à l'aide de pales.

La flottation en continu ne peut pas être réalisée dans une seule cellule à cause des pertes dues au court-circuitage de la pulpe entre l'entrée et la sortie de la pulpe. Il est donc habituel d'utiliser 4-12 cellules en série. Cela augmente également le temps de séjour des particules dans les cellules, ce qui donne aux particules flottant lentement une chance de se reporter dans la couche de mousse. Les cellules en série peuvent être interconnectées avec un déversoir entre les cellules, un déflecteur partiel ou aucun déflecteur. Lorsqu'il n'y a pas de déflecteur, on parle de d'auge ou de machine à écoulement libre. Dans le cas des cellules à déflecteur partiel ou sans déflecteur, un court-circuit des cellules peut se produire.

Ces machines à écoulement libre ont été développées pour traiter des tonnages plus importants dans les circuits de flottation en vrac.

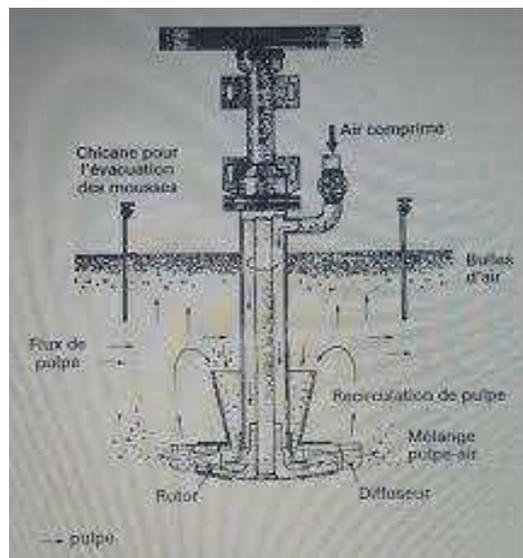


Figure 14 Schéma d'une cellule de flottation mécanique

I.3.2. Cellules de flottation pneumatiques

Dans ces types de cellules, la pâte et l'air sont injectés dans la cellule par une buse afin de produire un contact intime entre l'air et les particules. Le jet d'air est utilisé non seulement pour assurer l'aération mais aussi pour suspendre les particules et assurer la circulation. Cela signifie généralement qu'une quantité excessive d'air doit être utilisée, ce qui explique que ces types de machines ne sont pas aussi courants que les cellules mécaniques dans les usines. Des exemples de cellules pneumatiques sont la cellule Davcra, la cellule Column et la cellule Jameson.

La flottation par colonne est une cellule pneumatique qui utilise une haute colonne de pâte plutôt qu'une cellule traditionnelle. L'air est introduit au bas de la colonne et l'alimentation est introduite à contre-courant en haut de la colonne près du sommet. Dans la flottation par colonne, l'agitation des bulles d'air n'est pas suffisante pour maintenir les grandes particules en suspension, de sorte que les temps de séjour sont courts par rapport à une batterie de cellules de flottation mécaniques. Développé à l'origine au Canada dans les années 1960 en tant que

cellules de nettoyage, Ce type de cellule est devenu courant dans le circuit de flottation des nouvelles usines, en tant que cellules de dégrossissage et de nettoyage d'un diamètre allant jusqu'à 4 ou 5 m.

La majorité des cellules de flottation utilisées sont de type mécanique. Le choix de la cellule de flottation à utiliser dépend à la fois des performances métallurgiques et des préférences personnelles.

I.3.3. Colonne de flottation

La colonne de flottation est constituée d'un tube d'une hauteur plus grande que l'aire de sa surface transversale. Il n'y a pas de partie mobile à l'intérieur de la colonne. On distingue deux zones différentes : la zone d'écume et la zone de collecte. Ces deux zones sont séparées par une interface pulpe-écume qui détermine la longueur de chacune d'elles. Cet appareil travaille à contre-courant : la pulpe est introduite aux deux tiers environ de la hauteur de l'appareil. L'air est injecté au bas de la colonne est injecté par le générateur de bulles, celles-ci cheminent à contre-courant de la pulpe. A la partie supérieure, une aspersion d'eau assure le lavage des mousses recueillies.

La colonne de flottation industrielle est généralement de forme cylindrique (diamètre de 0.5 à 3m) ou rectangulaire (jusqu'à 4 x 20cm) ayant une hauteur variant entre 9 et 15 mètres. Son contenu d'air varie de 10 à 25% pour la zone de collecte et supérieur à 60% pour la zone d'écume.

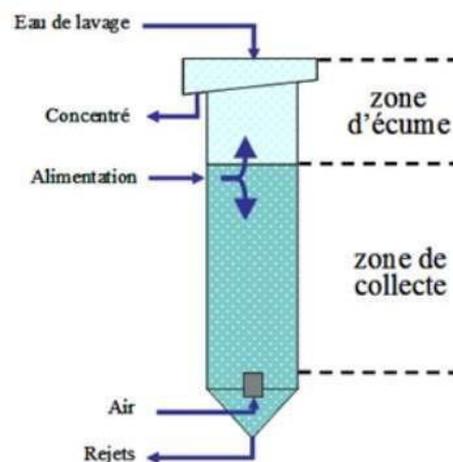


Figure 15 : Schéma d'une colonne de flottation

I.4. Impact des réactifs sur l'environnement

Les activités minières ont généré une pollution inorganique et organique des sols environnants, causant de graves problèmes dans de nombreuses régions du monde . Selon le bulletin d'enquête de 2014 sur l'état de la pollution des sols en Chine, plus de 33,4% des sols des zones minières étaient surcontaminés. Néanmoins, la demande de minéraux a augmenté très rapidement en raison du développement rapide de l'économie moderne non seulement dans le monde mais aussi en Chine, avec l'expansion de l'exploitation des minerais, le minerai maigre est devenu la principale source de minéraux pour l'exploitation minière en Chine (Pearse,2005

; Reyes-Bozo et al., 2014). Le minerai maigre nécessite de grandes quantités de réactifs de flottation organiques pour extraire les métaux ciblés (Zhu et al., 2018). Sous les limites actuelles de la technologie de traitement des minerais, de grandes quantités de réactifs de flottation et de métaux lourds sont libérés dans les résidus, ce qui entraîne une pollution combinée à long terme du milieu environnant (Araujo et al., 2010 ; Lin et al., 2016).

L'effet des polluants, tant organiques que métalliques, sur les microorganismes a été démontré dans divers écosystèmes tels que les sédiments marins (Bordenave et al., 2008), les résidus miniers, des rivières (Yao et al., 2017) et les sols. Le sol possède d'importantes fonctions écologiques impliquées dans les cycles biogéochimiques, principalement assurées par les microorganismes (Coppolecchia et al., 2011). Des études ont indiqué que les microbes du sol peuvent répondre rapidement à la contamination du sol par l'activité microbienne et qu'ils sont plus sensibles aux contaminants que les plantes ou les animaux poussant dans le même sol (Zhu et al., 2018).

La microbienne du sol et les activités enzymatiques ont été considérées comme des biomarqueurs de la qualité du sol (Brookes, 1995). Par conséquent, les enzymes microbiennes du sol sont fréquemment utilisées pour déterminer l'influence de divers polluants (métaux lourds, pesticides, produits chimiques industriels, etc.) comme indicateur de la qualité du sol (Guo et al., 2016). Des études récentes ont indiqué que les agents de flottation ont un impact inhibiteur significatif sur l'activité microbienne du sol et l'activité enzymatique. Afin de mieux comprendre et de décrire pleinement le statut microbien du sol, la microcalorimétrie fournit une méthode très sensible et précise permettant un suivi en temps réel, continu, qualitatif et quantitatif des activités du système de vie *in situ* (Wang et al., 2010). Dans l'étude précédente, il a été confirmé que le taux de croissance (k) déterminée par microcalorimétrie était appropriée pour rendre compte l'activité microbienne dans les sols pollués. La concentration totale de métaux lourds ne fournit qu'une indication du risque de contamination car la toxicité des métaux lourds dépend de leur biodisponibilité dans le sol (Gorovtsov et al., 2018). Par conséquent, la répartition des métaux dans les fractions du sol est nécessaire pour déterminer le risque environnemental. En effet, l'analyse des changements de la mobilité des métaux et de l'activité microbienne du sol peut être utile pour mieux comprendre le mécanisme d'interaction entre les microorganismes et les polluants. Le xanthate est la classe la plus importante de produits chimiques de flottation utilisés dans la flottation des minerais de métaux non ferreux. Parmi eux, le BX est un réactif de flottation organique typique et largement utilisé, qui est utilisé depuis longtemps dans le traitement par flottation des minerais de nickel, de cuivre et de plomb. En outre, le taux de dépassement des normes de Ni dans le sol a atteint 4,8 %, se classant au deuxième rang parmi tous les métaux lourds en Chine (MEP, 2014). Les réactifs de flottation forment des complexes avec les métaux lourds, qui affectent leur migration et leur transformation. L'interaction avec les métaux lourds inhibe également la dégradation des réactifs de flottation qui prolonge leur temps de séjour dans l'environnement (Jiang et al., 2016). Il a été démontré que les réactifs de flottation courants tels que le diéthylthiocarbamate de sodium modifient la biodisponibilité de l'antimoine affectant alors l'activité microbienne.

En somme, le but de cette étude était d'évaluer l'effet du BX sur la biodisponibilité du Ni et ses conséquences sur la communauté microbienne du sol par la microcalorimétrie et mesures de l'activité enzymatique du sol. Les effets toxiques de la pollution simple et combinée de BX et de Ni sur l'activité microbienne du sol ont été étudiés afin de fournir de nouvelles informations pour la gestion des microorganismes pendant la remédiation des sites pollués dans les zones d'extraction de métaux non ferreux.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation de la zone de notre étude et qui comprend la géologie et l'hydrogéologie, les différentes structures et installations ainsi que les caractéristiques physiques de la zone. Aussi toutes les étapes nous permettant l'obtention d'un produit marchand (concentré) ont été développées.

II.1. Localisation géographique

La mine de Kharzet Youcef est située à l'Est de l'Algérie, à 5km au Nord-Ouest de la ville d'Ain Azel, à environ 50 km Sud-Est de la ville de Sétif et de 60 KM Nord-Ouest de la ville de Batna. A côté de la mine Kharzet Youcef sont situées une laverie et une digue de stockage des résidus de traitement. Cette digue occupe une surface de 07 hectares (ENOF, 2011), recueillant depuis 1979, les résidus de traitement du minerai de Kharzet Youcef et depuis 1994, les résidus du traitement du minerai de Chaabet El Hamra.



figure II 1 : Géolocalisation de la mine de Kharzet Youcef [10]



figure II 2 : Géolocalisation de la mine de Chaabet el Hamra[10]

La localisation de lieu se fait soit à partir des coordonnées de système géographique (Latitude et longitude), ou de système Cartésien UTM (Universal Transverse Mercator).

Les coordonnées sont reportées dans le tableau ci-après

| Coordonnées | Latitude | Longitude | X (UTM) | Y (UTM) |
|------------------|--------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| Le site | | | | |
| Kharzet Youcef | 35°49'54.5"N | 5°27'17.3"E | 718 000 à 722 000 | 3 968 900 à 3 966 500 |
| Chaabet el Hamra | 35°47'13.1"N | 5°30'50.3"E | 726 902 à 728 505 | 3 962 567 à 3 963 212 |

Tableau II 1 : Coordonnées de la Géo-location de la mine de Kharzet Youcef et Chaabet el Hamra

II.2. Géologie de la région

Le gisement est stratiforme, à structure monoclinale, qui se localise dans les formations sédimentaires du Barremien et est associé à une série de dolomies de plates-formes subsidentes et instables. Cette série comprend des bancs de dolomies et des intervalles de dolomies marneuses, de marnes et de laminites.

La géologie locale est caractérisée par la présence d'une grande faille normale, de direction N-S à pendage 65 à 85°, limitant le gisement à l'Est et portant le nom de « faille de Kharzet Youcef ». Le flanc Est de cette faille s'enfonce à une profondeur qui atteint les 700m et est recouvert par des formations terrigènes du tertiaire et du quaternaire.

Les dalles tyriennes du Sud Sétif forment un ensemble structural cohérent. Certaines unités, telles que la nappe Djemila et la nappe Bibanique, Les unités telliennes ont des dimensions jusqu'alors insoupçonnées. Cela mène à repenser la portée des processus tectoniques continus à de nouvelles échelles conduit à leur établissement (Vera, 1980).

