

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة بجاية  
Tasdawit n'Bgayet  
Université de Béjaïa



Université Abderrahmane Mira de Bejaia  
Faculté de Technologie

Département des Mines et géologie

## Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie Minier  
Option : Valorisation des Ressources Minérales  
Présenté par

M<sup>elle</sup>. DJAFRI Lydia

M<sup>elle</sup>. MAMERI Celia

Thème

*Caractérisation et enrichissement des  
rejets du minerai de plomb-zinc*

Soutenu le 03/07/2023 devant le jury composé de :

Présidente	Mme K. KICHER	MAA	Univ. de Bejaia
Examinatrice	Mme Z. SOUCI	MCA	Univ. de Bejaia
Encadrant	Mme T. TAHRI	MCB	Univ. de Bejaia

Année Universitaire  
2022/2023

# *Dédicaces*

*Je tiens à dédier ce travail à mes très chers parents auxquels je ne rendrai jamais assez pour tout ce qu'ils ont enduré pour m'élever, et faire de moi ce que je suis devenu.*

*À mes chers frères Fahem, Billal, Massi*

*Et mes chères sœurs Sonia et Ines*

*Et mes nièce Ania, Nelya*

*À mon grand-père : que Dieu ait son âme.*

*À toute ma famille « grande et petite »*

*À tous mes amis (est) sans exception*

*Je remercie mon binôme, Celia, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

*Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.*

***Lydia.***

# *Dédicaces*

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier  
pour moi.

A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son  
sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études

A mon frère lounis  
Et mes sœurs Zahia, Kenza et Amira  
Et ma chère cousine yasmine

A mes meilleures amies: Leticia et Tecia

Et tout qui m'aide et compulse ce modeste travail

En fin, Je remercie mon binôme, Lydia, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail..

*Celia*

## **Remerciement**

Tout d'abord, nous tenons à remercier le bon Dieu le tout-puissant de nous avoir accordé le courage, la volonté et le savoir pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde reconnaissance à notre encadrante Mme. TAHRI Tourkia et nous le remercions vivement pour avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour la réalisation de ce mémoire et en particulier sa disponibilité, sa présence et ses judicieux conseils et orientations, qui nous ont été très utiles.

Nous tenons à remercier le complexe de Kharzet Youssef qui nous a permis d'effectuer notre stage pratique en son sein, plus particulièrement Mr. Karim, Mr. Aboubaker et Mme. Meriem

Nous tenons aussi à remercier Mr. DJERMOUNE Athmane chef de section aux CRAPC Bejaiaet responsable de la DRX. Et aussi le professeur KHALED-KHOJA Nordine, et monsieur MAMMERI Mohand pour leur aide dans la réalisation de ce travail.

Nous tenons également à remercier tous les enseignants (es) qui ont partagé leur expertise et leur savoir et savoir-faire avec nous durant notre parcours académique. Et le doctorant Mr. ADJISSA Massinissa pour son aidé et ces conseils qui nous a Servir dans notre travail.

Enfin, un grand merci aux membres de jury notre Présidente. Mme K. KICHER ainsi que notre Examinatrice. Mme Z. SOUICI, qu'ont accepté d'évaluer notre travail.

DEDICACE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURE

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE.....	1
GENESE & PRESENTATION DU PROJET.....	3

***Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai  
de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra***

I.1. INTRODUCTION HISTORIQUE DE LA MINE DE CHAABET EL-HAMRA ....	4
I.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	5
I.3. GEOLOGIE DU GISEMENT .....	6
I.3.1. Stratigraphie du gisement.....	6
I.3.2. Tectonique.....	10
I.3.3. La minéralisation.....	11
I.3.4. Hydrogéologie.....	14
I.4. RESERVES GEOLOGIQUES .....	15
I.5. CONCLUSION.....	16

***CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerai de Plomb-Zinc à  
Kherzet Youssef***

II.1. INTRODUCTION.....	17
II.2. PREPARATION MECANIQUE.....	17
II.2.1. Section de concassage et de criblages .....	17

II.2.2.	Section broyage et classification.....	19
II.3.	METHODE D'ENRICHISSEMENT .....	22
II.3.1.	Section de flottation et de filtration.....	22
II.3.2.	Machine de flottation .....	27
II.4.	CONCLUSION .....	29

### **Chapitre III : CARACTERISATION DES REJETS**

III.1.	INTRODUCTION.....	30
III.2.	Technique de prélèvement.....	30
III.3.	PREPARATION DES ECHANTILLONS .....	31
III. 3.1.	L'échantillon du traitement.....	31
III.3.2.	L'échantillon de la mine .....	31
III.4.	Caractérisation des échantillons .....	31
III.4.1	Analyse granulométrique.....	31
III.4.2	Analyses chimiques par FRX .....	33
III.4.3	Analyse par spectrométrie IR .....	34
IV.5	ANALYSES PAR DRX .....	38
III.6.	CONCLUSION .....	40

### **Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc**

IV.1.	INTRODUCTION .....	39
IV.2.	PRETRAITEMENT.....	39
IV.3.	ENRICHISSEMENT DU REJET DU MINERAI DU PLOMB-ZINC.....	40
IV.3.1.	Préparation de la pulpe .....	40
IV.3.2.	Réactifs de flottation du Zinc .....	40
IV.3.3.	Essais de flottation du Zinc .....	41
IV.4.	Résultats d'analyse et de caractérisations.....	42
III.4.1.	Analyse granulométrique.....	42
IV.4.1.1.	Analyses chimiques par FRX .....	43
IV.4.1.2.	Analyses par DRX.....	44
IV.5.	Discussion des résultats obtenus .....	50
IV.6.	CONCLUSION.....	52
	CONCLUSION GENERALE .....	54

## Liste des tableaux

---

### LISTE DES TABLEAUX

<b>Numéro de tableau</b>	<b>Nom de tableau</b>	<b>Page</b>
Tableau I.1	La minéralisation du gisement (D'après TERRAMIN AUSTRALIA LIMITED)	13
Tableau I.2	Réserve du corps supérieur et inférieur du gisement de Chaabet El-Hamra	17
Tableau II.1	Réactifs de flottation de la laverie du complexe minier de Kherzet Youcef.	23
Tableau III.1	Résultats d'analyse granulométrique du rejet d'exploitation	31
Tableau III.2	Eléments chimiques des argiles et du sable par FRX pour les deux échantillons.	35
Tableau III.3	Les groupements fonctionnels du rejet de traitement.	37
Tableau III.4	Spectre IR du rejet plomb-zinc de la mine	36
Tableau IV.1.	Les Réactifs de flottation du Zinc	40
Tableau IV.2	Rendements pondéraux des concentrés et des rejets des quatre échantillons	42
Tableau IV.3	Résultat d'analyse par (FRX) des concentrés	43
Tableau IV.4	Résultat d'analyse par (FRX) des rejets	44

---

# Liste des figure

## LISTE DES FIGURES

Numéro de la figure	Nom de la figure	Page
Figure I.1	Situation géographique de la mine de Chaabet El-Hamra.	5
Figure I.2	Log stratigraphique de gisement Chaabet El-Hamra (d'après ENOF 1993)	9
Figure I.3	Coupe hydrogéologique Profil 0 – Profil 15 (d'après ENOF 2003)	14
Figure I.4	Distribution des teneurs en Zn des corps minéralisées (SIDAM)	15
Figure II .1	Concasseur à mâchoire.	17
Figure II .2	Crible vibrant	18
Figure II.3	Schéma de principe du concasseur à cône.	18
Figure II.4	Schéma technologique de section de concassage et de criblage	19
Figure II.5	Broyeur à boulets	19
Figure II.6	Principe de broyeur à boulet	20
Figure II .7	Section broyage et classification	20
Figure II .8	Schéma technologique de section broyage et classification	21
Figure II .9	Section flottation - filtration.	25
Figure II.10	Distribution des réactifs chimiques	26
Figure II.11	Flottation de minerai de zinc de kherzetyoucef	26
Figure II.12	Cellules de flottation de la laverie du complexe minier de Kharzet Youssef	27
Figure II.13	protocole de la chaine de traitement du complexe minier de Kharzet Youssef	28
Figure III.1	les points de prélèvement de l'échantillon de l'usine	30
Figure III.2	les points de prélèvement de l'échantillon de la mine	31
Figure III.3	variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage de rejet d'exploitation.	32
Figure III.4	Courbe granulométrique du rejet d'exploitation	32
Figure III.5	Eléments chimiques majeurs des deux rejets d'exploitation et du traitement	33
Figure III.6	Spectre IR du rejet de traitement.	35
Figure III.7	Spectre IR du rejet d'exploitation.	37
Figure III.8	Diffractogrammes RX des rejets d'exploitation et de traitement.	38
Figure.IV.1	broyeur à disque	39
Figure.IV.2	Cellule de flottation	40
Figure IV.3	Les réactifs utilisés	41
figure IV.4	les rendements pondéraux pour des concentrés et des rejets des quatre échantillons	42
figure IV.5	Résultat d'analyse par (FRX) des concentrés	47
figure IV.6	Résultat d'analyse par (FRX) des rejets	44
Figure IV.7.	Diffractogrammes DRX le concentré et rejet de <100µm	46
Figure IV.8	Diffractogrammes DRX le concentré et rejet de <80µm	47
Figure IV.9.	Diffractogrammes DRX le concentré et rejet de <63µm	48

# Introduction générale

---

## Liste des abréviations

Al : Aluminium

C : Concentration

Ca : Calcium

Cu : Cuivre

DRX : Diffraction des rayons X

E.L : Élément léger

ENOF : Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux

Fe : Fer

FX : Fluorescence / Rayons X

IR : Spectroscopie infrarouge

K : Potassium

Mg : Magnésium

Mn : Manganèse

Pb : Plomb

PPM : partie par million

R : Rejet

Rb : Rubidium

S : Soufre

Si : Silicium

Sr : Stéontium

Ti : Titane

Zn : Zinc

Zr : Zirconium

---

---

# INTRODUCTION GENERALE

---

## INTRODUCTION GENERALE

La production et le traitement des minerais de plomb-zinc sont des activités industrielles essentielles pour de nombreux pays à travers le monde. Cependant, ces activités peuvent entraîner la génération de quantités importantes de rejets, qui sont souvent considérés comme des déchets.

Les rejets miniers peuvent contenir divers composés indésirables, tels que des métaux lourds, des éléments radioactifs et d'autres substances potentiellement toxiques, ce qui pose des défis environnementaux importants.

L'un des sites où l'extraction du minerai de plomb-zinc est réalisée est celui de Chaabet El-Hamra. Ce site, situé dans une région spécifique, a accumulé au fil du temps des rejets provenant des différentes opérations minières antérieures. La gestion de ces rejets a toujours posé problème, pour sa cruciale problématique à comment minimiser les impacts environnementaux négatifs et préserver la qualité des sols, des eaux souterraines, de l'écosystème local, ainsi que du cadre de vie des populations environnantes.

Dans ce contexte, la caractérisation et l'enrichissement des rejets du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra jouent un rôle clé. La caractérisation permet d'évaluer la composition chimique et physique des rejets. Cela permet d'identifier les substances préoccupantes et de déterminer les meilleures méthodes de leur isolation, gestion et traitement, pour une éventuelle exploitation dans divers domaines industriels ou autres.

L'enrichissement des rejets vise à récupérer et à valoriser les matériaux précieux ou utiles qui peuvent être présents dans ces résidus miniers. En utilisant des techniques de séparation et de concentration, il est possible de récupérer des minéraux de plomb, de zinc ou d'autres métaux précieux présents dans les rejets. Cela peut contribuer à réduire la quantité de déchets et à maximiser l'utilisation efficace des ressources naturelles.

Au-delà des aspects techniques, la caractérisation et l'enrichissement des rejets du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra soulèvent également des questions environnementales, économiques et sociales. Il est essentiel de trouver des solutions durables qui minimisent les impacts sur l'environnement tout en prenant en compte les coûts économiques et les aspects sociaux liés à la mise en œuvre de ces techniques. C'est justement l'objet et la finalité de cette étude scientifique et technique.

Ce présent travail, à la fois théorique et pratique, est réparti en quatre chapitres :

1e - Après une introduction générale, on présentera dans le premier chapitre le gisement Pb/Zn de Chaabet El-Hamra du point de vue historique, sa géographie et sa géologie, sa minéralogie et la distribution des teneurs.

2e - Le second chapitre présente l'ensemble des différentes étapes de traitement, ainsi que tout le matériel utilisé dans l'usine de Kherzet Youssef.

## INTRODUCTION GENERALE

---

3e - Le troisième chapitre est consacré à la présentation du matériel utilisé et des méthodes adoptées pour le traitement et la caractérisation du rejet, où nous allons examiner et mettre en évidence nos deux types d'échantillons.

4e - Dans le quatrième et dernier chapitre, l'étude est axée sur la séparation par la méthode de flottation directe, ainsi que les résultats et interprétations obtenus.

Enfin, on termine par une conclusion générale qui résume tous les aspects constatés et les résultats trouvés durant cette étude.

### GENESE ET PRESENTATION DU PROJET DE MEMOIRE

#### *A) Pourquoi notre choix pour ce thème de recherche ?*

Considérant les intérêts de notre pays en phase de redressement global basé sur un très prometteur essor économique, dans un contexte mondial complètement chamboulé sur un fond de crise énergétique croissante et des guerres menaçantes ; nous avons pensé à comment contribuer à cet éveil économique et social que connaît l'Algérie, par notre modeste apport scientifique, visant à même d'assurer son indépendance technique et financière vis-à-vis des puissances étrangères, tout en renforçant son cadre de vie et le respect des écosystèmes locaux, et ce par l'exploitation optimale de ses ressources naturelles, qui passe par la récupération et l'exploitation de ses rejets industriels.

#### *B) Pourquoi l'avoir abordé et procédé de cette manière ?*

Vu que le projet de la plus proche mine (celle d'Amizour) est en phase fin prospection et début d'exploitation ( ils ont pas encore extrait le minerai), nous avons opté pour le site le moins éloigné, et qui se trouve être celui d'une wilaya limitrophe (Sétif) situé à Chaabet El-Hamra. Après une première visite de prospection sur les lieux, nous avons convenu sur le choix du sujet de notre étude, ainsi que sur comment l'aborder. C'est ainsi que notre dévolu s'est posé sur comment traiter les rejets industriels de la mine de Chaabet El-Hamra, afin de cibler un triple-objectif :

- Celui de récupérer, pour bénéficier de ces/ses métaux précieux jetés dans la nature ; en transformant ainsi une perte sèche, en un gain certain et considérable !
- Tout en protégeant l'environnement et l'écosystème de la région ; un défi planétaire de grande envergure et aux conséquences inestimables !
- En plus de celui, visant l'amélioration du cadre de vie et la santé des populations implantées ; vu que la vie humaine n'a pas de prix, et qu'elle est l'objet de tous les progrès !

**Chapitre I :**  
**Aperçu sur le gisement de**  
**plomb-zinc de Chaabet**  
**El-Hamra**

# **Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra**

---

## **I.1. Introduction**

Dans le monde, il existe de nombreuses mines dédiées à l'extraction du plomb-zinc, qui constituent une étape essentielle avant de le diriger vers les installations de traitement afin de produire des concentrés de plomb et de zinc de haute qualité et commercialement viables.

En Algérie, plusieurs mines exploitent les gisements de plomb-zinc, dont la mine de Chaabet El-Hamra à Sétif, spécialisée dans l'extraction de la sphalérite (ZnS) et de galène. Dans ce chapitre, nous présenterons la mine de Chaabet el Hamra, en mettant l'accent sur sa géologie avec tous les aspects pertinents.

## **I.2. Historique de la mine de chaabet el-hamra**

Le gisement de Chaabet El-Hamra est connu depuis longtemps, il a fait l'objet d'exploitation des affleurements de calamines dès le début du 20<sup>e</sup> siècle, c.-à-d. de 1910 à 1920, puis de 1936 à 1941.

Plus tard, les travaux d'exploration par forages ont été entrepris afin d'établir l'extension vers des zones connues.

Après la nationalisation des mines en 1966, le gisement de Chaabet El-Hamra a été l'objet de premiers travaux de prospection géologique, de 1967 à 1988, suivis ensuite de travaux d'évaluation par sondages à maille régulière de 50x100 et de 100x100m, de 1989 à 1991.

En 1991 et suite au coup d'eau survenu le 02 juin 1990 à la mine de Kherzet Youssef et qui a mis fin à l'exploitation du gisement, l'ENOF a élaboré un premier dossier de recherche détaillée par ouvrages miniers sur le gisement de Chaabet El-Hamra.

Les travaux miniers ont démarré en janvier 1992 et les ouvrages d'accès ont été achevés en avril 1994. La mine de Chaabet El-Hamra a donc officiellement démarré l'extraction du tout-venant en avril 1994, tout en continuant à réaliser des travaux de recherche au fond pour préciser les réserves géologiques et les conditions hydrogéologiques de celles-ci.

Les résultats financiers de la mine ont été toujours déficitaires, ce qui a poussé l'ENOF à engager périodiquement des analyses et évaluations technico-économiques.<sup>1</sup>

# Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra

## I.3. Situation géographique

Le gisement de Chaabet El-Hamra est situé à vol d'oiseau, à environ 250 km au Sud-Est d'Alger et à 50 km au Sud de Sétif, dans la région de Chouf-Bouarket à 4,5 km d'Ain-Azel et à 12 km au Sud-Est du complexe minier de Kherzet Youssef.

- ❖ Ses coordonnées géographiques approximatives sont :  $35^{\circ}45'N$  et  $5^{\circ}30'E$ ;
- ❖ L'altitude du site varie de 950 à 1200 mètres;
- ❖ Le climat de la région est semi-aride, froid en hiver et chaud en été ;
- ❖ Les précipitations annuelles moyennes sont de 322 mm, dépassent rarement les 500 mm;
- ❖ La température moyenne annuelle est de  $15^{\circ}C$ .

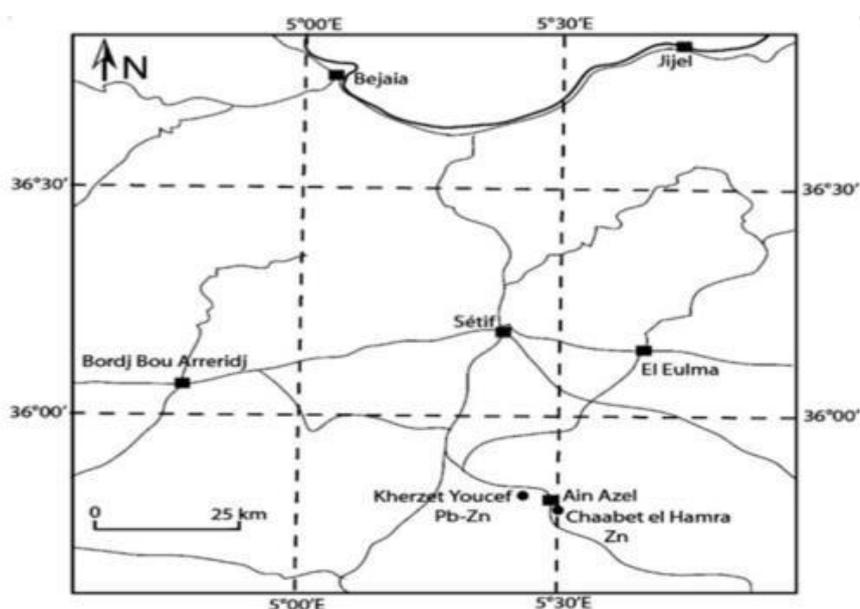


Figure I.1 : Situation géographique de la mine de Chaabet El-Hamra.<sup>3</sup>

## I.4. Géologie du gisement

### I4.1. Stratigraphie du gisement

Elle est caractérisée principalement par les dépôts du Crétacé, dont l'Hautérvien présente le plus grand intérêt, car il contient la minéralisation.

