



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi-TEBESSA  
Instituée des mines  
Département de Minéralurgie

## MEMOIRE DE MASTER

Option : Minéralurgie

THÈME :

---

### Elaboration d'une méthode de *traitement* du minerai *Zinc de Chaabet El-Hamra (Sétif)*

---

Présenté et soutenu par :

**MERABTI Anfel**

**DERRECHE Adnane**

Devant le jury :

	MAA	Université de Tébessa	Président
	MCA	Université de Tébessa	Promotrice
	MAA	Université de Tébessa	Examineur

Date de soutenance :

Note :.....

Mention :.....



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi-TEBESSA  
Institut des mines  
Département de Minéralurgie

**MEMOIRE DE MASTER**  
**Option : Minéralurgie**

**THÈME :**

---

**Elaboration d'une méthode de *traitement* du minerai Zinc  
de *Chaabet El-Hamra* (Sétif)**

---

Présenté et soutenu par :

**MERABTI Anfel**

**DERRECHE Adnane**

Devant le jury :

	MAA	Université de Tébessa	Président
	MCA	Université de Tébessa	Promotrice
	MAA	Université de Tébessa	Examineur

**Date de soutenance :**

**Note :.....**

**Mention :.....**

## *Remerciement*

*Nous remercions beaucoup, et avant tout, le seul, le puissant et le grand Allah, pour la force et la puissance qui nous a donné tout au long de nos années d'étude.*

*Nous exprimons notre grande reconnaissance et nos vifs remerciements à notre encadreur **Mr. MANSOUR Krim** pour la confiance qu'il nous témoigné en nous diriger tout au long de ce mémoire sa disponibilité ses encouragements et sa patience qui nous permis de finaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier les enseignants de l'institut des mines et **Dr. SOLTANI Sara** qui ont participé à notre formation au cours de toutes nos années d'études.*

*Nous tenons à remercier également les membres de jury d'avoir accepté de juger notre présent travail.*

*Nous désirons très sincèrement remercier Monsieur **BEN GHAZI Ziad***

*Nous voudrions également adresser nos plus sincères remerciements à **Mr. AOULMI Zoubir** le directeur de l'institut des mines.*

*Tous les travailleurs de la mine de Kharzat Youssef Sétif en particulier*

***Mr. NOUIOUA, Mr. ZEBBICHE Karim***

*Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont soutenu et aider de près ou de loin pour la réalisation de ce travail*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A Mon très cher père,*

*qui me nourrit toujours de ses sages conseils.*

*A celle qui m'a donnée la vie et que ma vie n'est rien sans elle,*

*à ma tendre mère, qui m'a soutenu d'amour et de bonheur ;*

*tout ce que je suis, je le doit à elle.*

*A mon grand-père MADANI*

*A mes chères sœurs.*

*Et à mes adorables frères : Anis, Iyade.*

*A Toute la famille.*

*A mon binôme MERABTI Anfel*

*Mes chères amies Nour et Khouloud*

*A mes chers amis*

*Imad, Naji, Aymen, Oussama, Hichem.*

*A tous ceux qui m'aiment de près ou de loin*

*DERRECHE Adnane*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail, en premier lieu, aux êtres les plus chers au monde : mes parents.*

*Quoi que je fasse je ne pourrai leur rendre ce qu'ils ont fait pour moi ; si je suis arrivée là c'est bien grâce à eux, que Dieu les bénisse, leur accorde longue vie et les protège.*

*A la mémoire de mon Oncle BOUTARFA Taïbe*

*A ma sœur, Meriem*

*A mon frère Zakaria*

*A mon binôme DERRECHE Adnane*

*A mes cousines ABABSSIA Abir, KHABTANI Hanane*

*A mes âmes sœurs MECHERI Roumaïssa, SOUAIH Hana*

*A toute ma famille et toutes mes amies*

*MERABTI. Angel*

## Résumé :

L'industrie minière du complexe minier de Kharzat Youssef joue un rôle important dans l'économie national. Actuellement la laverie de Kharzat Youssef traite le minerai du Zinc de Chaabet el Hamra, la teneur initial de ce dernier en Zinc est de l'ordre de 4%.et pour arriver à une teneur exigé par les consommateurs à savoir  $\beta^{Zn} = 53\%$ .On doit commencera par une préparation mécanique basée sur deux stades de concassages et un stade de broyage qui réduira notre minerai à la dimension de la maille de libération, avec un traitement d'enrichissement qui début dera par une flottation principale, trois releveluses et une opération de contrôle, qui nous a mené à un diminution excessive du rendement dans le concentré final du Zinc.

Pour remédier ce problème on a proposé deux schémas technologiques de traitement.

Le premier schéma celui du minerai Plomb-Zinc de la mine de Kharzat Youssef qui comporte deux stades de concassages et un stade de broyage suivie d'une flottation principale du Plomb, le concentré de la flottation principale doit subir deux flottation releveluses pour atteindre une teneur en Plomb exigé par les consommateurs. Tandis que le rejet reçoit une flottation de contrôle, le rejet de la flottation contrôle qui comporte rejet plus Zinc a est une teneur supérieur à celle l'exiger par les consommateurs.

Pour atteindre une teneur exigé par les consommateurs en Zinc on doit faire une homogénéisation avec le concentré final en Zinc issus d'une flottation principale du minerai Zinc de Chaabet el Hamra.

**Mots-clés :** Plomb, Zinc, réactifs, flottation, laverie, enrichissement, rendement, teneur.

***Abstract:***

The mining industry at the Kharzat Youssef mining complex plays an important role in the national economy. Currently the Kharzat Youssef laundromat processes the Zinc ore from Chaabet el Hamra, the initial Zinc content of the latter is of the order of 4%. And to reach a content required by consumers namely  $\beta^{Zn} = 53\%$ . We must begin with a mechanical preparation based on two crushing stages and a grinding stage which will reduce our ore to the size of the release mesh, with an enrichment treatment which will begin with a main flotation, three lifters and a control operation, which led to an excessive reduction in the yield in the final Zinc concentrate.

To remedy this problem, two technological treatment schemes have been proposed.

The first diagram is that of the lead-zinc ore from the Kharzat Youssef mine which has two crushing stages and a grinding stage followed by a main lead flotation, the concentrate from the main flotation must undergo two lifting flotation to reach a grade. in Lead demanded by consumers. While the discharge receives a control flotation, the discharge from the control flotation which includes discharge plus Zinc a is higher than required by consumers.

To achieve a Zinc content demanded by consumers, homogenization must be carried out with the final Zinc concentrate from a main flotation of the Zinc ore from Chaabet el Hamra.

**Keywords:** Lead, Zinc, reagents, flotation, washing, enrichment, yield, content.

## ملخص :

تلعب صناعة التعدين في مجمع خرزات يوسف المنجمي دورًا مهمًا في الاقتصاد الوطني. تقوم مغسلة خرزات يوسف حاليًا بمعالجة خام الزنك من الشعبة الحمراء ، محتوى الزنك الأولي للأخير هو 4% ، وللوصول إلى المحتوى المطلوب من قبل المستهلكين وهو  $\beta^{Zn} = 53\%$  ، يجب أن نبدأ بـ التحضير الميكانيكي على أساس مرحلتين من التكسير ومرحلة الطحن التي ستقلل من خامنا إلى حجم شبكة الإطلاق ، مع معالجة التخصيب التي ستبدأ بالتعويم الرئيسي ، وثلاث رافعات وعملية تحكم ، مما أدى إلى انخفاض مفرط في المحصول في تركيز الزنك النهائي.

لعلاج هذه المشكلة، تم اقتراح مخطط للعلاج التكنولوجي.

الرسم التخطيطي الأول هو الرسم الخاص بخام الرصاص والزنك من منجم خرزات يوسف الذي يحتوي على مرحلتين للتكسير ومرحلة طحن تليها تعويم رئيسي بالرصاص، ويجب أن يخضع المركز من التعويم الرئيسي لطفلين رفع حتى يصل إلى درجة التي يطلبها المستهلكون. بينما يتلقى التفريغ تعويمًا تحكميًا ، فإن التفريغ من تعويم التحكم الذي يتضمن التفريغ بالإضافة إلى الزنك أعلى مما يطلبه المستهلكون.

لتحقيق محتوى الزنك الذي يطلبه المستهلكون، يجب إجراء التجانس مع تركيز الزنك النهائي من التعويم الرئيسي لخام الزنك من الشعبة الحمراء.

**الكلمات المفتاحية:** الرصاص ، الزنك ، الكواشف ، التعويم ، الغسيل ، الإثراء ، المحصول ، المحتوى.

## **Remerciements**

## **Dédicaces**

## **Dédicaces**

## **Résumé**

## **Abstract**

## **ملخص**

## **Sommaire**

## **Liste des tableaux**

## **Liste des figures**

<b>Introduction.....</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre I : Présentation des conditions géologique et minière du gisement de Chaabet el Hamra</b>	
1. Localisation géographique.....	03
2. Historique .....	04
3. Géologie et morphologie du gisement .....	05
4. Stratigraphie du gisement.....	07
5. Teconique .....	08
6. La minéralisation.....	09

7. Hydrogéologie.....	12
8. Réserves géologiques.....	12
9. Exploitation .....	14
9.1. Méthode d'exploitation .....	14
9.2. Principe de deux méthodes .....	15
9.3. Paramètres de tir .....	16
9.4. Chargement et transport.....	18

**Chapitre II : Généralité sur l'enrichissement du minerai *Plomb-Zinc* dans le monde**

1. Le plomb .....	19
1.1. Historiques et présentation de l'élément .....	19
1.2. Propriété du Plomb .....	20
1.3. Types de gisements.....	20
1.4. Utilisation.....	21
1.5. Production.....	21
1.6. Prix.....	22
2. Le zinc .....	22
2.1. Historiques et présentation de l'élément .....	22
2.2. Propriété du Zinc .....	22
2.3. Types de gisements .....	23

2.3.1. Dans le monde.....	23
2.3.2. En Algérie.....	23
2.4. Utilisation.....	24
2.5. Production.....	25
2.6. Prix.....	27
3. Généralité sur la méthode d'enrichissement du minerai polymétallique Pb-Zn.....	27
3.1 Généralité .....	27
3.2. Définition et principe de la flottation.....	28
3.3. Réactifs de flottation des sulfures.....	29
3.3.1. Collecteurs de flottation.....	29
3.3.2. Déprimants (dépresseurs) .....	30
3.3.3. Activant.....	30
3.3.4. Régulateurs.....	30
3.4 Machines de flottation.....	30
3.4.1 Colonne de flottation.....	30
3.4.2 Cellule de flottation.....	32
4. Exemple d'enrichissement du minerai polymétallique Pb-Zn.....	34
4.1.Dans le monde .....	34
4.2. En Algérie.....	36
4.2.1 Exemple d'EL-ABED Tlemcen.....	36

### **Chapitre III : Schéma technologique actuelle des minerais plomb-zinc du gisement Chaabet El hamra**

1. Généralité.....	37
2. Préparation mécanique.....	37
2.1. Section criblage et concassage.....	37
2.2. Equipements de la section de concassage et de criblage.....	38
2.3. Section broyage et classification.....	41
2.4. Equipement et installation de la section de broyage et classification.....	42
2.5 Calcule de la capacité de production du broyeur.....	42
3. Section de Flottation.....	46
4. Section filtration et épaissement.....	47
5. Laboratoire.....	51
5.1 Laboratoire d'unité.....	51
5.2 Echantillonnage et contrôle.....	51
5.3 Dosage quantitative de zinc.....	52

### **Chapitre IV : Partie expérimental**

1. pour le minerai de Zn de Chaabet el Hamra.....	57
1.1 Section de la préparation mécanique.....	57
1.2. Calcul du degré de réduction.....	58
1.3. Les nouveaux paramètres.....	59

1.4.Calcul du degré de réduction.....	60
2. Section d'enrichissement.....	60
2.1. Donnée de départ pour la flottation de Zn du minerai Chaabet el Hamra.....	61
2.2. Calcul du schéma de flottation.....	62
3. Pour le minerai de Pb-Zn de Kharzat Youssef.....	65
3.1. Section de la préparation mécanique.....	65
3.2 Calcul du degré de réduction.....	67
3.3.Section d'enrichissement.....	68
3.3.1. Données de départ pour la flottation de minerai de kharzat Youssef.....	69
4.Partie d'homogénéisation.....	75
4.1. Calcul de la partie d'homogénéisation.....	75
5.Schéma technologique proposé final pour l'usine.....	77
6. Schéma d'appareillages.....	79
Conclusion.....	81

Les référence

# Liste des tableaux

## CHAPITRE I

<b>Tableau I.1</b> : Réserve du corps supérieur et inférieur de gisement de Chaabet El-Hamra.....	14
<b>Tableau I.2</b> : Principaux paramètres de forage et de tir .....	16

## CHAPITRE II

<b>Tableau II.1</b> : Propriétés physiques et atomique du Pb .....	20
<b>Tableau II.2</b> : Utilisation de plomb en 2018 .....	21
<b>Tableau II.3</b> : Propriétés physiques et atomique Zn .....	22
<b>Tableau II.4</b> : Production minière mondiale de zinc, par pays, en 2019.....	25
<b>Tableau II.5</b> : Prix de zinc, de 2020 à 2021 .....	27

## CHAPITRE III

<b>Tableau III.1</b> : Principaux réactif de la laverie ... ..	47
--	----

# Liste des figures

## CHAPITRE I

<b>Figure I.1 :</b> Carte de situation géologique du gisement.....	4
<b>Figure I.2 :</b> Coupe schématique longitudinale de gisement de Chaabet el Hamra.....	6
<b>Figure I.3 :</b> Log stratigraphie de la partie minéralisée de gisement de CEH .....	10
<b>Figure I.4 :</b> Morphologie générale d'une de CX pipiers .....	12
<b>Figure I.5 :</b> Distribution des teneurs en Zn des corps minéralisées (SIDAM).....	13

## CHAPITRE II

<b>Figure II.1 :</b> Utilisation du Zinc à l'échelle mondial en 2018.....	25
<b>Figure II.2 :</b> Production minière mondial de Zinc, 2010 à 2019 .....	26
<b>Figure II.3 :</b> Mécanisme de l'interaction Bulle particule .....	29
<b>Figure II.4 :</b> Schéma d'une colonne de flottation .....	31
<b>Figure II.5 :</b> Cellule de flottation Denver Sala type DR ouvert .....	33
<b>Figure II.6 :</b> Schéma de principe d'un circuit de traitement de minerai de Zinc-Plomb .....	34

## CHAPITRE III

<b>Figure III.1 :</b> Concasseur a mâchoire.....	39
<b>Figure III.2 :</b> crible vibrant .....	40
<b>Figure III.3 :</b> Concasseur a cône .....	41
<b>Figure III.4 :</b> Broyeur à boulet .....	42
<b>Figure III.5 :</b> classificateur mono spiral .....	44
<b>Figure II.6:</b> schéma technologique de prélation mécanique .....	45
<b>Figure III.7:</b> schéma d'un épaisseur.....	47
<b>Figure III.8.</b> Photo d'un filtre.....	48
<b>Figure III.9 :</b> schéma technologique de flottation .....	49
<b>Figure III.10 :</b> Schéma de traitement du zinc de Chaabet-El-Hamra .....	50
<b>Figure III.11 :</b> Principe de la première étape d'étalonnage de l'EDTA .....	53

<b>Figure III.12:</b> Deuxième étape d'étalonnage de l'EDTA. ....	54
<b>Figure III.13 :</b> Troisième étape d'étalonnage de l'EDTA .....	55
<b>Figure III.14:</b> Dernière étape de manipulation .....	56

## CHAPITRE IV

<b>Figure IV.1.</b> Schéma technologie de la préparation mécanique actuel dans l'usine de Chaabet el Hamra.....	57
<b>Figure IV.2</b> schéma technologie de la préparation mécanique proposé pour Chaabet el Hamra .....	59
<b>Figure IV.3.</b> Schéma technologie proposé pour la flottation du minerai Zn de Chaabet el Hamra.....	60
<b>Figure IV.4.</b> schéma technologie de la préparation mécanique proposé pour Kharzat Youssef .....	66
<b>Figure IV.5.</b> schéma technologie proposé pour la flottation du Pb-Zn de Kharzat Youssef .....	68
<b>Figure IV.6.</b> Schéma technologique final proposé pour l'usine.....	78
<b>Figure IV.7.</b> Schéma d'appareillages de la préparation mécanique proposé pour l'usine...79	
<b>Figure IV.8.</b> Guide de Schéma d'appareillages de la préparation mécanique pour l'usine	80

# **Introduction**

## Introduction

Le mot zinc vient de l'Allemand "zinke" qui signifie pointe en français. Le zinc est, dans la nature, habituellement associé à d'autres métaux tels que le cuivre et le plomb. Les gisements de zinc sont largement répartis autour du globe. Dans ceux où il apparaît en grande quantité, la proportion des impuretés dans la roche est souvent importante. Le principal minerai est la blende (ou sphalérite) qui comprend comme impuretés du plomb, du cuivre, du manganèse, du calcium, du cobalt, de l'argent, etc.

Le potentiel en zinc/plomb en Algérie est évalué à 150 millions de tonnes de minerai. Il est localisé principalement au Nord du pays Les perspectives de développement sont

Principalement contenues dans la mise en valeur du gisement d'Oued Amizour (Bejaia) dont les réserves totales sont estimées à 33 millions de tonnes dont 10 millions de tonnes à 11% Zn et 3.2% Pb. En effet, il existe plusieurs gisements a des potentialités importantes tel que le cas du bassin de Kharzat Yousef, et Chaabet-El-Hamra là où on a fait le stage pratique du mémoire.

La mine de Chaabet-El-Hamra a connu de travaux d'exploitations des d'affleurements de Silicate de Zinc (Oxydés) de 1910à 1920 et de 1936 à 1941.

En 1966, cette mine a fait l'objet de premiers travaux de prospection géologique, de 1967 à 1988. Ensuite, de travaux d'évaluation par sondages à maille, de 1989 à 1991.

En 1991, à la suite d'un grave accident survenu le 02 juin 1990 à la mine de Kharzet Yousef, située à l'Ouest de la mine de Chaabet-El-Hamra, et ayant causé la vie à 19 mineurs, l'entreprise nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles (ENOF) a élaboré une étude pour l'ouverture du gisement de Chaabet-El-Hamra.

Les travaux miniers ont débuté en janvier 1992 et les ouvrages d'accès ont été achevés en avril 1994. L'extraction du tout-venant est commencée en avril 1994.

La laverie d'enrichissement consiste à traiter le tout-venant de zinc ramené de la station de concassage de la mine de Chaabet-El-Hamra ainsi que les rejets, commençant par la préparation mécanique, la séparation de zinc par flottation afin d'avoir un produit fini (concentré) qui répond aux exigences de consommation.[1]

L'élaboration de la méthode de traitement pour la réouverture du gisement de Kharzat Yousef constitue un objectif qui constitue la partie expérimentale dans le présent travail.

Pour atteindre les objectifs de ce présent travail, nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres :

- ❖ Une recherche bibliographique représentée par trois chapitres, dont nous avons présenté les conditions géologiques et minières de la mine de Chaabet el Hamra au premier chapitre. Le second chapitre traitera. Généralité sur l'enrichissement du minerai Plomb-Zinc dans le monde. Le dernier chapitre est consacré à la représentation de Schéma technologique actuelle des minerais plomb-zinc du gisement Chaabet El Hamra
- ❖ Pour la partie expérimentale, elle représenter le dernier chapitre rapporter le schéma d'enrichissement du Pb-Zn de Kharzat Yousef et Zn de Chaabet el Hamra et les résultats et leurs interprétations.