Deux phases principales de tectonique tangentielle, séparées par un cycle Erosion selon la structure analysée :

- Une phase piabonienne, à l'origine des premiers charriages.
- Étage Miocène (Tortonien), situé à l'origine du cisaillement des structures précédemment contactées et se déplaçant principalement vers le sud.

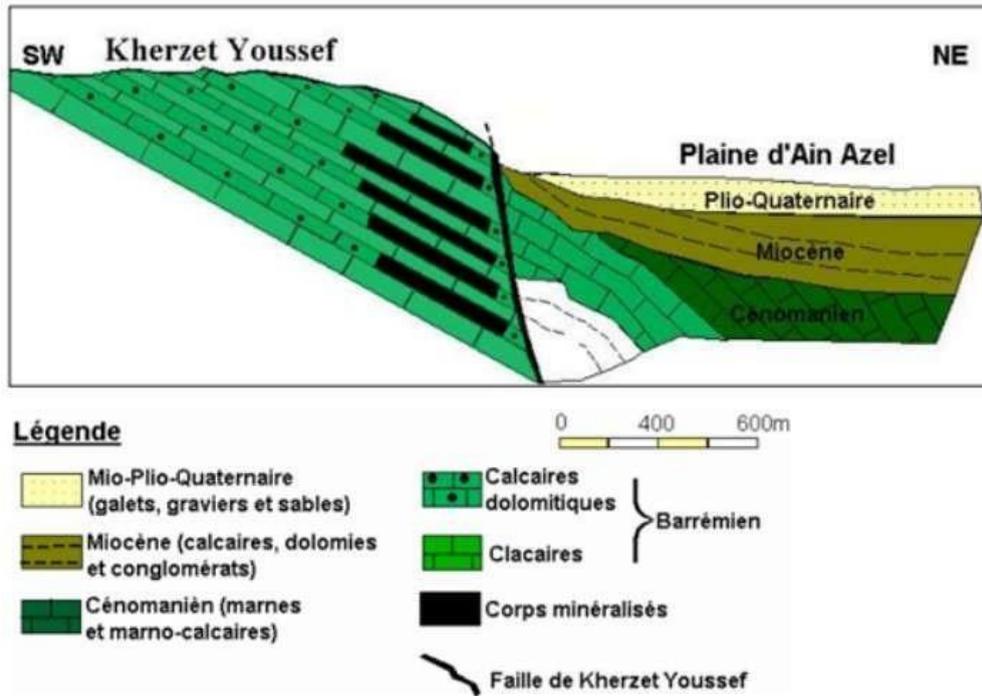


figure II 3 : Schéma de la coupe géologique de Kharzet Youcef

Le gisement de Kharzet Youcef comprend une vingtaine de couches minéralisées à des intensités variables dont sept sont exploitables et le reste est en dessous des limites d'exploitabilité.

Les morphologies prédominantes sont des amas lamellaires plus ou moins allongés dans la direction NNE, et ils varient en largeur de 60 à 150 m. L'amas minéralisé peut atteindre 3m d'épaisseur. Il est à noter que l'intérieur du gisement n'est affecté par aucune tectonique, seules des déformations souples s'observent au niveau du mur de la faille.

La série métallifère qui correspond à l'ensemble médian du Barrémien, constitué par une alternance rapide de dépôts qui varient entre un pôle carbonaté, repose sur une série d'alternance de marnes, de calcaires, d'argiles et de grès à intercalation de dolomies. Elle se termine par une quarantaine de calcimicrites argileux à intercalations régulières de marnes, à fragments de grands Lamellibranches et quelques bancs de calcisparites grises massives.

II.3. Lithostratigraphie

La région est située dans la zone représentée par un groupement Maillons de chaîne dont certains dépassent 1500 mètres de haut (Djebel Boutaleb 1886), ces liaisons formaient une barrière topographique et climatique Nord algérien et Sahara.

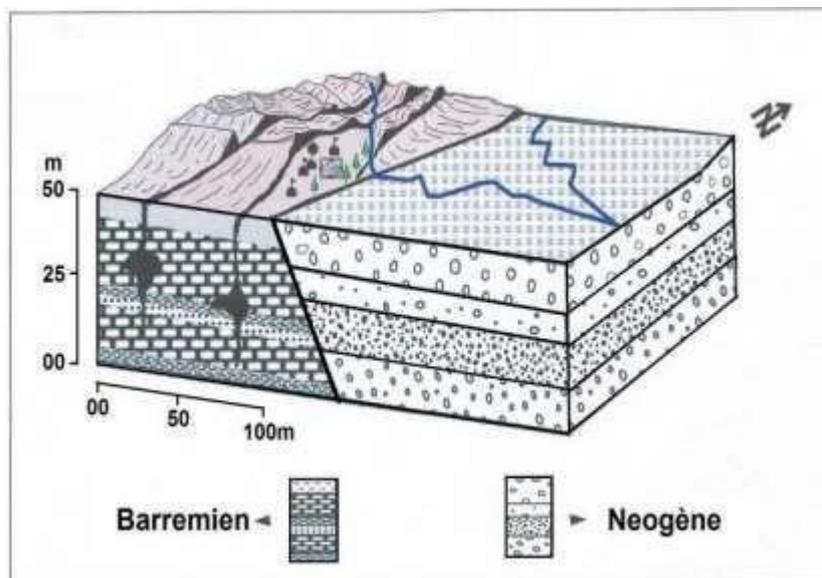


figure II 4 : Bloc diagramme de gisement de Kharzet youcef [6]

II.4. Traitement du tout-venant au niveau de l'usine

Le traitement du minerai de la mine de Kharzet Youcef se fait au niveau de la laverie appartenant au complexe minier de Kharzet Youcef qui est parmi les plus grandes réalisations algériennes du domaine minier et cela parce qu'elle présente presque la totalité des méthodes d'enrichissement.

Cette usine a été conçue initialement pour le traitement du minerai plombo-zincifère de la mine de Kharzet Youcef, Mais après l'inondation survenu au niveau de la mine, l'usine de traitement a observé un arrêt de plusieurs années et sa réouverture n'a été possible que suite à l'exploitation du Minerai de zinc de la mine de Chaabet El Hamra.

Le traitement du minerai plomb-zinc se fait à travers 3 étapes principales :

II.4.1. Le concassage

Cette étape concerne le minerai avec une granulométrie inférieure à 15mm, une étape durant laquelle le minerai subit des opérations de lavage, criblage, broyage et classification avec une cadence avoisinant les 15 tonnes/heure Le premier broyeur de cette étape est un broyeur à boulets placé en circuit fermé avec un classificateur à spirale. Dans le but d'augmenter la réduction des sables du classificateur, un deuxième petit broyeur fonctionne en série avec le premier.

II.4.2. Flottation et Filtration

Les concentrés de flottation sont extraits à partir des circuits suivants :

- Flottation principale ou dégrossissage de Zinc ;
- Flottation de contrôle ou épuisage du Zinc ;
- Trois stades de flottation de relavage du concentré de Zinc.

Il est à noter que le pré-concentré du premier relavage et les produits de mousse de l'épuisage sont renvoyés en tête du dégrossissage, tandis que les produits non flottés de l'épuisage sont dirigés vers la digue à stériles. Les mousses du 3ème relavage, qui constituent le concentré de Zinc, sont décantées dans un épaisseur avant de passer à travers des filtres rotatifs à vide pour être stockées sous forme de produit marchand à l'air libre.

Chapitre III

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III : PARTIE EXPERIMENTALE

III.1. Echantillonnage

III.1.1. Prélèvement des échantillons au niveau du site de Chaabet El Hamra

L'échantillonnage est une étape nécessaire pour les besoins de notre travail expérimental et les différentes caractérisations. Il permet de réduire la fraction d'un lot ainsi que la procédure de prélèvement de manière à assurer la représentativité. On a prélevé deux échantillons, le premier est représenté sur la figure III 1 , et le deuxième sur la figure III 2.



figure III 1 : Lieu de prélèvement de premier échantillon [10]



figure III 2 :Lieu de prélèvement de premier échantillon [10]

III.1.2. Préparation des échantillons (Traitement mécanique)

Opération au niveau de laboratoire

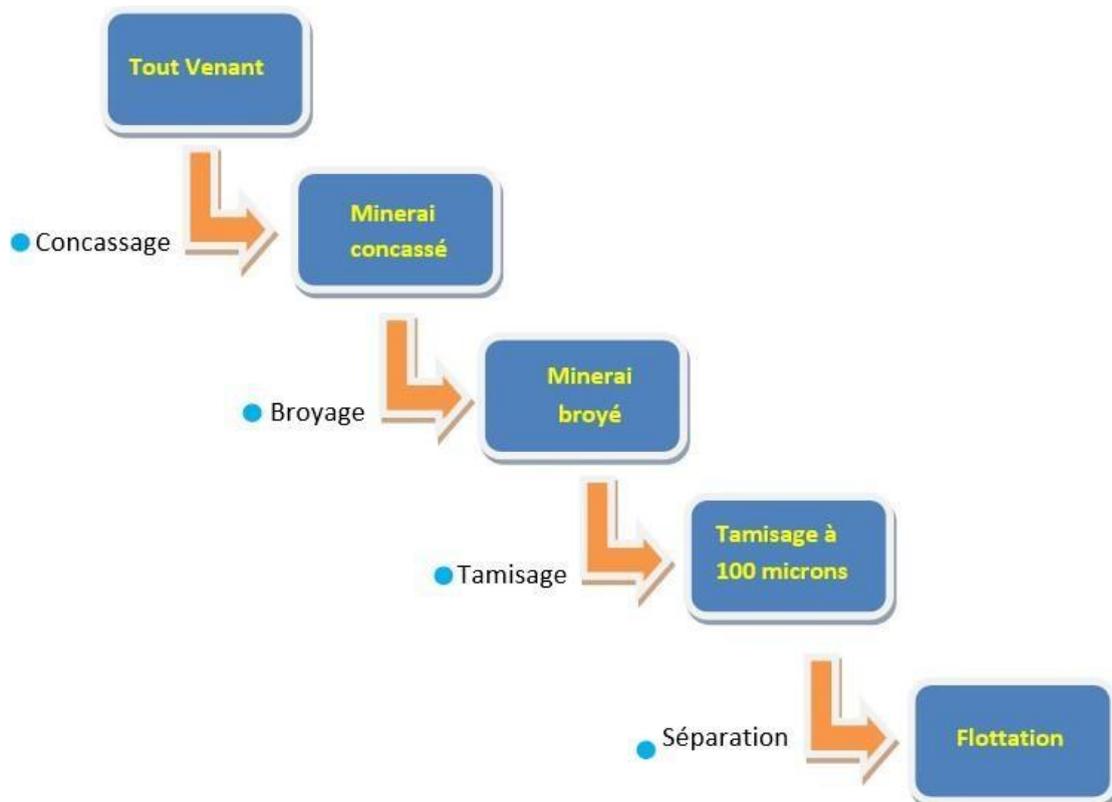


figure III 3 : Processus de la préparation mécanique de l'échantillon pour les besoins de la séparation par flottation

Les échantillons utilisés dans le cadre de cette étude ont été collectés aux alentours de la mine de Chaabet El Hamra, où ils sont stockés, en attendant leur cheminement vers l'usine de traitement située au niveau du site de Kherzet Youcef. Les blocs collectés ont des dimensions allant jusqu'à vingt-cinq centimètres (250 mm).