La série stratigraphique est représentée par :

#### VALANGINIEN ( $n_2$ )

Les dépôts du Valanginien (stériles) affleurent à l'Est de la faille orientale et à l'Ouest du gisement et sont représentés par une alternance d'aleurolites grises avec des grés quartzeux gris clair, des dolomies gréseuses et argileuses, des calcaires et des marnes gris-verdâtres.

#### HAUTERIVIEN ( $n_3$ )

La minéralisation zincifère d'intérêt industriel est localisée dans la partie inférieure de l'Hautérvien, dont la puissance varie de 100 à 150 m. Cet étage est subdivisé en deux (2) niveaux :

**A. Hautérvien inférieur ( $n_3^1$ ) :** Ce niveau, d'une puissance totale variant de 70 à 120m, est à son tour divisé en trois termes :

- $n_3^{1a}$  : composé de dolomies grises massives, à grains fins, parfois gréseuses, souvent à petites inclusions et nodules, de couleur blanchâtre, et parfois de cal arénites noires dans la partie supérieure de 2 à 5 m du toit ; ce terme est discontinu et son épaisseur est de 1 à 2 m.
- $n_3^{1b}$  : représenté par une superposition, de bas en haut, de marnes gris-verdâtres (0,5 à 2 m), d'aleurites gris-brun (2 à 5 m), de dolomies grises (2 à 10 m), de dolomie gréseuses (3 à 8 m) et de marnes bariolées (5 à 10 m).
- $n_3^{1c}$  : également caractérisé par des dolomies à grains fins de couleur brunâtre ou fortement hématitisées (l'hématite est sous forme de nids et de filonnets dans la masse dolomitique).

**A. Hautérvien supérieur ( $n_3^2$ ) :** ce niveau, d'une puissance globale variant de 80 à 120 m, est subdivisé en cinq termes :

## **Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra**

---

- **n<sub>3</sub><sup>2a</sup>** : formé de grés, parfois en alternance avec des argiles, de marnes et aleurolites verdâtres, avec toujours à la base de l'alternance un niveau calcaire gris-clair, dont une partie, de 1 à 3m d'épaisseur, est dolomitisée.
- **n<sub>3</sub><sup>2b</sup>** : représenté par des dolomies massives à grains fins plus ou moins hématitisés.
- **n<sub>3</sub><sup>2c</sup>** : représenté par un calcaire gris argileux (parfois renfermant des passées argilomarneuses ou siliceuses) dont l'épaisseur varie de 10 à 15 m.
- **n<sub>3</sub><sup>2d</sup>** : constitué de dolomies à grains fins, de couleur gris-brun, souvent argileuses, dont la

## Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra

---

puissance totale varie de 15 à 20 m.

- **n<sub>3</sub><sup>2e</sup>** : caractérisé par une irrégularité de composition et de puissance ; essentiellement représenté par des calcaires gris en alternance grossière avec des marnes et des

aleurolites ; dans la partie inférieure de ce terme, les calcaires sont remplacés par des dolomies recristallisées.

### BARREMIEN (n<sub>4</sub>)

Il est développé au Nord-Ouest et au Sud du gisement et il est subdivisé en deux niveaux :

**A. Barrémien inférieur (n<sub>4</sub>)** : ce niveau est à son tour divisé en trois termes :

- **n<sub>4</sub><sup>1a</sup>** : formé essentiellement par des grés et des dolomies gréseuses parfois

argilo-bitumineuses, avec une fine dissémination de pyrite et de passées de dolomies légèrement oxydées ; la puissance de ce terme varie de 40 à 60 m.

- **n<sub>4</sub><sup>1b</sup>** : constitué par une alternance de dolomies marneuses massives, de marnes et de calcaires marneux ; sa puissance varie aussi de 40 à 60 m.
- **n<sub>4</sub><sup>1c</sup>** : représenté par des dolomies massives à grains fins, avec des fissures remplies d'oxydes et de calcite, et une puissance variant de 15 à 20 m.

**B. Barrémien supérieur (n<sub>4</sub><sup>2</sup>)** : ce niveau est subdivisé en quatre termes :

- **n<sub>4</sub><sup>2a</sup>** : représenté par des dolomies gréseuses, massives à grains fins ou moyens, avec souvent des fissures remplies par de la calcite et, vers la fin du terme, par de la pyrite disséminée ; la puissance de ce terme varie de 20 à 30 m.
- **n<sub>4</sub><sup>2b</sup>** : formé de grés bruns, avec une alternance d'aleurolites et d'une dolomie très gréseuse, et, en fin d'intervalle, un aspect broyé de la roche, la puissance du terme varie de 30 à 40 m.
- **n<sub>4</sub><sup>2c</sup>** : constitué d'une alternance de dolomie gréseuse, de grés bruns (dolomies et grés compacts, massifs et légèrement hématitisés) et d'argiles verdâtres. Sa puissance varie de 60 à 130 m.
- **n<sub>4</sub><sup>2d</sup>** : formé de dolomies gréseuse et argileuse et de calcaire brun-violet, avec des passés d'argile verdâtre. Sa puissance est d'environ 60 m.<sup>4</sup>

## Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra

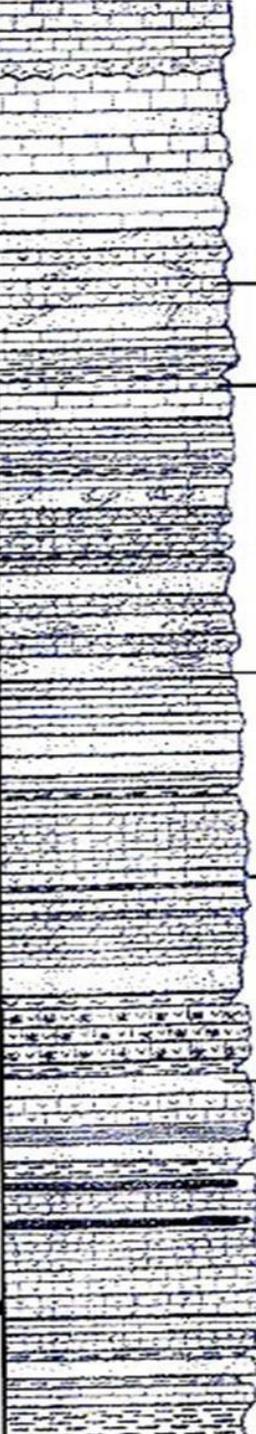
ETAGE	LOG	Conséquence Hydrogéologique	
Miocène 30 m		Perméable	<b>Non étudié</b>  Inexistant dans la partie centrale du gisement Exploité par les fellahs
Aptien 60 m			
Barrémien 200 m		Semi -Perméable	<b>Etudié sommairement</b>  Situé au dessus du Niveau Statique dans la partie centrale du gisement exploité par les fellahs
		Perméable	
Hautérvien Supérieur 120 m		Perméable	<b>Etudié</b>
		Semi -Perméable	
Hautérvien Inférieur 120		Perméable	
Valanginien		Imperméable	<b>Etudié</b>

Figure I.3 : Log stratigraphique de gisement Chaabet El-Hamra (d'après ENOF 1993).<sup>5</sup>

# Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra

---

## I.4.2. Tectonique

Le gisement de Chaabet-El-Hamra appartient au Horst anticlinal de Rahbat et occupe la partie extrême ouest de son flanc Sud-Ouest. Il se caractérise par une structure complexe. Le gisement se subdivise en trois blocs.<sup>7</sup>

### a. Le Bloc Est

Trois (3) côtés de ce bloc sont limités par des failles, tandis que le côté Sud est ouvert et se trouve en contact avec les calcaires du Néogène. Sur le plan structural, le bloc représente un brachyanticlinal et le pendage des flancs du pli est : 10° à 15° NE et 15° à 20° SO. Sur le fond général du pli, il existe des complications locales sous forme de dômes, gradins, etc.

Le pli est compliqué par des accidents cassants :

- **La faille sud** : de direction latitudinale dans le flanc Sud-Est du brachyanticlinal, c'est une faille normale à rejet vertical de 100 à 120 m avec un pendage au Nord inférieur à 65-75°.
- **La faille diagonale** : elle s'étend vers le Nord-Est sub-parallèlement au plan axial.

### b. Le bloc central

Il a la forme d'un coin, dont l'angle aigu est formé par le raccordement des failles centrale et latitudinale dans la partie Est. La partie opposée du coin s'en va en s'élargissant à l'Ouest du gisement. Sur le plan structural, le bloc Central est plus compliqué. Dans son ensemble, le coin représente un Graben à amplitude d'affaissement de 15 à 20 m. le Bloc Ouest. Il est localisé au Nord-Ouest de la faille normale et se trouve limité par des dislocations cassantes Est, Ouest, latitudinale et centrale.

- **la faille centrale** : c'est une faille normale qui s'étend de l'extrémité Nord jusqu'à l'extrémité Sud, avec un pendage au Sud-Est inférieur à 70-75° et un rejet vertical de 10 à 15 m dans sa partie Nord-Est, elle coupe un chevauchement à pente douce.
- **La faille latitudinale** : c'est une faille normale dérivée de la faille centrale. Elle se prolonge à l'Ouest au-delà du gisement, avec un pendage au Nord de 75 à 80° et un rejet vertical de 10 à 20 m.
- **La faille Est** : dérivée aussi de la faille centrale, cette faille normale est orientée vers l'Est, de direction subméridienne, avec une amplitude verticale du rejet de 80 m, voire de 100 m suivant le plan de faille, et un pendage Sud-Ouest inférieur à 65-70°.
- **La faille Ouest** : cette faille normale se dégage du dessous du dépôt quaternaire, bordant le flanc Sud-Est du brachyanticlinal du bloc Est, et change de direction jusqu'à 300°, se faisant couper par la faille latitudinale ; c'est une faille en escalier formant des plaques, des coins,

## **Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra**

---

dans une zone d'environ 70 m de large, et le pendage est à l'Est inférieur à 70-85° tandis que les rejets verticaux atteignent 10 m.

La partie inférieure (profil 10-15) est affectée par deux accidents tectoniques majeurs subparallèles de direction Nord-Est/Sud-Ouest à savoir : la faille diagonale et la faille latitudinale. La première est située entre le profil 13 est d'un rejet de 4 mètres avec un pendage d'environ 50 degrés vers le Sud-Est. Par contre la faille latitudinale est située entre les profils 15 et 16. Son rejet est de 10 mètres avec un pendage d'environ 60 degrés vers le Nord-Ouest.

### **I.4.3. La minéralisation**

Les roches constituant la surface sur laquelle se trouve le gisement sont :

- Les grès organogènes;
- Les argiles;
- Les dolomies à sphalérite ;
- Les dolomies stériles ;

La minéralisation du gisement de Chaabet el-Hamra est observée en faisceaux sous forme de lentilles minéralisées de composition tantôt monominérale, tantôt mixte. Elle est représentée essentiellement par la sphalérite, la pyrite, la marcassite.

Les minéraux secondaires sont la galène et l'hématite. Les minéraux de gangue sont: la barytine, la dolomie, la galène, l'hématite et plus rarement le quartz et le gypse.

Les minéraux d'oxydation sont principalement la smithsonite, la cérusite et la limonite.<sup>8</sup>

- **La sphalérite**

Elle se présente en général sous forme d'agrégats monocristallins ou de cristaux clastiques isolés. Elle est liée à la présence de la pyrite, la marcassite et de la dolomie secondaire.

- **La pyrite**

Elle apparait sous forme de grains fins exomorphes disséminés dans la dolomie, en agrégats ou en filonnets.

## **Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra**

---

- **La marcassite**

Elle se présente sous forme d'agrégats cristallins aplatis

- **La galène**

Elle est peu fréquente et se trouve parfois en association avec la barytine en cristaux et sous forme d'inclusion dans la dolomie blanche.

- **L'hématite**

Elle est très abondante, parfois associé à la barytine

- **La barytine**

Elle se présente sous la forme de filonnets de composition monominérale formant des nids dans des minerais pyriteux de couleur blanchâtre. Elle forme des agrégats avec une structure tubulaire en masse lamellaire et en rosette.

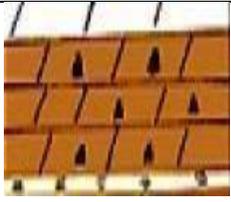
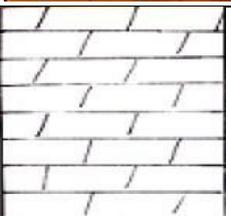
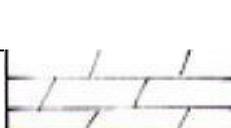
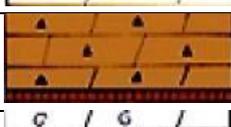
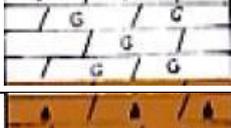
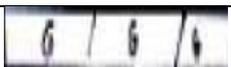
- **La dolomie**

Elle constitue une teneur importante dans la constitution de la gangue des corps minéralisés et formant des roches encaissantes. Il y a deux générations de dolomie: la dolomie I précoce et la dolomie II tardive (cristaux plus grands).

Elle présente des formes en nids, en nodules et en filonnets de couleur blanchâtre.

## Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra

**Tableau I.1:** La minéralisation du gisement (D'après TERRAMIN AUSTRALIA LIMITED)

Corps N°	Couche N°	Lithologie	Puissance (m)	Description
Corps 1			0,230	Grès organogène Marne noire à aspect schisteux
	6		0,50	Dolomie bréchique faiblement minéralisée
			1,50	Dolomie à minéralisation disséminée de sphalérite
			0,20	Joint marneux
	5		2,00	Dolomie grise et nids de baryte par endroits La couche est à moitié stérile
4		2,00	Dolomie à minéralisation disséminée de sphalérite	
Corps 2			4-10	Stérile
Corps 3	3		0,20	Sphalérite massive à joint argileux
			1,60	Dolomie à minéralisation bréchique de sphalérite
			0,40-2,0	Dolomie stérile
	2		1,60	Dolomie à veines de sphalérite
			0,20	Sphalérite massive
			1,50-2,00	Dolomie à concrétions stériles
1		0,230	Minéralisation bréchique Dolomie stérile	
		0,70	Sphalérite massive par endroit	
		0,50	couche minéralisée	
			Dolomie à concrétion	



Sphalérite massive



Dolomie bréchique avec sphalérite et baryte

# Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra

## I.4.4. Hydrogéologie

La région reconnaît l'importance cruciale de l'eau d'exhaure. La catastrophe du "coup d'eau" survenu le 2 juin 1990 a eu des conséquences désastreuses, entraînant la fermeture définitive de la mine de Kharzet Youssef. Afin de répondre aux besoins agricoles, cette eau est récupérée, mais sa présence constitue un obstacle majeur à l'avancement des travaux d'exploitation de la partie inférieure du gisement de Chaabet El-Hamra. Les données géologiques et hydrogéologiques confirment l'existence de deux nappes libres.<sup>9</sup>

- Dans la partie centrale du gisement, existe une nappe contenue dans les formations hauteriviennes carbonatées à perméabilité de fissure.
- Dans la partie Nord-Ouest du gisement une nappe aquifère est reconnue dans les formations barrémiennes. Cet aquifère est associé aux grès dolomitiques.
- Dans la partie Est du gisement deux sondages hydrogéologiques ont été exécutés, ces derniers ont donné des résultats négatifs et une absence de venues d'eau a été notée. Les travaux miniers réalisés par l'ENOF ont confirmé qu'il n'y a pas de niveau aquifère dans la partie Est.

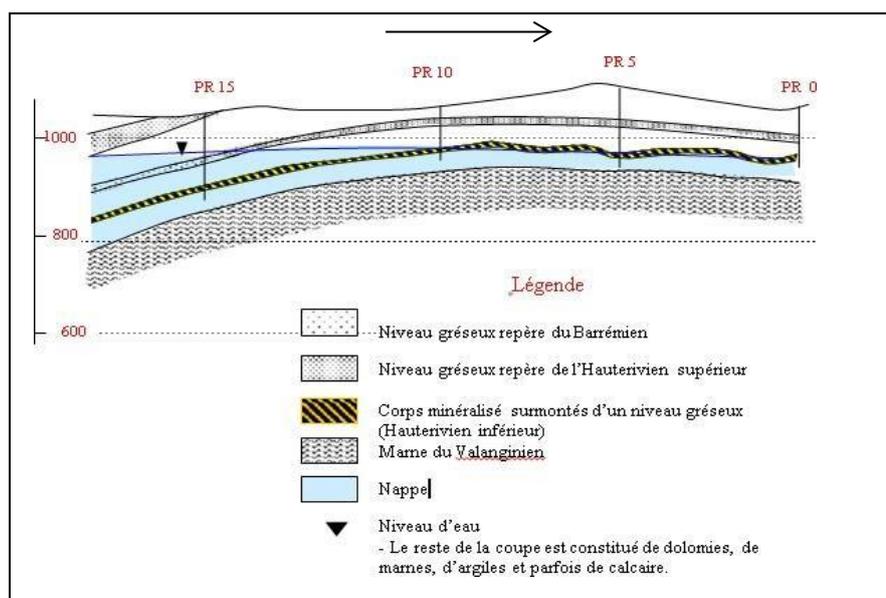


Figure I.5 : Coupe hydrogéologique Profil 0 – Profil 15 (d'après ENOF 2003).<sup>10</sup>

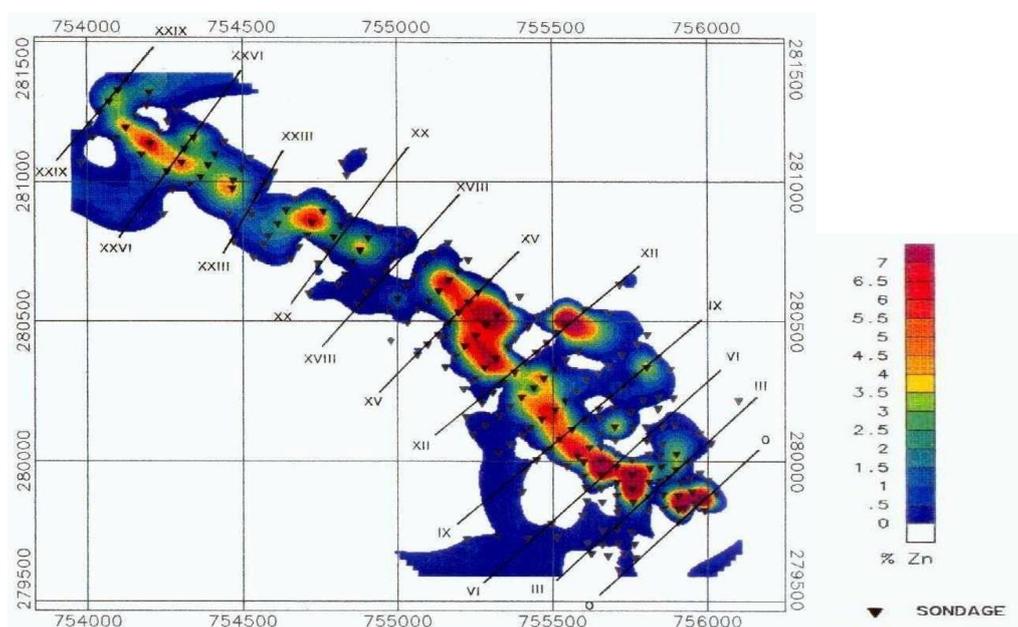
# Chapitre I : Aperçu sur le gisement de minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra

## I.5. Réserves géologiques

Le projet d'exploitation des réserves de Chaabet El-Hamra retenu par l'ENOF n'a pris en considération que les réserves situées entre les profils 0 et 15 pour les raisons suivantes :

- Entre les profils 16 et 24, il existe un secteur d'environ 800 m de longueur à l'intérieur duquel les corps minéralisés sont absents ou présentent des teneurs et des épaisseurs insuffisantes pour justifier leur exploitation (voir Fig I.7) Distribution des teneurs de corps de minerai)
- Au-delà du profil 15, les données hydrogéologiques sont plus contraignantes.
- La partie du gisement située entre les profils 15 et 31 plonge vers le NO avec un angle plus prononcé que la moyenne (approximativement 15°). Cette particularité causera de plus grandes difficultés d'ouverture et d'exploitation.

