



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et géologie

# Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par Mr : BOUNADJA Touffik

## Thème

*Caractérisation physico-chimique du minerai  
sulfure de zinc cas de Chaabet El Hamra Sétif*

Soutenu le 29 /09 /2022 devant le jury composé de :

Président	AROUDJ Hassina. Epse TOUNSI	MCB	U.A.M.Bejaia
Encadrant	BOUABDALLAH Soufiane	MCB	U.A.M.Bejaia
Co-encadrant	/	/	U.A.M.Bejaia
Examineur	BOUNAB Samia	MCB	U.A.M.Bejaia

*Promotion: 2021-2022*

# Remerciements

Avant tout je remercie ALLAH qui m'a donné la patience et la force nécessaire pour terminer ce travail.

Je remercie très sincèrement mon promoteur Mr **BOUABDALLAH Soufiane** pour son encadrement, son soutien, son aide précieuse et sa confiance.

Je voudrais remercier les membres de jury, Pour l'honneur qu'ils nous ont fait d'avoir acceptés de lire et d'examine ce travail.

Je voudrais remercier vivement l'ensemble des enseignants du département Mines et géologie.

Ainsi, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

## **Dédicaces**

*Plus que jamais je dédie ce modeste travail à mes parents maman et papa et ma femme et j'aimerai qu'il soit le témoignage de leurs consécrationes et leurs fois en moi.*

*Je le dédié exceptionnellement à mon fils **BAHAA-EDDINE***

*Et bien sûr à mes frères et leur famille et à mes sœurs et leur famille et à mes tentes et mes oncles et mes cousins*

*Je le dédié aussi à mes collègues et mes enseignants de département des mines et géologie université de Bejaia*

*Et aussi mes collègues de l'université de Sétif et mes amies de collègues.*

## Résumé

---

### Résumé

Notre travail porte sur des analyses physico-chimiques, nous avons procédé à une étude préalable d'identification et de caractérisation minéralogique et chimique de cinq échantillon (Etude pétrographique, diffraction par rayon X, et fluorescence X) et un analyse granulochimique de mélange des roches prépare.

L'observation combinée par lame mince et section polie des différents échantillons a permis l'identification de la sphalérite, marcasite, pyrite, dolomite, et de galène disséminée dans la gangue.

Les résultats obtenus par DRX montrent que la composition minéralogique comporte : la sphalérite, la galène, et la pyrite, la dolomite et la marcasite, qui sont des minéraux majoritaires.

Après avoir identifié la composition du minerai, il est capital de connaître la dimension des grains minéraux, nous constatons que la plus haute teneur en zinc se situe entre les mailles 0,5 et 0,25 mm, correspondant à 14,5% Zn pour un rendement pondéral de 7,8%.

**Mots- clés :** Chaabat El-Hammra, zinc, caractérisation, préparation.

### **Abstract**

Our work focuses on physico-chemical analyses; we carried out a preliminary study of identification and mineralogical and chemical characterization of five samples (petrographic study, X-ray diffraction, and X-ray fluorescence) and a granulo-chemical analysis of rock mixture prepared.

The combined observation by thin section and polished section of the different samples allowed the identification of sphalerite, marcasite, pyrite, dolomite, and galena disseminated in the gangue.

The results obtained by DRX show that the mineralogical composition includes sphalerite, galena, and pyrite, dolomite and marcasite, which are the majority minerals.

After having identified the composition of the ore, it is essential to know the size of the mineral grains, we find that the highest zinc content is between the meshes 0.5 and 0.25 mm, corresponding to 14.5% Zn for a weight yield of 7.8%.  
Keywords: Chaabat El-Hammra, zinc, characterization, preparation.

## SOMMAIRE

Introduction

### Chapitre I. GENERALITEE SUR LE ZINC

I.1. Historiques et présentation de l'élément.....	01
I.2. Propriété du zinc.....	01
I.3. Types de gisements.....	02
I.3.1. Dans le monde.....	02
I.3.2En Algérie.....	02
I.4. Utilisation.....	03
I.5. Production.....	04
I.6. Prix.....	05
I.2. Généralité sur les méthodes d'enrichissement de minerais	
Polymétallique Pb-Zn... ..	06
I.2.1. Définition et principe de la flottation.....	06
I.2.2. Réactifs de flottation des sulfures.....	07
I.2.3Collecteurs de flottation.....	07
I.2.4. Déprimants (dépresseurs).....	07
I.2.5. Activant.....	08
I.2.6. Régulateurs.....	08
I.3. Machines de flottation.....	08
I.3.1Colonne de flottation.....	08
I.4. Exemple d'enrichissement du minerai polymétallique Pb-ZN.....	09
I.4.2. En Algérie.....	11
I.4.2.1. Exemple d'EL-ABED Tlemcen.....	11

## **Chapitre II : Contexte géologiques minières et enrichissement de la mine de Chaabet El-Hamra/Sétif**

II.1. Introduction .....	12
II.2. Localisation géographique du gisement de Chaabet El-Hamra .....	12
II.2.1. Situation géographique.....	13
II.3. Historique de la mine de Chaabet El-Hamra.....	13
II.4. Condition géologiques du gisement de Chaabet El-Hamra .....	14
II.4.1 Géologique régional .....	14
II.4.1.1. Les séries telliennes ou nappes telliennes .....	15
II.4.1.2. Les séries de l'avant pays allochtone .....	15
II.4.1.3. Le domaine de l'avant pays autochtone .....	16
II.4.2. Stratigraphie des monts du Hodna.....	16
II.4.3. Litho stratigraphique des monts du Hodna .....	17
II.5. Pétrographie et Minéralogie du gisement.....	21
II.6. Hydrogéologie .....	24
II.7. Stratigraphie du gisement.....	25
II.8. Structure du gisement.....	27
II.9. Tectonique du gisement.....	28
II.10. Méthode d'exploitation de la mine souterraine de Chaabet El Hamra.....	30
II.10.1. Méthode d'exploitation par chambres et piliers abandonnés.....	31
II.10.2. Avantages et inconvénients de la méthode de l'exploitation .....	32
II.10.3. La Méthode des sous-niveaux foudroyés.....	34
II.11 Préparation et enrichissement du minerai sulfure de zinc .....	35
II.11.1 introduction .....	35
II.11.2. Présentation de la laverie de Kherzet Youcef .....	36
II.11.2.1. Préparation mécanique .....	36

## Sommaire

---

II.11.2.1.1. Section concassage.....	37
II.11.2.1.2. Crible vibrant .....	39
II.11.2.1.3 Section broyage.....	40
II.11.2.1.4. Classificateur mécanique à vis.....	41
II.11.2.2. Concentration du minerai par flottation du blende (Zn S).....	44
II.11.2.2.1 Section de flottation. ....	44

### **Chapitre III : Caractérisations physico-chimique**

III.1 Etude pétrographique (macroscopique et microscopique) des roches encaissantes des minéralisations.....	45
III.1.1. Echantillon n° 01 .....	47
III.1.2. Echantillon 02 .....	48
III.1.3. Echantillon n° 03 .....	49
III.1.4. Echantillon n° 04 .....	50
III.1.5. Echantillon n° 05 .....	51
III.2. Les minéraux de la gangue .....	51
III.2.1. 1Les dolomicrites (dolomite 1).....	51
III.2.2. La dolomicrosparite .....	52
III.2.3. Les dolosparites à grains moyens .....	52
III.2.4. Les dolosparites à gros grains .....	53
III.2.5. La Barytine (BaSO <sub>4</sub> ).....	54
II. 2.6. La calcite (CaCO <sub>3</sub> ).....	54
III.2.7. Le quartz (SiO <sub>2</sub> ) .....	55
III.3. Constituants minéralogiques.....	56
III.3.1.1. La sphalérite (Zn S) .....	56



## Sommaire

---

III.3.1.2. Marcassite (FeS <sub>2</sub> ) .....	56
III.3.1.3. La pyrite (FeS <sub>2</sub> ) .....	56
III.3.1.4. La galène (PbS).....	58
III.3.2. Les minéraux supergènes.....	59
III.3.2.1. L'Hématite (Fe O <sub>3</sub> ) .....	59
III.3.2.2. La Zincite .....	59
III.4. Préparation des échantillons pour analyse .....	60
III.4.1 Concassage.....	60
III.4.2 Quartage des échantillons .....	60
III.4 .3 Broyage des échantillons .....	60
III.4 .4 Analyse granulométrique par tamisage.....	60
III 5. Caractérisations minéralogiques par les rayons X (DRX).....	61
III.5.1. Préparation des échantillons .....	61
III.6. Caractérisations chimiques (FRX).....	66
III.6.1. Evolution de la silice.....	68
III.6.2. Evolution de l'aluminium .....	69
III.6.3. Evolution de oxyde de fer .....	70
III.6.4. Evolution d'Oxyde de calcium .....	71
III.6.5. Evolution Oxyde de magnésium et Oxyde du soufre .....	72
III.7 Analyse chimique de mélange brut.....	74
III.7 1. Analyse granulo-chimique .....	74
III.7 .2. Expression des résultats de la courbe granulométrique .....	75
Conclusion .....	77

## Liste des figures

---

### Liste des figures

Figure I.1: Utilisations du zinc à l'échelle mondiale, en 2018 .....	03
Figure I.2: Production minière mondiale de zinc, de 2010 à 2019 .....	05
Figure I.3.Mécanismes de l'interaction bulle-particule .....	07
Figure I.4 : Cellule de flottation Denver Sala type DR ouvert .....	09
Figure I.5 Schéma de principe d'un circuit de traitement de minerai de Zinc- Plomb .....	10
Figure. II.1. Carte satellite de la région de Chaabet El Hamra .....	12
Figure II.2: Situation géographique de la mine de Chaabet El-Hamra .....	13
Figure II. 3. Carte structural du Nord de l'Algérie .....	15
Figure II.4: Carte géologique des environs de la mine de Chaabet El-Hamra.....	19
Figure II.5: La minéralisation du gisement (faisceau supérieur et inférieur).....	23
Figure II.6: Coupe hydrogéologique Profil 0 - Profil 30 .....	25
Figure II.7 Méthode d'exploitation par chambres et piliers.....	31
Figure II.8 Méthode d'exploitation par traçage et dépilage .....	32
Figure II.9: Méthode d'exploitation par sous niveau foudroyé .....	35
Figure II.10. La laverie de traitement de Kherzet Youssef.....	36
Figure II.11 Concasseur à mâchoires à simple effet .....	38
Figure II.12 Concasseur à cône.....	39
Figure II.13 Crible vibrant.....	40
Figure II.14Broyeur à boulets .....	41
Figure II.15 Classificateur à vis .....	42
Figure II.16 Section de la préparation mécanique .....	43
Figure II.17Cellule de flottation type Denver .....	45
Figure II.18. Section de la flottation de tout venant .....	46
Figure III.19 1'échantillon n° 01 .....	47

## Liste des figures

---

Figure III.2 0'échantillon n° 02 .....	48
Figure III.3 l'échantillon n° 03 .....	49
Figure III.4 l'échantillon n° 04 .....	50
Figure III.5 l'échantillon n° 05 .....	50
Figure III.6 : lame montrant une dolomicrite recoupée par des fissures remplies par la calcite .....	51
Figure. III.7: Aspect microscopique d'une dolomicrosparite à une texture hétérogène .	52
Figure III .8: L'aspect microscopique d'une dolosparite .....	53
Figure III.9 : L'aspect microscopique d'une dolosparite avec cube de pyrite et plages de sphalerite disséminé dans gangue .....	53
Figure III.10: L'aspect microscopique d'une dolosparite à gros grains .....	53
Figure III.11: des gros cristaux tabulaires de baryte disséminés dans la gangue.....	54
Figure. III.12: observation microscopique de la baryte .....	54
Figure. III.13. Un échantillon montre la calcite blanche en encroutement dans les dolomies.....	55
Figure. III.14. Lame montrant la calcite dans le colmatage des fissures .....	55
Figure III.15: Grains de quartz en état diffus au sein des dolomies... ..	55
Figure III.16: section polie montre la pyrite et la sphalérite disséminé dans l'encaissant.....	57
Figure. III 17 : lame montrent de sphalérite disséminé dans l'encaissant .....	57
Figure. III.18 : sphalérite, marcasite et pyrite dispersé dans la dolomite .....	57
Figure. III.19 : section polie montrant une veine de marcasite entourée par la pyrite... ..	58
Figure. III.20 : Galène disséminée dans la gangue .....	59
Figure. III.21Photo montre des veinules d'hématite recoupant l'encaissant .....	59
Figure III.22 : Les Spectres des rayons X du l'échantillon (01) .....	62
Figure III.23 : Les Spectres des rayons X du l'échantillon (02) .....	63

## Liste des figures

---

Figure III.24: Les Spectres des rayons X du l'échantillon (03).....	64
Figure III.25: Les Spectres des rayons X du l'échantillon (04).....	65
Figure III.26 courbes d'analyse chimique de l'échantillon brut.....	67
Figure III.27 : Evolution de la teneur en silice (SiO <sub>2</sub> ) du minerai étudié .....	68
Figure III .28 : Evolution de la teneur en oxyde d'aluminium du minerai étudié.....	69
Figure III.29 : Evolution de la teneur oxyde de fer (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) du minerai étudié.....	70
Figure III.30 : Evolution de la teneur en oxyde de calcium(CaO) par échantillon.....	71
Figure III.31: Evolution de la teneur en silice (MgO) par échantillon .....	72
Figure III.32 : Evolution de la teneur en oxyde du soufre (SO <sub>3</sub> ) du minerai étudié .....	73
Figure. III. 33. Courbe des résultats granulométrique .....	75

**Liste des tableaux**

Tableau I.1: Données physiques .....	1
Tableau.I.2: Production minière mondiale de zinc, par pays, en 2019.....	4
Tableau I.3: prix de zinc, de 2020 à 2021.....	05
Tableau I.4 Teneur de concentré de Pb et Zn .....	11
Tableau III.1 résultats d'analyse préliminaire par florescence X.....	66
Tableau III.2 : résultats d'analyse chimique de l'échantillon brut.....	66
Tableau III.3 : résultats d'analyse chimique de l'échantillon brut.....	74
Tableau III.4 : Résultats d'analyse granulo-chimique.....	74

# **INTRODUCTION**

---

## **INTRODUCTION GENERALE**

Les exploitations minières ont pour but de récupérer les matières minérales présentes à la surface du globe et qui ont une valeur économique qu'elles soient des exploitations souterraines ou à ciel ouvert. Parmi les matériaux extraits figurent les minerais métallurgiques (fer, cuivre, plomb, zinc).

L'industrie minière est d'une grande importance économique dans plusieurs pays, un des métaux importants de cette industrie est le zinc. Ce métal est exploité pour servir à plusieurs usages. Le zinc est utilisé depuis l'antiquité, mais son exploitation à grande échelle a débuté en Europe et en Amérique à partir du XIX<sup>ème</sup> siècle seulement. La production mondiale actuelle est de  $4,9 \times 10^6$  tonnes/an et les réserves sont estimées à  $120 \times 10^6$  tonnes. Le zinc est utilisé comme agent anticorrosion (35-40 % de la production), il entre également dans la composition de nombreux alliages (laiton), dans la fabrication d'accumulateurs, et de peintures.

Dans le cadre de recherche de gisements polymétalliques (Pb-Zn et Cu), l'ORGM a effectué des campagnes de recherche dans la région de Sétif sur plusieurs secteurs dont les principaux sont : Ain kahla, Kherzet Youssef, Kef Omar et le gisement de Chaabet El Hamra.

Le gisement de zinc de la région de Chaabet El-Hamra représente l'une des richesses fondamentales en Algérie. Notre étude s'articule principalement sur une caractérisation physico-chimique et minéralogique, afin de déterminer les principaux minéraux constituant dans ce minerai.

Ce mémoire comporte trois chapitres.

Le présent travail est représenté en trois chapitres. Dans le premier chapitre de ce mémoire, j'ai présenté des généralités sur le minerai de zinc.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de gisement de Chaabet El-Hamra. Selon la géologie du gisement, la méthode l'exploitation ainsi que les techniques d'enrichissement du zinc.

Le troisième chapitre est consacré à la caractérisation physico chimique du minerai les différentes méthodes d'analyses sont utilisées et la discussion des résultats.

Et enfin, on termine par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## Généralité sur le zinc

### I.1. Historiques et présentation de minerai de zinc

Le zinc est un matériau ancien connu depuis l'antiquité. Avant d'être identifié sous sa forme métal, le minerai de zinc était utilisé avec les minerais de cuivre et d'étain pour la fabrication d'alliages de bronze et de laiton.

C'est au 18eme siècle que naît véritablement la métallurgie du zinc. En 1742, Malouin découvrit les propriétés protectrices du zinc sur le fer et, en 1743, William Champion installait à Bristol en Angleterre la première unité de production de zinc métal à partir de calamine. [1]

Le zinc est un élément chimique métallique bleuâtre, de symbole Zn et de numéro atomique 30, c'est un élément de transition. [2]

#### I.1.1. Propriété du zinc

**Tableau I.1:** Données physiques [3]

Numéro atomique	Masse atomique	Structure cristalline	Isotope	Masse volumique	Dureté	Température de fusion	Température d'ébullition
30	65,38 g.mol <sup>-1</sup>	Hexagonale, Dihexagonale Dipyramidale	60 à 73	7.14 g cm <sup>-3</sup>	2,5	419,58°C	907°C



## I.1.2. Types de gisements :

Ce sont des gisements d'origines magmatiques, dits primaires ou bien sédimentaires, dits secondaires. Les minerais de zinc sont souvent associés à ceux de plomb, de cuivre, de fer. Les principaux gisements de minerais de zinc se situent en Chine et en Australie. La teneur des minerais (tout venant) est comprise entre 4 et 20 % de Zn. Leurs teneurs minimales étaient de 40 kg par tonne. Le zinc est un élément moyennement abondant dans l'écorce terrestre. [4]

La teneur moyenne de l'écorce terrestre est de 80 g de Zn par tonne. Le zinc se situe, en abondance, au 5e rang des éléments métalliques (hors alcalins et alcalino-terreux), après l'aluminium, le fer, le manganèse et le vanadium, à égalité avec le nickel. [5]

### I.1.3.1. Dans le monde :

L'extraction du zinc peut s'effectuer dans des mines à ciel ouvert ou dans des gisements souterrains. Le choix du type d'exploitation découle de l'environnement, ainsi que des moyens financiers investis. Lorsque la décision d'exploiter une mine est prise, les mineurs creusent des trous à l'aide de forets pneumatiques manuels, dans lesquels ils vont placer les charges explosives. [6]

La plus grande mine de zinc, dans le monde, est située à Red Dog, en Alaska. Son exploitation a démarré en 1990. Le minerai contient 17 % Zn, 5 % Pb et 6 g/t Ag. La mine suédoise d'Amberg, 65 000 t de Zn/an est exploitée depuis 1860. [5]

### I.1.3.2. En Algérie :

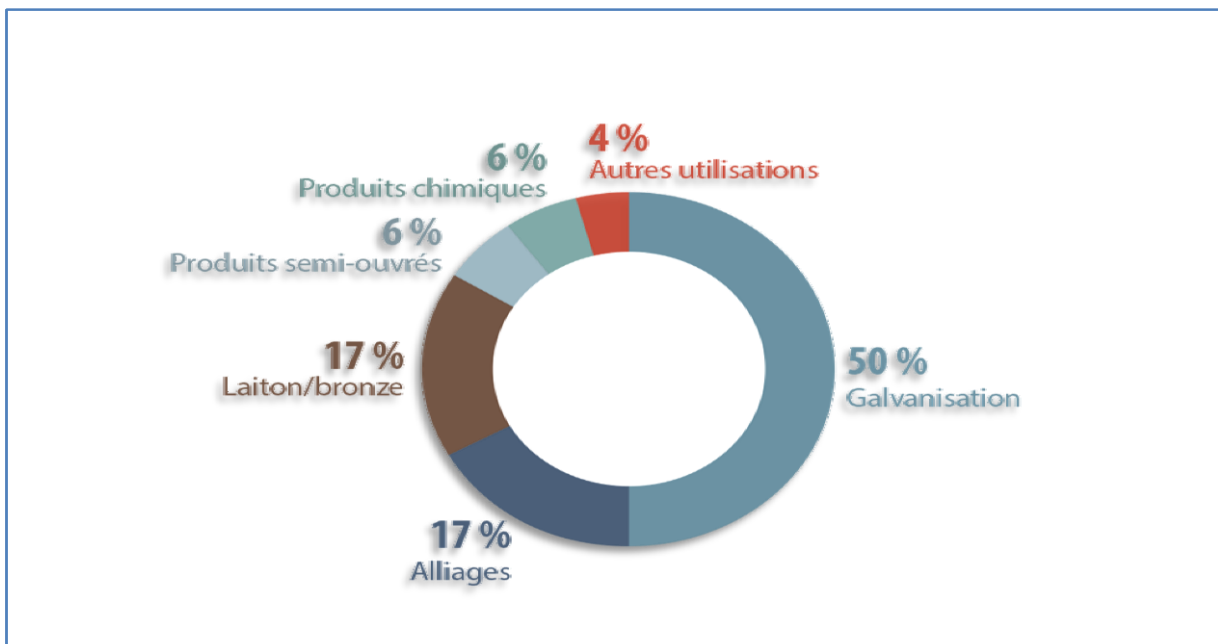
Les principaux gisements de Pb-Zn dans le Nord de l'Algérie sont:

- Oued Amizour: 30 Mln tonnes de minerai, 5.50% en Zn et 1.40% de Pb.
- Oued El Kebir: 11.52 Mln tonnes de minerai, 2.09% en Zn et 2.63% de Pb.
- Achab: 1.23 Mln tonnes de minerai, 1.66% en Zn et 1.92% de Pb. Tiri: 2.87 Mln tonnes de minerai, 3.37 % en Zn et 2.27 % de Pb.
- Boudoukha: 3.81 Mln tonnes de minerai, 5.84 % en Zn et 1.04% de Pb.
- Ain Barbar: 1.86 Mln tonnes de minerai, 4.30% en Zn et 1.40% de Pb.
- Guerrouma: 3 Mln tonnes de minerai, 6.45% en Zn et 1.85% de Pb.

- Boukhdema: 8.38 Mln tonnes de minerai, 4.89 % en Zn et 2.32 % de Pb.
- Ain Sedjra: 3 Mln tonnes de minerai, 12% en Zn.
- Kef Semmah: 2 Mln tonnes de minerai, 5% en Zn.
- Hammam N'Bails: 2.4 Mln tonnes de minerai, 5.30% en Zn et 1.50 % en Pb.
- El Abed: 17.70 Mln tonnes de minerai, 3.70% en Zn et 2.88 % de Pb.
- Chaâbat El Hamra : 4.8 Mln tonnes de minerai, 5.40 % en Zn.
- Kharzat Youssef: 1.6 Mln tonnes de minerai, 18% en Zn et 3.60% de Pb.
- Ain Kahla : 7 Mln tonnes de minerai, 9.37% en Zn et 1.79% de Pb.
- Ichmoul : 1.24 Mln tonnes de minerai, 4.04% de Pb. [selon ENOF]

#### I.1.4. Utilisation

Le développement des utilisations du zinc dans l'industrie est avant tout lié aux propriétés chimiques de ce métal et notamment à son caractère fortement réducteur : protection contre la corrosion, piles alcalines. Par ailleurs, le point de fusion du zinc, relativement bas, permet la réalisation de pièces moulées complexes et fines lorsqu'il est utilisé sous forme d'alliages.



