

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

Mémoire de master

**Thème :**

Valorisation des rejets miniers plombo-zincifères de la mine de  
Kherzet-Youcef (W.Setif) par flottation et pré-traitement  
gravimétrique

**Réalisé par :**

Medjitena Mehdi

Sous la direction de Mlle Merchichi Amira

Présenté(e) et soutenue publiquement le (21/06/2017)

**Composition du Jury :**

Président	M. Malek Ould Hamou	Docteur	ENP
Rapporteur	Mlle, Merchichi Amira	Enseignante	ENP
Examineur	M. Rezki Akkal	Docteur	ENP



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

Mémoire de master

**Thème :**

Valorisation des rejets miniers plombo-zincifères de la mine de  
Kherzet-Youcef (W.Setif) par flottation et pré-traitement  
gravimétrique

**Réalisé par :**

Medjitena Mehdi

Sous la direction de Mlle Merchichi Amira

Présenté(e) et soutenue publiquement le (21/06/2017)

**Composition du Jury :**

Président	M. Malek Ould Hamou	Docteur	ENP
Rapporteur	Mlle, Merchichi Amira	Enseignante	ENP
Examineur	M. Rezki Akkal	Docteur	ENP

## ملخص:

النفائيات المنجية تعتبر نتائج حتمية لإستغلال المناجم، و تساهم بشكل رئيسي في التدهور البيئي و تلويث المساحات المحيطة بها .

الهدف من عملنا هو القيام بمعالجة هذه النفائيات المنجمية المأخوذة من مجمع خرزة يوسف (و.سطيف) و منجم بوقايد (و.الشلف) من أجل معرفة مدى قابلية المعادن النافعة الموجودة فيها، و هي: الرصاص و الزنك للثمين باستعمال عملية التعويم و ذلك بتغيير مختلف الثوابت المتعلقة بها من أجل ضبطها، باستعمال معالجة قبلية عن الطريق الفصل الثقلي بالإعتماد على الطاولة الاهتزازية

هذا العمل سيمكننا من القول إن كانت طريقة التثمين قابلة للتحقيق بالإعتماد على الكتل النسبية للمعادن النافعة الموجودة في كل عينة و تأثيرها على البيئة.

كلمات مفتاحية:

النفائيات المنجمية- مجمع خرزة يوسف-التثمين- التعويم- فصل ثقلي- طاولة اهتزازية

## Abstract :

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

The purpose of this work is to treat the mining wastes of Kherzet-Youcef complex (W.Sétif) to establish if the ore's minerals ,namely: lead and zinc are recoverable by the flotation process using gravity processings with shaking table

This work will allow to determine if these recovery process is achievable using the results of useful mineral's weights in each sample and their impact over the environment

Key words:

mining waste- Kherzet-Youcef complex- recovery- flotation- weight

## Résumé :

Les rejets miniers sont une conséquence inévitable de l'exploitation minière ; contribuant à la dégradation environnementale et à la contamination des espaces environnants.

Le but de notre travail est de traiter les rejets miniers du complexe de Kherzet-Youcef (W.Sétif) 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 en utilisant ses paramètres optimaux établis lors du mémoire de l'ingénieur , en les ayant pré-traité préalablement par des méthodes gravimétriques avec 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 chaque échantillon et l'impact qu'elle pourrait avoir sur l'environnement.

Mots clés :

Rejets miniers- Complexe de Kherzet-Youcef- Valorisation- Flottation- Séparation gravimétrique- table à secousse

# Table des matières

Liste des tableaux

Table des figures

Liste des Symboles

<b>1</b>	<b>Introduction Générale</b>	<b>11</b>
<b>I</b>	<b>Flottation et valorisation des rejets miniers :</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>La flottation comme procédé de valorisation</b>	<b>13</b>
2.1	Historique . . . . .	13
2.2	Généralités sur la Flottation . . . . .	14
2.2.1	Définition de la Flottation . . . . .	14
2.2.2	Le principe de la flottation . . . . .	14
2.3	Réactifs de la Flottation . . . . .	16
2.3.1	Les exigences aux réactifs de flottation . . . . .	16
2.4	Paramètres de flottation . . . . .	16
2.5	Types de Flottation . . . . .	17
2.5.1	Flottation directe . . . . .	17
2.5.2	Flottation indirecte . . . . .	17
2.5.3	Electro-Flottation . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Procédés de Séparation gravimétrique</b>	<b>19</b>
3.1	Introduction . . . . .	19
3.2	Principes de la concentration gravimétrique . . . . .	20
3.3	Séparateurs gravimétriques . . . . .	21
3.4	Table à Secousse . . . . .	22
3.4.1	Que ce qu'une table à secousse? . . . . .	23
3.4.2	Principe de fonctionnement . . . . .	23
3.4.3	Paramètres influençant le procédé de table à secousses . . . . .	24
3.4.4	La taille des particules . . . . .	25

3.4.5	L'amplitude des vibration	25
3.4.6	Le rifflage	25
<b>II</b>	<b>Présentation de la zone d'étude</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>Le gisement de Kherzet Youcef</b>	<b>27</b>
4.1	Situation Géographique	27
4.2	Historique des Travaux	28
4.3	Topographie	28
4.4	Aspect Climatologique	29
4.4.1	Précipitations :	29
4.4.2	Température :	30
4.4.3	Vents et Evapotranspiration :	30
4.5	Hydrologie et Hydrogéologie	30
4.6	Géologie	32
4.6.1	Géologie Régionale	33
4.6.2	Géologie Locale	33
4.7	Minéralisation	35
4.8	Réserves Géologiques	36
4.8.1	Réserves du gisement	36
4.9	Traitement du Minerai au Niveau de l'Usine	37
4.9.1	Les différentes installations de la laverie [3]	38
4.9.2	Traitement :	39
<b>III</b>	<b>Essais de Laboratoire et Interprétation des résultats</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>Méthodologie et Protocole Analytique</b>	<b>43</b>
5.1	Descrpton de l'échantillon	43
5.2	Échantillonnage	43
5.3	Préparation de l'échantillon	43
5.3.1	Homogénéisation	43
5.3.2	Quartage Manuel	44
5.3.3	Diviseur rotatif	44
5.4	Séparation Gravimétrique	45
5.4.1	Table à Secousses	45
5.4.2	mode opératoire	45
5.5	Flottation	46
<b>6</b>	<b>Résultats et Interprétations</b>	<b>48</b>
6.0.1	Interprétation	48

<b>IV Conclusion Générale</b>	<b>49</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>51</b>

# Liste des tableaux

4.1	Précipitation de la région de Ain-Azal 1990-2010 . . . . .	30
4.2	Tableau montrant les réserves estimées par M.Dolenc selon la méthode des profils parallèles [8] . . . . .	36
4.3	Tableau montrant les réserves estimées par M.Strucl selon la méthode des projections horizontales [8] . . . . .	37
5.1	Tableau regroupant les réactifs de flottation du plomb pour l'échantillon de Kherzet-Youcef . . . . .	46
5.2	Tableau regroupant les réactifs de flottation du zinc pour l'échantillon de Kherzet-Youcef . . . . .	47
6.1	Tableau regroupant les résultats obtenus lors de la flottation de l'échantillon pré-traité . . . . .	48

# Table des figures

3.1	Les intervalles dimensionnels de l'application des méthodes de séparation conventionnelles . . . . .	21
3.2	Le comportement des particules minérales dans un écoulement d'une solution . . . . .	23
3.3	Principe de fonctionnement d'une table à secousse . . . . .	24
4.1	Situation Géographique de la mine de Kherzet Youcef . . . . .	27
4.2	Carte topographique N°143 de Ain-Azel au 1/50 000. . . . .	29
4.3	coupe hydrogéologique de la région de Kherzet-Youcef[2] . . . . .	32
4.4	Situation de la zone d'étude dans le dispositif structural de la chaîne alpine d'Algérie nord-orientale.[3] . . . . .	33
4.5	Schéma structural simplifié de la région d'Ain Azel (extrait de la carte géologique N°143 au 1/50 000 d'Ain Azel) (Villa, 1977) 43 . . . . .	34
4.6	Image satellitaire montrant les installations du complexe minier de Kherzet-Youcef . . . . .	38
4.7	Schéma technologique de traitement du minerai zincifere du complexe de Kherzet Youcef [3] . . . . .	40
5.1	Homogénéisation de l'échantillon . . . . .	44
5.2	Diviseur rotatif . . . . .	44
5.3	Table à secousse du laboratoire du génie minier . . . . .	45

# Liste des symboles

°C	Degré Celsius
$BaSO_4$	Sulfate de Baryum
$CuSO_4$	Sulfate de Cuivre
$V_{col}$	Volume du collecteur
AFNOR	Association Française de Normalisation
Ag	Argent
ANRH	Agence National des Ressources Hydrauliques
AP	potentiel de production d'acide
Au	l'or
Ba	Symbole chimique de la barytine
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
Cu	Cuivre
DMA	Drainage Minier Acide
DNC	Drainage Neutre Contaminé
DRA	Drainage Rocheux Acide
DRX	Diffraction des Rayons-X
ENOF	Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles
ETM	Elements à trace métallique
g	gramme
i.e	c'est à dire
L	Litre
mm	millimètre
MO	Matière organique
NNP	potentiel net de neutralisation

## Remerciements

*A Mamdemoiselle Merchíhí, pour nous avoir encadré, suivi, encouragé et beaucoup conseillé durant la rédaction de mon mémoire, je vous serai à jamais reconnaissant, mille mercis.*

*A l'ensemble des professeurs qui m'ont énormément aidé et soutenu durant tout mon parcours d'étudiant pour tout ce qu'ils ont pu me transmettre, je les remercie tous.*

