RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique

Département Génie Minier

Mémoire de Master

Valorisation des rejets de la mine de Boucaïd par flottation et un pré-traitement gravimétrique

MEKDOUR mohammed Islam

Sous la direction de
Mme : A. MERCHICHI

Présenté et soutenu publiquement le
20/06/2017

Composition du Jury :

Président	Dr. AKKAL Rezki	M.C.A	Ecole Nationale Polytechnique
Promoteur	Mme. A. MERCHICHI	M.A.A	Ecole Nationale Polytechnique
Examinateur	Dr. OULD HAMOU Malek	M.C.A	Ecole Nationale Polytechnique

ENP 2017

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique

Département Génie Minier

Mémoire de Master

Valorisation des rejets de la mine de Boucaïd par flottation et un pré-traitement gravimétrique

MEKDOUR mohammed Islam

Sous la direction de
Mme : A. MERCHICHI

Présenté et soutenu publiquement le
20/06/2017

Composition du Jury :

Président	Dr. AKKAL Rezki	M.C.A	Ecole Nationale Polytechnique
Promoteur	Mme. A. MERCHICHI	M.A.A	Ecole Nationale Polytechnique
Examinateur	Dr. OULD HAMOU Malek	M.C.A	Ecole Nationale Polytechnique

ENP 2017

ملخص:

النفايات المنجمية تعتبر نتائج حتمية لاستغلال المناجم وتساهم بشكل رئيسي في التدهور البيئي وتلويث المساحات المحيطة بها

الهدف من عملنا هو القيام بمعالجة هذه النفايات المنجمية من مجمع منجم بوقايد و.تسمسيلت من اجل معرفة قابلية المعادن النافعة الموجودة فيها وهي الرصاص والزنك للتثمين بالستعمال عملية التعويم و معالجة قبلية ثقلية بالطاولة الاهتزازية

سيمكننا هذا العمل من القول ان كانت الطريقة التثمين قابلة للتحقق بالاعتماد على الكتل النسبية للمعادن النافعة الموجودة في كل عينة وتاثيرها على البيئة

الكلمات المفتاحية:

النفايات المنجمية-منجم بوقايد-التركيز الثقلي -التثمين-التعويم-الكتلة النسبية

Abstract :

Mining wastes are an unavoidable result of mining exploitation; these ones contribute to the deterioration of the envionnement and to the pollution of the surrounding spaces.

The purpose of this work is to treat the mining wastes of Boucaïd's mine (W.Tissemsilet) to establish if the ore's minerals ,namely: lead and zinc are recoverable using the flotation and a gravimetric pre-traitemnt by the shaking table . Thes work will allow to determine if theses recovery process is achievable using the results of useful mineral's weights in each sample and their impact over the environnement.

Key words:

mining waste-gravimetric concentration- Boucaïd's mine- recovery- flotation- weight

Résumé :

Les rejets miniers sont une conséquence inévitable de l'exploitation minière ; ceux-ci contribuent à la dégradation de l'environnement et à la contamination des espaces environnants.

Le but de notre travail est de traiter les rejets miniers du complexe de de la mine de Boucaïd (W.Tissemsilet) dans le but de déterminer si les minéraux utiles qu'ils contiennent, c'est-à-dire le plomb et le zinc sont valorisables en utilisant la méthode de la flottation et un pré-traitement gravimétrique par la table à secousse

Ce travail permettra de déterminer si cette valorisation est réalisable en se basant sur les rendements pondéraux des minéraux utiles dans l'échantillon et l'impact qu'elle pourrait avoir sur l'environnement.

Mots clés :
Rejets miniers- concentration par gravité- Mine de Boucaïd- Valorisation- Flottation- Rendement Pondéral

Dédicace

Je dédie ce mémoire à : Ma famille : Ma mère ZAHRA NADJIA qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Mon père ABDELKADER, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutient permanent venu de toi. Mes frères TOUFIK et CHEMSEDDIN et mes sœurs FAZO et IKRAM qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité. Mes grands-mères FATMA et KHEIRA, mon oncle AHMED et ma tante BAKHTA et ces petites familles. Mes cousins et mes amis proches qui m'ont soutenu et encouragé. A la mémoire de tous les proches qui nous ont quittés. Que dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.

Remerciements

Remerciment Nulle œuvre n'est exaltante que celle réalisée avec le soutien moral et financier des personnes qui nous sont proches .

Je tiens tout d'abord à exprimer mes sincères remerciements à Mlle MERCHICHI Amira directrice du PFE, pour son aide déterminant et pour ses conseils précieux qui ont largement contribué dans l'avancement des travaux et l'amélioration de ce projet de fin d'étude. je la remercie pour l'importance qu'elle a apporté pour ce mémoire.

J'exprime ma gratitude a monsieur OULD HAMOU Malek chef de département de génie minier d'avoir bien voulu présider mon jury.

Mes plus vifs remerciement à Monsieur AKKAL d'avoir accepté d'être membre de jury et examiner mon mémoire

J'exprimer ma plus profonde reconnaissance à : · Mon père et ma mère qui m'ont toujours entouré et motivé à sans cesse devenir meilleur ;

· Mes frères et sœurs qui m'ont assisté dans ces moments difficiles et m'ont servi d'exemple ;

· Mes grands-mères, mes tantes, oncles, cousins et cousines, qui n'ont cessé de m'encourager ;

· Tous mes compagnons de promotion ;

· Tous mes proches, toute personne de pré ou de loin et mes amis de par le monde, qui m'ont aidé, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

· A DIEU, pour m'avoir donné la force dans les moments difficiles d'éditer ce mémoire. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude et reconnaissance.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale **13**

1 Présentation de la zone d'étude **14**
1.1 Présentation de la zone d'étude 14
1.1.1 Situation géographique 14
1.1.2 Historique des Travaux 14
1.1.3 Aspect Climatologique 15
1.1.4 Hydrologie et Hydrogéologie 15
1.1.5 Géologie 15
1.1.6 Minéralisation 18
1.1.7 Traitement du Minerai au Niveau de l'Usine[2] 18

2 Concentration par gravité **21**
2.1 Introduction 21
2.2 Concentration par nappe pelliculaire fluente 22
2.2.1 Principes 22
2.2.2 Plan incliné mobile 22
2.2.3 Table à secousses 23

3 Flottation **26**
3.1 Généralités sur la Flottation 26
3.1.1 Définition de la Flottation 26
3.1.2 Le principe de la flottation 26
3.2 Classification des minéraux 27
3.3 Les interfaces de la flottation 28
3.3.1 L'interface solide-liquide 28
3.3.2 L'interface liquide-gaz 28
3.3.3 Système solide-liquide-gaz 28
3.4 Réactifs de la Flottation 29
3.5 Paramètres influant sur la flottation 33
3.5.1 Influence des dimensions du minerai 33
3.5.2 L'importance du pH 34
3.5.3 L'importance de la densité de la pulpe 34
3.5.4 L'importance de la température 34
3.5.5 L'importance du potentiel rédox 34
3.5.6 L'influence d'un champ magnétique sur l'eau 35
3.6 Types de Flottation 35
3.6.1 Flottation directe 35

3.6.2 Flottation indirecte . . . 36
3.6.3 Electro-Flottation . . . 36
3.7 Les machines de Flottation . . . 36
3.7.1 Historique des machines de flottation . . . 36
3.7.2 Classification des machines de flottation . . . 37
3.7.3 Comparaison entre les machines de flottation . . . 39

4 Essais de laboratoire et interprétation **41**
4.1 Méthodologie et protocole analytique . . . 41
4.1.1 Échantillonnage . . . 41
4.1.2 Préparation de l'échantillon . . . 41
4.2 Essais de la Table a secousse . . . 43
4.2.1 Séchage . . . 44
4.3 Essai de Flottation . . . 44
4.3.1 Flottation du Plomb . . . 45
4.3.2 Flottation du Zinc . . . 46
4.3.3 Décantation, Filtration et séchage . . . 48
4.4 Résultats et interprétation . . . 48

Conclusion Générale **50**

Bibliographie **51**

Liste des tableaux

4.1 Table des coordonnées de la situation géographique des rejets 41
4.2 Tableau regroupant les réactifs de flottation du Plomb 46
4.3 Tableau regroupant les réactifs de flottation du Zinc 46
4.4 Résultat de flottation 48

Liste des figures

1.1 Situation géographique du Massif de l'Ouarsenis dans l'Atlas Tellien . . . 16
1.2 Schéma Technologique du traitement du minerai de baryte dans l'usine de traitement de Boucaïd. 20

2.1 Principe de la concentration par nappe pelliculaire fluente 22
2.2 Table à secousses à commande hydraulique 23
2.3 Schéma d'une unité mobile de traitement alluvionnaire. 25

3.1 Classification des minéraux polaires(Wills' Mineral Processing Technology) 28
3.2 Classification des collecteurs (Glembotskii et al. 1972) 30
3.3 L'adsorption d'un collecteur sur la surface d'un minerai 30
3.4 Schéma montrant l'action des moussants sur la surface d'une particule . . . 33
3.5 Schéma descriptif d'une colonne de flottation. 38
3.6 Schéma descriptif de la cellule de flottation de Denver 39

4.1 Séchage de l'échantillon à l'aire libre 42
4.2 broyage de l'échantillon manuellement 42
4.3 broyage de l'échantillon manuellement 43
4.4 la table à secousse du laboratoire lors de l'essai 44
4.5 les béchers dans l'étuve 44
4.6 les solutions préparées au laboratoire pour la flottation 45
4.7 la cellule de flottation DENVER utilisé lors de nos essais 45
4.8 concentré du zinc après la flottation 46
4.9 Schéma relatif a la flottation 47
4.10 Décantation et machine de filtration 48

Liste des abréviations

C : degré celcuis

μm : micro-mètre

$BaSO_4$: sulfate de baryume

$CuSO_4$: sulfate de cuivre

kg : kilogramme

mm : millimètre

pH : potentiel hydrogène

RN : Route Nationale

$SONAREM$: Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minières

t : tonne

$T.A$: temps d'agitation

ZnS : sulfate de zinc connu aussi sous le nom de la sphalérite ou blende

Introduction Générale

Le domaine minier en Algérie est très vaste, compte tenu de sa richesse en ressource minérale. Il existe de nombreux gisements en surface (carrière) ou en souterraine (mines) qui ne sont pas encore exploités ni prospecté, que ce soit des métaux précieux, des pierres rares ou des métaux de bases tels que le zinc le plomb et le cuivre..Etc.

Lors de l'exploitation minière, le pourcentage des gangues enlevées du minerai étant très élevé, on retrouve d'énorme quantité des rejets mises en terrils qui peuvent s'élever à des millions de tonnes, ceux-ci sont une source majeure qui conduit à la dégradation de l'environnement.

Plusieurs travaux et études on t été faite pour minimisé l'impact généré par les rejets minier afin de contrôler les contaminations provenant des résidus.

Notre travail consiste a valorisé l'un des types de rejets minier de la mine de Boucaïd qui est de nature plombo-zincifiere et de voir si le traitement de ces rejets là est utile que ce soit d'un point de vue environnemental ou bien économique, dont l'objectif est de :_

-valorisé cet échantillon provenant des rejets ;

-comparer Comparer les rendements pondéraux obtenus et voir si cette valorisation est utile des deux points de vue cités ci-dessus ;

Chapitre 1

Présentation de la zone d'étude

1.1 Présentation de la zone d'étude

1.1.1 Situation géographique

La mine de Boucaïd se trouve à 250km au sud ouest de la capitale Alger sur la route reliant la wilaya de Chlef à celle de Tissemsilt, plus exactement à 58km au sud de Chlef et à 62 Km au nord de Tissemsilt. On peut y accéder à partir de la route nationale 19.