Au niveau du laboratoire de Minéralurgie du département de Génie Minier, ces échantillons ont subi une préparation mécanique, nous permettant d'obtenir un tout venant de dimension souhaitée pour la séparation par flottation, en respectant la procédure suivante :

III.1.2.1. Concassage primaire

Pour cette opération, nous avons utilisé le concasseur à mâchoires semi industriel (la dimension d'entrée 30 cm et de sortie 5 cm), pour obtenir un produit concassé de 5 cm.



figure III 4 :Concasseur à mâchoire

III.1.2.2. Concassage secondaire

Pour ce deuxième stage de concassage, nous avons pu réduire la taille du produit jusqu'à 1mm, en utilisant le concasseur giratoire du laboratoire de Génie Minier.



figure III 5 : Concasseur giratoire

III.1.2.3. Broyage

Le produit concassé a finalement subi un broyage fin de quelques centaines de microns, en utilisant un broyeur à boulet (2k de minerai 6k des boules), appartement au laboratoire de Minéralurgie



figure III 6 : Broyeur à boulet de laboratoire

III.1.2.4. Tamisage

Le produit broyé a été tamisé, en utilisant la tamiseuse du laboratoire avec un tamis de cent microns. Le refus du tamisage est rebroyé plusieurs fois, jusqu'à l'obtention de la fraction inférieure à cent microns



figure III 7: Tamiseuse de marque Retsch modèle AS 200

III.2. Matériels et Méthodes Utilisées

III.2.1. Diffraction par rayon X

La diffraction par rayons X (XRD) est une technique non destructive puissante pour caractériser les matériaux cristallins. Elle fournit des informations sur structures, les phases, les orientations cristallines préférées (texture) et d'autres paramètres structuraux, tels que la taille moyenne des grains, la cristallinité, la déformation et les défauts cristallins. Les pics de diffraction des rayons X sont produits par l'interférence constructive d'un faisceau monochromatique de rayons X diffusé à des angles spécifiques à partir de chaque ensemble de plans du réseau dans un échantillon. L'intensité des pics est déterminée par la distribution des atomes dans le réseau. Par conséquent, le diagramme de diffraction des rayons X est l'empreinte des arrangements atomiques périodiques dans un matériau donné.

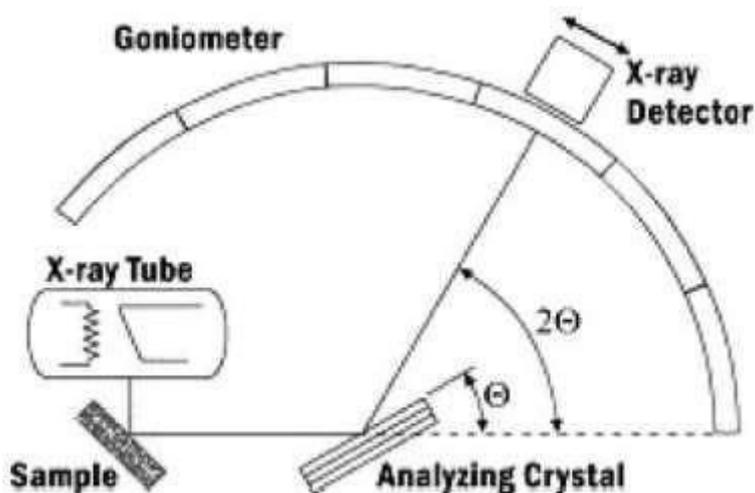


figure III 8 : Diagramme schématique d'un système de diffraction [7]

L'analyse des poudres par XRD exige qu'elles soient extrêmement fines afin d'obtenir un bon rapport signal-bruit (et éviter la fluctuation de l'intensité), éviter les taches, et minimiser l'orientation préférentielle. La réduction des poudres en fines garantit également une participation suffisante des particules au processus de diffraction. La gamme de taille recommandée est d'environ 1-5 μm , en particulier si la quantification des différentes phases est souhaitée[7].

III.2.2. Fluorescence X

La fluorescence X est un outil puissant et bien établi pour l'analyse élémentaire non destructive de pratiquement tous les matériaux. Elle est largement utilisée dans les domaines de l'environnement, de l'industrie, de la pharmacie médico-légales et de la recherche scientifique pour déterminer la présence ou l'absence et, dans certains cas, pour mesurer la concentration de constituants élémentaires ou de contaminants.

Les atomes fluorescents peuvent être excités par des électrons énergétiques, des ions ou des photons. Les rayons X fluorescents sont en général mesurés par deux types de systèmes de détection : la détection dispersive en longueur d'onde (WDXRF) et la détection dispersive en énergie (EDXRF). Dans le premier cas, les rayons X fluorescents sont diffractés à partir d'un cristal unique ou d'une optique multicouche pour sélectionner une gamme de longueurs d'onde (ou d'énergie des rayons X) particulière et souvent très étroite, qui correspond souvent à des caractéristiques de l'échantillon. Cela permet d'obtenir une grande spécificité élémentaire élevée et, en raison du rapport signal/fond élevé, une sensibilité souvent élevée[8].

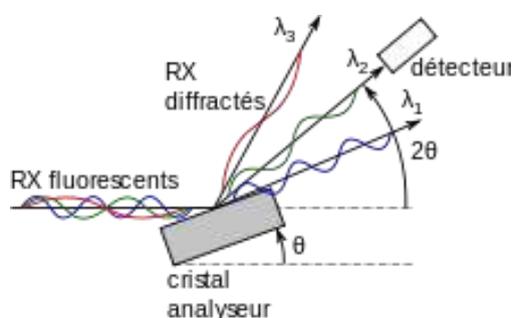


figure III 9 : Diagramme schématique d'un système Fluorescence X [8]

III.3. Flottation

La machine de flottation utilisée est une machine mécanique de type Denver modèle D12, qui peut accueillir jusqu'à 375g de tout-venant broyé. Ainsi on utilise différents Réactifs pour un meilleur processus de séparation.

III.3.1. Mode opératoire

Pour l'optimisation des paramètres de la flottation nous avons retenu une classe granulométrique inférieure à 100 μm , nous avons fixé le pH à 11

III.3.2. Le matériel utilisé

1. Une machine de flottation de la marque Denver modèle D12.
2. Une cellule conventionnelle de capacité de 1000 ml.
3. Racleur.
4. Bac de récupération.
5. Bécher.
6. pH mètre.
7. Pipette.

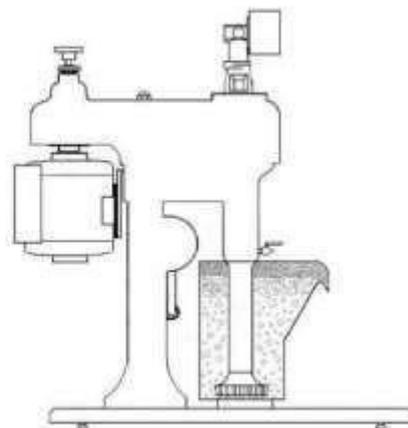


figure III 10 : Machine de Flottation Mécanique DENVER

III.3.3. Réactif chimique et écologique utilisés

III.3.3.1. Protocole d'extraction de l'huile de caroube

Extraction de la matière organique : Au niveau de laboratoire C.R.D Boumerdes

Le but de cette technique est d'extraire la matière organique présente dans un échantillon à l'aide d'un solvant volatil. Cette opération est généralement pratiquée sur les échantillons de carotte ou de cuttings.

- Dans un premier temps, à l'aide d'une brosse on élimine ou on enlève les poussières accumulées sur les parois de notre échantillon à l'état brute.
- L'échantillon est ensuite broyé finement, lavé au dichlorométhane pour éliminer toute trace de contamination.
- Après séchage à l'air libre suivi d'un broyage, on pèse une certaine quantité broyée que l'on met dans une cartouche en cellulose (Durieux) portant le nom du puits et de la cote de l'échantillon.
- On introduit la cartouche dans un « soxhlet » que l'on place entre un réfrigérant ou circule de l'eau et un ballon en verre rempli au $\frac{3}{4}$ de dichlorométhane qui sert de solvant. Al'aide d'un chauffe ballon porté à une température adéquate, l'extraction de la matière organique s'effectue par dissolution dans le dichlorométhane.
- La durée de l'extraction est en moyenne de 72 heures. L'extraction est terminée lorsque le dichlorométhane devient incolore dans le soxhlet. La matière organique est récupérée par évaporation au « ROTAVAPOR » dans une fiole jaugée à 10CC. Le poids de la matière organique est alors déterminé après élimination de toutes traces du solvant.



figure III 11 : Extracteur de la matière Organique Soxhelt

Récupérer les différentes fractions d'hydrocarbures (saturés et aromatiques) de la matière organique. Dans cette technique, la colonne de verre est remplie au 2/3 de gel de silice et 1/3 de gel d'alumine préalablement activés à 120 °C. L'échantillon dilué est versé en tête de la colonne pour la séparation et la récupération des différentes fractions suivantes :

- La fraction saturée, éluee par le n-Hexane.
- La fraction aromatique légère, éluee par un mélange de 75 % de n-Hexane et 25 % de DCM.
- La fraction résine, éluee par un mélange de 95 % de DCM et 5 % de méthanol.



figure III 12 Fraction saturée de l'huile de caroube

III.3.3.2. Protocole grains de caroube : Au niveau de laboratoire Génie Minier E.N.P

Notre plante sèche (Figure III 2.2.3) est à l'état brute, Elle est composée essentiellement d'une mélasse à l'intérieur, et des grains noirs, Ce qui nous intéresse nous c'est ce qu'il y'a à l'intérieur de ces grains, Mais puisque ces derniers sont durs et difficile à éplucher, un protocole à suivre est nécessaire :

- Faire chauffer l'eau à 100°C.
- Mettre les grains dans l'eau chauffée.
- Attendre jusqu'à une heure ou jusqu'où les grains deviennent tendres.
- On laisse sécher les grains jusqu'à leurs déshydratation.
- On épluche nos grains.
- Après obtention de la gomme, On fait sécher nos échantillons dans un four à 80° pendant 24h, ensuite se fait le passage au broyage pour qu'à la fin avoir notre gomme broyée et tamisée à 80µm.
- On dilue notre produit obtenue avec l'eau distillé, on obtient une solution de 10% de concentration.



figure III 14 Plante de Caroube

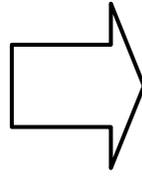


Figure III 13 . Les Grains de Caroube

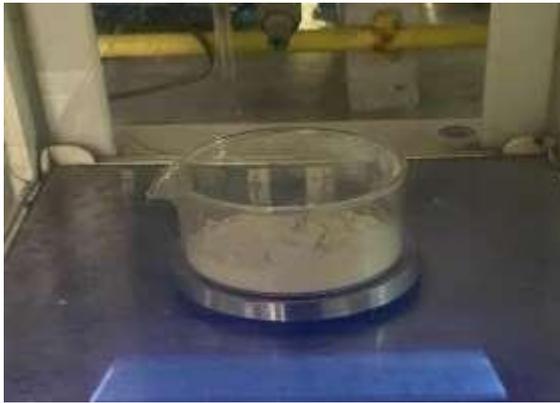
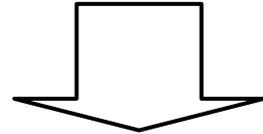


figure III 15 grains de Caroube en poudre

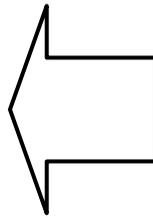


Figure III 16: Grains de caroube épluchés



figure III 17 Solution de grains de caroube

III.3.3.3. Les autres Réactifs utilisés

| Réactifs Utilisés | Description |
|--------------------------------|--|
| Xanthate (Collecteur) | C'est un Composé hétérocyclique de formule C ₁₃ H ₁₀ O dont le squelette est présent dans de nombreux colorants naturels et synthétiques. |
| Silicate de sodium (Déprimant) | Le silicate de sodium est une substance chimique de formule moléculaire Na ₂ SiO ₃ , inodore et facilement soluble dans l'eau. C'est une base forte qui forme des solutions très alcalines et qui est corrosive pour la peau et les muqueuses. |
| Silicate de cuivre (Activant) | Un minéral vert émeraude composé de silicate de cuivre hydraté, associé à des gisements de cuivre. |
| Chaux (Régulateur de milieux) | La chaux est un produit chimique inorganique, l'oxyde de calcium, avec la formule structurale CaO. C'est une espèce minérale naturelle rare, d'ordre cubique. |
| L'huile de pin (Moussant) | L'huile de pin est une huile essentielle obtenue par distillation à la vapeur de diverses espèces de pins, en particulier les souches, les aiguilles, les brindilles et les cônes de Pinus sylvestris. |

III.4. Les essais de flottation

III.4.1. Première phase : (Flottation de premier échantillon)

Dans cette phase on a utilisé le premier minerai pour la flottation en utilisant déprimant chimique, ainsi on a pu varier la dose de notre collecteur pour avoir la dose optimale, ensuite en utilisant cette dose optimale, on a conclu notre première phase avec les essais de déprimant écologique, en variant les valeurs de sa dose.