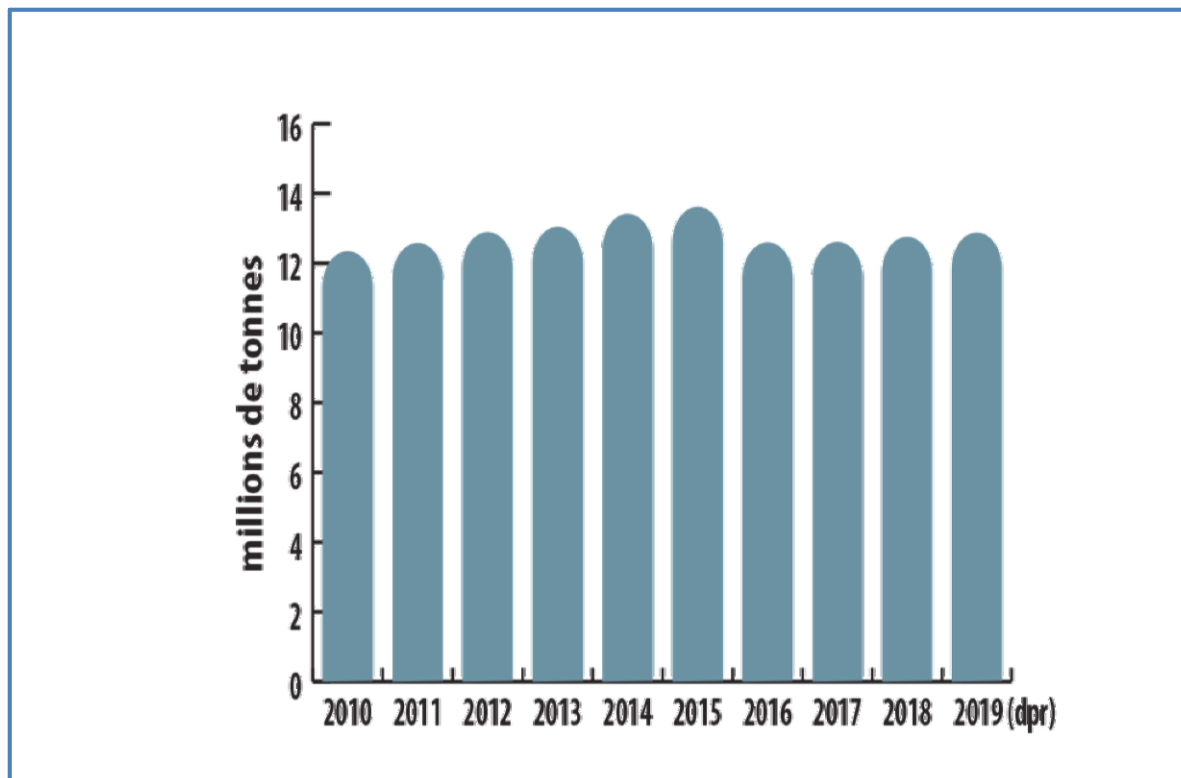
**Figure I.1:** Utilisations du zinc à l'échelle mondiale, en 2018 [7]

**I.1.5. Production**

La production mondiale de zinc était d'environ 12,8 millions de tonnes en 2019. [7]

**Tableau.I.2:** Production minière mondiale de zinc, par pays, en 2019.

Classement	Pays	Milliers de tonnes	Pourcentage du total
1	Chine	4 300	33,7 %
2	Pérou	1 400	11,0 %
3	Australie	1 300	10,2 %
4	Inde	800	6,3 %
5	États-Unis	780	6,1 %
6	Mexique	690	5,4 %
7	Bolivie	460	3,6 %
8	Canada	300	2,4 %
8	Russie	300	2,4 %
-	Autres pays	2 420	19,0 %



**Figure I.2:** Production minière mondiale de zinc, de 2010 à 2019 [7]

### I.1.6. Prix

Les prix ont globalement baissé en 2019. Ils étaient de 2 570 \$ US la tonne en janvier et se sont élevés à 2 933 \$ US la tonne en avril. Les prix ont ensuite diminué jusqu'à la fin de l'année pour atteindre 2 273 \$US la tonne en décembre. [7]

**Tableau I.3:** prix de zinc, de 2020 à 2021[8]

Mois	Prix	Variation en Pourcentage
oct.2020	2440,65	-0,07%
nov.2020	2671,60	9,46%
déc.2020	2779,85	4,05%
janv.2021	2705,34	-2,68%
févr.2021	2744,50	1,45%

## I.2. Généralité sur les méthodes d'enrichissement de minerais polymétallique Pb-Zn :

La croissance industrielle durant le XXe siècle a nécessité des quantités considérables de métaux et, de ce fait, la mise en œuvre de procédés compatibles avec le traitement de masses rocheuses énormes. Parmi ces procédés, la flottation permet de séparer les solides entre eux, en mettant à profit les différences existant entre leurs propriétés superficielles dans une solution aqueuse et en présence d'air. Plus tard, ce procédé a été appliqué à la séparation solide-liquide (flottation de précipité) et à l'extraction d'ions en solution (flottation ionique).

Le jour où il fut découvert que les réactifs chimiques renforçaient le comportement naturel des particules solides, le procédé prit une importance énorme dans les techniques de concentration, au point que 85% des minerais métalliques extraits dans le monde, sont traités actuellement par flottation. [9]

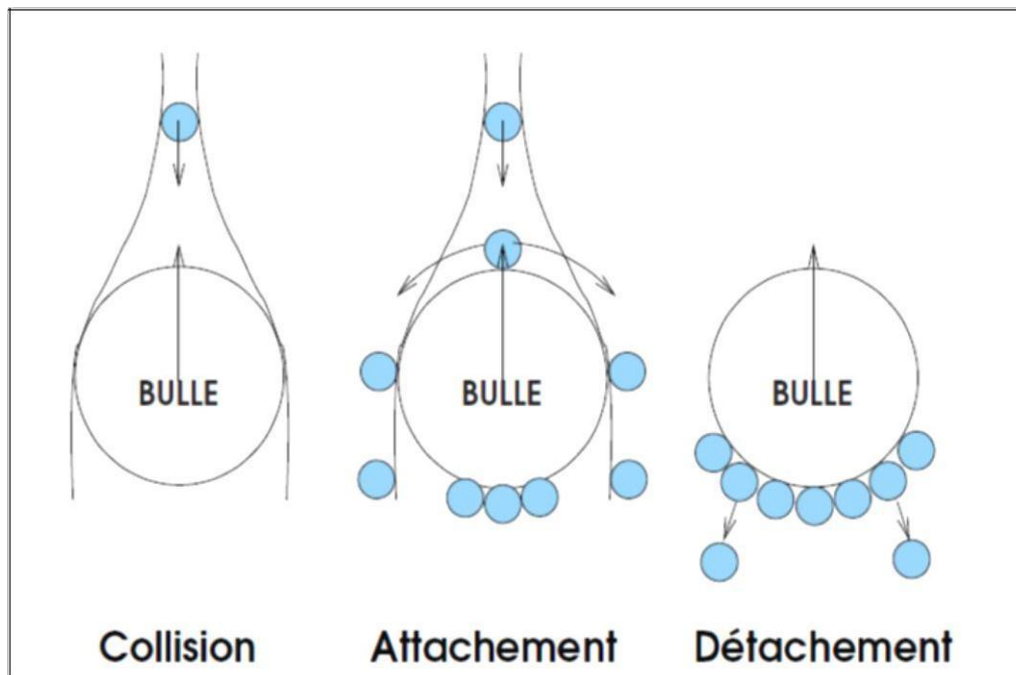
### I.2.1. Définition et principe de la flottation

La flottation est une technique de la minéralurgie qui différencie les minéraux hydrophiles des minéraux hydrophobes. Les minéraux hydrophobes adhèrent aux bulles de gaz et remontent à la surface, le plus souvent grâce à l'intervention des réactifs chimiques connus sous l'appellation des collecteurs. Ils sont capables de rendre sélectivement les minéraux hydrophobes et aérophiles. Dans certains cas, l'adsorption du collecteur sur le minéral utile nécessite l'addition préalable d'un activant.

Le renforcement de la nature hydrophile des minéraux est en général obtenu grâce à une modification du pH et à l'addition de réactifs déprimants.

Comme la durée de vie des bulles dans de l'eau propre est très courte, l'utilisation de moussants en flottation est indispensable. Leurs actions sont la formation de la mousse et la distribution dimensionnelle des bulles dans la pulpe et sur leur vitesse d'ascension.

Les mécanismes de l'interaction bulle-particule contrôlent la sélectivité et l'efficacité des procédés de flottation. Ces mécanismes ont été étudiés par plusieurs chercheurs (Taggart, Derjaguin...), ils sont de l'ordre 3: la collision, attachement et Stabilisation/Détachement.



**Figure I.3.** Mécanismes de l'interaction bulle-particule

Pour pouvoir employer cette technique, il faut réunir trois conditions essentielles.

- ✓ L'obtention de bulles d'air stables pouvant former une mousse.
- ✓ L'adhésion des minéraux à flotter aux bulles d'air, non adhésion aux bulles d'air des particules que l'on ne veut pas flotter et mouillage de ces particules par l'eau.
- ✓ La lévitation des minéraux valorisables accrochés aux bulles à la surface et leur récupération dans la mousse.

### **I.2.2. Réactifs de flottation des sulfures**

#### **I.2.3. Collecteurs de flottation**

Les collecteurs utilisés industriellement sont des substances anioniques appartenant à la famille des Thiosels. Ces produits, très sélectifs, sont les xanthates et les dithiophosphates.

#### **I.2.4. Déprimants (dépresseurs)**

Les corps empêchent ou retardent la flottation de certains minéraux et permettent

ainsi le déroulement de flottations sélectives. Les déprimants usuels sont:

- Le cyanure de sodium déprimant la blende et la pyrite et est sans effet sur la galène.
- La chaux déprime la pyrite et toute agissant faiblement vis à vis des autres sulfures.
- Les chromâtes et bichromates alcalins dépriment la blende et les sulfures de cuivre.

Le silicate de soude déprime les gangues, ce qui est indispensable à la flottation des oxydes nécessitant des collecteurs très énergiques et permettant ainsi de faire remonter les gangues.

### **I.2.5. Activant**

Ces corps ont la faculté de pouvoir augmenter l'action des collecteurs sur certains minéraux, ce sont surtout des sels, qui par double décomposition donnent, à la surface des minéraux, une pellicule réagissant avec les collecteurs.

### **I.2.6. Régulateurs**

Ils sont destinés à :

- Précipiter des sels solubles qui nuisent à l'action des collecteurs (poisons de la flottation): sels ferreux, ferriques, d'aluminium... etc.
- Adapter le pH de la pulpe, ce qui confère une grande influence sur le traitement ; on utilise la chaux, le carbonate de soude et l'acide sulfurique.

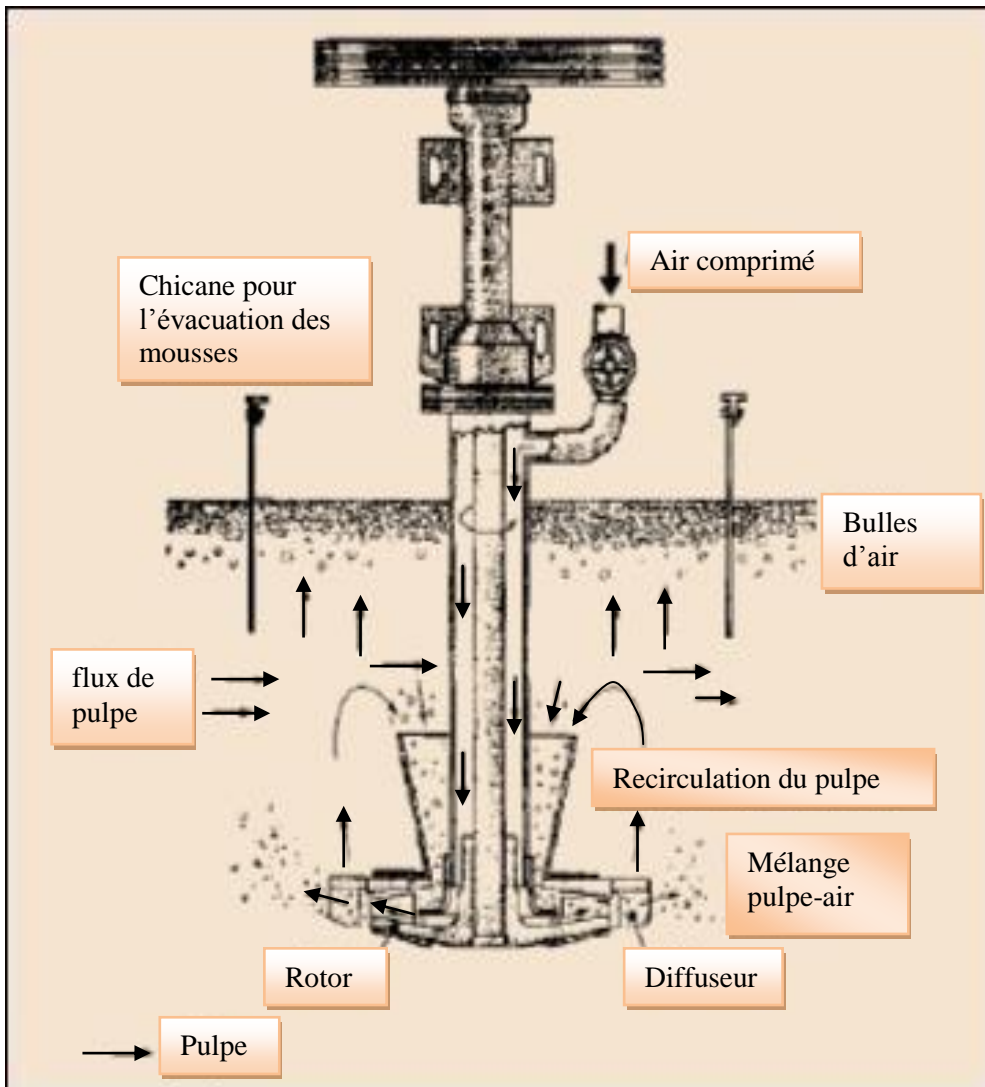
## **I.3. Machines de flottation**

### **I.3.1. Colonne de flottation**

La colonne de flottation a été réalisée par Pierre Boutin et Rémi Tremblay au début des années 1960.

Ce dispositif est un simple tube avec une hauteur plus grande que la surface transversale. Il n'y a pas de partie mobile à l'intérieur de la colonne. On distingue deux zones différentes : la zone de collection et la zone d'écume. Ces zones se trouvent séparées par l'interface pulpe-écume, laquelle détermine la longueur de chacune d'elles. L'appareil ainsi défini travaille à contre-courant : la pulpe est introduite aux deux tiers environ de la hauteur de l'appareil. Au bas de la colonne est injecté l'air par le générateur des bulles, qui cheminent à contre-courant de la pulpe.

À la partiesupérieure, une aspersion d'eau assure le lavage des mousses recueillies.



**Figure I.4 :** Cellule de flottation Denver Sala type DR ouvert. [10]

#### I.4. Exemple d'enrichissement du minerai polymétallique Pb-ZN

##### I.4.1. Dans le monde

a) Concernant un minerai contenant de la blende en France, de la pyrite et de la galène, dans une gangue de calcite et de dolomie. Le minerai est broyé pour que 80 % du produit passe au tamis de 170 microns. Le schéma ci-dessous illustre les opérations de concentration d'un minerai de zinc-plomb. [11]



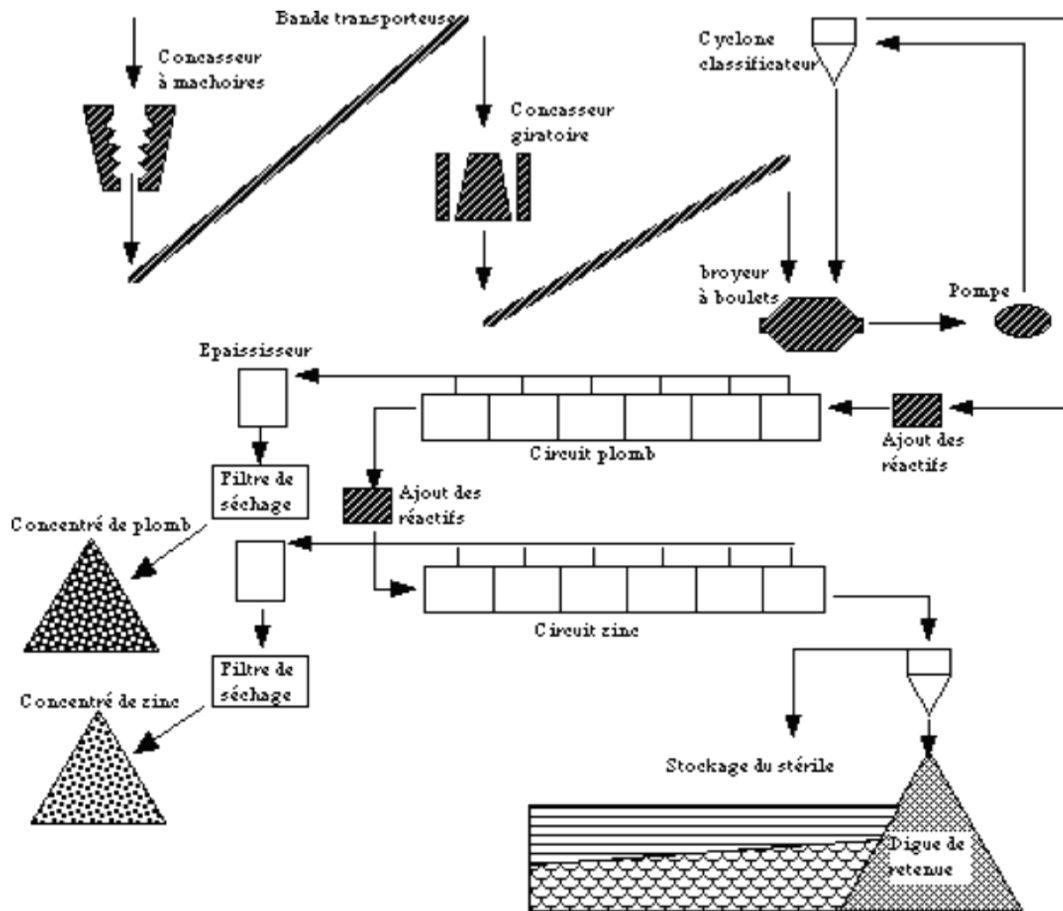


Figure I. 5 : Schéma de principe d'un circuit de traitement de minerai de Zinc-Plomb.

a) Exemple de flottation concernant un minerai contenant de la blende, de la pyrite

et de la galène, dans une gangue de calcite et de dolomie.

Broyage : le minerai a été broyé pour que 80% du produit passe au tamis de 170 microns.

Flottation : les résultats moyens du traitement par flottation sont les suivants:

**Tableau I.4** Teneur de concentré de Pb et Zn

Produits	Masse en %	Teneur en Pb	Teneur en Zn
Tout-venant	<b>100%</b>	<b>5,7%</b>	<b>6,9%</b>
Concentré de galène	<b>7,2%</b>	<b>70,9%</b>	<b>3,6%</b>
Concentré de blende	<b>10,3%</b>	<b>0,5%</b>	<b>52,1%</b>
Rejet final	<b>82,5%</b>	<b>0,7%</b>	<b>1,6%</b>

## I.4.2. En Algérie

### I.4.2.1. Cas d'EL-ABED Tlemcen

La flottation elle comprend deux niveaux : le premier est consacré à L'extraction du plomb (flottation principale du Pb), quant au second il est adapté à la récupération du zinc. En plus de l'addition de KCN et de  $ZnSO_4$  on ajoute à la pulpe de l'Aeroflot comme moussant et du butyle xanthate pour collecter le plomb alors que KCN et le  $ZnSO_4$  déprimant respectivement le fer et le zinc.

L'effervescence de la pulpe provoquée par l'agitateur, auquel on injecte de l'air comprimé, la tout formant des bulles d'air qui vont s'accrocher au plomb et flotter en surface dans les cellules de flottation.

Le relevage de la mousse se fait avec apport d'eau et on l'épaissit pour favoriser le phénomène de décantation. En suite un filtre séchera la pulpe et le concentrées a extrait vers une aire de stockage. Le même procédé est appliqué pour le zinc. Au lieu de l'apport du  $ZnSO_4$ . On remplace le sulfate de zinc ( $ZnSO_4$ ) par l'activant de sulfate de cuivre, afin de flotter le zinc. [12]

## **Chapitre II**

Contexte géologiques minières et  
enrichissement de la mine de  
Chaabet El-Hamra / Sétif

## II.1. Introduction

Le gisement de Chaabet El-Hamra est connu depuis longtemps, il a fait l'objet d'exploitation des affleurements de calamines de 1910 à 1920 et de 1936 à 1941. Beaucoup plus tard, les travaux d'exploitation par forages ont été entrepris afin d'établir l'extension des zones connues.

Après la nationalisation des mines en 1966, le gisement de Chaabet El-Hamra a été l'objet de premiers travaux d'évaluation par sondages à maille régulière de 50×100 et de 100×100m, de 1989 à 1991. [13]

## II.2. Localisation géographique du gisement de Chaabet El-Hamra

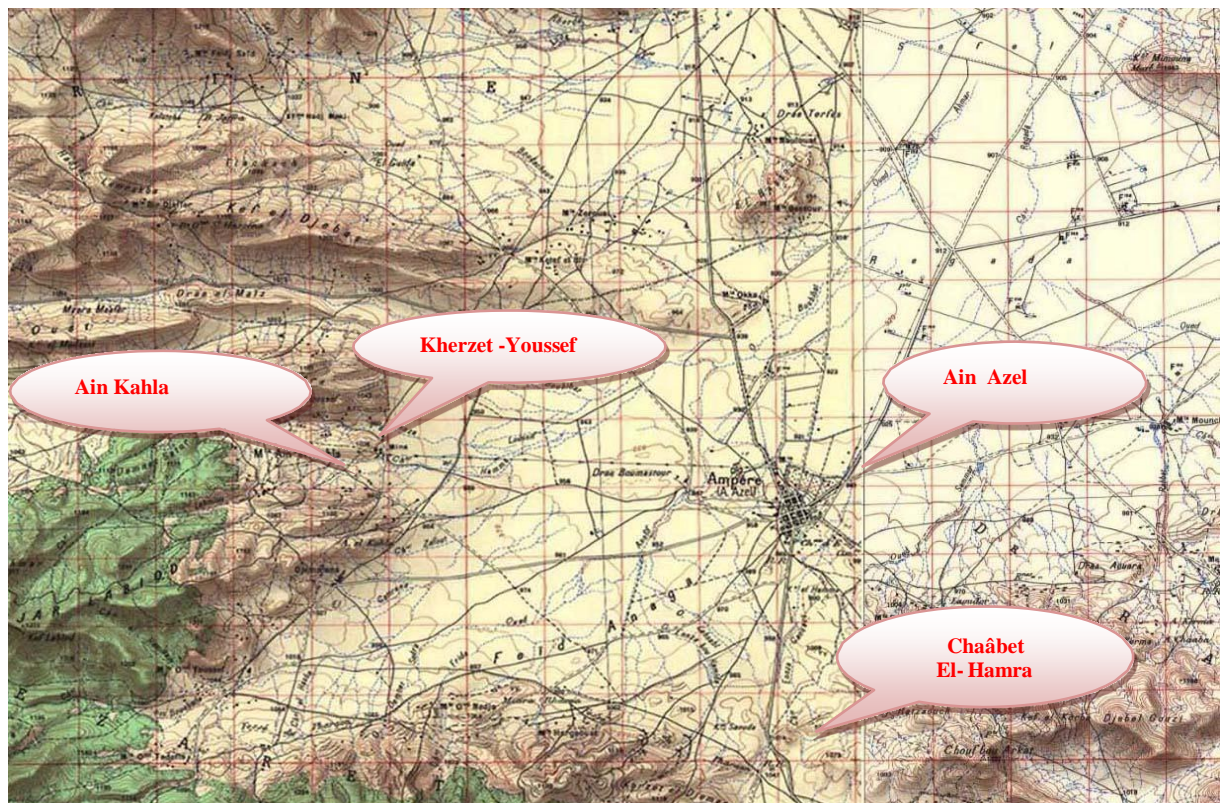


Figure.II.01 : Carte géologique de la région de gisement Chaabet El Hamra

### II.2.1. Situation géographique

Le gisement de Zinc de Chaâbet- 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 à 3,5 km au Sud-est du village d'Ain Azel et à 7,5 km de la mine de Kherzet. Ses coordonnées géographiques approximatives sont : 35°45'N et 5°30'E. L'altitude du site varie de 950 à 1200 mètres.