*Je remercie M. Ould Hamou Malek d'avoir accepté de présider ce jury et aussi pour nous avoir aidés lors de nos travaux au sein de notre laboratoire*

*Mes plus sincères remerciements à Monsieur AKKAL d'avoir accepté d'être membre de jury et examiner mon mémoire.*

*Enfin, nous voulons exprimer notre reconnaissance envers nos famille familles respectives, nos proches, nos camarades de classe et tous nos amis qui nous ont apporté leur support moral, intellectuel tout au long de cette démarche et leurs soutiens inconditionnels.*

## *Dédicaces*

*Ce travail vient clôturer 19 ans du dur labeur au cours desquelles j'ai pu compter sur le soutien inébranlable de mes parents qui ont su m'encourager et contribuer à ma réussite.*

*Je dédie donc ce travail à ces deux êtres chers qui n'ont rien ménager pour voir ce jour bénit arriver.*

*Je tiens aussi à dédier ce travail à tous ceux qui ont contribué à son élaboration, sans qui, il n'aurait pu voir le jour.*

*Ce travail est aussi pour vous mes chères sœurs.*

*Une fière chandelle à mes camarades de classes, spécialement à ceux que j'ai côtoyé au sein de notre laboratoire durant ces 4 derniers mois.*

*Aussi, un grand merci à tous ceux qui ce sont donnés de la peine de se déplacer lors de ce mois de ramadan dans l'unique but de partager cette joie avec moi.*

*Mehdi*

# Chapitre 1

## Introduction Générale

En vue d'obtenir le diplôme de master en génie minier, dans ce modeste document je vais essayer de faire une optimisation de nos essais de traitement des rejets miniers plombo-zincifères, mon collègue a choisis l'échantillon de Boucaïd, tandis que ceux établis par moi-même sont ceux qui concernent les rejets de Kherzet-Youcef.

Ce document sera considéré comme étant un préambule pour d'autres recherches de valorisation des rejets miniers. La méthode choisi pour l'enrichissement de cet échantillon sera la méthode gravimétrique à l'aide d'une table à secousse. Le but sera d'élaborer un pré-concentré ayant des caractéristiques optimales qui sera sujet à une flottation sélective afin d'avoir un concentré plus pure que celui obtenu lors de notre projet de fin d'étude.

Ceci n'est qu'une supposition, et ce sera à l'aide de ce travail que nous allons confirmer ou infirmer cette hypothèse, et voir même de découler sur de nombreuses autres problématiques

## **Première partie**

# **Flottation et valorisation des rejets miniers :**

# Chapitre 2

## La flottation comme procédé de valorisation

### 2.1 Historique

L'activité minière est l'une des plus anciennes activités industrielles que les êtres humains ont pratiqué, et ceci depuis l'antiquité. Au fil du temps celle-ci a connu plusieurs développements et évolutions en y introduisant de nombreux procédés aidant à la valorisation et l'extraction des substances utiles tout en améliorant la qualité du produit.

Vers la fin du 19<sup>e</sup> siècle, la méthode de séparation gravimétrique était la plus répandue, elle était largement utilisée dans l'industrie minière pour la valorisation de minerais utiles. Le problème posé pour ce processus, c'est que celui-ci est destiné beaucoup plus à l'enrichissement de concentrés ayant des particules dont les dimensions sont grossières, ce qui rendait la valorisation des minerais à minéralisations fines et dispersées extrêmement difficile et coûteux en terme d'énergie et d'argent.

C'est ainsi, qu'en 1906 le principe de la flottation fut mis au point dans le but de valoriser les minerais ayant de faibles teneurs en minerais utiles et les gisements à minéralisation complexe, étant considérés comme économiquement non-rentables. À titre d'exemple, l'existence de types de rejets issus des procédés gravimétriques dont la teneur en minerai utile est supérieure à des gisements exploités actuellement par flottation.

La flottation est un processus sélectif, pouvant être utilisé pour la séparation de certains métaux renfermés dans des minerais complexes tels que le plomb-zinc, le cuivre-zinc...etc. Elle fut utilisée initialement dans le but de traiter les minéraux sulfurés qui sont les sulfures de cuivre, de plomb et de zinc. Au fil du temps, ce procédé a été développé pour inclure aussi, les platines, le nickel, l'or se trouvant dans des minéralisations sulfurées, ainsi que pour les oxydes tels que : l'hématite, la cassitérite et aussi pour les minéraux oxydés tels que la malachite et la

cerussite, sans oublier les minerais non-métalliques tels que la fluorine et les phosphate[9].

Ces développements que la flottation a connu, sont liés à trois grandes périodes, vu la mise sur le marché d'une grande quantité de réactifs appelés collecteurs, ceux-ci confèrent l'hydrophobicité nécessaire aux surfaces minérales. Par exemple : pour la flottation des sulfures, on utilisait les acides gras naturels, ensuite on synthétisa des collecteurs de type dithiocarbonates et dithiophosphates, ayant une grande affinité pour les sulfures conduisant à de faibles consommations. Enfin, arrivèrent sur le marché, dans un troisième temps, d'autres collecteurs de synthèse tels que les amines, les alkyl sulfonates et les alkylsulfates, permettant de flotter des oxydes et des sels (Blazy 2000).

Le procédé de flottation est aussi utilisé dans d'autres industries que les industries minières, tel que le traitement des eaux usées afin de séparer les huiles insolubles et les particules en suspension, ainsi que dans l'industrie du papier pour son désancrage et ainsi le préparer pour le recyclage [3].

## 2.2 Généralités sur la Flottation

### 2.2.1 Définition de la Flottation

La flottation est un procédé permettant le traitement d'énormes masses rocheuses, en séparant les particules solides entre-elles, celle-ci est réalisé par la mise en profit des différences existant entre les propriétés superficielles de ces particules (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 ).

### 2.2.2 Le principe de la flottation

La flottation est une méthode de séparation physico-chimique des particules solides entre-elles, tel que cités 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 subi 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 permettent à la surface du minéral d'acquérir une propriété essentielle lui permettant de flotter, c'est l'hydrophobicité, cette propriété lui confère une plus grande affinité dans sa phase gazeuse, plus que dans la phase liquide. Donc afin 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) afin 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 recueille par débordement.

Mais tout ceci ne peut donner les modes adéquats permettant 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 oublier que la diminution de la dimension des bulles d'air jusqu'à une limite bien définie 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.[11]

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, pour que ce processus aboutisse, il est impératif de réunir ces trois conditions essentielles [3] :

- 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.

## 2.3 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 (depresseurs), les activateurs, 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 contribuent à la formation d'une mousse stable et solide.[11]

**Remarque** Cette partie est revue plus en détail dans notre mémoire de fin d'étude

### 2.3.1 Les exigences aux réactifs de flottation

Les réactifs de flottation doivent être : Non coûteux, non déficitaire, stables lors du stockage, solubles dans l'eau, non toxique, leurs action doit être sélective et leurs qualité doit être standardisé.[11]

## 2.4 Paramètres de 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 :

- Influence des dimension des particules minérales : une bonne préparation mécanique du minerai conduit à une bonne libération des mailles contenant des particules de minerai utile
- La variation de la valeur du pH du milieu
- La densité de la pulpe qui se caractérise par la dilution ou bien par sa teneur en grains solides. Celle-ci varie selon le type du minerai qu'on veut faire flotter, sa grosseur et sa densité.
- la température du milieu de flottation
- Le potentiel rédox de la pulpe

- l'utilisation d'un champ magnétique sur l'eau

## 2.5 Types de Flottation

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

### 2.5.1 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 collés 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 optimal d'extraction du concentré.

### 2.5.2 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 ardues et très difficiles à conserver.[4]

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

### 2.5.3 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 leur attachement. 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 afin de faire flotter des solides à partir des suspensions. On fait passer courant continu 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.[9]

# Chapitre 3

## Procédés de Séparation gravimétrique

### 3.1 Introduction

Les processus gravimétriques pour l'enrichissement des minerais utiles étaient largement utilisés depuis l'expansion de l'industrie minière, i.e : depuis la révolution industrielle au 18<sup>e</sup> siècle et a connu son apogée au 19<sup>e</sup> siècle. Cette méthode est utilisée dans le traitement et la valorisation d'une très grande variété de minéraux, allant des sulfures tels que la galène et la sphalérite au charbon, dont les particules peuvent atteindre, parfois, des dimensions en dessous de 50 $\mu$ m.

L'importance des méthodes de séparation gravimétrique a commencé à décliner lors de la première partie du 20<sup>e</sup> siècle et ceci à cause du développement du processus de flottation qui permet le traitement de minerais ayant de bien plus faibles dimension et à minéralisations complexes. Cependant, cette méthode reste la plus utilisée pour l'enrichissement de minerais renfermant du fer, du tungstène, de l'étain ainsi que du charbon et plusieurs autres minerais à usages industriels.

Récemment, de nombreuses entreprises minières ont dues re-évaluer les processus de traitements qu'elles utilisent du fait de l'augmentation des coûts relatifs aux réactifs de flottation, ce qui les a conduit à renouer avec les méthodes gravimétriques, surtout que les rejets miniers qu'elles produisent sont à peu près du même ordre.

Les techniques gravimétriques modernes ont prouvé leurs efficacité pour la valorisation de minéraux contenant des particules ayant des dimensions de l'ordre de 50 $\mu$ m et ayant été couplé avec des instruments et technologies de pompages améliorées, elles ont été incorporées à des installations ayant de grandes capacités [10]. Dans de nombreux cas, on peut, du moins, faire un pré-traitement dans le but de former des pré-concentrés de grandes proportions de notre substance contenue dans le corps minéralisé à l'aide de processus gravimétriques simples, non-coûteux et acceptables d'un point de vue écologique ; ainsi la quantité des réactifs et du

carburant peuvent être réduites significativement.