Sur la base de l'évaluation de l'E.N.O.F 1996 et avec l'application des taux de salissage qui est de (10 - 13) % et de Pertes qui est de (8 - 10) % prévus dans les méthodes d'exploitation retenues, ainsi qu'un coefficient correcteur qui est de 70 % appliqués sur les quantités et les teneurs calculées initialement (par rapport à l'exploitation de la partie supérieure), les réserves récupérables du profil 10 au profil 15 s'élèvent à : 705 900 Tonne à 9,16% Zn.<sup>11</sup>



**Figure I.6 :** Distribution des teneurs en Zn des corps minéralisés (SIDAM)

## Chapitre I : Aperçu sur le gisement du minerai de plomb-zinc de Chaabet El-Hamra

---

Les réserves géologiques du gisement on fait l'objet de plusieurs évaluations. La situation des réserves au 31/12/2008 se présente comme suit :

**Tableau I.2.** Réserve du corps supérieur et inférieur du gisement de Chaabet El-Hamra

	<b>Reserves exploitable</b>	<b>Te (%)</b>	<b>Réserves exploitable Corriger</b>	<b>Te (%)</b>
<b>Parties supérieure (Profile 0 à10)</b>	507463	9,31	448186	7,13
<b>Parties inférieure (Profile 0à15)</b>	1043000	9,21	705900	7,16

### I.6. Conclusion

Le gisement de Chaabet El Hamra en Algérie est réputé pour être l'un des plus importants gisements de plomb/zinc du pays, il présente des réserves substantielles. Le minerai extrait de ce gisement est d'un intérêt particulier en raison de sa grande variété d'espèces minérales. Les réserves géologiques sont estimées à environ 705 900 tonnes de minerai.

**CHAPITRE II : Technique  
et technologie de  
traitement du minerai de  
Plomb-Zinc à Kherzet  
Youssef**

# CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerais de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

## II.1. Introduction

La préparation des minéraux pour l'enrichissement comprend plusieurs étapes. Le concassage, le criblage, tandis que le broyage.

L'enrichissement des minéraux vise à séparer les éléments de valeur des éléments inutiles. La flottation est considérée comme la meilleure technique de traitement des minéraux sulfurés dans le monde entier. C'est la méthode utilisée pour traiter le minerai sulfuré de zinc provenant de la mine de Chaabet El Hamra.

Dans ce chapitre nous présentons l'ensemble des différentes étapes de traitement, ainsi que le matériel complet utilisé dans l'usine de Kherzet Youssef.

## II.2. Préparation mécanique

### II.2.1. Section de concassage et de criblages

La section de traitement mécanique du minerai est conçue pour fonctionner avec une cadence de l'ordre de 250 t/j.

La réduction du tout-venant de 0 à 40 mm jusqu'à 0 à 20 mm:

- a. **Première étape** : obtention de la classe 0 - 40mm une fois déversée dans la trémie de réception, le minerai est introduit dans un concasseur à mâchoires. (Figure II .1).

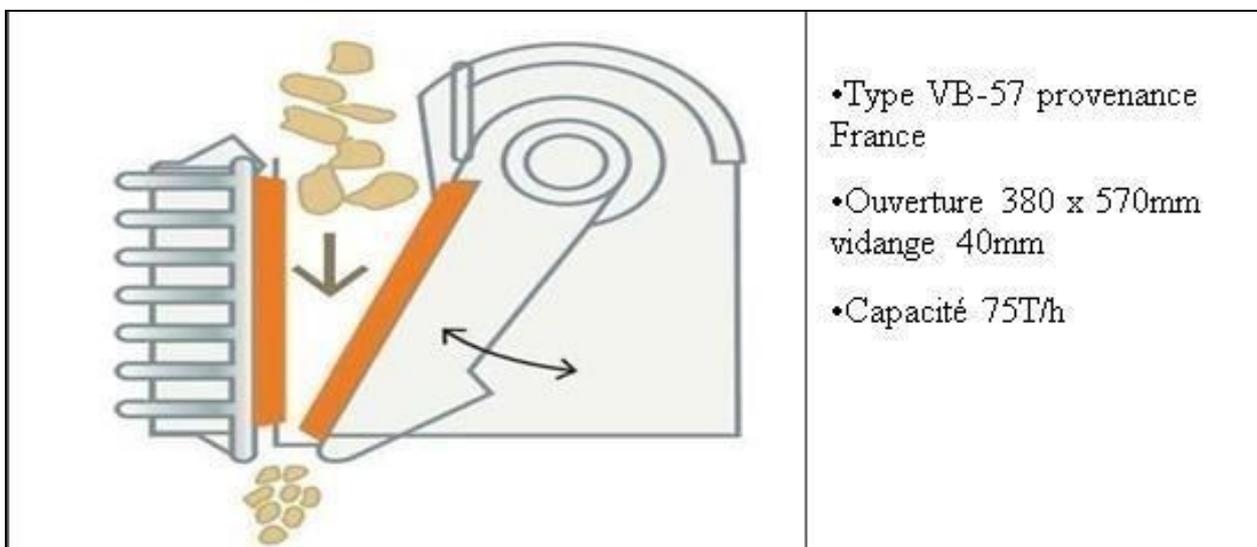


Figure II .1: Concasseur à mâchoire.<sup>1</sup>

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerai de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

### a. Deuxième étape : obtention de la classe 0-20mm :

Les produits issus du concasseur à mâchoire (0- 40mm) est acheminé à l'aide d'un transporteur à bande n°1 d'une longueur de 82 m vers le crible vibrant de type SYMONS (20\*160mm) (Figure II .2).

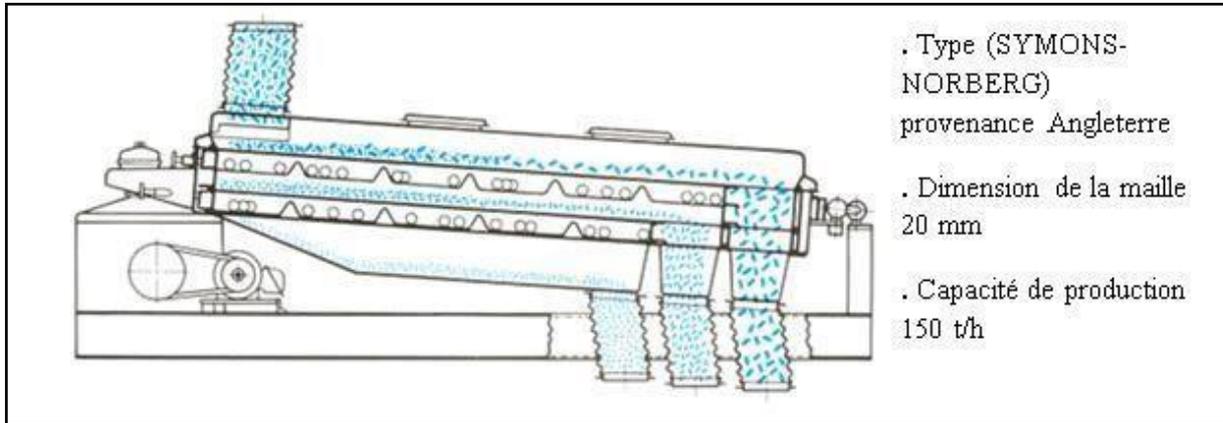


Figure II .2: Crible vibrant.<sup>2</sup>

### b. Troisième étape

Le produit inférieur à 20 mm est stocké dans 02 trémies métalliques d'une capacité de 25 tonnes chacune.

La classe supérieure à 20mm est dirigée vers le concasseur à cône jusqu'à l'obtention de la classe 0-20mm (Figure II.3), cet appareil fonctionne en cycle fermé avec le transporteur à bande n°1

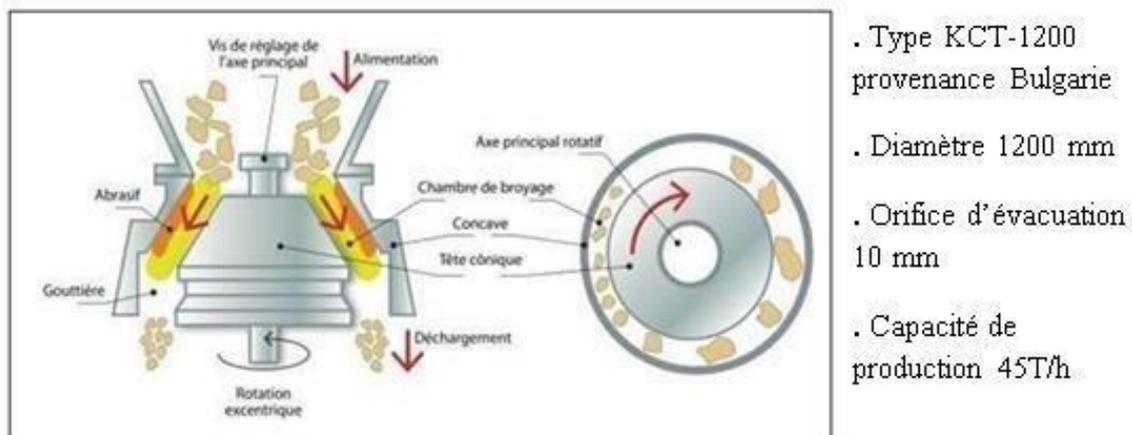


Figure II.3: Schéma de principe du concasseur à cône.<sup>3</sup>

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerais de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

---

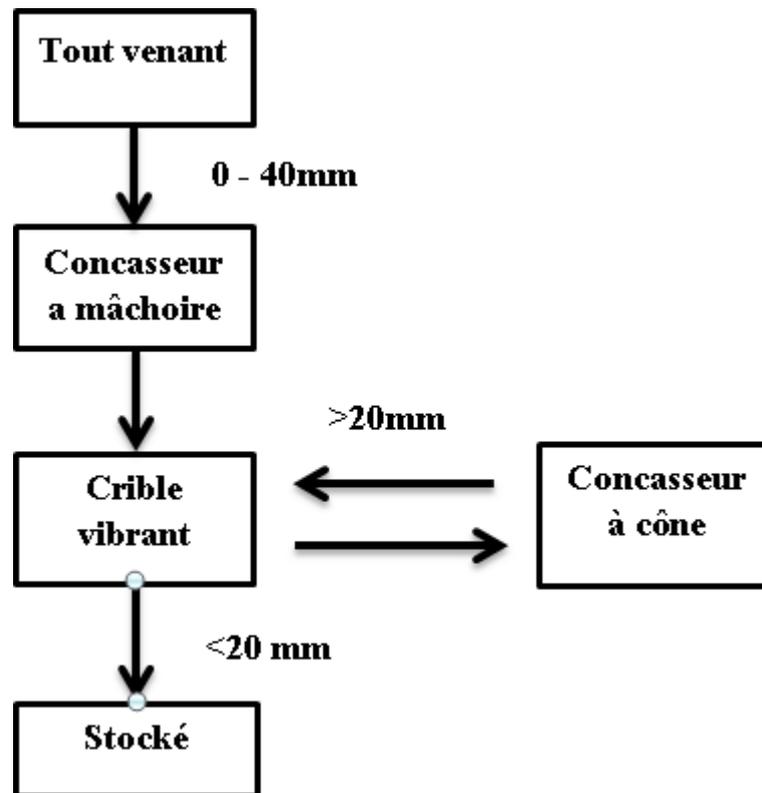


Figure II.4 : Schéma technologique de Section de concassage et de criblages

### II.2.2. Section broyage et classification

Obtention d'une granulométrie  $74\mu\text{m}$

- a. **Première étape** : l'enchantions doit être broyé pour obtenir une granulométrie  $74\mu\text{m}$  dans un broyeur à boulets. (Figure II.5)

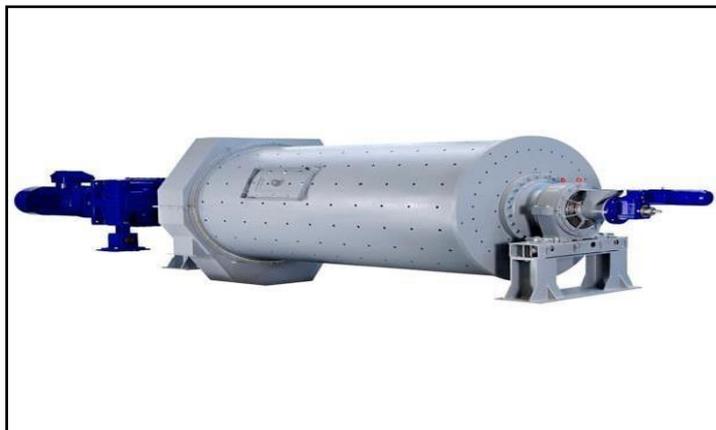


Figure II.5: Broyeur à boulets

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerais de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

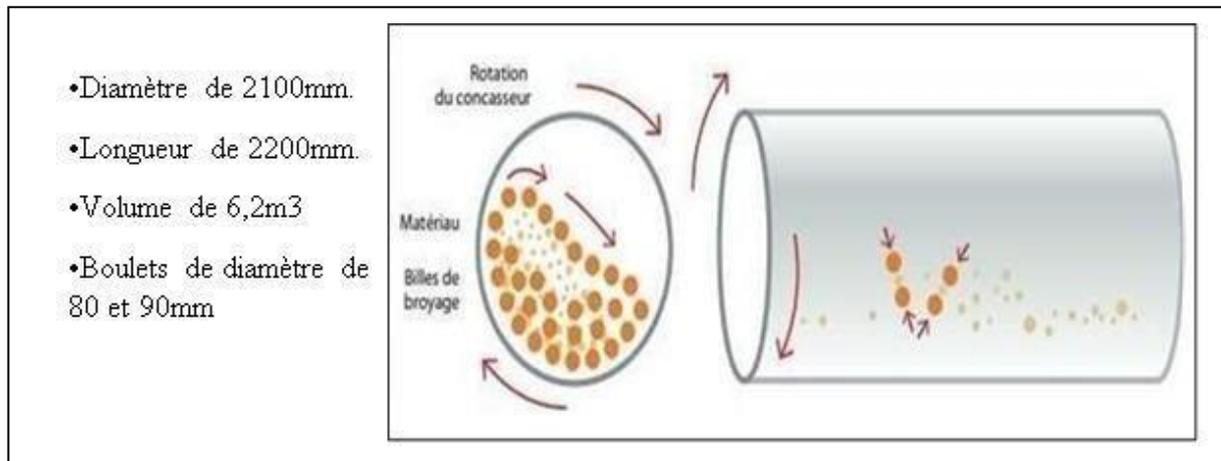


Figure II.6: Principe de broyeur à boulet.<sup>4</sup>

- b. **Deuxième étape** : l'échantillon broyé il va passer par un classificateur (classificateur séparent entre les particules grossières et particules fines) (Figure II .7).
- le produit inférieur à 74µm il va passer directement à la flottation
  - Par contre le produit supérieure à 74µm il va rebroyé jusqu'à la granulométrie nécessaire



Figure II .7: Section broyage et classification

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerai de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

### ➤ Calcul de la capacité de production du broyeur

Ce qui est très important, c'est de s'assurer que les équipements sont aptes à réaliser la capacité de production voulue et ceci à la base du minerai « tout-venant » et la classe inférieure à 0,074 mm préparer.

La capacité du broyeur est définie comme suit :

$$Q = V * q * 100 / (B1 - B2) \text{ (t/h)}$$

- V : volume de broyeur = 6,2 m<sup>3</sup>
- q : productions de broyeur = (0,77 t/m<sup>3</sup> H)
- B1 : teneur de la classe (0,074mm) dans le minerai broyé 65%
- B2 : teneur de la classe (0,074mm) dans le tout-venant 21%

$$Q = 6.2 * 0,77 * 100 / (65 - 21) = 10.85 \text{ t/h} \approx 11 \text{ t/h}$$

Le broyage et la classification s'effectuent dans les limites de 11 t/h. Ceci dans le but d'assurer la capacité nécessaire de production et les paramètres technologiques.

Il existe au niveau de la laverie de Kherzet Youcef un deuxième petit broyeur qui est à l'arrêt et qu'il nécessite des travaux de réhabilitation, il est prévu de le réparer durant l'année de 2023. Ce broyeur peut augmenter la capacité de broyage jusqu'au 14t/h.

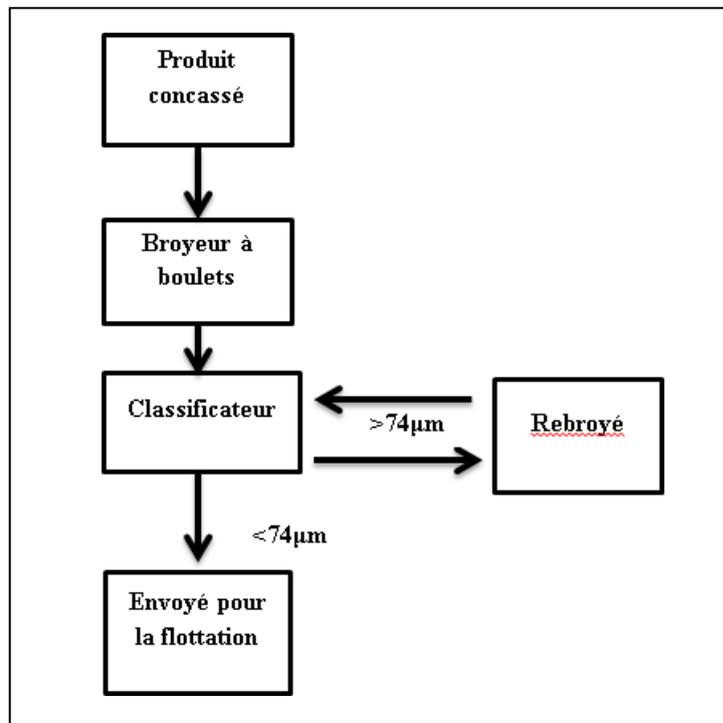


Figure II.8 : Schéma technologique de Section broyage et classification de l'usine.