Figure II.2: Situation géographique de la mine de Chaabet El-Hamra [14]

### II.3. 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 de 1910 à 1920 et de 1936 à 1941. Beaucoup plus tard, les travaux d'exploration par forages ont été entrepris afin d'établir l'extension 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 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. 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. [15]

## **II.4. Condition géologiques du gisement de Chaabet El-Hamra :**

### **II.4.1 Géologique régional :**

Le gisement de Chaabet El-Hamra, fait partie du (district métallogénique) à Pb- Zn des monts du hodna qui renferme d'importantes minéralisation en Pb-Zn localisées dans la région d'Ain Azel. Le gisement de chaabet El-Hamra appartient aux blocs d'Ain M'Lila, qui comprend trois structures de soulèvement en forme de Horst-Anticlinaux. Le gisement est associé au Horst de Rahbat .(figure2)

- Domaine interne.
- Domaine des flyschs.
- Domaine externe

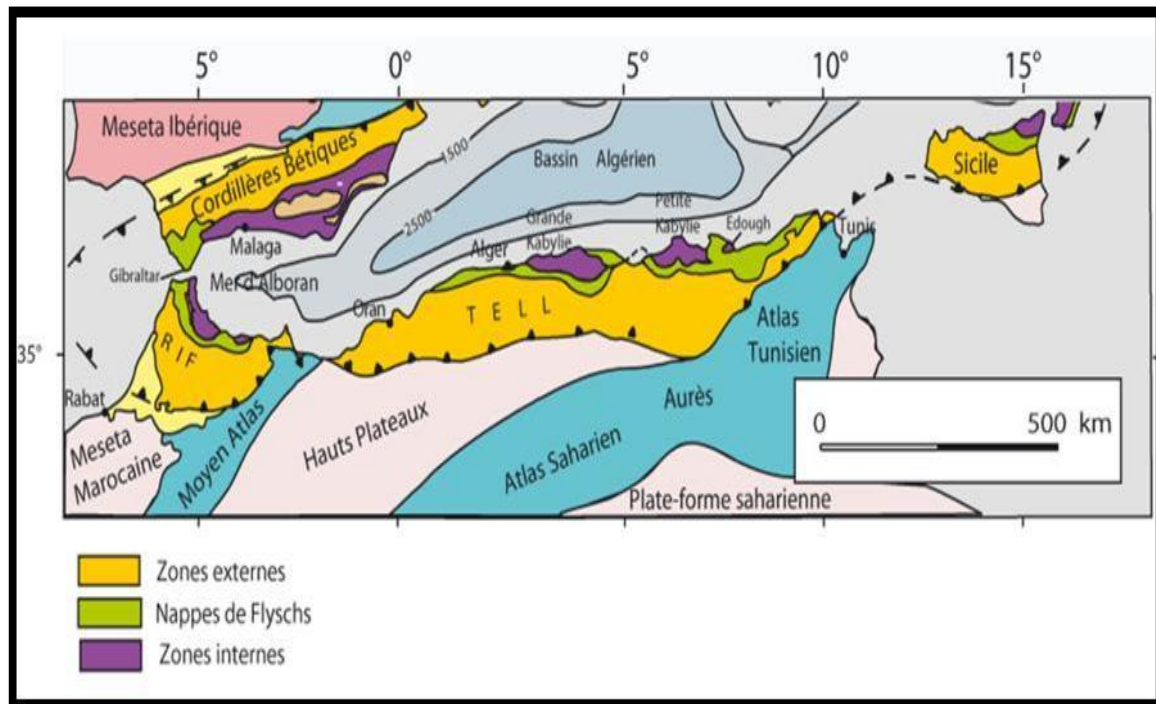


Figure II. 3 - Carte structural du Nord de l'Algérie [16]

✓ Domaine interne (les Kabylides) : il comprend le socle cristallophyllien (socle kabyle) et une couverture sédimentaire qui constitue la chaîne calcaire (appelée par la suite « Dorsale Kabyle ») ([17])

✓ Domaine des flyschs : les flyschs sont des formations sédimentaires allochtones d'âge Crétacé à Eocène, ils sont classiquement subdivisés en trois groupes ; Les flyschs maurétaniens (Tithonique- Crétacé inférieur), les flyschs massyliens (flyschs albo-aptiens) et les flyschs Numidiens.

✓ Domaine externe (le Tell) : ce domaine est représenté par les séries telliennes, les séries de l'avant pays allochtone et les séries de l'avant pays autochtone. [18]

**II.4.1.1. Les séries telliennes ou nappes telliennes** : il s'agit des séries épaisses à dominante marneuse, les a subdivisées en trois grandes unités: Les unités ultra telliennes, les unités telliennes sensu stricto, les séries péni-telliennes et unités méridionales à Nummulites.

**II.4.1.2. Les séries de l'avant pays allochtone** : les séries de l'avant pays allochtone, ont été regroupées en trois grandes familles. [18]

-Une organisation Sétifienne : il s'agit d'une série de massifs calcaires karstifiés qui

détermine d'Ouest en Est des alignements de petits reliefs d'une grande homogénéité.

-Une organisation Constantinoise : les séries de l'avant-pays allochtone constantinois présentent une différenciation remarquable avec au Nord, les séries néritiques constantinoises et au Sud, les séries de type Sellaoua

-Une organisation Algéro-Tunisienne : elle montre une série de sédimentation analogue à celle des nappes telliennes ou à celle des séries septentrionales de Sellaoua.

#### **II.4.1.3. Le domaine de l'avant pays autochtone**

Il est représenté d'Ouest vers l'Est par les formations parautochtones et autochtones des monts ; du Hodna, du Belezma et de Batna, le massif de l'Aurès, les Hautes Plaines d'Oum El Bouaghi et d'Ain Beida et la vaste zone des diapirs [18]

#### **II.4.2. Stratigraphie des monts du Hodna :**

Les séries Hodnéennes ont été abordées par de nombreux auteurs : (Savornin, 1920 ; Bertraneu, 1955 ; [13])

Les formations hodnéennes correspondent à un domaine plissé où se développent une série de petits massifs qui s'étendent sur une centaine de kilomètres, d'Ouest en Est, on distingue: les massifs de Maadid, des Ouled Tebben, .[19]

Ils sont formés par des roches carbonatées du Crétacé inférieur et supérieur (calcaires, marno-calcaires et dolomies) et constituent le début de l'Atlas saharien qui développe ses grandes structures plissées et faillées jusqu'aux portes du désert.

#### **II.4.3. Litho stratigraphique des monts du Hodna**

Les différentes formations qui constituent la région sont d'âge variant du trias au quaternaire, elles ont été définies

**-Le Trias :** il s'agit d'argiles bariolées (rouge, vert, violacée) accompagnée d'un chaos de roches habituelles au complexe triasique, brèches dolomitiques, cargneules, amas de gypse et même parfois des fragments de socle cristallin. [20]

Les principaux affleurements du Trias sont situés près du Djebel Gouzi, de Koudiat El Bassour au milieu de la plaine qui est le seul époinement qui ait fourni des roches vertes. [19]

**-Le Jurassique :** il est carbonaté, Affleure sur des surfaces importantes dans les monts du Hodna, il est surtout développé à l'est d'Ain Azel. Il comprend :

**-Le Lias :** il s'agit de formations à dominance carbonatée constituée à la base d'une



série d'épaisses couches de calcaires dolomitiques de couleur gris foncé, qui se termine par une surface de ravinement traduisant un ralentissement de sédimentation.

-Le Dogger : il est représenté par des calcaires marneux à lits de silex, et sections de Bélemnites et Ammonites.

-Le Malm : il est constitué par des calcaires fins, à la base il est caractérisé par des faciès marneux à intercalation de micrites, Ostracodes et Radiolaires.

-Le Crétacé : il affleure largement dans la région.

Il comprend, de la base vers le sommet les termes suivants :

-Le Néocomien : ce sont des pélites à intercalation marno-calcaires à la base, pour devenir pélitiques en bancs épais à mince intercalations gréseuses vers le sommet.

-Le Valanginien : il est essentiellement détritique, constitué à la base par des calcaires noirs, marnes calcaires et calcaires fins, au-dessus desquelles surmonte une série d'argiles et marnes vertes à intercalation de bancs de grès et de pélites vertes. D'après (Glaçon, 1967), l'Hautérvien et le Barrémien constituent un ensemble défini entre deux niveaux argileux. La série valangienne atteint près de 200 mètres d'épaisseur.

-L'Hautérvien : il comprend des dolomies massives et rouges, alternant avec des grès, des dolomies gréseuses et des argiles. Ces dolomies sont fréquemment minéralisées (Pb-Zn-Fe -Ba). La série hautérvienne atteint près de 150 mètres d'épaisseur.

-Le Barrémien : il s'agit d'une série complexe et très variée, on y rencontre des calcaires, des dolomies, des grès et des minces intercalations argileuses ou marneuses.

La série barrémienne atteint près de 750 mètres d'épaisseur.

L'Aptien : il est composé d'une formation marneuse et d'une formation carbonatée.

-Aptien marneux ; c'est une série de marnes gréseuses jaunes ou vertes avec des intercalations des calcaires à Orbitolines pouvant dépasser les 100 mètres d'épaisseur.

-Aptien Carbonaté ; il commence par une barre dolomitique de 10 à 15 mètres d'épaisseur, se poursuit par des calcaires en gros bancs bien lités. L'épaisseur de l'ensemble varie de 300 à 350 mètres

-Albien-Cénomaniens ; il est constitué par un ensemble de calcaires en petites dalles de grès et de marnes gréseuses jaunes. Au-dessus, on a des intercalations de calcaires marneux en plaquettes et enfin au sommet, le Cénomaniens marneux épais de 250 à 300 mètres avec une très riche faune de lamellibranches et de débris d'Echinides.

-Le Crétacé supérieur :

-Le Cénomaniens supérieur et Turonien : à la base des calcaires dolomitiques à rognons de silex clairs et à lits de chailles blanches ou beiges, c'est le Cénomaniens supérieur (100 m).

-Le Turonien : il est également carbonaté, représenté par des marnes et des calcaires dolomitiques à débris d'hippuritidés, dont l'épaisseur ne dépasse pas 100 mètres.

Constitué par des dolomies et des calcaires à silex ou milliolidés.

-Le Sénonien :

-Sénonien Inférieur : il est constitué de marnes sableuses ou à petits galets roulés (grés, silex), et une barre de quelques mètres de calcaires à galets dans les marnes avec une épaisseur qui ne dépasse pas les 150 mètres.

-**Sénonien supérieur** : le Campanien débute par une série marneuse avec des intercalations lumachelliques, puis vient le Maestrichtien avec des calcaires. L'ensemble ne dépasse pas 350 à 400 mètres. [20]

-Le Tertiaire :

**a. Dano-Paléocène à Yprésien** : la série est formé par des marnes argileuses noirâtres à nodules pyriteux isolés, à la base il est constitué par des intercalations de calcaire pyriteux, tandis qu'au sommet la série devient azoïque.

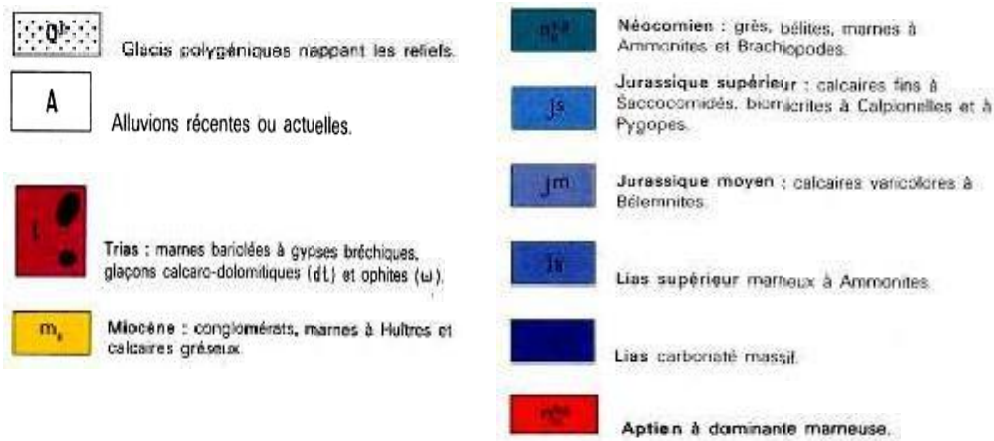
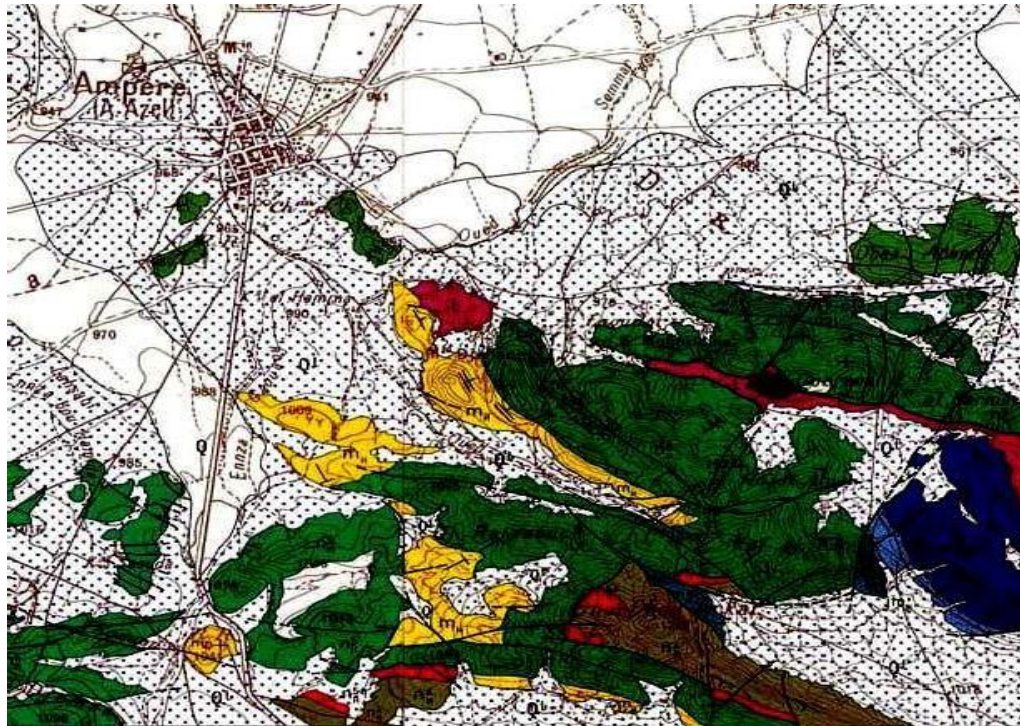
-présien-Lutétien inférieur: ce sont des formations constituées essentiellement par des calcaires gris à silex, la partie inférieure est caractérisée par des calcaires durs phosphatés, gréseux à galets de silex et grains de phosphate. L'épaisseur de l'ensemble varie de 70 à 100 mètres.

**b. Lutétien supérieur** : il s'agit de séries d'argiles gypsifères, à intercalation de calcaires organogènes jaunâtres dont l'épaisseur ne dépasse pas 30 mètres.

-Le Miocène : il est marin transgressif et représenté le plus souvent de formations continentales et lagunaires, est composé de conglomérats, grés, marnes et argiles rouges.

-Le Pliocène: Généralement concordant sur le Miocène, est constitué de formations détritiques, marneuses et conglomératiques.

-Le Plio-quatenaire : il est concordant et en continuité sédimentaire avec les terrains sous-jacents. Il est caractérisé par les faciès détritiques et marneux avec des nouveaux apports conglomératiques au sommet. [21]



**Figure II.4:** Carte géologique des environs de la mine de Chaabet El-Hamra (D'après la carte géologique 1/50.000 d'Ain bazel, Sonatrach, 1977).

-Le Jurassique : il affleure sur des surfaces importantes à l'Est d'Ain Azel. Il comprend la Jurassique inférieur -moyen (Lias-Dogger) et le Jurassique supérieur. Le Lias-Dogger constitue l'ossature calcaro-dolomitique de plusieurs chaînes des Monts du Hodna. Le Jurassique supérieur est constitué de trois groupes : (1) un groupe grés-argileux, très réduit dans les Monts du Hodna, (2) un groupe marno-calcaire peu fossilifère et (3) un groupe carbonaté supérieur, très riche en fossiles, qui correspond au Portlandien et comprendrait une partie du Crétacé inférieur (Berriasien).

-Le Crétacé inférieur qui affleure largement dans la région. Il comprend, de la base vers le sommet :

- (1) une formation marno-silto-gréseuse, d'âge Berriasien supérieur et Valanginien ;
- (2) une formation dolomitico-gréseuse d'âge Hauterivien ; (3) une formation argilo-calcaro-gréseuse d'âge Aptien inférieur ; (4) une formation calcaro-marneuse à Orbitolines d'âge Aptien ; et (5) une formation calcaro-marno-gréseuse d'âge Albien.

-Le Crétacé supérieur qui est constitué de la succession litho stratigraphique suivante : (1) des marnes et des marno-calcaires du Cénomaniens inférieur et moyen, qui se termine par des couches très fossilifères ; (2) des calcaires et dolomies du Cénomaniens supérieur et du Turonien basal, à la base et au sommet desquels s'observent des couches à silex ; (3) des marnes et marno-calcaires à *Globotruncana helvetica* (Turonien inférieur à moyen) ; (4) des marnes à Rudistes du Turonien supérieur ; (5) des marnes et marno-calcaires à Laffittéines du Maestrichtien.

- L'Eocène est représenté par des faciès calcaires ou marno-calcaires à silex se terminant par des séries lagunaires ou parfois continentales (argilites rouges et poudingues).

- Le Miocène représenté le plus souvent de formations continentales et lagunaires, est composé de conglomérats, grès, marnes et argiles rouges.

- Le Pliocène généralement concordant sur le Miocène, est constitué de formations détritiques, marneuses et conglomératiques.

- Le Quaternaire est composé de formations continentales peu épaisses. [21]

**II.5. Pétrographie et Minéralogie du gisement :**

Afin d'accéder au minerai il a été creusé une cheminée de (3,00 x 2,2) m<sup>2</sup> de section dont les coordonnées sont:

- x: 200 18340
- y: 755 50450

La roche est représentée par la dolomie à grains moyens de couleur grise à gris noirâtre massive largement poreuse, la couleur noire est due à la présence de bitumes et d'argiles.

La composition minéralogique des corps minéralisés du gisement de Chaâbet El Hamra est relativement simple, La minéralisation représentée par des sulfures. Le minerai est de type disséminé, Les principaux minéraux métallogènes sont la sphalérite, la pyrite, la marcassite. Les minéraux secondaires sont la galène, l'hématite, la withrite et la baryte. Les minéraux de gangue sont la dolomie, la calcite, plus rarement du quartz et du gypse. Dans la zone d'oxydation on trouve la smithsonite, La cérusite, la limonite, l'hydrogoéthite.

Ces minéraux qui généralement se présentent en filon et, ou d'amas et parfois en fines couches de l'ordre de 4 à 5 m. Les principales minéralisations incluses dans le minerai du gisement de Chaabet El Hamra sont:

**La Sphalérite**

Elle se présente en général sous forme d'agrégats monocristallins, de dimension 10 mm ou en cristaux élastiques isolés de dimension de 0,08 à 0,3mm. Elle est liée à la présence de pyrite, de la marcassite et de la dolomie secondaire. [21]

**La pyrite**

- En grains fins xonomorphes, disséminés dans la dolomie;
- En agrégats (0,3 à 0,5mm);
- En filonnets (de 10 à 15 cm) de longueur.

La pyrite de la première génération se présente sous forme de cristaux disséminés dans la gangue de la dolomie (0,05mm).

La pyrite de la deuxième génération se présente sous forme d'agrégats cristallins aplatis. Les cristaux sont subautomorphe (de 0,3 à 1,2 mm). On rencontre aussi :

**La Marcasite**

Elle se présente sous forme d'agrégats cristallins aplatis.

**La Galène**

Elle est peu fréquente, se trouvant parfois en association avec la barytine en cristaux subautomorphe aussi bien sous forme d'inclusion dans la dolomie blanche.

**La Barytine**

Elle se rencontre rarement, elle se présente sous la forme de filonnets de composition monominérale formant des vides dans les minerais pyriteux de couleur blanchâtre, elle forme des agrégats avec une structure tubulaire en masse lamellaire.

**La Dolomie**

Elle constitue une teneur importante dans la constitution de la gangue des corps minéralisés et formant des roches encaissantes. On distingue deux générations de dolomies: la dolomie I, précoce et la dolomie II, tardive (cristaux plus grands). Elle présente des formes bien en filonnets, de couleur blanche, elle est postérieure à la formation de la blende. Elle fait partie des roches encaissantes. [21]

CORPS N°	COUCHE N°	LITHOLOGIE	PUISS (m)	DESCRIPTION	
	6		0.80	Grès Organogène	
			0.50	Marne noire à aspects chisteux	
			1.50	Dolomie bréchique faiblement minéralisée Dolomie à minéralisation disséminée de sphalerite	
	5		0.20	Jointmarneux	
			2.00	Dolomie grise à minéralisation en veinules de sphalerite et mids de baryte par endroits la couche est à oit stériles	
	4		2.00	Dolomie à minéralisation disséminée de sphalerite	
				4-10	L'intercalaire stérile
		3		0.20	Sphalerite massive à joint
				1.60	Dolomie à minéralisation bréchique de sphalerite
2			0.40 -2.	Dolomies stérile	
			1.60	Dolomie à veines de sphalerite	
1			0.20	Sphalerite massive	
			1.50 -2.00	Dolomie à concrétion stérile	
			0.80	Minéralisation bréchique	
			0.70	Dolomie stérile	
			0.50	Sphalerite massive (paren droit toute la couche est minéralisée)	

**Figure II.5.** La minéralisation du gisement (faisceau supérieur et inférieur) [22]

## II.6. Hydrogéologie :

L'importance de l'eau d'exhaure est assez connue dans la région. Le « coup d'eau » catastrophique du 02 juin 1990 a entraîné la fermeture définitive de la mine de Kherzet Yousef. Cette eau est récupérée pour les besoins agricoles et sa présence est un obstacle 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:

- 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.



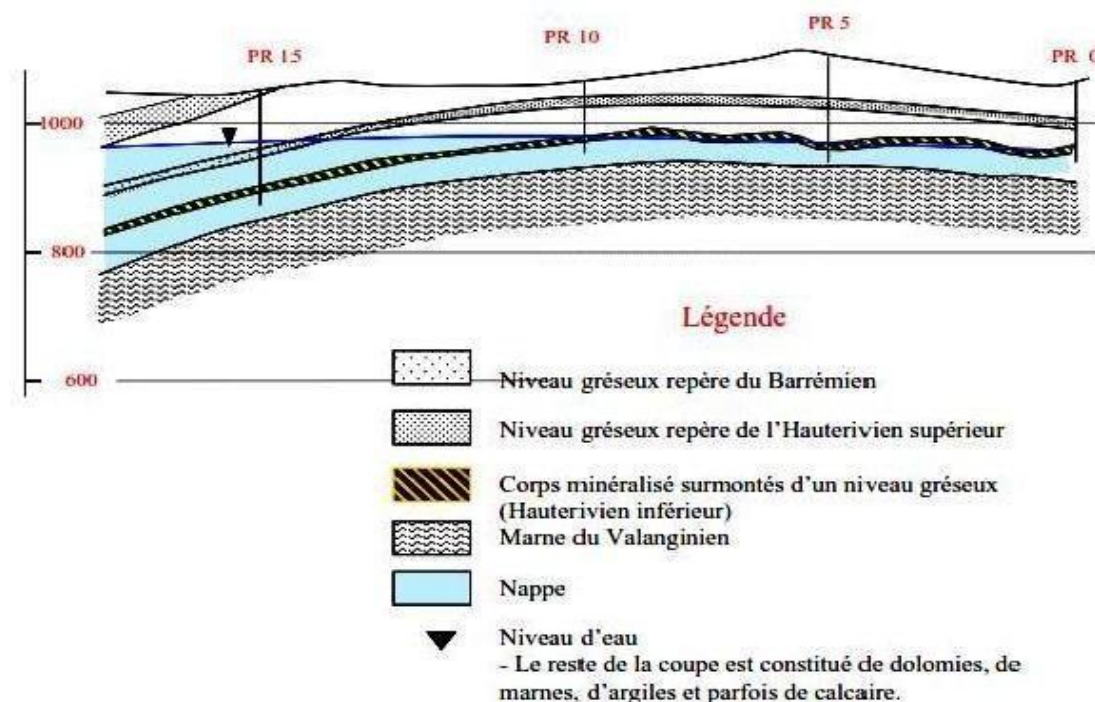


Figure II.6. Coupe hydrogéologique Profil 0 - Profil 30

## II.7. Stratigraphie du gisement

Elle est caractérisée principalement par les dépôts du Crétacé, dont l'Hauterivien présente le plus grand intérêt, car il contient la minéralisation [23]

### Valanginien (n2)

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 (n3)

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

**a/ Hauterivien inférieur (n<sub>3</sub><sup>1</sup>)** : ce niveau, d'une puissance totale variant de 70 à 120m, est à son tour divisé en trois termes :

- **n<sup>1a</sup>** : composé de dolomies grises massives, à grains fins, parfois gréseuses, souvent à petites inclusions et nodules, de couleur blanchâtre, et parfois de calcarénites noires dans la partie supérieure de 2 à 5m du toit ; ce terme est discontinu et son épaisseur est de 1 à 2m.
- **n<sup>1b</sup>** : représenté par une superposition, de bas en haut, de marnes gris- verdâtres (0,5 à 2m), d'aleurites gris-brun (2 à 5m), de dolomies grises (2 à 10m), de dolomies gréseuses (3 à 8 m) et de marnes bariolées (5 à 10m).
- **n<sup>1c</sup>** : 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).