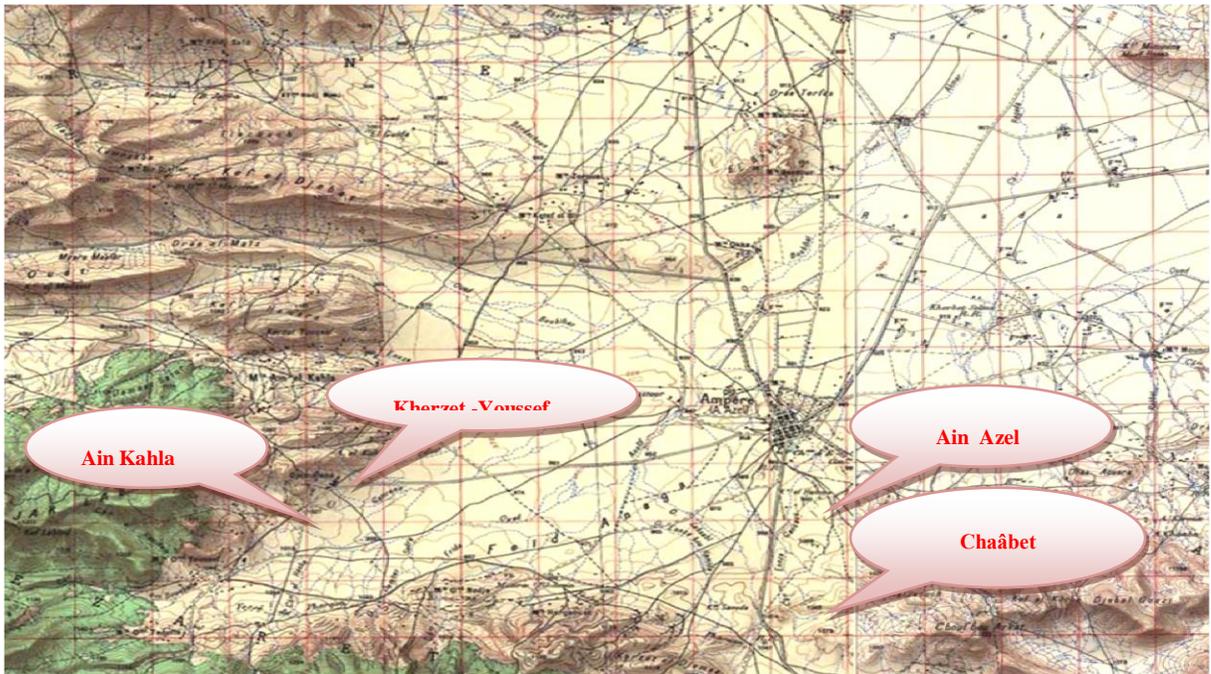
**Présentation des conditions géologique  
et minière du gisement de Chaabet El  
Hamra**

## Chapitre I : Présentation des conditions géologique et minière du gisement de *Chaabet el Hamra*

### 1. Localisation géographique

Le gisement de Chaabet-El-Hamra est situé dans la wilaya de Sétif, à 04 Km au Sud-est de Ain-Azel et 12 Km de la mine de Kharzat-Youssef, aux coordonnées ci-dessous :

- Coordonnées LAMBERT :
  - X : de 754 170 à 755 700
  - Y : de 279 800 à 280 400
  
- Coordonnées cartésiennes :
  - Longitude : 05° 30' 38", Est
  - Latitude : 35 41' 55", Nord
  - L'altitude du gisement varie de 950 à 1 200 mètres. [1]



**Figure I.1:** carte de situation géologique du gisement. [2]

## 2. Historique

Le gisement de Chaâbet-El-Hamra est connu depuis le début du 20ème siècle. La partie Sud-est du gisement a fait l'objet d'une exploitation artisanale des affleurements de Calamines (Oxydes) de 1910 à 1920 et de 1936 à 1943.

Plus tard, entre 1987 et 1991, l'EREM a entrepris des travaux d'exploration, dans la partie Nord-Ouest du gisement, qui ont confirmé l'existence d'une minéralisation susceptible de faire l'objet d'une exploitation.

Dans le cadre de cette exploration, 242 sondages de mailles différentes, 70x50 dans la partie centrale et 100x100 dans la partie Nord-ouest, totalisant environ 53 927 m, répartis sur 31 profils, ont été réalisés.

Ces travaux ont permis la définition de l'allure générale du gisement et le calcul des réserves.

Au lendemain de l'accident du 02/06/1990, afin de préserver l'emploi et éviter la fermeture brutale de Kharzat-Youssef avec toutes ses conséquences sociales et économiques, L'ENOF succéda à l'EREM, à CEH, pour continuer l'activité minière dans la région.

A cet effet, une étude intitulée : "Avant-projet de recherches détaillées par ouvrages miniers sur le gisement de Chaabet-El-Hamra" fut élaborée et soutenue, en Mars 1991, par l'ENOF.

Dans cette étude préliminaire, dans laquelle l'ENOF est désignée "prestataire" et le MEM "maître de l'ouvrage", l'ENOF a réalisé plus de 1200 ml de travaux d'ouverture.

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

- Entre les profils 16 et 24, il existe un secteur d'environ 800 m de longueur à l'intérieur duquel les corps minéralisés sont absents ou présentent des teneurs et des épaisseurs insuffisantes pour justifier leur exploitation.
- Au-delà du profil 15, les données hydrogéologiques sont plus contraignantes.
- La partie du gisement située entre les profils 15 et 31 plonge vers le NO avec un angle plus prononcé que la moyenne.

Cette particularité causera de plus grandes difficultés d'ouverture et d'exploitation. [2]

### **3. Géologie et morphologie du gisement**

Le minerai zincifère du gisement de Chaabet El-Hamra est composé de deux faisceaux de couches lenticulaires, stratiformes, de 6m de puissance (fig.2). Chaque faisceau est composé de trois couches lenticulaires numérotées 1, 2, 3 pour le faisceau inférieur et 4,5, 6 pour le faisceau supérieur.

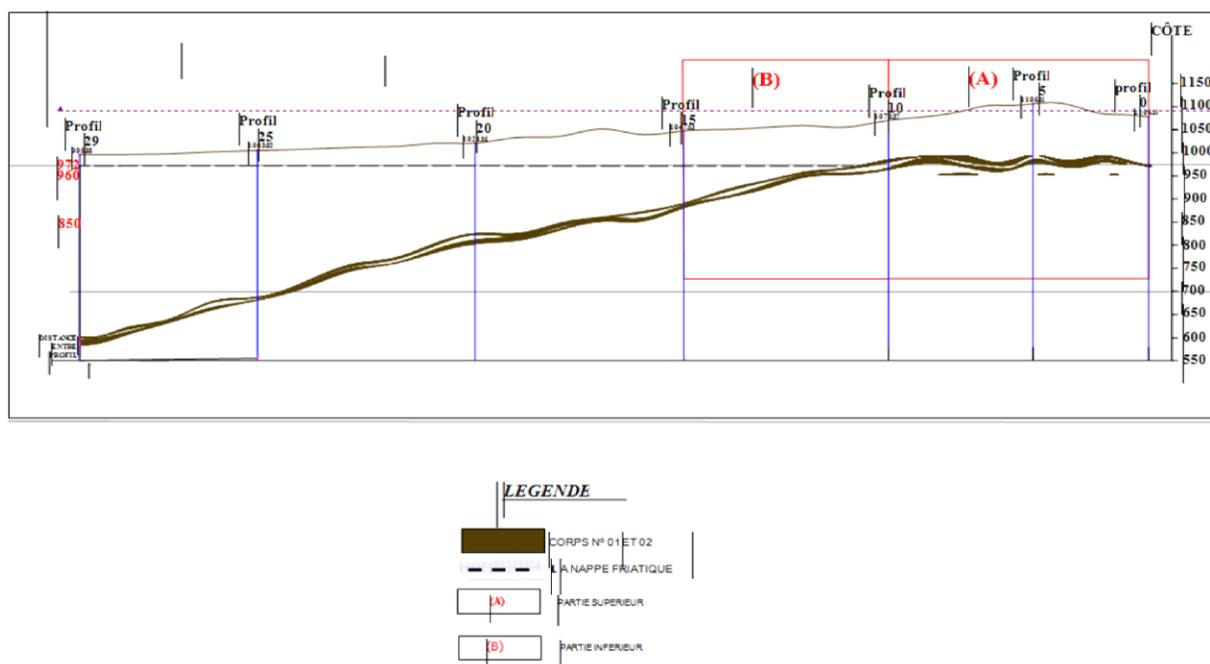
Ces corps sont allongés en bande sur une longueur de 2700 m, et 100 à 400 m en pendage. Les corps de minerai plongent d'un pendage de 100 vers le Nord-Ouest. [3]

Le minerai est encaissé dans une dolomie poreuse ou bréchique située dans la partie inférieure de l'étage Hauterivien (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).

La galène est très rare, et se développe généralement aux extrémités des lentilles, limitant la zone zincifère de celle baryto-pyritifère.

La sphalérite se présente sous plusieurs types : massif, en tache de recristallisation, fissure, et bréchique ce qui constitue l'essentiel du minerai industriel. [4]

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. [5]



**Figure I.2:** COUPE SCHEMATIQUE LONGITUDINALE DE GISEMENT DE CHAABET EL-HAMRA Profile 0\_profile29. [2]

#### 4. Stratigraphie du gisement

##### a) Le Trias

Se rencontre sous forme de pointements dans les zones les plus tectonisées.

Il est composé de masses d'argiles bariolées accompagnées d'un chaos de roches : brèches dolomitiques, cargneules, amas de gypse, brèches de schistes micacées, avec parfois des fragments de cristallin et de roches vertes. Des lambeaux calcaro-dolomitiques bien stratifiés, attribués à la base du Lias (Rhétien ou Hettangien) sont fréquemment emballés dans le Trias.

##### b) Le Jurassique

Affleure sur des surfaces importantes à l'Est d'Ain Azel.

Il comprend le 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 grésos-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).

##### c) Le Crétacé supérieur

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 *Globotruncanahelvetica* (Turonien inférieur à moyen) ; (4) des marnes à Rudistes du Turonien supérieur ; (5) des marnes et marno-calcaires du Sénonien avec intercalation de calcaires à Incérâmes ; (6) des calcaires à Laffittéines du Maestrichtien.

## d) L'Éocène

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

## e) Le Miocène

Représenté le plus souvent de formations continentales et lagunaires, est composé de conglomérats, grés, marnes et argiles rouges.

## f) Le Pliocène

Généralement concordant sur le Miocène, est constitué de formations détritiques, marneuses et conglomératiques.

## g) Le Quaternaire

Est composé de formations continentales peu épaisses.

## 5. TECTONIQUE

De point de vue tectonique, la région d'étude fait partie de l'Atlas Saharien.

La structure de la région est représentée par deux anticlinaux linéaires et un large synclinal orienté principalement nord-est – sud-ouest et affecté par des accidents de direction différente.

Les failles majeures montrent une direction voisine est-ouest, les plus importantes constituant un faisceau qui recoupe l'ensemble de la structure.

La partie inférieure du gisement, Pr 10 – Pr 15, est affectée par deux accidents tectoniques majeurs subparallèles, la faille diagonale et la faille latitudinale, de direction Nord-est – Sud-ouest.

La faille diagonale, de direction Nord-est, est située entre les Pr 12 et 13 et est d'un rejet de 4 m avec un pendage d'environ 50° vers le Sud-est. Par contre, la faille latitudinale,

de direction Sud-ouest, est située entre les Pr 15 et 16 et est d'un rejet de 10 m avec un pendage d'environ 60° vers le Nord-ouest.

## 6. Minéralisation

La minéralisation du gisement de Chaâbet El-Hamra est observée en faisceaux sous forme de lentilles minéralisées de composition tantôt monominérale, tantôt mixte. Elle est représentée essentiellement par la sphalérite, la pyrite, la marcassite, la galène rencontrée rarement et donc sans importance industrielle.

Dans cette composition, les principaux minéraux sont la sphalérite, la pyrite et la marcassite. Les minéraux secondaires sont la galène, l'hématite. Les minéraux de gangue sont la calcite, la barytine, la dolomie et plus rarement le quartz et le gypse (rare). Les minéraux d'oxydation sont principalement la smithsonite, la cérusite et la limonite.

La minéralisation de pyrite, marcassite, blende et rarement galène est intimement liée aux roches dolomitiques hauteriviennes, en se localisant indépendamment aux structures tectoniques affectant ce niveau porteur de la minéralisation.

La minéralisation zincifère se présente en couches lenticulaires, regroupées dans deux faisceaux stratiformes, séparés par le banc de dolomie blanchâtre stérile, de 6 m de puissance.

La galène est très rare, et se développe généralement aux extrémités des lentilles, limitant la zone zincifère de celle baryto-pyritifère.

La sphalérite se présente sous plusieurs types : massif, en tache de recristallisation, fissure, et bréchique ce qui constitue l'essentiel du minerai industriel.

Le gisement de Chaâbet El-Hamra, fait partie du « district métallogénique » à Pb-Zn des monts du Hodna qui renferme d'importantes minéralisations en Pb-Zn localisées dans la région d'Ain Azel. Le gisement de Chaâbet El-Hamra appartient aux blocs d'Ain Mlila, qui comprend trois structures de soulèvement en forme de Horst-Anticlinaux. Le gisement est associé au Horst de Rahbat.

CORPS N°	COUCHE N°	LITHOLOGIE	PUISS (m)	DESCRIPTION
COROS N° 1			0.80	Grès Organogène
			0.50	Marne noire à aspect schisteux
	6		1.50	Dolomie bréchique faiblement minéralisée Dolomie à monéralisation disséminée de sphalerite
			0.20	Joint marneux
	5		2.00	Dolomie grise à minéralisation en veinules de sphalerites et nids de baryte par endroits la couche est à moitié stériles
	4		2.00	Dolomie à minéralisation disséminée de sphalerite
COROS N° 2			4 - 10	L'intercalaire stérile
			0.20	Sphalerite massive à joint argileux
	3		1.60	Dolomie à minéralisation bréchique de sphalerite
			0.40 -2.00	Dolomie st stérile
	2		1.60	Dolomie à veines de sphalerite
			0.20	Sphalerite massive
		1.50 - 2.00	Dolomie à concrétion stérile	
1			0.80	Minéralisation bréchique
			0.70	Dolomie stérile
			0.50	Sphalerite massive (par endroit toute la couche est minéralisée) Dolomie à concrétions

Figure I.3: log stratigraphie de la partie minéralisée du gisement de CEH[2]

➤ **Caractéristiques du minerai**

Les caractéristiques qualitatives du minerai de zinc de Chaâbet-El-Hamra sont :

- La teneur de Zn dans la sphalérite : 67,1%
- Densité moyenne: 3
- La dureté : 5 à 6 (Mohs)

➤ **Caractéristiques des roches encaissantes**

- Dureté des dolomies franches : 7-8
- Dureté des dolomies marneuses : 3-5
- Densité moyenne : 2,6 [2]

## 7. Hydrogéologie

Les données géologiques et hydrogéologiques confirment l'existence de deux nappes libres (Figure I.4) :

- 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 grés dolomitiques.[5]

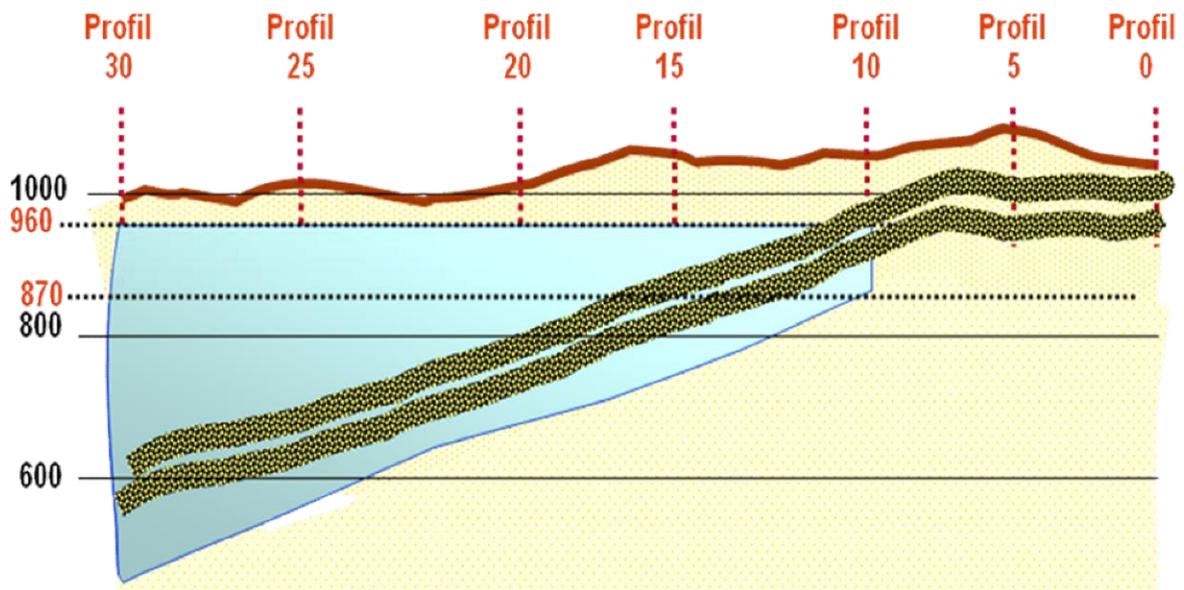


Figure I.4: Morphologie générale d'une larve de Cx. Pipiens [2]

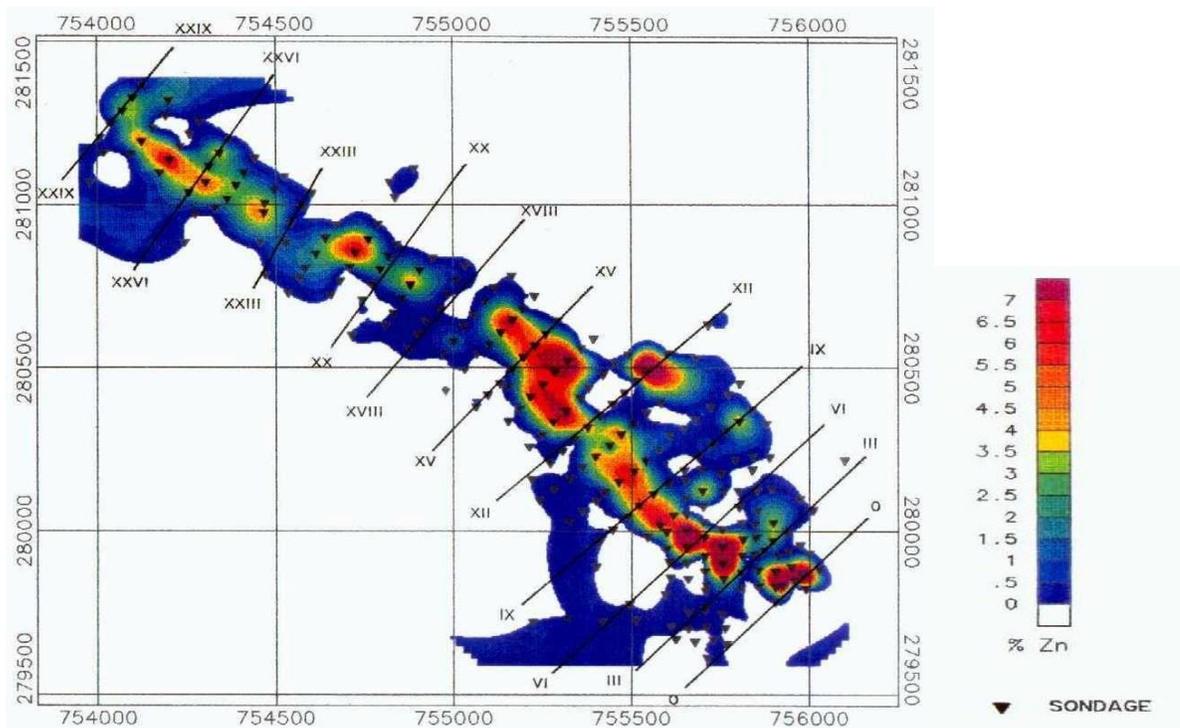
## 8. Réserves géologiques

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

- Entre les profils 16 et 24, il existe un secteur d'environ 800 m de longueur à l'intérieur

Duquel les corps minéralisés sont absents ou présentent des teneurs et des épaisseurs insuffisantes pour justifier leur exploitation (voir Fig5) Distribution des teneurs des corps de minerai)

- Au-delà du profil 15, les données hydrogéologiques sont plus contraignantes.
- La partie du gisement située entre les profils 15 et 31 plonge vers le NO avec un angle plus prononcé que la moyenne (approximativement 15°). Cette particularité causera de plus grandes difficultés d'ouverture et d'exploitation.