III.4.1.1. Déprimant chimique

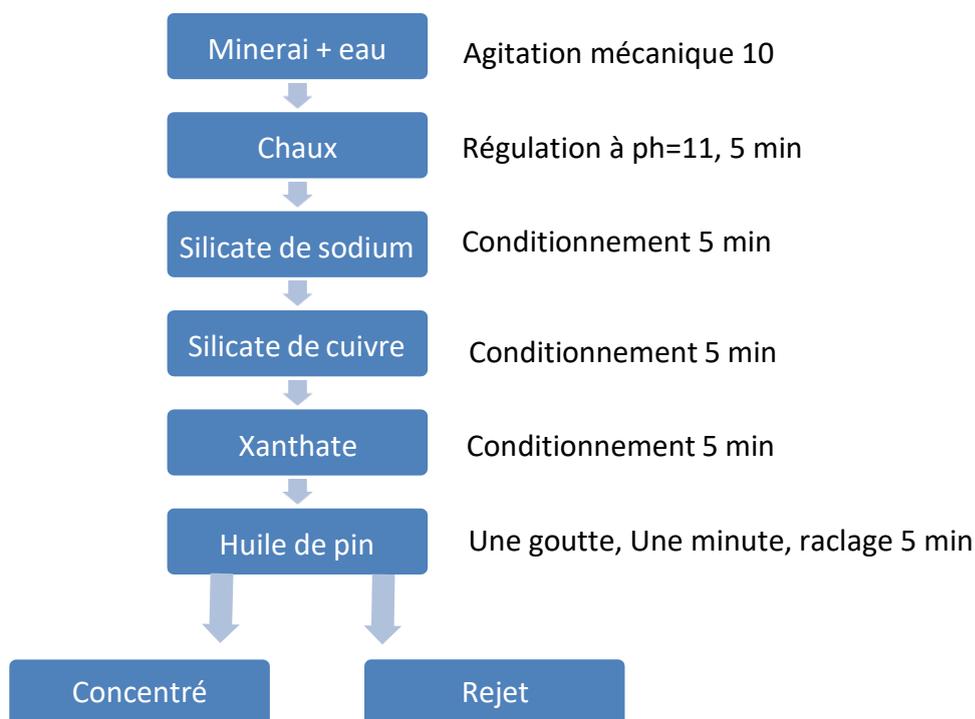


figure III 18 : Protocole de flottation par déprimant chimique

Paramètres variées

| Essai/Réactif | Dose de Collecteur | Dose de déprimant |
|--|--------------------|-------------------|
| Essai n° 1 | 100 g/t | 100 g/t |
| Essai n° 2 | 100 g/t | 50 g/t |
| Essai n° 3 | 200 g/t | 50 g/t |
| Essai n° 4 | 300 g/t | 50 g/t |
| Essai n° 5 | 400 g/t | 50 g/t |
| Essai n° 6 | 600 g/t | 50 g/t |
| Essai n° 7 | 800 g/t | 50 g/t |
| Nb : la Dose de l'activant est fixée à 300 g/t | | |

Tableau III 1 Variation de la dose des collecteurs

III – 4.1.2. Déprimant écologique

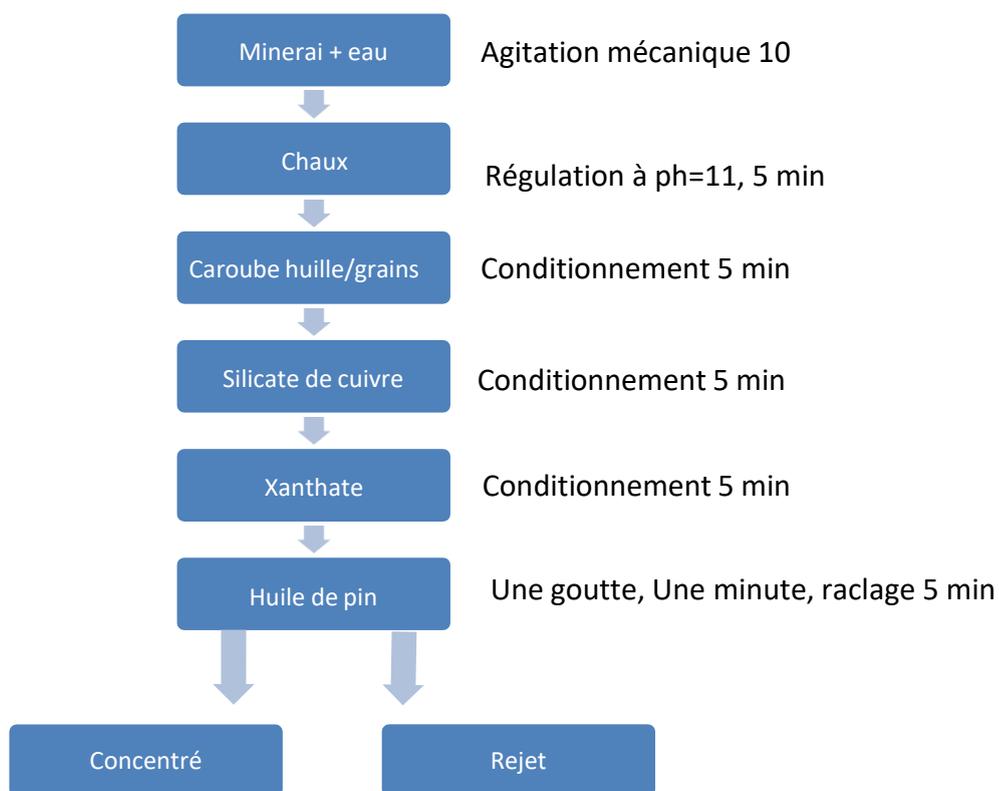


figure III 19 : Protocole de flottation par déprimant écologique

Paramètres Variées

Caroube huile

| Essai/Réactif | Dose de collecteur | Dose de déprimant |
|---------------|--------------------|-------------------|
| Essai n°1 | 400 g/t | 3 gouttes |
| Essai n°2 | 400 g/t | 5 gouttes |

Tableau III 2 : Variation de la dose de déprimant caroube huile pour l'échantillon n°1

Solution des Grains de caroube :

| Essai/Réactif | Dose de collecteur | Dose de déprimant |
|---------------|--------------------|-------------------|
| Essai n°1 | 400 g/t | 500 g/t |
| Essai n°2 | 400 g/t | 1000 g/t |

Tableau III 3 : Variation de la dose de déprimant grains de caroube pour l'échantillon n°2

Nb : l'activant Silicate de cuivre est fixé à 300g/t pour les cinq essais

III.4.2. deuxième phase : (Flottation de deuxième échantillon)

Avec l'utilisation de deuxième minéral, on a fait des essais avec le déprimant chimique ainsi le déprimant écologique, avec des variations sur le temps de conditionnement et la dose de déprimant.

III.4.2.1. Déprimant chimique

On a commencé d'abord un essai avec le déprimant chimique silicate de sodium :

| Essai/dose | Dose de déprimant |
|--|-------------------|
| Essai n°1 | 50 g/t |
| Nb : la dose de collecteur et l'activant est fixée à 300 g/t | |

Tableau III 4 : Essai avec le déprimant chimique pour l'échantillon n°2

III-4.2.2. Déprimant écologique

Les paramètres variées dans cette phase est la dose de déprimant écologique et le temps de conditionnement après l'ajout de ce réactif.

Paramètres variées

III.4.2.1. Grains de caroube diluée

Tableau III 5 : Variation de la dose du déprimant grains de caroube pour l'échantillon n°2

| Essais/Réactifs | Dose de déprimant | Temps de conditionnement |
|-----------------|-------------------|--------------------------|
| Essai n°1 | 500 g/t | 3 min |
| Essai n°2 | 500 g/t | 5 min |
| Essai n°3 | 500 g/t | 8 min |
| Essai n°4 | 300 g/t | 5 min |

Nb : La dose de collecteur est fixée à 300 g/t et l'activant à 300 g/t

III.4.2.2. Caroube huile

Tableau III 6 : Variation de la dose du déprimant huile de caroube pour l'échantillon n°2

| Essais/Réactifs | Dose de déprimant |
|-----------------|-------------------|
| Essai n°1 | 5 gouttes |
| Essai n°2 | 10 gouttes |

Nb : La dose de collecteur est fixée à 300 g/t comme l'activant

Chapitre IV

Interprétation et conclusion

Chapitre IV : Interprétation et conclusion

Introduction

Dans le chapitre présent, on va présenter tous les résultats des essais expérimentaux déjà fait précédemment et leurs interprétations avec l'ordre suivant :

- Les propriétés Chimiques, minéralogique.
- Les résultats des essais de séparation par flottation

IV.1. Première partie : Caractérisation chimique des deux échantillons de minerai

Savoir les composants chimiques des deux échantillons disponibles.

IV.1.1 Résultats par DRX

IV.1.1.1. Echantillon n°1

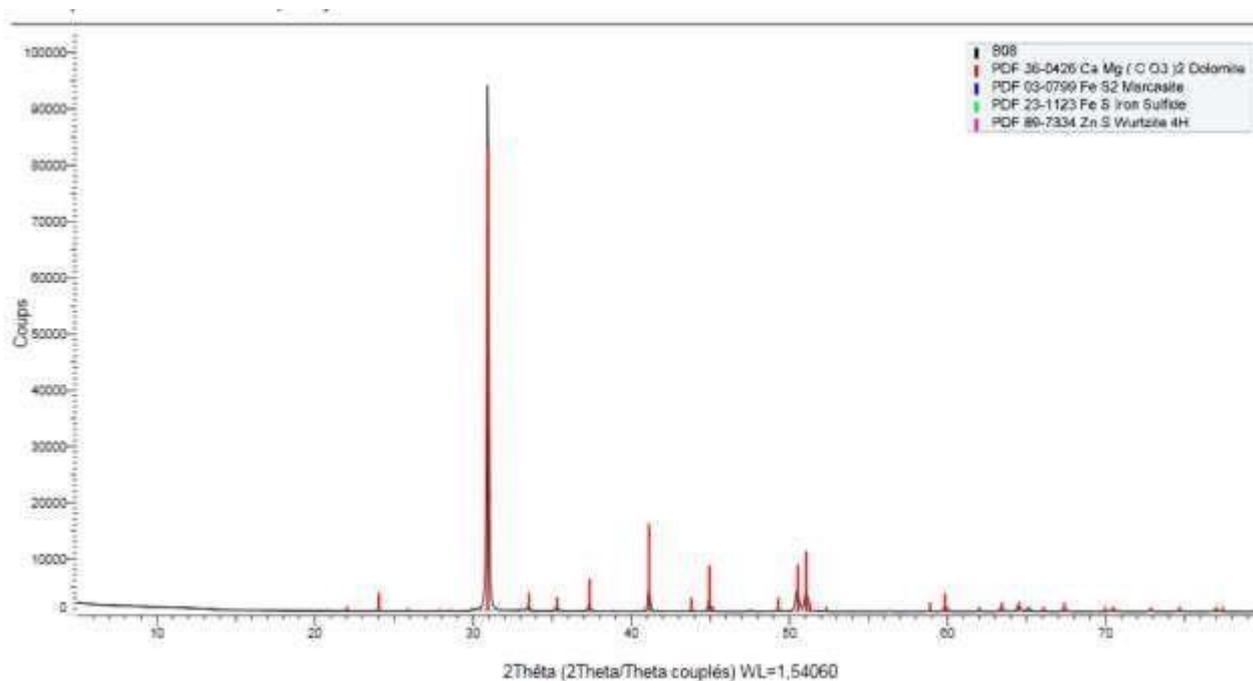


figure IV 1: Spectroscopie de la composition minéralogique de l'échantillon n°1

Interprétation des résultats

Les spectres de l'analyse DRX réalisés sur notre échantillon nous ont permis d'identifier la composition minéralogique des différentes phases cristallines, qui sont la dolomite, Marcasite, la pyrite et la wurtzite,

- La dolomite [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] est la phase cristalline qui présente la majeure partie de l'échantillon, on remarque presque tous les pics d'intensité de la dolomite.
- La wurtzite (ZnS) et le Marcasite (FeS_2), la pyrite (FeS) sont présents mais avec une petite quantité par rapport à la dolomite.