## **CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerai de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef**

---

### **II.3. Méthode d'enrichissement**

#### **II.3.1. Section de flottation et de filtration**

Le traitement du minerai se faitier flottation. Cette dernière consiste à ajouter à la pulpe, des produits chimiques jouant chacun un rôle bien déterminé, à extraire les particules minérales désirées par fixation de ces dernières à des bulles d'air qui les ramènent en surface en formant une mousse. Pour ce faire, les particules minérales doivent être de taille fine. Des phases mécaniques de concassage et de broyage préalables sont alors indispensables.

Les réactifs utilisés dans ce procédé sont de quatre catégories, (voir tableau II.1 ci-dessous)

- Les collecteurs : Ils imprègnent les surfaces minérales et donnent ainsi aux particules minérales les propriétés d'adhésion aux bulles d'air. En d'autres termes, ils les rendent aérophiles (ou hydrophobes).
- Les moussants : Ils augmentent la durée de vie des bulles d'air à la surface de la pulpe, leur permettant ainsi de rester stables assez longtemps pour être collectées. Sans eux, les bulles s'éclateraient et leur charge minérale retomberait dans la pulpe.
- Les déprimants : Ces composés chimiques inorganiques ont la capacité de rendre une substance donnée non-flottable même en présence d'un collecteur approprié. Les déprimants sont ceux utilisés pour déprimer la sphalérite et la pyrite. Ils permettent alors de flotter la galène
- Les activant : Ils ont une action contraire à celle des déprimants. Ils rendent flottable une substance déprimée. Ils sont introduits après la flottation de la galène pour flotter la blende.<sup>5</sup>

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerai de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

**Tableau II.1.** Réactifs de flottation de la laverie du complexe minier de Kherzet Youcef.

Type de réactifs	Nom des réactifs
<b>Les collecteurs</b>	-Aerofloat (acide crésylthiophosphorique) OR -Les Xanthates S=C SX R : radical X : K ou Na
<b>Les moussants</b>	- Huile de pin (20-80 g/T de minerai traité) - Crésol (50-200g/T de minerai traité)
<b>Les déprimants</b>	- Le cyanure de sodium - La chaux - Les chromates et les bichromates - Le silicate de soude
<b>Les activateurs</b>	-Le sulfate de cuivre $CuSO_4$

Le minerai de zinc une fois broyé passe directement dans une cellule d'agitation pour permettre au sulfate de cuivre de libérer les grains des minéraux de zinc et au xanthate de collecter les grains de zinc et les déposent périphérique ment aux bulles d'air.

Ensuite la pulpe mélangée avec les réactifs passe premièrement par une opération de flottation principale, après une opération de contrôle et trois autres opérations d'épures, les calculs de la flottation sont faits sur les paramètres suivants :

### A. La durée de flottation pour les opérations principales :

$$T = 14,4.W.N.B / Q$$

- W=volume de la pulpe dans la machine
- N=nombre de machine de flottation
- B=taux du solide
- Q= capacité de production du broyeur en minerai (T/24h)
- 14,4 coefficients de transformation des heures en minutes

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerai de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

---

$$T = 14,4 \cdot 100 \cdot 19 \cdot 39 / 250$$

$$T = 42,68 \text{mn}$$

### B. Capacité de production du flux de la pulpe

$$P = (Q/E) \times (100/1440) \text{ m}^3/\text{mn}$$

- Q = capacité du broyage (t/24h)
- E = poids relatif de la pulpe
- P = (250 / 39) x (100/1440) = 0,45 m<sup>3</sup>/mn

### C. L'efficacité de l'enrichissement

$$E = [(RcZn - \delta cZn) / (1 - (a/B \text{ moyen}))]$$

- RcZn : récupération de concentré de zinc
- $\delta cZn$  : teneur en métal tout venant
- Bmoy (ZnS) = masse molaire de zinc / masse molaire de zinc + masse molaire de soufre
- Bmoy (ZnS) = 32/32+65
- $\delta cZn = [a - \mu/B - \mu]$
- B : teneur en métal dans le concentré
- $\mu : 0,94$
- $\delta cZn = [5,16 - 0,94/53 - 0,94] = 9,16\%$

$$E = [(85 - 9,16) / (1 - (5,71/53))] = 91,17 \%$$

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerais de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef



Figure II .9: Section flottation - filtration.

### D. Calcul de la production annuelle totale :

- Nombre de poste : 03
- Nombre de jour ouvrable par mois : 21 jours
- Nombre de mois ouvrable : 11 mois
- Coefficient d'utilisation : 90%

$$Pa = N_h/j * N_j * N_m * Cu * Cb$$
$$Pa = 24 * 21 * 11 * 0.90 * 12 = 60\ 000 \text{ tonnes}$$

### E. Réactifs chimiques

Pour la flottation de zinc, l'usine de traitement de minerais de Kherzet Youcef utilise les réactifs suivant :

- La chaux, comme régulateur, à raison de 1 à 2.5 kg/t
- La sulfate de cuivre, comme activant, à raison de 250 à 500g/t
- L'isobuthylxanthate, comme collecteur à un taux de 50 à 150g/t
- L'huile de pin, comme moussant, de 25 à 75g/t

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerais de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

---

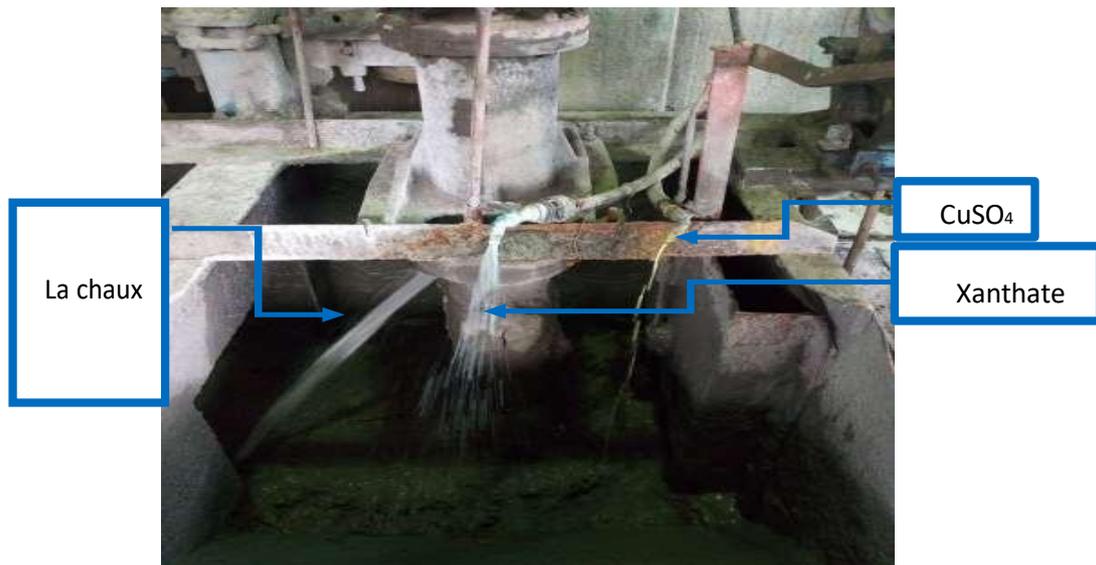


Figure II .10: Distribution des réactifs chimiques.



Figure II .11 : Flottation de minerai de zinc de kherzet youcef.

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerais de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

---

### II.3.2. Machine de flottation

Les machines de flottation utilisées à l'usine sont de type Denver.

Les bancs de cellule de flottation de type Denver standard sont constitués de bacs cubiques, l'air est introduit par l'espace prévu autour de l'axe de turbine, l'aspiration est due à la cavitation de la turbine, la cavitation produisant une dépression, les aubes de la turbine provoquent, à l'aide des déflecteurs, un mélange interne de bulles d'air et de pulpe d'alimentation ; les grains grossiers qui ne pourraient pas remonter sont directement acheminés, comme les particules plus fines. On peut introduire de l'air comprimé par compresseur dans la cellule afin d'augmenter le nombre des bulles et en même temps multiplier les interfaces liquide-air.

Un orifice est prévu pour la recirculation du produit en direction du centre de la turbine, la reculade dans l'espace annulaire et le retour des mixtes et des grains grossiers. Il faut signaler le compartimentage qui permet de pousser les mousses vers l'écumeur, le cloisonnement permettait dans les anciennes cellules Denver, d'avoir une zone tranquille et le retour des matériaux mal collectés dans la cellule. Bien que peu utilisé le cloisonnement présentant l'intérêt d'augmenter la teneur des produits flottés.



**Figure II.12 :** Cellules de flottation de la laverie du complexe minier de Kherzet Youssef

## CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerais de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef

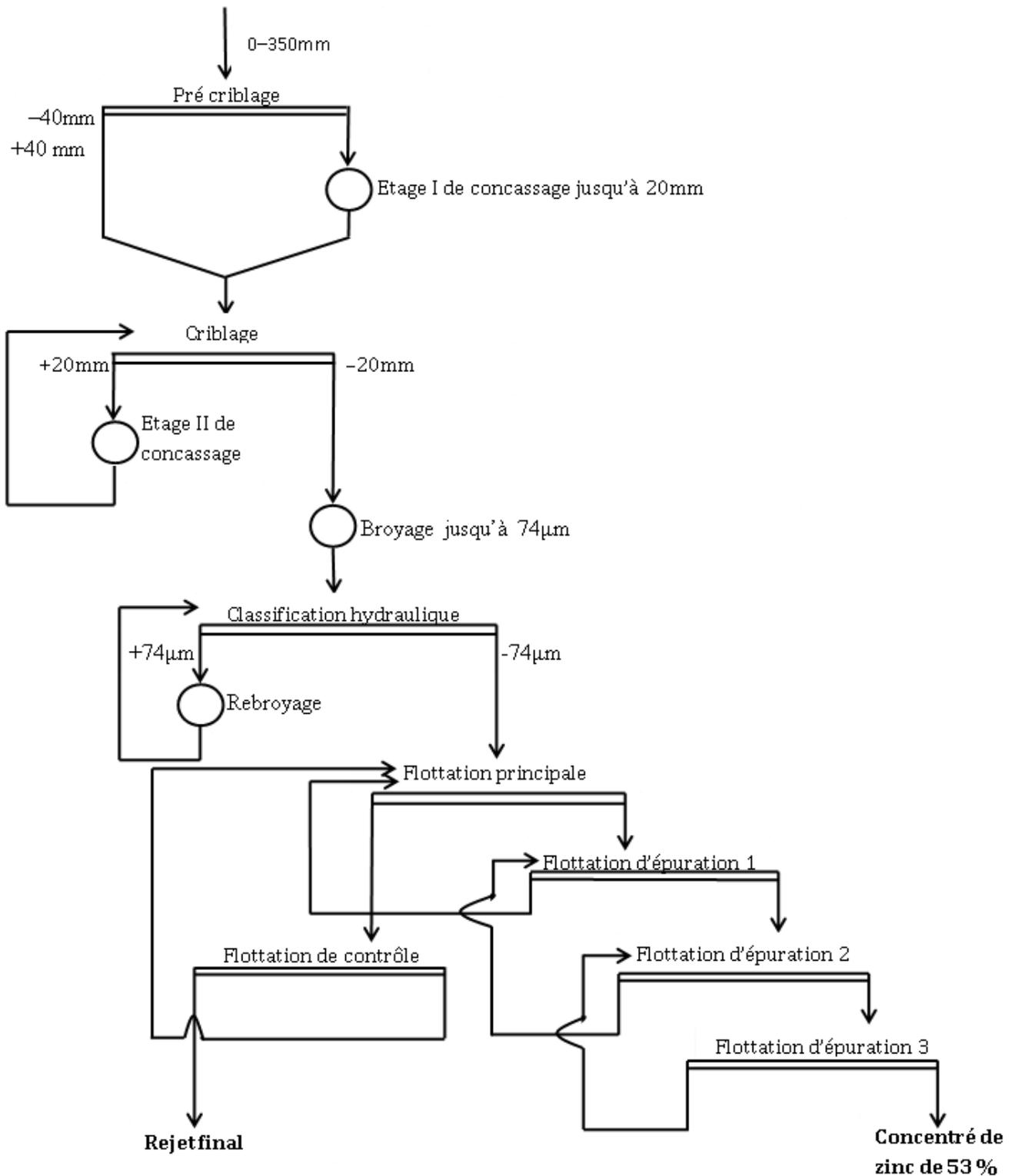


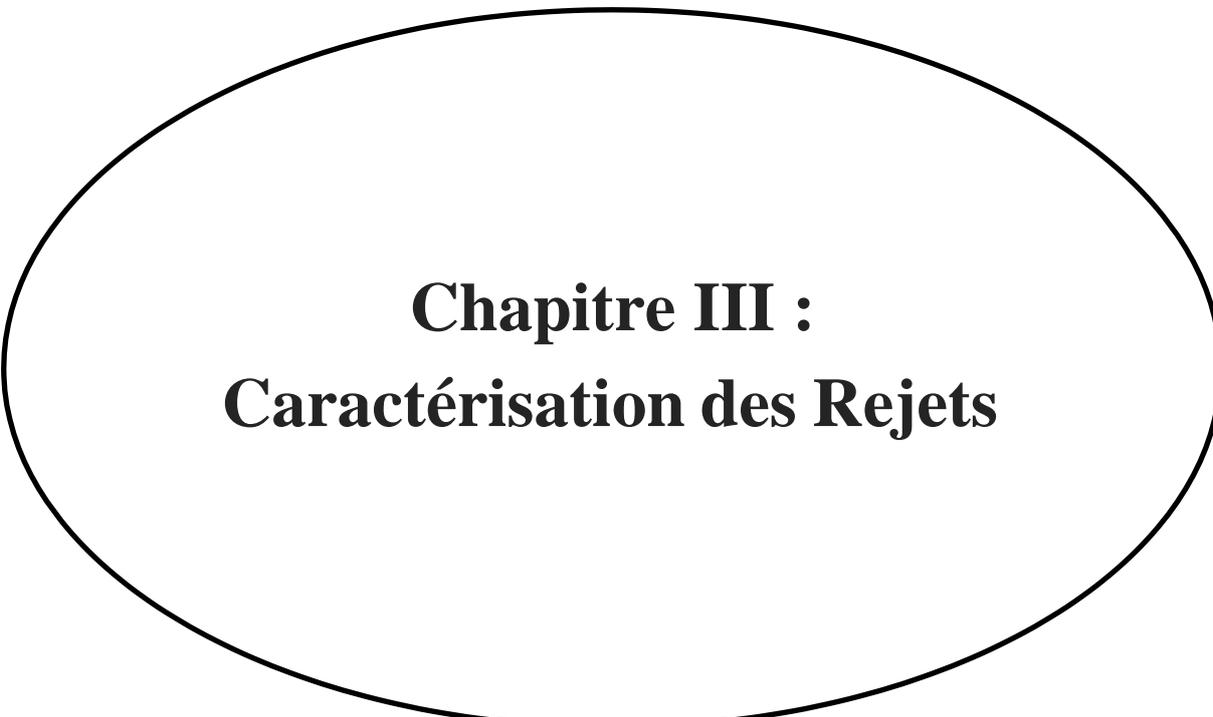
Figure.II.13: protocole de la chaine de traitement du complexe minier de Kharzet Youssef

## **CHAPITRE II : Technique et technologie de traitement du minerai de Plomb-Zinc à Kherzet Youssef**

---

### **II.4. Conclusion**

Les opérations de préparation mécanique, de broyage, de classification, de flottation et de filtration sont essentielles dans le traitement des minerais afin d'obtenir des produits valorisables. Ces opérations permettent de séparer les éléments de valeur des éléments inutiles (similaires à celles pratiquées par les paysans, pour séparer les graines de l'ivraie durant les moissons agricoles annuelles) et donc, de préparer le minerai pour toute éventuelle utilisation, en valorisant la valeur commerciale.



**Chapitre III :**  
**Caractérisation des Rejets**

---

## Chapitre III : CARACTERISATION DES REJETS

---

### III.1. Introduction

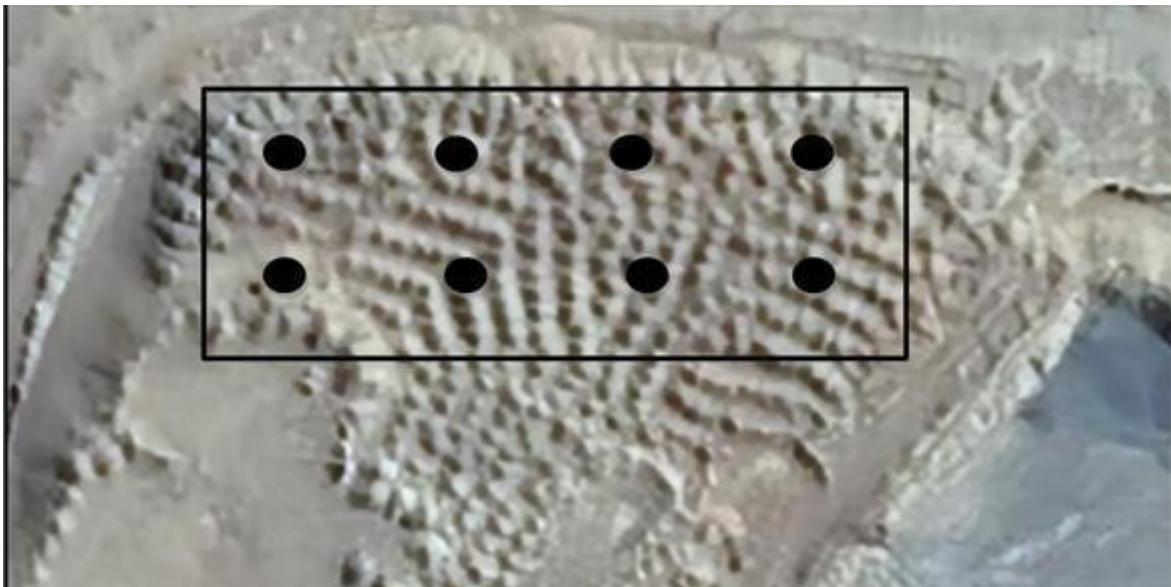
Parmi les caractéristiques qui nous intéressent à savoir sont les caractéristiques physico-chimique et minéralogique. Dans ce chapitre on a fait les analyses granulométrique, chimique et minéralogique des matériaux que nous allons utiliser dans notre travail.

Dans ce chapitre, nous allons examiner et mettre en évidence nos deux types d'échantillons. Le premier type concerne les rejets de l'usine de traitement de Kharzet Youcef. Le deuxième type d'échantillons concerne les matériaux stériles provenant de la mine située dans la région de Chaabet El-Hamra.