Les techniques gravimétriques sont de plus en plus utilisées dans le but de récupérer les minéraux\métaux lourds. Mis à part les récentes exploitations minières, il existe de grosses quantités de tailings qui peuvent être re-valoriser à des coûts amoindris pouvant donner des quantités significatives de concentré en utilisant les technologies les plus récentes.[9]

## 3.2 Principes de la concentration gravimétrique

Les méthodes de concentration gravimétrique permettent la séparation de minéraux qui diffèrent de par leurs spécificités gravimétrique par leurs mouvement relatifs à la force de gravité ainsi qu'à plusieurs autres forces telles que les forces de frottement visqueux des fluides utilisés ( air, eau ).

Pour une séparation mécanique efficace, il est essentiel de mettre en évidence les différences de densité existantes entre les particules de minéral utile ainsi que celles de la gangue. Certaines idées concernant les types de séparation possible peuvent être obtenues à partir des critères de concentrations.

$$\frac{D_h - D_f}{D_l - D_f}$$

tel que :

- $D_h$  est le poids spécifique des métaux lourds (heavy metals);
- $D_l$  est le poids spécifiques des métaux légers (light metals);
- $D_f$  est le poids spécifique relatif au fluide

En général, lorsque ce rapport est supérieur à 2.5, en valeur absolue, alors le procédé de séparation gravimétrique devrait être relativement facile, l'efficacité du processus de séparation gravimétrique décroît avec la décroissance de la valeur de ce rapport.

Le mouvement d'une particule dans un fluide ne dépend pas seulement de ces spécificités gravimétriques, mais aussi de sa taille ; les particules grossières seront affectées beaucoup plus que les fines. L'efficacité des processus gravimétriques, augmente avec la taille des particules, et celles-ci doivent être suffisamment grosses pour bouger en concordance avec les lois de Newton.

Les particules étant trop petites dont le mouvement est principalement dominé par les surfaces de friction répondant d'une manière relativement pauvre aux grandes capacités commerciales des méthodes gravimétriques. En pratique, il est nécessaire de contrôler les dimensions

des particules minérales alimentant les processus gravimétriques afin de réduire les effets de leurs tailles et rendre le mouvement relatif aux particules spécifiquement dépendant des forces de gravité.

### 3.3 Séparateurs gravimétriques

Différentes machines ont été conçues dans le passé dans le but de réaliser la séparation des minéraux utiles de la gangue en utilisant les forces de gravité, qui furent revues par Burt en 1985.

De nombreux instruments utilisés pour la séparation gravimétrique sont devenus obsolètes, donc dans ce chapitre on ne décrira que les instruments gravimétriques qui sont d'actualité. La classification des séparateurs gravimétriques les plus communément utilisés selon la taille des particules l'alimentant sont illustrés dans la figure 3.1

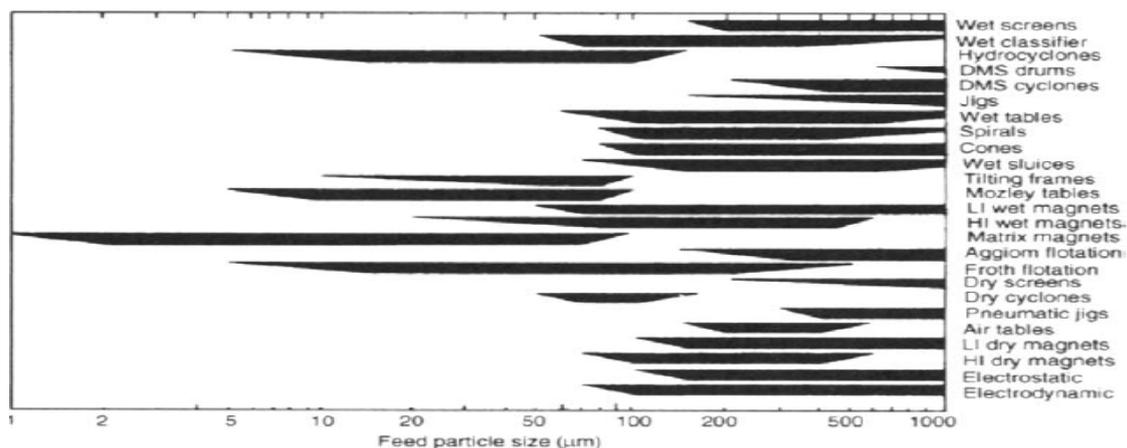


FIGURE 3.1 – Les intervalles dimensionnels de l'application des méthodes de séparation conventionnelles

Parmi les méthodes les plus largement utilisées, on trouve celle de la séparation par milieu dense qui permet l'élaboration de pré-concentrés à partir de minerais ayant déjà subi une préparation mécanique au préalable. Donc il est essentiel pour le bon fonctionnement des séparateurs gravimétriques que les aliments soient minutieusement préparés, ces derniers sont très sensibles à la présence des fines particules, ce qui tend à faire augmenter la viscosité de la matière liquide ( la pulpe ) et diminuer par conséquent l'efficacité de la séparation. Dans les pratiques les plus communes, lors de l'utilisation des fines particules, les particules ayant des dimensions inférieures à 10µm sont éliminées des produits d'alimentation et les entreposées avec les rejets du concentrateur. Ceci peut influencer sur la qualité du produit fini et sur la valorisation en général.

L'élimination des schlames de notre pulpe est d'une importance impérative afin d'augmenter le rendement pondéral et par conséquent la pureté de notre concentré en minerai utile. Ceci se fait généralement au moyen d'hydrocyclone ou bien si les classificateurs hydrauliques sont utilisés pour préparer notre pré-concentré, on effectue le déschlammage dans cette étape afin de minimiser les pertes en minerai utile.

L'un des aspects les plus importants dans la séparation gravimétrique est de trouver un équilibre en eau dans les installations. En général, la plus grande partie des séparateurs\concentrateurs gravimétriques ont un optimum pour la densité de la pulpe les alimentant, tel qu'une petite déviation de cette valeur peut réduire considérablement l'efficacité de ce travail ; ce qui montre l'importance du contrôle de la densité de la pulpe.

L'utilisation des procédés gravimétriques requiert l'utilisation d'une énorme quantité d'eau pour alimenter les différents équipements nécessaires pour sa réussite, donc il est impératif de recycler l'eau utilisée afin d'éviter son gaspillage.

Si le minerai contient une quantité appréciable en sulfures, si le broyage primaire donne des particules de dimensions de moins de 300 $\mu$ m, alors celles-ci doivent être éliminées par flottation avant de faire une séparation gravimétrique pour éviter de réduire la performance des séparateurs gravimétriques. Par contre, si les particules minérales sont grossières pour effectuer une flottation alors il est nécessaire de faire une séparation gravimétrique avant d'éliminer les sulfures.

Le produit final obtenu lors d'une séparation gravimétrique, a souvent besoin d'être purifié. Cette purification se fait par une séparation magnétique, par filtration ou par quelques autres méthodes dans le but d'éliminer les autres minéraux contaminants.[9]

### 3.4 Table à Secousse

Quand un flux d'eau passe à travers, une surface plate et inclinée, l'eau qui est la plus proche de la surface est retardée par la friction sur la surface ; la viscosité augmente envers la surface d'eau. Si les particules minérales sont introduites dans le flux d'eau, les petites particules ne bougent pas assez rapidement que celles qui sont grossières, vu qu'elles seront submergées par la portion la plus lente de ce film. Les particules ayant un grand poids spécifique se déplaceront plus lentement que celles qui sont plus légères causant ainsi un déplacement latéral des matériaux.

L'écoulement de ce film sépare efficacement les particules grossières et légères de celles qui sont petites et denses, un mécanisme utilisé dans une certaine mesure dans les tables à secousse

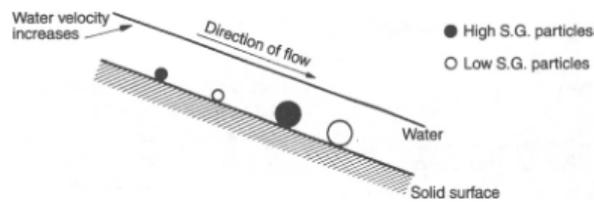
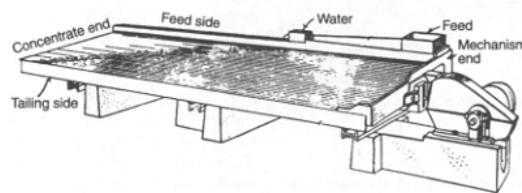


FIGURE 3.2 – Le comportement des particules minérales dans un écoulement d’une solution

### 3.4.1 Que ce qu’une table à secousse ?

La table à secousse est composée d’un plateau incliné réglable. On introduit notre pulpe dans la boîte d’alimentation, pouvant contenir environ 25% de particules solides et est distribuée le long de la table ; l’eau est distribuée aux côtés de la boîte d’alimentation. La table vibre de manière longitudinale à l’aide d’un mécanisme à bielle et excentrique ou bien à rouleau excentré [12]. Ce type de mouvement se fait par un déplacement rapide vers l’avant couplé d’un retour soudain.