**Figure I.5:** Distribution des teneurs en Zn des corps minéralisés (SIDAM)

Les réserves géologiques du gisement ont fait l'objet de plusieurs évaluations. La situation des réserves au 31/12/2008 se présente comme suit : [6]

**Tableau I.1:** Réserve du corps supérieur et inférieur du gisement de Chaabet El-Hamra. [6]

	Réserves exploitables	Te (%)	Réserves exploitables	Te (%)
<b>Partie supérieure</b> (Profile 0 à 10)	507 463	7,31	448 186	5,13
<b>Partie inférieure</b> (Profile 10 à 15)	1 043 000	7,21	705 900	5,16

## 9. Exploitation

La mine de zinc de Chaâbet-El-Hamra est exploitée en souterrain par un système d'ouvrages minier permettant l'accès, l'extraction, l'aérage et la circulation du personnel du jour vers le fond. [7]

### 9.1. Méthode d'exploitation

Le choix de la méthode d'exploitation en premier temps doit répondre aux exigences suivantes :

- Sécurité des ouvrages miniers.
- Sécurité du personnel (travail).
- Meilleur rendement.
- Prix de revient minime.
- Perte et salissageminimal.

Ainsi que sur la base des propriétés physico-mécaniques du minerai et des roches encaissantes, les méthodes retenues sont : traçage et dépilage et sous niveaux foudroyé. La mise en œuvre de ces méthodes nécessite au préalable le creusement d'une série d'ouvrages miniers (galerie de roulage, aérage, jonction et de découpage de bloc) qu'on appelle les travaux d'infrastructures et préparatoires avec des paramètres définis pour l'abattage et l'extraction du minerai. [8]

## 9.2. Principe de deux méthodes

### a) Méthode de traçage et dépilage

Cette méthode est utilisée pour les couches dont la puissance est inférieure à 5m. Le principe de la méthode consiste à creuser une série de chambres parallèles appelées "traçages". Ces chambres sont séparées entre elles par des piliers de 12 m de large. Ces piliers sont exploités de la façon suivante :

On perce une enlèvre de 4 m de large à 4 m des éboulements, qui laisse entre les éboulements un rideau. Ce rideau est finalement, partiellement exploité à son tour, en traçant une refonte qui laisse subsister 2 piliers résiduels. Ces piliers sont amaigris, puis torpillés à l'explosif, le minerai est ainsi récupéré et cette dernière étape entraîne le foudroyage du toit. Les piliers résiduels jouent un très grand rôle dans la maîtrise de l'effondrement du toit. Le dépilage se poursuit de telle manière que l'exploitation des piliers se rabatte suivant la puissance de la couche. Les pertes constituent 10 à 15 %.

### b) Méthode des sous-niveaux foudroyés

Cette méthode est utilisée lorsque la puissance des couches est supérieure ou égale 5 m. Le principe de la méthode consiste à creuser une série de 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 cheminé 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 d'abattage.

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° à 45° sur la direction des chambres.

### 9.3. Paramètres de tir

C'est l'action de creuser des cavités dans un front appelé trous de mine selon un plan de tir approprié à l'aide des marteaux perforateurs. Une fois les travaux de foration sont terminés et les trous sont bien nettoyés (soufflage), on procède au chargement de ces derniers par l'introduction de la matière explosive. [9]

Les paramètres de forage sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau I.2 : Principaux paramètres de forage et de tir.[8]**

DESIGNATION				
N°	Type de l'ouvrage : galerie	Unité	Quantité	Quantité
1	Section creusement	M2	12	12
2	forme de la section transversale : voute	/	/	/
3	Coefficient de dureté d'après		8	8

	PROTODIOKONOV				
<b>4</b>	Nombre de trous de mine			32	32
<b>5</b>	Longueur du trou de mine			2.40	1.60
<b>6</b>	Type d'explosif : GELANITE		/	/	/
<b>7</b>	Charge unitaire par trou	a)bouchon	/	1.750	1.000
		b) abattage	Kg	1.500	0.750
		c)contour	/	1.250	0.750
<b>8</b>	Charge total par cycle		kg	45.5	25.500
<b>9</b>	Type de détonateur D.E.R		/	/	/
<b>10</b>	Numéros des retards conformément aux numéros sur le schéma		/	/	/
<b>11</b>	Bourrage argile		/	/	/
<b>12</b>	Avancement de la taille par Cycle		m	1.99	1.36
<b>13</b>	Volume du minerai abattu par Cycle		M3	23.90	16.32
<b>14</b>	Taux d'utilisation des trous de Mines		/	0.83	0.85
<b>15</b>	Charge spécifique d'explosif		Kg/m <sup>3</sup>	1.9	1.53

#### 9.4. Chargement et transport

Le marinage du tout-venant abattu sera effectué par deux pelles chargeuses sur pneus. Le transport du tout venant à partir du front jusqu'au usine de traitement se fait en deux étapes :

1) Transport fond :

Le transport du tout venant de front de taille vers le lieu de stockage jour se fait par camions navettes d'une capacité de 13 tonnes/ camion.

2) Transport jour :

Le transport du tout venant à partir de la plateforme de stockage située à Chaâbet el Hamra sera fait par camions -récupérés de la mine d'AL ABED- de capacité théorique de 20 tonnes chacun. **[10]**

# **Généralité sur l'enrichissement du minerai Plomb-Zinc dans le monde**

## **Chapitre II : Généralité sur l'enrichissement du minerais *Plomb-Zinc* dans le monde**

### **1. Le plomb**

#### **1.1. Historiques et présentation de l'élément**

Le plomb a été utilisé très précocement par toutes les grandes civilisations antiques : les Égyptiens (7 000 à 5 000 av. J.C.) pour l'émaillage des poteries, les Chinois dès le 4<sup>e</sup> millénaire pour la fabrication des monnaies. Les Athéniens exploitèrent dès le 5<sup>e</sup> siècle les mines de plomb du Laurium pour l'argent associé à ce métal. Les Gréco-Romains s'intéressèrent surtout aux mines Ibériques. Pline l'ancien (23 à 79 ap. J.C.) confirme que le plomb semblait être utilisé depuis 6 500 ans.

Aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, la production de plomb a pris une allure industrielle avec les besoins de l'électrification, le stockage de l'électricité, les emplois dans l'industrie chimique et les peintures et, enfin, l'utilisation d'antidétonant dans les carburants sous forme de tétraéthyle de plomb.

Le plomb, de nombre atomique 82 et de masse atomique 207,2 g, fait partie du groupe IV de la classification périodique.

La teneur en plomb de la croûte terrestre est de l'ordre de 14 g/t. Il existe environ 240 espèces contenant du plomb, dont un tiers appartient au groupe des sulfures et des sulfosels. [11]

## 1.2. Propriété du Plomb

Tableau II.1:Données physiques ET Données physiques [12]

Numéro atomique	Mass atomique	Structure cristalline	Isotopes	Masse volumique	Dureté	Température de fusion	Température d'ébullition
82	207,2	Structure cristalline cubique à faces centrées	4	11,343 g.cm <sup>-3</sup>	1,5	327,42 °C	1 740°C

## 1.3. Types de gisements

Le plomb est très rare à l'état naturel. On le connaît essentiellement dans deux gisements : celui de Langban en Suède (complexe où il est associé au fer et au manganèse) et dans des dépôts fumeroles à Madère. Il y forme parfois des cristaux cubiques, mais le plus souvent des remplissages de fissures ou des agrégats dépourvus de formes cristallines. Les principaux minéraux porteurs de plomb dans les gisements miniers sont la galène (un sulfure), l'anglésite (un sulfate) et la cérusite (un carbonate). Mais le plomb entre dans la composition de 240 minéraux identifiés.

Le plomb et le zinc se trouvent généralement associés, en proportions diverses, dans les mêmes gisements. À ces deux métaux principaux s'ajoutent souvent, en petites quantités (de quelques dizaines à quelques centaines de grammes par tonne de minerai), des métaux plus ou moins rares : argent, cadmium, gallium, indium, germanium ; ces deux derniers ont acquis une importance considérable dans l'industrie électronique ; le gallium est utilisé en optique infrarouge et dans les câbles à fibres de verre. [13]

### 1.4. Utilisation

En 2018, le plomb est utilisé dans :

**Tableau II.2 : Utilisation de plomb en 2018 [14]**

Accumulateurs	80 %	Munitions	3 %
Produits laminés et extrudés	6 %	Alliages	2 %
Pigments	5 %	Gaines de câbles électriques	1 %

### 1.5. Production

Chaque année, on produit environ 4,75 millions de tonnes de plomb dans le monde.

#### ✓ Pays producteurs de plomb en 2017

- Chine : 2318 Mt (48,8%)
- Australie : 343 Mt (7,2%)
- États-Unis : 311 Mt (6,5%)
- Pérou : 307 Mt (6,5%)
- Mexique : 240 Mt (5,1%)
- Russie : 202 Mt (4,3%)
- Autres pays : 829 Mt (21,6%). [14]

## 1.6. Prix

En février 2021, le prix du plomb s'établit à 2 080 dollars la tonne, en hausse de 3,2% sur un mois et de 11,1% sur un an. [15]

## 2. Le zinc

### 2.1. Historiques et présentation de l'élément

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 18<sup>e</sup> 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. [16]

Le zinc est un élément chimique métallique bleuâtre, de symbole Zn et de numéro atomique 30, c'est un élément de transition. [17]

### 2.2. Propriété du zinc

**Tableau II.3: Données physiques ET Données physiques [18]**

Numéro atomique	Mass atomique	Structure cristalline	Isotopes	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

### 2.3. 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. [19]

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. [20]

#### 2.3.1. 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. [21]

La plus grande mine de zinc, dans le monde, est située à RedDog, 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. [20]

#### 2.3.2. En Algérie

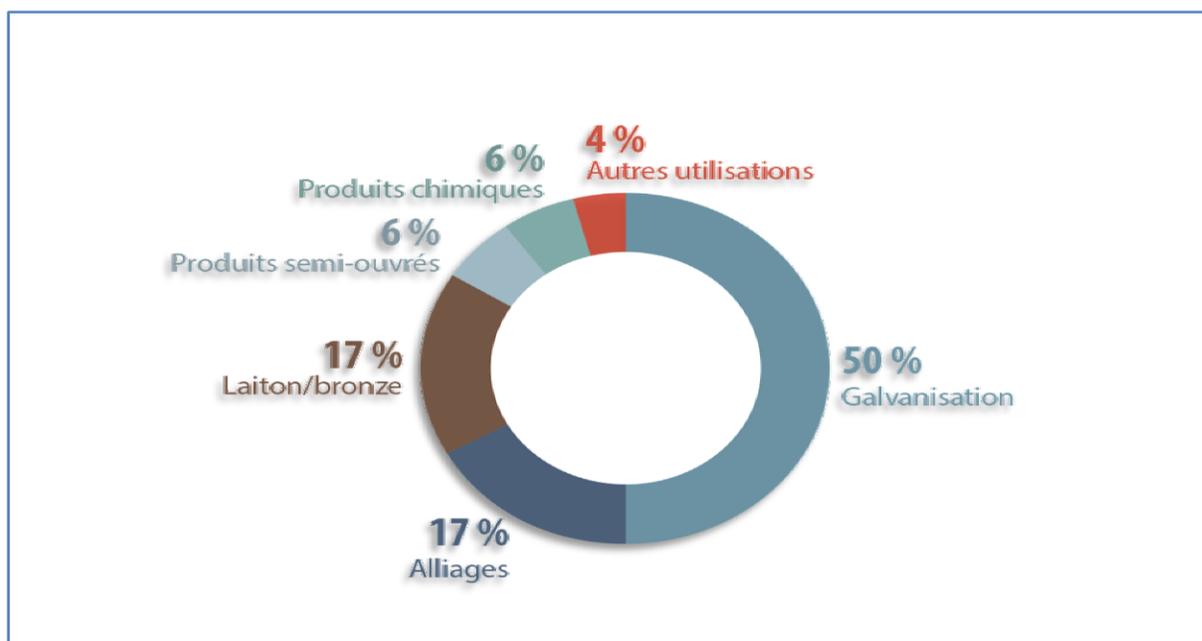
Les principaux gisements de Pb-Zn dans le Nord de l'Algérie sont :

- 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 minera, 4.04 % de Pb.[selon ENOF]

#### **2.4. 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 II.1:** Utilisations du zinc à l'échelle mondiale, en 2018 [22]

## 2.5. Production

La production mondiale de zinc était d'environ 12,8 millions de tonnes en 2019.[22]

**Tableau II.4 :** Production minière mondiale de zinc, par pays, en 2019.[22]

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 %

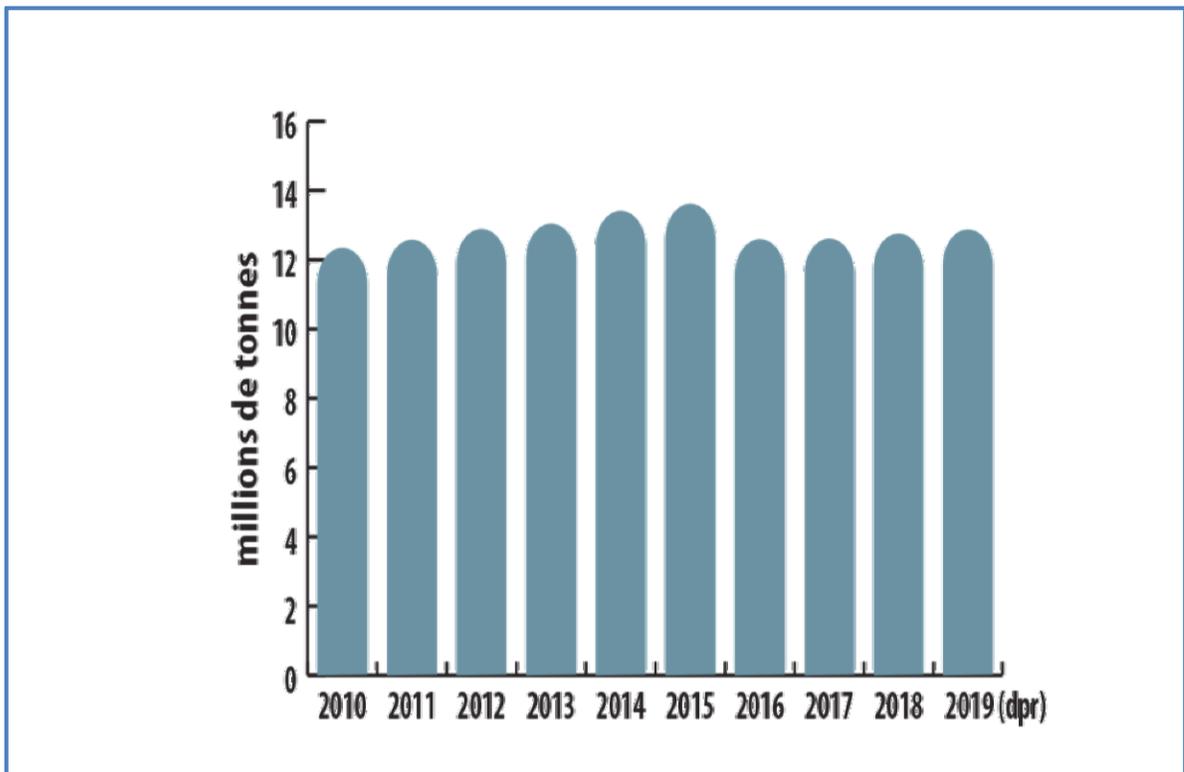


Figure II.2 : Production minière mondiale de zinc, de 2010 à 2019[22]

## 2.6. 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. [23]

**Tableau II.5:** prix de zinc, de 2020 à 2021[23]

Mois	Prix	Variation en Pourcentage
oct. 2020	2 440,65	-0,07 %
nov. 2020	2 671,60	9,46 %
déc. 2020	2 779,85	4,05 %
janv. 2021	2 705,34	-2,68 %
févr. 2021	2 744,50	1,45 %

## 3. Généralité sur les méthodes d'enrichissement des minerais polymétallique Pb-Zn

### 3.1 Généralité

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.[24]

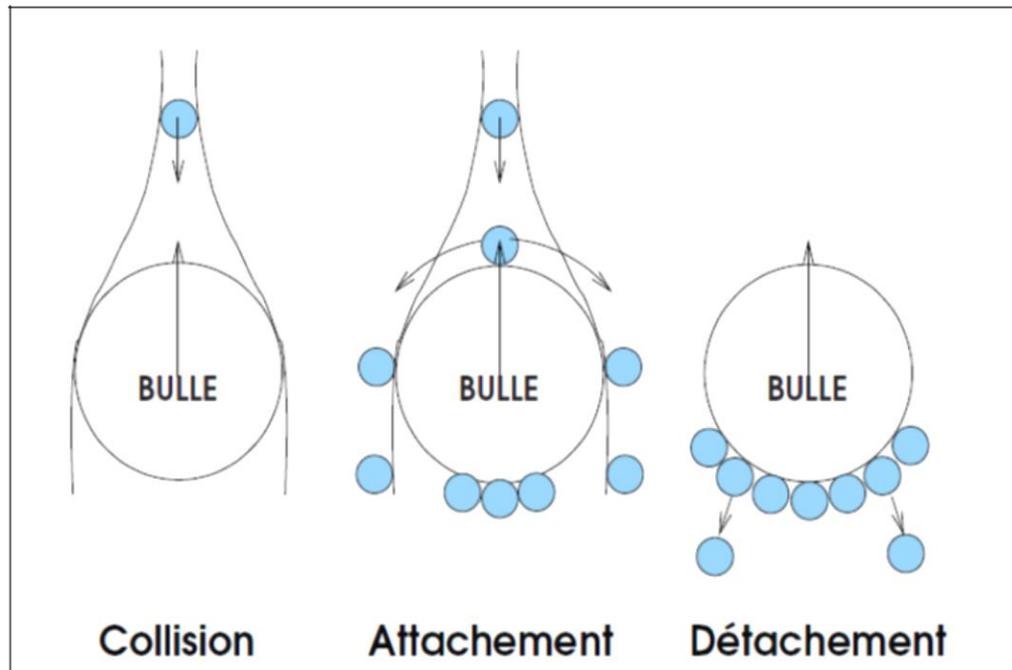
### **3.2. Définition et principe de la flottation**

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 II.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.