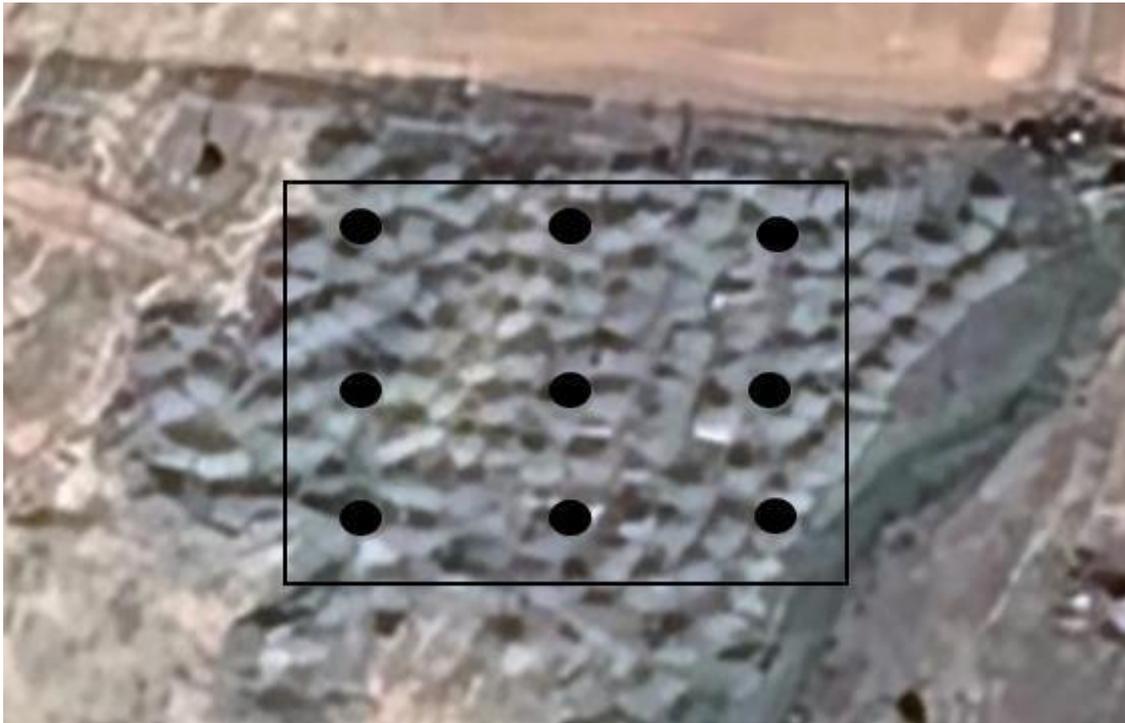
Nous allons maintenant procéder à l'analyse de ces deux types d'échantillons afin d'obtenir des informations précises et utiles. L'objectif est de déterminer la composition et les caractéristiques de ces échantillons.

### III.2. Technique de prélèvement

Les deux échantillons des rejets du minerai de Plomb-Zinc ont été prélevés sur les stocks de stériles par la technique de pelletage qui est utilisé pour collecter des échantillons représentatifs dans le but de caractériser leur composition, leur teneur en minéraux et d'autres paramètres pertinents. Les zones de prélèvement sont représentées dans les deux figures suivantes :



**Figure III.1:** les points de prélèvement de l'échantillon de l'usine



**Figure III.2:** les points de prélèvement de l'échantillon de la mine

### III.3. Préparation des échantillons

Les échantillons des rejets sont soumis à une préparation mécanique au laboratoire pour réduire les dimensions des grains d'une part et aboutir à des échantillons représentatifs d'autre part. Il s'agit de l'homogénéisation, concassage, quartage et de broyage.

#### III. 3.1. L'échantillon du traitement

Étant donné que notre échantillon a déjà traversé toutes les étapes de préparation mécanique, de fragmentation et même l'enrichissement à l'usine, notre échantillon est donc prêt alors nous pouvons passer directement aux analyses.

#### III.3.2. L'échantillon de la mine

Le rejet d'exploitation est soumis à un traitement mécanique qui consiste en des opérations d'homogénéisation, de concassage, de quartage et de tamisage.

Le tout-venant subit un concassage jusqu'à 2mm, une homogénéisation et ensuite une série de quartage jusqu'à l'obtention d'un échantillon de base (0 - 2 mm).

Les différentes classes granulométriques obtenues après séparation par tamisage à voie sèche a été réalisé à l'aide d'une tamiseuse vibrante de marque FRITSH. Elle est équipée d'une série de tamis de norme. Le temps de tamisage est fixé à 10 minutes, amplitude 7.

## Chapitre III : CARACTERISATION DES REJETS

Le broyage (< 100  $\mu\text{m}$ ) a été réalisé sur un broyeur à mâchoires de marque Fritsch, RM200. Les conditions de broyage utilisées sont : temps de broyage 10 minutes et vitesse de rotation 900 Tr/minute.

### III.4. Caractérisation des échantillons

#### III.4.1 Analyse granulométrique

Le tableau IV.1 et les figures : III.3, III.4 illustrent le rendement pondéral pour le rejet d'exploitation. Il ressort de ces résultats que la majeure partie de la masse globale d'échantillon étudié (72%) est représenté par les tranches granulométriques de dimensions >1 mm.

Tableau IV.1 : Résultats d'analyse granulométrique du rejet d'exploitation

Tranches granulométriques (mm)	mass en (g)	Rendement Pondéraux (%)	Rendements cumulatif en refus (%)	Rendements cumulatif en passant (%)
<40	10,1	2.02	2.02	97.98
-0,125+0,4	17,4	3.48	5.5	94.5
-0,125+0,125	13,8	2.76	8.26	91.74
-0,5+0.125	57,1	11.42	19.68	80.32
-1+0,5	41,6	8.32	28	72
>1	360	72	100	0
<b>Total</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	/	/

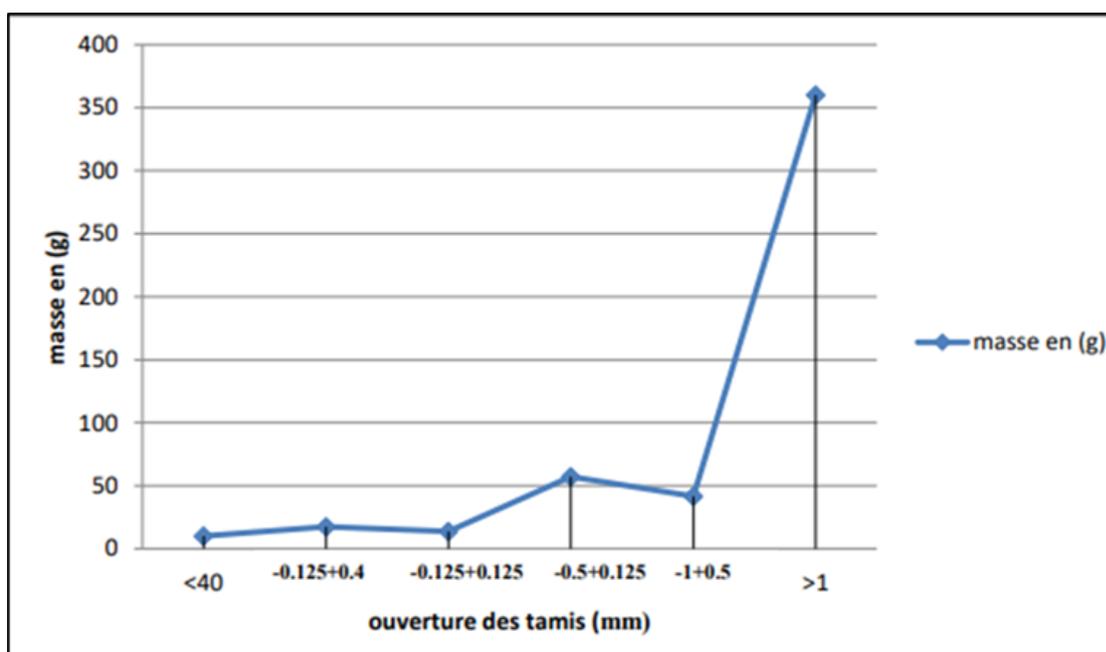


Figure III.3 : variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage de rejet d'exploitation.

## Chapitre III : CARACTERISATION DES REJETS

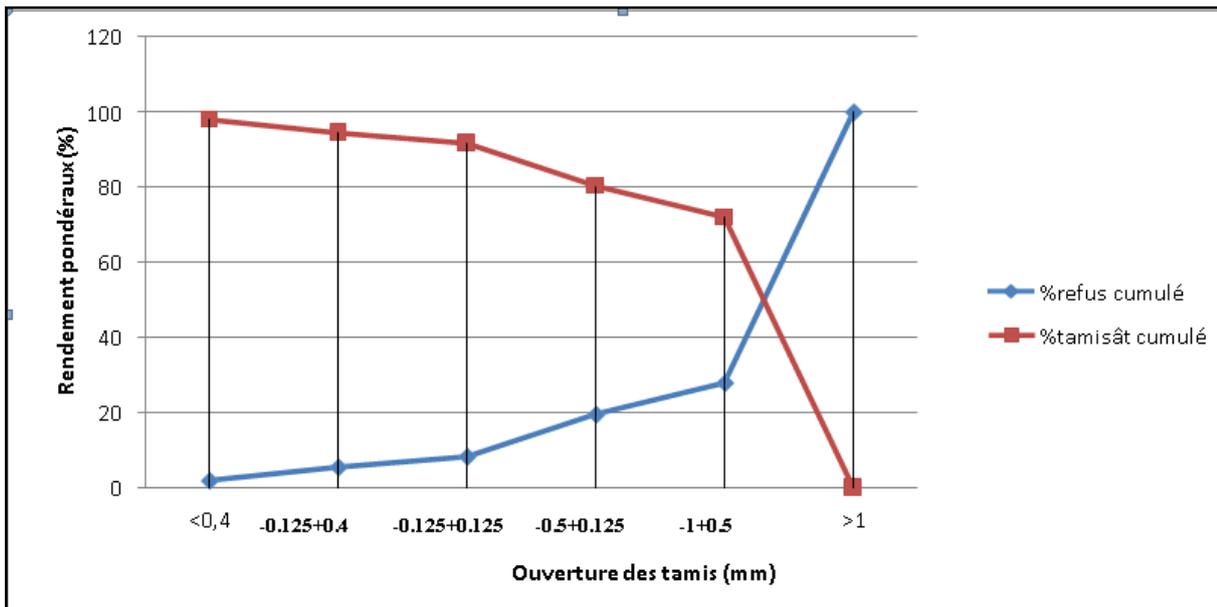


Figure III.4 : Courbe granulométrique du rejet d'exploitation

La caractérisation de la granulométrie d'un matériau se fait à l'aide de 2 coefficients :

a) Coefficient d'uniformité

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

b) Coefficient de courbure

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

**Résultat du calcul des coefficients :**

- Coefficient d'uniformité

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1,2}{0,18} = 6,62$$

- Coefficient de courbure

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{(1,05)^2}{0,18 \times 1,2} = 5,069$$

### ❖ Commentaire

Le coefficient d'uniformité ( $Cu=6.62 > 2$ ) indique que la granulométrie est étalée.

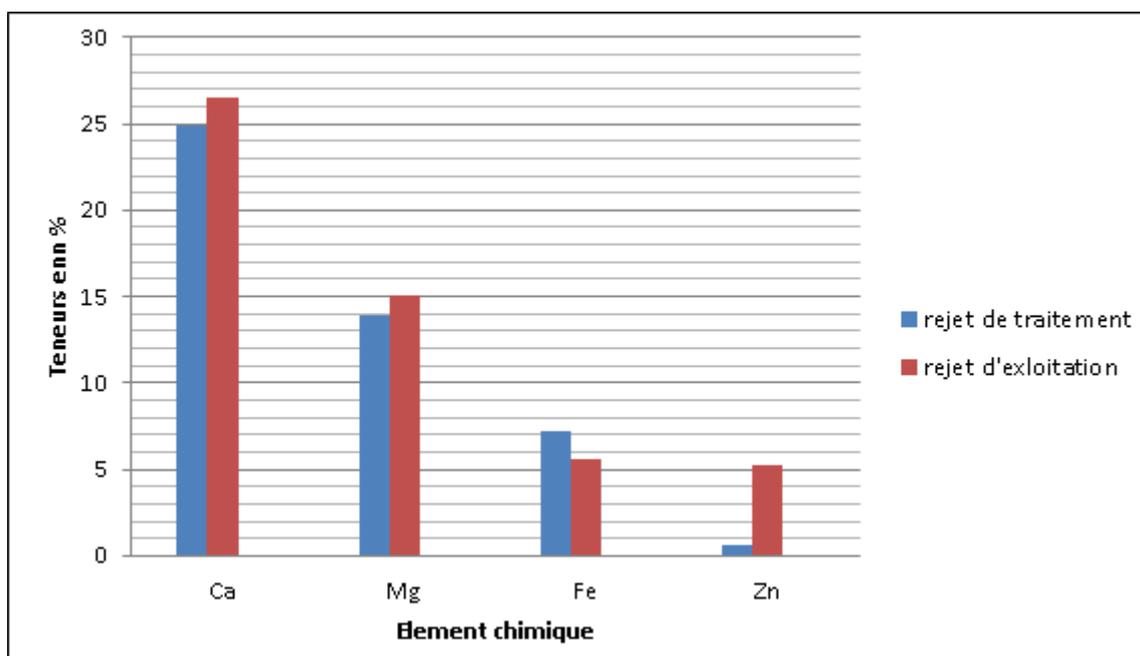
Le coefficient de courbure ( $Cc > 3$ ) indique que le matériau est mal gradué (la continuité est mal répartie).

## Chapitre III : CARACTERISATION DES REJETS

### III.4.2 Analyses chimiques par FRX

**Tableau III.2** : Eléments chimiques des argiles et du sable par FRX pour les deux échantillons.

Eléments chimiques	Teneurs en %	
	Rejet de traitement	Rejet d'exploitation
<b>E.L</b>	47	33.71
<b>Al</b>	1.99	3.30
<b>S</b>	3.27	5.07
<b>Ca</b>	24.90	26.49
<b>V</b>	0.023	/
<b>Fe</b>	7.16	5.58
<b>Zn</b>	0.593	5.23
<b>Pb</b>	0.065	0.029
<b>Mg</b>	13.09	15.03
<b>Si</b>	1.55	5.00
<b>K</b>	0.105	0.428
<b>Ti</b>	0.083	0.060
<b>Mn</b>	0.148	0.070
<b>Cu</b>	0.005	/
<b>Sr</b>	0.010	0.006
<b>Rb</b>	/	0.001
<b>Zr</b>	/	0.006



**Figure III.5** : Eléments chimiques majeurs des deux rejets d'exploitation et du traitement

## Chapitre III : CARACTERISATION DES REJETS

---

La composition chimique des échantillons a été déterminée par FRX à la cimenterie de BOUIRA. Il s'agit des éléments :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$

Les résultats obtenus par FRX sont rassemblés dans le tableau et la figure. Il ressort de ces résultats que :

Les deux rejets du traitement et d'exploitation sont riches en : calcium (24,90 et 26,49 %), magnésium (13,09 et 15,03 %), respectivement.

Le rejet de traitement est riche en : Fer (7,16 %) par rapport à le rejet d'exploitation, fer (5,58 %).

Le rejet de d'exploitation est riche en : Zinc (5,23 %), silicium (5 %), aluminium (3,30 %), soufre (5,07 %), par rapport à le rejet traitement.

Pour les éléments restant sont proportionnels.

Le rejet d'exploitation ayant une teneur en Zinc non négligeable plus de 5% permet de la catégoriser comme étant un rejet interdisant pour l'enrichir par flottation par contre le rejet de traitement contient une faible teneur en Zinc inférieure à 0,6 %.

D'après l'analyse de l'échantillon de l'usine par spectroscopie de fluorescence X on voit clairement que la majeure partie de l'échantillon est constituée du calcium avec : 24.90%, suivi de magnésium avec : 13.09% et en troisième place les Fe avec 7.16%.

On remarque également la présence d'oxyde de zinc et de plomb avec des pourcentages négligeables.

### III.4.3 Analyse par spectrométrie IR

Les analyses par spectrophotométrie Infrarouge ont été réalisées pour les deux échantillons broyés ( $< 100 \mu\text{m}$ ) étudiés des rejets d'exploitation et de traitement. Les résultats sont rapportés dans les figures III.6, III.7 et les tableaux III.3, III.4.

Le spectre infrarouge de l'échantillon de rejets du Pb-Zn de traitement a été présenté dans la figure III.6 et l'ensemble des groupements fonctionnelles ont été montrés dans tableau III.3. Le spectre montre deux zones principales ; la zone des bandes de fréquence élevée située entre  $2800 \text{ cm}^{-1}$  et  $3700 \text{ cm}^{-1}$  et une zone à la fréquence plus faible situées entre 400 et  $1800 \text{ cm}^{-1}$ .

La bande  $733 \text{ cm}^{-1}$  a été attribuée aux vibrations d'étirement Si-O-Al.<sup>1</sup>

La bande la plus intense observée vers  $1098 \text{ cm}^{-1}$  caractéristique de la liaison Si-O.<sup>2</sup>

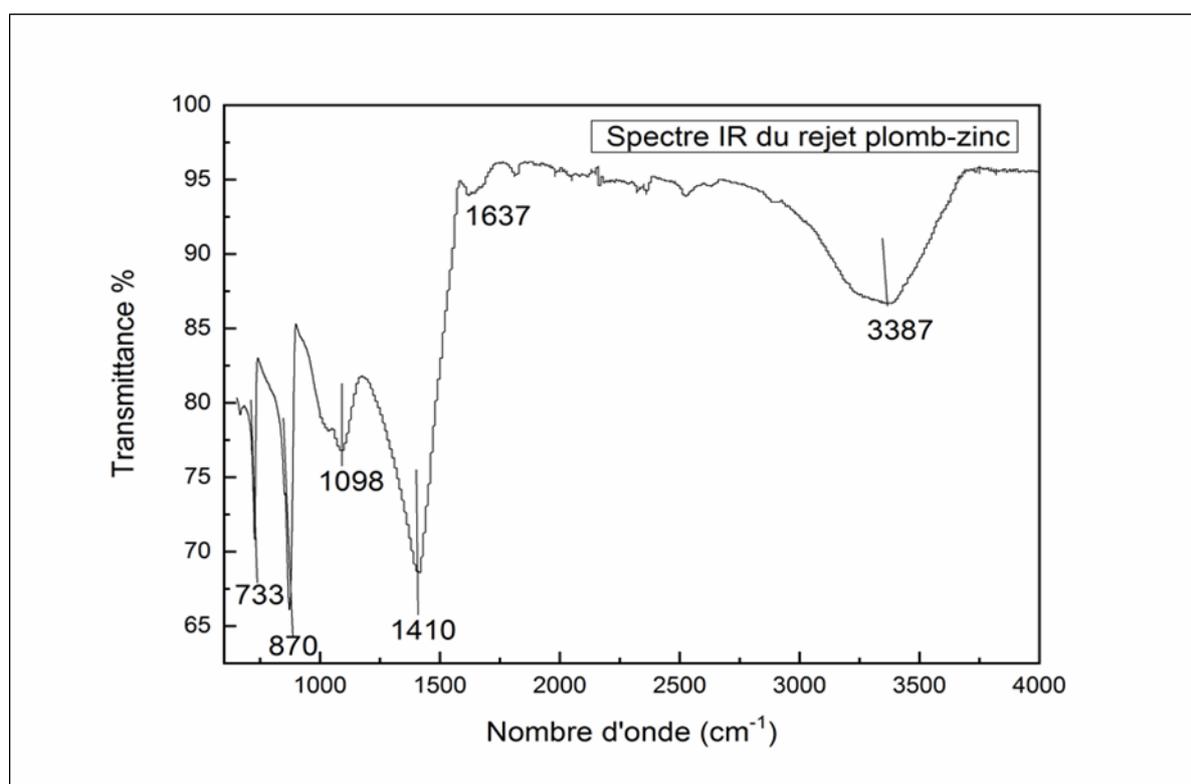
L'existence de la bande vers  $3387 \text{ cm}^{-1}$  associé à celui de  $870 \text{ cm}^{-1}$  sont attribués aux vibrations de  $\text{Pb}^{+2}\text{-OH-Zn}^{+2}$  par élévation et par déformation respectivement des métaux présentés dans la structure (dans notre cas le rejet Pb-Zn)<sup>3</sup>. Vers  $1637 \text{ cm}^{-1}$  la vibration est attribuée à l'hydratation de la kaolinite par les molécules de  $\text{H}_2\text{O}$  (flexion OH).<sup>4,5</sup>

Le pic le plus large observée vers  $1410 \text{ cm}^{-1}$  est associé aux vibrations de la liaison C-O de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ).<sup>6</sup>

## Chapitre III : CARACTERISATION DES REJETS

Tableau III.3 : Les groupements fonctionnels du rejet de traitement.