Celle-ci s'étend sur une surface d'environ 67km^2 selon le découpage administratif datant de l'année 1984.

Cette mine se trouve dans la commune portant le même nom- Daïra de Lazharia, sur le versant nord, aux pieds du massif de la chaîne de l'Ouarsenis à quelques 1200m d'altitude, L'unité de cette mine ainsi que ses installations se trouvent aux abords de la RN19 qui permet lui donne accès comme cité précédemment celle-ci est bordé par :

- La commune de Karimia au nord, celle-ci constitue sa limite avec la wilaya de Chlef.
-Les communes de Bordj Bounaama et celle de Sidi-Slimane au sud.
- La commune de Beni-Chaïd à l'est.
- La commune de Lazharia par l'ouest.

La mine comporte deux gisements en cours d'exploitation qui se reposent sur le flanc sud de l'extrémité ouest du massif Abdelkader : On a d'abord le gisement de Sidi-Lakhdar à 5km au sud-est du village relié à celui-ci par la route communale sur une distance de 2km, suivi d'une piste dont la longueur est de 3km. Le second gisement est ce lui de Sidi-Belabess, localisé à 8km au sud est du village par lequel on peut accéder en empruntant la route communale sur une distance de 5km ensuite en prenant une piste de 2km de longueur.

1.1.2 Historique des Travaux

Les premiers gisements découverts dans la mine de Boucaïd sont des filons Plombo-Zinc en 1856, dans le lieu connu sous le nom de Grand Pic, ensuite ce fut le tour de ceux de Belkheiret et de Abdelkader d'être découvert en 1860 et 1863 respectivement. Ceci a conduit à émettre une demande d'obtention d'un permis d'exploration en 1872 par M. Terraillon et M. Calen. Mais les travaux ne furent jamais entamés pour certaines raisons et la région fut systématiquement abandonnée.

Vers la fin du 19^{me} siècle des travaux d'exploitation pour l'extraction des poly métaux cités ci-dessus, ces travaux ont connu leurs apogées en 1940 grâce aux études effectuées par le géologue Français M. Formmel.
La seconde période d'exploitations de ces gisements a débuté après l'indépendance, plus précisément après la nationalisation des mines en 1966 qui a constitué une continuité pour les travaux concernant l'exploitation des poly-métaux.

La SONAREM entama en même temps des travaux de prospection pour l'étude et la reconnaissance du gisement dans la région de Boucaïd(en 1967) dans le but d'exploiter le Zinc, ce qui a été fait jusqu'à l'épuisement des réserves en 1976.

En 1975, lors de l'élaboration de travaux de levés géologiques du gîte de Sidi-Belabess, une importante structure de barytine fut découverte sur une longueur de 850m, ce qui constitue une importante quantité de réserves. Des travaux d'évaluation et de prospection furent menés par la SONAREM elle-même durant la période allant de 1977 jusqu'à 1981. L'exploitation et le traitement de la baryte se faisait simultanément et parallèlement aux travaux de prospection et d'évaluation, dont le commencement a eu lieu en 1976. Ceci a permis à la mine de changer de statut en se reconvertissant en une unité de production[1] .

Les travaux de recherches et de prospections ont permis de découvrir et de mettre en évidence plusieurs nouveaux sites qui sont :

-Le site de Sidi Ouadhah se situant sur les flancs oriental et occidental du massif de Belkheiret.

1.1.3 Aspect Climatologique

La région de l'Ouarsenis, dont la zone d'étude ayant pour objet notre projet de fin d'étude, la mine de Bou-caïd en fait une partie intégrante, est soumise à un climat méditerranéen typique avec un été torride, relativement chaud et sec ainsi qu'un hiver pluvieux, humide et froid.

1.1.4 Hydrologie et Hydrogéologie

La plus grande partie de la formation de la zone de l'Ouarsenis est de nature calcaire, qui est une formation perméable, donc elle permet l'infiltration des zones superficielles. Ceci nous permet de dire que cette zone peut être appelée un réservoir d'eau.

1.1.5 Géologie

Pour un ingénieur en génie minier, il est impératif que celui-ci connaisse la géologie de la région étudiée et principalement la lithologie, la tectonique, la stratigraphie ... car celle-ci constitue une base de données importante qui lui permet de connaître la composition minéralogique de la zone étudiée ainsi que de déterminer les différentes caractéristiques (géophysique, géomécanique, géochimique, géologique, géotechnique...) constituant cette zone afin de pouvoir procéder aux différentes étapes de ces travaux, que ce soit l'exploitation, le traitement, la réhabilitation des lieux en toute sécurité dans le cadre de son environnement minier.

Géologie Régionale

Les gisements étudiés s'inscrivent dans la géologie du massif de l'Ouarsenis s'étendant sur une distance de 200km, celui-ci est composé de roches sédimentaire affleurant sous forme de massifs isolés du jurassique parmi les terrains du crétacé.
Les massifs connus se trouvant dans ce territoire constituant cette région relatifs à cette genèse sont :

-Massif du Grand Pic : Compris entre Chélif au nord et la wilaya de Tiaret au sud[15].
-Massif d'Abdelkader : C'est le massif sur lequel se reposent les gisements qui sont l'objet de notre étude.
- Massif Belkheiret, Massifs Batha, et certains autres blocs de glissements par gravité.

FIGURE 1.1: Situation géographique du Massif de l'Ouarsenis dans l'Atlas Tellien

Tectonique

La tectonique des gisements constituant la mine de Boucaïd est celle qui affecte le massif de l'Ouarsenis, qui est constitué de roches jurassiques étant amené vers la surface à partir d'une faille profonde, morcelé en plusieurs blocs. Celle-ci est à l'origine du déplacement des nappes. L'ossature du massif montagneux fut ainsi constitué par un antilinorium à ennoyage, causé par le déplacement des nappes, vers le Nord-Est, et aussi par un flanc inverse l'anticlinal couché au sud remplissant l'aire synclinale. Ceci fut l'origine de nombreux accidents tectoniques qui ont affecté les masses calcaires favorable à la cassure que ceux des pays environnant, et par conséquent un aspect plus complexe et écailleux, caractérisant chaque grande masse calcaire résultante.

Géologie Locale (Des Gisements)

Géologie du gisement de Sidi Belabbes

En 1975 commença l'étude géologique du gisement de Sidi-Belabbes qui se trouve dans la partie sud-est du massif Abdelkader associé à l'accident tectonique orienté Est-Ouest. Une puissante structure de Barytine de 850m de longueur fut découverte, ce qui a conduit

à l'entame des travaux de prospection et d'évaluation dés 1977 dont l'achèvement a eu lieu en 1981.

Cette structure est de type filonien affleurant entre les côtes 1210 m et 1350 m au jour concordant avec des calcaires encaissants du jurassique moyen. Ce filon s'étend sur une longueur de 400m suivant une direction sub-latitudinale (275°) et de 230m selon un pendage allant de 76° à 85° vers le sud, avec une épaisseur de 1.6m et une teneur moyenne de 80,00% en $BaSO_4$[2].

Géologie du gisement de Lakhdar :

Le gisement de Lakhdar est subdivisé selon les trois niveaux, en exploitations, suivants : Lakhdar niveau 1452m : Il fut mis à découvert par la galerie 1452m, dont le grand axe du corps est allongé dans une direction latitudinale, tandis que dans les galeries longitudinales et les recoupes, les contacts avec le gisement se font sous un angle allant de 50°à 70° selon une direction sud-est.

Le gisement est constitué d'une minéralisation de baryte poly-métallique grise à moucheture de galène, développé dans les dépôts du lias moyen supérieur et du jurassique inférieur, représenté sous forme d'amas ayant une structure irrégulière.

Ce corps barytique est exploité entre les niveaux 1426 et 1485m, qui se présentaient sous une allure conique avec un axe décentré avant l'exploitation de la partie supérieur du niveau 1485m. Le minerai est renfermé dans une gangue argileuse plus ou moins importante ayant une densité de 4,20 et une teneur moyenne de 76,00%[3]

Lakhdar niveau 1497m : Ce corps là est sous une forme filonienne affleurant au jour entre les côtes 1500 et 1520m, il s'étend sur une longueur de 261m selon une direction Nord 7°, suivant un pendage allant de 25° à 35° vers le sud encaissé dans des roches calcaires du Lias moyen et supérieur. Ce corps là a une puissance de 1,30m avec une teneur moyenne d'environ 85,9%[3].

Lakhdar niveau 1550m : Ce corps est sous forme d'amas d'une structure irrégulière affleurant au jour entre les côtes 1530 et 1580m. Ce minerai est renfermé dans une gangue argileuse d'une grande densité d'environ 4,30. Il est encaissé dans des roches calcaires du Lias moyen et supérieur[3].

La teneur en $BaSO_4$ de cette minéralisation est estimée à 60,00%.

Géologie du gisement du Nord

Il s'agit d'une structure filonienne mise en place dans un accident cassant de direction sub-latitudinale (112-192°) et à pendage de 70-75° vers le nord-nord est. La minéralisation affleure en surface sur une longueur de 300m encaissé dans des dolomies du Lias inférieur.

La puissance moyenne de cette minéralisation est de 1.6m tandis que sa teneur moyenne est estimée à 70%.

Le filon Nord est ouvert sur trois niveaux, niveaux 1200 m, niveau 1150 m et le niveau 1115 m, les niveaux 1200 m et 1150 m ont fait l'objet de l'exploitation durant les années

précédentes. Ces deux niveaux ont subi au début de l'année 2009 des affaissements et des fissurations naturelles aux alentours des entrées des galeries des niveaux et aux niveaux des pistes d'accès.Cette Calamité naturelle a influé négativement sur le déroulement de l'exploitation durant toute l'année 2009 et au début de l'année 2010[1].

1.1.6 Minéralisation

La morphologie des gisements de l'Ouarsensis, Boucaïd inclue, est caractérisé par des filons, lentilles et amas résultant des accidents tectoniques ayant eu lieu dans cette zone.

On distingue deux types de gisement selon leur formation : les amas et les filons

Les amas

Les amas sont des gisements ayant une forme quelconque, généralement sous forme de lentilles dont les dimensions sont d'une même grandeur. Dans le gisement de Sidi-Lakhdar la baryte se présente sous forme d'amas aux niveaux 1330m, 1452m, 1550m[4].

Les filons

: Les filons sont des gisements constitués par un remplissage des fractures préexistantes de l'écorce terrestre, qu'il soit en continu ou discontinu, par divers minéraux.

La baryte se trouve aussi sous forme filonienne dans le gisement Sidi-Lakhdar aux niveaux 1497m, 1620m et aussi au gisement Nord aux niveaux 1200m, 1150m et 1050m.

1.1.7 Traitement du Minerai au Niveau de l'Usine[2]

L'usine de Boucaïd réalise les opérations de traitement, enrichissement et de transformation du tout-venant du minerai de Baryte en un produit ni marchand conforme aux normes API.

Le tout-venant d'une grosseur de 500mm au maximum ainsi que d'une teneur minimale de 60,00% en $BaSO_4$ se fait traiter dans 3 stations :

Station de Concassage

Le tout-venant alimentera des concasseurs afin de subir trois opérations de réduction de sa taille de façon mécanique :

-Réduction du tout-venant à une taille de 70mm à l'aide d'un concasseur à mâchoire à simple volet de type VB67 BERGEAUD.
-Criblage et réduction de la grosseur des particules à 14mm dans un groupe de broyeurs-cribles mobiles SYMENS, à l'aide d'un crible à 3 étages.
-Réduction à 6mm dans un concasseur à cylindre lisse type BCR 60*80.

Ensuite on stocke le tout-venant réduit (0 à 10mm) dans trois trémies tampons de 120 tonnes de capacité chacune.

Enrichissement

Après avoir concassé le tout-venant, on fait subir à celui-ci une séparation gravimétrique humide dans un appareil appelé Remer-Jig de marque WEMCO.