### 3.3. Réactifs de flottation des sulfures

#### 3.3.1. Collecteurs de flottation

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

### **3.3.2. 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 déprime la blende et la pyrite et est sans effet sur la galène.
- La chaux déprime la pyrite et tout en 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

### **3.3.3. 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.

### **3.3.4. 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.

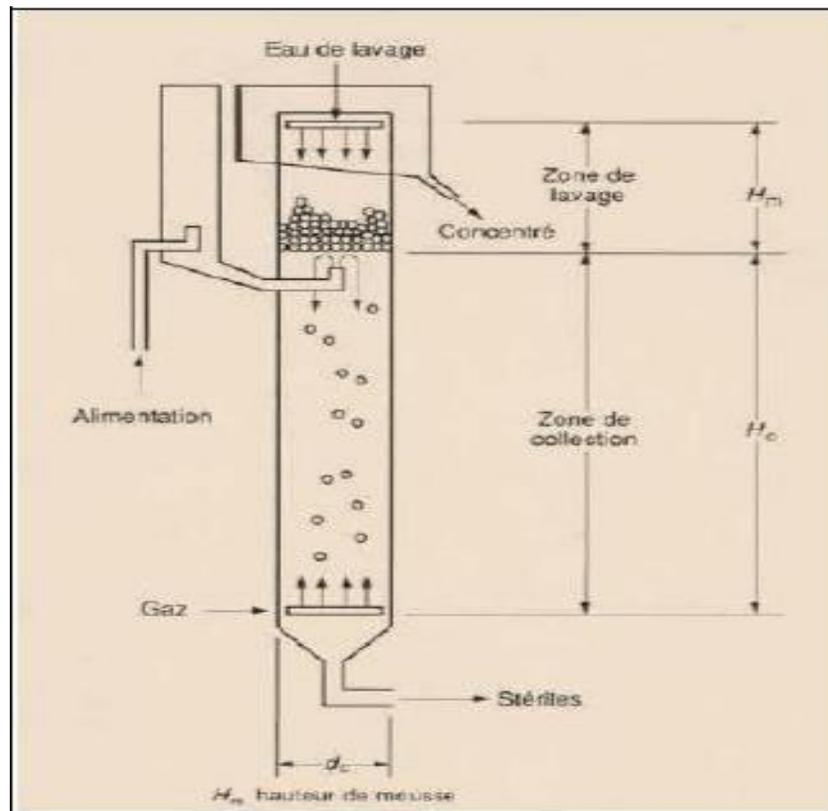
## **3.4 Machines de flottation**

### **3.4.1 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 partie supérieure, une aspersion d'eau assure le lavage des mousses recueillies.



**Figure II.4 :** Schéma d'une colonne de flottation.

Elles se différencient de plus par leur contenu d'air (10 à 25% pour la zone de collection et supérieur à 60% pour la zone d'écume). Les colonnes industrielles ont souvent une hauteur de 9 à 15m et un diamètre de 0.5 à 3m. La zone de collection est

approximativement de 75 à 90% de la longueur totale. Un système de génération de bulles d'air est inclus à la base de la colonne et un débit d'eau de lavage est additionné au sommet pour pouvoir effectuer un nettoyage de la mousse (concentré).

### **3.4.2 Cellule de flottation**

Couramment utilisée pour les processus primaires de séparation, elle peut être le résultat d'un dégagement gazeux à partir d'une fermentation par exemple. C'est le cas avec l'écume

Dans les digesteurs qui peuvent contenir jusqu'à 20 à 40 % de solide en suspension (SS) même si leur densité est seulement de 0.7 ou 0.8 kg.l<sup>-1</sup>. La flottation naturelle est améliorée si l'on injecte des bulles d'air dans la masse liquide. On utilise des aérateurs mécaniques en diffusant de fines bulles d'air afin d'éliminer les huiles. L'effet de transport de l'air dû aux bulles permet de pousser les particules à la surface du liquide dans le but de favoriser leur accumulation. [25]

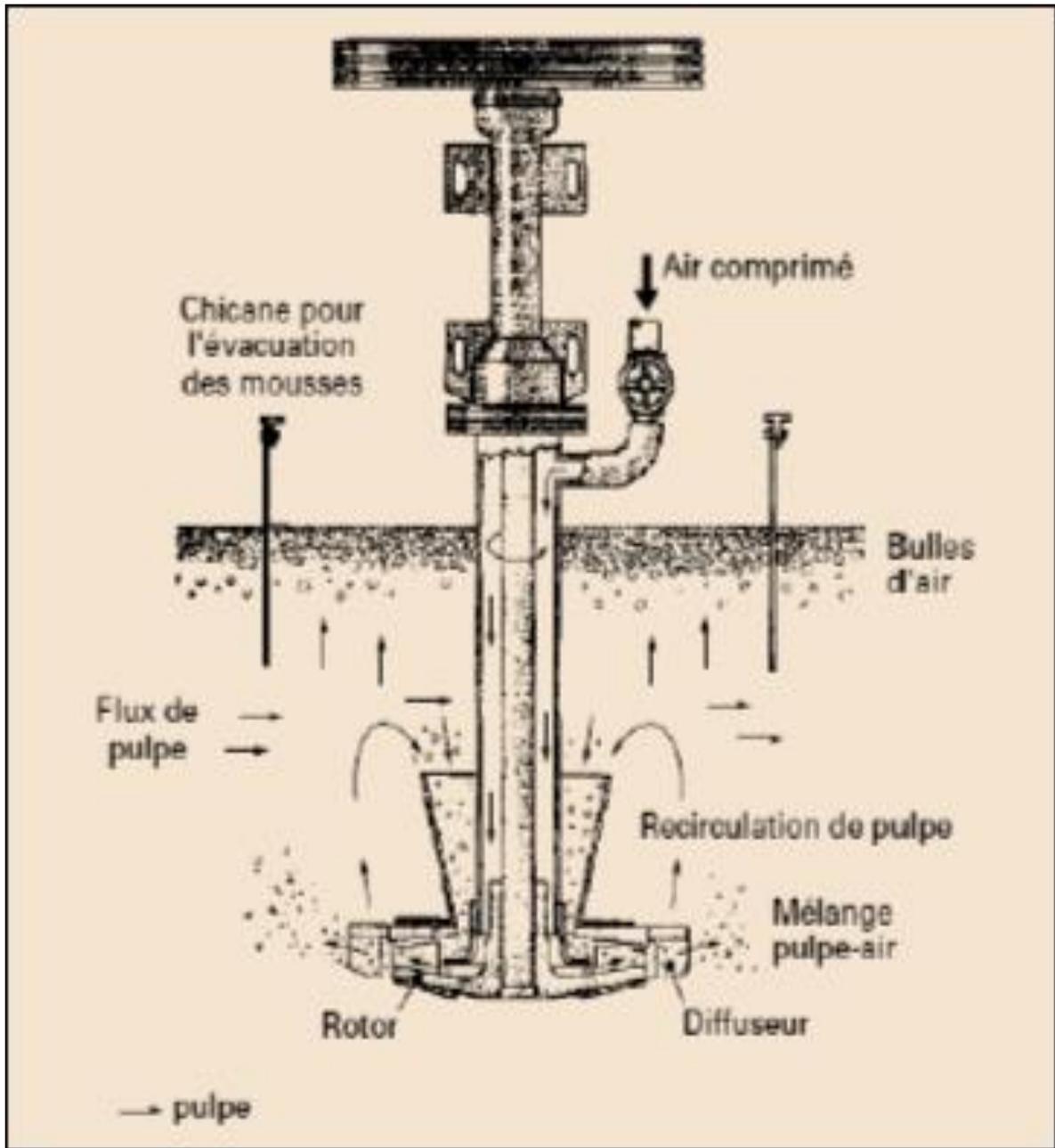


Figure II.5 : Cellule de flottation Denver Sala type DR ouvert. [25]

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

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. [26]

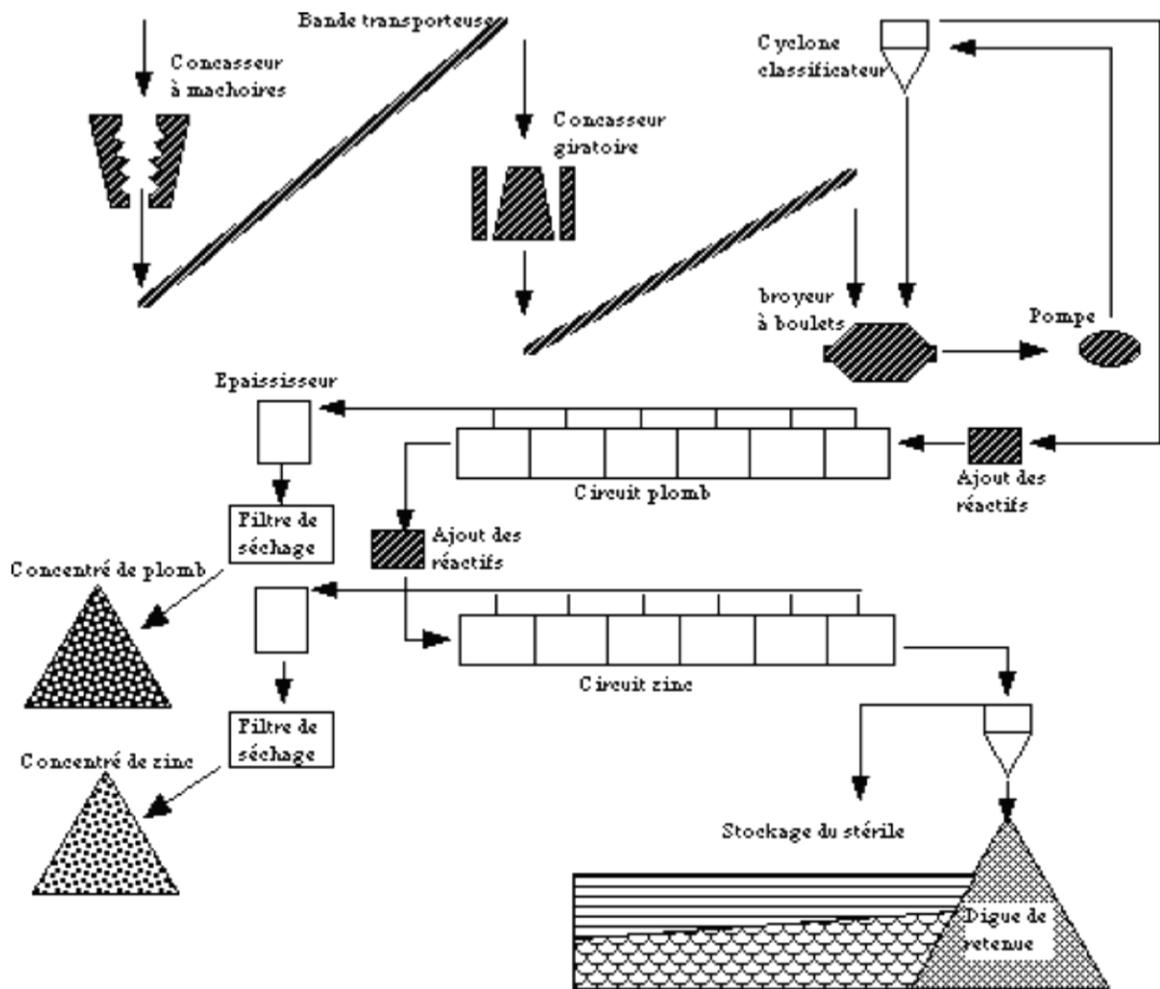


Figure II.6 : Schéma de principe d'un circuit de traitement de minerai de Zinc-Plomb.

[Société chimique de France 2015]

b) 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 :

Produits	Masse en %	Teneur en Pb	Teneur en Zn
Tout-venant	<b>100,0 %</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>

Consommations de réactifs : [27]

Circuit plomb		Circuit zinc	
CaO	<b>1500 g/t</b>	CaO	<b>2560 g/t</b>
NaCN	<b>70 g/t</b>	CuSO <sub>4</sub>	<b>300 g/t</b>
Ethyl et amyloxanthate	<b>70 g/t</b>	Ethyl et amyloxanthate	<b>120 g/t</b>
Huile de pin	<b>5 g/t</b>		

## 4.2. En Algérie

### 4.2.1 Exemple 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<sub>4</sub>; on ajoute à la pulpe de l'Aeroflot comme moussant et du butyle xanthate pour collecter le plomb alors que le KCN et le ZnSO<sub>4</sub> 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. Ensuite un filtre séchera la pulpe et le concentré sera extrait vers une aire de stockage. Le même procédé est appliqué pour le zinc. Au lieu de l'apport du ZnSO<sub>4</sub>. On remplace le sulfate de zinc (ZnSO<sub>4</sub>) par l'activant de sulfate de cuivre, afin de flotter le zinc. [28]

**Schéma technologique actuelle des  
minerais plomb-zinc du gisement  
Chaabet El Hamra**

## **Chapitre III : Schéma technologique actuelle des minerais plomb-zinc du gisement Chaabet El Hamra**

### **1. Généralité**

La flottation est l'un des principaux procédés d'enrichissement d'un ou de plusieurs minéraux utiles.

Le processus consiste à mettre en suspension dans une solution des réactifs le minerai préalablement concassé et broyé. Cette suspension appelée pulpe représenté un système dispersé hétérogène. Comportant trois phases (solide-liquide-gaz). Sous l'action des collecteurs, la surface d'un ou plusieurs minéraux s'hydrophobies, ce qui leurs permet de se fixer à des bulles d'air. De cette manière, les minéraux flottent sous forme de mousse. Cette mousse riche en minéraux flottés est appelée « concentré ». Les autres éléments, en générale de la roche restent en suspension dans la pulpe, portant le nom « Gange ».

L'usine d'enrichissement du complexe minier de Kharzat Youssef est conçue pour le traitement du minerai de zinc provenant de Chaabet el Hamra. [29]

### **2. Préparation mécanique**

#### **2.1. Section criblage et concassage**

La section de traitement mécanique du minerai est conçue pour fonctionner avec une cadence de l'ordre de 221820T /j.

La réduction du tout-venant de 0 à 350 mm jusqu'à 0 à 20 mm s'effectue en deux étapes :

- 1) Première étape : obtention de la classe 0 - 40mm une fois déversé dans la trémie de réception, le minerai est introduit dans un concasseur à mâchoires.
- 2) Deuxième étape : obtention de la classe 0-15mm :

Les produits issus du concasseur a mâchoire (0/40mm) est acheminé à l'aide d'un transporteur a bande n°1 d'une longueur de 74 m vers le crible vibrant de type SYMONS. La classe supérieure à 20mm est dirigée vers le concasseur a cône, cet appareil fonctionne en cycle fermé avec le transporteur à bande n°1.

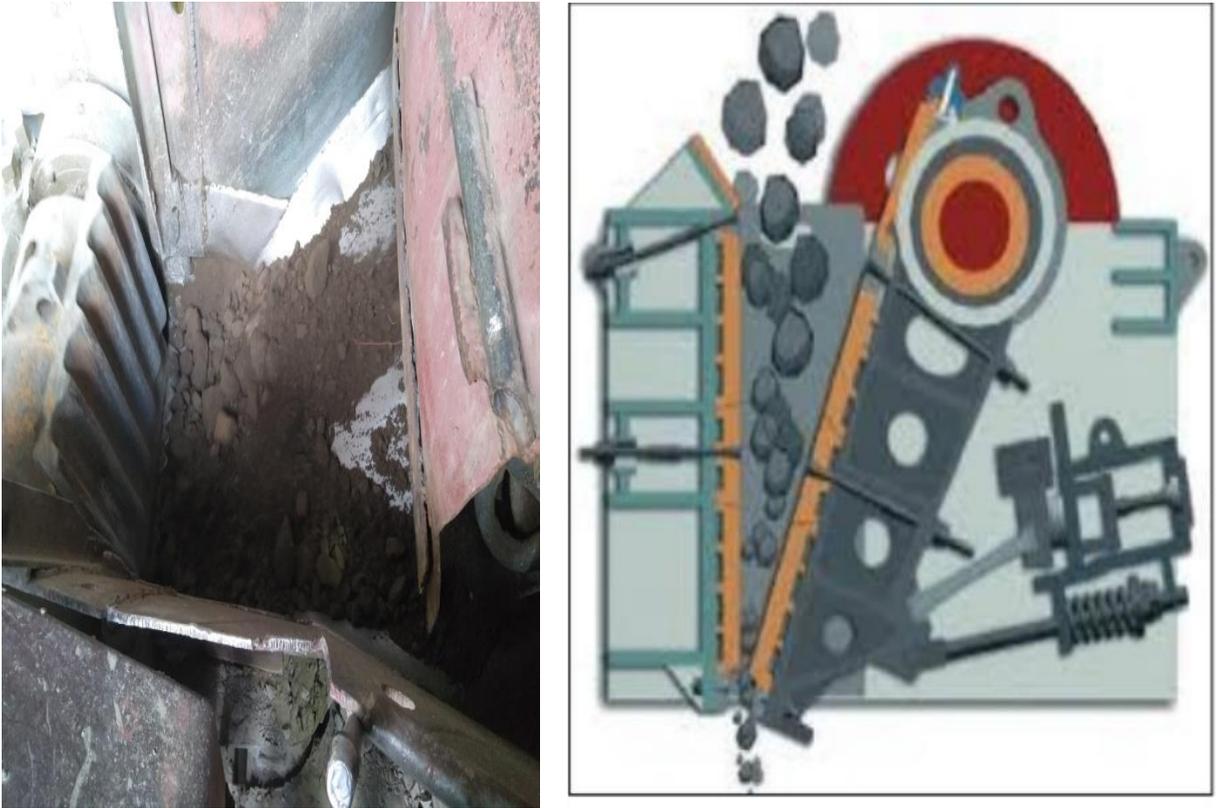
Le produit inférieur à 20 mm est stocké dans 02 trémies métalliques d'une capacité de 25 tonnes chacun.

3) Le minerai est acheminé vers le corps principal de la laverie par l'intermédiaire du convoyeur à bande n°5 (L=45m) est stocké dans deux trémies en béton de capacité de 100 tonnes chacune.