Identification des bandes	Intensité des bandes	Le nombre d'ondes (Cm <sup>-1</sup> )
Si-O-Al	Faible	733
M-OH-M'	Faible	870
Si-O	Moyenne	1098
C-O	Forte	1410
OH de l'eau	Forte	1637
M-OH-M'	Très forte	3387



Avec M et M' Sont-ils des métaux en substitutions

Figure III.6 : Spectre IR du rejet de traitement

## Chapitre III : CARACTERISATION DES REJETS

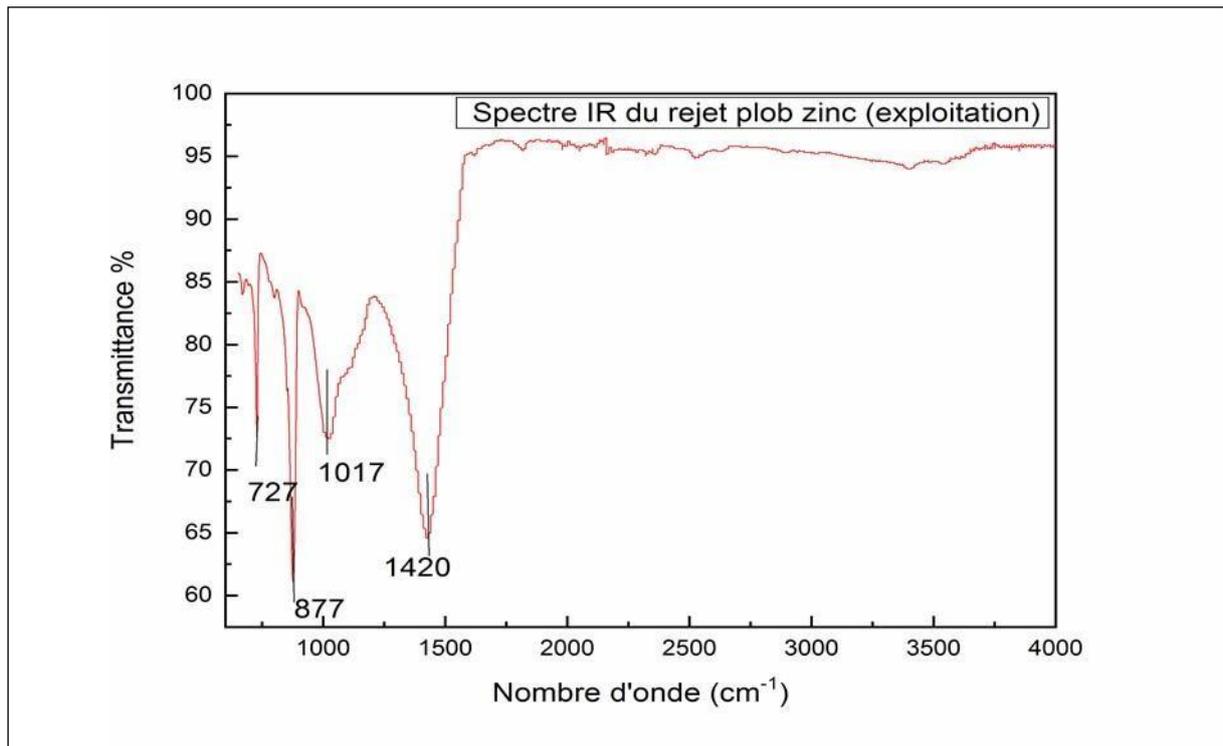
Le spectre infrarouge de l'échantillon de rejets du Pb-Zn de l'exploitation a été présenté dans la figure III.6 et l'ensemble des groupements fonctionnelles ont été montrés dans le Tableau III.3. Le spectre montre une zone de transmittance principales ; c'est la zone des bandes à la fréquence plus faible situées entre 400 et 1800  $\text{Cm}^{-1}$ .

La bande 727  $\text{Cm}^{-1}$  a été attribuée aux vibrations d'étirement Si-O-Al. <sup>7</sup>

La bande la plus intense observée vers 1017  $\text{Cm}^{-1}$  caractéristique de la liaison Si-O.<sup>8</sup>,<sup>9</sup>. L'existence de la bande vers 870  $\text{Cm}^{-1}$  a été attribuée aux vibrations de  $\text{Pb}^{+2}$ -OH- $\text{Zn}^{+2}$  par élongation des métaux présentés dans la structure (dans notre cas le rejet Pb-Zn).<sup>10,11</sup>. Le pic le plus large observée vers 1410  $\text{Cm}^{-1}$  est associé aux vibrations de la liaison C-O de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ).<sup>12,13</sup>

**Tableau III.4 : Spectre IR du rejet plomb-zinc de la mine**

Identification des bandes	Intensité des bandes	Le nombre d'ondes ( $\text{Cm}^{-1}$ )
Si-O-Al	727	Faible
M-OH-M'	877	Moyenne
Si-O	1017	Forte
C-O	1420	Très forte



**Figure III.7 :** Spectre IR du rejet d'exploitation.

### IV.5. Analyses par drx

L'étude minéralogique du minerai, effectuée par diffraction des rayons X (XRD) a porté sur les deux échantillons broyés (< 100  $\mu\text{m}$ ).

Les résultats obtenus pour les deux échantillons des rejets étudiés rapportés par la figure III.8, ont mis en évidence la présence des minéraux principalement recherchés suivants :

- Pour le rejet d'exploitation : Les pics de diffraction à des angles de  $28,53^\circ$ ,  $47,45^\circ$  et  $56,30^\circ$  indiquent la présence de la phase cristalline de sulfure de ZnS dans cet échantillon de la mine. Ces pics correspondent aux plans cristallins réfléchissant les rayons X spécifiques de cette phase.

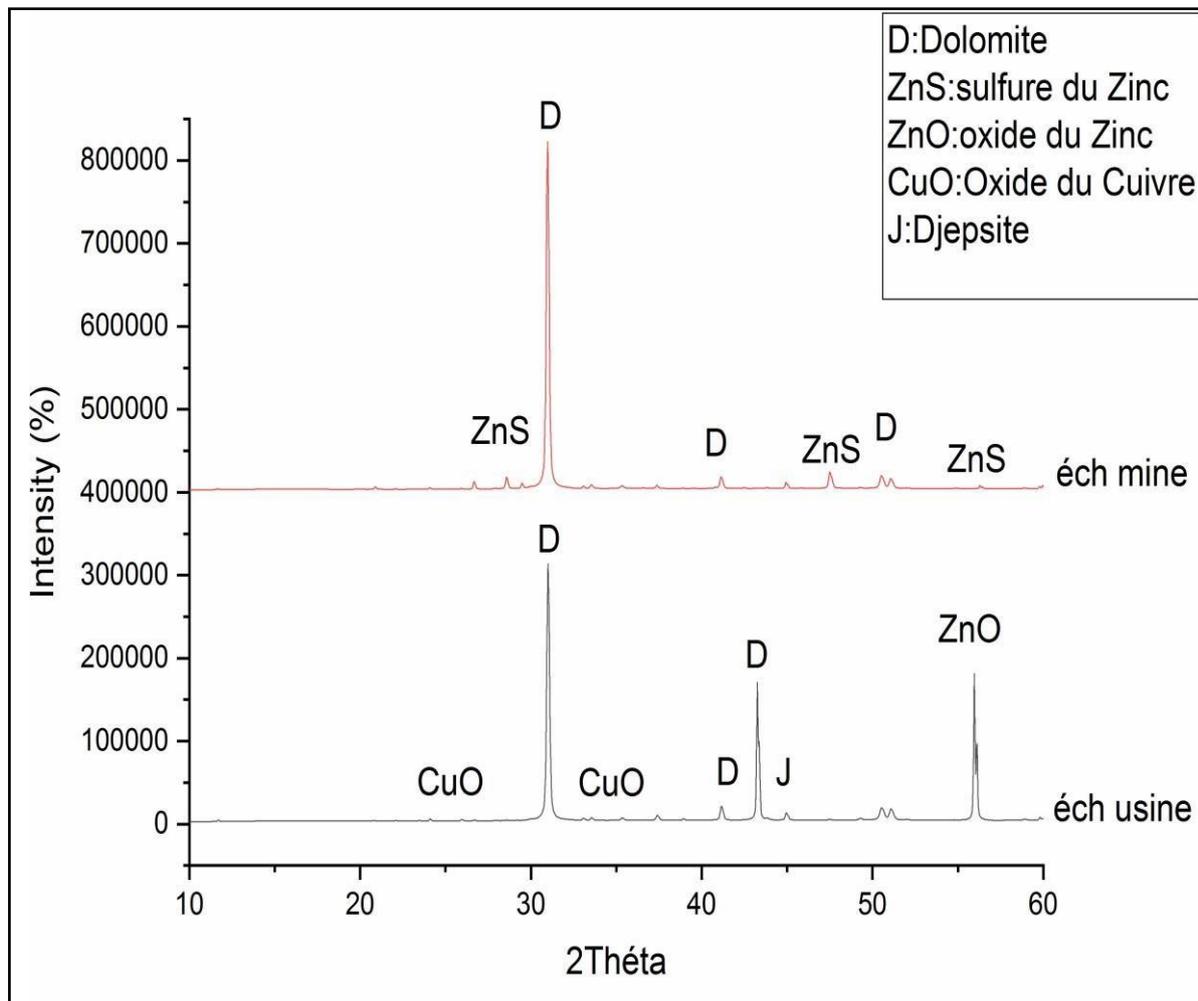
Pics de dolomite : Les pics de diffraction à des angles de  $30,89^\circ$ ,  $41,16^\circ$  et  $51,08^\circ$  suggèrent la présence de la phase cristalline de dolomite dans cet échantillon de la mine. Ces pics correspondent également aux plans cristallins réfléchissant les rayons X caractéristiques de la dolomite.

- Pour le rejet de traitement : Les pics de diffraction à des angles de  $30,99^\circ$ ,  $31,44^\circ$  et  $55,14^\circ$  indiquent la présence de la phase cristalline de ZnO dans cet échantillon de l'usine. Ces pics correspondent aux plans cristallins réfléchissant les rayons X spécifiques de cette phase.

Pics de dolomite : Les pics de diffraction à des angles de  $30,94^\circ$  et  $44,91^\circ$  suggèrent également la présence de la phase cristalline de dolomite dans cet échantillon de l'usine.

## Chapitre III : CARACTERISATION DES REJETS

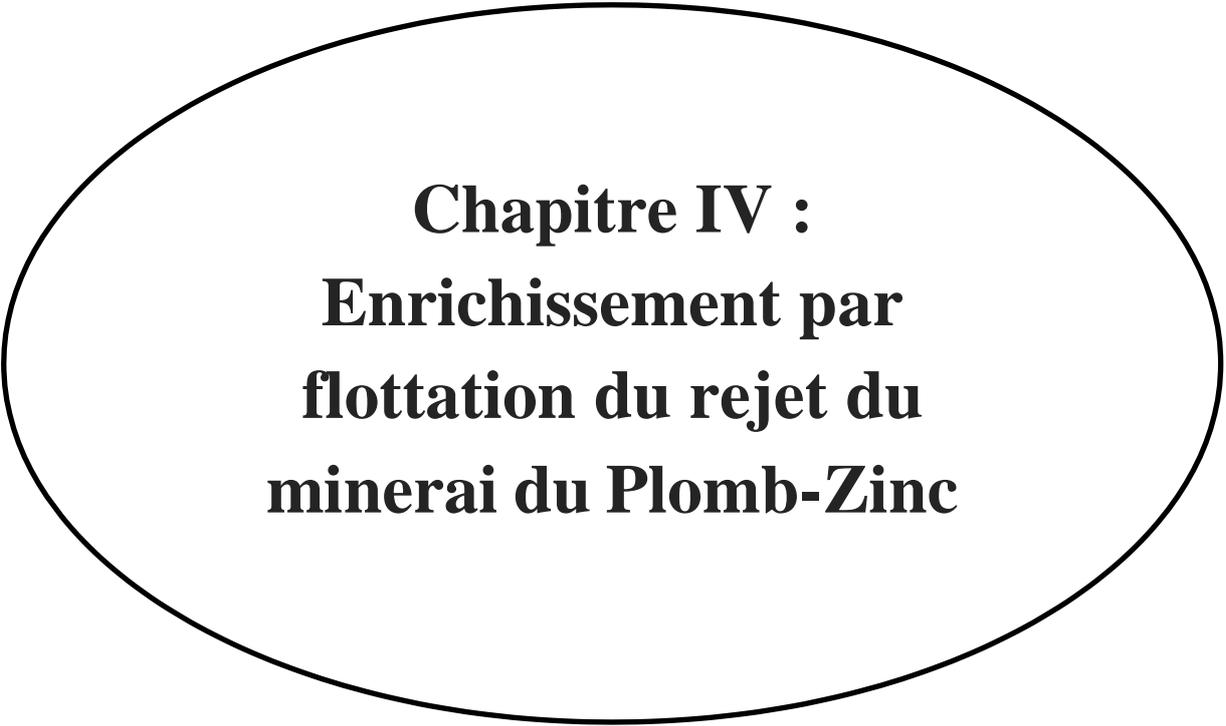
Pics d'oxyde de cuivre : Les pics de diffraction à des angles de  $33,02^\circ$  et  $24,18^\circ$  indiquent la présence de la phase cristalline d'oxyde de cuivre dans cet échantillon de l'usine.



**Figure III.8 :** Diffractogrammes RX des rejets d'exploitation et de traitement.

### III.6. Conclusion

Après avoir analysé les deux échantillons, à savoir le rejet de traitement et le rejet d'exploitation, nous avons constaté que l'échantillon d'exploitation présente une teneur en Zn qui peut être enrichie et traitée pour augmenter la teneur du Zinc et éliminer les autres éléments pénalisants.



**Chapitre IV :  
Enrichissement par  
flottation du rejet du  
minerai du Plomb-Zinc**

## IV.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de d'enrichir un rejet de plomb -zinc on utilise le procédé de flottation sur quatre fractions différents : 100  $\mu\text{m}$ , 80 $\mu\text{m}$ , 60 $\mu\text{m}$  et 40 $\mu\text{m}$ .

Afin de caractériser et d'évaluer le rendement de cette concentration par le procédé de flottation, plusieurs méthodes et technique d'investigations ont été utilisés, il s'agit des analyses minéralogiques par diffraction des rayons X (DRX) et des analyses chimiques par fluorescence des rayons X (FRX).

## IV.2. Prétraitement

Le rejet du minerai de Plomb-Zinc de 4 Kg concassé et broyé jusqu'à 1mm puis passé par une série d'homogénéisation et en suite divisé en quatre quantités de masse égale de 1 kg. Les quatre échantillons sont ensuite rebroyés jusqu'à l'obtention des tailles des particules désirées comme suivants :

- ✓ **Echantillon 1** : <100  $\mu\text{m}$  ;
- ✓ **Echantillon 2** : <80  $\mu\text{m}$  ;
- ✓ **Echantillon 3** : <60 $\mu\text{m}$  ;
- ✓ **Echantillon 4** : <40 $\mu\text{m}$ .

Le broyage secondaire est réalisé on utilise un broyage à disque de type de laboratoire de marque Fritsch pulverisette 9 vibrating Cup Mill en raison de sa capacité d'obtention des dimensions de l'ordre nanométriques.



**Figure.IV.1:**le broyeur à disque

## Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc

---

### IV.3. Enrichissement du rejet du minerai du plomb-zinc

#### IV.3.1. Préparation de la pulpe

Afin d'enrichir le rejet de plomb-Zinc de gisement de Chaabet El-hamra, une cellule de flottation utilisée de type de laboratoire de marque Enver 11 avec un pourcentage de solide de 20% et de liquide de 80%.