Le plateau de la table est généralement fabriqué à base de bois doublé ou d’autres matériaux ayant des coefficients de friction très élevés tels que le caoutchouc, et le plastique. Des plateaux à base de fibres de verre sont aussi utilisés. Les rifles relatifs à ces types de tables à secousses sont incorporés comme étant une part du moule. [9]

### 3.4.2 Principe de fonctionnement

Les particules minérales sont ainsi sujettes à deux forces, celles dues aux mouvements de la table et celles dues au flux de la nappe fluente d’eau. Ceci aurait un effet net sur le mouvement diagonal des particules à travers le plateau de la table, et vu que l’effet de la nappe fluente dépend étroitement de la densité et de la taille des particules minérales, celles-ci s’étaleront tout au long de la table. Les particules, les plus petites, denses se superposeront vers l’exutoire le plus loin de la table, tandis que les particules les plus légères passent au dessus des rifles. Ceci est mieux illustré dans la figure ci-dessous. On y ajoute aussi un séparateur à l’exutoire par lequel les concentrés sont évacués dans le but d’avoir deux catégories de concentrés : Un concentré ayant un degré de pureté très élevé et des fractions médiums.

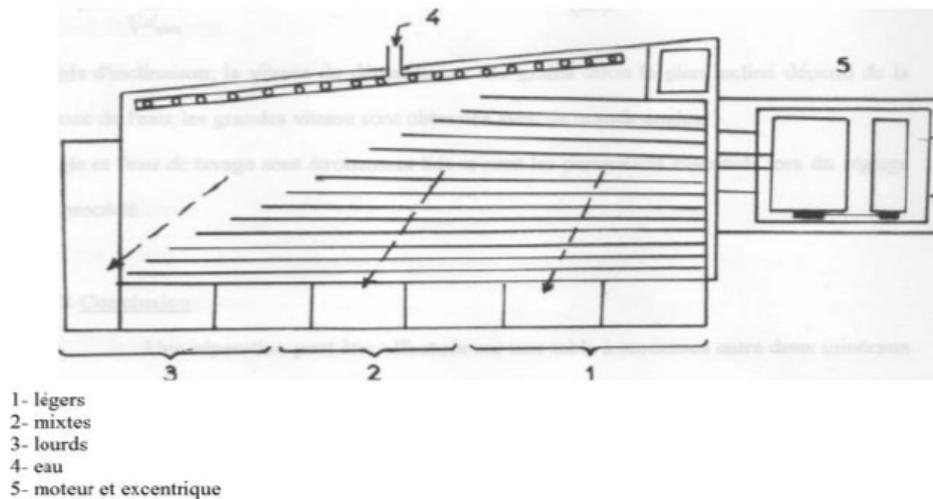


FIGURE 3.3 – Principe de fonctionnement d'une table à secousse

### Les exutoires\zones de la table à secousses

On distingue 4 zones distinctes :

- Zone 1 : zone contenant des concentrés dont les particules sont fines et denses ;
- Zone 2 : c'est la zone qui appartient encore à la zone des concentrés ; on y trouve des particules denses et grossières avec quelques particules mixtes ;
- Zone 3' : c'est la zone des particules mixtes mélangées à quelques particules légères ;
- Zone 4 : c'est la zone des particules légères.

### 3.4.3 Paramètres influençant le procédé de table à secousses

Comme tout procédé de valorisation minière, plusieurs paramètres influent sur la réussite de ces opérations afin d'obtenir une bonne distribution des particules ainsi qu'un concentré satisfaisant les normes demandées par les clients et exigées pour des fins de sécurité environnementales en premier lieu ; parmi ces paramètres on cite :

#### La forme des particules

La forme des particules du minerai joue un rôle important pour la réussite du processus de séparation gravimétrique par le biais d'une table à secousse ; ce paramètre est lié étroitement au type du plateau de la table.

Des particules plates, telles que les micas, bien que légères, ne s'étendent pas facilement sur le plateau de la table. Ce type de particule ne s'attache pas au plateau et sont évacués vers

l'exutoire du concentrateur. Par contre, les particules denses, de forme sphériques se déplacent plus facilement dans la nappe fluente vers l'exutoire des rejets.[9]

#### 3.4.4 La taille des particules

La taille des particules joue elle aussi un rôle très important lors des essais de séparation par le biais de la table à secousse; chaque fois que les dimensions de la pulpe augmentent, l'efficacité de la table diminue automatiquement. Si la pulpe est constituée d'une très large gamme de particules ayant des dimensions différentes, certaines de ces particules seront éliminées sans avoir été traitées efficacement, et par conséquent le rendement de cette opération diminuera. Donc, pour réaliser une séparation idéale, il est impératif de re-traiter les particules recueillies par la zone des particules mixtes pour augmenter l'efficacité de la table

#### 3.4.5 L'amplitude des vibration

La séparation gravimétrique peut aussi être influencée par l'amplitude des vibrations qui peuvent être contrôlées ou bien modifiées à l'aide d'un vibreur ou bien d'un moteur, la vitesse des vibrations usuellement utilisée est de l'ordre de 240 à 325 coup\minute. Celle-ci augmente\diminue selon la grosseur des grains.

Le rôle que joue les vibrations se résume tout simplement en ceci : Elle permet la stratification des particules d'une part, et d'évacuer ces dernières entre les riffles .Dès qu'elles sortent des riffles, elles sont soumises à l'effet de la nappe pelliculaire fluente et à l'effet des secousses dont la résultante engendre la séparation par taille et par densité.[6]

#### 3.4.6 Le rifflage

Le rôle des riffles est de stratifier les grains grâce aux actions qu'engendrent les vibrations\secousses sur le déplacement des grains denses le long de la table, aidé par les eaux de lavage. Ceci se fait sous l'action de :

- Secousses\vibrations de la table;
- Eau de lavage.

## **Deuxième partie**

### **Présentation de la zone d'étude**

# Chapitre 4

## Le gisement de Kherzet Youcef

### 4.1 Situation Géographique

Le site minier de Kherzet Youcef appartient au domaine Hodénéen, il se situe au nord ouest du chef lieu de la commune de Ain-Azal dans la wilaya de sétif à 4.5km de la mine de Chaâbt El Hamra, limité par le nord par Djebel Sekrine et à l'Est par la commune de Salah Bey et celle de Aïn Oulmane au Nord-Ouest. Il comporte une digue où sont stockés les rejets miniers plombo-zincifères qui ont fait l'objet de notre projet de fin d'étude. cette dique s'étend sur une surface de 7Ha [8] et qui contient aussi les rejets de la mine de Chaabet el Hamra.

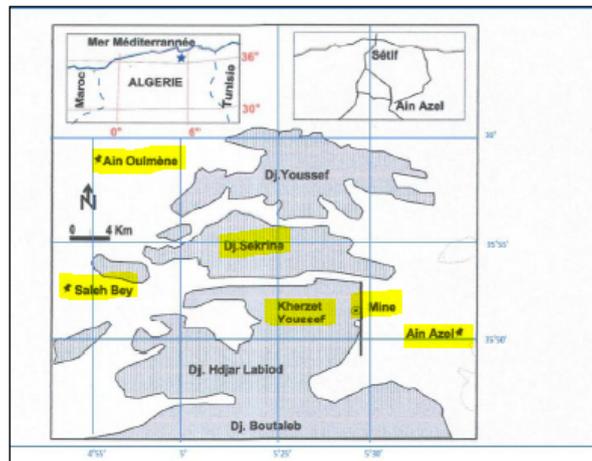


FIGURE 4.1 – Situation Géographique de la mine de Kherzet Youcef

Les coordonnées UTM (Universal Transverse Mercator) du complexe minier de Kherzet Youcef (comportant les deux mines : Chaâbet El Hamra et Kherzet Youcef) sont mentionnées ci après [3] :

Site	Cordonnées X	Coordonnées Y	Coordonnées Z(m)
Kherzet Youcef	718 000	3 968 900	950 à 1250
Chaâbet-El Hamra	726 902 à 728 505	3 962 567 à 3 963 212	950 à 1200

## 4.2 Historique des Travaux

Ce sont les français qui ont commencé les premiers travaux d'exploration et de prospection géologique et ceci depuis le 19<sup>e</sup> siècle. La première publication de Brossard en 1866, met en place une description géologique des différents monts du domaine Hodénéen, suivi par la réalisation d'une carte géologique d'une échelle de 1/800 000 par Fisheur en 1881 mettant en évidence des formations de type jurassique.

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, Savornin réalisa des études sur le domaine hodénéen et des plateaux Sétifien et les publia (entre 1904 et 1920).

En 1956, les français ont entamé les travaux d'exploitation de Soubelle, Djebel Ichemoul, Bou Iche, Djbel Gustar et Kherzet Youcef.[3]

Après l'indépendance, la société Yougoslave RUDIS effectua des travaux d'exploration et de prospection géologique entre 1963 et 1965, qui ont permis de donner une estimation des réserves exploitables d'environ 1.6 millions de tonnes, ensuite ce fut le tour à une société russe de le faire et après qu'elle eut été noyée à cause des remontées d'eau en 1971, une société Bulgare (BGM) effectua le dénoyage ainsi que l'approfondissement des puits et la construction du complexe minier (laverie, travaux souterrains préparatoires). La production démarra en 1979 avec une cadence de 400T\jour.[7]

Plusieurs modifications ont eu lieu lors de l'exécution des travaux de fonçage des puits à cause de la nature sableuse de certaines intercalations dans les terrains de cette zone ce qui a favorisé les remontées d'eaux d'un débit de  $740m^3/h$ . Cela a conduit à l'ouverture d'un seul niveau ainsi que la modification du réseau d'exhaure.