Le concentré de baryte sera récupéré en bas de l'appareil dans un classificateur spiral puis évacé vers des chambres pour égouttage puis le stocker sur une surface pouvant supporter jusqu'à 9000 tonnes de capacité. Tandis que les rejets sont acheminés en surface avec l'eau vers une digue pour décantation, stockage et recyclage de l'eau clarifié.

Station de Pulvérisation et de conditionnement (broyage)

Cette opération a pour objectif la transformation du concentré à un produit fini marchand conforme aux normes API. Le concentré avec une humidité maximale de 12% à l'entrée du sécheur rotatif de 14m de longueur et de diamètre de 2m, réduit ce taux jusqu'à un taux inférieur à 1%.

Le produit séché subit des opérations de broyage fin dans un broyeur pendulaire BP16 ainsi qu'une séparation granulométrique dans un séparateur statique où les particules de dimensions inférieurs à 75µm se stockent, ensuite on les évacue à des trémies de stockage de produit finis.

Le produit de dimension inférieur à 75µm est mis en big-bac de 1.5 tonnes chacun qui représente le produit ni de l'usine destiné pour l'utilisation en boue de forage pétrolier.

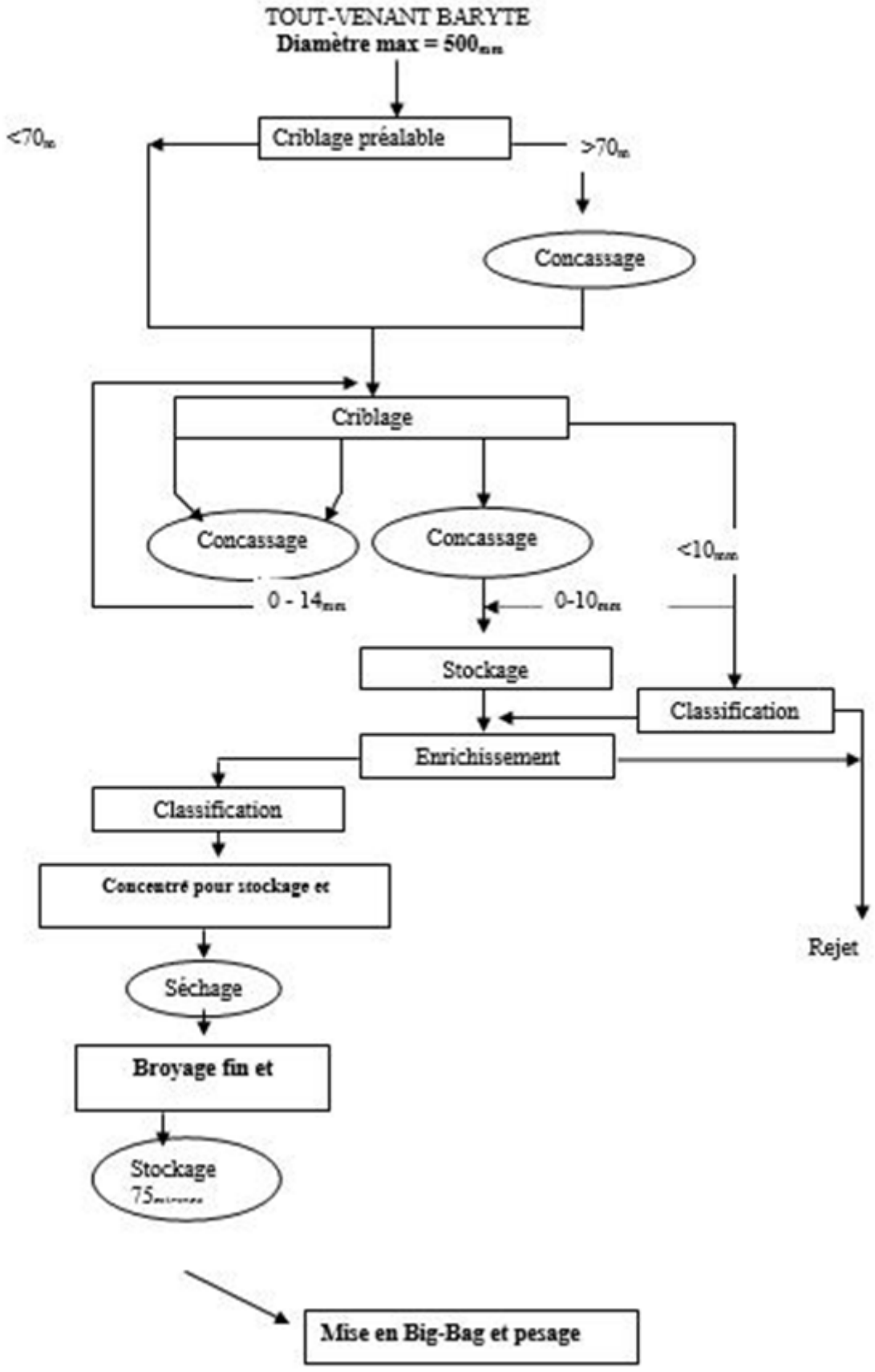

FIGURE 1.2: Schéma Technologique du traitement du minerai de baryte dans l'usine de traitement de Boucaïd.

Chapitre 2

Concentration par gravité

2.1 Introduction

La concentration par gravité ou gravimétrique est une voie importante de la minéralurgie. Les tonnages traités aux États-Unis par gravimétrie sont du même ordre de grandeur que ceux alimentant la flottation. En effet, certains minerais pondéreux (charbon en totalité et, dans une moindre proportion, fer) sont concentrables par une technique gravimétrique. Des étapes successives de concentration suivant chaque étape de réduction granulométrique permettent de profiter de la libération progressive des espèces minérales de valeur, évitant ainsi de recourir immédiatement à un broyage poussé à la maille de libération, ce qui diminue la consommation énergétique et le coût du traitement.

Ces procédés sont très bien adaptés aux petites installations, mais permettent aussi de traiter des tonnages importants. De plus, ils se prêtent tout particulièrement à la mise en place d'unités mobiles (sur des dragues ou dans des sites isolés).

Les objectifs de la concentration gravimétrique sont :

- D'une part l'obtention de concentrés définitifs pour des extractions de charbon, de fer et de minéraux lourds comme la wolframite ou la cassitérite ;
- d'autre part la production de pré-concentrés dans un grand nombre de cas (fluorine, barytine, minerais métalliques, traitement des déchets, etc.), permettant de réduire l'emploi de méthodes de valorisation plus onéreuses ou de s'affranchir de paramètres sensibles intervenant dans des procédés autres que gravimétriques : cette voie est ainsi moins perturbée par des variations de composition minéralogique-chimique que la flottation, où les sels solubles, les changements dans la stœchiométrie des minéraux, la qualité de l'eau et la nature des impuretés sont des facteurs perturbants.

La réussite d'une séparation gravimétrique 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.)[5].

2.2 Concentration par nappe pelliculaire fluente

2.2.1 Principes

La longueur du parcours effectué par une particule sur un plan incliné à la surface duquel s'écoule par gravité un film liquide dépend de deux actions (figure 2.1) :

a/ La sédimentation de la particule ;
b/ Le déplacement sur le fond ;

L'un des phénomènes mis en jeu est l'alluvionnement au cours duquel les grains lourds et gros sont les premiers à rencontrer le support et peuvent se trouver piégés alors que les grains légers et fins sont emportés par le courant. Les grains qui ont atteint le support se meuvent par saltation et la vitesse d'entraînement dépend peu de leur dimension, mais de la racine carrée de leur masse volumique apparente. Ainsi, les grains ayant la masse volumique la plus élevée se trouveront à la partie basse (ou intérieure s'il y a rotation) et ceux de masse volumique la plus faible, à la partie haute (ou extérieure).

La répartition résultante des grains est à l'opposé de la sédimentation libre, d'où l'appellation de sédimentation inverse[5].

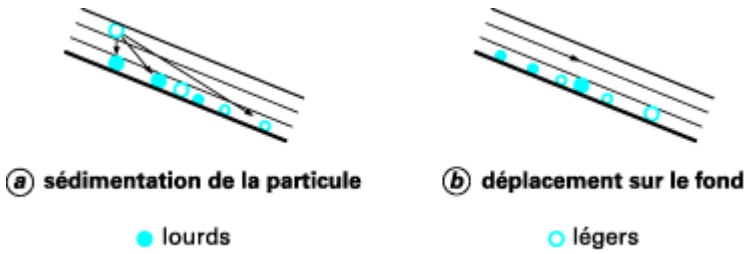

FIGURE 2.1: Principe de la concentration par nappe pelliculaire fluente

Pour améliorer la séparation, on utilise des pièges (les riffles), des contraintes transverses (plan incliné mobile) et/ou la force centrifuge (plan incliné hélicoïdal).

2.2.2 Plan incliné mobile

Principe de fonctionnement

Les particules sédimentent sur une surface plane inclinée transversalement. La concentration a lieu dans un film d'eau peu épais. Des riffles peuvent être placés perpendiculairement au courant d'eau, freinant le mouvement des lourds. Un mouvement asymétrique ou orbital du plan permet, grâce à leur inertie plus élevée, une progression longitudinale plus rapide des minéraux lourds, qui sont alors recueillis sur la portion haute du plan incliné. Cette séparation peut être favorisée par la progression du plan incliné (bande sans fin du concentrateur Crossbelt) ou par des racleurs spéciaux (séparateur multigravité).

Les particules se classent en fonction de leurs granulométries et de leurs masses volumiques[6].

2.2.3 Table à secousses

Le plateau, d'inclinaison réglable, est soumis à des secousses asymétriques longitudinales par l'intermédiaire d'un mécanisme à bielle et excentrique (Wilfley) ou à rouleau excentré (Deister Plat-O), couplés avec un ressort de rappel. Depuis peu de temps, une table à commande hydraulique contrôlée électroniquement (KHD Humboldt-Wedag, figure ci-dessous) a été mise sur le marché. Un tel type de mouvement possède un déplacement rapide vers l'avant, couplé avec un retour soudain dont le retard est réglable.

Les secousses ont un double rôle : elles permettent, d'une part la stratification, et, d'autre part, la progression et l'évacuation des particules stratifiées entre les riffles (barrettes de bois ou de plastique). Ceux-ci ont des hauteurs décroissant vers l'évacuation (13 à 22 mm côté alimentation et 1 à 2 mm côté évacuation). Dès que les grains sortent des riffles, ils sont soumis à l'effet de la nappe fluente et à celui des secousses dont la résultante provoque un triage par taille et par densité : les phénomènes en jeu sont l'alluvionnement, la chute entravée et la classification inverse. La bonne classification préalable des produits est la clé de la qualité de la séparation opérée sur une table à secousses, surtout si les masses volumiques des minéraux à séparer sont voisines[6].

Le type de rifflage dépend de la phase de traitement : il existe des dispositions pour dégrossissage, finissage ou combinant des riffles de hauteurs inégales[15].