## **2.2 Equipements de la section de concassage et de criblage**

### **1. CONCASSEUR A MACHOIRES :**

- Type VB-57 provenance France
- Ouverture 380 x 570mm vidange 40mm
- Capacité 75T/h



**Figure III.1 : Concasseur a mâchoire [30]**

## 2. CRIBLE VIBRANT :

- Type (SYMONS-NORBERG) provenance Angleterre
- Dimension de la maille 20 mm
- Capacité de production 150 t/h



**Figure III.2 : crible vibrant [photo personnelle]**

### 3. CONCASSEUR A Cône :

- Type KCT-1200 provenance Bulgarie
- Diamètre 1200 mm
- Orifice d'évacuation 10 mm
- Capacité de production 45T/h

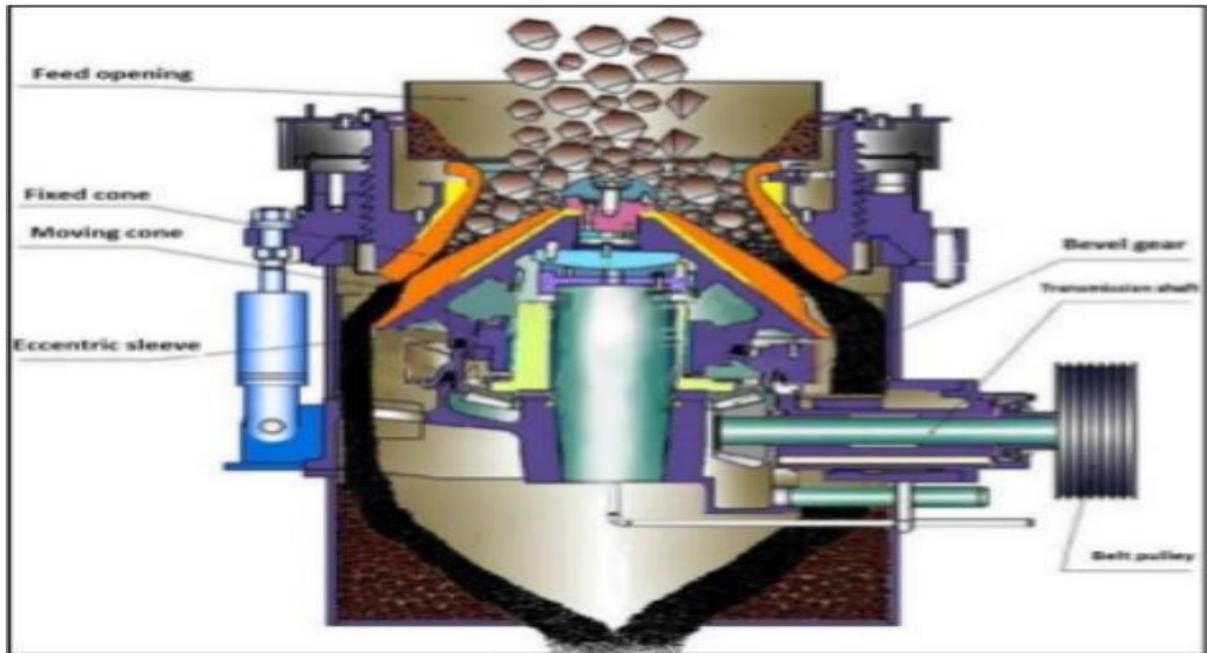


Figure III.3 : Concasseur a cône [30]

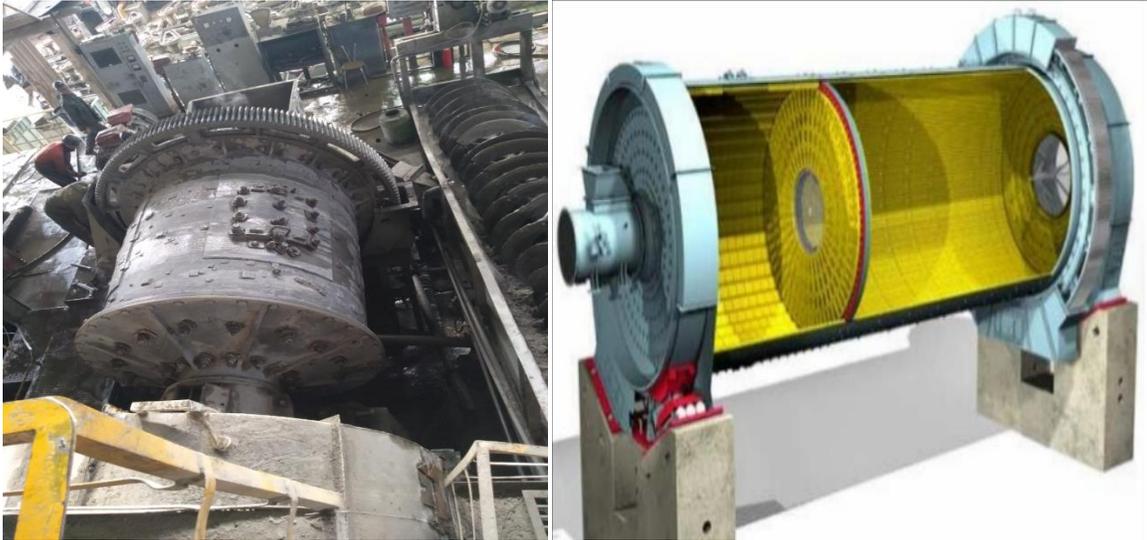
### 2.3 Section broyage et classification

Le broyage et la classification visent à révéler les particules minérales et ce qui garantissent les conditions optimales aux l'obtenir une récupération maximum des parties intégrantes utiles avec la qualité la plus haute possible et une consommation d'énergie et de réactif minimale.

Le procédé de broyage s'effectue par un broyeur à boulets fonctionnant avec un classificateur mono spirale.

## 2.4 Equipement et installation de la section de broyage et classification

Broyeur à boulets :



**Figure III.4 :** broyeur à boulets [30]

Un diamètre de 2100 mm et une longueur de 2200 mm avec un volume de 6,2 m<sup>3</sup>

### 2.5 Calcule de la capacité de production du broyeur

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

La capacité du broyeur est définie comme suit :

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

$$V_{br} = 6,2 \text{ m}^3$$

$$q : \text{productions de broyeur} = (0,77 \text{ t/m}^3 \text{ H})$$

B1 : teneur de la classe (0,074mm) dans le minerai broyé 65%

B2 : teneur de la classe (0,074mm) dans le tout-venant 17%

$$Q = 6.2 \times 0,77 \times 100 / (65 - 17) = 9.94 \text{ t/h} \approx 10 \text{ t/h}$$

Un classificateur mono spiral :

Classificateur travaille au principe comme ceci au-dessous:

D'après la différence de dimension et de proportion, les solides granulaires descendent dans le liquide à différente vitesse, les granules fins vont flotter dans la surface de l'eau et sortir suivre l'eau; les granules gros vont sombrer dans le fond de réservoir, et peuvent ils sont poussés par l'hélice jusqu'au supérieur et déchargées après. Classificateur vise à classier et filtrer les matériaux broyés par le moulin, ceux gros sont poussés dans l'ouverture d'alimentation de moulin par la lame d'hélice pour les broyer encore, ceux fins sont déchargés par le tube de débordement.

Le siège de cette machine est en acier à auge, mais son corps est soudé en plaque d'acier. La tête de l'arbre spiral est en étui de fer qui est durable et résistant à l'usure. Il y a deux genres de mécanisme élévateur: celui de type électrique et celui de type manuel.



**Figure III.5 :** classificateur mono spiral [photo personnelle]

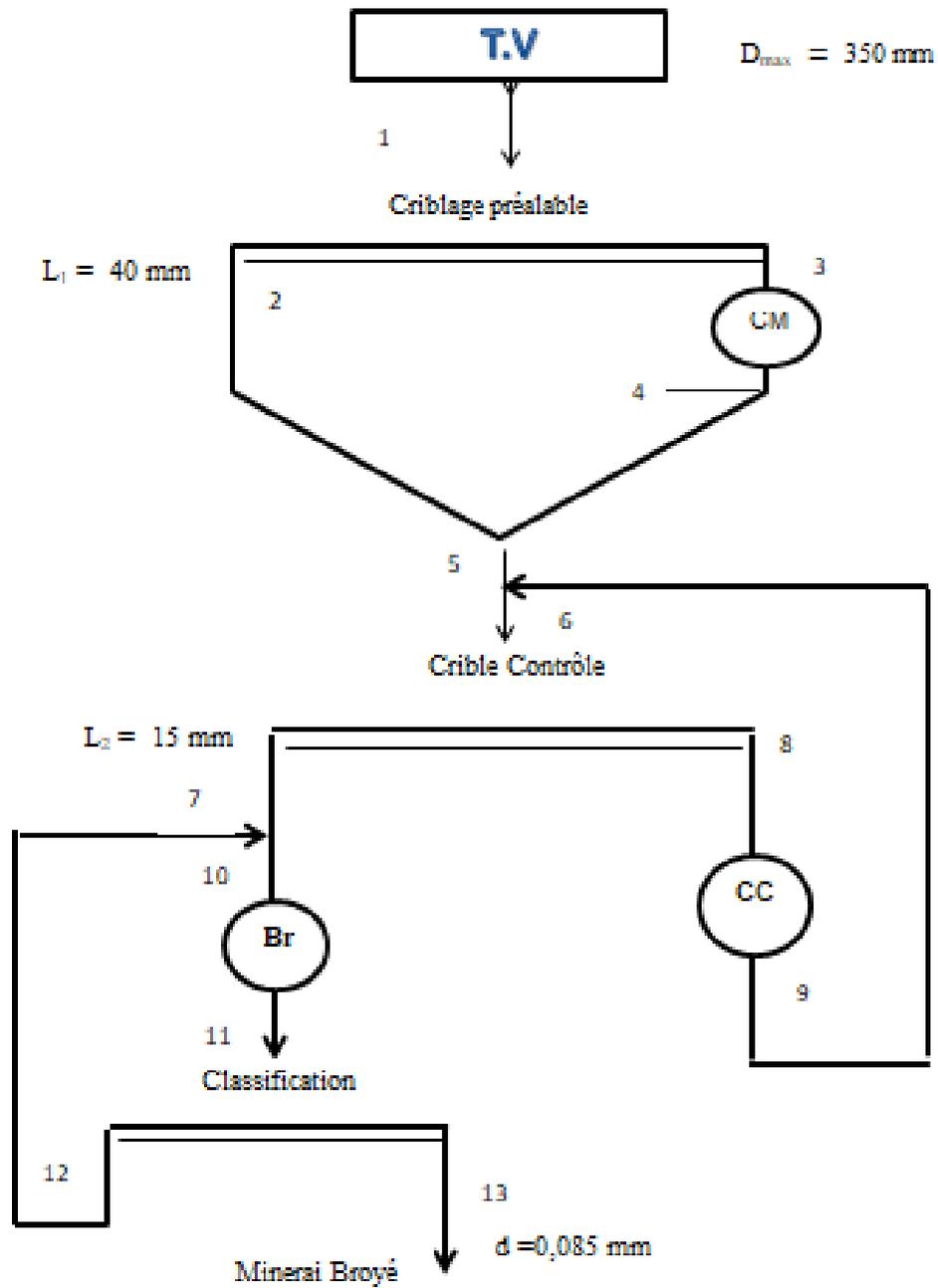


Figure III.6: schéma technologique de prélation mécanique

### 3. Section de Flottation

Le minerai de zinc une fois broyé passe directement dans une cellule d'agitation pour permettre au sulfate de cuivre de libérer les grains des minéraux de zinc et au xanthate de collecter les grains de zinc et les déposent périphériquement aux bulles d'air. Ensuite la pulpe mélangée avec les réactifs passe premièrement par une opération de flottation principale, après une opération de contrôle et trois autres opérations d'épurages, les calculs de la flottation sont faits sur les paramètres suivants :

$$T = 14,4 \cdot W \cdot N \cdot B / Q$$

W = volume de la pulpe dans la machine

N = nombre de machine de flottation

B = taux du solide

14,4 coefficients de transformation des heures en minutes

$$T = 14,4 \cdot 100 \cdot 19 \cdot 39 / 220$$

$$T = 48,50 \text{ mn}$$

#### CAPACITE DE PRODUCTION DU FLUX DE LA PULPE

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

Q = capacité du broyage (t/24h)

E = poids relatif de la pulpe

$$P = (220182 / 39) \times (100/1440) = 0,392 \text{ m}^3/\text{mn} \text{ [2]}$$

Tableau III.1 : Principaux réactifs de la laverie [8]

Réactifs	Consommation spécifique g /t
Sulfate de cuivre	300
Amyl xanthate de potassium	150
Huile de pin /Aeroflot	80
Choux hydrate	4000

#### 4. Section filtration et épaissement

Il est nécessaire de séparer l'eau utilisée dans les différents procédés de séparation du concentré produit ou du résidu stérile. Un bac de décantation dans laquelle est amenée la pulpe à épaisir, au fond les solides rassemblés sont raclés et envoyés vers le filtre à tambour qui consiste à séparer à l'aide d'un filtre de tissu les particules solides dispersées dans l'eau pour former un tourteau (gâteau de concentré) qui peut ensuite être séché avant d'être transporté.[8]

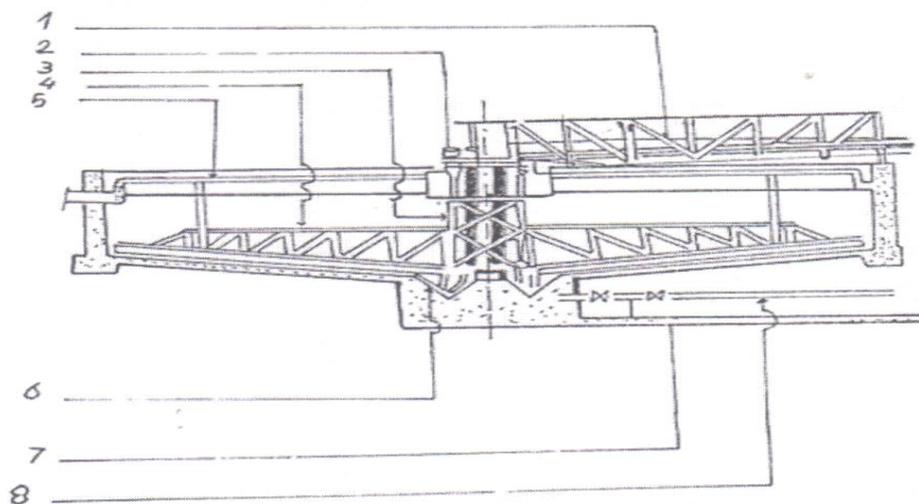


Figure III.7: schéma d'un épaisseur



**Figure III.8.** Photo d'un filtre

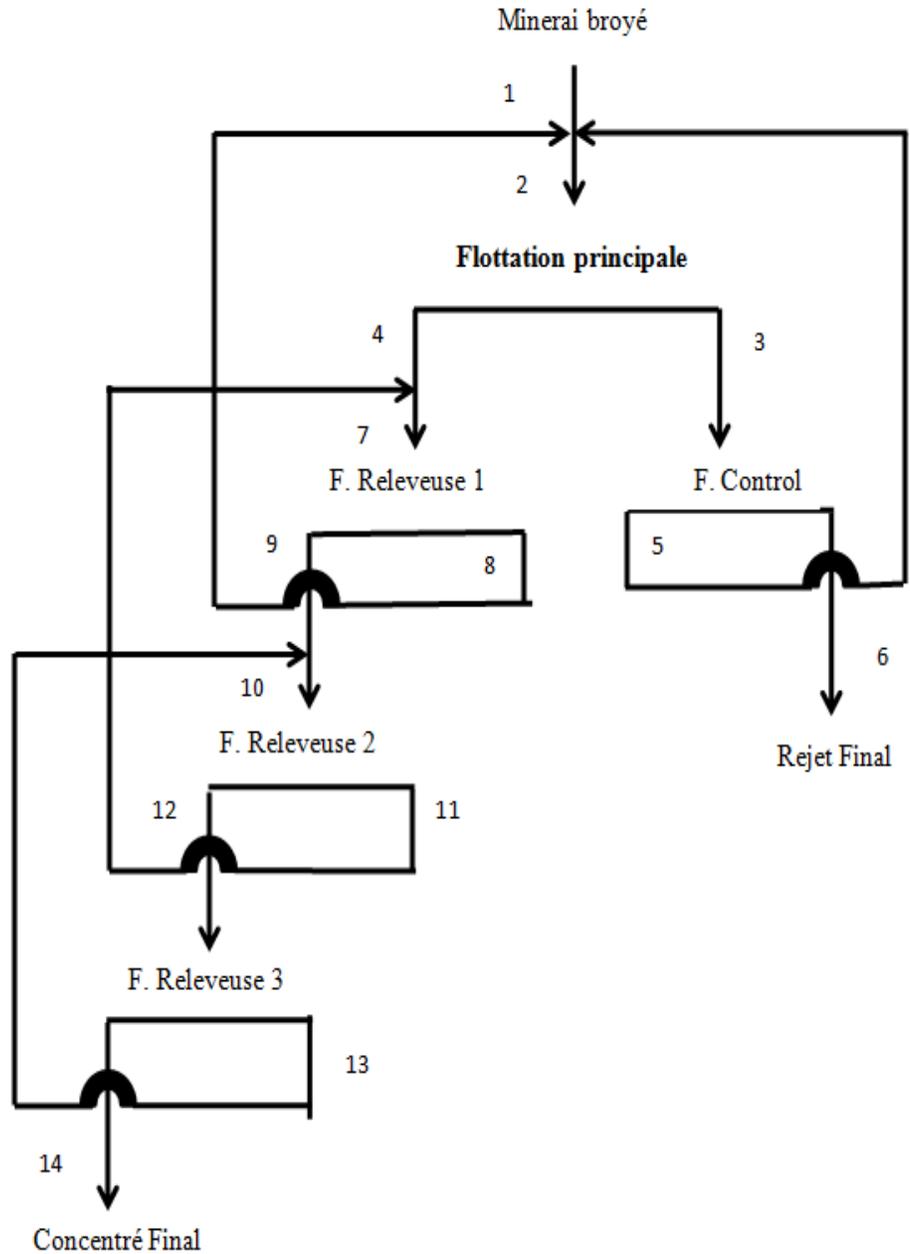


Figure III.9 : schéma technologique de flottation

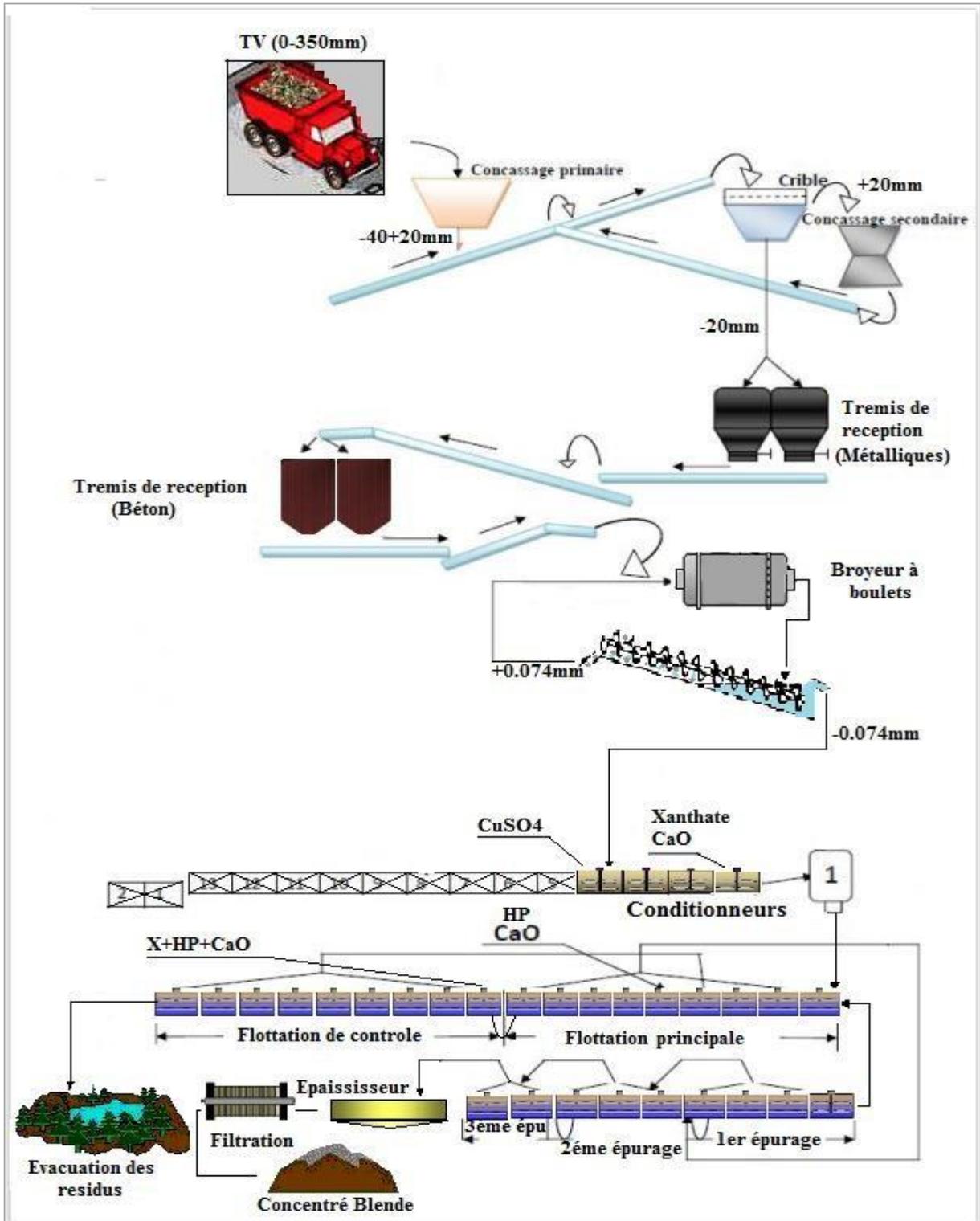


Figure III.10 : Schéma de traitement du zinc de Chaabet-El-Hamra. [8]

## **5. Laboratoire**

### **5.1 Laboratoire d'unité :**

Laboratoire est en relation avec la mine de Chaabet-El-Hamra et la laverie (l'usine de traitement) à effectuer le contrôle sur le TV extrait dans la chaîne de production afin de contrôler le processus qualitativement et quantitativement depuis la matière première (tout revenant de Chaabet-El-Hamra) jusqu'au produit fini (concentré de zinc) et le rejet (stérile).