Actuellement la mine de Kherzet Youcef est fermée, et ceci depuis 1990 à cause des inondations qui ont eu lieu, avec un débit atteignant  $36000m^3/h^{-1}$ . [7]

## 4.3 Topographie

Notre zone d'étude s'insère dans le domaine Hodénéen, plus précisément dans la plaine Sétifienne, piégée entre les deux massifs de l'Atlas tellien (Telle et Pré-Saharien). Cette zone

constitue la limite entre les hautes plaines et les monts du Hodna du sud, dont le relief est composé de trois zones homogènes :

- Des zones montagneuses au sud et à l'ouest, dont l'altitude varie entre 1150m et 1250m.
- Des zones de hautes plaines au nord et au centre, dont les altitudes varient entre 950 et 1050m
- Une zone de piémont sous forme de bande Nord-Sud qui constitue un passe entre les plaines et les montagnes, dont l'altitude est comprise entre 1050 et 1150m

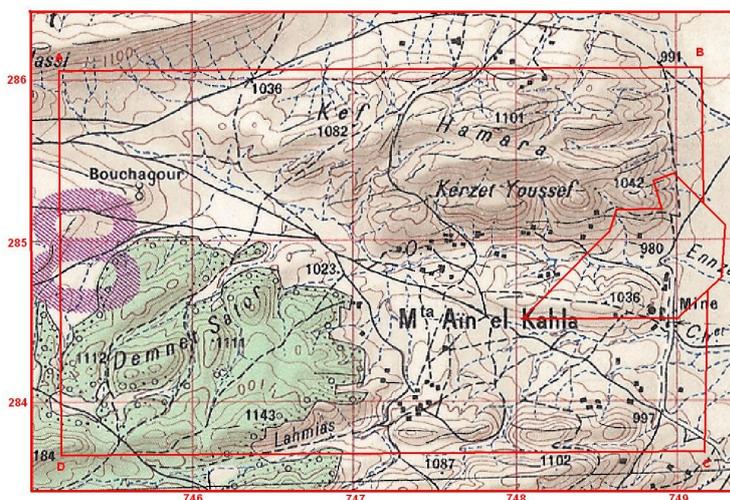


FIGURE 4.2 – Carte topographique N°143 de Ain-Azel au 1/50 000.

## 4.4 Aspect Climatologique

On s'intéresse au cadre climatique de la région de Aïn Azal vu son importance pour l'identification des facteurs influant sur la dispersion des éléments à trace métallique. Vu que celle-ci se situe dans la wilaya de Sétif, ie : elle appartient au domaine Hodénéen, celle-ci est sujette à un climat méditerranéen semi-aride à aride, avec un hiver froid, pluvieux et même entrecoupé par des périodes neigeuses et un été chaud et sec sujet à des vents chauds (sirocco) et d'après les données recueillies et traitées provenant de l'ONM et de l'ANRH d'Alger, les caractéristiques climatique de la région sont les suivantes :

### 4.4.1 Précipitations :

le total des précipitations enregistré dans la région de Aïn-Azal à partir de la station pluviométrique donne une moyenne annuelle d'environ 300mm/an , ce qui montre que la pluvio-

métrie est assez faible par rapport à celle des régions du Nord du pays.

La période pluviale s'étend du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai, (plus de 25mm/an) avec une baisse considérable durant le mois de Février, ceci constitue la période la plus humide. Tandis que durant la période de Juin jusqu'à Aout on remarque de faibles précipitations qui peuvent atteindre un minima de 3mm durant le mois de Juillet.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Jlt	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
$P_{moy}$	36	18	28	30	43	19	3	13	33	29	26	26

TABLE 4.1 – Précipitation de la région de Ain-Azal 1990-2010

Les précipitations nous permettent de déduire que grâce aux ruissellement dûs aux pluies cette région est sujette à une érosion qui déclenche le déplacement des ETM, particulièrement sur les terrains nus dominant la région

#### 4.4.2 Température :

La Température de la région connaît deux extrémums qui sont 3°C et 26°C, enregistrées durant les mois de Décembre et Janvier ainsi qu'en Juillet et Aout, nous indiquent l'existence de deux périodes climatiques distinctes, une période humide et froide ainsi qu'une période sèche et chaude.

#### 4.4.3 Vents et Evapotranspiration :

Les vents soufflants dans la région de Aïn-Azal soufflent généralement d'une direction Nord Nord-Ouest et Nord-Est. En période sèche, le Sirocco est le vent le plus dominant, il est de direction Nord-Est.

Le phénomène de l'Evapotranspiration consiste à l'évaporation des eaux de la surface de la terre, qu'elles soient superficielles de ruissellement ou bien celle due à la transpiration de la végétation, celle-ci croit avec l'augmentation de la température.

### 4.5 Hydrologie et Hydrogéologie

Quatre niveaux aquifères sont localisés dans la région dont la mine fait partie. D'après les données récoltées des études géologiques, géophysiques et hydrogéologiques par l'ENOF et l'ORGM, on distingue :

**Nappe Barremienne :** Elle se situe à l'ouest de la faille de Kherzet Youcef, d'une épaisseur de 700m, celle-ci affleure en surface à niveau piézométrique d'environ 929m.

Ce niveau est caractérisé par l'existence de formations sédimentaires regroupant des calcaires, marnes, dolomies et grès. Le corps minéralisé de la mine de Kherzet Youcef est encaissé dans cette formation, un réseau de failles et de fractures permet la circulation des eaux souterraines dans les formations Calco-Dolomitiques.

**Nappe Albo-Aptienne :** Elle se trouve dans le coté Est de la mine de Kherzet Youcef, caractérisée par des formations sédimentaires regroupant des calcaires karstiques, des calcaires marneux ainsi que des intercalations gréseuses.

Cette nappe est isolée de la Barremienne par une faille.

**Nappe Mio-Plio-Quaternaire :** Cette Nappe est localisée à l'Est de la faille de Kherzet Youcef, son épaisseur peut aller jusqu'à 250m à certains endroits.

Cette formation est de type sédimentaire détritique continentale hétérogène représentée par l'existence d'intercalations entre des conglomérats et des grés, des argiles, des marnes, des calcaires lacustres ainsi que des galets intercalés avec des limons sableux.

**Nappe Superficielle :** La genèse de cette nappe est due aux eaux superficielles générées par les précipitations ainsi que les eaux de ruissellements qui proviennent du relief intramontagneux entourant cette zone.

Ceci a conduit à la formation de plusieurs sebkhas telles que : Sebkhet El Hamiet et Chott El Beida et aussi a favorisé le phénomène d'évaporation.

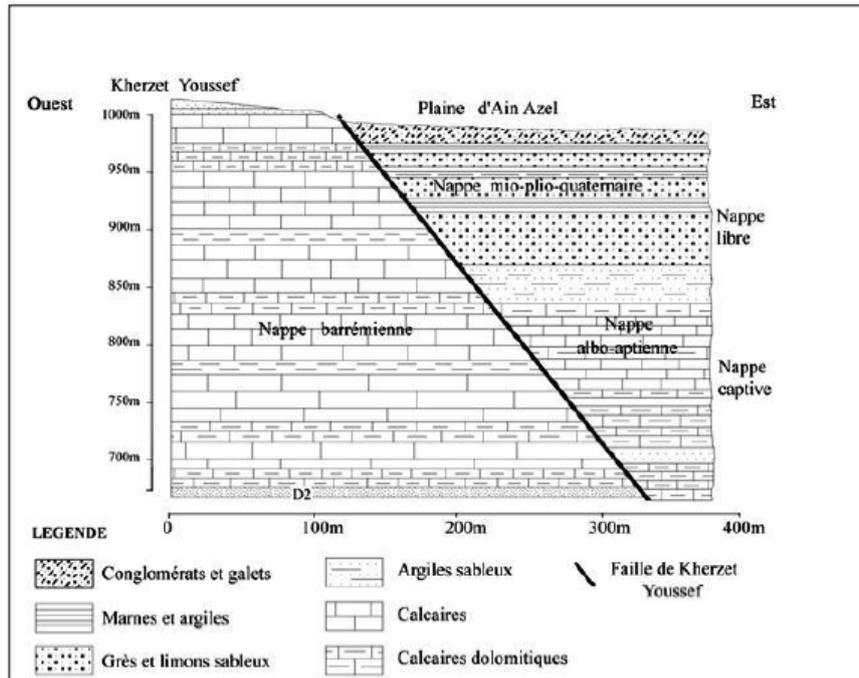


FIGURE 4.3 – coupe hydrogéologique de la région de Kherzet-Youcef[2]

## 4.6 Géologie

Dans le cadre de notre spécialité, la géologie est d'une importance primordiale afin de pouvoir maîtriser l'exploitation et le traitement et de préserver même l'environnement minier.

Dans notre cas, la géologie régionale nous permet de cerner notre zone d'étude qui fait partie intégrante d'un vaste domaine qui est celui des monts du Hodna. Celui-ci constitue un ensemble montagneux se trouvant entre deux chaînes montagneuses, i.e : l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au sud.

Tandis que la géologie locale nous permettra de connaître la composition minéralogique et les phénomènes géochimiques affectant les rejets miniers se trouvant dans notre zone d'étude.

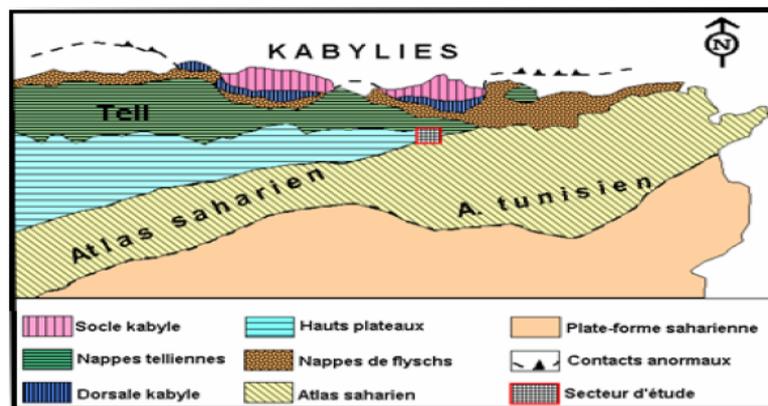


FIGURE 4.4 – Situation de la zone d'étude dans le dispositif structural de la chaîne alpine d'Algérie nord-orientale.[3]

#### 4.6.1 Géologie Régionale

La région de Kherzet Youcef constitue la limite septentrionale des monts du Hodna. Elle se trouve dans une zone d'affaissement au sud du môle de Aïn Mlila caractérisé par des dépôts marno-carbonatés du Méso-Cénozoïque reposant sur le socle plissé de la plate-forme épihercynienne.[7] La structure générale est représentée par une série d'anticlinaux à noyaux jurassiques ou crétacés et de sillons comblés de formations Miocènes à Post-Miocènes.