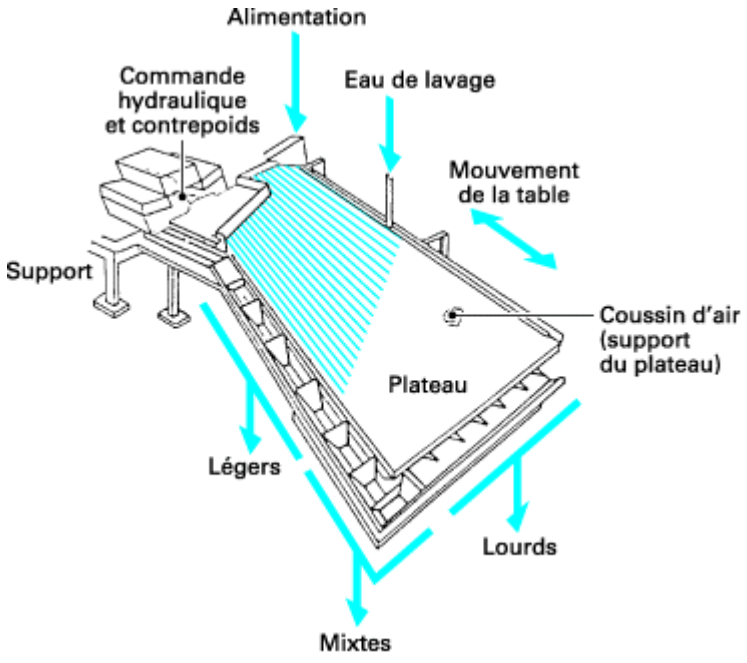

FIGURE 2.2: Table à secousses à commande hydraulique

Les tables font, en général, de 4,5 à 5 m dans le sens du mouvement et de 1,8 à 2,4 m dans le sens perpendiculaire. Elles ont une surface de 8,5 m^2 pour les minerais, un peu plus (10 à 12 m2) pour le charbon. Elles traitent des produits de dimension inférieure à 2 à 3 mm (pour les minerais) ou 6 mm (pour le charbon). Leur efficacité est bonne sur les grains de diamètre supérieur à 80 ou 100 μm, éventuellement sur des plus fins si les masses volumiques sont très différentes. Le tableau 8 donne les valeurs moyennes des paramètres de fonctionnement des tables à secousses.

Les débits restent faibles, ce qui est le principal défaut de ces appareils. Des tables

multiplateaux (2 ou 3 superposés mus par le même mécanisme) ont tenté de pallier cet inconvénient. La conduite n'est pas automatisée. Les points de prélèvement sont ajustés visuellement entre lourds, mixtes et légers. La consommation d'eau de lavage variant de 2 à 4 m^3/h, est plus importante pour les grenus que pour les fins.

Les plateaux, ainsi que la place du mécanisme, diffèrent suivant les types de tables :

dans le cas des plateaux rectangulaires, la table Wilfley présente un rifflage parallèle à leur longueur et un mécanisme d'attaque agissant selon cette direction, tandis que la table Holman a un rifflage diagonal, le mécanisme d'attaque agissant toujours parallèlement aux riffles ;

la table Deister-Overstrom a un plateau ayant l'allure d'un parallélogramme, le rifflage ayant une direction diagonale, le mouvement ayant la même direction que les riffles.

Les efforts de développement du tablage sont réalisés suivant plusieurs objectifs :

Le traitement des fines, en surimposant une vibration électromagnétique au mouvement habituel d'une table Wilfley (250 chocs/ minute). On augmente ainsi l'accélération de 10 m/s^2 à 160- 180 m/s^2 (16-18 g). Sur les minerais d'étain Boliviens, on constate un accroissement de la récupération de plus de 20% ;

le traitement de préconcentrés gravimétriques fins, insuffisamment épurés par suite de l'abondance de minéraux denses (titano-magnétite, rutile, zircon, etc.) qui diluent les métaux précieux (or et platine natifs...), rend possible le nettoyage de préconcentrés d'or sur table Holman (demi-taille industrielle) dont le mouvement avant est légèrement plus rapide que le mouvement de retour en arrière, car les quantités à traiter sont généralement faibles ;

L'augmentation des débits en modifiant les accélérations. À cet effet, des plateaux modernes sont constitués d'une double plaque en aluminium à structure nid d'abeille reposant sur coussins d'air (absence d'entretien) et portant une plaque rifflée monobloc en polyuréthanne ou en caoutchouc. Leur légèreté leur permet de supporter des accélérations pouvant atteindre 6 ou 7 g, donnant ainsi un débit unitaire supérieur aux tables classiques à 1 ou 3 plateaux[6]

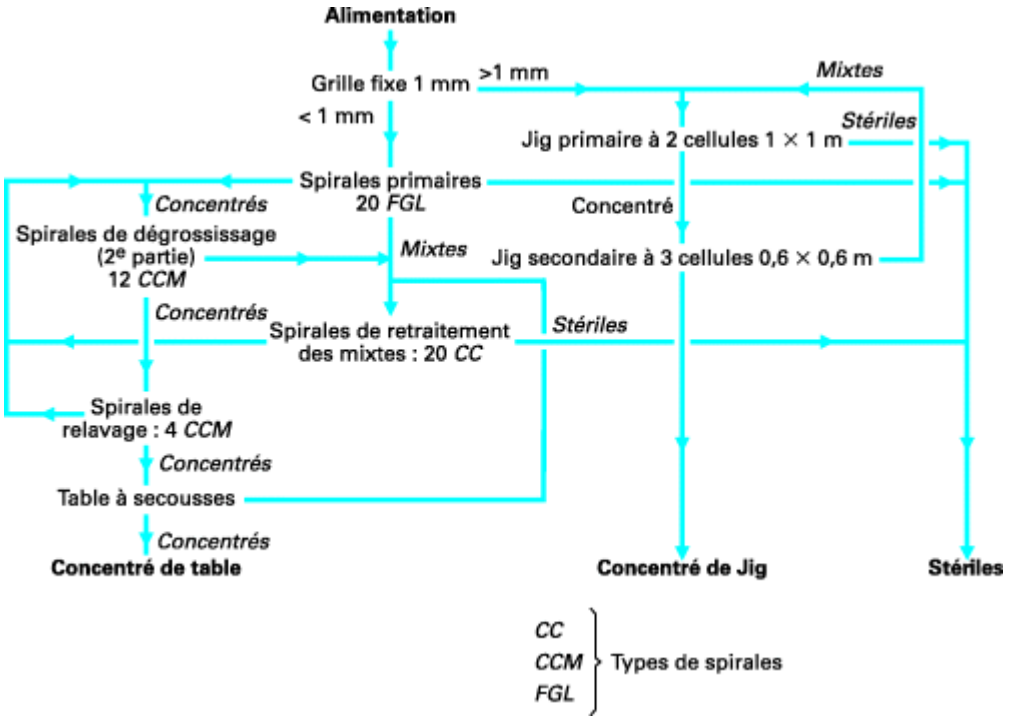

FIGURE 2.3: Schéma d'une unité mobile de traitement alluvionnaire.

Chapitre 3

Flottation

3.1 Généralités sur la Flottation

3.1.1 Définition de la Flottation

La flottation est un procédé permettant le traitement d'énormes masses rocheuses, en séparant les particules solides entres-elles, celle-ci est réalisé par la mise en profit des différences existant entre les propriétés superficielles (hydrophobie, hydrophilie) dans une solution aqueuse en présence de l'air. Ce procédé peut aussi être appliqué à la séparation solide-liquide (flottation de précipité) et à l'extraction d'ions en solution (flottation ionique).

3.1.2 Le principe de la flottation

La flottation est une méthode de séparation physico-chimique des particules solides entres elles, tel que cité ci-dessus. Le principe de la flottation des minerais est le suivant : les particules solides sont mises en suspension par agitation dans l'eau et ceci après que l'échantillon utilisé aurait subis une préparation mécanique au préalable dans le but de séparer un maximum de gangue de l'espèce minérale valorisable.

La pulpe, qui est un mélange solide-eau, est conditionné par des collecteurs qui permet à la surface du minéral d'acquérir une propriété essentielle lui permettant de flotter, c'est l'hydrophobie, celui-ci lui confère une plus grande affinité dans sa phase gazeuse beaucoup plus que dans la phase liquide. Donc a n de rendre l'activité du collecteur sélective, on fait appelle à d'autres éléments pour mieux modifier certaines surfaces minérales, ce sont les déprimants et les activants. Donc ce procédé de flottation est différentiel, il permet par exemples la séparation des sulfures, des oxydes....etc.

Ainsi après avoir conditionné la pulpe, on l'introduit dans des réacteurs munis d'agitateurs aérés (cellules de flottation) ou d'injecteurs d'air (colonne de flottation) ou bien d'électrodes (électro- flottation) a n de générer des bulles d'air et de les disperser sur la surface du réacteurs.

Les particules hydrophobes se fixent à la surface des bulles qui constituent un vecteur de transport grâce à leur mouvement ascensionnel vers la surface libre de la pulpe. Ceci conduit à la génération d'une mousse chargée en particules solides flottant à la surface de la pulpe, appelée écume. La taille ainsi que la durée de vie de la mousse dépend étroitement de la qualité et de la quantité du moussant ajouté. Ainsi le liquide est drainé par

gravité à l'intérieur de la mousse qu'on recueil par débordement.

Mais tout ceci ne peut donner les modes adéquats a n de régler la vitesse de flottation, cette dernière est plutôt déterminée par :

- L'indice de flottabilité, plus celui-ci est grand et plus grande est la probabilité de fixation des minéraux sur les bulles d'air ;
- Le nombre et les dimensions des bulles d'air ; plus leurs nombre augmente et plus la probabilité de contact des minéraux entre eux s'élève, sans oublié que la diminution de la dimension des bulles d'air jusqu'à une limite bien dé nie augmente leurs nombre.
- l'état de la mousse, plus celle-ci est solide et plus les bulles d'air ne s'éclatent pas sur la surface de la pulpe ; dans le cas contraire celle-ci s'éclate et les minéraux 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.[7]

Donc l'objectif ultime de la flottation dans l'industrie minière est de séparer des minéraux en suspensions dans un liquide en se basant sur les propriétés des surfaces des particules, a n de réussir à réaliser ce processus il est impératif de réunir ces trois conditions essentielles :[8]

- Réussir à générer des bulles d'air stables dans le but de former une mousse
- Faire adhérer les minéraux qu'on veut flotter aux bulles d'air pour les extraire et en même temps, faire en sorte que les particules qu'on considère comme étant une gangue ne doivent impérativement pas flotter en leur faisant subir un mouillage par l'eau.
- Récupération d'une mousse chargée en minéraux valorisable en faisant en sorte de les accrocher aux bulles d'air.

3.2 Classification des minéraux

Tous les minéraux sont classés selon leurs polarités ; ils sont soit polaires ou bien non-polaires, d'après les caractéristiques de leurs surfaces. Les surfaces des minéraux non polaires sont caractérisées par des liaisons relativement faibles. Leurs molécules sont liés par des liaisons de type Van Der Wals, et leurs surfaces non-polaires ne se lient pas instantanément aux dipôles de l'eau ; ce qui leur confèrent leurs propriété d'hydrophobicité. Les minéraux de ce type tel que la molybdène, le talc, le diamant, le charbon...etc ont ainsi un niveau très élevé en matière de flottabilité. Il est aussi possible de faire flotter ces minéraux sans avoir recours aux réactifs chimiques. On peut accroitre leurs hydrophobicité par l'ajout des hydrocarbures ou biens des agents moussants.

Les minéraux dont les liaisons sont de type covalentes ou bien ioniques sont des minéraux polaires, qui exhibent un très haut niveau d'énergie libérée sur leurs surfaces polaires. Les surfaces polaires réagissent fortement avec les molécules d'eau, et ces minéraux sont naturellement hydrophiles.

Les éléments polaires se subdivisent en plusieurs classes qui dépendent de leurs ordres de grandeur. Celui-ci augmenter du groupe 1 jusqu'au 5. Les minéraux se trouvant dans le groupe 3(a) peuvent devenir hydrophobes par sulfuration de la surface du minéral dans un milieu alcalin. Mis à part les métaux à l'état natif, tous les minéraux se trouvant dans le

groupe 1 sont des sulfures qui sont faiblement polarisé à cause de leurs liaisons covalentes qui sont relativement faible comparé aux liaisons ioniques des carbonates ou bien des minéraux sulfatés. En général, le degré de polarité augmente des minéraux sulfurés via les sulfates, aux carbonates, halites, phosphates...etc, ensuite les vers les oxydes-hydroxydes et en n les silicates et le quartz[9].