IV.1.1.2. Echantillon n°2

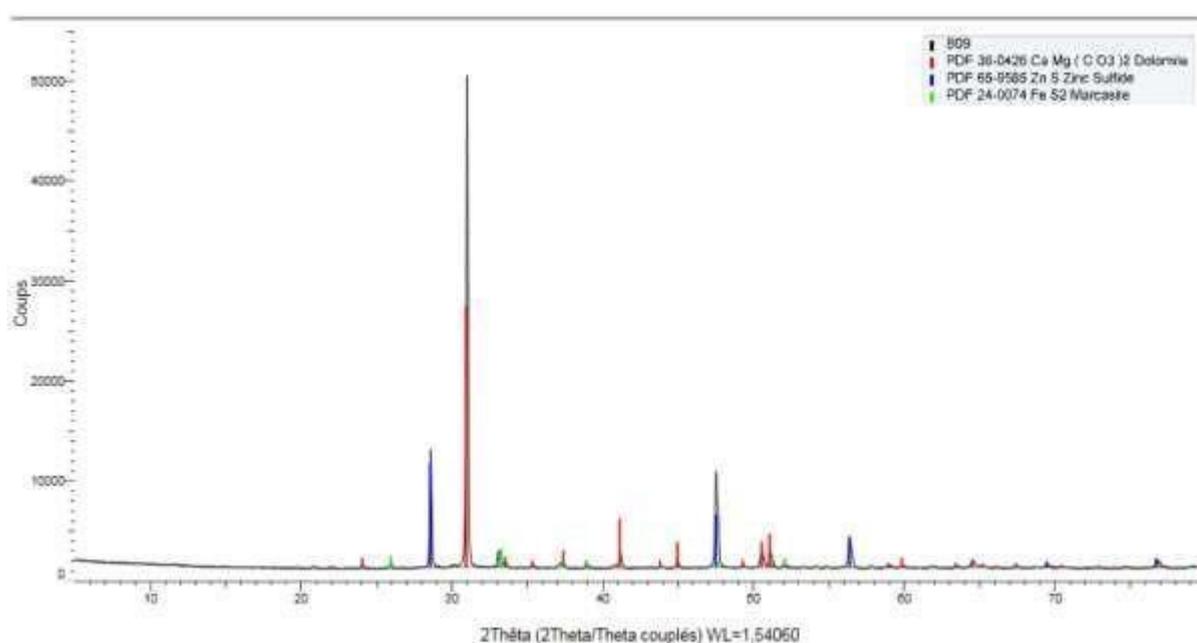


figure IV 2 : Spectroscopie de la composition minéralogique de l'échantillon n°2

Les spectres de l'analyse DRX réalisés sur notre échantillons nous ont permet d'identifier la composition minéralogique des différents phases cristallines, qui sont la dolomite, Marcasite, la pyrite et la wurtzite.

- La dolomite [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] c'est la phase cristalline qui présente la majeure partie de l'échantillon, on remarque presque tous les pics d'intensité de la dolomite.
- L'wurtzite (ZnS) est présent mais avec une quantité inférieure à celle de la dolomite, l'existence des pics de cette phase cristalline confirme la présence de zinc dans notre échantillon.
- et le Marcasite (FeS_2) est présent mais avec une petite quantité.

Dans les deux échantillons, il y'a une teneur considérable de sulfure de Zinc(ZnS), associé à d'autres minéraux sulfurés, à savoir la pyrite et la marcasite.

IV.1.2. Résultats par FRX

IV.1.2.1. Echantillon n°1

| N° | Elément | Résultats (% massique) |
|----|---------|------------------------|
| 1 | C | 16.6602 |
| 2 | Mg | 6.6817 |
| 3 | Al | 0.2902 |
| 4 | Si | 0.4369 |
| 5 | P | 0.0025 |
| 6 | S | 0.4043 |
| 7 | Cl | 0.0346 |
| 8 | K | 0.0985 |
| 9 | Ca | 6.4545 |
| 10 | Mn | 0.1048 |
| 11 | Fe | 2.9248 |
| 12 | Ni | 0.0065 |
| 13 | Zn | 9.3060 |
| 14 | Sr | 0.0086 |
| 15 | Ba | 0.1685 |
| 16 | Pb | 0.0617 |

Tableau IV 1 : FRX - Liste des éléments chimiques de l'échantillon n°1

Interprétation des résultats

Le tableau représente la composition chimique de notre échantillon par l'analyse à la fluorescence X qui nous a permis d'identifier les différents composants chimiques, qui sont :

- le Carbone (16.66% C) avec la teneur la plus élevée, qui est lié à la présence majoritaire de la dolomite $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$.
- le zinc (Zn 9.30%) avec la deuxième plus haute teneur, qui est lié à la haute présence de Wurtzite 4H (ZnS).
- Le magnésium (6.68% Mg) et le Calcium (6.45% Ca) avec une teneur considérable, relié à la présence de la dolomite aussi.
- Le fer (2.92% Fe) est aussi présent parmi les composants chimiques d'échantillon, qui est lié à la présence des sulfures de fer, à savoir la pyrite, (FeS) et la Marcasite (FeS₂)
- Il y'a aussi des éléments traces comme l'aluminium (Al), le manganèse (Mn), le silicium (Si) ...

IV.1.2.2. Echantillons n°2

| N° | Elément | Résultats (% massique) |
|----|---------|------------------------|
| 1 | C | 12.9184 |
| 2 | Mg | 4.2658 |
| 3 | Al | 0.1348 |
| 4 | Si | 0.2311 |
| 5 | S | 4.4567 |
| 6 | Cl | 0.0212 |
| 7 | K | 0.0331 |
| 8 | Ca | 7.4008 |
| 9 | Mn | 0.0426 |
| 10 | Fe | 5.5465 |
| 11 | Ni | 0.0057 |
| 12 | Zn | 11.8711 |
| 13 | Sr | 0.0037 |
| 14 | Zr | 0.0011 |
| 15 | Cd | 0.0539 |
| 16 | Pb | 0.4297 |

Tableau IV 2 :FRX - Liste des éléments chimiques de l'échantillon n°1

Interprétation des résultats

Le tableau présente la composition chimique de notre échantillon par l'analyse fluorescence X qui nous ont permet d'identifier les différents composants chimique, qui sont :

- le Carbone (12.91% C) avec la teneur la plus élevée, qui est lié à la présence majoritaire de la dolomite [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$].
- le zinc (11.87% Zn) avec la deuxième plus haute teneur, qui est lié à la haute présence de Wurtzite (ZnS).
- Le magnésium (4.26% Mg) et le Calcium (7.4% Ca) avec une teneur considérable, relié à la présence de la dolomite aussi.
- Le fer (5.54% Fe) et le soufre (4.45% S) sont aussi présents parmi les composants chimiques d'échantillon, qui sont liés à la présence des sulfures de fer (FeS)
- Il y'a aussi des éléments traces comme Al, Mn, Si

Dans les deux échantillons, La teneur de zinc est la deuxième plus haute teneur par rapport aux autres composés, ce qui nous confirme les résultats de DRX.

IV.2. Deuxième partie

Optimisation de la quantité de collecteur.

Echantillon utilisé

Echantillon n°1

Pour avoir une bonne efficacité de l'opération de flottation, on doit effectuer tout d'abord des essais pour le choix d'une dose de collecteur optimale, ainsi on utilise cette dernière pour les autres essais avec le déprimant écologique.

On a fixé le déprimant en 50 g/t dans tous les essais, et on a varié le collecteur de 100 à 800 g/t.

Résultats

Tableau IV 3 Résultat de récupération de zinc après variation de la dose de collecteur

| N° essai | Déprimant (g/t) | Collecteur (g/t) | Rendement pondéral (C) % | Teneur en Zn (C) (%) | Récupération (C) (%) |
|---|-----------------|------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|
| E1 | 50 | 100 | 23 | 29.6 | 73.20 |
| E2 | 50 | 200 | 24,53 | 30,1 | 79,32 |
| E3 | 50 | 300 | 25,33 | 33.2 | 90.42 |
| E4 | 50 | 400 | 24,00 | 36,5 | 94.19 |
| E5 | 50 | 600 | 24,27 | 36,3 | 94,73 |
| E6 | 50 | 800 | 24,80 | 35,9 | 95,73 |
| teneur en zinc dans le tout-venant = 9.3% ; masse du tout-venant = 375g | | | | | |

Nt

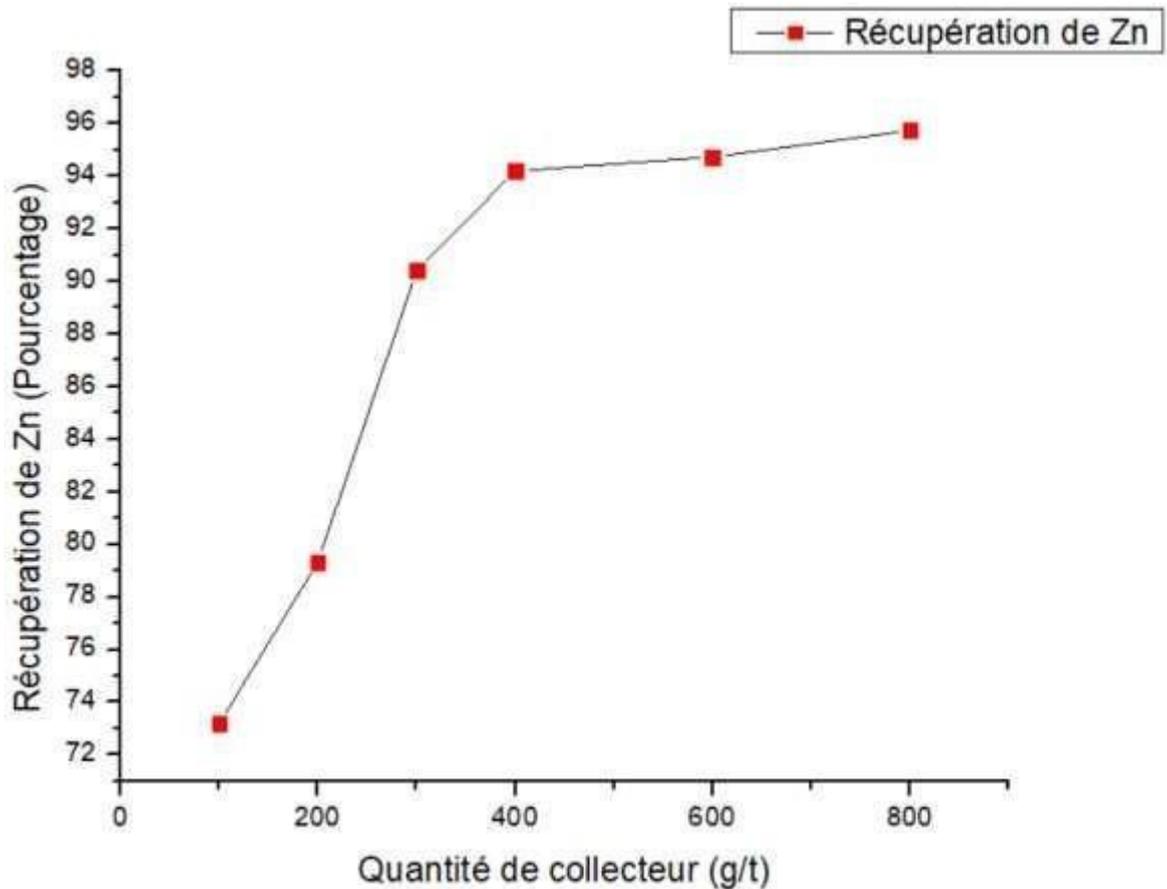


figure IV 3 Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de collecteur

le graphe présente la variation de récupération de zinc en % en fonction de la dose de collecteur, en utilisant le déprimant chimique (Silicate de sodium) pour l'échantillon n°1, nous remarquons que la récupération la plus faible (73.20%) pour la quantité 100 g/t. ensuite on remarque une croissance de la récupération quand on augmente la quantité de collecteur jusqu'à 400 g/t.

après on note que le degré d'extraction (Récupération) des différents essais sont un peu proche l'un de l'autre allons de 93 % à 95% pour les quantités de collecteurs suivantes : 300 g/t , 400 g/t , 600 g/t, 800 g/t, Mais il y'a une petite différence entre leurs teneurs en zinc dans le concentré, qui est respectivement (33.2% , 36.5%, 36.3%, 35.9%), et aussi une petite différence entre leurs rendements pondéraux qui sont respectivement (25.33% , 24 % , 24.27%, 24.80%).

Pour diminuer les coûts et avoir un rendement coût/récupération élevé, la quantité optimale du collecteur est de 400g/t.

Comparaison entre les deux échantillons brièvement

Tableau IV 4 : Comparaison de résultat de récupération entre l'échantillon n°1 et n°2

| Echantillon utilisé | Déprimant (g/t) | Collecteur (g/t) | Rapport pondéral (C) % | Teneur en Zn (C) (%) | Récupération (C) (%) |
|---------------------|-----------------|------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| Echantillon n°1 | 50 | 400 | 25,33 | 35 | 95,33 |
| Echantillon n°2 | 50 | 400 | 47,73 | 23,1 | 92,89 |

Interprétation

- On voit que pour les deux échantillons, en utilisant le déprimant chimique (Silicate de sodium), la dose de 400 g/t pour le collecteur et 50g/t pour le déprimant, a donné des bons résultats.