### **5.2 Echantillonnage et contrôle :**

Le contrôle technologique du produit fini comprend les analyses du concentré de zinc produit par l'usine d'enrichissement, ainsi que le stérile dans le but d'établir les bilans des métaux. Conformément au programme d'échantillonnage.

Mine :

Nombre d'échantillons géologique : environ de 1000 analyses/an. V.

Laverie :

Nombre d'échantillons environ de 1500 analyses/an. Sur la base du travail de 03 postes, on a 03 prélèvements d'échantillons par poste.

Le lieu du prélèvement se fait dans les 05 points :

- ✓ 1ech du TV a traité (entrée du concasseur à mâchoire).
- ✓ 1ech TV concassé (trémies du stockage).
- ✓ 1ech TV broyé (sortie broyage).
- ✓ 1ech du produit fini.
- ✓ 1ech du stérile (rejet).

Au niveau de laboratoire on utilise la méthode classique volumétrique comprend la détermination du teneur en zinc dans le minerai extrait de la mine.

### 5.3 Dosage quantitative de zinc :

Par la Méthode complexe métrique :

Cette méthode est basée sur le titrage volumétrique de l'échantillon analyse avec la solution du sel disodique de E.D.T.A en présence xylénolorange comme indicateur après la dissolution de l'échantillon dans l'acide chlorhydrique.

#### ✓ Matériel et réactifs :

- 1- Acide chlorhydrique HCL – poids spécifique 1 ,19.
- 2- Acide nitrique HNO<sub>3</sub> - poids spécifique 1 ,40.
- 3- Persulfate d'ammonium (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> p.a.
- 4- Ammoniaque NH<sub>3</sub> solution aqueuse 25%.
- 5- Solution 2% d'ammoniaque NH<sub>3</sub> et de chlorure de sodium NaCl.
- 6- Fluorure d'ammonium NH<sub>4</sub>F solution 10%.
- 7- Thiosulfate de sodium Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> solution 10%.
- 8- Acétate d'ammonium (urotropine) solution 25%.
- 9- xylénolorange solution aqueuse 0,1%.
- 10- Solution 0,05M du sel disodique d'E.D.T. A (complexon III) ph<sup>6+</sup>.
- 11- Erlenmeyers de 200 ml.
- 12- Entonnoirs en verre fritte 75mm.

#### ✓ Etalonnage de l'EDTA :

Préparation :

- Dissoudre 18.61g de sel disodique de l'acide ethylenediaminetetraacétique (C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub> 2H<sub>2</sub>O) dans de l'eau et diluer 1000 ml dans une fiole jaugée.

- Conserver la solution d'EDTA dans une bouteille en polyéthylène et en vérifier la concentration de temps à autre.

Calcul de titre d'EDTA :

**A. Mode opératoire :**

- Peser sur la balance analytique 0,250 g du produit à analyser. Mettre cet échantillon dans un erlenmeyer de 200ml, y verser chlorhydrique HCl (10ml) poids spécifique 1,19 et faire bouillir dans un bain à sable jusqu'à la décomposition des sulfures et le dégagement de l'hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S.
- Ajouter dans quelques minutes 4 à 5ml d'acide nitrique HNO<sub>3</sub> poids spécifique 1,40 et faire bouillir jusqu'à décomposition totale du produit et qu'il ne reste que 0,5ml de liquide dans la fiole. (Figure.A.I.1).



**Figure III.11** : Principe de la première étape.

- Enlever l'erlenmeyer du bain à sable, le refroidir, ajouter 25ml d'eau faire bouillir, ajouter 1 00 à 200mg de persulfate d'ammonium(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> et 25ml d'ammoniaque NH<sub>3</sub> solution 25% faire bouillir de nouveau pendant 2à3 minutes pour obtenir la coagulation totale des hydroxydes de fer et l'oxydation du plomb.

- Enlevé la fiole du bain à sable, la refroidir et filtrer à travers un filtre non plié à dureté moyenne. Laver deux fois la fiole avec de la solution 2% d'ammoniaque  $\text{NH}_3$  et de chlorure d'ammonium  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Laver encore deux fois le dépôt sur le filtre.



**Figure III.12:** Deuxième étape.

- Après l'égouttement, éluer le dépôt le premier Erlenmeyer à l'aide d'un peu d'eau et d'une pissette, le dissoudre dans quelques gouttes d'acide chlorhydrique  $\text{HCl}$  et de perhydrol  $\text{H}_2\text{O}_2$  solution 3%, rajouter 100 à 200 mg de persulfate d'ammonium ( $\text{NH}_4$ )  $2\text{S}_2\text{O}_8$  et 25ml de solution 25% d'ammoniaque  $\text{NH}_3$ .
- Faire bouillir de nouveau et filtrer de nouveau à travers à le même filtre dans la même fiole réceptrice (bécher récepteur). Laver encore deux à trois fois la fiole et le dépôt avec la même solution. Après l'égouttement enlever le filtre de l'entonnoir et laver ce dernier avec la solution de lavage.



**Figure III.13** : Troisième étape.

- Mettre 2à3 morceaux de papier filtre propre dans le filtre et chauffer. Cette dernière dans le bain à sable pour faire évaporer l'ammoniaque. Puis enlever la fiole du bain à sable et la refroidir à l'eau courante.

- Verser 2à3 ml de fluorure d'ammonium  $\text{NH}_4\text{F}$  solution 10% afin d'éviter l'influence gênante des  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Al}^{+++}$  et les traces de  $\text{Fe}^{+++}$ . Ajouter 2à3 ml de solution 10% de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  pour masquage du cuivre.

Cette méthode ne permet pas d'éviter l'influence gênante du cadmium  $\text{Cd}$  et si aucune mesure n'est prise pour sa séparation, c'est que sa présence est en quantités infimes. Ce pendant en cas de présence sensible de cadmium, une analyse de ce métal pourra être effectué à dans le but de corriger le résultat de teneur en Zinc.

- Dissoudre 0.1g de Zn pure 99.99% dans l'acide chlorhydrique  $\text{HCl}$  (1+1) 10ml et chauffer légèrement.
- Ajouter quelque goutte d'ammoniaque.
- Verser dans la fiole 2à3 gouttes de l'indicateur xylénorange.
- Ajouter à l'aide d'un compte-gouttes quelque gouttes d'acide chlorhydrique  $\text{HCl}$  jusqu'à ce que la couleur de la solution tourne au jaune citron et tamponner le pH avec 20ml de l'acétate d'ammonium (Urotropine) solution 25%.

- Le titrage doit être effectué avec de la solution du sel disodique de l'E.D.T. A jusqu'à ce que la couleur tourne du bleu violet au jaune citron.
- Relever la quantité (en ml) de complexes III Utilisée pour le titrage.

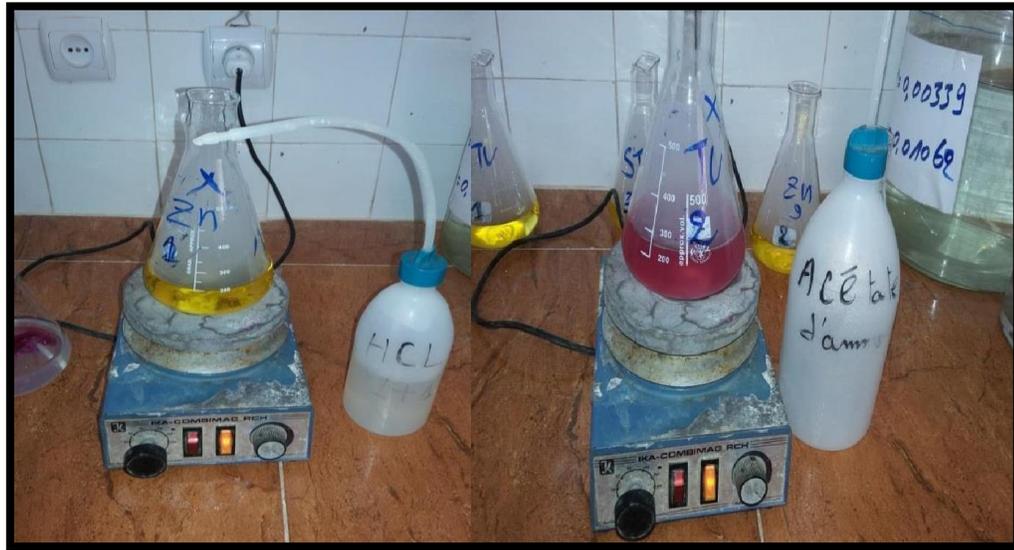


Figure III.14: Dernière étape de manipulation.

#### B. Dosage avec l'EDTA :

- $T = m/V$  (titre de l'EDTA).
- $M = 0.1$  masse Zn pure.
- $V =$  Volume de l'EDTA.

Calcul :

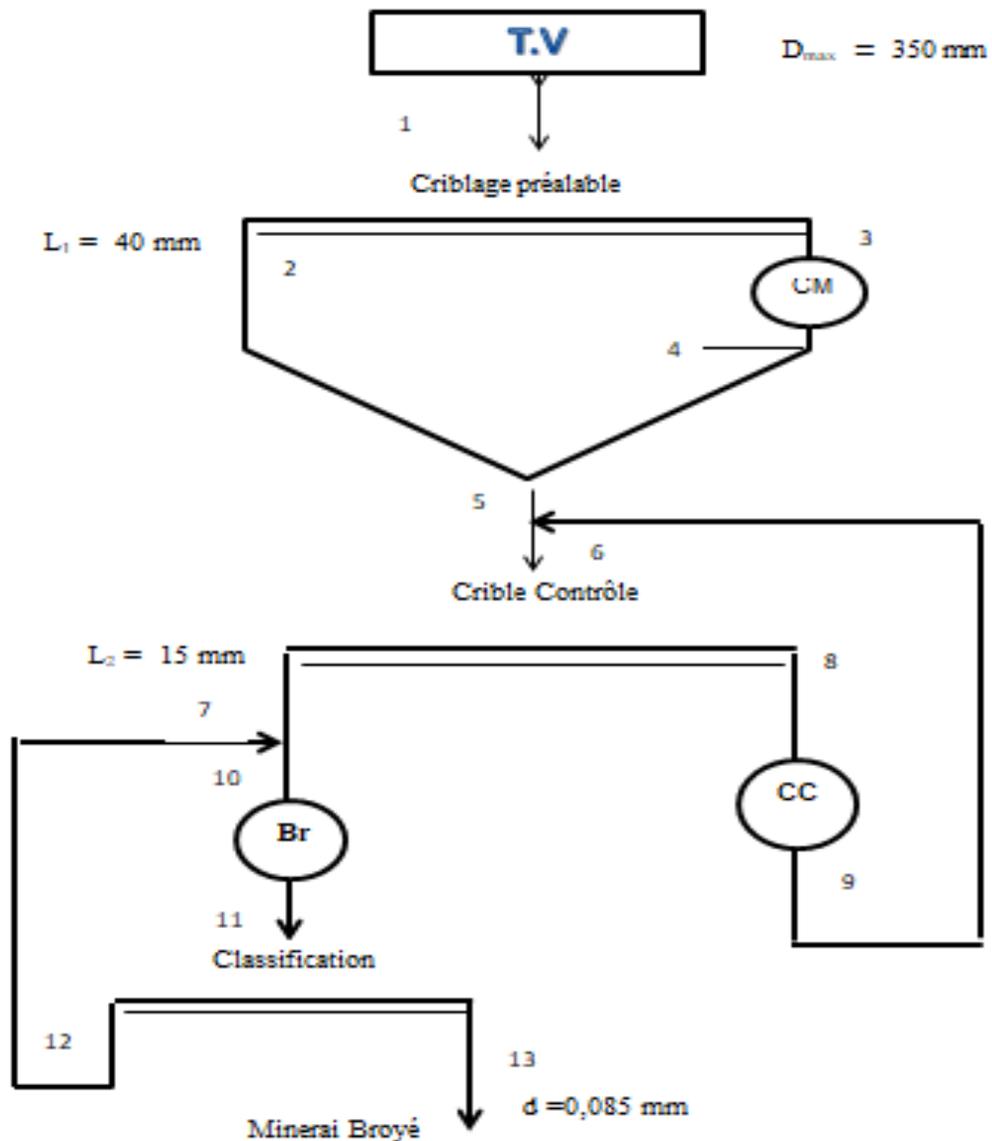
$$\text{Zn \%} = \frac{A \times T \text{ Zn} \times 100}{G} . [29]$$

# **Partie expérimentale**

## Chapitre IV : Partie expérimental

### 1. pour le minerai de Zn de Chaabet el Hamra

#### 1.1 Section de la préparation mécanique



**Figure IV.1:** schéma technologie de la préparation mécanique actuel dans l'usine de Chaabet el Hamra.

Donnée de départ pour la préparation mécanique

$$D_{\max} = 350 \text{ mm}$$

Fente de déchargement pour le premier étage de concasseur à mâchoire est

$$s_1 = 40 \text{ mm}$$

Fente de chargement pour le 2<sup>ème</sup> étage de concassage concasseur à cône est

$$S_2 = 40 \text{ mm}$$

Fente de déchargement pour le 2<sup>ème</sup> étage de concassage est

$$s_2 = 15 \text{ mm}$$

### 1.2. Calcul du degré de réduction

Pour le 1<sup>er</sup> étage  $i_1$

$$i_1 = \frac{D_{\max}}{d} = \frac{350}{40} = 8$$

Pour le 2<sup>ème</sup> étage  $i_2$

$$i_2 = \frac{40}{15} = 3$$

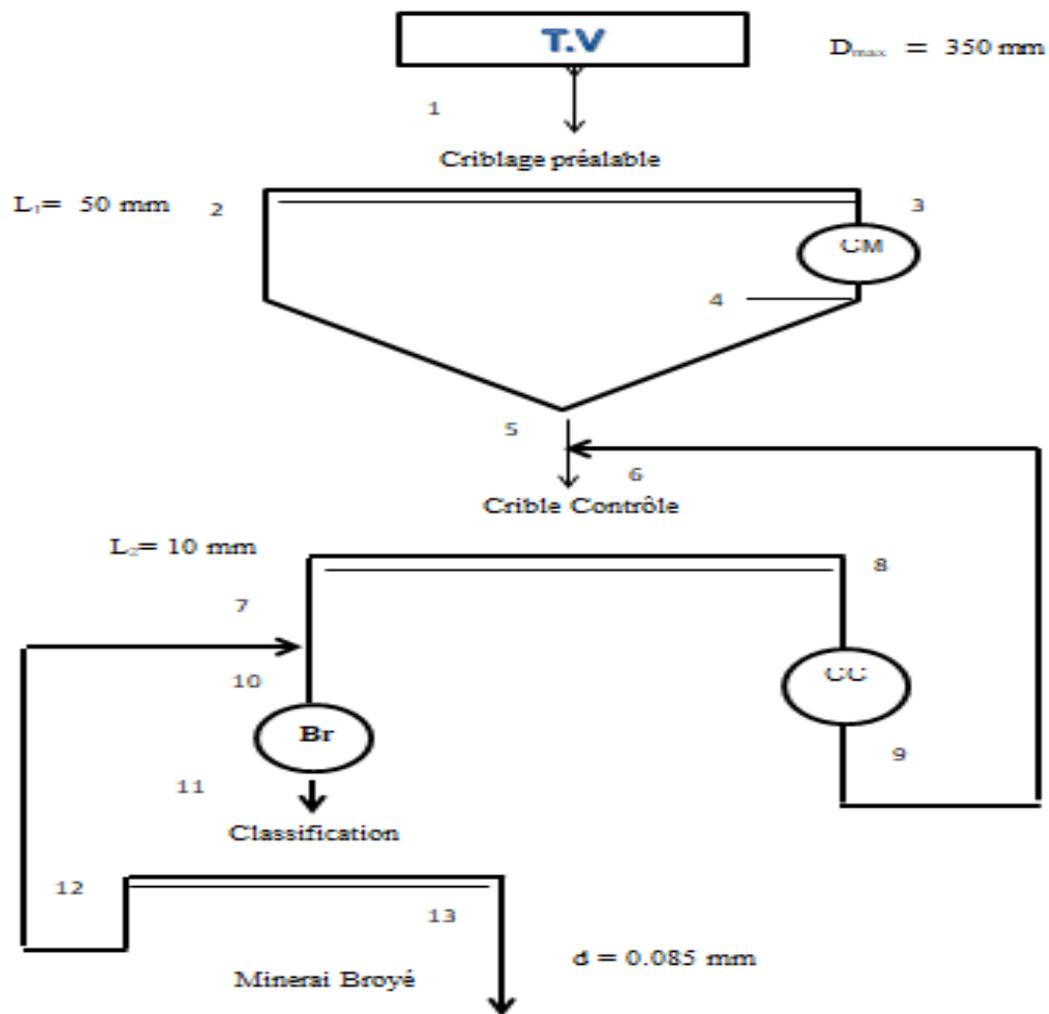
$$I_g = i_1 \times i_2 = 8 \times 3 = 24$$

Selon le schéma de la préparation mécanique actuel de la laverie de Kharzat Youssef qui traite le minerai de Zn de Chaâbat el Hamra et qui utilise des dimensions hors norme tel-que les dimensions des cribles (L1 et L2) et les fentes de chargement et de déchargement ( $S_1$ ,  $s_1$ ,  $S_2$  et  $s_2$ ).