Group 1	*Group 2*	*Group 3(a)*	*Group 4*	*Group 5*
Galena	Barite	Cerrusite	Hematite	Zircon
Covellite	Anhydrite	Malachite	Magnetite	Willemite
Bornite	Gypsum	Azurite	Gothite	Hemimorphite
Chalcocite	Anglesite	Wulfenite	Chromite	Beryl
Chalcopyrite			Ilmenite	Feldspar
Stibnite		*Group 3(b)*	Corundum	Sillimanite
Argentite		Fluorite	Pyrolusite	Garnet
Bismuthinite		Calcite	Limonite	Quartz
Millerite		Witherite	Borax	
Cobaltite		Magnesite	Wolframite	
Arsenopyrite		Dolomite	Columbite	
Pyrite		Apatite	Tantalite	
Sphalerite		Scheelite	Rutile	
Orpiment		Smithsonite	Cassiterite	
Pentlandite		Rhodochrosite		
Realgar		Siderite		
Native Au, Pt, Ag, Cu		Monazite		

FIGURE 3.1: Classification des minéraux polaires(Wills' Mineral Processing Technology)

3.3 Les interfaces de la flottation

3.3.1 L'interface solide-liquide

L'interface solide-liquide est celle qui a le plus d'importance lors du processus de flottation qui est le lieu d'existence des phénomènes électriques (échange d'ions) ainsi que celui d'adsorption qui est le phénomène le plus important réalisé par l'ajout des réactifs chimiques de flottation

3.3.2 L'interface liquide-gaz

C'est l'interface observable lors du processus de flottation, elle met en évidence la relation se trouvant entre la solution aqueuse et les bulles d'air utilisées dans le but d'entrainer les particules hydrophobes au concentré. Cet interface est influencé par l'ajout des moussants (dont on parlera après) qui abaisse la tension de l'interface liquide-gaz et donc l'énergie potentielle de la bulle d'air dans l'eau a n que cette dernière reste plus à l'aise dans la phase liquide.

3.3.3 Système solide-liquide-gaz

Les interfaces telles qu'elles ont été décrites n'existent pas en soi, mais plutôt en relation étroite l'une avec l'autre. Les propriétés du système délimité par les trois phases de l'eau, la particule minérale et la bulle d'air, soit l'angle de contact et l'adhésion, sont très

importantes en flottation ; en fait, le comportement de ce système permet de déterminer la flottabilité d'une espèce minérale[7]

3.4 Réactifs de la Flottation

Les réactifs de flottation sont des substances chimiques qu'on ajoute à la pulpe dans le but de réaliser une flottation sélective des minéraux et ainsi améliorer son efficacité. Ceux-ci se divisent en deux classes et qui sont :

- Les réactifs de flottation agissant sur la surface des minéraux qu'on divise en groupes selon leurs fonctions et qui sont : Les collecteurs, Les déprimants (dépresseurs), les activants, et les régulateurs de milieu.
- Les réactifs de flottation agissant sur la surface de séparation gaz-liquide. Ce sont les moussants qui font disperser l'air aspiré dans la cellule de flottation et contribue à la formation d'une mousse stable et solide[7].

Les exigences aux réactifs de flottation

Les réactifs de flottation doivent être : Non couteux, non déficitaire, stables lors du stockage, solubles dans l'eau, non toxique, leur action doit être sélective et leur qualité doit être standardisée.

Les collecteurs

L'hydrophobicité doit être imputé à la plus grande partie des minéraux afin de les faire flotter. Dans le but de réaliser ceci, des réactifs connus sous le nom de collecteurs sont ajouté à la pulpe et du temps devrait lui être accordé lors de l'agitation. Ce temps là est appelé "le temps de conditionnement. Les collecteurs sont des substances organiques qui se fixent sur la surface de certains minéraux et augmentent leur flottabilité. Ils permettent la réduction de la mouiabilité des minéraux par la formation sur leur surface d'une pellicule hydrophobe contribuant à l'adhésion des minéraux aux bulles d'air. Les collecteurs peuvent être des composants ionisant, apte à se dissocier dans l'eau comme ils peuvent être des composants non-ionisants, qui sont pratiquement insoluble et tendent à le rendre imperméable en couvrant sa surface avec une couche fine.

Le champ d'application des collecteurs ionogènes est très large dans la flottation. Ceux-ci ont une composition moléculaire complexe qui a une structure asymétrique et sont hétéro polaire, i.e. que la molécule contient un groupe hydrocarbure non polaire et un autre polaire. L'hydrocarbure non polarisé offre des propriétés imperméables tandis que le groupe polaire réagit avec l'eau.

Les collecteurs ionogènes sont classé selon le type de l'ion, l'anion ou le cation qui produise l'e et d'imperméabilité dans l'eau, cette classification est donnée dans la figure 3.2

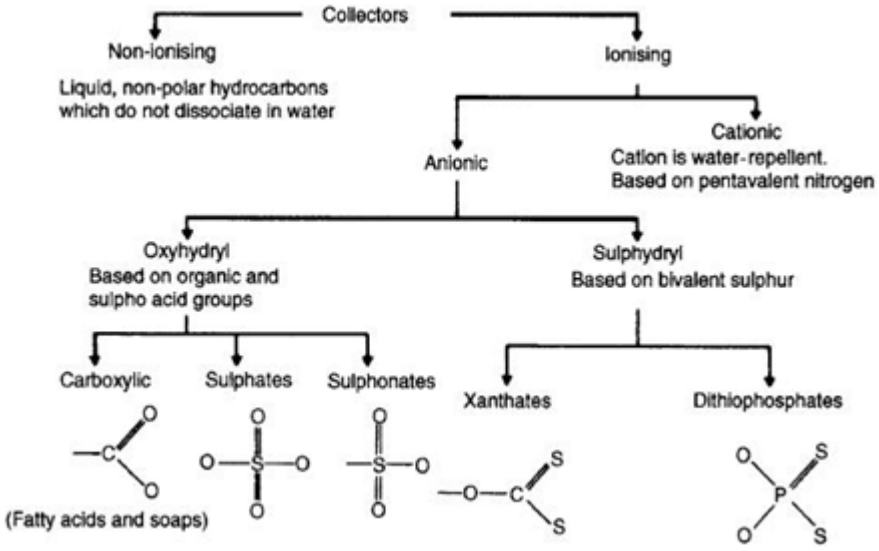

FIGURE 3.2: Classification des collecteurs (Glembotskii et al. 1972)

Les collecteurs ionogènes se subdivisent donc en deux groupes selon la figure, qui sont des collecteurs anioniques ou bien cationique mais il existe aussi un autre type de collecteurs ionogènes, ceux sont les collecteurs amphtoréiques.

À cause de l'attraction chimique, physique ou bien électrique existant entre les parties polaires et la surface du minerai, les collecteurs adsorbent sur les particules avec leurs terminaisons non-polaires orientées vers la solution en masse, en offrant ainsi une hydrophobicité aux particules. Ils sont généralement utilisé en petites quantité, surtout ceux utilisé pour former une couche mono-moléculaire sur les surface des particules, car mis a part leurs coût, ceux-ci tendent à flotter d'autres minéraux en réduisant la sélectivité. Il est toujours difficile d'éliminer un collecteur déjà adsorbé que d'éviter son adsorption.

Une concentration excessive du collecteur peut aussi avoir un e et inverse sur la récupération du minerai utile en réduisant la proportion des radicaux d'hydrocarbures orientés sur la solution en masse. Ainsi l'hydrophobicité des particules est ainsi réduite et par conséquent leurs flottabilités aussi.

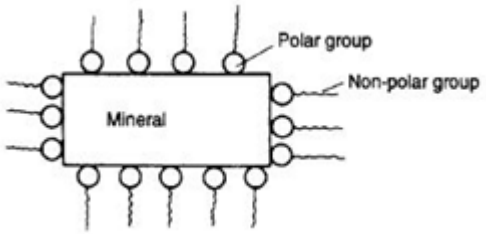

FIGURE 3.3: L'adsorption d'un collecteur sur la surface d'un minerai

Les collecteurs amphotériques

Les collecteurs amphotériques tels que les acides aminiques possèdent une fonction anionique ainsi qu'une fonction cationique, ils dépendent du ph du milieu. Ils sont utilisé pour le traitement des dépôts de phosphates sédimentaires et d'améliorer la flottation

sélective de la cassiterite.

Les collecteurs anioniques

Ce type de collecteur est le plus largement utilisé dans la flottation des minéraux ils regroupent les carboxyles (Les acides carboxyliques et leurs sels ...etc) qui sont utilisé pour la flottation des minéraux non sulfurés, et aussi les Tiocarboxyl tels que les Aéroflotes ainsi que le Xanthates (utilisé dans notre projet de n d'étude) qui sont utilisé pour la flottation des minéraux sulfurés.

Les collecteurs cationiques

La propriété caractérisant ce groupe de collecteurs est l'imperméabilité produite par leurs cations et qui sont les amines ainsi que leurs sels. Les anions de ce type de collecteurs sont généralement les halites et plus rarement les hydroxides, qui n'ont aucun e et sur la réaction avec le minerai utilisé. Les collecteurs cationiques sont très sensibles au pH du milieur, étant plus actives dans des solutions peu acides et inactives dans dans les solutions très alkalines et acide. Ils sont utilisé pour la flottation des oxydes, carbonates, silicates, et les métaux terreux alcalins tel que la baryte et la sylivite.

Les déprimants

: Les déprimants ou bien dépresseurs sont des substances ayant grand rôle dans la flottation qui consiste à augmenter la sélectivité d'action des collecteurs par rapport aux minéraux à valoriser, car les minéraux appartenant à une même classe sont flotté par un même collecteur. Ils assurent la dissolution de la couche du collecteur qui se trouve sur la surface du minéral à dépression et la création des conditions qui empêchent la formation d'une telle couche.

Ainsi le déprimant sert à annuler l'e et du collecteur sur certaines surfaces minérales précises, i.e. : à réduire le pourcentage de gangue se trouvant dans le concentré en le faisant plonger au fond de la pulpe pour qu'il ne remonte pas avec la mousse.

Plusieurs types de déprimants existent ainsi que leurs actions sont complexes et variés et dans le plus grand des cas pas totalement comprise, ce qui rend la dépression plus difficile à contrôler que l'application d'autres types de réactifs, surtout quand la phase moussante est affectée par leurs action.

Les activants

Ce sont des réactifs chimiques qui altèrent la nature chimique des surfaces minérales a n de les rendre hydrophobes lors de leur contact avec les collecteurs. Les activants sont généralement des sels solubles qui s'ionisent dans une solution, et ces ions réagissent ensuite avec les surfaces des minéraux.

Dans le cas de notre projet de fin d'étude, on réalise l'activation de la sphalérite (blende) par le cuivre car sa flottation ne peut être satisfaite à 100% juste par l'utilisation du xanthate comme collecteur. La formation des produits des collecteurs tels que le xanthate du zinc sont relativement solubles dans l'eau, et donc ne peut former de couches hydrophobes autour du minéral. A n d'améliorer notre flottation on peut augmenter la quantité du collecteur utilisé mais celle-ci ne peut qu'augmenter les dépenses et ainsi

diminuer les profits de l'industrie elle-même. Donc la méthode la plus satisfaisante est celle de l'utilisation du sulfure de cuivre ($CuSO_4$) comme activant qui est déjà soluble et dissocié dans les ions de cuivre dans la solution.