#### Tectonique

Dans le domaine des monts du Hodna, il existe deux unités tectoniques distinctes séparées par le front sud sétifien et qui sont [2]

- L'allochtone sud sétifien au Nord, constitué d'un vaste empilement d'écailles limitées par des cisaillements.
- L'autochtone hodnéen au Sud, dont fait partie le Djebel Hadjar Labiod qui est affecté essentiellement par une tectonique assez complexe liée à l'orogénèse alpine.

La tectonique récente est importante surtout dans le côté sud-est de la région, due à l'existence d'accidents cassants la traversant de l'est vers l'ouest. Elle illustre un bon exemple du régime tectonique superposé régnant aux limites autochtones et allochtones des monts hodnéen.[8]

#### 4.6.2 Géologie Locale

Dans cette partie, on parlera de l'allure générale du gisement, de sa genèse, de la morphologie, de la minéralisation et des caractéristiques de la lithologie du Barrémien.

Le gisement de Kherzet-Youcef est sous forme de multi-couches, associé à une série dolomitique de plate-formes instables et subsidentes. Cette série est organisée en séquences régressives comprenant des dolomies sous forme de bancs coupés par des formations marneuses, de dolomies marneuses et de laminites.

Le gisement minéral de Kherzet-Youcef comprend une vingtaine de couches minéralisées, dont 7 seulement sont exploitables. L'épaisseur totale de la série dolomitique métallifère varie de 170 à 190m. Les minéralisations commencent à une distance de 10 à 30m de la faille de Kherzet-Youcef qui constitue la limite de ce gisement à l'Est. Le nombre de couches minéralisées est maximal à son voisinage, tandis que la morphologie dominante dans ce gîte est celle d'amas stratiformes plus ou moins allongés en direction Nord-Nord-Est d'une largeur allant de 60 à 150m. Aucune tectonique n'affecte l'intérieur du gisement mis à part quelques déformations souples observées au mur de la faille.

L'ensemble du médian Barrémien comporte les couches minéralisées qui sont séparées, celui-ci a amené des dépôts tidaux de plate-forme ouverte ( argiles, marno-calcaires noduleux et marnes )(Touahri 1991).[5].

Comme cité précédemment le gisement est limité par la faille de Kherzet-Youcef à l'Est, par des faciès dolomitiques et des calcaires à l'Ouest et ceci après disparition de la minéralisation. Au Sud (et en profondeur) la série de Kherzet Youcef est transgressive sur l'ensemble inférieur carbonaté et gréseux du Barrémien ( Bousdira 2008).

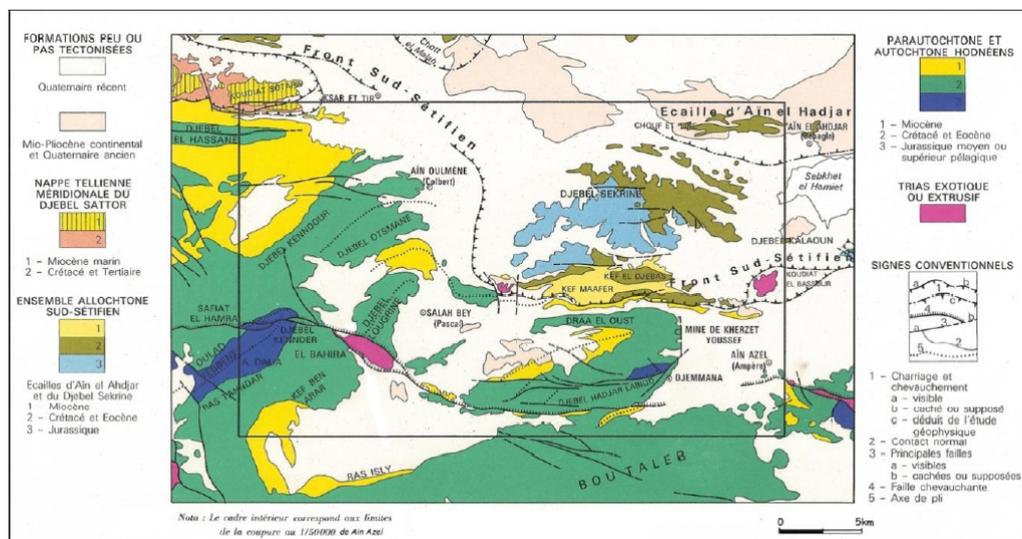


FIGURE 4.5 – Schéma structural simplifié de la région d'Ain Azel (extrait de la carte géologique N°143 au 1/50 000 d'Ain Azel) (Villa, 1977) 43

## 4.7 Minéralisation

En se basant sur les études géologiques établies par les différents organismes ayant explorés et prospectés la région, la minéralisation s'étend sur une longueur de 1300m suivant l'inclinaison de la faille .

La minéralisation de la région de Kherzet Youcef se présente globalement sous la forme de minerais sulfurés dont les minerais métallifères principaux sont la macasite ( $FeS_2$ ), la sphalérite ( $ZnS$ ), la galène ( $PbS$ ) ainsi que la pyrite, l'anhydrite et le cuivre gris avec de faible proportion. Cette minéralisation est de forme stratiforme se trouvant dans les sédiments du Barrémien. La sphalérite (blende) est le minerai métallifère le plus répandu. La roche encaissante est la dolomie grise, à grains fins, poreuse, renfermant des grains de quartz, pyrite et macasite.

Les couches minéralisées sont de texture bréchique, cataclastique ou veineuse, surtout celle du zinc, tandis que le minerai caractérisant le plomb est à texture massive ou veineuse.

La connexion spatiale de la minéralisation avec la faille nous permet de conclure à une connexion génétique. Il est supposé que cette faille aurait eu un rôle de canal pour la venue de la minéralisation. Cela implique que la faille a eu un rôle important pour la genèse de ce gisement.

**La sphalérite ZnS** C'est la minéralisation la plus dominante dans le gisement métallifère de Kherzet-Youcef, d'une teneur pouvant atteindre des pourcentages allant de 40 jusqu'à 60%. [1]

Grâce à l'étude microscopique, on a pu démontrer qu'il existe deux générations distinctes de Sphalérite, et ceci en se basant sur la couleur des réflexions internes [13]. Elle varie du brun foncé au brun clair à jaune foncé. Elle montre aussi que celle-ci se présente sous forme de cristaux craquelés, hétérogranulaire parfois en plages subautomorphes à automorphe dans la dolomite. On distingue :

**Sphalérite I :** en grandes plages bien cristallisées souvent cataclasées. Elle peut remplir les interstices de la dolomite. [3]

**Sphalérite II :** de couleur jaune miel, qui se présente en gros cristaux subautomorphes dans les espaces laissés par la dolomite. [3]

**La galène :** la galène est rarement observée. Elle se présente sous forme de plages cristallisées extrêmement riche en arrachements triangulaires [13]. Son analyse spectrale montre l'existence de l'argent, du cadmium, cuivre ainsi que le bismuth tandis que l'analyse à la microsonde électronique a révélé la présence du plomb, du zinc et du fer avec des teneurs respectives de 86,1-86,9%, 0,02% et 0,02-0,006%. [1]

. La teneur de la galène dans le gisement de Kherzet Youcef peut atteindre des pourcentages allant de 10 à 15% et parfois 25 à 30%.

**La pyrite :** Celle-ci est rare et observée dans les roches argilo-carbonatées sous forme d'éléments microscopiques..

**La marcasite :** La marcasite constitue le sulfure le plus précoce, elle est irrégulièrement distribuée dans les couches minéralisées dans notre zone d'étude malgré sa bonne répartition au voisinage de la faille. L'analyse spectrale quantitative et à la microsonde, montrent des traces de nombreux minéraux tels que ; l'Arsenic, le Cobalt, l'Argent, le Bismuth, le Niobium...etc avec des teneurs de l'ordre de quelques ppm, tandis que le zinc est présent avec des teneurs moyennes de 25%.

## 4.8 Réserves Géologiques

### 4.8.1 Réserves du gisement

En 1964, M.Dolenc, en se basant sur les données de sondages réalisés par REMINA, BRGM et RUDIS, a entamé des calculs de réserves du minerai sur une longueur de 500m dans la direction Nord Nord-Est en utilisant la méthode des profils parallèles. Ces réserves furent estimées à 750000 tonnes de minerai avec 2.6% en plomb et de 17% en Zinc, elles sont explicitées dans le tableau suivant :

Réserves	Minerai (tonne)	Teneur en Plomb (%)	Teneur en Zinc (%)	Plomb (tonne)	Zinc
Réserves certaines	499 500	2.5	17.1	12 500	85
Réserves probables	153 000	2.8	16.4	4300	25
Réserves possibles	97 000	3.0	17.0	2900	16
Total	750 000	2.6	17.0	19 700	12

TABLE 4.2 – Tableau montrant les réserves estimées par M.Dolenc selon la méthode des profils parallèles [8]

M. Strucl a adopté la méthode des projections horizontales des surfaces minéralisées de diverses couches continues suivant le pendage, qu'il a surnommées de A à M. La quantité des réserves de minerai géologique établies se montait à 1 025 500 tonnes d'une teneur de 3,2% en plomb et de 17,7 % en zinc.[8]

Réserves	Minerai (tonne)	Teneur en Plomb (%)	Teneur en Zinc (%)	Plomb (tonne)	Zinc
Réserves certaines	626 000	3.2	18.1	20 300	111 000
Réserves probables	219 000	3.3	16.7	7150	36 000
Réserves possibles	180 500	3.1	17.0	2900	16 000
Total	1 025 000	3.2	17.7	33 100	183 000

TABLE 4.3 – Tableau montrant les réserves estimées par M.Strucl selon la méthode des projections horizontales [8]

### Réserves Industrielles :[8]

Les réserves exploitables s'élèvent à 2 700 000 tonnes de minerai d'une teneur de 1.8% en plomb et de 9.3% en Zinc, tel que :

- les réserves certaines s'élèvent à 60.7%
- les réserves probables à 23.2% ;
- et les réserves possibles à 16.1%

Toutefois des difficultés d'exploitation sont apparues en 1990, suite aux inondations souterraines, ayant causées plusieurs victimes (exhaure).