**b/ Hauterivien supérieur (n<sub>3</sub><sup>2</sup>)** : ce niveau, d'une puissance globale variant de 80 à 120m, est subdivisé en cinq termes :

- **n<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.

- 3- **n<sup>2b</sup>** : représenté par des dolomies massives à grains fins plus ou moins hématitisées.

- 3- **n<sup>2c</sup>** : représenté par un calcaire gris argileux (parfois renfermant des passées argilo-marneuses ou siliceuses) dont l'épaisseur varie de 10 à 15m.

- 3- **n<sup>2d</sup>** : constitué de dolomies à grains fins, de couleur gris-brun, souvent argileuses, dont la puissance totale varie de 15 à 20m.

- 3- **n<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 aérolites ; dans la partie inférieure de ce terme, les calcaires sont remplacés par des dolomies recristallisées.

**Barrémien (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><sup>1</sup>)** : ce niveau est à son tour divisé en trois termes :

- **n<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 oxydée ; la puissance de dolomies marneuses massives, de marnes et de calcaires marneux ; sa puissance varie aussi de 40 à 60m.

-  $n^{1b}$  : constitué par une alternance de dolomies marneuses massives, de marnes et de calcaires marneux ; sa puissance varie aussi de 40 à 60m.

-  $n^{1c}$  représenté par des dolomies massives à grain fins, avec des fissures remplies d'oxydes et de calcite, et une puissance variant de 15 à 20m.

**b/ Barrémien supérieur ( $n^2$ )** : ce niveau est subdivisé en quatre termes :

-  $n^{2a}$  : 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 30m.

-  $n^{2b}$  : 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 40m.

4-  $n^{2c}$  : constitué d'une alternance de dolomie gréseuse, de grés bruns et d'argiles verdâtres (dolomies et grés compacts, massifs et légèrement hématitisés). Sa puissance varie de 60 à 130m.

4 -  $n^{2d}$  : formé de dolomies gréseuse et argileuse et de calcaire brun-violet, avec des passés d'argile verdâtre. Sa puissance est d'environ 60m.

## II.8. Structure du gisement :

Le minerai zincifère du gisement de Chaabet El-Hamra est composé de deux corps principaux appelés corps n° 1 pour le corps supérieur et corps n°2 pour le corps inférieur.

Ces corps sont allongés en bande sur une longueur de 2700m en direction et 100 à 400m en pendage. Les corps de minerai plongent d'un pendage de 10° vers le Nord- Ouest.

Le minerai est encaissé dans une dolomie poreuse ou bréchiqque située dans la partie inférieure de l'étage Hautérivien (Crétacé inférieur). Le toit du corps supérieur (corps n°1) est une dolomie à lits marneux tandis que le mur du corps inférieur (corps n°2) est une dolomie massive à concrétions (dolomie tachetée).

Les deux corps de minerai sont stratiformes, subparallèles et séparés l'un de l'autre par un niveau intercalaire constitué d'une dolomie à minéralisation pauvre et parfois stérile de puissance variable. Ce niveau peut être absent, de telle sorte que les deux corps se confondent en un seul de minerai continu.

La puissance moyenne du corps n°1 (corps supérieur) est de 5 mètres et celle du corps n°2 (corps inférieur) est de 4 mètres. Il n'existe aucune corrélation entre les épaisseurs et les teneurs et on constate une distribution contrastée dans les corps de minerai.

### **II.9. Tectonique du gisement**

Le gisement de Chaabet El Hamra occupant l'extrême partie Ouest du flanc Nord-Ouest du Horst anticlinal de Rahbat se caractérise par une structure complexe en plis cassés. Il apparaît sous forme d'un dôme recoupé par deux grands accidents de direction orientée Est-Ouest donnant ainsi naissance à trois blocs principaux :

- Un bloc central ; Un bloc méridional ; Un bloc occidental avec une structure en Horst et en Graben. [20]

#### ✓ **Tectonique cassante**

Il s'agit d'un système de failles sédimentaires ou flexures de direction Nord-Sud, on a :

◆ **Faille centrale** : C'est une faille normale de direction Nord-Ouest/Sud-Est avec pendage du plan de faille au Sud-Est inférieur à  $178^\circ$  et à rejet vertical d'environ 10 à 15m.

◆ **Faille latitudinale** : C'est une faille normale de direction Est-Ouest à plongement vers le nord avec un angle de pendage de l'ordre de  $70-80^\circ$  et à rejet vertical de 10 à 20m.

#### ✓ **Tectonique souple**

◆ **Les plis** : Le secteur de Chaabet El Hamra est caractérisé par une structure générale sous forme d'un anticlinal découpé par une variété d'accidents tectoniques, Cet anticlinal présente un plan axial orienté Nord-Ouest/Sud-Est. [20]

Le gisement de Chaabet-El-Hamra appartient au Jorst 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.

#### **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 :  $10^{\circ}$  à  $15^{\circ}$  NE et  $15^{\circ}$  à  $20^{\circ}$  SO. Sur le fond général du pli, il existe des complications locales sous forme de dômes, gradins. [23]

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  $65-75^{\circ}$ .
- 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 s'en élargissent 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 20m.

#### **c / 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 20m.

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 80m, voire de 100m 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 brachyantoclinal 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, dans une zone d'environ 70m de large, et le pendage est à l'Est inférieur à 70-85° tandis que les rejets verticaux atteignent 10m.

La partie inférieure (profil 10–15) est affectée par deux accidents tectoniques et la faille latitudinale. La première est située entre le profil 13 est d'un rejet de 4 mètre avec un pendage d'environ 60 degrés vers le Nord-Ouest.

## **II.10. Méthode d'exploitation de la mine souterraine de Chaabet El Hamra**

La méthode d'exploitation souterraine dépend de plusieurs facteurs sont:

- La dureté.
- Les caractéristiques physico-mécaniques du minerai et des encaissants
- L'importance du gisement
- Les variations des teneurs
- La puissance, le pendage et l'irrégularité de la formation

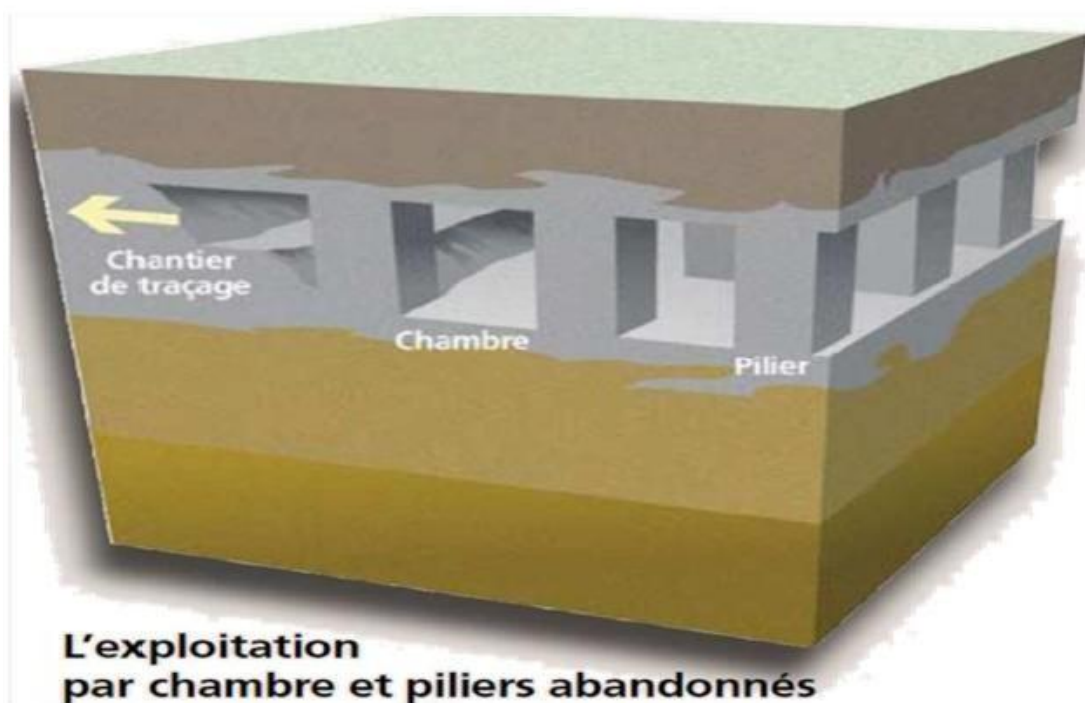
Pour le cas de gisement de Chaabet El- Hamra, les méthodes d'exploitations retenues sont des chambres et des piliers, soit en un seul niveau pour des épaisseurs inférieures à 5m, soit à deux niveaux pour des épaisseurs supérieures à 5m.

La méthode des chambres et piliers abandonnés a été pratiqués à la mine de Kherzet Youcef et dans l'exploitation de la partie supérieure de Chaabet El-Hamra.

#### Cas des blocs inférieurs à 5 m d'épaisseur :

##### II.10.1. Méthode d'exploitation par chambres et piliers abandonnés :

Cette méthode consiste dans un premier temps, à partir d'une voie d'accès, à tracer des chambres de 4 m à 5 m de largeur, en chassant, laissant entre elle dans un premier temps des piliers de 4 m de largeur et de 12 m de longueur, et dans un deuxième temps, de récupérer en rabattant une partie des piliers par creusement de refonte de 4 m au milieu du pilier. On abandonne des piliers de 16 m<sup>2</sup> de section pour supporter le toit sur une section de 64 m<sup>2</sup>. Ces piliers doivent supporter le poids de tout le recouvrement. Cette méthode nécessite une bonne connaissance, ainsi qu'un suivi du comportement des piliers abandonnés.



**Figure II.7.** Méthode d'exploitation par chambres et piliers

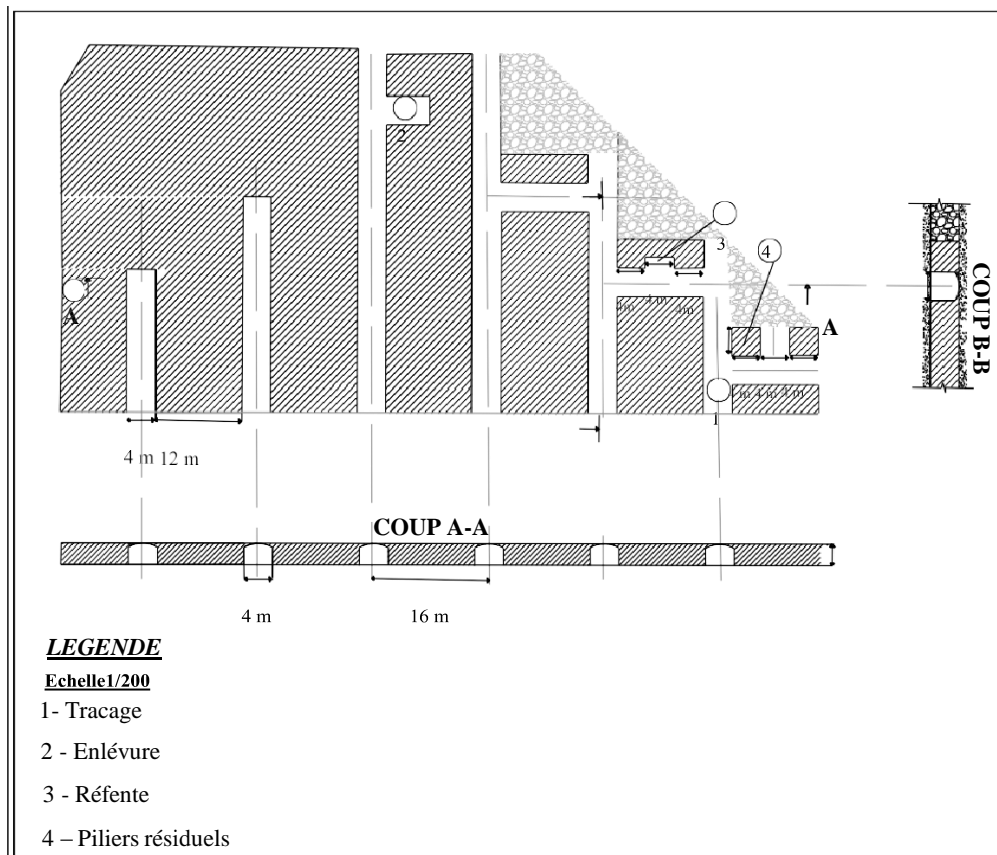
### II.10.2. Avantages et inconvénients de la méthode de l'exploitation

Une méthode d'exploitation très facile d'emploi ne nécessitant pas l'utilisation d'un personnel très qualifié et ne provoquant pas d'affaissement de surface ainsi au moindre cout d'extraction.

Quand la profondeur augmente, on perd beaucoup de minerai. Il faut alors abandonner cette méthode. C'est donc une méthode convenant aux faibles profondeurs.

Pour une morphologie de type lenticulaire comme celle du gisement de ChaabetEl Hamra, notamment pour les épaisseurs inférieures à 5 m, une autre méthode d'exploitation conventionnelle peut être utilisée est celle par traçage et dépilage. Cette méthode consiste à creuser des galeries parallèles de 4 m de largeur, appelées « traçage », et distantes l'une de l'autre d'environ 4 m, ce qui constitue la largeur de pilier.

Ces piliers sont ensuite récupérés partiellement, seuls les piliers résiduels de 2 m de côté sont abandonnés et foudroyés. [23]



**Figure II.8** Méthode d'exploitation par traçage et dépilage. [23]



On aboutit à une exploitation dont le taux de défruitement atteint facilement 90 % en couche mince (moins de 2.5 m de puissance). On obtient 85% quand la puissance de la couche exploitée reste inférieure à 6mètre.

C'est une méthode d'exploitation très sûre, fiable, économique, ne nécessitant pas d'investissements considérables. Les équipements sont identiques à ceux utilisés pour les piliers abandonnés.

Les engins utilisés dans la phase traçage sont identiques à ceux utilisée dans la phase dépilage.

Le prix de revient d'exploitation reste faible, légèrement supérieur à celui obtenu avec les piliers abandonnés.

Cette méthode comme celle des piliers abandonnés ne peut pas s'utiliser à Grande profondeur. Il faut disposer d'une maîtrise expérimentée et d'un personnel qualifié, car il faut pouvoir apprécier la stabilité d'une chambre de dépilage en fin d'exploitation. [23]

#### **Cas des blocs d'épaisseur supérieure à 5m :**

Dans une première phase un premier niveau est exploité selon la méthode des chambres et piliers. Dans une deuxième phase lorsque l'exploitation du premier sous-niveau est terminée, on procède à l'exploitation de la deuxième phase sous niveau. Dans ce cas à partir du traçage inférieur, les réserves situées au-dessus et de part et d'autre de cette galerie sont abattues et tout en abandonnant des piliers qui seront le prolongement des piliers du niveau inférieur.

Le minerai et les stériles tombent par gravité au premier sous niveau et sont évacués par des voies de passage du premier sous niveau. Cette méthode est considérée comme sûre puisque les mineurs travaillent toujours dans des espaces ayant la dimension d'une galerie.

Les matériaux foudroyés renferment un mélange de minerai et de stériles. Les premiers matériaux évacués par la chargeuse sont constitués exclusivement de minerai. Au fur et à mesure que le déblocage progresse, la proportion de stériles augmente. Lorsque l'opérateur juge qu'elle est trop élevée, il passe au chantier suivant :

- Une augmentation de la production : les taux de production sont le plus haut possible.
- Une méthode d'exploitation ne provoquant pas d'affaissement de surface.
- Une sécurité élevée.

### II.10.3. La Méthode des sous-niveaux foudroyés:

C'est une méthode qui convient aux couches minéralisées dont la puissance est  $>5$  m.

Le principe de cette méthode consiste à creuser une série des chambres parallèles distantes de 12 m de large, creusées toutes dans le même sens et qui permettent d'obtenir ainsi des longs piliers de 12 m de large.

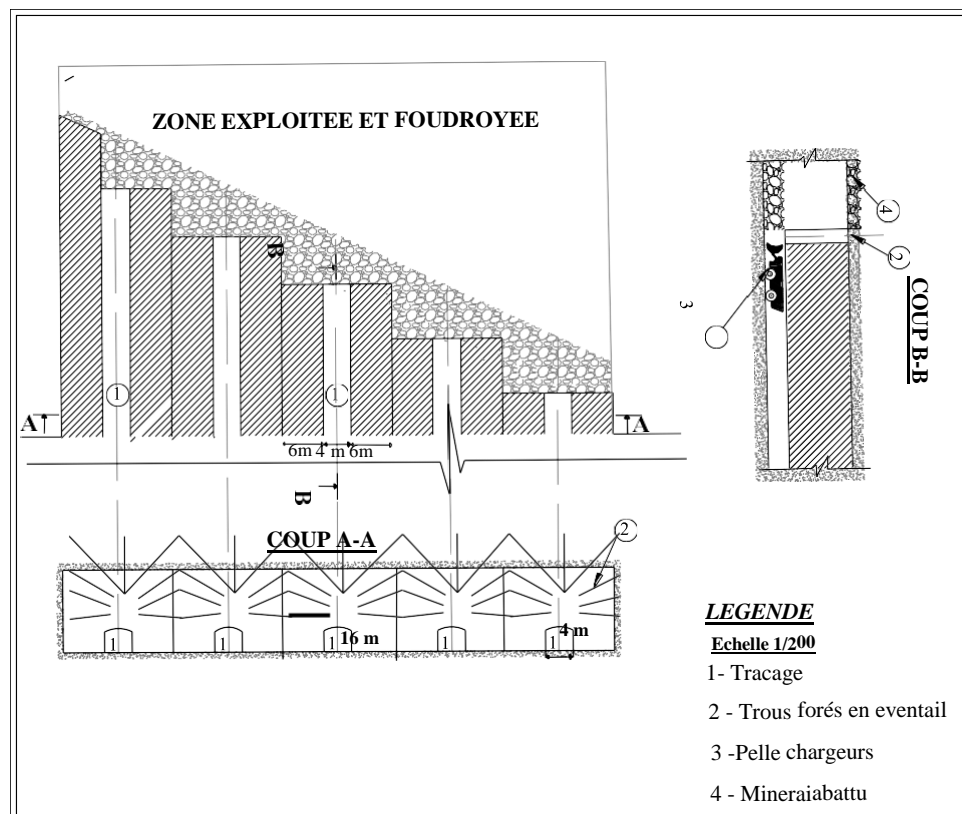
Ces piliers sont exploités de la façon suivante :

✓ Au bout de chaque traçage (chambres parallèles) est percée une cheminée sur toute la puissance du corps minéralisé (du mur au toit). Ensuite, une ouverture en fente de 2 m environ de large est pratiquée perpendiculairement au traçage qui servira comme surface libre au tir.

✓ Le soutirage est amorcé par le tir d'une ou deux rangées de trous de mines profonds, percés en éventail à l'aide d'une machine de foration. Après avoir abattu une ou deux tranches on procède au chargement du minerai, l'opération de soutirage est arrêtée lorsque les pierres de foudroyage apparaissent. Le soutirage des différentes chambres du bloc est conduit de manière telle que la séparation de la zone de foudroyage et de la masse en place se présente suivant une ligne brisée dans l'orientation générale est inclinée de  $35^\circ$  à  $45^\circ$  sur la direction des chambres.

Ce mode opératoire permet de placer les chantiers de soutirage en zone fortement déconsolidée mais hors de la zone de sur contrainte qui se trouve à l'intérieur du massif.

La méthode, nécessitant des équipements appropriés, est simple, productive et dont les pertes de minerai sont de 10% et le palissage varie de 8 à 10%. [23]



**Figure II.9** Méthode d'exploitation par sous niveau foudroyé [23]

## II.11 préparation et enrichissement du minerai sulfure de zinc :

### II.11.1 introduction :

Bien que les minerais métalliques contiennent des niveaux élevés de métaux, ils produisent aussi de grandes quantités de déchets. Par conséquent, l'étape suivante dans l'exploitation minière est le concassage (ou broyage) du minerai et la séparation des quantités relativement faibles de métaux du matériau non métallique du minerai au cours d'un processus de traitement dénommé enrichissement.

L'enrichissement inclut des techniques de séparation physique ou chimique comme la concentration par gravité, séparation magnétique, séparation électrostatique, flottation, extraction par solvant, extraction par voie électrolytique, lixiviation, précipitation et amalgamation (souvent impliquant l'utilisation du mercure).[24]

### II.11.2 Présentation de la laverie de Kherzet Youcef

L'usine d'enrichissement du complexe de Kherzet Youcef, fait partie des plus importantes réalisations industrielles de l'Algérie dans le domaine minier. Elle est conçue pour le traitement du minerai Plomb/Zinc de la mine de Kherzet Youcef, mais après l'inondation de 2 juin 1990, qui a causé des catastrophes dans la mine, l'usine exposée au risque de fermeture, a repris du service grâce à l'ouverture de la mine de Chaabet El-Hamra distante d'une dizaine de kilomètres.



**Figure II.10.** La laverie de traitement de Kherzet Youssef

Le traitement du concentré de zinc nécessite de suivre nombre d'opérations minéralurgiques (préparation mécanique et l'enrichissement), cela pour but de réduire la taille du minerai tout-venant, de libérer les particules de zinc de la gangue, et de produire le concentré du zinc. Ce minerai suit deux chemins minéralurgique qui sont :

#### II.11.2.1 Préparation mécanique:

Le schéma technologique inclut le broyage humide avec deux broyeurs à boulets, après le concassage en deux étapes (la première avec un concasseur à mâchoire et la deuxième avec concasseur à cône).[24]

### II.11.2.1.1 Section concassage

#### - Concassage primaire (obtention de la classe 0-40mm)

Elle comporte l'ensemble des opérations de concassage et de criblage. La réduction du tout-venant de (0-350mm) jusqu'au (0-15mm) s'effectue en deux étages de concassage.

Le minerai tout-venant est reçu dans une trémie de réception d'un volume de 30m<sup>2</sup>, ensuite, il subit un pré criblage à l'aide d'un grizzly afin que seule la classe granulométrique +40mm (refus) soit concassé par le concasseur à mâchoire jusqu'à une granulométrie de -40mm, ensuite le produit de granulométrie -40mm est envoyée vers le crible vibrant.



**Figure II.11.** Concasseur à mâchoires à simple effet

#### **-Concassage secondaire**

Le produit issu du concassage primaire est acheminé à l'aide du convoyeur à bande N°1 d'une longueur de 82 m vers le crible vibrant, après criblage la classe granulométrie supérieure à 15mm est dirigée vers le concasseur à cône. Le concasseur à cône est en circuit fermé avec le crible vibrant (le produit concassé est redirigé vers le crible vibrant).

La classe granulométrique -15mm est stocké dans 2 trémies métalliques dont la capacité de chacune est de 25 tonnes. Ensuite il est acheminé vers la trémie d'alimentation (100 m<sup>2</sup>) du broyeur par l'intermédiaire du convoyeur.



**Figure II.12.** Concasseur à cône

#### II.11.2.1.2. Crible vibrant

Type (Symons - norbeg) surface du criblage 4,2m<sup>2</sup> Dimensions des mailles 15mm

-Capacité de production 150 t/ h.