L'activation est due à la formation de molécules de sulfures de cuivre sur la surface du minéral car le cuivre a une électronégativité supérieure à celle du zinc et par conséquent s'ionise plus lentement selon cette équation :

$$ZnS + Cu_2 \leftrightarrow CuS + Zn^{2+}$$

Les sulfures de cuivre se déposent ainsi sur la surface de la sphalérite et réagit avec le xanthate a n de former du xanthate de cuivre insoluble. Ceci tend à rendre la surface de la sphalérite hydrophobe.

L'utilisation des sulfures de cuivre comme activant est beaucoup plus destiné aux minéraux plombo-zincifère, car après la flottation du plomb, la sphalérite est activé et ainsi flotté. Les ions de cuivre peuvent aussi agir comme étant des activants de la galène, la calcite ainsi que la pyrite. Quand la sphalérite est associé avec la pyrite (minerai métallique sulfuré) la sélectivité est assuré par une alcalinité élevé (ph variant de 10.5 à 12) de la pulpe[2].

Les régulateurs de milieu

:

Les régulateurs, ou bien modifiants, du milieu sont utilisé de manière extensive dans la flottation dans le but de modifier l'action du collecteur, que ce soit pour intensifier ou bien pour diminuer l'e et de son imperméabilité sur la surface du minéral. Ainsi ils rendent l'action du collecteur plus sélective envers certain minéraux afin d'éliminer les ions indésirables. Les régulateurs du milieu peuvent être aussi classés comme étant des activants, déprimants ou bien des modificateurs du pH.

Les moussants

Les moussants sont ajouté pour stabilisé la formation des bulles dans la pulpe, afin de créer une mousse raisonnablement stable pour permettre un drainage sélective à partir de la mousse d'une gangue entretenue, et aussi pour augmenter la cinétique de la flottation. L'importance de la phase moussante pour la performance de la flottation est entrain d'être reconnu de plus en plus, et les facteurs affectant la stabilité de la mousse sont sujets à des recherches extensives.

Les moussants sont, dans plusieurs aspects, similaire aux collecteurs ionogènes, et bien-sûr, nombreux collecteurs sont de puissants moussants, étant en réalité trop puissant pour être utilisé comme moussants étant donné la mousse produite peut être bien stable pour permettre un transport effective à d'autres procédés. Un bon moussant, doit avoir un pouvoir collecteur négligeable et aussi doit pouvoir produire une mousse qui est juste stable pour facilité le transfert des minéraux flottants de la surface d'une cellule vers une laverie pour les collecter.

Les moussants sont généralement des réactifs organiques hétéro-polaire apte à l'adsorption sur l'interface gaz-liquide a n de faire remonter les particules du minerai utile

dans les bulles d'air et laisser les autres retomber au fond de l'eau dans la cellule.

L'activité des moussant est ainsi due à l'aptitude de la mousse à adsorber sur l'interface gaz-liquide à cause de l'activité existant sur sa surface et aussi a n de réduire la tension superficielle, et donc stabiliser les bulles d'air. Les moussants doivent aussi être solubles dans le but de réaliser une bonne distribution de celui-ci dans la solution aqueuse et ainsi pour rendre son activité très effective.

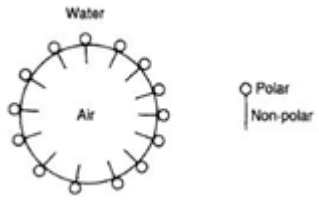

FIGURE 3.4: Schéma montrant l'action des moussants sur la surface d'une particule

D'après leur action de flottation, les moussants sont subdivisé en deux groupes :

Moussants agissant sélectivement Ce sont des moussants qui ne possèdent pas l'activité du collecteur, utilisé lors de la flottation sélective, i.e. lors de la séparation des minéraux avec la flottabilité proche. On peut citer comme exemples : le Crésol qui est toxique et les alcools cycliques

Les Moussants agissant non-sélectivement Ce sont des moussants qui possèdent l'activité du collecteur utilisé lors du cycle de flottation collective, on peut citer comme exemple les alcools aromatiques tel que l'huile de pin qui est le moussant le plus actif et le plus utilisé.

3.5 Paramètres influant sur la flottation

Dans le but d'optimiser le rendement du processus de flottation (avoir un maximum de concentré sans avoir à dépenser beaucoup plus qu'il n'en faut de réactifs de flottation ainsi que d'énergie),il faudrait prendre plusieurs paramètres en compte qu'ils aient une relation avec les propriétés physico-chimiques du minerai ou bien en relation avec le milieu de flottation, on cite les plus importants ci dessous :

3.5.1 Influence des dimensions du minerai

La préparation mécanique du minerai, avant son enrichissement, est d'une importance capitale car son but principal est la libération du minerai utile en atteignant la maille optimale permettant sa récupération avec un minimum de gangue. Ainsi le mode ainsi que le degré de broyage a une grande importance et influence sur le rendement de l'opération car un sous-broyage ne conduit pas à la libération optimale du minerai utile tandis qu'un sur-broyage créerait probablement un phénomène de Slimecoating qui conduit au recouvrement des particules minérales par les ultra fines ; connus aussi sous le nom de schlamms, et donc la fixation du collecteur sera gêné et ainsi le rendement de l'opération sera diminué considérablement.

3.5.2 L'importance du pH

Il est évident que l'alcalinité de la pulpe joue un rôle très important, même très complexe, et en pratique, la sélectivité dans les séparations complexes dépendent délicatement de l'équilibre se trouvant entre le réactif utilisé, sa concentration et le pH. Quand c'est possible, la flottation est réalisée dans un milieu alcalins, vu que les collecteurs sont stables dans ces conditions et aussi elle minimise la corrosion des cellules de flottation ou bien les colonnes..etc. On modifie l'alcalinité d'une solution en ajoutant des régulateurs de milieu qui sont souvent utilisé en quantités significatives dans presque touts les processus de flottation. En plus de ça ils sont moins chères que les collecteurs et les moussants

3.5.3 L'importance de la densité de la pulpe

La densité de la pulpe est caractérisée par la dilution ou bien par la teneur de celle-ci en solide. Elle est caractérisée par le rapport solide-liquide dans la cellule. La dilution de la pulpe exerce son influence sur les indices technologiques de la flottation (degré d'extraction du minéral utile dans le produit de mousse, et la teneur de minéral utile dans le concentré) et aussi sur les indices technico-économique (Consommation des réactifs de flottation, le débit des machines de flottation etc . . .).

En augmentant le rapport solide liquide lors de la flottation, ceci conduit impérativement à la diminution de la consommation des réactifs de flottation[7].

Il est indésirable d'avoir les pulpes très denses. Ainsi que les pulpes très diluées. La dilution optimale de la pulpe dépend de la grosseur du minerai à flotter, de la densité de la destination des opérations de flottation, de la qualité de produit de mousse ; La densité optimale de la pulpe augmente avec augmentation de la grosseur et de la densité du minéral à flotter. Lors de la flottation des minéraux déschlammés on utilise une flottation avec une pulpe diluée. A n de diminuer les pertes du minéral utile dans le rejet on utilise les pulpes plus denses (flottation principale et de contrôle).

3.5.4 L'importance de la température

Généralement la température utilisé lors du procédé de flottation est celle du lieu de travail, pour certaines opérations il est préférable de chauffer la pulpe à environ 45 jusqu'à 55°C surtout si cette pulpe contient des hydrocarbures lourds.

En général l'influence de la température sur la flottation est difficile à déterminer, car celle-ci agit aussi bien sur la pulpe que sur les réactifs de flottation ajouté et ainsi elle peut influer sur le collecteur et plus précisément sur sa stabilité et/ou sur les interactions ion-collecteur. Dans les deux cas son e et peut être aussi bien bénéfique que néfaste, ce qu'on puisse dire qu'il est imprévisible[10].

3.5.5 L'importance du potentiel rédox

Des travaux conduis en Australie ainsi qu'aux USA ont montré que certains minéraux sulfurés peuvent être flotté en l'absence de collecteurs, sous des conditions bien spécifiques. Toutes ces études laissent entendre que, si ce n'est à cause de l'oxygène lui-même, il faudrait bel bien avoir recours à un potentiel redox pour pouvoir réaliser une flottation sans collecteurs. Il fut bien établi que la flottation sans collecteurs est bien plus efficace

sous l'influence de conditions d'oxydation seulement ainsi que la surface minérale du minerai utilisé ne doit être sujette à aucune réaction d'oxydation (Selon des tests établis par Luttrell et Yoon en 1984 sur 6 différents échantillons de chalcopyrite).

Toutefois, le rôle du potentiel redox est jusqu'à aujourd'hui mal compris et que son application sur des pulpes ayant une minéralisation complexe (un mélange de sulfures) soit encore très limité.

3.5.6 L'influence d'un champ magnétique sur l'eau

Cette technique est récente, celle-ci, dans de nombreux cas, a influé considérablement sur l'augmentation de l'efficacité du traitement dont le mode d'action n'est pas encore éclairci. Ce traitement consiste à faire passer l'eau à travers un champ magnétique. L'eau acquiert certaines propriétés anormales et qu'il va conserver pendant plusieurs heures voir même des jours. V.I.Klassen cite trois cas différent de traitement magnétique du liquide et qui sont :

Traitement de la pulpe avant la flottation

: Des essais faits sur des minerais de phosphate, de cuivre et de manganèse ont montré une augmentation considérable des teneurs des concentrés ainsi que leurs rendements. Ce procédé est aussi utilisé sur un minerai plombo-zincifère dans la laverie de Soumarsk.

Traitement des solutions des réactifs

: L'effet du champ magnétique sur l'action des xanthates est très béni- que ainsi que sur les acides gras et sur les moussants.

Traitement des suspensions de solides fins

: Elle permet d'améliorer l'action de clarification de certaines suspension (celle du kaolin par exemple) et les résultats sont meilleurs que ceux obtenus à l'aide de coagulants .

Ceci nous permet de dire que, dans n'importe quel cas, le traitement magnétique des solutions influe sur la cinétique du phénomène.

3.6 Types de Flottation

Il existe plusieurs types de flottation utilisés dans l'industrie et qui sont connu sous les noms de la flottation directe et la flottation indirecte

3.6.1 Flottation directe

La flottation directe est utilisée dans le but d'extraire la substance utile (celle qu'on veut valoriser) comme étant le produit moussant, remontant en surface et prêt à déborder tout en faisant en sorte de laisser la gangue plonger au fond de la cellule (respectivement au niveau inférieure de la colonne). Ce type de flottation est le plus souvent utilisé si la quantité du minerai à valoriser est petite ou bien pour purifier un concentré déjà obtenu des impuretés qui sont restés collé à celui-ci, et ceci afin de minimiser l'utilisation des réactifs de flottation ainsi que le temps de flottation et d'avoir un rendement optimale d'extraction du concentré.

3.6.2 Flottation indirecte

Ce procédé consiste à faire flotter la gangue, et de laisser le minerai utile comme étant un produit de cellule. Ce procédé là est beaucoup plus utilisé lorsque la flottation sélective de certains types de minéraux s'avère difficile car les conditions à réaliser pour ceci sont ardu et très difficile à conserver.

Toutefois, il existe aussi un autre type de flottation qui est rarement utilisé, c'est l'Electro-Flottation.

3.6.3 Electro-Flottation

La flottation dans les industries de traitement et de valorisation des minerais est rarement appliquée à des particules dont les dimensions sont inférieures à $10\mu m$ à cause des difficultés rencontrées pour le contrôle des dimensions des bulles d'air. Pour des particules ultra fines, des bulles extrêmement fines doivent être générées pour améliorer leurs attachements. Ce type de bulles est apte à être généré par des procédés d'électrolyse in-situ dans des cellules de flottation modifiées ; c'est l'Electro-flottation. L'Electro-Flottation fut utilisée pendant une certaine période pour le traitement des rejets a n de faire flotté des solides à partir des suspensions. Un courent continu est passé à travers la pulpe dans la cellule à l'aide de deux électrodes, générant ainsi un flot de bulles d'hydrogène et d'oxygène.