En utilisant le déprimant chimique, si on se base sur les facteurs Récupération et Coût, la dose optimale pour le collecteur est 400g/t.

Le protocole idéale de la flottation avec le déprimant chimique

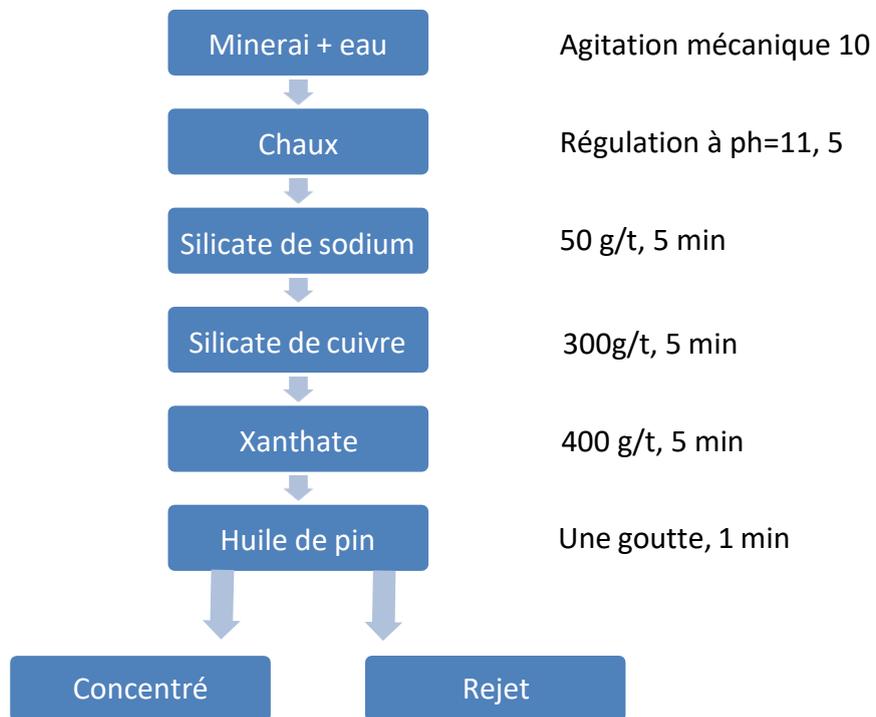


figure IV 4 : Protocole idéale de la flottation avec déprimant chimique

IV.3. Troisième partie

Flottation sélective du minerai de zinc de Chaabet El Hamra en utilisant la solution des grains de caroube comme déprimant.

IV.3.1. Echantillon n°1

Variation de la dose de déprimant

Tableau IV 5 / Résultat de récupération en variant le déprimant grains de caroube pour l'échantillon n°1

| N° essai | Déprimant : gomme de Caroube (g/t) | Rapport pondéral (C) % | Teneur en Zn (C) (%) | Récupération (C) (%) |
|----------|--|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| E1 | 500 | 23,47 | 34,5 | 87,06 |
| E2 | 1000 | 21,87 | 38,1 | 89,59 |

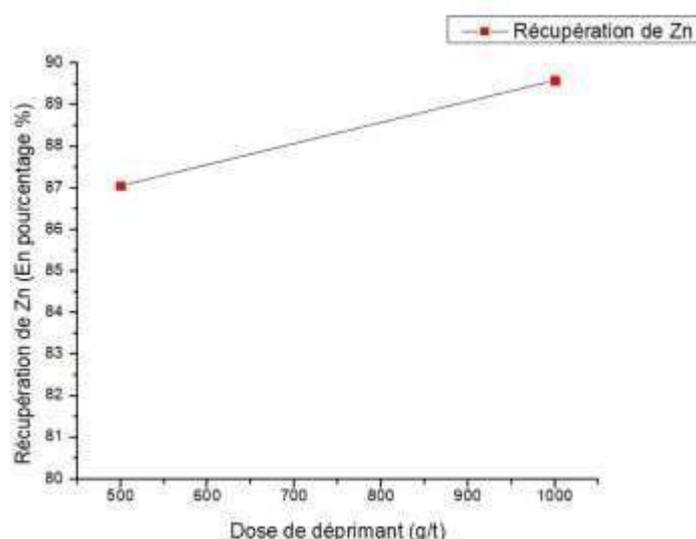


figure IV 5 :Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de déprimant écologique

Interprétation

Le graphe présente la variation de la récupération de zinc en fonction de la dose de déprimant écologique (Solution des grains de caroube) pour l'échantillon n°1, nous remarquons qu'avec une quantité de 500g/t, la récupération a été de 87.06%, avec une teneur en zinc de 34.5% pour un rendement pondérale de 23.47%. Et la dose de 1000g/t a donné un degré d'extraction (Récupération) de 89.59% qui est un peu plus élevée par rapport à celle de 500 g/t, avec une teneur en zinc de 38.1% pour un rendement pondéral de 21.87%. Malgré la variation de la quantité du déprimant écologique (solution des grains de caroube) de 500 g/t à 1000g/t, nous

constatons que les récupérations sont presque les mêmes, d'où le choix de 500g/t de déprimant au lieu de 1000g/t.

IV.3.2. Echantillon n°2

Variation de la dose de déprimant (Solution des grains de caroube)

Tableau IV 6 : – Résultat de récupération en variant le déprimant grains de caroube pour l'échantillon n°2

| N° Essai | Déprimant : (Solution des grains de caroube) (g/t) | Rapport pondéral (C) % | Teneur en Zn (C) (%) | Récupération (C) (%) |
|----------|---|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| E1 | 300 | 29.14 | 28.3 | 69,91 |
| E2 | 500 | 31.28 | 36.2 | 95,99 |

Collecteur = 400g/t, teneur en zinc dans le tout-venant = 11.8%, masse du tout-venant = 375g

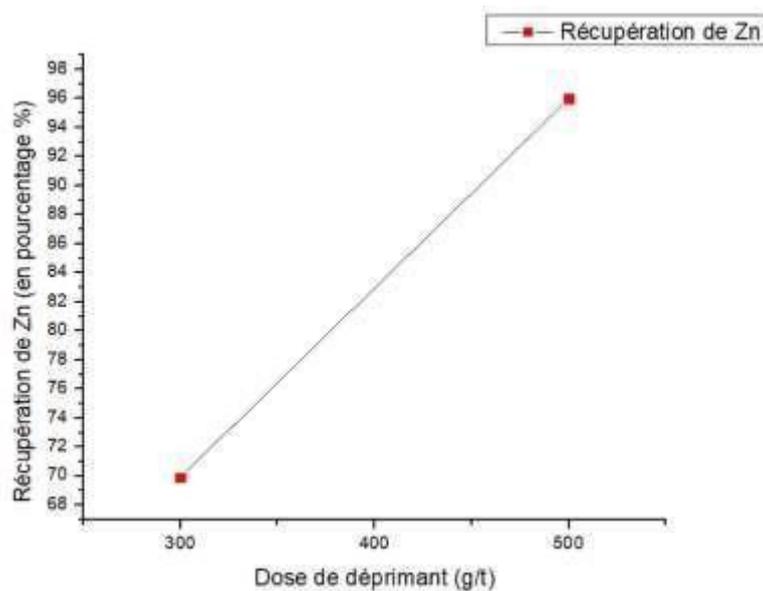


figure IV 6 :Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de déprimant écologique

Interprétation

Le graphe présente la variation de récupération de zinc en fonction de la quantité de déprimant écologique en g/t (Solution des grains de caroube) pour l'échantillon n°2. Nous remarquons qu'avec la quantité de 300g/t, nous avons pu récupérer 69.9% de concentré de zinc, avec une teneur en zinc de 28.3 % pour un rendement pondéral de 29.14%, qui n'est pas un résultat satisfaisant par rapport au résultat obtenu avec la quantité de 500 g/t du même déprimant, qui correspond au degré d'extraction (Récupération) de 95.99%. Ce résultat est excellent, puisque la teneur en zinc dans le concentré est de 36.2% pour un rendement pondéral de 31.28%.

Variation du temps de conditionnement pour le déprimant solution desgrains de caroube :

Les résultats des essais en fonction du temps de conditionnement sont représentés dans le tableau suivant

Tableau IV 7 Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction du temps de conditionnement

| N° Essai | Temps de conditionnement (min) | Rapport pondéral (C) % | Teneur en Zn (C) (%) | Récupération (C) (%) |
|----------|--------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| E1 | 3 | 33,33 | 30,4 | 85,87 |
| E2 | 5 | 31,28 | 36,2 | 95,99 |
| E3 | 8 | 31,37 | 36,4 | 96,79 |

Collecteur = 400g/t, teneur en zinc dans le tout-venant = 11.8%, masse du tout-venant = 375g, dose de déprimant = 500 g/t

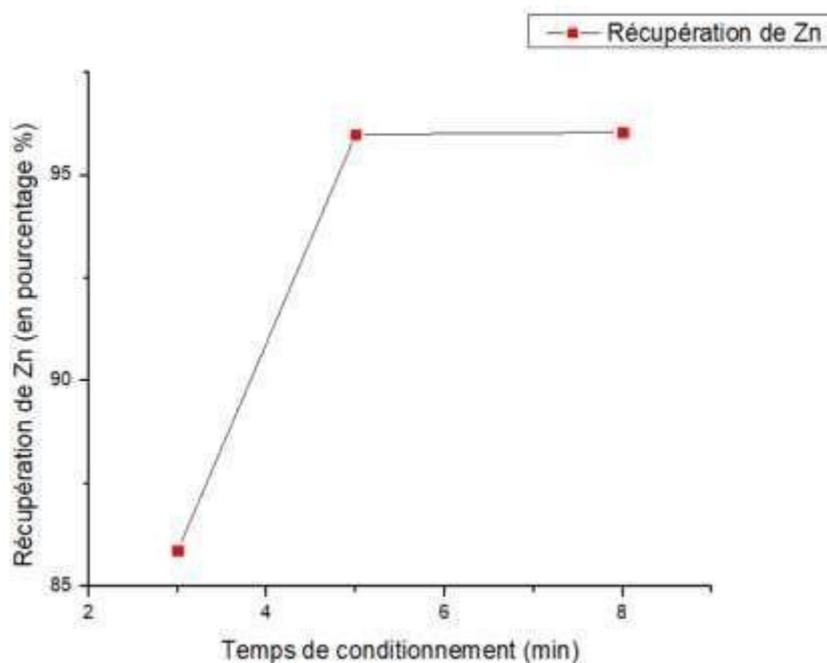


figure IV 7 : Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction du temps de conditionnement

Interprétation

Le graphe présente la variation de récupération de zinc en fonction du temps de conditionnement après l'ajout de déprimant (Solution des grains de caroube), en minutes pour l'échantillon n°2. On voit qu'avec un temps de conditionnement de 3 mn on a pu récupérer 85.87%, avec une teneur en zinc de 30.4% pour un rendement pondéral de 33.33% ; c'est un résultat faible par rapport à la récupération obtenue avec le temps de conditionnement de 5 min, qui est de 95.99%, avec une teneur en zinc de concentré de 36.2 %, avec un rendement pondéral de 31.28%. Quant à la récupération obtenue après un temps de conditionnement de 8min, le degré d'extraction (Récupération) est de 96.79%; Ce taux de récupération est très proche de celui obtenu avec un conditionnement de 5 min ; par contre la teneur en zinc dans le concentré

de l'essai de 8 min est 36.4%, avec un rendement pondéral de 31.37 % par conséquent on peut choisir le temps de conditionnement de 8 min.

Le déprimant écologique (Solution des grains de caroube) nous a donné de bons résultats, ce qui prouve son efficacité. A une dose de 500g/t et un temps de conditionnement de 8 min le déprimant atteint une efficacité optimale.