Ils Comportent un arbre qui transmet au caisson flottant des vibrations produites par un balourd. Les masselottes d'équilibrage contre balancent le poids du caisson flottant. Dans ce type de crible l'amplitude des vibrations dépend de la chambre de crible. L'angle d'inclinaison du caisson de ces deux types de cribles est entre 8 à 20 degré, l'amplitude de vibration de 4-6 mm et la fréquence de vibration est de 850- 200 min.



**Figure II.13.** Crible vibrant

#### **II.11.2.1.3 Section broyage :**

Elle assure la libération des particules de zinc par le broyage, et la séparation des grains minérales en fonction de leur granulométrie par la classification hydraulique.

Le procédé de broyage s'effectue à l'aide de deux broyeurs à boulets. Les deux broyeurs, fonctionnent en cycle fermé avec un classificateur monospirale.





**Figure II.14.** Broyeur à boulets

#### **II.11.2.1.4. Classificateur mécanique à vis :**

Il se compose d'un bac en tôle incliné, dont la partie inférieure, souvent élargie forme la cuve de classification avec seuil de débordement ; le mécanisme de remontée est une spirale longitudinale en ruban de tôle fixé par pattes radiales à un arbre central qui tourne lentement à l'aide d'un moteur électrique réducteur de vitesse.

Un espace annuaire est aménagé entre la spirale (vis) et l'arbre pour faciliter la circulation des matériaux, seule la partie inférieure de la spirale plonge dans la cuve de classification.

La pulpe est déversée vers le milieu de l'appareil subit :

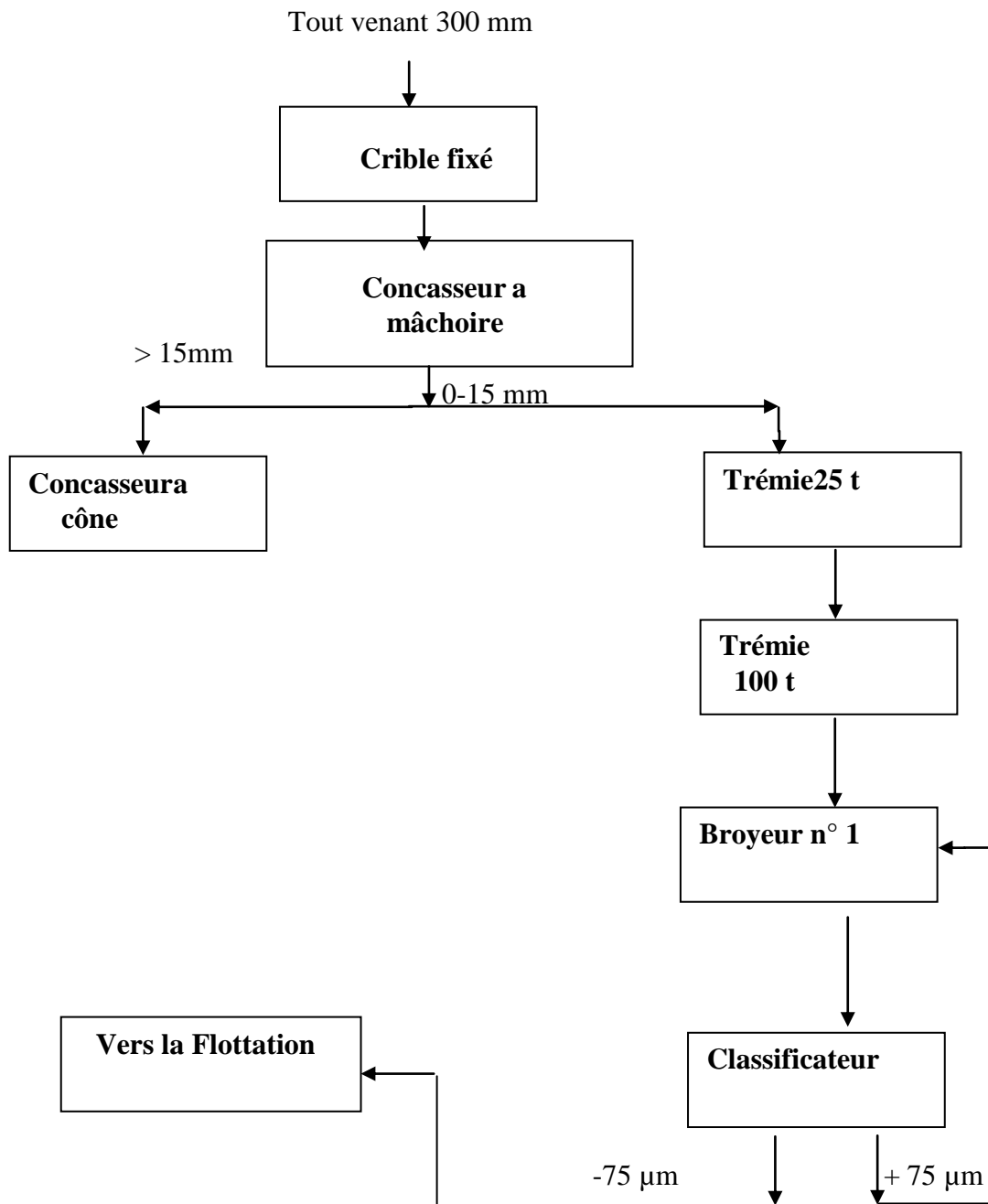
- une première séparation par décantation dans la cuve de classification :

l'élimination des éléments fins par le seuil de débordement;

- un brassage par la partie inférieure de la spirale : un essorage (égouttage) lors de l'entraînement des sables vers le haut par la spirale, l'eau résiduelle retombe vers la cuve par le jeu entre la spirale et la partie du bac, finalement le sable est essoré et évacué de la partie supérieure de l'appareil.



**Figure II.15.** Classificateur à vis



**Figure II.16.** Schéma technologique de la préparation mécanique

**II.11.2.2. Concentration du minerai par flottation du blende (ZnS).**

Le cycle de la flottation contient une opération de contrôle et trois opérations d'épuration. La production annuelle de la laverie est de 100 000 tonnes, pour l'année 2000, pour un niveau de production de 75 000 tonnes de minerai humide.

**II.11.2.2.1. Section de flottation :**

L'opération de flottation est une technique de séparation fondée sur des différences d'hydrophobicité des surfaces des particules à séparer. Elle est utilisée en minéralurgie pour séparer des minéraux entre eux et dans le traitement des eaux usées pour éliminer les graisses

Le cycle de Zinc est précédé par une agitation, en vue de permettre au sulfate de cuivre de libérer les grains minéraux de Zinc. Le cycle comprend: une opération principale, une de contrôle, et trois d'épuration.

La flottation est effectuée dans une cellule de type « Denver ». Elle se compose de :

- Une cuve de forme parallélépipédique.
- Un agitateur.
- Un dispositif pour l'injection de l'air.
- Une raclette.
- Un bac pour la récupération des mousses chargées des particules.

Les réactifs utilisés lors du processus de flottation sont :

- Collecteur : xanthate
- Activant : sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ )
- Régulateur du milieu : la Chaux ( $\text{CaO}$ ).



**Figure II.17.** Cellule de flottation type Denver

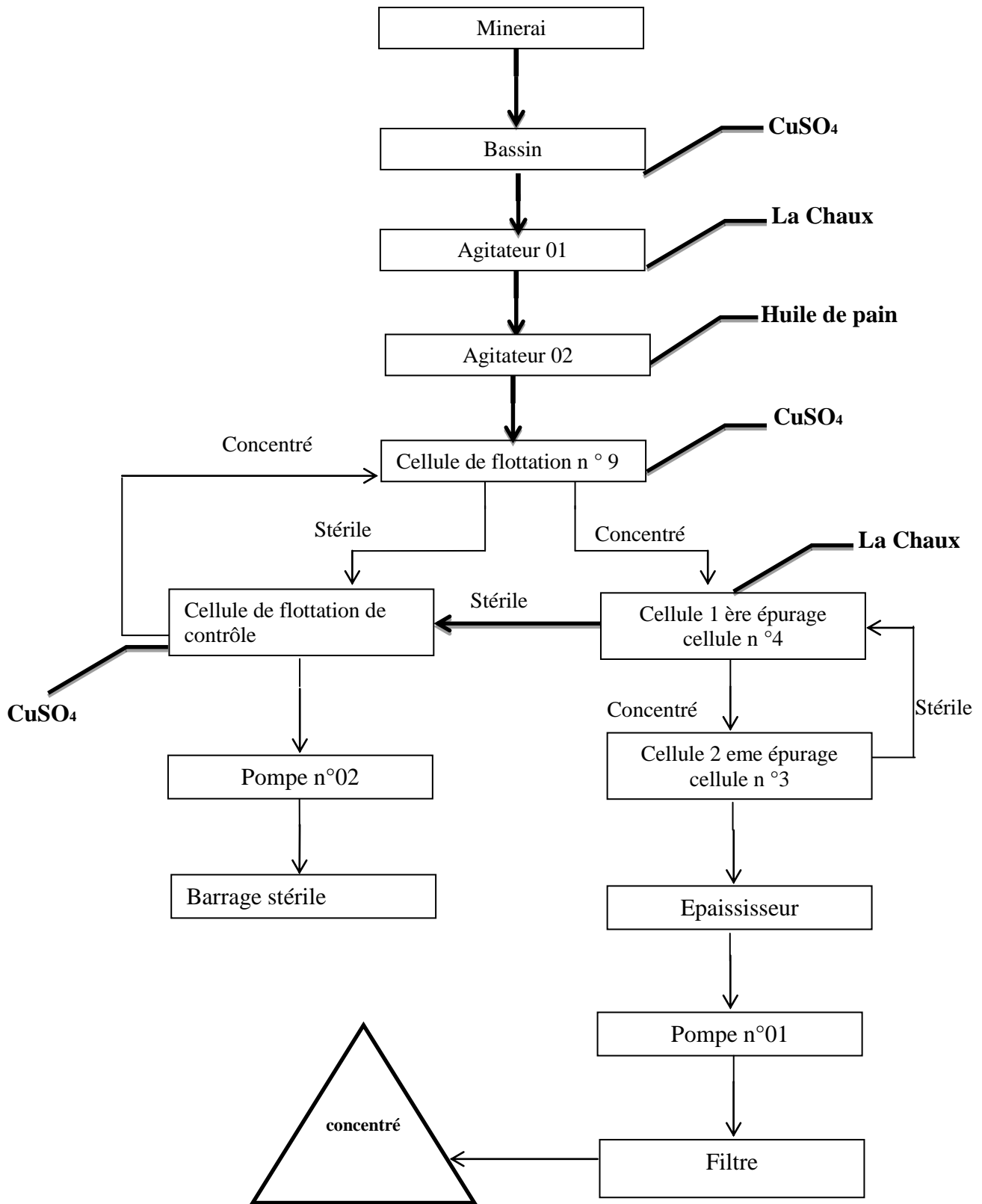


Figure II.18. Schéma technologique de la flottation de tout venant

# **Chapitre III**

*Caractérisation*

*physico-chimique de  
minerai sulfure de zinc*

### III.1 -Etude pétrographique (macroscopique et microscopique) des roches encaissantes des minéralisations

La minéralisation de Chaabat-El-Hamra est encaissée dans les dolomies qui se présentent sous plusieurs aspects : compacte, caverneuse, renfermant des cavités et des fissures et localement bréchifiées.

L'échantillonnage est basé essentiellement sur les roches porteuses de la minéralisation, cet échantillonnage, non systématique (aléatoirement), a consisté à prendre des échantillons chaque fois que le faciès nous paraissait différent.

Les Cinq échantillons ont été prélevé au niveau des stocks de l'unité de traitement à kherzet youcef a ce dernier ils ont 02 stock

- Stock n° 01 : niveau de 110 m
  - ✓ Echantillon n° 01
  - ✓ Echantillon n° 02



**Figure III.1** l'échantillon n° 01

#### III.1.1 Echantillon n° 01 :

Il s'agit de dolomie à patine grise foncé, à cassure grisâtre et à grains moyens. Elle est compacte et contient des minéraux métalliques comme la pyrite. Aussi des minéraux d'altération (calcite)





**Figure III.2.** L'échantillon n° 02

**III.1.2. L'échantillon 02 :** est une dolomie sombre à grain moyen et grise à la cassure. Il contient des pores millimétriques à centimétriques remplies par des petits cristaux de pyrite, des petits encroutements blancs de calcite et des oxydes ont été observée à la surface de la roche. On note aussi que la roche est traversée par de fines fissures à remplissage d'oxydes.

- Stock n° 02 : niveau 130 m
  - ✓ Echantillon n° 03
  - ✓ Echantillon n° 04
  - ✓ Echantillon n° 05



**Figure IV.3 l'échantillon n° 03**

**III.1.3. Echantillon n° 03 :** Il se caractérise par une couleur grise à grains fins. La cassure de l'échantillon prélevé montre l'existence des cristaux jaunâtres et brillants de la pyrite.

L'examen de la surface de la roche montre des petits encroutements blancs de calcite et de la baryte à la surface de la roche.



**Figure III.4 :** l'échantillon n° 04

**III.1.4. Echantillon n° 04 :** Il s'agit de dolomie à patine sombre ferrugineuses à grains fin et parfois brillants, à cassure grisâtre et à grains moyens. Elle est peu compacte et très riche en minéraux métalliques (pyrite marcasite), des minéraux d'altération (calcite) et des oxydes.



**Figure III.5 :** l'échantillon n° 05

**III.1.5. Echantillon n° 05 :** Il se caractérise par une couleur grise claire à gros grains, à cassure grisâtre. Elle est dure et contient des minéraux d'oxydation comme l'hématite et les ocres de limonite.

### **III.2. Les minéraux de la gangue (les lames minces) :**

- La confection des lames mince et les sections polies sont élaborées au laboratoire de confection des lames mines à l'Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre (Université de Ferhat Abbes-Sétif).

- La description macroscopique et microscopique des lames minces des dolomies porteuses de la minéralisation, nous a permis de définir les textures suivantes :

**III.2.1 Les dolomicrites (dolomite1) :** Sous le microscope, elle est caractérisée par une texture très fine homogène, qui se présente en cristaux xénomorphes de petite taille qui ne dépasse pas les 10 microns, formant une dolomicrite. Il n'y a pas d'organismes apparents dans ce microfaciès, il est recoupé par des fissures et veinules remplies par des minéraux secondaires sous forme de calcite (**Echa 01**).

D'après la classification de Gregg et Sibley (1987), il s'agit d'une dolomie à distribution unimodale finement grenue, et ne montre aucune trace d'organisme.

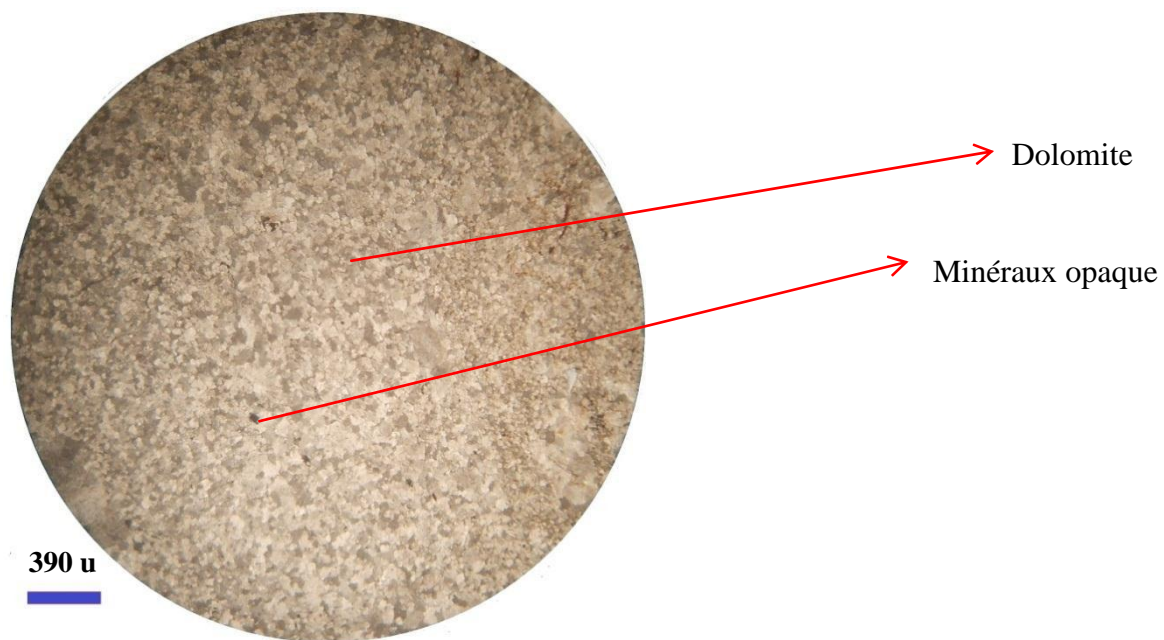


**Figure III.6 :** lame montrant une dolomicrite recoupée par des fissures remplies par la calcite (Echa 01).

### III.2.2. La dolomicrosparite :

Sous le microscope, il s'agit d'une dolomite à cristaux subautomorphes à xénomorphes et rarement automorphes, la taille des cristaux varie de 10 à 50 microns. Rarement, il contient des gros cristaux qui dépassent les 50 microns. Elle est caractérisée par une texture fine hétérogène xénotopique micritique à microsparitique. Au sein de ce microfaciès, on distingue des oxydes de fer, matière organique et particules argileuses. **(Echa 01)**

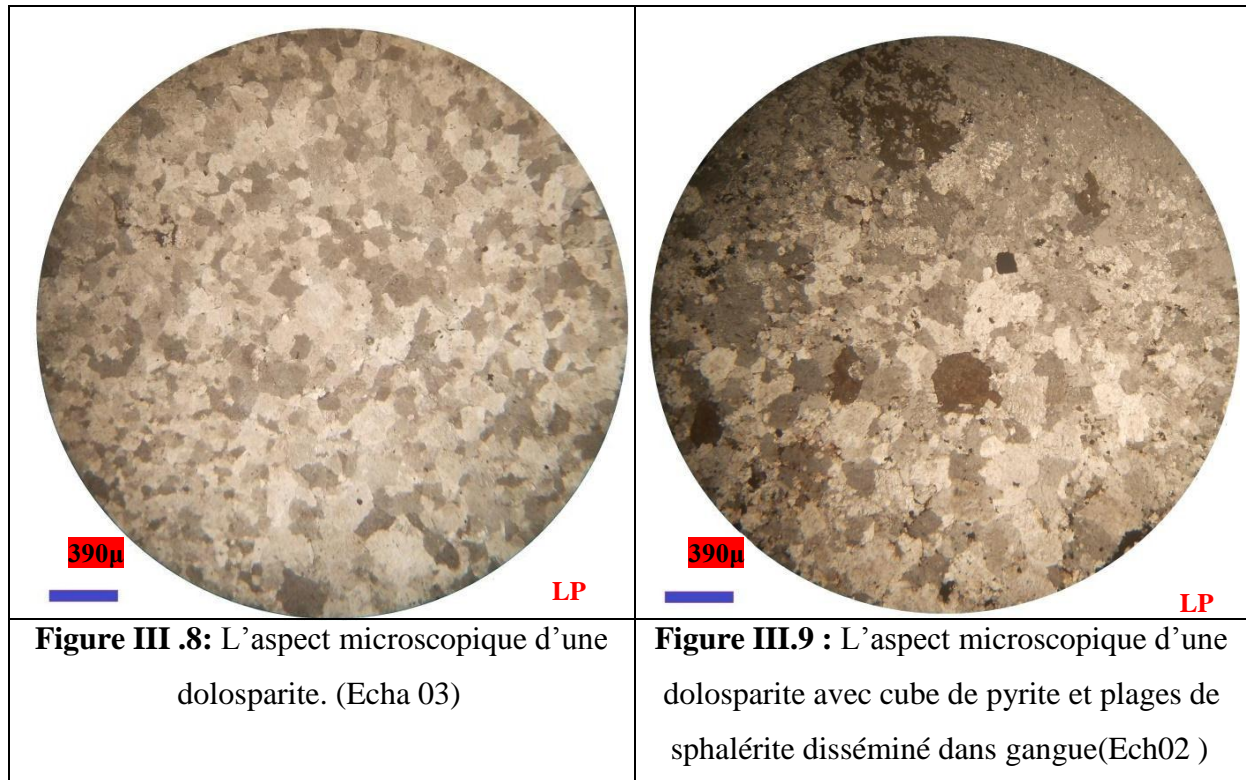
Selon la classification de Gregg et Sibley (1987), il s'agit d'une dolomie à distribution polymodale planaire avec de rares cristaux automorphes.



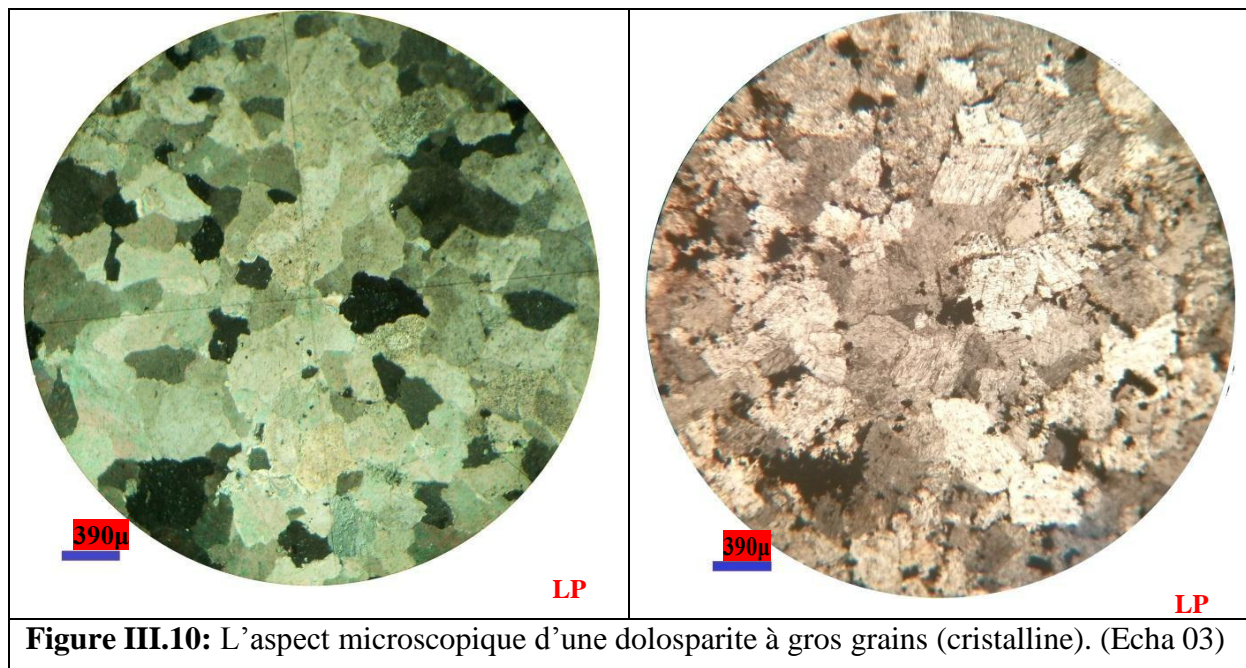
**Figure.III.7:**Aspect microscopique d'une dolomicrosparite à une texture hétérogène.(Echa 01)

**III.2.3. Les dolosparites à grains moyens :** Ce sont des dolomies à cristaux automorphes à subautomorphes et parfois xénomorphes, de taille allant de 50 à 250 microns, ils forment une dolosparite à grains moyens.

D'après la classification de Gregg et Sibley (1987), il s'agit d'une dolomie à distribution poly modale de taille supérieure à 50 microns, planaires et ne montrant aucune trace d'organisme. Les vides contenus dans ces dolosparites sont remplis essentiellement par la fluorite, la barytine et parfois la galène.