Ce type de flottation est beaucoup plus utilisé pour le traitement des eaux usées à cause de son excellente sélectivité ainsi que dans les industries alimentaires. Celle-ci pourrait avoir un rôle dans le futur pour le traitement des minerais utiles renfermés dans des particules très fines.

3.7 Les machines de Flottation

Les principaux objectifs qu'une machine de flottation doit accomplir sont l'aération de la pulpe et d'assurer la dispersion homogène des particules solides dans la pulpe. Ces deux critères là sont les critères les plus importants sur lesquelles se base toute analyse sur la performance d'une machine de flottation[11].

Ces critères là sont nécessaire mais pas suffisant pour le choix de la méthode de flottation, car il ne faudrait surtout pas oublier de prendre en compte des paramètres cités auparavant, et qui influent sur le rendement du processus de flottation malgré leurs indépendance de la machine de flottation, mais dont on doit impérativement prendre compte dans le but d'optimiser le rendement de ce processus.

3.7.1 Historique des machines de flottation

Lorsque le procédé de flottation fut mis en marche, les bulles de gaz ont pu origine au départ l'action des acides, et on utilisait aussi la flottation pelliculaire dans le procédé de BAVAY et MAC QUISTEN ainsi que la flottation sous vide (Blazy). C'est bien après que le procédé de flottation par écume fut mis en place.

À partir de 1927, l'utilisation des machines de flottation dans les installations de préparation des minerais augmenta considérablement ainsi que les technologies utilisées

pour améliorer leur travail.

3.7.2 Classification des machines de flottation

Plusieurs machines ont été mise en place pour réaliser les procédés de flottation et plusieurs autres furent développé ou bien placardisé au l du temps. On constate que les machines de flottation sont partagées en deux différents groupes : les machines pneumatiques et les machines mécaniques. Le type de machines relève d'une importance capitale dans le but de concevoir des installations de flottation et soulève les plus grands débats.

Les machines pneumatiques

Les machines pneumatiques utilisent ou bien l'air généré par l'ajout de la pulpe en turbulence ou bien plus communément l'ajout de l'air qu'il soit sou é ou bien induit, dans ce cas là l'air doit être dispersé sur tout le volume de la cellule/colonne.

Généralement le rendement des machines pneumatique n'est pas tout à fait satisfaisant car celles-ci donnent une basse teneur en concentré et génèrent des troubles lors du processus. Depuis que l'air fut utilisé non pas seulement dans le but de produire de la mousse et d'aérer la cellule, mais aussi pour maintenir la suspension et la faire circuler, des quantités excessives sont introduites. Ces raisons là ainsi que plusieurs autres sont la cause qui a conduit des utilisations très faibles et limités de ce type de machines. Les machines de flottation pneumatiques les plus connus sont : La cellule de Jameson, La cellule de Davcra ainsi que la colonne de flottation.

La colonne de flottation : La colonne de flottation fut réalisée dans les années 60 par Pierre Boutin et Rémi Tremblayau, au Canada. Elle est formé par un simple tube ayant une hauteur plus grande que la surface de section transversale, ainsi que des cellules traditionnelles ne contenant aucune partie mobile en son enceinte.

Deux types de zones sont distingués dans la colonne de flottation : une zone de collection et une zone d'écume séparée par une interface qui détermine la longueur de chacune de ces zones. La pulpe est ainsi introduite dans la colonne et en son bas on injecte de l'air à l'aide d'un générateur de bulles, qui cheminent à contre courant de la pulpe. Dans la partie supérieure, on asperge de l'eau dans le but d'assurer le lavage des mousses recueillies.

Dans une colonne de flottation la taille des bulles peut être modifiée sans avoir à changer la concentration des collecteurs (contrairement aux cellules), en modifiant la pression du diffuseur d'air. Cette particularité nous permet ainsi d'assurer une compatibilité optimale entre les dimensions des bulles d'air et celles des particules solides.

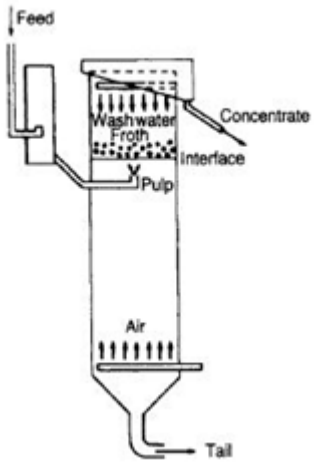

FIGURE 3.5: Schéma descriptif d'une colonne de flottation.

Les machines mécaniques

Ce type de machines/cellules est composé d'une section très turbulente produite par une turbine qui génère l'agitation nécessaire a n de maintenir la suspension des particules, disperser les bulles d'air et aussi maintenir le contact entre les particules minéralisé et les bulles. En plus de ça, la cellule doit contenir une zone inactive ou les bulles chargés de minerai utile peuvent aller à la surface de la cellule sans perte de particules due à la turbulence disruptive.

Différents types de cellules ont été fabriqué et développé afin de satisfaire ces besoins là. La récolte de la mousse à partir de la cellule peut être réalisée soit par son débordement ou bien par un raclage. Parmi les exemples les plus courants pour ce type de machines de flottation on trouve : les cellules de Denver.

Cellule de flottation de Denver La cellule de flottation de Denver est constituée d'un bac cubique. On y'in-troduit l'air par l'espace prévu autour de l'axe de la turbine, l'aspiration est due à la cavitation de la turbine qui provoque une dépression tandis que ses aubes produisent à l'aide des déflecteurs un mélange de bulles d'air et de pulpe. Des aérateurs mécaniques sont utilisés dans le but d'ajouter de l'air afin de supresser la cellule ain d'augmenter les nombres de bulles et ainsi multiplier les interfaces liquide-air

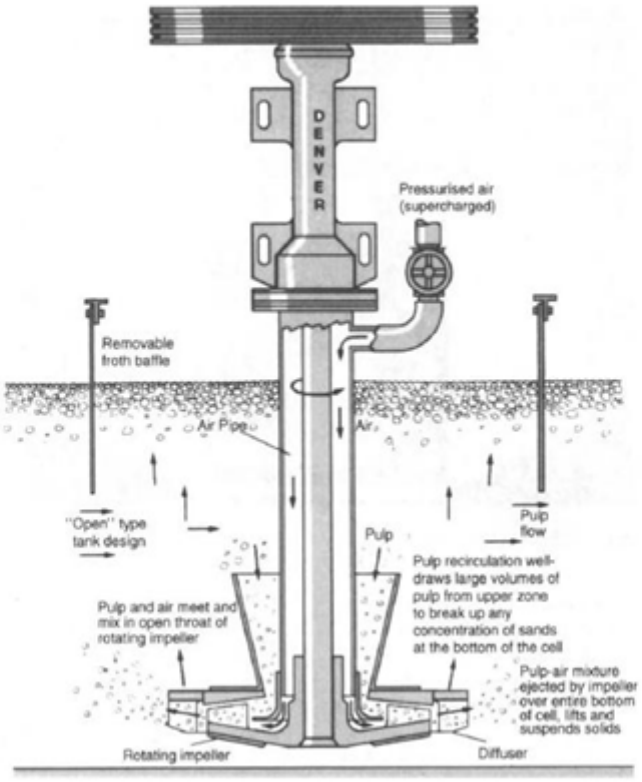

FIGURE 3.6: Schéma descriptif de la cellule de flottation de Denver

3.7.3 Comparaison entre les machines de flottation

Sélectionner un type particulier de machine de flottation fut et est encore sujet à de nombreux et grands débats et controverses, les critères majeures pour déterminer la performance d'une cellule par rapport à une autre sont :

- La performance métallurgique, i.e. : la quantité du produit récupéré ainsi que sa pureté.
- La rentabilité économique du minerai traité en prenant tous les coûts nécessaires à la production de ce minerai.
- La capacité de production i.e., le nombre de tonnes de produit ni par unité de volume.

En plus des facteurs cités ci-dessus, il existe d'autres facteurs moins tangibles, tel que la facilité des opérations et les expériences réalisées par d'autres personnes précédemment peuvent aussi contribuer à faire le choix. Donc, faire une comparaison directe entre les cellules n'est pas aussi simple qu'il y parait.

Une comparaison entre les déférents types de cellules peut être réalisé, tel que la comparaison entre le type mécanique et le pneumatique, qui devrait être basé sur la performance métallurgique quand on teste un même type de pulpe dans des courants parallèles, et même ainsi les résultats restent suspects ; ceci dépend beaucoup plus des talents de l'opérateurs ainsi que de se préjudices, car un opérateur entrainé à faire une flottation dans un certain type de cellule préférera celle-ci à coup sur par rapport aux autres.

En général, il n'existe que de petite différence entre les différents équipements mécaniques de la flottation et la sélection de l'un par rapport à un autre dépend beaucoup plus d'un choix personnel de l'opérateur. L'un des problèmes fondamentaux qui entravent cette comparaison, c'est qu'une cellule de flottation est nécessaire pour accomplir bien plus qu'une opération de flottation sélective ; elle est nécessaire a n de recueillir un maximum de particules de minerai utile dans un concentré avec un minimum de pulpe, ceci dépend du ratio de raclage de la mousse, qui peut aussi être affecté par plusieurs autres paramètre, tel que la quantité ainsi que le type de réactifs ajouté, la vitesse de rotation de la turbine , de l'aération ainsi que de la position de l'interface pulpe-mousse.

Des recherches ont montré que la taille de la bulle contenant les particules solide dans ce type de machines est compris entre 0.1 et 1mm, ces dimensions sont contrôlés par les moussants et les collecteurs et donc la machine n'influe que sur le schéma de l'écoulement dans la cellule et de maintenir les particules solides en suspension ainsi que de disperser les bulles d'air grâce à la vitesse de rotation de la turbine ainsi que de ses chicanes. Tandis que dans les colonnes de flottation (machines de flottation pneumatique) la taille de la bulle est de 0.01mm à 0.1mm dont la formation est assuré par un diffuseur de porosité variable et par conséquent on peut varier leurs tailles en activant le nombre de pores voulu en faisant varier la pression de l'air comme cité précédemment.

Les équipements pneumatiques présentent aussi deux avantages majeures par rapport aux mécaniques et qui sont :

- Réduction de la flottation parasitaire par ajout d'eau de lavage
- Faible turbulence du milieu ce qui diminue la probabilité de détachement des particules chargées en minerai utile des bulles d'air et ceci est due à la distribution étroite des bulles d'air dans la colonne ce qui leur confère une taille réduite.
- Forte probabilité de collision entre les particules solides chargées en minerai utile et les bulles d'air du fait de la hauteur importante de la colonne de flottation.