Pour cela il faut régler les fentes de chargement et de déchargement du concasseur primaire et secondaire, et au même temps remplacer les cribles existant avec d'autres cribles de dimensions différentes, en ajoutant aussi un deuxième schéma de préparation mécanique pour le minerai Plomb Zinc de Kharzat Youssef similaire à celui qui traite le minerai de Zinc de Chaâbat el Hamra.

**1.3. Les nouveaux paramètres**

- ✓  $D_{max} = 350$  mm
- ✓ Fente de déchargement pour le 1<sup>er</sup> étage;  $s_1 = 50$  mm.
- ✓ Fente de chargement pour le 2<sup>ème</sup> étage;  $S_2 = 50$  mm.
- ✓ Fente de déchargement pour le 2<sup>ème</sup> étage;  $s_2 = 10$  mm.
- ✓ Le diamètre de la maille du criblage préalable  $L_1 = 50$  mm.
- ✓ Le diamètre de la maille du criblage préalable  $L_2 = 10$  mm.



**Figure IV.2:** schéma technologie de la préparation mécanique proposé pour Chaabet el Hamra

#### 1.4. Calcul du degré de réduction

$$i_1 = \frac{D_{\max}}{d} = \frac{350}{50} = 7$$

$$i_2 = \frac{50}{10} = 5$$

$$I_g = i_1 \times i_2 = 7 \times 5 = 35$$

### 3. Pour le minerai de Pb-Zn de Kharzat Youssef

#### 3.1. Section de la préparation mécanique

Dans la préparation mécanique, on propose le même appareillage parce que la mine de Kharzat Youssef avant le fermé il utilise l'appareillage qui existe maintenant dans l'usine, mais avec les nouveaux paramètres.

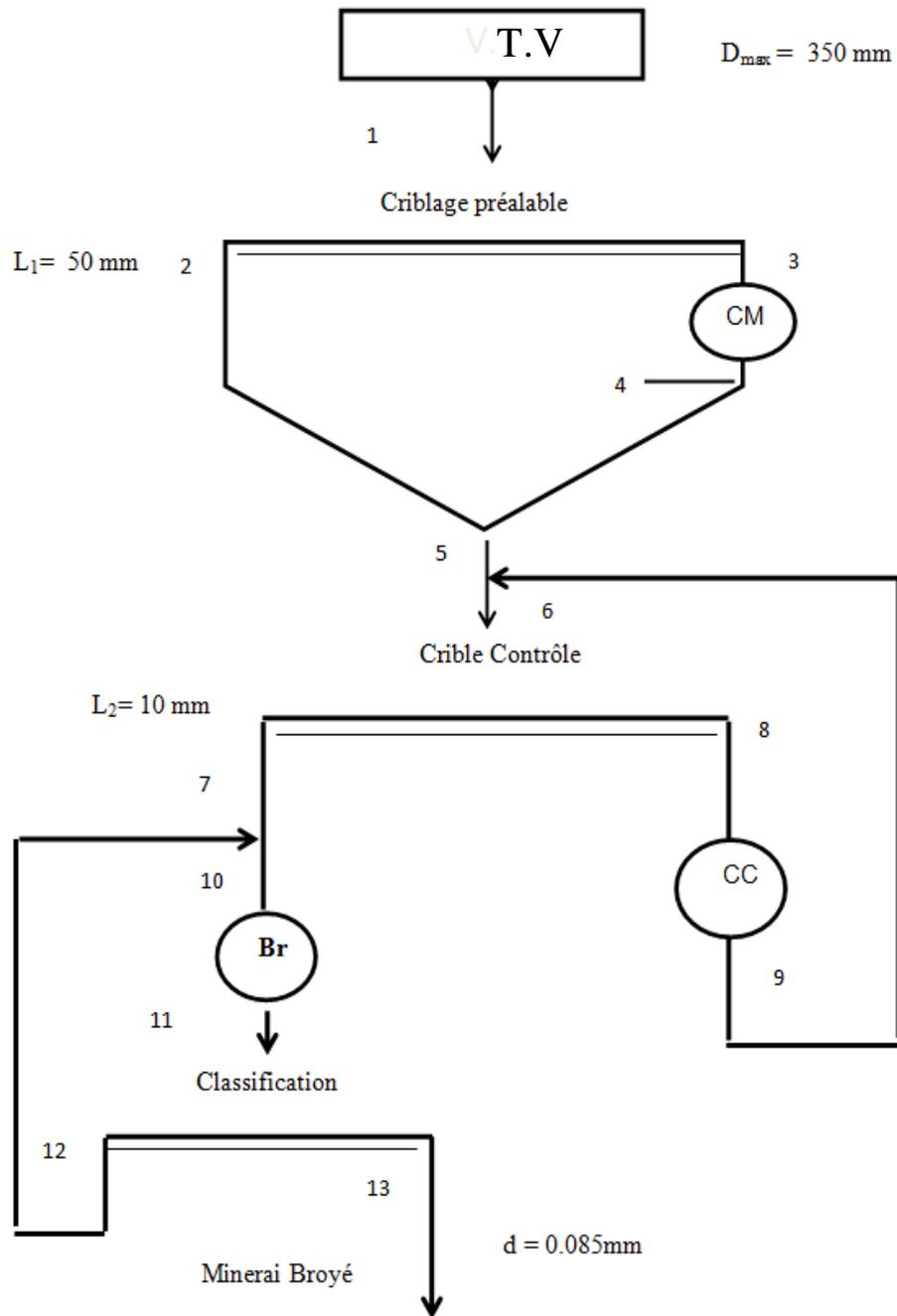
Deux étage de concassage et le 2<sup>ème</sup> étage un cycle fermé. On utilise les concasseurs suivant

Dans le 1<sup>er</sup> étage un concasseur à mâchoire double effet

Dans le 2<sup>ème</sup> étage un concasseur à cône

Avec un crible vibrant pour le criblage de contrôle.

Dans la section de broyage. Un seul étage de broyage avec un cycle fermé. Un broyeur à boulet et un classificateur mono spirale.



**Figure IV.4:** schéma technologie de la préparation mécanique proposé pour Kharzat Youssef

$D_{\max} = 350 \text{ mm}$

Fente de déchargement pour le 1<sup>er</sup> étage;  $s_1 = 50 \text{ mm}$ .

Fente de chargement pour le 2<sup>ème</sup> étage;  $S_2 = 50 \text{ mm}$ .

Fente de déchargement pour le 2<sup>ème</sup> étage;  $s_2 = 10 \text{ mm}$ .

Le diamètre de la maille du criblage préalable ;  $L_1 = 50 \text{ mm}$ .

Le diamètre de la maille du criblage préalable ;  $L_2 = 10 \text{ mm}$ .

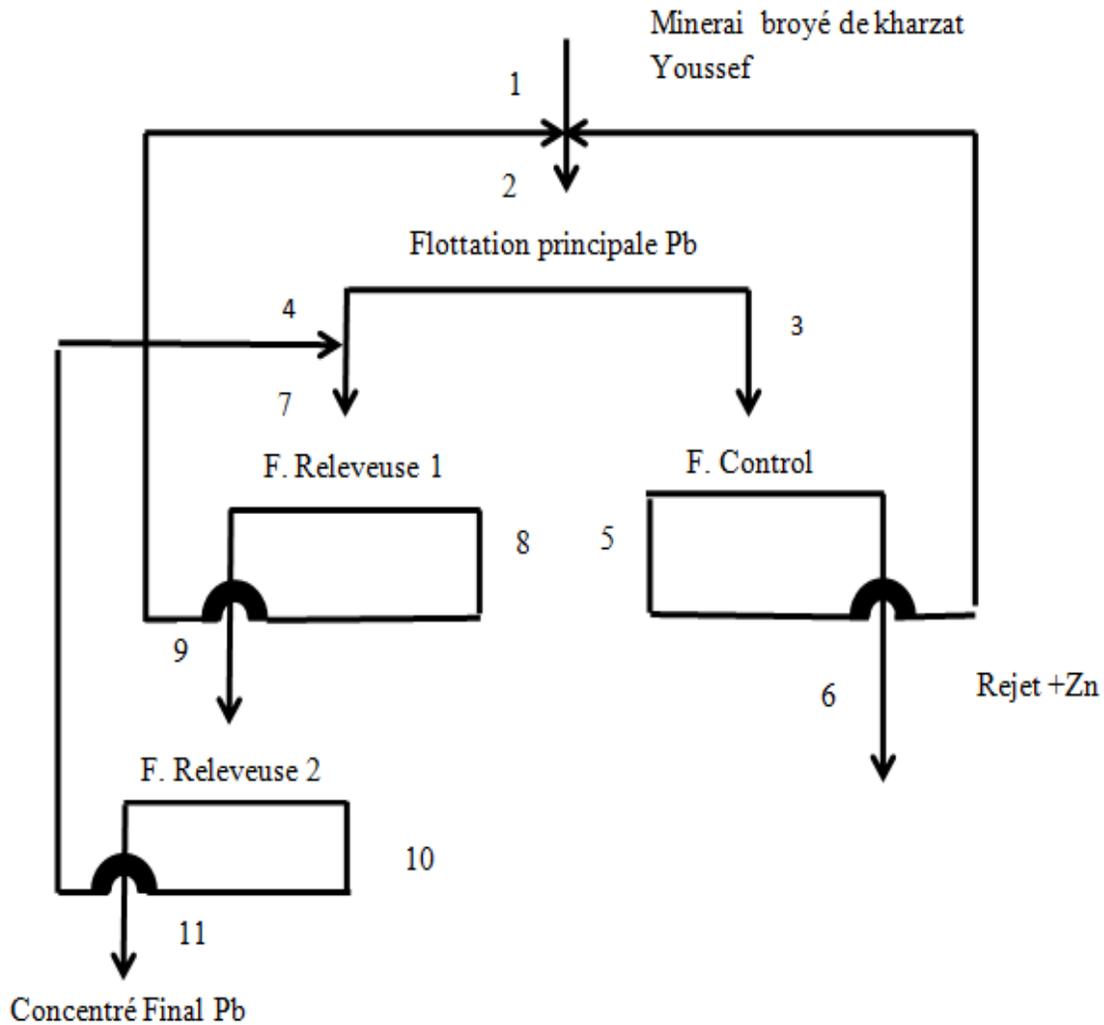
### 3.2 Calcul du degré de réduction

$$i_1 = \frac{D_{\max}}{d} = \frac{350}{50} = 7$$

$$i_2 = \frac{50}{10} = 5$$

$$I_g = i_1 \times i_2 = 7 \times 5 = 35$$

3.3. Section d'enrichissement



**Figure IV.5:** schéma technologie proposé pour la flottation du Pb-Zn de Kharzat Youssef

La quantité initiale du tout venant de minerai Kharzat Youssef dans l'usine est

$$Q_2 = 16,5 \text{ t/h}$$

$Q_2$  ; la quantité initiale du minerai Pb-Zn de Kharzat Youssef.

$$V_2 = \frac{Q_2}{Q_2} \times 100\% \quad V_2 = \frac{16,5}{16,5} \times 100\% \quad V_2 = 100 \%$$

### 3.3.1. Données de départ pour la flottation de minerai de kharzat Youssef

- Pour le cycle de plomb

$$\beta_1^{Pb} = 20\%$$

$$\beta_4^{Pb} = 43,3\%$$

$$\beta_3^{Pb} = 10,1\%$$

$$\beta_8^{Pb} = 11,8\%$$

$$\beta_9^{Pb} = 53,5\%$$

$$\beta_{11}^{Pb} = 61,0\%$$

$$\beta_5^{Pb} = 15,4\%$$

$$\beta_6^{Pb} = 2,1\%$$

$$\beta_{10}^{Pb} = 18,7\%$$

- Pour le cycle de zinc.

$$\beta_8^{Zn} = 5,2\%$$

$$\beta_9^{Zn} = 3,4\%$$

$$\beta_3^{Zn} = 58,3\%$$

$$\beta_5^{Zn} = 31,9\%$$

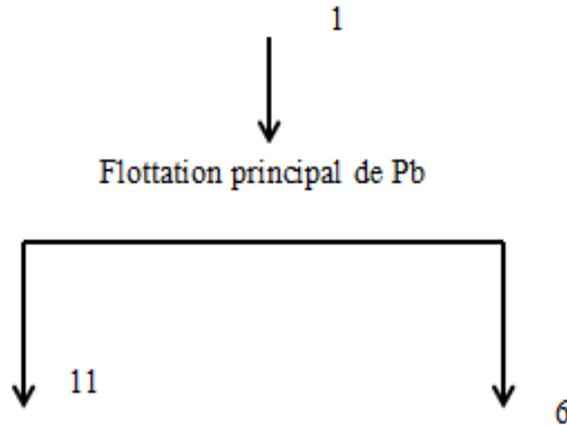
$$\beta_1^{Zn} = 50,8$$

$$\beta_{11}^{Zn} = 0,75\%$$

$$\beta_6^{Zn} = 65,0\%$$

$$\beta_{10}^{Zn} = 1,5\%$$

$$\beta_4^{Zn} = 4,7\%$$



$$Y_1 = Y_{11} + Y_6$$

$$Y_1 \beta_1^{Pb} = Y_{11} \beta_{11}^{Pb} + Y_6 \beta_6^{Pb}$$

$$Y_{11} = Y_1 - Y_6$$

$$Y_1 \beta_1^{Pb} = Y_{11} \beta_{11}^{Pb} + Y_6 \beta_6^{Pb}$$

$$Y_1 \beta_1^{Pb} = (Y_1 - Y_6) \beta_{11}^{Pb} + Y_6 \beta_6^{Pb}$$

$$Y_6 = \frac{Y_1 (\beta_{11}^{Pb} - \beta_1^{Pb})}{(\beta_{11}^{Pb} - \beta_6^{Pb})} = \frac{100 (61 - 20)}{(61 - 2,1)} = 69,60 \%$$

➤  $Y_6 = 69,60 \%$

$$Y_6 = Y_1 - Y_{11}$$

$$Y_1 \beta_1^{Pb} = Y_{11} \beta_{11}^{Pb} + Y_6 \beta_6^{Pb}$$

$$Y_1 \beta_1^{Pb} = Y_{11} \beta_{11}^{Pb} + (Y_1 - Y_{11}) \beta_6^{Pb}$$

$$Y_{11} = \frac{Y_1 (\beta_1^{Pb} - \beta_6^{Pb})}{(\beta_{11}^{Pb} - \beta_6^{Pb})} = \frac{100 (20 - 2,1)}{(61 - 2,1)} = 30,40 \%$$

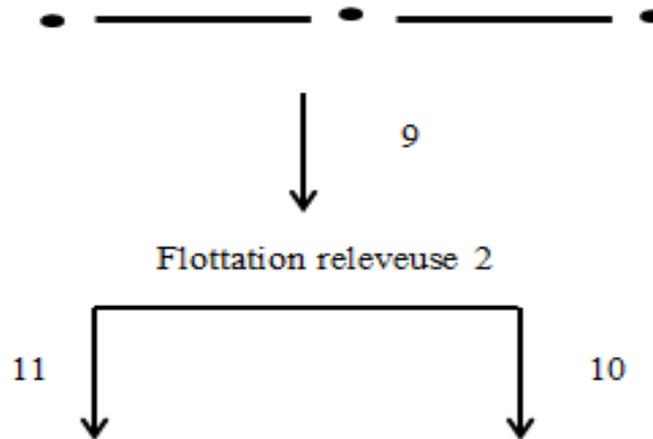
➤  $Y_{11} = 30,40 \%$

Vérification

$$Y_1 = Y_{11} + Y_6$$

$$Y_1 = 69,60 + 30,40$$

➤  $Y_1 = 100 \%$



$$Y_9 = Y_{11} + Y_{10}$$

$$Y_{11} = Y_9 - Y_{10}$$

$$Y_9 \beta_9^{Pb} = Y_{11} \beta_{11}^{Pb} + Y_{10} \beta_{10}^{Pb}$$

$$Y_9 \beta_9^{Pb} = (Y_9 - Y_{11}) \beta_{10}^{Pb} + Y_{11} \beta_{11}^{Pb}$$

$$Y_9 = \frac{Y_{11} (\beta_{11}^{Pb} - \beta_{10}^{Pb})}{(\beta_9^{Pb} - \beta_{10}^{Pb})} = \frac{30,40 (61 - 18,7)}{(53,5 - 18,7)} = 36,95 \%$$

➤  $Y_9 = 36,95 \%$

$$Y_9 \beta_9^{Pb} = Y_{11} \beta_{11}^{Pb} + Y_{10} \beta_{10}^{Pb}$$

$$(Y_{10} + Y_{11}) \beta_9^{Pb} = Y_{10} \beta_{10}^{Pb} + Y_{11} \beta_{11}^{Pb}$$

$$Y_{10} = \frac{Y_{11} (\beta_{11}^{Pb} - \beta_9^{Pb})}{(\beta_9^{Pb} - \beta_{10}^{Pb})} = \frac{30,40 (61 - 53,5)}{(53,5 - 18,7)} = 6,55 \%$$

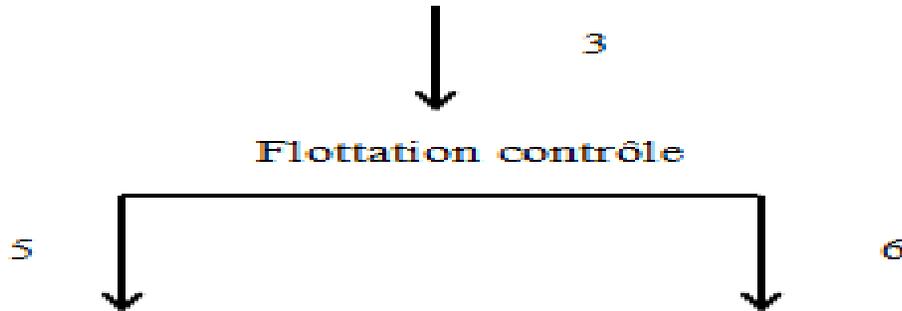
➤  $Y_{10} = 6,55 \%$

Vérification

$$Y_9 = Y_{11} + Y_{10} \longrightarrow Y_{11} = Y_9 - Y_{10}$$

$$36,95 - 6,55 = Y_{11}$$

➤  $Y_{11} = 30,40 \%$



$$Y_3 = Y_5 + Y_6$$

$$Y_5 = Y_3 - Y_6$$

$$Y_3 \beta_3^{Pb} = Y_5 \beta_5^{Pb} + Y_6 \beta_6^{Pb}$$

$$Y_3 \beta_3^{Pb} = (Y_3 - Y_6) \beta_5^{Pb} + Y_6 \beta_6^{Pb}$$

$$Y_3 = \frac{Y_6 (\beta_6^{Pb} - \beta_5^{Pb})}{(\beta_3^{Pb} - \beta_5^{Pb})} = \frac{69,60 (2,1 - 15,4)}{(10,1 - 15,4)} = 174,66\%$$