## 4.9 Traitement du Minerai au Niveau de l'Usine

Le complexe minier de Kherzet-Youcef comprend une laverie dans laquelle les minerais provenant des deux mines, celle de Chaabet El Hamra et de Kherzet Youcef, sont traités ; cette laverie fut construite dans le but de valoriser les minerais plombo-zincifère par flottation.



FIGURE 4.6 – Image satellitaire montrant les installations du complexe minier de Kherzet-Youcef

Depuis son démarrage, la laverie de Kherzet-Youcef a été sujette à plusieurs modifications, car son fonctionnement dépend des conditions technico-économiques, du type du concentré ainsi que différentes propriétés du minerai. Suite aux inondations ayant survenues en 1990, la laverie s'est orientée vers le traitement du minerai plombo-zincifère de la mine de Chaabet El Hamra.

#### 4.9.1 Les différentes installations de la laverie [3]

La laverie du complexe minier de Kherzet-Youcef comprend plusieurs installations que nous énumérerons ci-dessous :

- Matériels utilisés pour la préparation mécanique comprenant des concasseurs et des broyeurs utilisés pour la réduction de la dimension du tout venant.
- Matériels utilisés pour la flottation du minerai plombo-zincifère.
- Des zones de stockage des minerais abattus ( Tout-Venant) ainsi que des concentrés.
- Des silos pour stocker les minerais ayant subis une préparation mécanique ( concassage et broyage).
- Des épaisseurs et des installations de séchage du concentré.
- Laboratoire d'analyses chimiques ainsi que des ateliers pour préparer les réactifs de flottation.
- Ateliers de réparations et de maintenance des équipements utilisés dans le complexe minier

- Magasins
- Un parc de stockage des résidus de traitement.

#### **4.9.2 Traitement :**

La laverie du complexe de Kherzet-Youcef a pour objectif le traitement du minerai zincifère pour obtenir un concentré contenant du zinc.

Plusieurs méthodes de traitement doivent avoir lieu afin de valoriser ce minerai, et qui sont :

##### **Préparation mécanique du minerai**

La préparation mécanique du minerai est une étape très importante afin de le valoriser. Pour ce faire, on procède au concassage et au broyage du minerai afin de le ramener à des dimensions permettant de séparer les particules renfermant le minerai utile de la gangue. Dans le complexe minier de Kherzet-Youcef, on alimente un concasseur à mâchoire, dont la capacité de production est de 400 tonnes par le minerai tout-venant ayant des dimensions entre 80 et 350mm pour obtenir des particules ayant des dimensions inférieures à 80mm, et ceci après avoir effectué un pré-criblage en laissant passer les particules ayant des dimensions inférieures à 80mm, dans le but d'avoir un rendement optimal du concassage.

En ayant finalisé le concassage primaire, on effectue ensuite un criblage à 15mm, et la fraction ayant une dimension entre 15 et 80mm sera sujette à un concassage secondaire en utilisant un concasseur giratoire.

À la fin de cette étape, on aura des particules concassées ayant des dimensions inférieures à 15mm. Celles-ci subiront une préparation mécanique par voie humide, i.e : broyage et classification.[3]

##### **Broyage et classification :**

La classe granulométrique obtenue à la fin de la préparation mécanique à sec sera lavée ensuite criblée et à la fin subira des opérations de broyage et de classifications. Le broyage de la fraction 0 -15 mm se fait dans un broyeur à boulets qui fonctionne en circuit fermé avec un classificateur à spirale.

Un second broyeur à boulets est placé en série avec le premier afin de diminuer la dimension des sables du classificateurs.(Merchichi 2014)

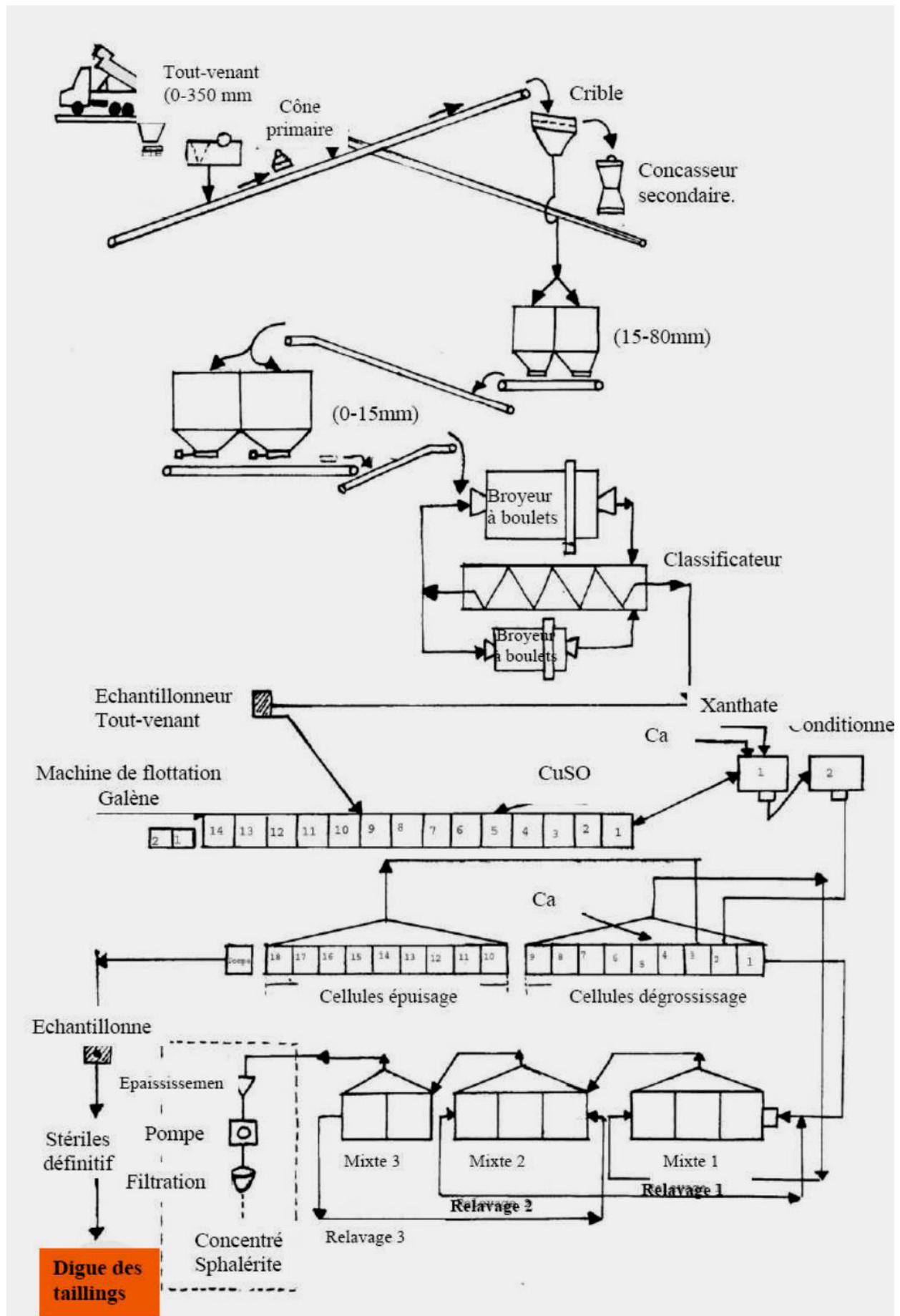


FIGURE 4.7 – Schéma technologique de traitement du minerai zincifère du complexe de Kherzet Youcef [3]

Les particules obtenues à la fin du broyage et de la classification seront dirigées vers les cellules de flottations afin d'extraire le minerai utile.

### **Flottation :**

Après la préparation mécanique, le minerai est traité par flottation au terme de laquelle des concentrés sont obtenus et à partir desquels on procède à l'extraction des minéraux économiques. Il s'agit d'un circuit de flottation simple, à un seul produit (Zinc), qui est constitué des étapes suivantes :

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

A noter que le pré-concentré du premier relavage et les mousses de l'épuisage sont renvoyés en tête du dégrossissage, tandis que les produits non flottés de l'épuisage sont dirigés vers la digue des 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.

Le concentré obtenu a une teneur de 53% en Zn avec un taux de récupération du métal [3].

## **Troisième partie**

# **Essais de Laboratoire et Interprétation des résultats**

# Chapitre 5

## Méthodologie et Protocole Analytique

### 5.1 Descripton de l'échantillon

L'échantillon est composé de rejets plombo-zincifères de la digue de Kherzet-Youcef (cette digue contient les rejets des deux mines qui sont proches l'une de l'autre, à savoir : mine de Chaâbet El Hamra et celle de Kherzet-Youcef).