Pour conclure, des analyses établis par Young en 1982 montrent que les colonnes de flottation sont plus performantes que les machines mécaniques alors que ce denier type constitue le parti dominant dans les industries occidentales ainsi que la familiarité des ingénieurs juste avec ce type de machines, et ceci est due à des raisons purement commerciales qu'à des raison de conception. Cependant, dans un futur proche, il est plus que probable que les machines mécaniques de flottation feront face à l'ascension d'un autre type de machine qui aurait un rendement plus efficace tout en étant moins couteux en matière d'argent et d'énergie

Chapitre 4

Essais de laboratoire et interprétation

4.1 Méthodologie et protocole analytique

4.1.1 Échantillonnage

L'échantillonnage est une étape très importante dans toute étude géologique et/ou minière. Celui-ci permet de réduire la fraction à étudier à partir d'un lot primaire en le divisant en plusieurs autres échantillons selon divers processus, que ce soit manuellement ou bien mécaniquement. L'échantillonnage donc assure la représentativité de notre minerai prélevé. Concernant l'échantillonnage des rejets prélevés à partir de la mine de Boucaïd, nous avons divisé la zone étudiée sous forme de losange en prenant 3 points cités dans le tableau ci-dessous :

Point	Latitude	Longitude
1erPoint	35°53' 88.6" N	1°36' 53.2" E
2ePoint	35°53' 37.4" N	1°36' 53.4" E
3ePoint	35°53' 28.6" N	1°36' 53.4" E

TABLE 4.1: Table des coordonnées de la situation géographique des rejets

4.1.2 Préparation de l'échantillon

Séchage a l'aire libre

Le séchage à l'air libre est une méthode simple sert à mettre l'échantillon a l'aire libre pendant 48h au minimum afin d'enlever l'humidité et de le sécher afin de travailler facilement avec un échantillon sec

FIGURE 4.1: Séchage de l'échantillon à l'aire libre

Broyage manuel

Les rejets sont préalablement broyés, Nonobstant, les particules grossières feront l'objet d'unbroyage manuel dans le but de diminuer la taille des grains afin d'obtenir un échantillon homogène.

FIGURE 4.2: broyage de l'échantillon manuellement

Homogénéisation

Après avoir réduit la taille des blocs du minerai, on a procédé à l'homogénéisation du minerai, et cela en le mettant sur des grands sacs ayant une forme parallélépipédique très mince tout en effectuant un brassage pendant une durée déterminée (20 minutes environ).

Quartage manuelle

Après avoir homogénéisé notre minerai, on procède au quartage manuel. Ce procédé consiste à partager le minerai homogénéisé en quatre quarts ayant la même proportion, dont les deux quarts opposés seront ceux qui formeront notre échantillon. Dans notre cas nous avons effectué le quartage quatre fois, pour le 1eréchantillon afin d'obtenir un échantillon ayant une masse avoisinant 2.5 kg et trois fois pour le 2eéchantillon pour avoir aussi une masse proche de la précédente.

FIGURE 4.3: broyage de l'échantillon manuellement

4.2 Essais de la Table a secousse

La séparation par la nappe pelliculaire fluente dépond de plusieurs paramètres comme la grosseur des grains, la solidité du fluide, la pente d'inclinaison de la table à secousse et le débit d'eau.

On fixe ces paramètres pour tout les essais afin d'obtenir des meilleur résultats. On prend un échantillon du tout-venant manuellement concassé, on pèse 200g, on le met dans un bêcher de 1000ml on verse de l'eau de robinet jusqu'à 750 ml.

On déverse l'échantillon dans la boite d'alimentation de la table à secousse et on règle le débit d'eau pour avoir un bon arrosage pour permettre aux grains de bien se répartir

afin de récupérer les particules du concentré dans la zone des lourds (zones 1 et 2)

-la pulpe ne doit pas contenir plus de 50% de la quantité des solides ;
-on refait l'essaie plusieurs fois pour atteindre la masse nécessaire pour la flottation qui est 450g ;

FIGURE 4.4: la table à secousse du laboratoire lors de l'essai

4.2.1 Séchage

Après avoir récupérer la masse finale et la versé dans un bêcher, on le met dans l'étuve pendant 24h a 80°C minimum

FIGURE 4.5: les béchers dans l'étuve

4.3 Essai de Flottation

On prépare les solutions suivantes avec une dilution de 2%. Sulfate de cuivre $CuSO_4$, cyanure de potassium KCN, sulfate de Zinc $ZnSO_4$, xanthate, silicate de sodium Na_2SiO_3.

On prépare Les régulateur de milieu avec une dilution de 6% Chaux CaO, carbonate de sodium $NaCO_3$.

FIGURE 4.6: les solutions préparées au laboratoire pour la flottation

La cellule de flottation (type Denver D12) doit être remplie d'eau, puis on ajoute le minerai préalablement séché de façon à obtenir une pulpe d'environ 30% en solide. Dans notre cas, l'essai comprend 450g de minerai pour 1.5L d'eau.On lance l'agitateur jusqu'à l'homogénéisation pendant 5 min.

FIGURE 4.7: la cellule de flottation DENVER utilisé lors de nos essais

4.3.1 Flottation du Plomb

Le pH = 9

Réactif	Type	concentration (g/t	volume (ml)	T.A Temps d'agitation (min)
caronate de sodiume	régulateur de Ph	/	/	5
cyanure de potasium KCN	déprimant	40	0,9	3
sulfate de Zinc $ZnSO_4$	Activant	60	1,5	3
Xanthate	Collecteur	100	2,25	3
huile de pin	Moussant	/	une goutte	1

TABLE 4.2: Tableau regroupant les réactifs de flottation du Plomb

4.3.2 Flottation du Zinc

Le pH = 11

Réactif	Type	concentration (g/t)	volume (ml)	T.A Temps d'agitation (min)
La chaux	régulateur de Ph	/	/	5
silicate de sodium Na_2SiO_3	déprimant	50	1.12	3
sulfate de cuivre $CuSO_4$	Activant	300	6.75	3
Xanthate	Collecteur	100	2,25	3
huile de pin	Moussant	/	une goutte	1

TABLE 4.3: Tableau regroupant les réactifs de flottation du Zinc

FIGURE 4.8: concentré du zinc après la flottation

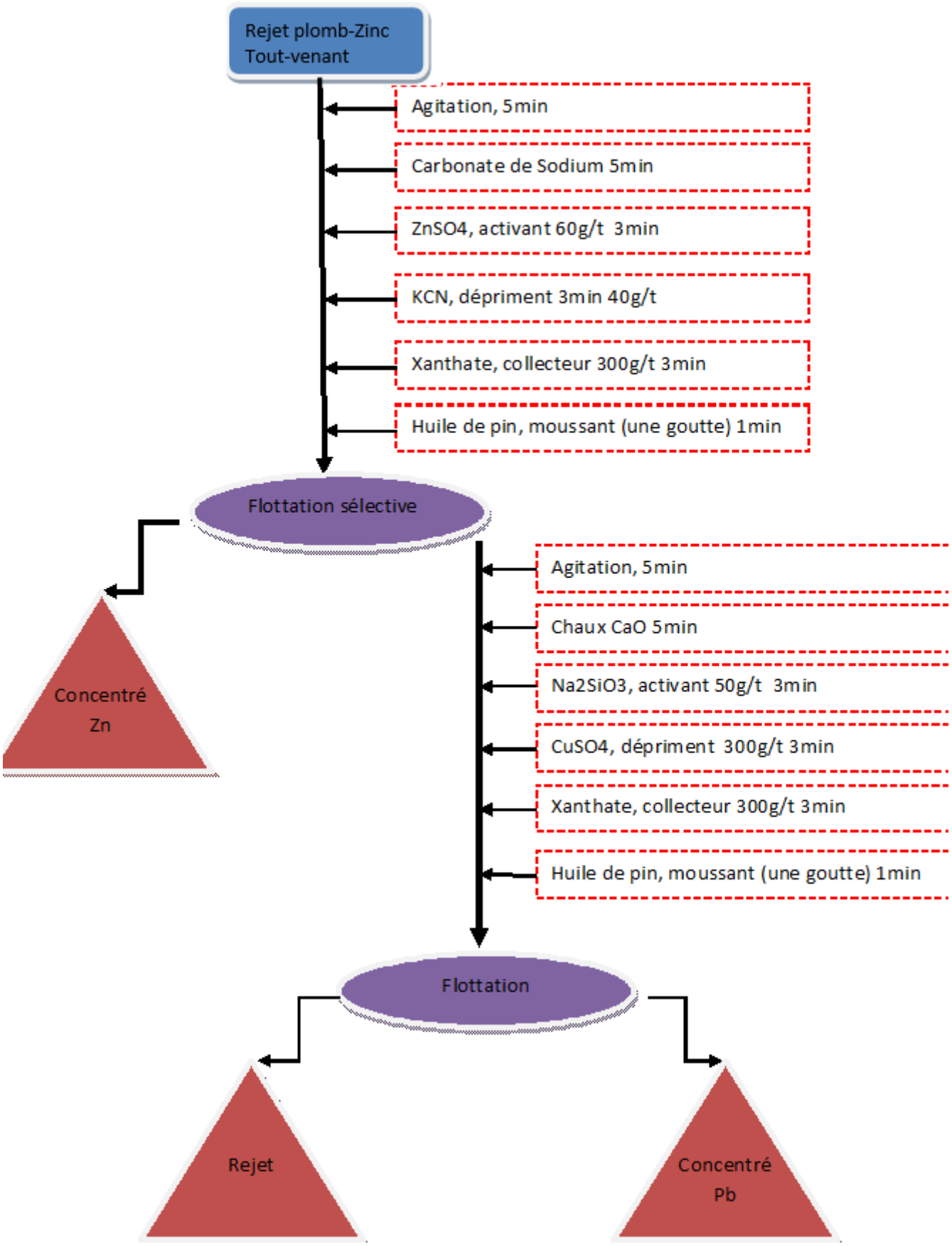

FIGURE 4.9: Schéma relatif a la flottation

4.3.3 Décantation, Filtration et séchage

Après récupération des concentrés dans des bacs on les verse dans des bêcher et on filtre à l'aide du papier filtre Les bécher sont été séchés à l'étuve pendant 24h

FIGURE 4.10: Décantation et machine de filtration

4.4 Résultats et interprétation

Concentré	masse (g)	Rendement pondérale(RP)
Plomb (Pb)	22	4.88%
Zinc (Zn)	41	9.11%

TABLE 4.4: Résultat de flottation

Il est à noter que la quantité du Zinc est supérieure à celle du Plomb, ce qui fait que le rendement pondéral est élevé pour le Zinc (9.11%), cela implique que le Zinc est

valorisable.

Les essais portent sur l'impact d'un pré-traitement gravimétrique des rejets de la mine de Boucaid sur l'efficacité des essais de flottation, en effet, le rendement de la flottation de plomb a montré que le plomb n'est pas valorisable.

Conclusion Générale et Perspectives

Lors de ce travail effectué sur un échantillon des rejets pombo-zincifières de Boucaïd, les essais nous ont permis de déterminer que le zinc est valorisable compte tenu de son rendement pondéral contrairement au plomb qui n'est pas valorisable.

Cette décision n'est pas finale, on doit jouer sur les paramètres qui influent sur la séparation gravimétrique et la flottation afin d'obtenir les meilleurs résultats pour chaque minerai et de pouvoir décider si ces deux éléments sont valorisables.

Le prétraitement par table à secousses nous a aidé à éliminer les particules légères et avoir un concentré contenant des particules denses ainsi que des éléments mixtes, ce qui nous a permis d'obtenir un bon résultat de flottation

Bibliographie

[1] *Bourbala Brahim and Moussaoui El Abbas,Essais de valorisation de la barytine du gisement de bou-caïd par flottation.* 2012.

[2] *Traitement du minerai de baryte au niveau de l'usine.* 2016.

[3] *ENOF,Gisement de Lakhdar.* 2016.

[4] *ENOF,Rapport final.* 2016.

[5] .

[6] *BLAZY Pierre et JOUSSEMET Robert,Concentration par gravité Différentes technologies.* 2005.

[7] *MERCHICHI Amira, Etude géochimique et traitement des rejets de la digue provenant de la mine de Kherzet youcef et Chaabet el hamra.* 2013.

[8] *Klassen V.I.,Magnetic treatment of water and aqueous systems in flotation and thickening of ores and coals. Leningrad.* 2012.

[9] Barry A Wilss et Tim Napier-Munn. *Barry A Wilss et Tim Napier-Munn,Mineral Processing Technology.,* 2006.

[10] *Klassen V.I.,Magnetic treatment of water and aqueous systems in flotation and thickening of ores and coals. Leningrad.* 2012.

[11] *Ould Hamou Malek,Cours de Flottation.* 2016.