Le protocole idéal en utilisant le déprimant solution des grains de caroube

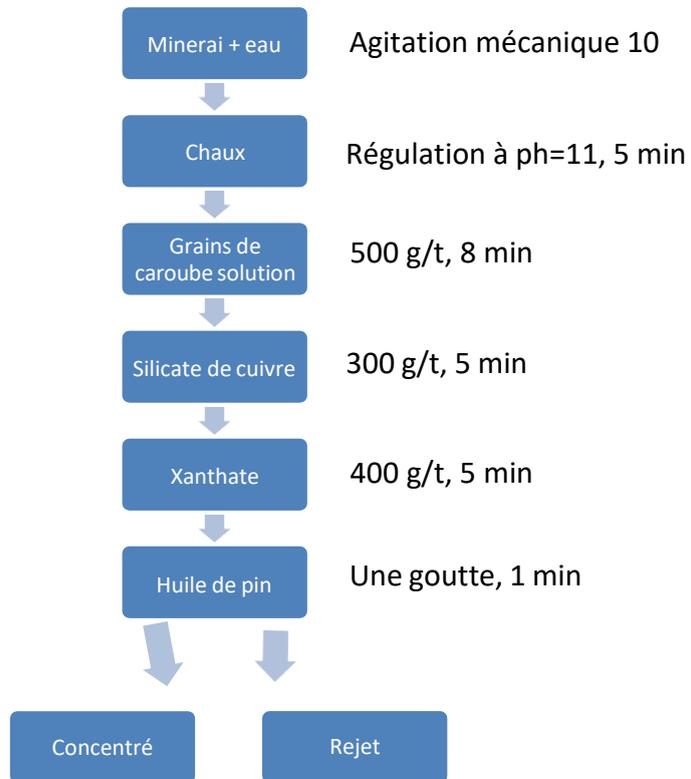


figure IV 8 8 : Protocole idéale de la flottation avec le déprimant écologique (Solution des grains de caroube)

IV.4. Quatrième partie

Flottation sélective du minerai de zinc de Chaabet El Hamra en utilisant l'huile de caroube comme déprimant.

IV.4.1. Echantillon n°1

Variation de la dose de déprimant (Huile de caroube)

Tableau IV 8 : Résultat de récupération en variant le déprimant huile de caroube pour l'échantillon n°1

| N° Essai | Déprimant : Huile de caroube (goutte) | Rapport pondéral (C) (%) | Teneur en Zn (C) (%) | Récupération (C) (%) |
|----------|---|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| E1 | 3 | 18,13 | 42,3 | 82,46 |
| E2 | 5 | 19,2 | 44,7 | 92,28 |

Collecteur = 400g/t, teneur de zinc totale = 9.3%, masse de minerai = 375g

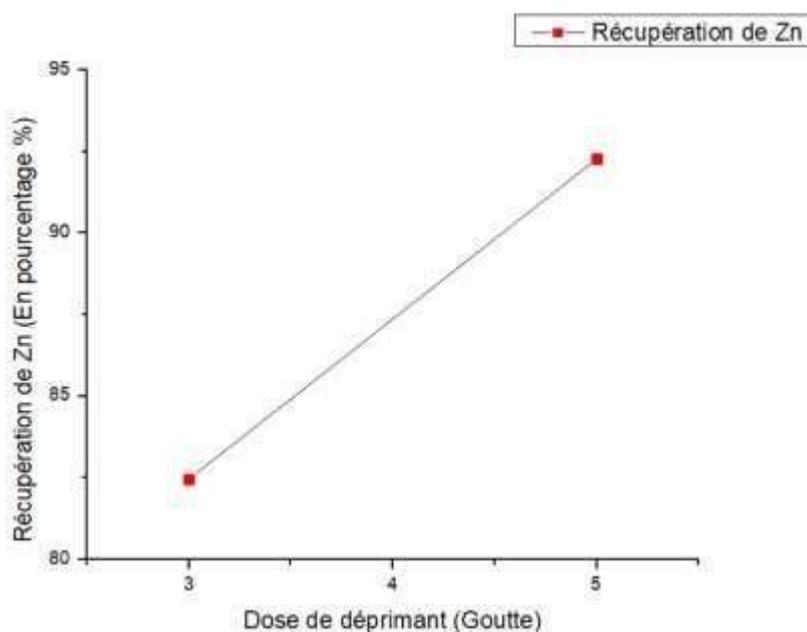


figure IV 9 : Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de déprimant écologique

Interprétation

Le graphe présente la variation de récupération de zinc en fonction de la dose de déprimant écologique (l'huile de caroube), nous remarquons qu'avec une dose de 3 gouttes nous avons pu récupérer 82.46%, avec une teneur en zinc de 42.3% pour un rendement pondérale de 18.13%. Avec la dose de 5 gouttes, un degré d'extraction (Récupération) de 92.28% a été atteint, avec une teneur en zinc de 44.7% pour un rendement pondérale de 19.2%. Le meilleur résultat est

de loin celui obtenu avec 05 gouttes d'huile de caroube que ce soit au point de vue teneur que récupération.

On peut dire qu'avec cinq gouttes de déprimant d'huile de caroube, la récupération est très élevée comparée à celle obtenue avec 3 gouttes.

IV.4.2. Echantillon n°2

Variation de la dose de déprimant (huile caroube)

Tableau IV 9 Résultat de récupération en variant le déprimant huile de caroube pour l'échantillon n° 2

| N° Essai | Déprimant : huile caroube (goutte) | Rapport pondéral (C) (%) | teneur en Zn (C) (%) | Récupération (C) (%) |
|---|--|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| E1 | 5 | 34.62 | 32.2 | 94,48 |
| E2 | 10 | 35.25 | 32.4 | 96,79 |
| Collecteur = 400g/t, teneur de zinc totale = 11.8%, masse de minerai = 375g | | | | |

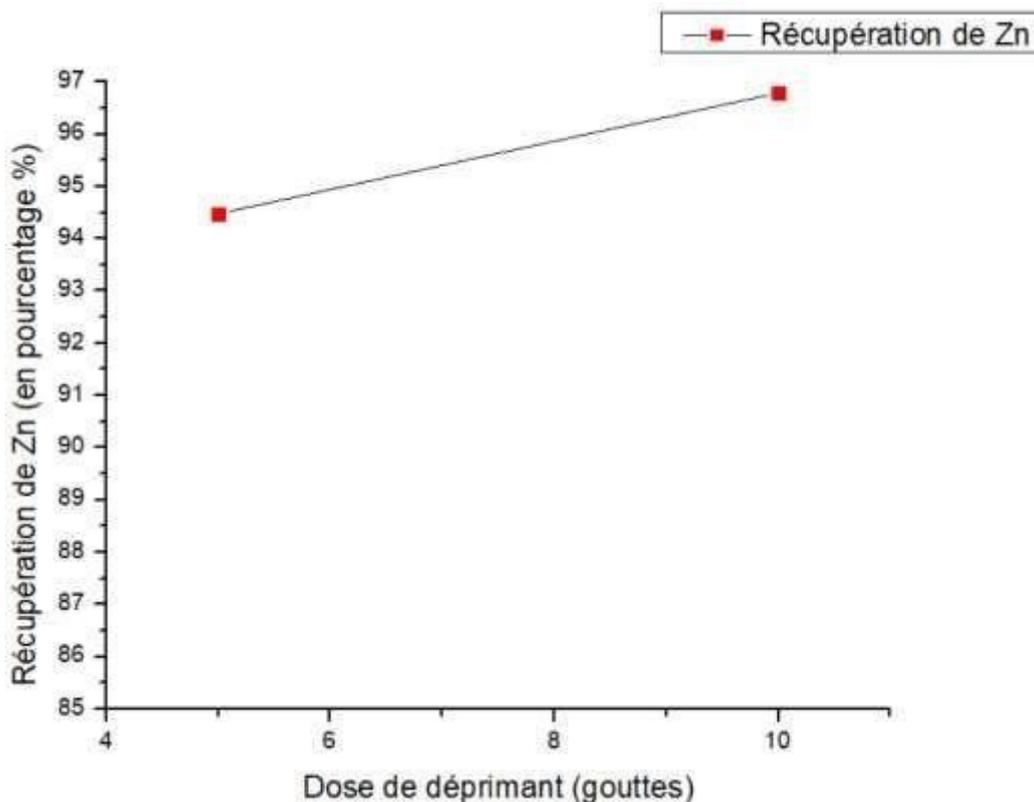


figure IV 10 : Graphe illustrant la variation de la récupération de Zn en fonction de la dose de déprimant écologique

Le graphe présente la variation de récupération de zinc en fonction de la dose de déprimant écologique (l'huile de caroube), nous remarquons que la dose de 5 gouttes a pu récupérer 94.48%, avec une teneur en zinc de 32.2% pour un rendement pondérale de 34.62%. Et la dose de 10 gouttes a donné un degré d'extraction (Récupération) de 96.79% qui est de peu élevé par

rapport à celle de 5 gouttes, avec une teneur en zinc de 32.4% pour un rendement pondérale de 35.25%.

On conclue qu'avec l'utilisation de 10 gouttes comme dose, le résultat de récupération est peu fort comparé à celle de 5 gouttes. Le déprimant écologique (huile de caroube) nous a donné des bons résultats, ce qui prouve son efficacité. A une dose de 10 gouttes le déprimant atteint une efficacité optimale.

Protocole idéale de flottation avec l'huile de caroube

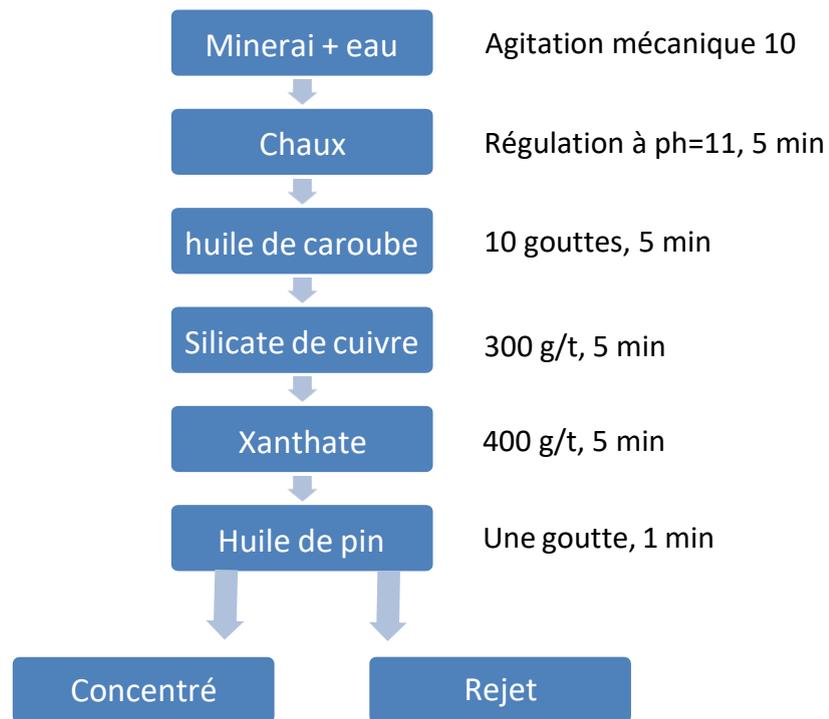


figure IV 11 : Protocole idéale de flottation avec le déprimant huile de caroube

IV.5. Comparaison générale

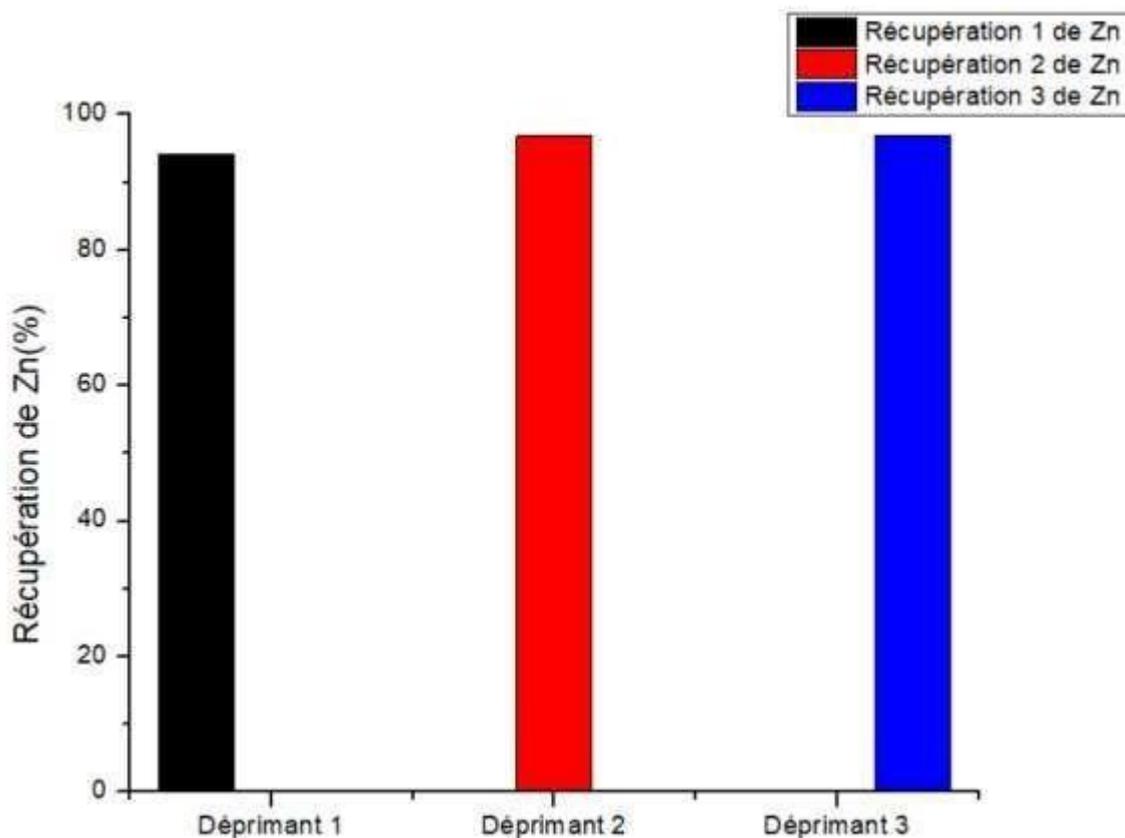


figure IV 12 :Histogramme de comparaison entre les 4 déprimants utilisés en fonction de la récupération