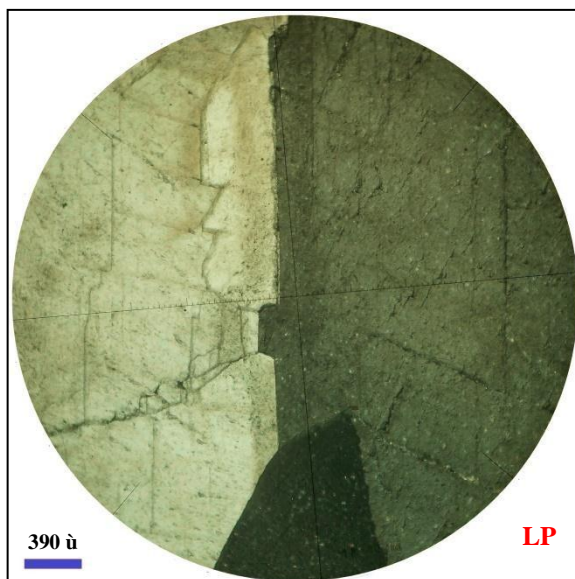
**IV.2.4. Les dolosparites à gros grains :** C'est une dolomite cristalline, saccharoïde qui se présente en cristaux xénomorphes rarement automorphes. Elle résulte d'une succession de phénomènes de dissolution, recristallisation, et par l'accroissement progressif de la cristallinité qui conduit à la redistribution de la pyrite et la marcassite autour de ces cristaux de dolomites à cœur terne et auréoles limpides



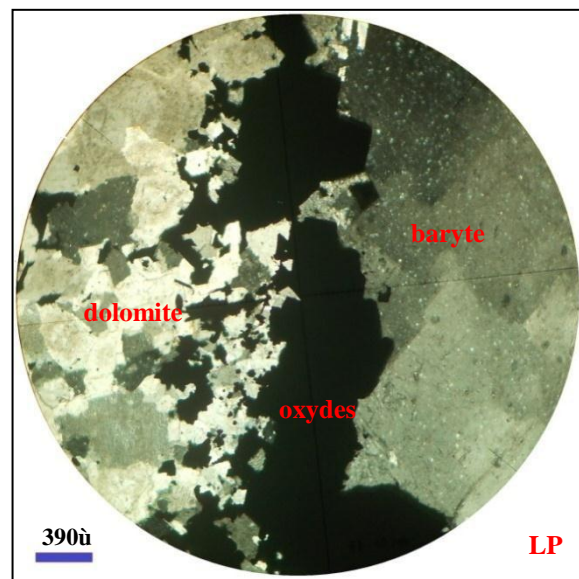
### III.2.5. La Barytine ( $BaSO_4$ ) :

Les observations macroscopiques indiquent que la barytine est rare. Généralement, elle est de couleur translucide et parfois rosâtre à cause des imprégnations d'hématite. Elle se présente sous forme de filonnets de composition monominérale, c'est un minéral plus tardif que la sphalérite et la pyrite,

Elle forme des agrégats avec une structure tabulaire, crêtée, en masses lamellaires, fibro-lamellaires et en rosettes sous le microscope, la baryte se présente sous forme de gros cristaux tabulaires allongés. (Ech 03)



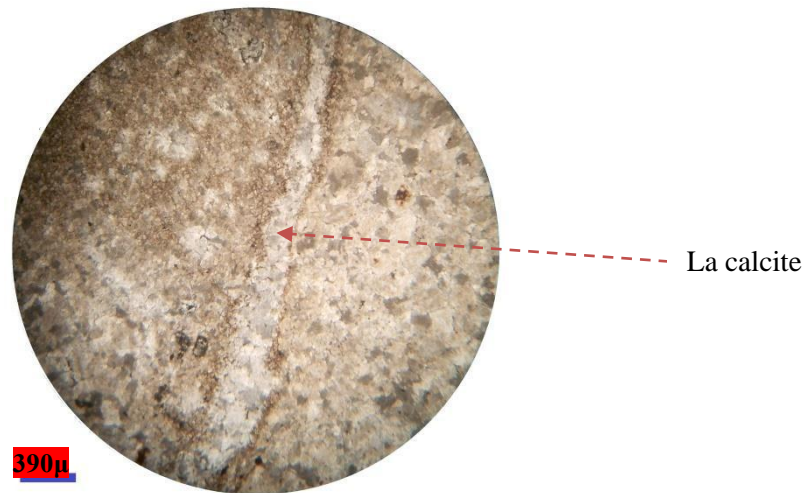
**Figure . III.11.** des gros cristaux tabulaires de baryte disséminés dans la gangue. (Ech 03)



**Figure . III.12.** observation microscopique de la baryte. (Ech 03)

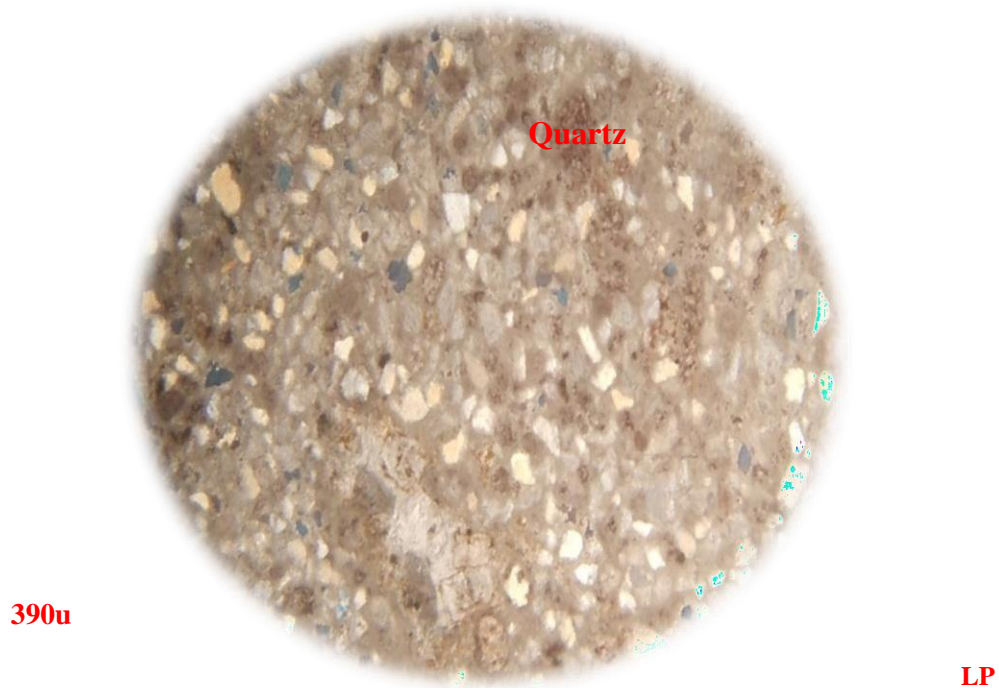
### IV. 2.6. La calcite ( $CaCO_3$ ) :

Elle est présente dans les roches encaissantes, c'est le constituant principal des calcaires. Elle est identifiée macroscopiquement en utilisant de l'acide chlorhydrique (HCl) lequel donne effervescence en présence de ce minéral. La calcite se présente sous forme de veinules et surtout en Nids, tapissant les géodes formant des druses bien développées ou sous forme d'encroustement blanc dans les surfaces des dolomies. Elle est de couleur blanche sous microscope, le minéral se présente dans le remplissage des fissures qui recourent l'encaissant.



**Figure. III.14 :** lame montrant la calcite dans le colmatage des fissures. (Ech 04)

**IV.2.7. Le quartz ( $\text{SiO}_2$ ) :** Le minéral est rarement observé à l'œil nu dans le gisement de Chaabet El-Hamra, il se présente en petits cristaux xénomorphes disséminés dans les dolomies et les espaces intergranulaires.



**Figure III.15 :** Grains de quartz en état diffus au sein des dolomies.(Ech 05)



**III.3. Constituants minéralogiques (section polie) :**

L'observation microscopique des lames minces et l'étude des sections polies confectionnées sous microscopie optique à lumière réfléchie, a permis de mettre en évidence les particularités texturales et les relations entre les différents minéraux. Les principaux constituants minéralogiques identifiés sont :

**III.3.1. Les minéraux sulfurés :****III.3.1.1 La sphalérite (ZnS) :**

La sphalérite est le minéral le plus abondant de la minéralisation. Elle se présente en agrégats microcristallins ou en cristaux isolés. Elle peut être rarement associée à la galène mais pratiquement elle est toujours liée à la présence de la pyrite, de la marcassite, et aux divers types de dolomites.

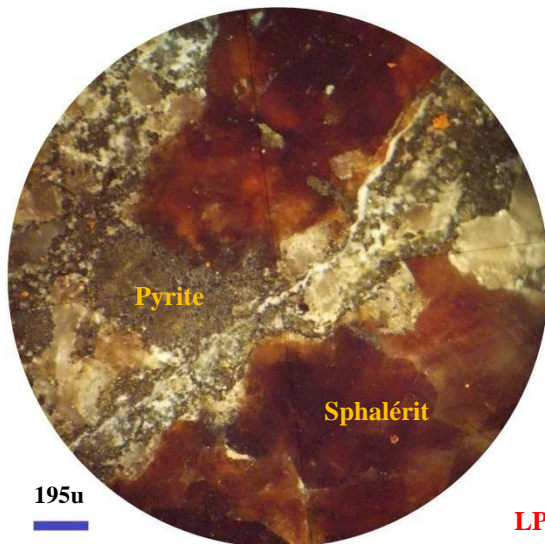
Sous le microscope à lumière réfléchie, la sphalérite apparaît soit sous forme de grandes plages xénomorphes disséminées dans les dolomies, soit sous forme sous forme de cristaux craquelés hétérogranulaires

Le minéral montre une couleur grise avec un pouvoir réflecteur faible et des réflexions internes variant du brun foncé au brun clair à jaune clair.

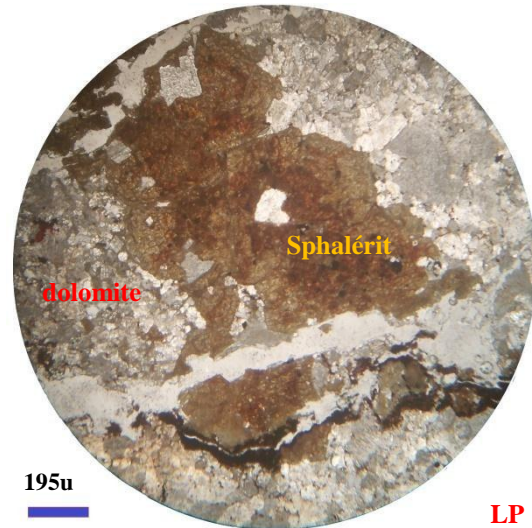
**III.3.1.2. Marcassite (FeS<sub>2</sub>) :** C'est un minéral sulfuré associé à la pyrite, et présente une texture massive ou en agrégats cristallins aplatis. L'étude microscopique de ce minéral indique qu'il est très abondant et se présente sous forme de petites plages autour de la pyrite

**III 3.1.3. La pyrite (FeS<sub>2</sub>) :** C'est le second minéral sulfuré important de couleur jaune verdâtre, la pyrite se présente le plus souvent sous forme de liseré encadrant la sphalérite. Elle remplit aussi les fissures et peut s'exprimer également en disséminations dans la dolomie avec un aspect plus ou moins poudreux, ou au contraire sous forme de minéraux cubiques millimétriques bien cristallisés. L'observation microscopique des sections polies montre que la pyrite se présente sous forme de petits cubes ou sous forme de petits cristaux de taille millimétrique disséminés dans les dolomies. Certains cristaux sont partiellement substitués par la marcassite. Ech (01)

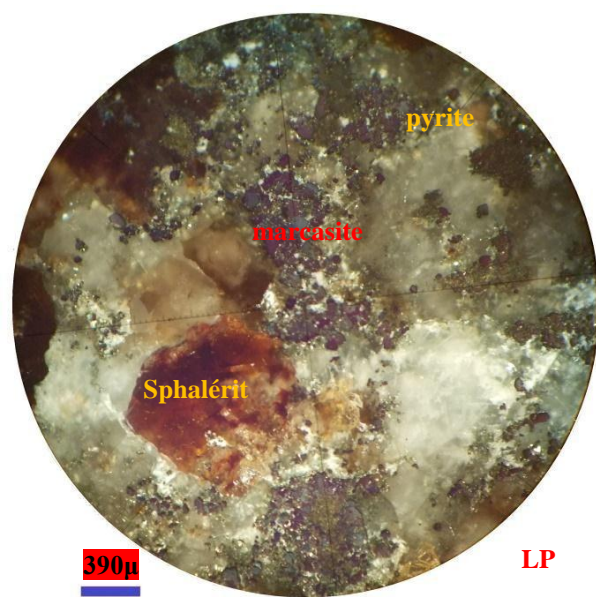
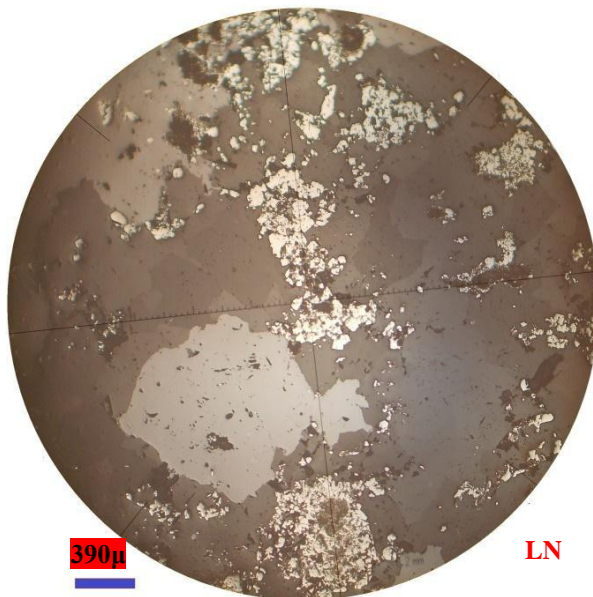
Sous le microscope à lumière réfléchie, la pyrite montre une couleur blanche avec un pouvoir réflecteur faible et présente des réflexions internes rougeâtres fréquentes.



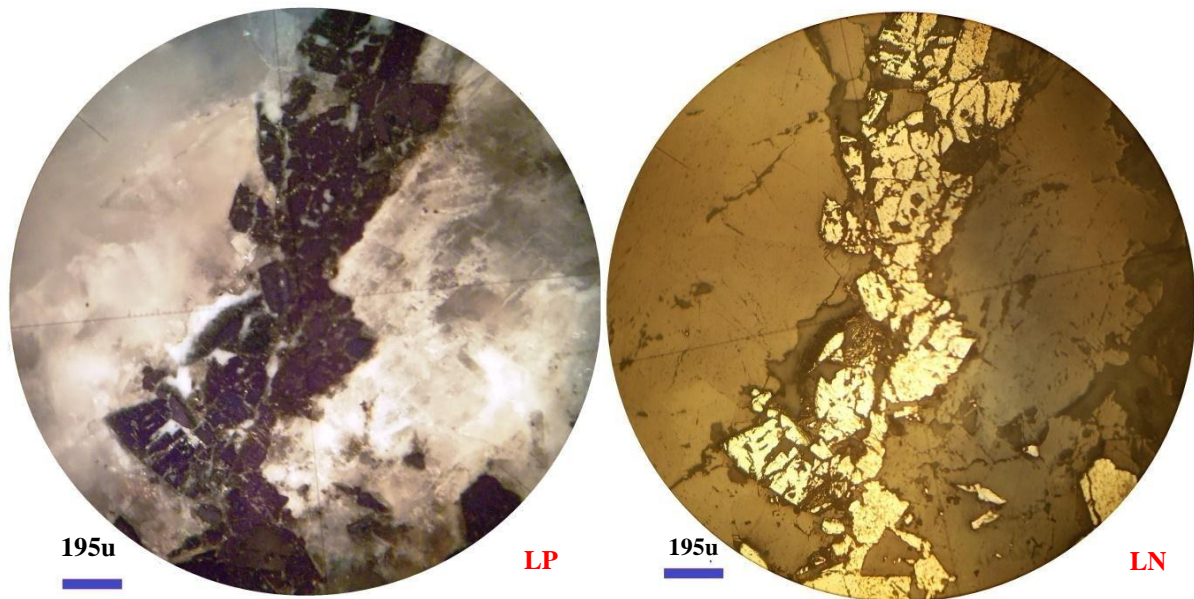
**Figure III.16:** section polie montre la pyrite et la sphalérite disséminé dans l'encaissant.(Ech 01)



**Figure. III 17 :** lame montrent de sphalérite disséminé dans l'encaissant. ( Ech 01)



**Figure . III.18 :** sphalérite, marcasite et pyrite dispersé dans la dolomite. Ech (02)



**Figure. III.19** : section polie montrant une veine de marcasite entouré par la pyrite. Ech (03)

#### III.3.1.4. La galène (PbS) :

La galène est rarement observée, cependant économiquement c'est un minéral assez important classé après la sphalérite, elle se présente sous forme de petits grains de taille millimétriques repartis dans la gangue, en grandes plages bien cristallisées caractérisées par les arrachements triangulaires. Ainsi, la galène se présente dans le colmatage vides et des veines en association avec la dolomite

Sous le microscope à lumière réfléchie, le minéral montre une couleur blanche à blanche grise avec un pouvoir réflecteur peu élevé. En lumière polarisée analysée (LPA), le minéral est isotrope. La galène est intimement associée à la dolomite. (Fig.III.20).

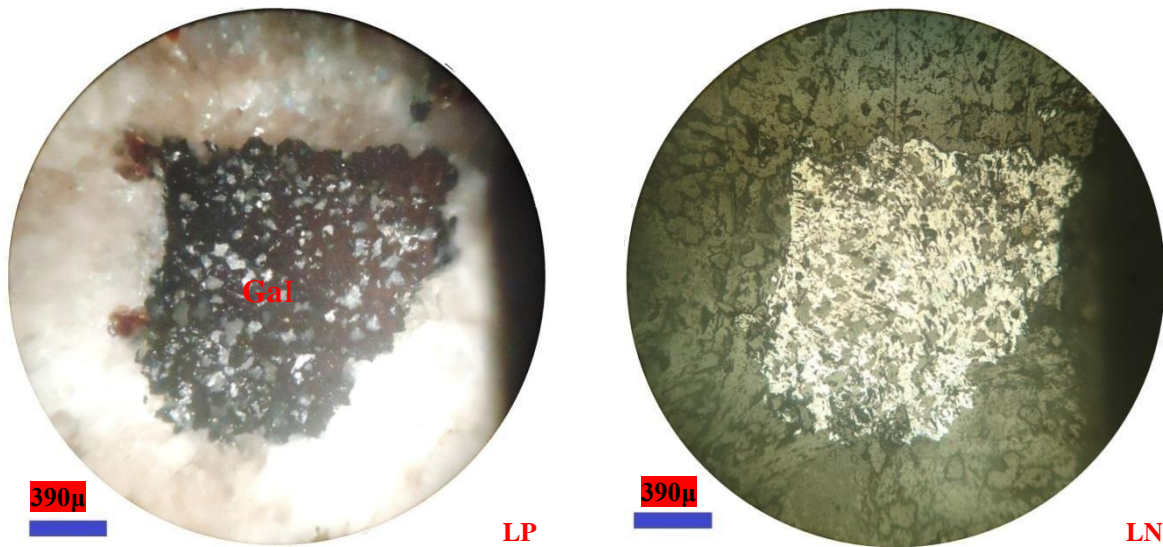


Figure. III.20 : Galène disséminée dans la gangue.( Echa 04)

### III.3.2. Les minéraux supergènes

**III.3.2.1. L'Hématite ( $\text{FeO}_3$ ):** c'est le produit d'altération supergène de la pyrite. Il est très abondant et bien développé dans le champ minier de Chaâbet- El- Hamra, sous forme de petits nids, en veinules de 1 à quelques centimètres d'épaisseur.

**III.3.2.2. La Zincite :** Il existe de petits cristaux rouges dispersés dans la gangue qui montrent des réflexions internes rouges en lumière naturelle et même en lumière polarisé, il s'agit probablement de la zincite (minéral secondaire des zones d'oxydation des gîtes zincifères).



Figure. III.21. Photo montre des veinules d'hématite recoupant l'encaissant

**III.4 Préparation des échantillons pour analyse :**

Avant de procéder à une analyse quelconque d'un échantillon solide, nous lui faisons subir un traitement mécanique qui est la phase la plus délicate pour préparer un échantillon représentatif. Pour atteindre cet objectif, les opérations suivantes sont nécessaires :

**III.4.1 Concassage :**

Cinq échantillon de 15 Kg extrait de stock n° 01 : niveau de 110 m et stock n° 02 : niveau 130 m et ensuite fourni au laboratoire est concassé à l'aide d'un concasseur à mâchoire (figure II.1). La division permet de réduire le poids de l'échantillon à des quantités représentatives de 100 gr environ. La taille du produit concassé est inférieure à 5mm.

**III.4.2 Quartage des échantillons :**

Après qu'ils ont subis un premier concassage par un concasseur à mâchoire de type laboratoire, jusqu'à moins de 5mm, une première homogénéisation paraît nécessaire par effet de l'hétérogénéité de minerai.

Le quartage consiste à séparer l'échantillon en 4 parties. L'échantillon étalé est partagé en 4 quarts sensiblement égaux. On élimine 2 fractions opposées et on réunit les 2 autres fractions. Si la quantité est encore trop importante, le quartage se poursuit selon le même processus jusqu'à l'obtention de la quantité désirée, à l'aide d'un échantillonneur manuel. Par conséquent, il faut que l'échantillon utilisé au laboratoire soit représentatif de l'ensemble.

**III.4 .3 Broyage des échantillons :**

Les échantillons de pulvérisation subissent un broyage par un broyeur à gatte jusqu'à moins de 80 $\mu$ m (voir schéma de préparation des échantillons ci-dessous).

Le produit issu du broyage est d'une granulométrie de < à 80 $\mu$ m suit une série d'opérations d'homogénéisation et de quartage effectuée soigneusement afin d'avoir un échantillon plus représentatif qu'il sera l'objet d'une analyse par FX et DRX. La poudre obtenue est conservée dans un sac en plastique avec l'étiquette de renseignement.

**III.4 .4 Analyse granulométrique par tamisage :**

Pour la composition granulométrique du minerai, après les différents stades de fragmentations, on procède à l'analyse de tamisage. L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains appelées fractions granulométriques constituant les échantillons.

L'échantillon étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par le mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales de la

colonne de tamis à l'aide d'une tamiseuse. Dans notre essai nous avons utilisé les tamis de dimensions : (5mm ; 4mm ; 3,15 mm ; 2,5mm ; 1,6mm ; 1,25mm ; 800 $\mu$ m ; 500 $\mu$ m ; 250 $\mu$ m, 125 $\mu$ m, et 74 $\mu$ m)

### III 5. Caractérisations minéralogiques par les rayons X (DRX) :

La diffraction des rayons X, a pour but une caractérisation minéralogique quantitative des espèces minérales présentes dans l'échantillon étudié, elle permet de confirmer la matrice minéralogique identifiée par microscopie optique, et de préciser la nature des minéraux.

#### III.5.1. Préparation des échantillons :

Les échantillons sélectionnés pour l'analyse minéralogique par diffraction aux rayons X (DRX) sont les mêmes utilisés pour la confection de lames minces (étude pétrographique).

Ces échantillons ont été concassés, puis broyé par un broyeur à gatte

Le produit broyé de chaque échantillon a été analysé séparément au moyen du diffractomètre automatique, dont l'anticathode: Cu ( $\lambda$  K  $\alpha$  Cu = 1,542 Å). Les quatre échantillons ont été analysés au laboratoire de physique (l'université des ELARBI BEN M'HIDI OUM EL BAOUGHI ) avec un balayage de  $2\theta$  de 05° à 100°.

La distance réticulaire d'est calculée selon la loi de BRAGG :

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

$\lambda$  : longueur d'onde en Å.

$\theta$  : angle de réflexion en degrés.

d : distance inter-réticulaire en Å.

n : entier naturel (n=1).