**Figure IV.2:** Cellule de flottation LTM GP.

#### IV.3.2. Réactifs de flottation du Zinc

L'ensemble des réactifs utilisés pour la flottation du rejet du zinc sont présentés dans le tableau IV.1 et la Figure IV.3 :

**Tableau IV.1 :** Les Réactifs de flottation du Zinc

L'activant	Le collecteur	Le déprimant	Le moussant
sulfate de cuivre	xanthate	soude	d'huile de pin

## Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc

---



**Figure IV.3 :** Les réactifs utilisés

### IV.3.3. Essais de flottation du Zinc

Les essais de flottation directe ont été réalisés sur quatre fractions broyée  $<100\mu\text{m}$ ,  $<80\mu\text{m}$ ,  $<60\mu\text{m}$  et  $<40\mu\text{m}$  par une cellule de flottation d'enver type laboratoire, cette cellule est constituée d'un réservoir muni d'un axe d'agitation (1000t/min) comme suivants :

- Introduction de 200 g d'échantillon.
- Ajout de l'eau distillée 800ml.
- Ajout de l'activant de sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ) solution préparée 10 ml.
- Ajout du collecteur approprié notamment xanthate forme de solution préparée 6,5 ml.
- Ajout de moussant (3 gouttes d'huile de pin).
- Ajuster le  $\text{pH} = 10$  à l'aide de  $\text{NaOH}$  7,5 ml.
- Le temps de conditionnement de la pulpe est 10min
- Le temps de flottation est 5min

## Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc

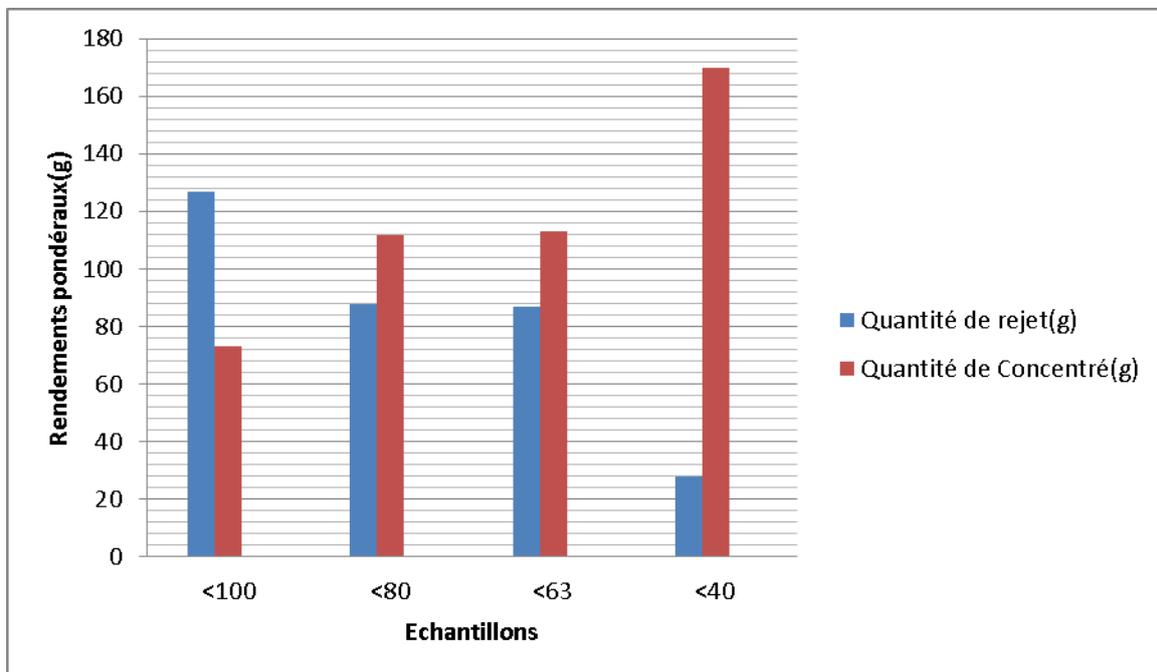
### IV.4. Résultats d'analyse et de caractérisations

#### IV.4.1. Analyse granulométrique

Le tableau IV.2 et la figure IV.4 illustrent les rendements pondéraux pour des concentrés et des rejets des quatre échantillons. Il ressort de ces résultats que le meilleur rendement est enregistré par le concentré de l'échantillon <math><40\mu\text{m}</math> par contre le faible rendement est enregistré par le concentré de l'échantillon <math><100\mu\text{m}</math>.

**Tableau IV.2.** Rendements pondéraux des concentrés et des rejets de l'ensemble des échantillons.

Echantillons	Quantité de Rejet (g)	Quantité de Concentré (g)
<math><100\mu\text{m}</math>	126,8	73
<math><80\mu\text{m}</math>	87,6	111,78
<math><60\mu\text{m}</math>	86,95	113
<math><40\mu\text{m}</math>	28	170



**Figure IV.4 :** les rendements pondéraux pour des concentrés et des rejets des quatre échantillons

## Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc

### IV.4.2. Analyses chimiques par FRX

La composition chimique des échantillons a été déterminée par fluorescence X (FRX) au niveau de plateau technique CRAPC.

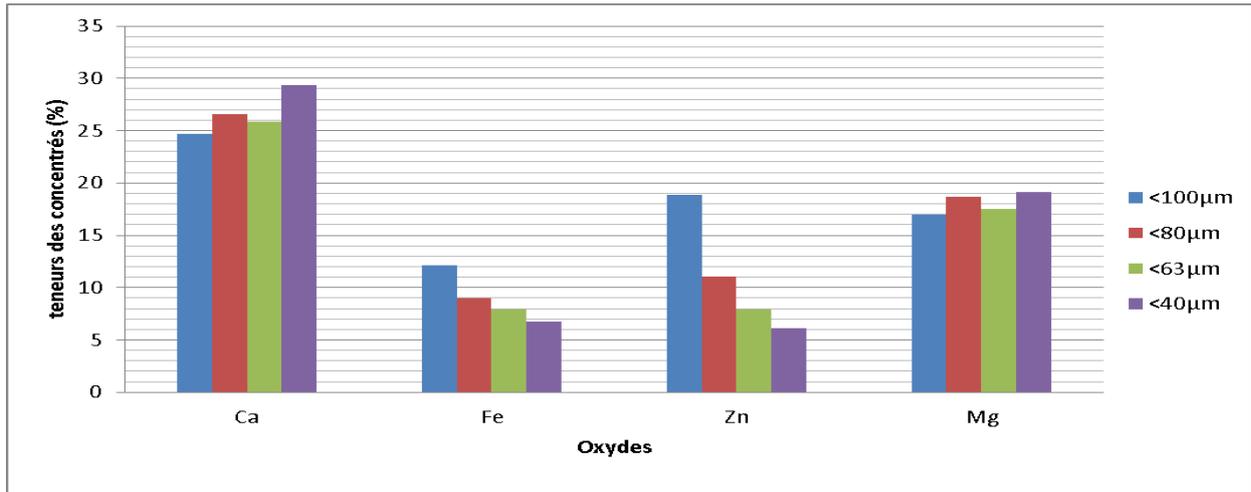
Les résultats obtenus par FRX pour les concentrés et les rejets ont été rassemblés dans le tableau IV.3 et tableau IV.4 respectivement, et les principaux éléments visés dans cette étude ont été représentés par l'histogramme des figures IV.5 et IV.6.

**Tableau IV.3:** Résultat d'analyse par fluorescence X (FRX) des concentrés

Oxydes	Teneurs des Concentrés en %			
	<100µm	<80µm	<63µm	<40µm
Al	4,6	3.54	3.48	3.92
S	13,9	9.14	6.90	6.11
Ca	24,68	26.55	25.88	29.35
Zr	0,0026	0.0029	20.2PPM	36.3 PPM
Fe	12,14	9	7.90	6.73
Zn	18,83	11.04	7.87	6.10
Pb	0,068	0.041	388.1PPM	298.5 PPM
Mg	16,97	18.65	17.49	19.17
Si	7,8	6.1	5.81	5.92
K	0,72	0.49	4481.6PPM	3833.6 PPM
Ti	0,087	0.084	616.4PPM	469.1 PPM
Mn	0,06	0.066	704.9PPM	782.7 PPM
Cu	0,1	0.01	118.3PPM	1035.3 PPM
Sr	0,0045	0.0061	60.4PPM	62.4 PPM
CO	0,035	0.032	271.9PPM	/
Rb	0,002	0.0013	13.4PPM	14.5
E.L	/	15.09	24.01	22.05

D'après le tableau on remarque que les résultats des concentrés pour l'ensemble des échantillons étudiés ont montré la présence des éléments majeurs comme le Zn, le Fe le Mg, le Si et le Ca avec des teneurs variables d'un échantillon à l'autre selon la dimension (tableau IV.3.), en revanche le plomb Pb a montré des teneurs faibles dans les échantillons <100µm et <80µm avec un pourcentage 0.068 % et 0.041% respectivement et de très faibles quantités allant jusqu'à les parties par millions dans les deux autres échantillons.

## Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc



**Figure IV.5 :** Histogramme d'analyse FRX pour les concentrés.

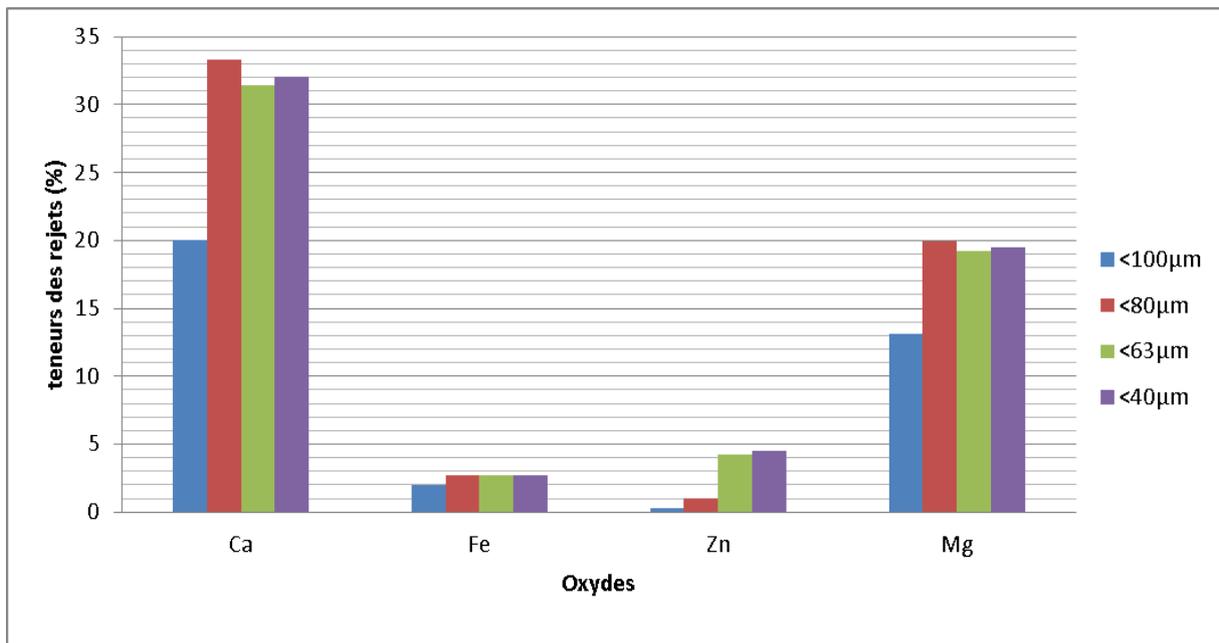
D'après Histogramme de la figure IV.5, on constate que le pourcentage massique de Zn est acceptable dans toutes les fractions et que la fractions <100um à prouver une meilleurs teneurs en Zn par comparaison au pourcentage de ce même élément enregistré dans le rejet avant la concentration par le procédé de flottation ,en revanche la tenure en Ca de la calcite a présenté l'élément majors pour l'ensemble fractions.

**Tableau IV.4:** Résultat d'analyse par florescence (FRX) des rejets

Oxydes	Teneurs de rejets en %			
	<100µm	<80µm	<63µm	<40µm
Al	1.9	3,12	2.79	3.34
S	0.54	0,86	1.99	6107.2 PPM
Ca	20.07	33,27	31.45	32.08
Fe	2.03	2,74	2.72	2.68
Zn	0.25	1	4.21	4.5
Pb	0.0076	0,007	65.2 PPM	86.9 PPM
Mg	13.09	19,97	19.21	19.49
Si	3.02	5,21	5.30	5.71
K	0.19	0,26	2366.4 PPM	2637.7 PPM
Ti	0.042	/	348.5 PPM	579.7 PPM
Mn	0.56	0,085	790.2 PPM	860.4 PPM
Cu	0.99	0,0046	/	214.9 PPM
Sr	0.006	0,0074	66.6 PPM	73.6 PPM
E.L	57.19	33,45	31.96	35.49

## Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc

D'après le tableau on remarque que les résultats des rejet pour l'ensemble des échantillons étudiés ont montré la présence des éléments majeurs comme le Fe le Mg, le Si et le Ca avec des teneurs variables d'une fraction des rejets à l'autre ( tableau IV.4.) ,en revanche le plomb Pb a montré des teneurs faibles dans les échantillons <100µm et <80µm avec un pourcentage 0.0076 % et 0.007% respectivement et de très faibles quantités allant jusqu'à des parties par millions dans les deux autres échantillons .



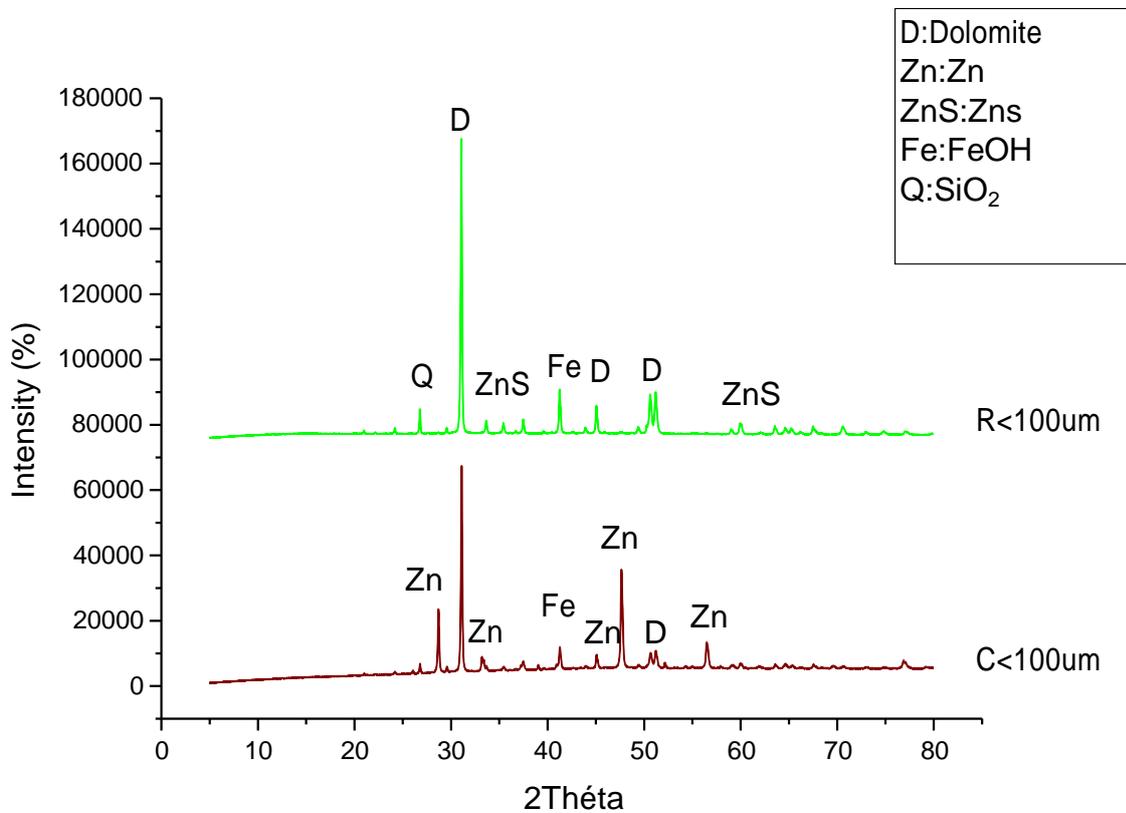
**Figure IV.6 :** Histogramme d'analyse FRX pour les rejets.

D'après l'histogramme de la figure IV.6, on constate que le pourcentage massique de Zn est très faible pour l'ensemble des fractions étudiées par comparaison au pourcentage de ce même élément enregistré dans les concentrés, en revanche, la teneur en Ca de la calcite a été également élevée après la concentration pour l'ensemble des fractions.

### IV.4.3. Les résultats de la caractérisation par DRX

L'ensemble des résultats de la caractérisation minéralogique par la diffraction des rayons X ont été illustrés dans les diffractogrammes qui suivent de sorte que chaque figure représente le concentré et le rejet de cette fraction.

❖ Pour l'échantillon <100µm

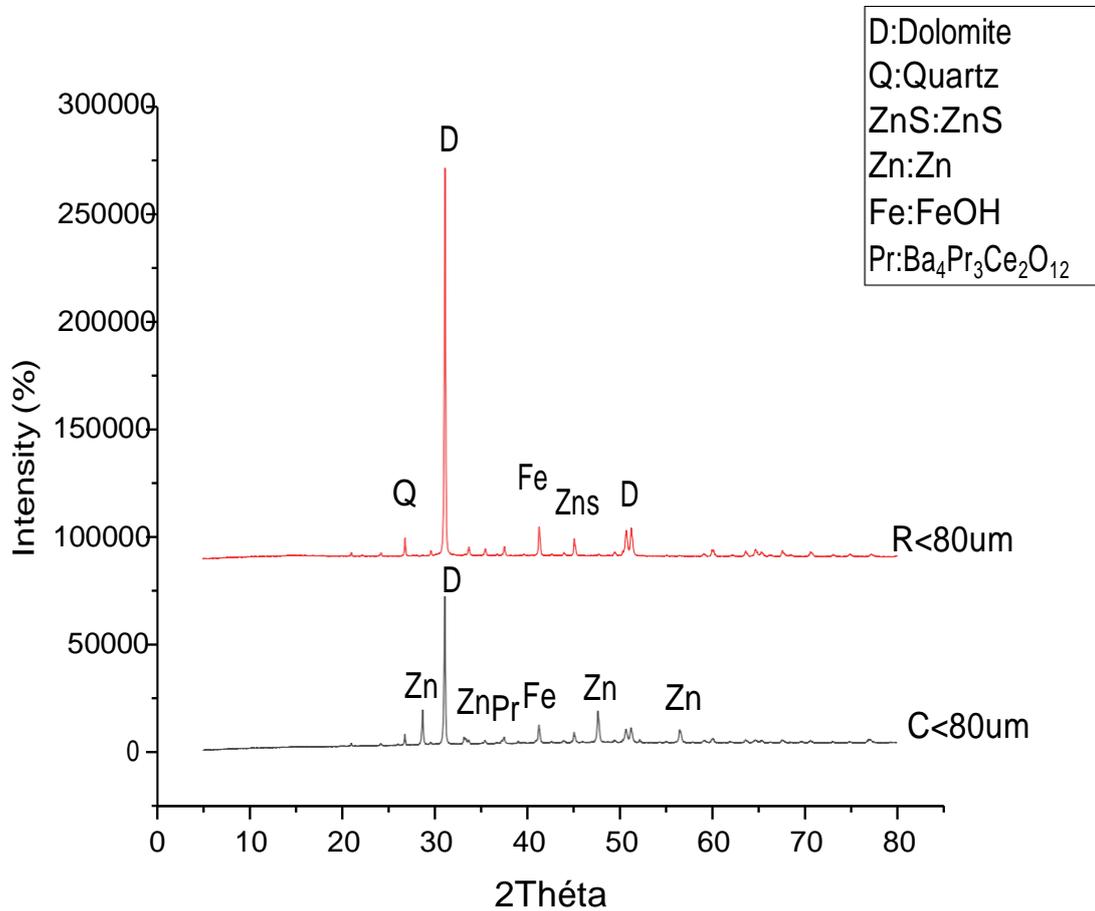


**Figure IV.7.** Diffractogrammes DRX le concentré et rejet de <100µm.

La figure IV.7. montre les résultats de la caractérisation minéralogique par DRX de l'échantillon <100µm pour le concentré (C<100µm ) et le rejet(R<100µm).D'après la figure on remarque la présence des phases minéralogiques Comme la dolomite ((Ca,Mg)CO<sub>3</sub> ), le FeOH dans le concentré et dans le rejet à 2θ= 31° et à 2θ=41,10° respectivement ,d'autres phases minéralogiques ont été observée uniquement dans le rejet comme le quartz SiO<sub>2</sub> à 2θ=26,68°et le ZnS non séparer vers à 2θ=33,18°et 59,28°. La formule chimique Ba<sub>4</sub>Pr<sub>3</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>12</sub> c'est une phase minéralogique observée uniquement dans le concentré vers à 2θ=36,97° à coté du Zn séparer du soufre après la flottation observée avec les deux pics les plus intenses vers à 2θ=28,58°et à 2θ=47,65°.

## Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc

❖ Pour l'échantillon <80 $\mu$ m

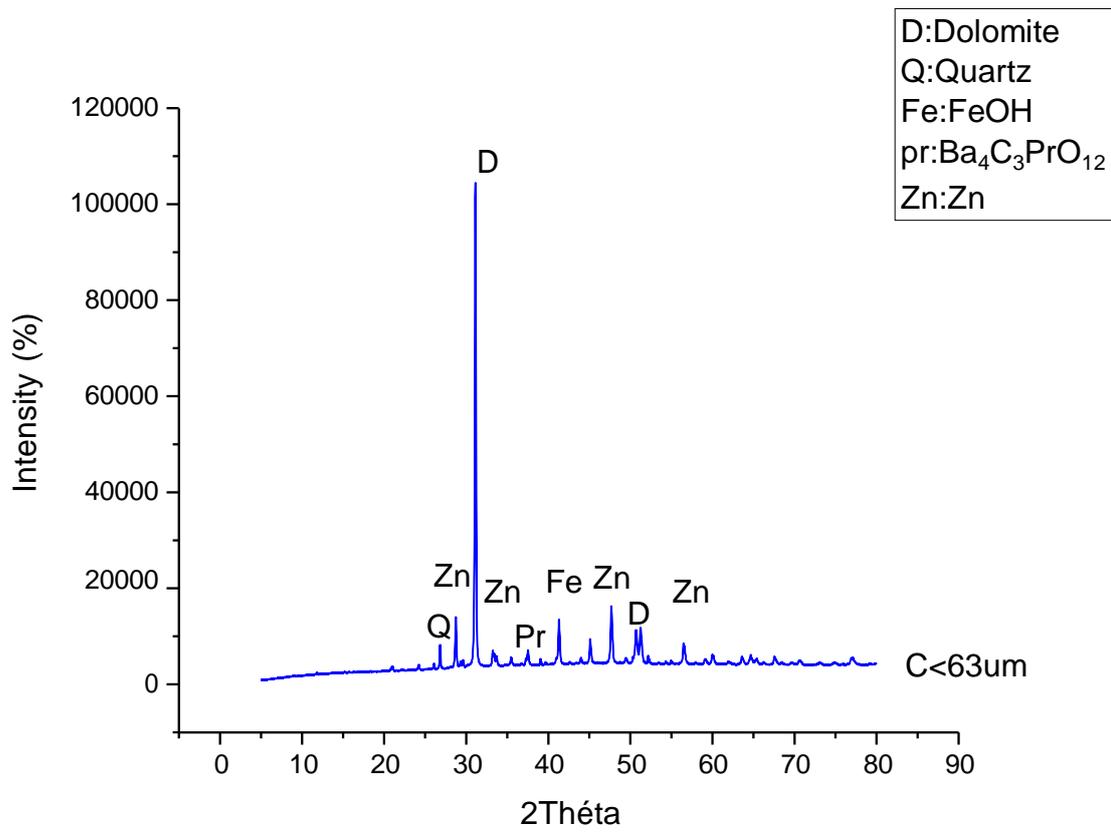


**Figure IV.8.** Diffractogrammes DRX le concentré et rejet de <80 $\mu$ m.

La figure IV.8 montre les résultats de l'analyse par DRX du concentré et du rejet de l'échantillon <80 $\mu$ m pour. La figure montre la présence de la dolomite ((Ca, Mg)CO<sub>3</sub>), et d'oxyde du fer hydraté (FeOH) dans le concentré et dans le rejet vers  $2\theta = 30,95^\circ$  et à  $2\theta = 41,10^\circ$  respectivement, le quartz et le sulfure du zinc (ZnS) ont été observée dans les mêmes angles  $2^\circ\theta$  dans le rejet de l'échantillon < 100 $\mu$ m. En revanche la phase Ba<sub>4</sub>Pr<sub>3</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>12</sub> et le Zinc pur obtenu après la concentration sont-ils apparus uniquement dans les concentrés.

## Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc

### ❖ Pour le concentré de <math> <63\mu\text{m}</math>



**Figure IV.9.** Diffractogrammes DRX le concentré de <math> <63\mu\text{m}</math>

Les résultats DRX du concentré de l'échantillon <math> <63\mu\text{m}</math> ont été montrés dans la figure IV.9, d'après cette figure on remarque la présence des phases minéralogique comme la dolomite ((Ca,Mg)CO<sub>3</sub>), l'oxyde du fer hydraté (FeOH) vers  $2\theta = 31^\circ$  et  $2\theta = 41.10^\circ$  respectivement. La présence du quartz vers  $2\theta = 26,86^\circ$  dans cet échantillon et qu'il n'est pas apparu dans les concentrés des échantillons <math> <100\mu\text{m}</math> et <math> <63\mu\text{m}</math> justifiera la finesse des cristallites de l'échantillon <math> <63\mu\text{m}</math>. La phase Ba<sub>4</sub>Pr<sub>3</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>12</sub> et le concentré du Zinc ont été observés à  $2\theta = 36,89^\circ$  et à  $2\theta = 28,58^\circ$  et à  $2\theta = 47,65^\circ$  respectivement.

### IV.5. Discussion des résultats obtenus

Les résultats de la caractérisation par DRX ont montré la présence des phases minéralogiques comme la dolomite et l'oxyde de fer hydraté dans les concentrés et les rejets de l'ensemble des fractions étudié, la disparition de SiO<sub>2</sub> dans l'ensemble des concentrés étudiés explique leur dissolution au cours de l'étape d'enrichissement ce qui justifier le bon déroulement de processus de flottation appliqué.

## **Chapitre IV : Enrichissement par flottation du rejet du minerai du Plomb-Zinc**

---

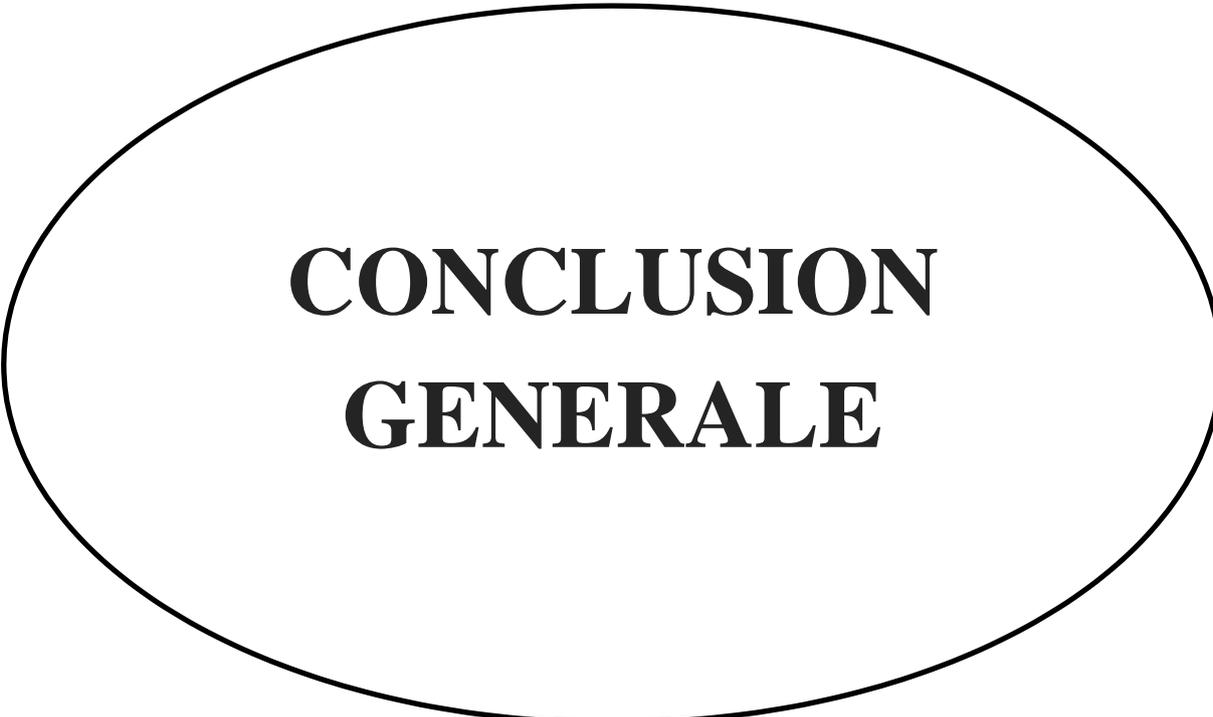
Les résultats des analyses chimique ont montrés une augmentation considérable dans la teneur en Zn après la concentration par le procédé de flottation mais les bonnes améliorations ont été enregistrées dans la fraction  $<100\mu\text{m}$  ce que est expliqué que cette fraction peut être la maille de libération de rejet étudié, et cela est déjà prouvé par l'analyse minéralogique par la diffraction des rayons X.

### **IV.6. Conclusion**

Les différentes techniques d'analyses et de caractérisations par DRX et FRX ont montrés que ;

Sur le plan chimique, l'analyses des échantillons a montré que le bilan matière du concentré de la fraction  $<80\mu\text{m}$  à montrer une teneur remarquable en Zn de 18,83%.ainsi la présence excessive de Ca et Fe.

Sur le plan minéralogique, l'analyses des échantillons par DRX a montré la présence de la dolomite de l'oxyde de fer hydraté de ZnS et du quartz dans les rejets et le Zn concentré, de la dolomite,  $\text{Ba}_4\text{Pr}_3\text{Ce}_2\text{O}_{12}$  dans les concentrés de l'ensemble des fractions étudiées.



**CONCLUSION  
GENERALE**

---

## CONCLUSION GENERALE

---

### CONCLUSION GENERALE

D'une façon générale, la caractérisation des rejets d'exploitation et de traitement du minerai de Plomb-Zinc a montré des différences appréciables sur les plans minéralogique, chimique et granulométrique que contient le faisceau de Zinc.

Sur le plan granulométrique, le classement dimensionnel effectué par tamisage a révélé que la majeure partie de la masse globale de rejet d'exploitation est représentée par la tranche granulométrique supérieure à 1 mm. Les coefficients d'uniformité et de courbure indiquent clairement une granulométrie étalée et un matériau mal gradué.

Sur le plan chimique, les meilleurs teneurs en : Zinc (5,23 %), Silicium (5 %), Aluminium (3,30 %), Soufre (5,07 %) sont enregistrées par les rejets d'exploitation par rapport au rejet de traitement. La teneur en zinc du rejet d'exploitation le rend inapproprié pour l'enrichissement par flottation.

Les analyses par spectrométrie infrarouge ont permis d'identifier différents groupements fonctionnels présents dans les échantillons, tels que les liaisons Si-O-Al et Si-O, ainsi que la présence d'eau et de calcite.

Les analyses par diffraction des rayons X ont confirmé la présence de phases cristallines spécifiques dans les échantillons, notamment du Sulfure de Zinc (ZnS) dans le rejet d'exploitation et de la dolomite dans le rejet de traitement.

D'après les résultats des essais de flottation que nous avons réalisés sur quatre types de tailles des particules, l'on conclut que la meilleure granulométrie pour une meilleure séparation, est bel et bien la granulométrie  $< 100 \mu\text{m}$  par rapport à d'autres granulométries.

En conclusion, après avoir terminé notre travail, nous pouvons affirmer que le rejet provenant de l'exploitation de la mine de Chaabet El-Hamra est suffisamment riche en zinc.

Par conséquent, c'est un gisement qui peut être exploité et enrichi, car ses rejets de traitement sont d'une grande utilité.

## REFERENCES & BIBLIOGRAPHIE

---

### REFERENCES & BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Abukhadra, M. R., AlHammadi, A., El-Sherbeeney, A. M., Salam, M. A., El-Meligy, M. A., Awwad, E. M., & Luqman, M. (2021). Enhancing the removal of organic and inorganic selenium ions using an exfoliated kaolinite/cellulose fibres nanocomposite. *Carbohydrate Polymers*, 252, 117163. doi:10.1016/j.carbpol.2020.117163.
- [2]. Antonelli, Raissa; Martins, Fernanda Ripoli; Malpass, Geoffroy Roger Pointer; da Silva, Meuris Gurgel Carlos; Vieira, Melissa Gurgel Adeodato (2020). Ofloxacin adsorption by calcined Verde-lodo bentonite clay: Batch and fixed bed system evaluation. *Journal of Molecular Liquids*, (), 113718–. doi:10.1016/j.molliq.2020.113718.
- [3]. Brahmi, D., Merabet, D., Belkacemi, H., Mostefaoui, T. A., & Ouakli, N. A. (2014). Preparation of amorphous silica gel from Algerian siliceous by-product of kaolin and its physico chemical properties. *Ceramics International*, 40(7), 10499–10503. doi:10.1016/j.ceramint.2014.03.021.
- [4]. Constantin Crăciun (1987). The study of some normal and abnormal montmorillonites by thermal analysis and infrared spectroscopy. , 117(none), 25–36. doi:10.1016/0040-6031(87)88097-8.
- [5]. Cristina do Nascimento, D., Gurgel Carlos da Silva, M., & Gurgel Adeodato Vieira, M. (2021). Adsorption of propranolol hydrochloride from aqueous solutions onto thermally treated bentonite clay: A complete batch system evaluation. *Journal of Molecular Liquids*, 337, 116442. doi:10.1016/j.molliq.2021.116442.
- [6]. Fontaine, F., Christidis, G. E., Yans, J., Hollanders, S., Hoffman, A., & Fagel, N. (2020). Characterization and origin of two Fe-rich bentonites from Westerwald (Germany). *Applied Clay Science*, 187, 105444. doi:10.1016/j.clay.2020.105444.
- [7]. GLACON J. (1967). Recherches sur la géologie et les gîtes métallifères du Tell sétifien. Publications du Service Géologique de l'Algérie. Bulletin N°32. 2 Tomes. 751 p.
- [8]. GUIRAUD R. (1990). Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Mémoire de l'Office Nationale de la Géologie. N°3. 271 p.
- [9]. Guo, F., Zhou, M., Xu, J., Fein, J. B., Wang, Y., Huang, Q., & Rong, X. (2020). Glyphosate Adsorption onto Kaolinite and Kaolinite-Humic Acid Composites: Experimental and Molecular Dynamics Studies. *Chemosphere*, 127979. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.127979.
- [10]. M.G.A. Vieira; A.F. Almeida Neto; M.L. Gimenes; M.G.C. da Silva (2010). Removal of nickel on Bofe bentonite calcined clay in porous bed. , 176(1-3), 109–118. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.10.128.
-

## REFERENCES & BIBLIOGRAPHIE

---

- [11]. N. REZIGAT, K. IMCHAL, Mémoire de fin d'études, « Contribution à l'étude des problèmes environnementaux et de sécurité sur l'exemple de la mine souterraine de Chaabet El-Hamra (Ain Azel, Wilaya de Sétif) », université FERHAT ABBAS-setif, 2008, p80.
- [12] Nedjima BOUZIDI(2012) Influence des impuretés des kaolins sur les propriétés des produits de cuisson .travail de thèse doctorat réalisé Entre l'université de Bejaia, Algérie et l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne . NNT : 2012 EMSE 0660.
- [13]. P.BLAZY, E.A JDID et J.YVON, fragmentation : technologie, technique de l'ingénieur, 2006.
- [14]. Peng, Mei Xun; Wang, Zheng Hong; Xiao, Qiu Guo; Song, Fei; Xie, Wen; Yu, Liang Cai; Huang, Hao Wen; Yi, Shou Jun (2017). Effects of alkali on one-part alkali-activated cement synthesized by calcining bentonite with dolomite and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . *Applied Clay Science*, 139(), 64–71. doi:10.1016/j.clay.2017.01.020.
- [15]. S.GAYDARDZHIEV, mineral processing, support de cours ULG, 2015.
- [16]. Yongsheng Yua,c,1, Mengnan Yanga,1, Zhaoli Yana,\* , Tiantian Lia, Qiangshan Jinga,\* , Peng Liua, Bing Xub, Jianliang Cao (2020)Regulation of hierarchically porous structures based on multi-scale nanosheets derived from kaolinite for enhanced adsorption *Applied Clay Scienc* <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105895>.
-

## Résumé

La mine de Chaabet el Hamra en Algérie est spécialisée dans l'extraction de la sphalérite (ZnS) et de plomb. Elle fait partie des nombreuses mines dans le monde qui extraient du plomb-zinc pour produire des concentrés de haute qualité et commercialement viables. Les analyses granulométriques, chimiques et minéralogiques ont été réalisées pour évaluer les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques des matériaux utilisés dans notre travail.

Ce travail vise à trouver des solutions pour la flottation du zinc à partir de différentes tailles de particules. La méthode de traitement par flottation repose sur la flottation directe du zinc, en contrôlant la taille des particules et la concentration des réactifs chimiques. Les analyses minéralogiques par diffraction des rayons X (DRX) et les analyses chimiques par fluorescence des rayons X (FRX) sont utilisées pour étudier les échantillons.

## Summary

The Chaabet el Hamra mine in Algeria specializes in the extraction of sphalerite (ZnS) and lead. It is one of the many mines worldwide that extract lead-zinc ores to produce high-quality and commercially viable concentrates. Granulometric, chemical, and mineralogical analyses were conducted to evaluate the physicochemical and mineralogical characteristics of the materials used in our study. This work aims to find solutions for zinc flotation from different particle sizes. The flotation treatment method relies on the direct flotation of zinc, while controlling particle size and chemical reagent concentration. Mineralogical analyses using X-ray diffraction (XRD) and chemical analyses using X-ray fluorescence (XRF) are employed to study the samples.

## ملخص

تتخصص منجم شعبة الحمرا في الجزائر في استخراج السفاليريت والرصاص. وهو يعد جزءاً من العديد من المناجم في جميع أنحاء العالم التي تقوم بتعدين خام الرصاص-الزئبق لإنتاج تركيزات عالية الجودة وتجارياً قابلة للتسويق. تم إجراء تحاليل حجم الحبيبات والكيميائية والمعدنية لتقييم الخصائص الفيزيوكيميائية والمعدنية للمواد المستخدمة في العمل. يهدف هذا العمل إلى إيجاد حلول فعالة لتعويم الزئبق من حبيبات مختلفة الأحجام. تعتمد طريقة المعالجة بالتعويم على تعويم الزئبق مباشرة مع ضبط حجم الجسيمات وتركيز مواد الكيماويات. يتم استخدام تحاليل المعادن بواسطة تفشي الأشعة لدراسة العينات (XRF) والتحليل الكيميائية بواسطة تفشي الأشعة السينية (XRD) السينية