### 5.2 Échantillonnage

L'échantillonnage est une étape très importante dans toute étude géologique et \ou minière. Celui-ci permet de réduire la fraction a 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.

### 5.3 Préparation de l'échantillon

Après avoir ramené nos échantillons au laboratoire nous les avons laissé sécher à l'air libre pendant 3 jours.

#### 5.3.1 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 la brassant pendant une durée déterminée (20 minutes environ).

### 5.3.2 Quartage Manuel

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.



FIGURE 5.1 – Homogénéisation de l'échantillon

### 5.3.3 Diviseur rotatif

Le diviseur rotatif est un appareil qui permet de diviser une certaine quantité d'un minerai\échantillon en plusieurs parties représentatives (8 échantillons).

D'abord, on dépose le minerai sur une goulotte d'alimentation, en la réglant sur une vitesse voulue permettant le transport du minerai vers la couronne dont la vitesse de rotation est aussi réglable. A la fin de l'opération, nous obtenons des échantillons homogènes et représentatifs utilisés pour les différentes étapes de caractérisation, d'analyse et de valorisation que nous décrirons par la suite.



FIGURE 5.2 – Diviseur rotatif



FIGURE 5.3 – Table à secousse du laboratoire du génie minier

## 5.4 Séparation Gravimétrique

Dans le but d'enrichir notre échantillon qui, comme on le sait est un rejet plombo-zincifère, on a opté aux méthodes gravimétriques afin de séparer un maximum de gangue des particules valorisables et ceci dans le but d'augmenter la sélectivité et par conséquent le rendement des essais de flottation à venir. La méthode gravimétrique choisie dans ce but est celle des nappes pelliculaires fluente dans le but d'obtenir un lit de particules stratifiées selon leurs densité. l'appareil utilisé pour cet essai n'est autre que la table à secousses

### 5.4.1 Table à Secousses

Au sein de notre laboratoire, nous disposons d'une table à secousse de type KHD Humboldt Wedag. Il s'agit d'une Labor-Schnellstobherd MN 936/3.

### 5.4.2 mode opératoire

Le traitement par table à secousses s'insère dans la méthode de séparation par nappe pelliculaire fluente. Il consiste à mettre une masse de tout-venant dans la boîte d'alimentation et d'assurer ensuite un débit d'eau suffisant pour avoir un bon arrosage qui permettra de récupérer chaque catégorie de grains dans leur zone spécifique.

La seule zone prise en considération pour recueillir notre produit est la zone 1 dans le but de faire flotter notre minerai par la suite.

Par faute de temps, on n'a pas joué sur les paramètres influençant le rendement d'une table à secousse.

Le minerai utilisé lors de cet essai était un minerai composite.

Après avoir fixé tous les paramètres nécessaires à l'optimisation des essais à la table à secousse :

- On prend environ 200g de tout-venant préparé mécaniquement, on le met dans un bécher de volume d'un litre qu'on remplit jusqu'au trait correspondant à 800 ml avec de l'eau de robinet ;
- On déverse cette pulpe dans la boîte d'alimentation et on arrose la table à secousses avec de l'eau ayant un débit permettant la bonne stratification des grains solides ;
- On refait cet essai autant de fois afin d'obtenir une quantité de 450g de pré-concentré

## 5.5 Flottation

Après avoir établi les essais de flottation dans notre mémoire de fin d'étude d'ingénieur, et bien déterminer le rôle considéré pour chaque type d'essai; un seul essai sera établi dans ce travail, et on interprétera le résultat obtenu en fonction des résultats obtenus précédemment.

L'essai consiste à faire flotter le pré-concentré obtenu de notre essai par voie gravimétrique, qui est un minerai ayant des particules denses et fines, tout en utilisant les concentrations optimales des réactifs de flottation qui seront cités dans les deux tableaux ci-dessus

Réactif	Type	Concentration (g/t)	$V_{\text{éq}}$ (ml)	T.A (min)
Carbonate de Sodium	Régulateur de pH	/	/	5
Cyanure de Potassium ( $KCN$ )	Déprimant	40	1.5	3
Sulfate De Zinc ( $ZnSO_4$ )	Activant	60	2.25	3
Xanthate	Collecteur	100	3.75	3
Huile de Pin	moussant	/	Une goutte	1
pH=9				
rapport solide-liquide = 30%				

TABLE 5.1 – Tableau regroupant les réactifs de flottation du plomb pour l'échantillon de Kherzet-Youcef

Réactif	Type	Concentration (g/t)	$V_{\text{éq}}$	T.A (min)
La Chaux	Régulateur de pH	/	/	5
Silicates de Sodium ( $Na_2SiO_3$ )	Déprimant	50	1.87	3
Sulfates de Cuivre ( $CuSO_4$ )	Activant	300	11.25	3
Xanthate	Collecteur	100	3.75	3
Huile de pin	Moussant	/	Une goutte	1
pH=11				
rapport solide-liquide = 30%				

TABLE 5.2 – Tableau regroupant les réactifs de flottation du zinc pour l'échantillon de Kherzet-Youcef

# Chapitre 6

## Résultats et Interprétations

En ayant fait les essais à la table à secousses, on a obtenu 450g de concentré en particules denses et fines. Ce concentré fut sujet à un unique essai de flottation qui nous a permis d'obtenir les résultats suivants

Concentré	Masse (g)	R.P (%)
Plomb	45	10
Zinc	68	15.11
Rejets	337	74.89

TABLE 6.1 – Tableau regroupant les résultats obtenus lors de la flottation de l'échantillon pré-traité

### 6.0.1 Interprétation

On remarque que les rendements optimaux des minerais valorisables sont supérieurs à ceux ayant été obtenus lors de notre projet de fin d'étude. Ceci est tout à fait normal du fait de l'utilisation de la séparation gravimétrique, cette dernière nous a permis d'éliminer la gangue dont les particules sont moins denses que le minerai utile.

Cette étape nous permet donc d'obtenir un pré-concentré plus riche en minerai utile, avec des particules denses et fines. Lorsque celui-ci sera sujet à une flottation sélective, les concentrés obtenus, que ce soit celui du plomb ou bien du zinc, auront une masse supérieure à celle des concentrés n'ayant pas été enrichis au préalable.

**Quatrième partie**

**Conclusion Générale**

---

Au regard des expériences établies lors de notre travail de master, sur un échantillon de rejet plombo-zincifère prélevé de la digue de Kherzet-Youcef, il est essentiel de déduire ce qui suit :

- Le rendement pondéral du zinc extrait, tout en sachant que notre échantillon est un échantillon composite, pour les concentrations optimales des réactifs de flottation, est supérieur à celui obtenu lors de l'utilisation du procédé de flottation seulement ( projet de fin d'étude), contrairement au plomb. Par conséquent, si on joue sur les paramètres de la table à secousse ainsi que sur les autres paramètres de flottation tels que la concentration des activants...etc, la valorisation du zinc à partir de ce rejet sera d'actualité ;
- Vu le faible rendement pondéral du plomb, l'une des meilleures solution pouvant survenir serait de dépolluer ces rejets en même temps du plomb ainsi que des sulfures, vu que la principale minéralisation des gisements de Kherzet-Youcef ainsi que de Chaâbet El Hamra sont de nature sulfurique ;
- Le pré-traitement au moyen du processus gravimétrique de la nappe pelliculaire fluente ( table à secousse ) nous a permis d'éliminer une bonne quantité de particules légères comprises dans la gangue, et par conséquent, obtenir un pré-concentré encore plus riche en minerai utile, ce qui a conduit à l'augmentation de la sélectivité de notre essai de flottation et ainsi à son rendement.

Vu le temps restreint ayant été consacré pour ce modeste travail, et les résultats obtenus pour ces essais ; il est à noter que ce travail devrait déboucher sur d'autres travaux de recherche concernant le traitement des rejets miniers dans le but de protéger notre environnement et sans oublier, ces rejets miniers peuvent constituer une source alternative de revenu pour notre pays, vu le développement que connaît les procédés technologiques et techniques de valorisation minière.

# Bibliographie

- [1] HENNI Abderahmane. Minéralogie, géochimie du gisement pb-zn de kherzet youcef, 1998.
- [2] Aittoucheik. Etude géochimique des rejets du complexe minier de kherzet youssef (setif) et son impact sur l'environnement, 2006.
- [3] MERCHICHI Amira. Etude geochimique et traitement des rejets de la digue provenant de la mine de kherzet youcef et chaabet el hamra, Décembre 2013.
- [4] Aissa Banka. Essai de valorisation par flottation de minerais polymétallique de chaabet el-hamra, 2014.
- [5] TOUAHRI Belkacem. Géochimie et métallogénie des minéralisations à plomb et zinc du nord de l'algérie, 1991.
- [6] Bourbala Brahim and Moussaoui El Abbas. Essais de valorisation de la barytine du gisement de bou-caïd par flottation, 2012.
- [7] BOUSDIRA Dina. Etude des impacts des activités d'exploitation des mines polymétalliques (pb-zn) sur l'environnement de la région de kherzet youssef (wilaya de sétif), 2008-2009.
- [8] ENOF. Rapport technique du gisement plombo-zincuifère de kherzet-youcef, 2016.
- [9] Barry A Wilss et Tim Napier-Munn. *Mineral Processing Technology*. 2006.
- [10] Holland-Batt. Gravity separation : A revitalized technology, 1998.
- [11] Ould Hamou Malek. *Cours de Flottation*, 2016.
- [12] Ould Hamou Malek. Cours de séparation gravimétrique, 2016.
- [13] Ouchene Midou. Contribution à l'étude gitologique et géostatistique de la minéralisation à pb-zn de la mine de chabat-el-hamra, 2010.