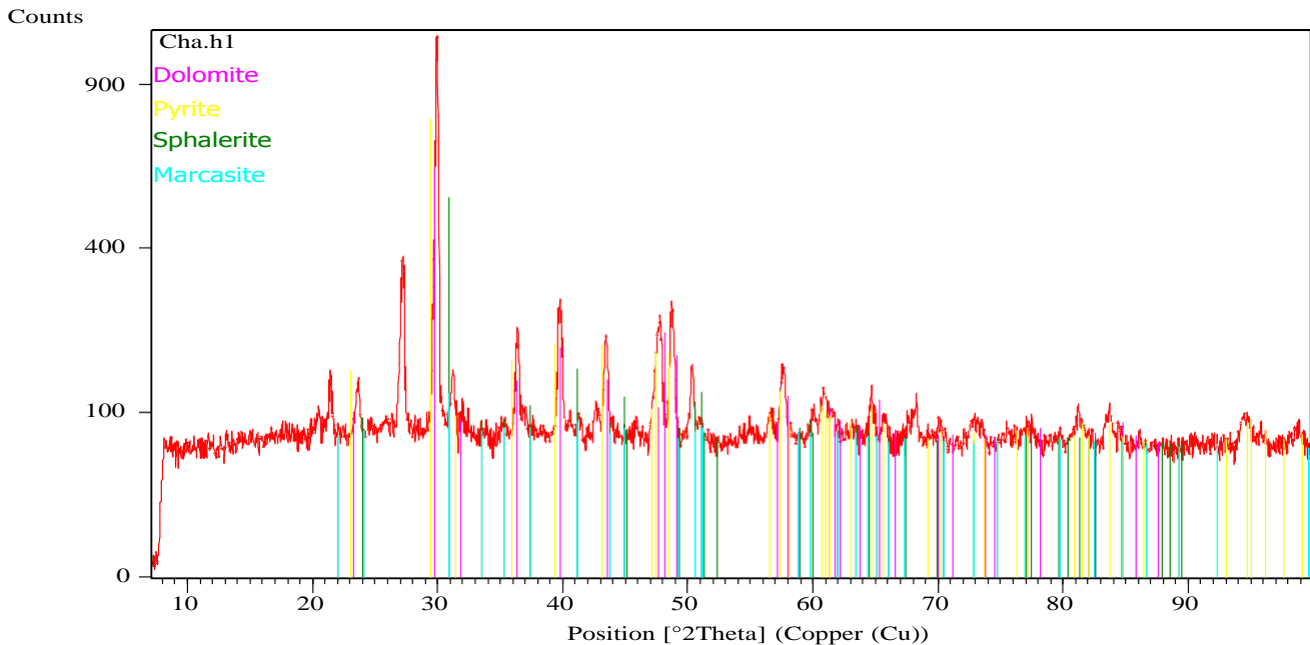
Le traitement des diagrammes s'est effectué avec X'Pert High Score-02- de PANalytical, pour l'identification des phases minéralogiques présentes, et éventuellement l'utilisation de RPM (Référence Patterns Menu) inclus dans le logiciel HighScore 2, du fichier PDF-ICDD (Powder Diffraction File-International Center for Diffraction Data) qui permet l'estimation semi quantitative des phases correspondantes détectées quand celle-ci est requise et/ou possible.

### Résultats

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de diagrammes contenant des pics de différentes espèces minérales. L'analyse de ces diagrammes a mis en évidence l'existence des

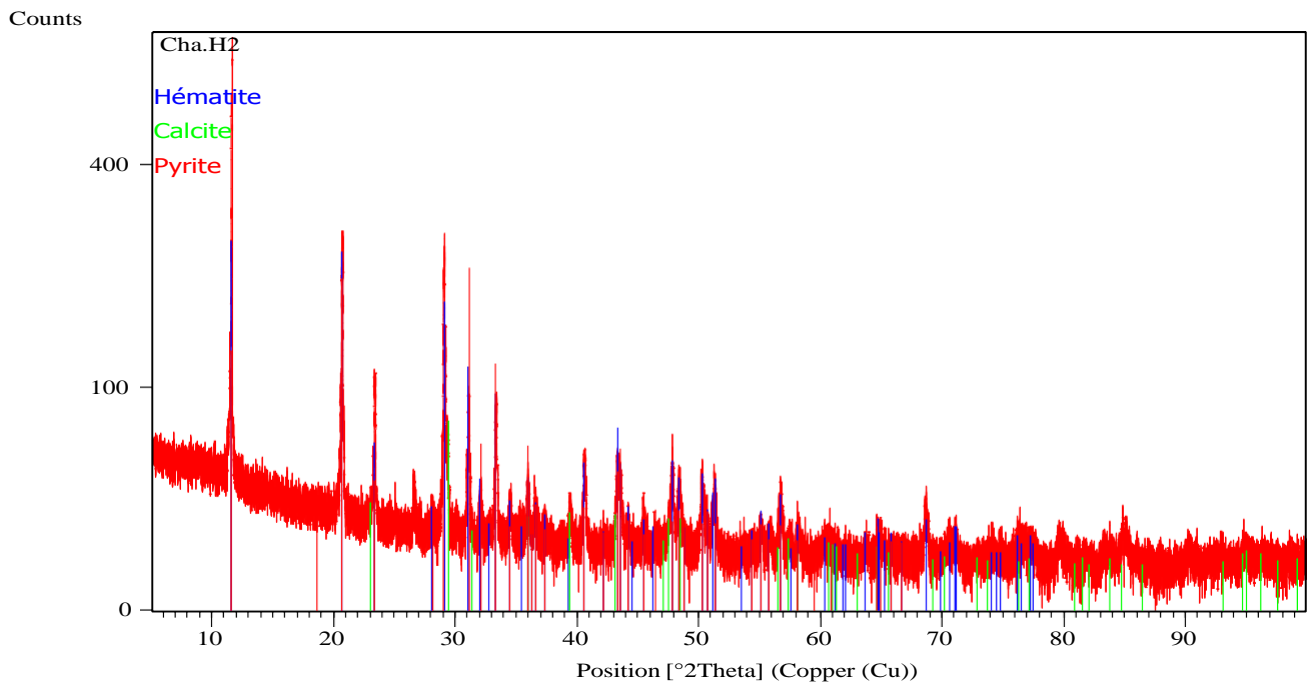
minéraux suivants : sphalérite (ZnS), Galène (PbS), Marcasite et Pyrite( $\text{FeS}_2$ ), Dolomite( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), Hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et Baryte ( $\text{BaSO}_4$ ).

Le spectre de diffraction des rayons X de l'échantillon 01 (Figure IV 20), a révélé l'existence de dolomite, pyrite, marcasite et un peu de Sphalérite.



**Figure III.22.** Les Spectres des rayons X du l'échantillon (01)

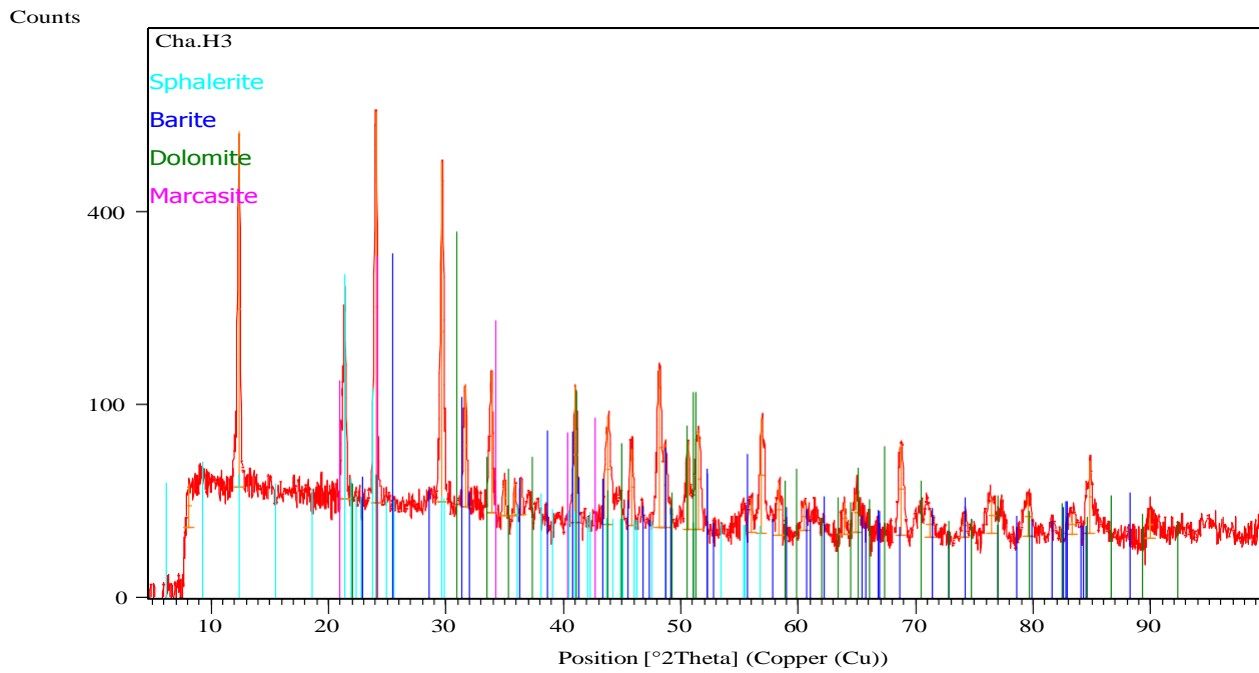
L'analyse de l'échantillon 02 par la méthode de diffraction aux rayons X montre qu'il est constitué principalement de l'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), associée d'un minéral sulfuré représenté par la pyrite ( $\text{FeS}_2$ ) et un minéral carbonaté représenté par la calcite. L'abondance des pics d'hématite se traduit par l'altération supergène des sulfures.



**Figure III.23.** Les Spectres des rayons X du l'échantillon 02

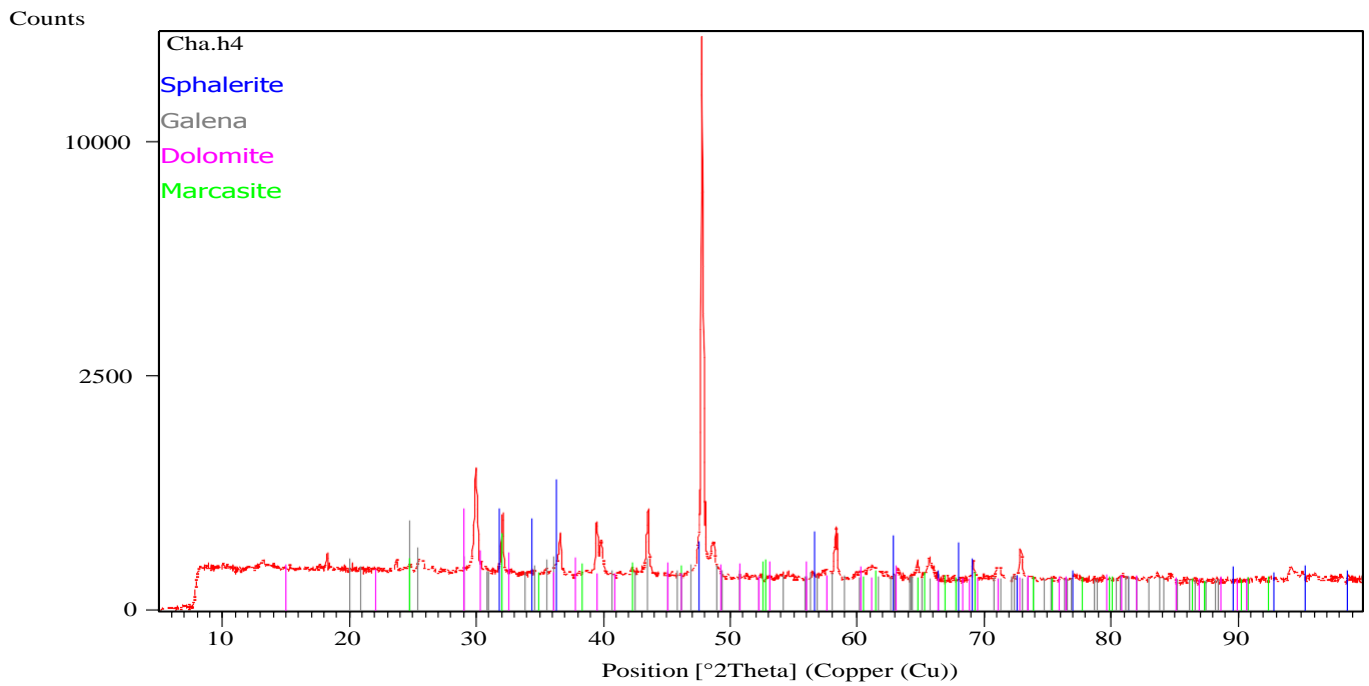
L'analyse d'échantillon (03) par la méthode de diffraction aux rayons X montre qu'il est constitué principalement de la Sphalérite ( $ZnS$ ), Baryte ( $BaSO_4$ ), associées d'un minéral carbonaté représenté par la calcite. Ils se rajoutent quelques piques de la marcasite en très faible quantité.





**Figure III.24:** Les Spectres des rayons X du l'échantillon 03

-L'analyse de l'échantillon (04) par la méthode de diffraction aux rayons X montre qu'il est constitué principalement de la dolomite, marcasite, associées d'un sulfure de plomb représenté par la galène. Ils se rajoutent quelques piques du Sphalérite (ZnS) en faible quantité.



**Figure III.25:** Les Spectres des rayons X du l'échantillon (04)

On peut conclure que les principaux constituants minéralogiques du minerai Chaabet el Hamra sont principalement : la Sphalérite ( $\text{ZnS}$ ), Marcasite et Pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), associées d'un minéral plombifère représenté par la Galène ( $\text{PbS}$ ), la présence des oxydes (hématite) se traduit par l'altération supergène des minéraux cité précédemment.

**III.6. Caractérisations chimiques (FRX) :**

Dans le but de déterminer la composition chimique, cinq (5) échantillons ont été soumis à l'analyse par fluorescence X (FRX), au laboratoire de la cimenterie d'Ain El-Kebira.

La détermination de la composition chimique à travers l'identification des principaux éléments ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  et  $\text{Cl}$ ) permet de donner une idée sur les caractères chimique de l'encaissant de minerai.

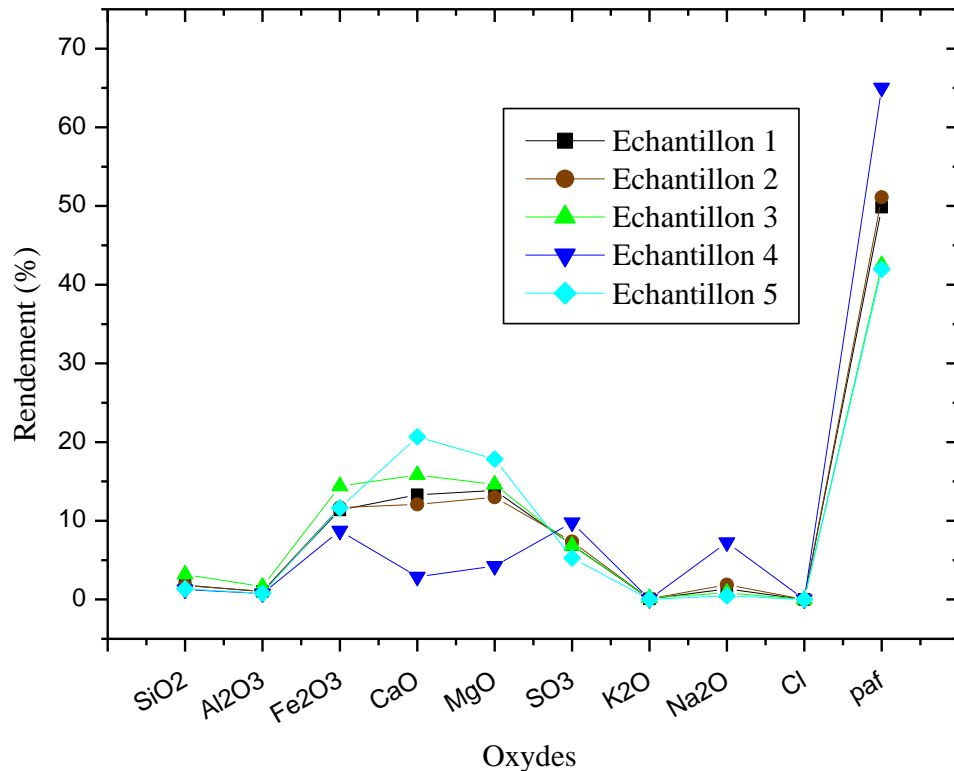
Les résultats sont obtenus sous forme de tableau contenant des pourcentages des différents éléments.

**Tableau III.1.** résultats d'analyse préliminaire par fluorescence X du zinc de Chaabet El-Hamra

Oxyde (%)	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	Echantillon 5
$\text{SiO}_2$	1.80	1.77	3.2	1.27	1.35
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1.02	1.03	1.62	0.75	0.79
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	11.38	11.69	14.4	8.74	11.63
$\text{CaO}$	13.29	12.08	15.82	2.89	20.68
$\text{MgO}$	13.86	12.99	14.61	4.25	17.84
$\text{SO}_3$	6.94	7.36	6.83	9.79	5.27
$\text{K}_2\text{O}$	0.07	0.07	0.19	0.02	0.04
$\text{Na}_2\text{O}$	1.33	1.89	0.84	7.25	0.45
$\text{Cl}$	0.003	0.002	0.003	0.00	0.011
paf	49.85	51.12	42.49	65.04	41.95

**Tableau III.2 :** résultats d'analyse chimique des échantillons à l'état brut

Oxydes	Zn	S	Pb	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$
Teneur (%)	06,75	16,8	0,33	4,04	16,17	18,9	14,95	1,257	0, 6



**Figure III.26** courbes d'analyse chimique des échantillons à l'état brut de l'échantillon brut

Après comparaison entre les courbes représentatif des 5 échantillons, on peut avancer que les taux des éléments essentiels CaO, MgO, SO<sub>3</sub> et l'oxyde de fer sont comparables sauf l'échantillon N4 .Ou le taux deCaO, MgO est faible et le taux de Na<sub>2</sub>O peu élevé.

Les résultats d'analyse de l'échantillon N01 : montrent que les taux de CaO et MgO sont peu élevés et comparables avec un taux intéressant des oxyde de fer et de trioxyde de soufre , les autres éléments sont étant de faible pourcentages.

Peut-on dire que l'augmentation en SO<sub>3</sub> (6.84 %) et en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11.38, %) est due à l'existence des sulfures et les oxydes, rappelons que le soufre c'est un élément essentiel dans les gisements plombo- zincifères.

Echantillons N°2 montre les mêmes caractères chimiques observés dans l'échantillon N°1

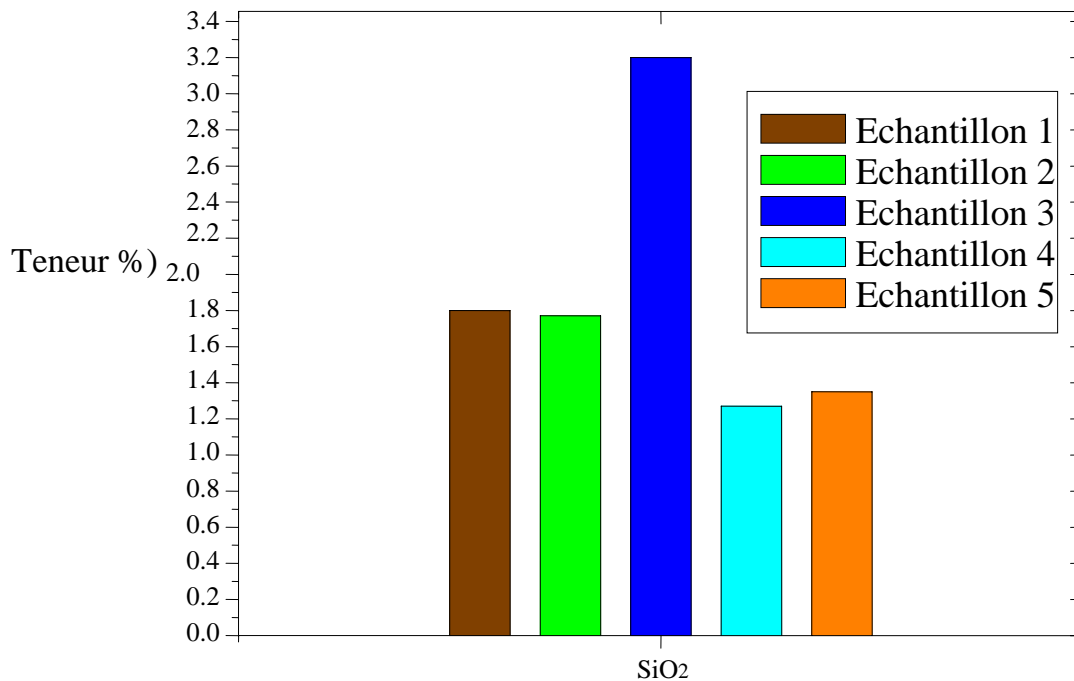
Les résultats d'analyse de l'échantillon N°3 : montrent que le taux de CaO est peu élevé que le taux de MgO, ce qui traduit le phénomène de carbonisation (calcification) et même le taux des oxyde de fer est important, les autres éléments sont étant de faible pourcentages.

Le taux élevé de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (14,40 %) est due à l'altération supergène des sulfures ( ZnS et Pbs)

Les résultats d'analyse de l'échantillon N°4 : montrent que les taux de CaO et MgO sont très faible avec une augmentation important dans le taux de  $\text{Na}_2\text{O}$  et de  $\text{SO}_3$ , ce dernier élément reste le composant principale de minerai (ZnS et Pbs)

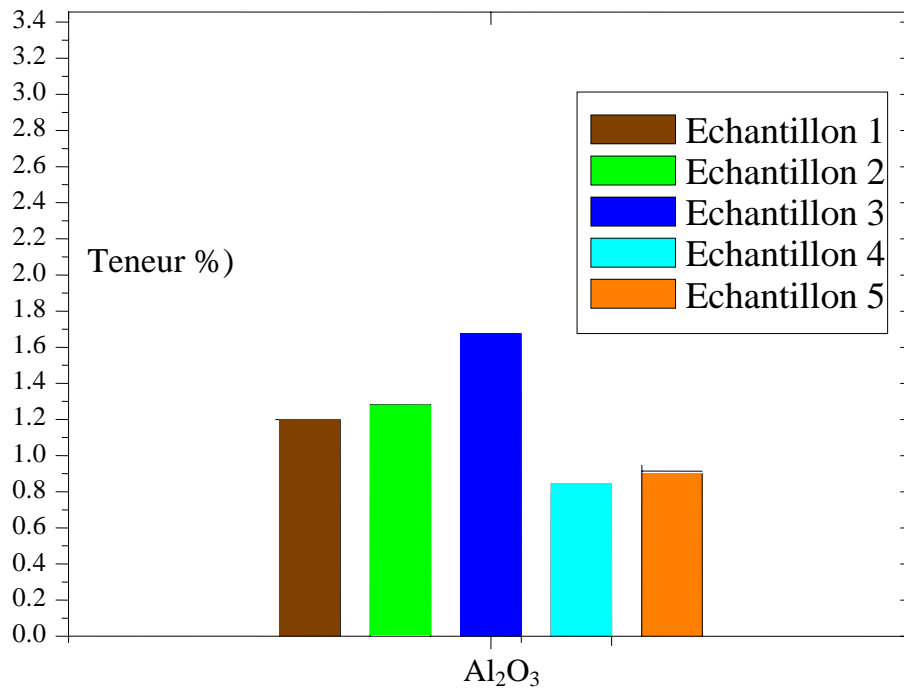
Les résultats d'analyse de l'échantillon N05 : montrent que le taux de CaO est élevé que le taux de MgO et même le taux des oxydes de fer est important que les  $\text{SO}_3$ , les autres éléments sont étant de faible pourcentages.