Déprimant 1 : Silicate de sodium

Déprimant 2 : Solution des grains de caroube

Déprimant 3 : Huile de caroube

Interprétation

L'historgramme illustre la récupération idéale pour chaque déprimant, on voit que les trois déprimant, Silicate de sodium, grains de caroube en solution et l'huile de caroube, nous ont donné à peu près les mêmes résultats qui sont respectivement : (94.19%, 96.79%, 96.79%), qui montrent une excellente récupération de zinc pour les trois déprimants. Cependant la meilleure teneur a été obtenue avec l'huile de caroube.

Conclusion générale

Dans le cadre de notre projet de fin d'études nous avons étudié la possibilité de substitution d'un déprimant chimique par un déprimant organique écologique qui ne présente aucun danger pour l'être humain. Il s'agit des grains et de l'huile de caroube. Ces deux déprimants ont été préparés au niveau du laboratoire de Génie Minier à partir des grains de la caroube (fruit du caroubier).

18 essais de flottation ont été réalisés, avec les différents déprimants, à savoir, le silicate desodium (déprimant chimique), grains de caroube et huile de caroube.

Le protocole suivant, nous a permis d'aboutir à des résultats très appréciables :

Un prélèvement des deux échantillons du minerai zincifère de la mine de Chaabet el Hamra, a été effectué. Les échantillons collectés ont subi une préparation mécanique au niveau du laboratoire du département du génie minier de l'école nationale polytechnique. Le tout venant (échantillons prélevés) a été divisé en 24 échantillons, en utilisant l'échantillonneur automatique pour les besoins des essais de séparation et de caractérisation.

Après les différents essais de flottation réalisés au niveau de notre laboratoire, les concentrés obtenus ont été caractérisés. Les résultats de la caractérisation nous ont permis de calculer tous les degrés d'extractions de ces concentrés.

Les conclusions sont les suivantes :

- Le dosage optimal de xanthate comme collecteur pour la flottation de minerai zincifère est de 400 g/t.
- La solution des grains de caroube comme un déprimant écologique est efficace, sa quantité optimale est de 500 g/t avec un temps de conditionnement de 8 minutes.
- L'huile de caroube comme un déprimant écologique est efficace, sa dose optimale est de 10 gouttes.

Références Bibliographiques

- [1] Huang, P., 2013. Chitosan in differential flotation of base metal sulfides. Laskowski, J.S., Liu, Q., O'Connor, C.T., 2007. Current understanding of the mechanism of polysaccharide adsorption at the mineral/aqueous solution interface. *Int. J. Miner.Process.* 84 (1–4), 59–68.
- [2] Bulatovic, S.M., 2007. *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Volume 1: Flotation of Sulfide Ores.* Elsevier.
- [3] Bıçak, Ö., Ekmekçi, Z., Can, M., Öztürk, Y., 2012. The effect of water chemistry on froth stability and surface chemistry of the flotation of a Cu–Zn sulfide ore. *Int. J. Miner.Process.* 102, 32–37.
- [4] Investigation of Adsorption Mechanism of Reagents (Surfactants) System and its Applicability in Iron Ore Flotation – An Overview Abhyarthana Pattanaik- R. Venugopal
- [5] Bulatovic, S. M. (2007). *Modifying Reagents. Handbook of Flotation Reagents*, 53–79.
- [6] Laboratoire de mobilisation et de gestion des ressources en eau, Dpt des sciences de la terre, faculté des sciences, université BATNA 2, Algérie
- [7] Book X-Ray Diffraction : Instrumentation and Applications Andrei A. Bunaciu, Elena gabriela Udriștioiu & Hassan Y. Aboul-Enein
- [8] Chen, Z. W., Gibson, W. M., & Huang, H. (2008). *High Definition X-Ray Fluorescence: Principles and Techniques.* X-Ray Optics and Instrumentation, 2008
- [9] Jiang, X., Wang, Z., Zhang, Y., Wang, F., Zhu, M., Yao, J., 2016. The mutual influence of speciation and combination of Cu and Pb on the photodegradation of dimethyl o-phthalate. *Chemosphere* 165, 80-86.
- [10] Google Earth
- [11] ENOF. Exploitation de la partie inférieure du gisement de Chaâbet-el-Hamra. Kherzet Youcef. 2011.
- [12] Belkacem Touahri. « Géochimie et métallogénie des minéralisations à plomb et zinc du nord de l'Algérie ». Thèse de doct. Paris 6, 1987.
- [13] Chandra, A.P., Gerson, A.R., 2009. A review of the fundamental studies of the copper activation mechanisms for selective flotation of the sulfide minerals, sphalerite and pyrite. *Adv. Coll. Inter. Sci.* 145 (1–2), 97–110.
- [14] El-Shall, H.E., Elgillani, D.A., Abdel-Khalek, N.A., 2000. Role of zinc sulfate in depression of lead-activated sphalerite. *Int. J. Miner. Process.* 58 (1–4), 67–75.

- [15] Mu, Y., Peng, Y., Lauten, R.A., 2016. The depression of pyrite in selective flotation by different reagent systems—a literature review. *Miner. Eng.* 96, 143–156.
- [16] Gül, A., Yüce, A.E., Sirkeci, A.A., Özer, M., 2008. Use of non-toxic depressants in the selective flotation of copper-lead-zinc ores. *Can. Metall. Q.* 47 (2), 111–118.
- [17] Sarquís, P.E., Menéndez-Aguado, J.M., Mahamud, M.M., Dzioba, R., 2014. Tannins: the organic depressants alternative in selective flotation of sulfides. *J. Cleaner Prod.* 84,723–726.
- [18] Liu, Q., Zhang, Y., 2000. Effect of calcium ions and citric acid on the flotation separation of chalcopyrite from galena using dextrin. *Miner. Eng.* 13 (13), 1405–1416.
- [19] Pawlik, M., Laskowski, J.S., Ansari, A., 2003. Effect of carboxymethyl cellulose and ionic strength on stability of mineral suspensions in potash ore flotation systems. *J. Coll. Inter. Sci.* 260 (2), 251–258.
- [20] Shortridge, P.G., Harris, P.J., Bradshaw, D.J., Koopal, L.K., 2000. The effect of chemical composition and molecular weight of polysaccharide depressants on the flotation of talc. *Int. J. Miner. Process.* 59 (3), 215–224.
- [21] Laskowski, J.S., Liu, Q., O'Connor, C.T., 2007. Current understanding of the mechanism of polysaccharide adsorption at the mineral/aqueous solution interface. *Int. J. Miner.Process.* 84 (1–4), 59–68.
- [22] Feng, B., Peng, J., Zhang, W., Ning, X., Guo, Y., Zhang, W., 2018. Use of locust bean gum in flotation separation of chalcopyrite and talc. *Miner. Eng.* 122, 79–83.
- [23] Rao, T.C., Govindarajan, B., and Barnwal, J.P. 1995. A simple model for industrial coal flotation operation. In *HighEfficiency Coal Preparation*. Edited by S.K. Kawatra. Littleton, CO: SME. pp. 177–185.
- [24] Klimpel, R.R. 1980. Selection of chemical reagents for flotation. In *Mineral Processing Plant Design*, 2nd ed. Edited by A.L. Mular and R.B. Bhappu. New York: SME-AIME. pp. 907–934.
- [25] Klimpel, R.R. 1995. The influence of frother structure on industrial coal flotation. In *High-Efficiency Coal Preparation*. Edited by S.K. Kawatra. Littleton, CO: SME. pp. 141–151
- [26] Whelan, P.F., and Brown, D.J. 1956. Particle–bubble attachment in froth flotation. *Bull. Inst. Min. Metall.* no. 591, 181–192.
- [27] Thompson, P. 2002. The selection of flotation reagents via batch flotation Tests. In *Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control*. Edited by A.L. Mular, D.N. Halbe, and D.J. Barratt. Littleton, CO: SME. pp. 136–144.

- [28] Pearse, M.J., 2005. An overview of the use of chemical reagents in mineral processing. *Miner. Eng.* 18, 139-149.
- [29] Reyes-Bozo, L., Godoy-Faundez, A., Herrera-Urbina, R., Higuera, P., Salazar, J.L., Valdes-Gonzalez, H., Vyhmeister, E., Antizar-Ladislao, B., 2014. Greening Chilean copper mining operations through industrial ecology strategies. *J. Clean. Prod.* 84, 671-679.
- [30] Araujo, D.M., Yoshida, M.I., Takahashi, J.A., Carvalho, C.F., Stapelfeldt, F., 2010. Biodegradation studies on fatty amines used for reverse flotation of iron ore. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 64, 151-155.
- [31] Lin, W., Dai, Y., Wu, C., Xu, P., Ren, J., Sun, S., Li, B., 2016. Continuous treatment of flotation collector wastewater using a membrane bioreactor. *Water Sci. Technol.* 73, 1901-1909.
- [32] Bordenave, S., Goni-urriza, M., Vilette, C., Blanchard, S., Caumette, P., Duran, R., 2008. Diversity of ring-hydroxylating dioxygenases in pristine and oil contaminated microbial mats at genomic and transcriptomic levels. *Environ. Microbiol.* 10, 3201-3211.
- [33] Yao, J.M., Sanchez-Perez, J.M., Sauvage, S., Teissier, S., Attard, E., Lauga, B., Duran, R., Julien, F., Bernard-Jannin, L., Ramburn, H., Gerino, M., 2017. Biodiversity and ecosystem purification service in an alluvial wetland. *Ecol. Eng.* 103, 359e371.
- [34] Coppolecchia, D., Puglisi, E., Vasileiadis, S., Suci, N., Hamon, R., Beone, G.M., Trevisan, M., 2011. Relative sensitivity of different soil biological properties to zinc. *Soil Biol. Biochem.* 43, 1798-1807.
- [35] Brookes, P.C., 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fert. Soil* 19, 269-279.
- [36] Zhu, X., Yao, J., Wang, F., Yuan, Z., Liu, J., Jordan, G., Knudsen, T.S., Avdalovic, J., 2018. Combined effects of antimony and sodium diethyldithiocarbamate on soil microbial activity and speciation change of heavy metals. Implications for contaminated lands hazardous material pollution in nonferrous metal mining areas. *J. Hazard Mater.* 349, 160-167
- [37] Gorovtsov, A., Minkina, T.M., Morin, T., Zamulina, I.V., Mandzhieva, S.S., Sushkova, S.N., Rajput, V., 2018. Ecological evaluation of polymetallic soil quality: the applicability of culture-dependent methods of bacterial communities studying. *J. Soils Sediments* 1-12.
- [38] Guo, Z., Yao, J., Wang, F., Yuan, Z., Bararunyeretse, P., Zhao, Y., 2016. Effect of three typical sulfide mineral flotation collectors on soil microbial activity. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23, 7425-7436.