### III.6.1. Evolution de la silice :



**Figure III.27 :** Evolution de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) du minerai étudié

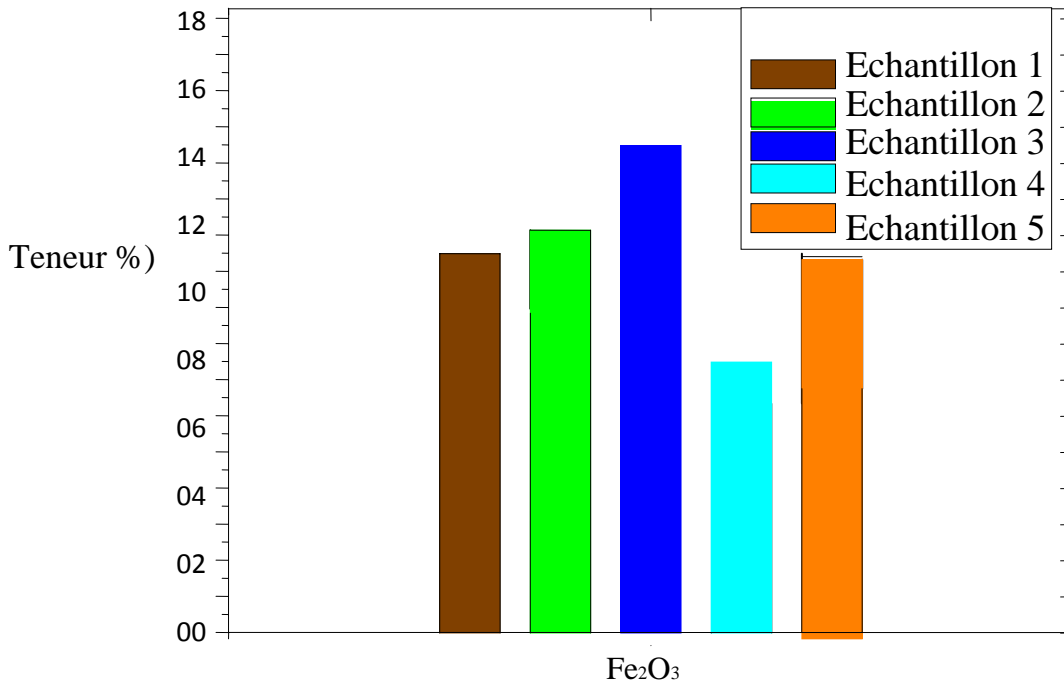
D'après les résultats représentés dans l'histogramme précédent, on remarque une certaine similitude de tendance dans les variations de Dioxyde de silicium (silice) présents dans la composition des trois échantillons (Ech 01, Ech 02 Ech 04). Néanmoins pour échantillons 03 et 5 le pourcentage de la silice est plus élevé que les autres ce qui traduit l'augmentation du pourcentage de quartz.

**III.6.2. Evolution de l'aluminium:**

**Figure III .28** : Evolution de la teneur en oxyde d'aluminium du minerai étudié

L'exploitation des résultats de l'analyse chimique montre que les cinq échantillons ont une teneur très faible en oxyde d'aluminium (0.75-1.62%). D'après cette remarque, on peut avancer que les cinq échantillons contiennent une quantité très faible d'impuretés argileuse.

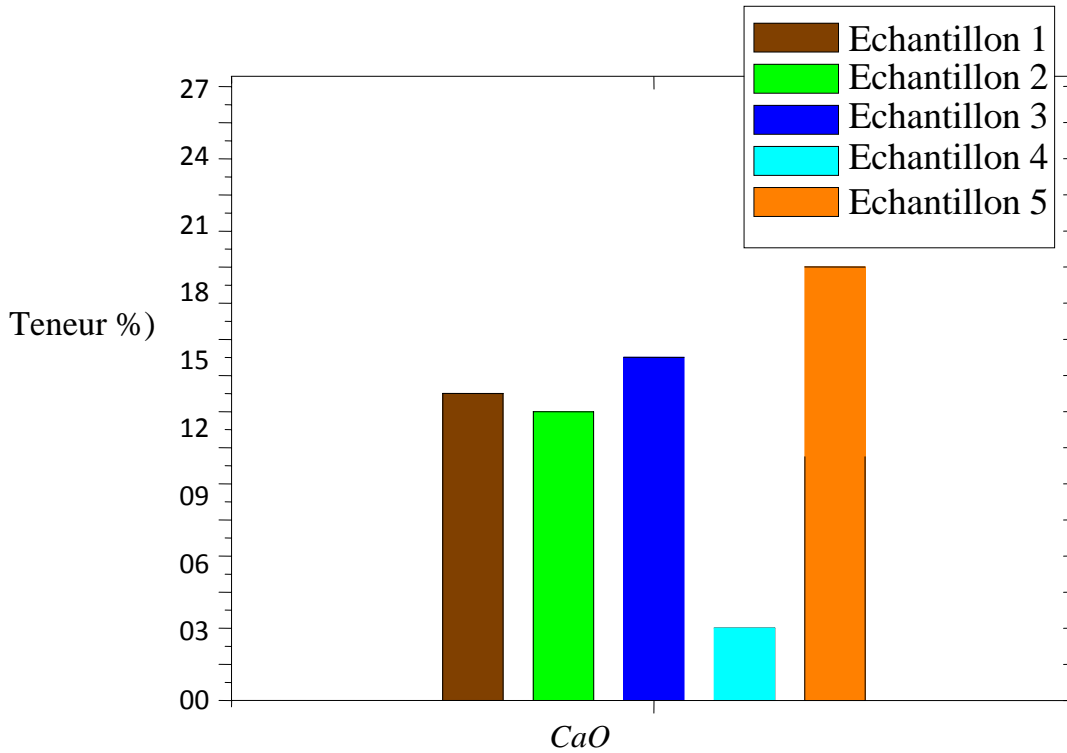
## III.6.3. Evolution d'oxyde de fer



**Figure III.29** : Evolution de la teneur oxyde de fer ( $Fe_2O_3$ ) du minerai étudié

D'après les résultats représentés dans l'histogramme précédent, on remarque une certaine similitude de tendance dans les variations des oxydes de fer présents dans la composition des 5 échantillons ce qui traduit l'augmentation du phénomène d'oxydation des sulfures et l'homogénéité homogénéisation des échantillons étudiés.

## III.6.4. Evolution d'Oxyde de calcium

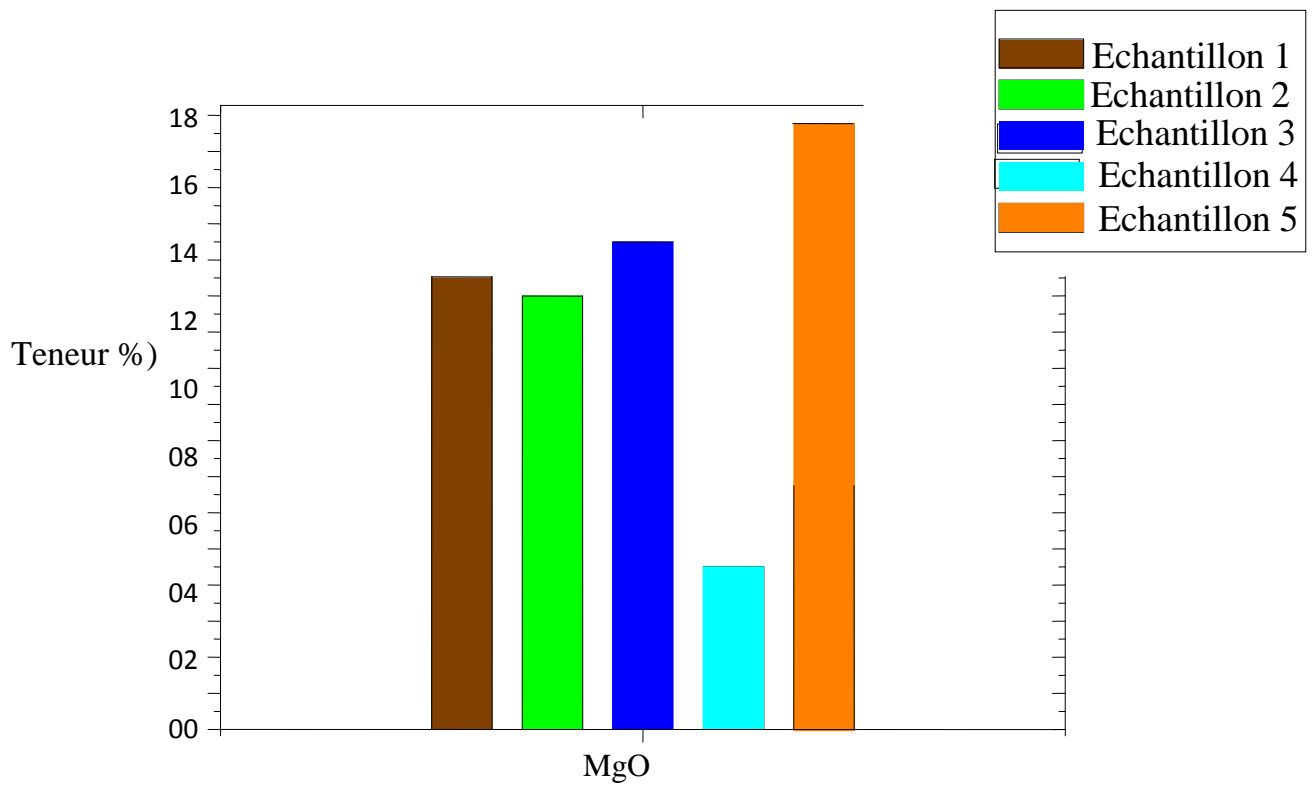


**Figure III.30 :** Evolution de la teneur en oxyde de calcium(CaO) par échantillon

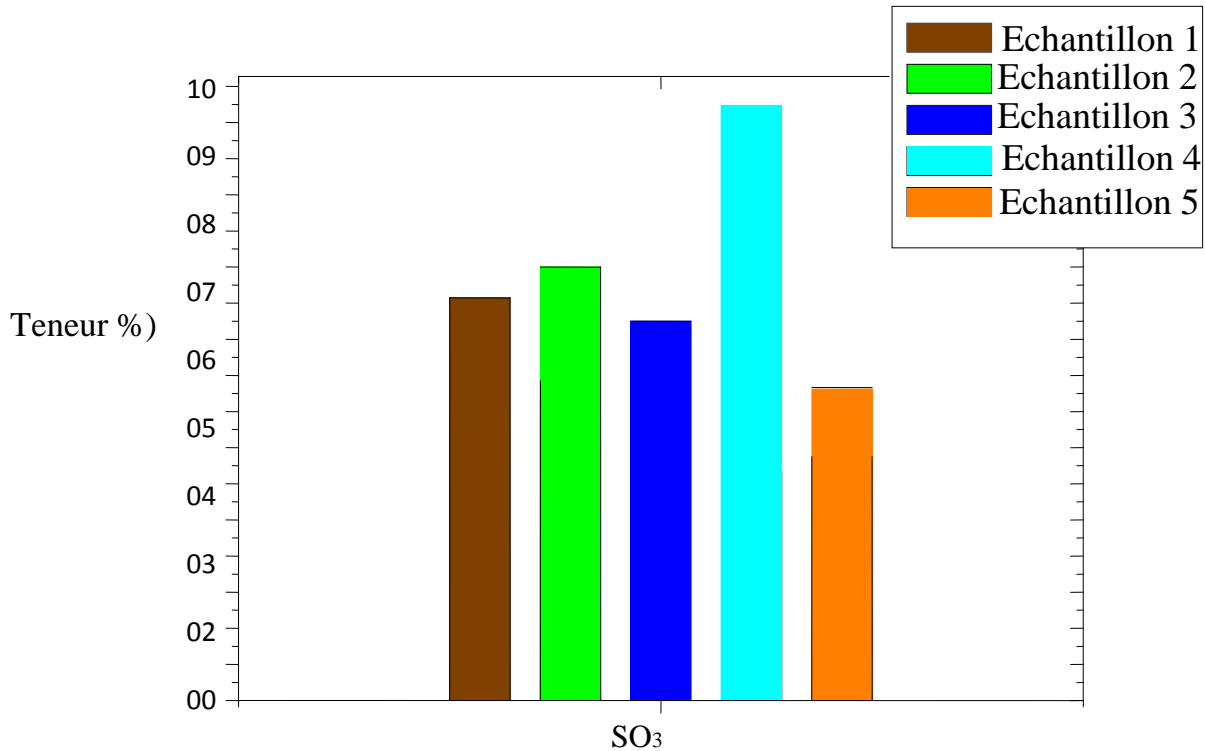
D'après comparaison entre le teneur de CaO et MgO, on peut avancer que les taux  
De ces deux éléments essentiels sont équilibrées, ils sont les composants principaux de la  
roche porteuse du minerai.



## III.6.5. Evolution Oxyde de magnésium et Oxyde du soufre :



**Figure III.31:** Evolution de la teneur en silice (MgO) par échantillon



**Figure III.32 :** Evolution de la teneur en oxyde du soufre ( $\text{SO}_3$ ) du minerai étudié

D'après comparaison entre le teneur de CaO et MgO, on peut avancer que les taux de ces deux éléments essentiels sont équilibrés, ils sont les composants principaux de la roche porteuse du minerai.

On remarque une certaine similitude de tendance dans les variations de  $\text{SiO}_3$  présents dans la composition de 5 échantillons, le taux de cet élément est peu élevé dans l'échantillon 4 donc il se caractérise par sa richesse en sulfures

D'après cette analyse chimique nous permet de conclure que le minerai étudié se caractérise par :

- Sa richesse en sulfures et oxydes de fer
- Un teneur très faible en impuretés argileuses, car sa teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  est très faible.

### III.7 Analyse chimique de mélange brut:

Les analyses chimiques effectuées par absorption atomique, sur l'échantillon représentatif obtenu après quartage et concassage, ont donné les résultats suivants :

**Tableau III.3** : résultats d'analyse chimique de l'échantillon brut

Oxydes	Zn%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Pb%	SO <sub>3</sub>	Cu
Teneur (%)	11,75	1,04	6,17	08.9	14,95	1,257	0,6	0,22	0,02	0,005

**III.7 1. Analyse granulo-chimique****Tableau III.4** : Résultats d'analyse granulo-chimique

Mailles mm	Poids (g)	Poids %	Teneur (%)		Répartition (%)	
			Zn	Pb	Zn	Pb
+5	183,0	18,34	3,5	0,075	7,95	3,13
-5 +4	73,1	7,32	5,5	0,17	4,99	2,83
-4 +3,15	47,1	4,72	6 ,0	0 ,12	3,5	1,28
-3,15 +2,5	59,3	5,94	4,5	0,50	3 ,31	8.65
-2,50 +2	61,2	6,13	7,5	0,62	5,69	2,22
-2,00 +1,6	39	3,91	8,5	0,25	4,11	4,74
-1,60 +1,25	46,2	4,63	10	0,45	5,73	16,59
-1,25 +0,80	88,7	8,87	11 ,0	0,82	12,11	12,29
-0,8 +0,5	80,4	8,06	13,0	0,67	12,97	17,24
-0,5 +0,25	77,9	7,8	14,5	0,97	14,02	17,24
-0,25+0,125	86 ,2	8,6	13	0,75	13,91	14,75
-0,125+0,0 74	76,5	7,66	8.5	0,62	8,07	10,82
-0,074	79,2	7,93	7 ,0	0,30	6,87	5,41
<b>Total</b>	<b>998</b>	<b>99,91</b>	<b>95</b>	<b>6.31</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

## III.7 .2.Expression des résultats de la courbe granulométrique

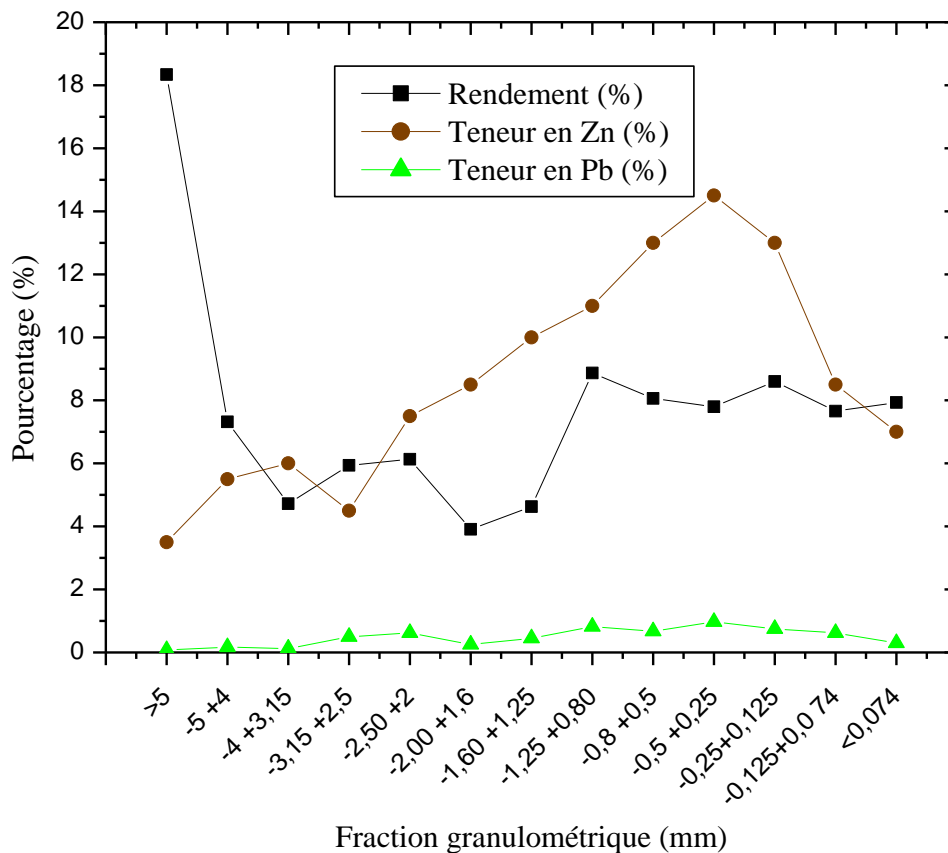


Figure. III. 33.Résultats d'analyse granulométrique de zinc

Les premières constatations suite à la courbe granulométrique est la distribution irrégulière des tranches granulométriques, avec une prédominance de la classe grossière, est se justifier par le mode de préparation mécanique des échantillons.

Ce qu'on remarque (figure (III.33)), que les teneurs sont en proportion directe avec les rendements en poids, cela est remarqué aux tranches (-1,25 +0,80 mm ; -0,8 +0,5 mm ; -0,5 +0,25mm ; -0,25+0,125 mm) avec leurs teneurs respectives : 11% ; 13 % ; 14,5% et 13%. Pour les autres classes, un faible rendement est accompagné souvent par de faibles teneurs en zinc. Les résultats de l'analyse granulo-chimique indiquent que la teneur de zinc est plus importante dans les classes granulométriques inférieures et uniformément répartie dans les classes supérieures.

Toutes les tranches granulométriques ont montré des teneurs en plomb faibles, or que les analyses préliminaires (tableau III.33) de quelques échantillons prouvent des teneurs allons jusqu'à 0,97 %.

### Conclusion générale

Ce mémoire traite la caractérisation du minerai sulfure de zinc. La réalisation de cette étude à nécessitées l'utilisation de plusieurs méthodes physico-chimiques, permettant d'évaluer les caractéristiques minéralogique, chimique et la dimension des principaux minéraux existant dans ce minerai. Pour atteindre ces objectifs, l'étude est scindée en trois chapitres.

Le premier chapitre concernant la recherche bibliographique pour obtenir des informations sur le zinc.

L'objectif principal des conditions géologiques et minières de la mine de Chaabet El-Hamra est de donner une idée sur l'histoire de la mine, le contexte géographique et géologique, ainsi que la méthode d'exploitation et les techniques d'enrichissements de minerai.

L'observation sous microscopie métallographique des différents échantillons a permis d'identifier les espèces minérales qui sont principalement la blende, la marcasite et la pyrite. Quant aux minéraux secondaires, il s'agit de la dolomie, de la galène, de l'hématite, de la barytine et du quartz.

L'étude minéralogique du minerai, effectuée par diffraction des rayons X (XRD) a porté sur quatre échantillons bruts. Les résultats obtenus ont mis en évidence la présence des minéraux principalement recherchés à savoir : sphalérite, marcasite, dolomie. En revanche, la présence de phases mineures de calcite, quartz, galène, hématite.

Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage obtenus pour le minerai de zinc brut ont montré que la majeure partie de la masse globale de l'échantillon étudié (environ 50%) est représentée par la classe granulométrique de dimensions 74-125 $\mu$ m. La classe granulométrique la plus pondérale est > 5 mm, elle représente 18 % en poids du minerai tout-venant.

D'après les résultats d'analyse chimique obtenus, l'évolution des compositions varie pour chaque composé et pour chaque fraction, pour le Zn, la concentration augmente dans les fractions fines, nous trouvons les teneurs les plus importantes dans la fraction -1,25+0,125 mm, appelé des fractions noble.

### Références et bibliographiques

- [1] **JEAN MICHEL HAU** ,2010, HAU, Jean Michel.,(2010),«Métallurgie du zinc», Dans «métallurgie extractive» ,[en ligne] ,Edition T.I. [Paris ,France] m 2270 ,TIB 69 DUO , pp1\_15.
- [2] **SAMIRA,(2014)**,Elaboration d'un schéma de traitement des minerais plomb-zinc de Kherzet Youssef et du zinc de Chaabet El Hamra ,mémoire de master ,université laarbi Tebessi , Tébessa.
- [3] **RAPPORT BRGMR 37775 DMM – RMI - 93:**» Mémento roches et minéraux industriels »,2015.
- [4] **IGNES Jean-Louis**, **ABDRABAH Manef**, **BABY Jean-Michel**, « Une vie de zinc –leur grillage»,BUP, n°766, juillet-août-sept.1994
- [5] **GILLE,B.(1981)**,« Flottation machines et circuit. Exploitation»,minéralurgie, génie de la réaction chimique, A5360.16p.
- [6] Groupe d'étude international du plomb et du zinc.
- [7] Platts Metals Week, Engineering and Mining Journal; Thomson Reuters Data Stream; World Bank.
- [8] **MERMILLOD.R-BLONDIN:** « Du zinc dans les rejets miniers ». Rapport de stage de fin d'études à l'Unité de recherche et de service en technologie minérale. Institut National Polytechnique de Lorraine .École Nationale Supérieure de Géologie,(2002).
- [9] **Cours Flottation**, 3eme année licence Valorisation, **KRIM Mansour (2020)**, Université Larbi Tébessa, Tébessa.
- [10] **VIGNES.J-L:** «Zinc». Société Chimique de France,2016.
- [11] **BENABDERRAHMANE Djamel,(2010)**, « Valorisation du minerai polymétallique (Plomb/Zinc) du gisement d'EL-ABED (W. Tlemcen). » Projet fin d'études, Ecole Nationale Polytechnique Département De Génie Minier, El-HarrachAlger.
- [12] **BENABBES Lamia (2019)** Revalorisation et désulfuration environnementale des rejets de traitement du minerai de zinc : cas de la mine de Chaabet El-Hamra –Sétif
- [13] **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.

## Références bibliographique

---

- [14] **KAABECHE M 2017**. Etude géostatistique et calcule de réserve du gisement du Chaabet El-Hamra - w. Sétif.
- [15] **ENOF(2003)**,Projet de développement de la partie inférieure du gisement de Chaabet El-Hamra situé sous le niveau hydrodynamique (Profil10-Profil15).
- [16] **Wildi (1981)**. La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : Structure, Stratigraphie, Evolution du trias au miocène.
- [17] **RAOULT J. F. (1974)** : Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord du Constantinois, Algérie).Thèse Sciences Paris, Mém. Soc. Géai.
- [18] **VILA J. M. (1980)**. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse ès-Sciences, Paris.
- [19] **Mezerzi, A. (2015)**. Les formations évaporitiques triasiques des Hautes Plaines Sétifiennes : Répartition et caractérisation des substances minérales associées. Mém, Magister. Ressources minérales, FSTGA. Univ. Constantine. 193 p.
- [20] **Glaçon J. (1967)** : Recherches sur la géologie et les gîtes métallifères du Tell sétifien .Publ.Serv. Géol. Algérie. BulletinN°32.TomeII.
- [21] **BOUTALED A. (2001)**:Les minéralisations à Pb-Zn de domaine Sétifien- Hodna : géologie, pétrographie des dolomies. Thèse de doctorat. USTHB. Algérie.
- [22] **ORGM 1992 . études d'exploitation**
- [23] **E.N.O.F** : «Plan d'exploitation du groupe Complexe minier de kherzet-Youcef»,2016.
- [24] **TESSOUH S. 2010**. Amélioration et optimisation des opérations de traitement par flottation du minerai de Chaabet El Hamra. Mém d'ingénieur d'état, Université Badji Mokhtar,Annaba, Algérie.