➤  $Y_3 = 174,66 \%$

$$Y_3 \beta_3^{Pb} = Y_5 \beta_5^{Pb} + Y_6 \beta_6^{Pb}$$

$$(Y_5 + Y_6) \beta_3^{Pb} = Y_5 \beta_5^{Pb} + Y_6 \beta_6^{Pb}$$

$$Y_5 = \frac{Y_6 (\beta_3^{Pb} - \beta_6^{Pb})}{(\beta_5^{Pb} - \beta_3^{Pb})} = \frac{69,60 (10,1 - 2,1)}{(15,4 - 10,1)} = 105,06\%$$

➤  $Y_5 = 105,06 \%$

$$Y_5 = 105,06 \%$$

Vérification

$$Y_3 = Y_5 + Y_6 \quad Y_6 = Y_3 - Y_5$$

$$174,66 - 105,06 = Y_6$$

➤  $Y_6 = 69,60 \%$



$$Y_7 = Y_4 + Y_{10} = Y_9 + Y_8$$

$$Y_4 + Y_{10} = Y_9 + Y_8$$

$$Y_4 \beta_4^{Pb} + Y_{10} \beta_{10}^{Pb} = Y_9 \beta_9^{Pb} + Y_8 \beta_8^{Pb}$$

$$Y_4 + Y_{10} - Y_9 = Y_8$$

$$Y_4 \beta_4^{Pb} + Y_{10} \beta_{10}^{Pb} = Y_9 \beta_9^{Pb} + (Y_4 + Y_{10} - Y_9) \beta_8^{Pb}$$

$$Y_4 \beta_4^{Pb} + Y_{10} \beta_{10}^{Pb} = Y_9 \beta_9^{Pb} + Y_4 \beta_8^{Pb} + Y_{10} \beta_8^{Pb} - Y_9 \beta_8^{Pb}$$

$$Y_4 (\beta_4^{Pb} - \beta_8^{Pb}) = Y_9 (\beta_9^{Pb} - \beta_8^{Pb}) + Y_{10} (\beta_8^{Pb} - \beta_{10}^{Pb})$$

$$Y_4 = \frac{Y_9 (\beta_9^{Pb} - \beta_8^{Pb}) + Y_{10} (\beta_8^{Pb} - \beta_{10}^{Pb})}{(\beta_4^{Pb} - \beta_8^{Pb})} = \frac{36,95(53,5 - 11,8) + 6,55(11,8 - 18,7)}{(43,3 - 11,8)} = 47,48 \%$$

➤  $Y_4 = 47,48 \%$

$$Y_8 = Y_4 + Y_{10} - Y_9$$

$$Y_8 = 47,48 + 6,55 - 36,95 = 17,08 \%$$

➤  $Y_8 = 17,08 \%$

$$Y_7 = Y_4 + Y_{10}$$

$$Y_7 = 47,48 + 6,55 = 54,03 \%$$

➤  $Y_7 = 54,03 \%$



$$Y_2 = Y_3 + Y_4 = Y_1 + Y_5 + Y_8$$

$$Y_1 + Y_5 + Y_8 = Y_3 + Y_4$$

$$Y_1 \beta_1^{Pb} + Y_5 \beta_5^{Pb} + Y_8 \beta_8^{Pb} = Y_3 \beta_3^{Pb} + Y_4 \beta_4^{Pb}$$

$$Y_3 = Y_1 + Y_5 + Y_8 - Y_4$$

$$Y_1 \beta_1^{Pb} + Y_5 \beta_5^{Pb} + Y_8 \beta_8^{Pb} = (Y_1 + Y_5 + Y_8 - Y_4) \beta_3^{Pb} + Y_4 \beta_4^{Pb}$$

$$Y_1 \beta_1^{Pb} + Y_5 \beta_5^{Pb} + Y_8 \beta_8^{Pb} = Y_1 \beta_3^{Pb} + Y_5 \beta_3^{Pb} + Y_8 \beta_3^{Pb} - Y_4 \beta_3^{Pb} + Y_4 \beta_4^{Pb}$$

$$Y_5 (\beta_5^{Pb} - \beta_3^{Pb}) = Y_1 (\beta_3^{Pb} - \beta_1^{Pb}) + Y_8 (\beta_3^{Pb} - \beta_8^{Pb}) + Y_4 (\beta_4^{Pb} - \beta_3^{Pb})$$

$$Y_5 = \frac{Y_1 (\beta_3^{Pb} - \beta_1^{Pb}) + Y_8 (\beta_3^{Pb} - \beta_8^{Pb}) + Y_4 (\beta_4^{Pb} - \beta_3^{Pb})}{(\beta_5^{Pb} - \beta_3^{Pb})} = \frac{100(10,1-20) + 17,08(10,1-11,8) + 47,48(43,3-10,1)}{(15,4-10,1)}$$

➤  $Y_5 = 105,06 \%$

$$Y_3 = Y_1 + Y_5 + Y_8 - Y_4$$

$$Y_3 = 100 + 105,06 + 17,08 - 47,48 = 174,66 \%$$

➤  $Y_3 = 174,66 \%$

$$Y_2 = Y_3 + Y_4 = 174,66 + 47,48 = 222,14 \%$$

$$Y_2 = 222,14 \%$$

Vérification

$$Y_2 = Y_8 + Y_5 + Y_1 = 17,08 + 105,06 + 100 = 222,14 \%$$

➤  $Y_2 = 222,14 \%$

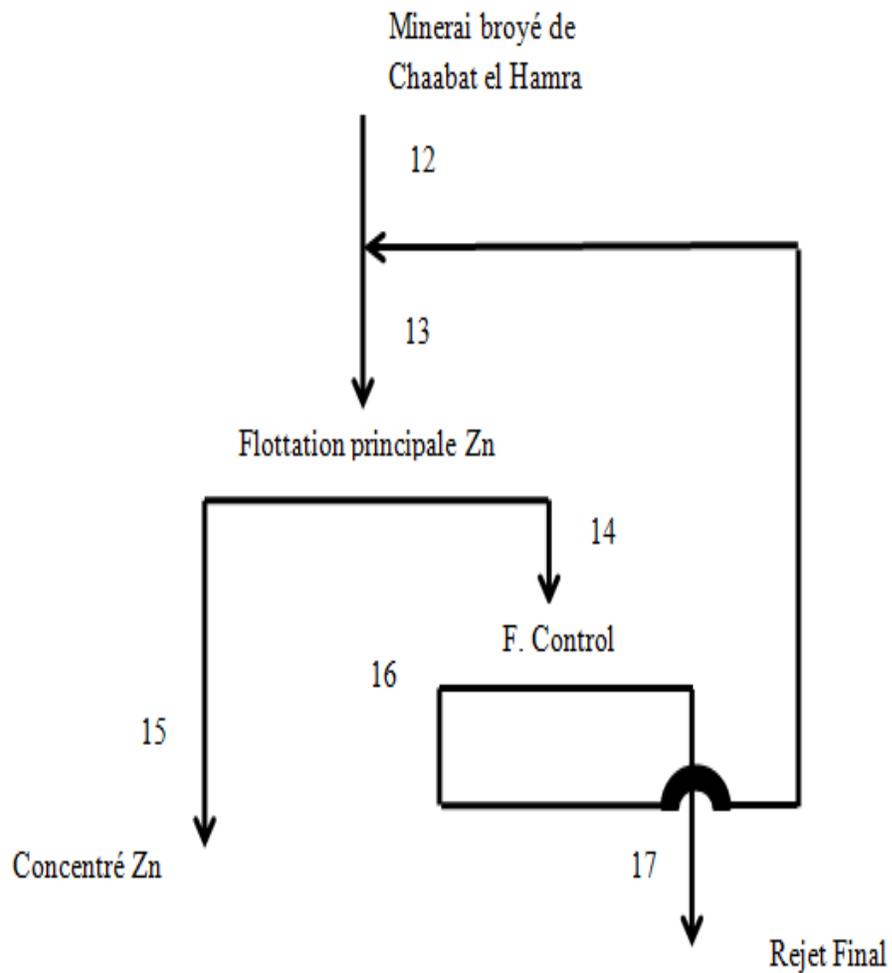
$$Y_7 = Y_4 + Y_{10} = 47,48 + 6,55 = 54,03 \%$$

➤  $Y_7 = 54,03 \%$

$$Y_9 = Y_7 - Y_8 = 54,03 - 17,08 = 36,95 \%$$

➤  $Y_9 = 36,95 \%$

## 2. Section d'enrichissement pour Chaabat el Hamra



**Figure IV.3.** Schéma technologie proposé pour la flottation du minerai Zn de Chaabat el Hamra

### 2.1. Donnée de départ pour la flottation de Zn du minerai Chaabat el Hamra

- Pour le cycle de Zinc

$$\beta_{12}^{Zn} = 4,2\%$$

$$\beta_{17}^{Zn} = 0,9\%$$

$$\beta_{16}^{Zn} = 3,1\%$$

$$\beta_{15}^{Zn} = 40\%$$

$$\beta_{14}^{Zn} = 2,3\%$$

- Pour le cycle de plomb

$$\beta_{14}^{Pb} = 0,6\%$$

$$\beta_{12}^{Pb} = 0,4\%$$

$$\beta_{17}^{Pb} = 0,7\%$$

$$\beta_{15}^{Pb} = 0,3\%$$

$$\beta_{16}^{Pb} = 0,25\%$$

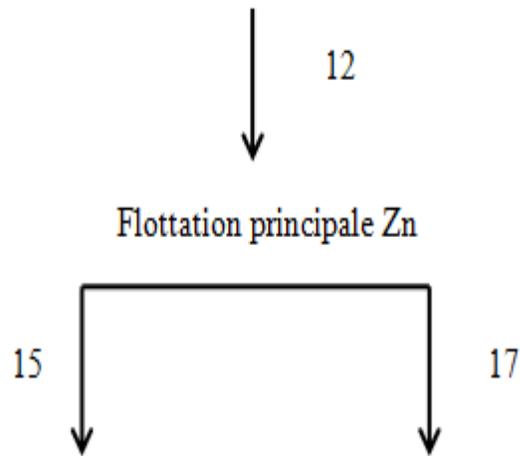
La quantité initiale du tout venant de minerai Chaabet el Hamra dans l'usine est :

$$Q_1 = 16,5 \text{ t/h}$$

$Q_1$  ; la quantité initiale du minerai Zn de Chaabet el Hamra

$$Y_1 = \frac{Q_1}{Q_1} \times 100 \% \quad \longrightarrow \quad Y_1 = \frac{16,5}{16,5} \times 100\% \quad \longrightarrow \quad Y_1 = 100 \%$$

## 2.2. Calcul du schéma de flottation



$$Y_{12} = Y_{15} + Y_{17}$$

$$Y_{12}\beta_{12}^{Zn} = Y_{15}\beta_{15}^{Zn} + Y_{17}\beta_{17}^{Zn}$$

$$Y_{15} = Y_{12} - Y_{17}$$

$$Y_{12}\beta_{12}^{Zn} = (Y_{12} - Y_{17})\beta_{15}^{Zn} + Y_{17}\beta_{17}^{Zn}$$

$$Y_{12}\beta_{12}^{Zn} = (Y_{12} - Y_{17})\beta_{15}^{Zn} + Y_{17}\beta_{17}^{Zn}$$

$$Y_{17} = \frac{Y_{12}(\beta_{12}^{Zn} - \beta_{15}^{Zn})}{(\beta_{17}^{Zn} - \beta_{15}^{Zn})} = \frac{100(4,2 - 40)}{(0,9 - 40)} = 91,56\%$$

➤  $Y_{17} = 91,56\%$

$$Y_{12} = Y_{15} + Y_{17}$$

$$Y_{12}\beta_{12}^{Zn} = Y_{15}\beta_{15}^{Zn} + Y_{17}\beta_{17}^{Zn}$$

$$Y_{17} = Y_{12} - Y_{15}$$

$$Y_{12}\beta_{12}^{Zn} = Y_{15}\beta_{15}^{Zn} + Y_{17}\beta_{17}^{Zn}$$

$$Y_{12}\beta_{12}^{Zn} = (Y_{12} - Y_{15})\beta_{17}^{Zn} + Y_{15}\beta_{15}^{Zn}$$

$$Y_{15} = \frac{Y_{12} (\beta_{12}^{Zn} - \beta_{17}^{Zn})}{(\beta_{15}^{Zn} - \beta_{17}^{Zn})} = \frac{100 (4,2 - 0,9)}{(40 - 0,9)} = 8,44\%$$

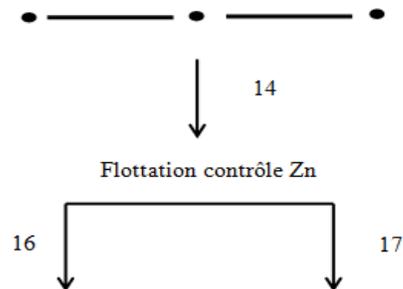
➤  $Y_{15} = 8,44\%$

Vérification

$$Y_{12} = Y_{15} + Y_{17}$$

$$Y_{12} = 91,56 + 8,44 = 100 \%$$

➤  $Y_{12} = 100 \%$



$$Y_{14} = Y_{16} + Y_{17}$$

$$Y_{16} = Y_{14} - Y_{17}$$

$$Y_{14} \beta_{14}^{Zn} = Y_{16} \beta_{16}^{Zn} + Y_{17} \beta_{17}^{Zn}$$

$$Y_{14} \beta_{14}^{Zn} = (Y_{14} - Y_{17}) \beta_{16}^{Zn} + Y_{17} \beta_{17}^{Zn}$$

$$Y_{14} = \frac{Y_{17} (\beta_{17}^{Zn} - \beta_{16}^{Zn})}{(\beta_{14}^{Zn} - \beta_{16}^{Zn})} = \frac{91,56 (0,9 - 3,1)}{(2,3 - 3,1)} = 251,79\%$$

➤  $Y_{14} = 251,79\%$

$$Y_{14} \beta_{14}^{Zn} = Y_{16} \beta_{16}^{Zn} + Y_{17} \beta_{17}^{Zn}$$

$$(Y_{16} + Y_{17}) \beta_{14}^{Zn} = Y_{16} \beta_{16}^{Zn} + Y_{17} \beta_{17}^{Zn}$$

$$Y_{16} = \frac{Y_{17} (\beta_{17}^{Zn} - \beta_{14}^{Zn})}{(\beta_{14}^{Zn} - \beta_{16}^{Zn})} = \frac{91,56 (0,9 - 2,3)}{(2,3 - 3,1)} = 160,23\%$$

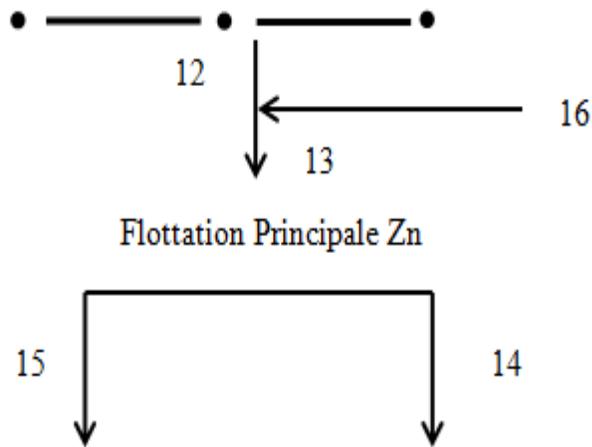
$$Y_5 = 160,23\%$$

Vérification

$$Y_{14} = Y_{16} + Y_{17}$$

$$Y_{14} = 160,23 + 91,56$$

➤  $Y_{14} = 251,79\%$



$$Y_{13} = Y_{14} + Y_{15}$$

$$Y_{13} = 251,79 + 8,44$$

➤  $Y_{13} = 260,23\%$

Vérification

$$Y_{13} = Y_{12} + Y_{16}$$

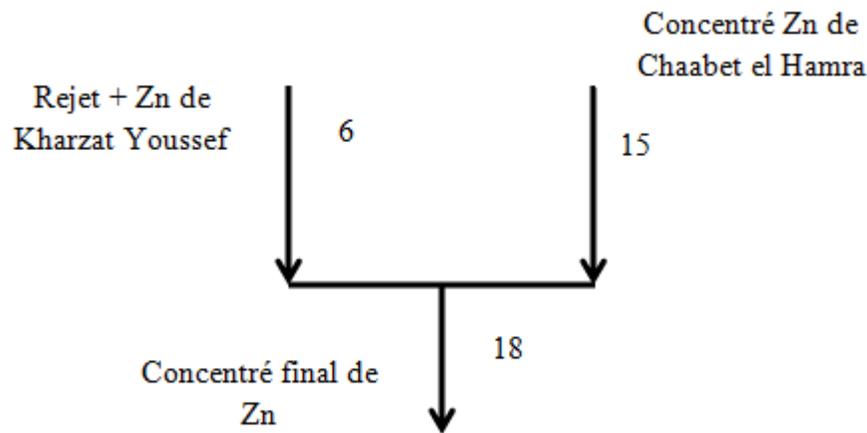
$$Y_{13} = 100 + 160,23$$

➤  $Y_{13} = 260,23\%$

#### 4. Partie d'homogénéisation

On fait une homogénéisation entre le rejet de la flottation de contrôle issu de rejet de la flottation principale du Plomb de minerai de Kharzat Youssef et le concentré de la flottation principale de Zinc du minerai de Chaabet el Hamra à fin d'atteindre une teneur exigé par les consommateurs qui est  $\beta_{18}^{Zn}$ .

##### 4.1. Calcul de la partie d'homogénéisation



$$Y_{18} = Y_6 + Y_{15}$$

$$Y_{18}\beta_{18}^{Zn} = Y_6\beta_6^{Zn} + Y_{15}\beta_{15}^{Zn}$$

$$Y_{15} = Y_{18} - Y_6$$

$$Y_{18}\beta_{18}^{Zn} = Y_6\beta_6^{Zn} + Y_{15}\beta_{15}^{Zn}$$

$$Y_{18}\beta_{18}^{Zn} = (Y_{18} - Y_6)\beta_{15}^{Zn} + Y_6\beta_6^{Zn}$$

$$Y_{18} = \frac{Y_6(\beta_6^{Zn} - \beta_{15}^{Zn})}{(\beta_{18}^{Zn} - \beta_{15}^{Zn})} = \frac{69,60(65-40)}{(53-40)} = 133,85\%$$

$$Y_{18} = 133,85\%$$

$$Y_{18} = Y_6 + Y_{15}$$

$$Y_{18}\beta_{18}^{Zn} = Y_6\beta_6^{Zn} + Y_{15}\beta_{15}^{Zn}$$

$$(Y_6 + Y_{15})\beta_{18}^{Zn} = Y_{15}\beta_{15}^{Zn} + Y_6\beta_6^{Zn}$$

$$Y_{15} = \frac{Y_6(\beta_6^{Zn} - \beta_{18}^{Zn})}{(\beta_{18}^{Zn} - \beta_{15}^{Zn})} = \frac{69,60(65-53)}{(53-40)} = 64,25\%$$

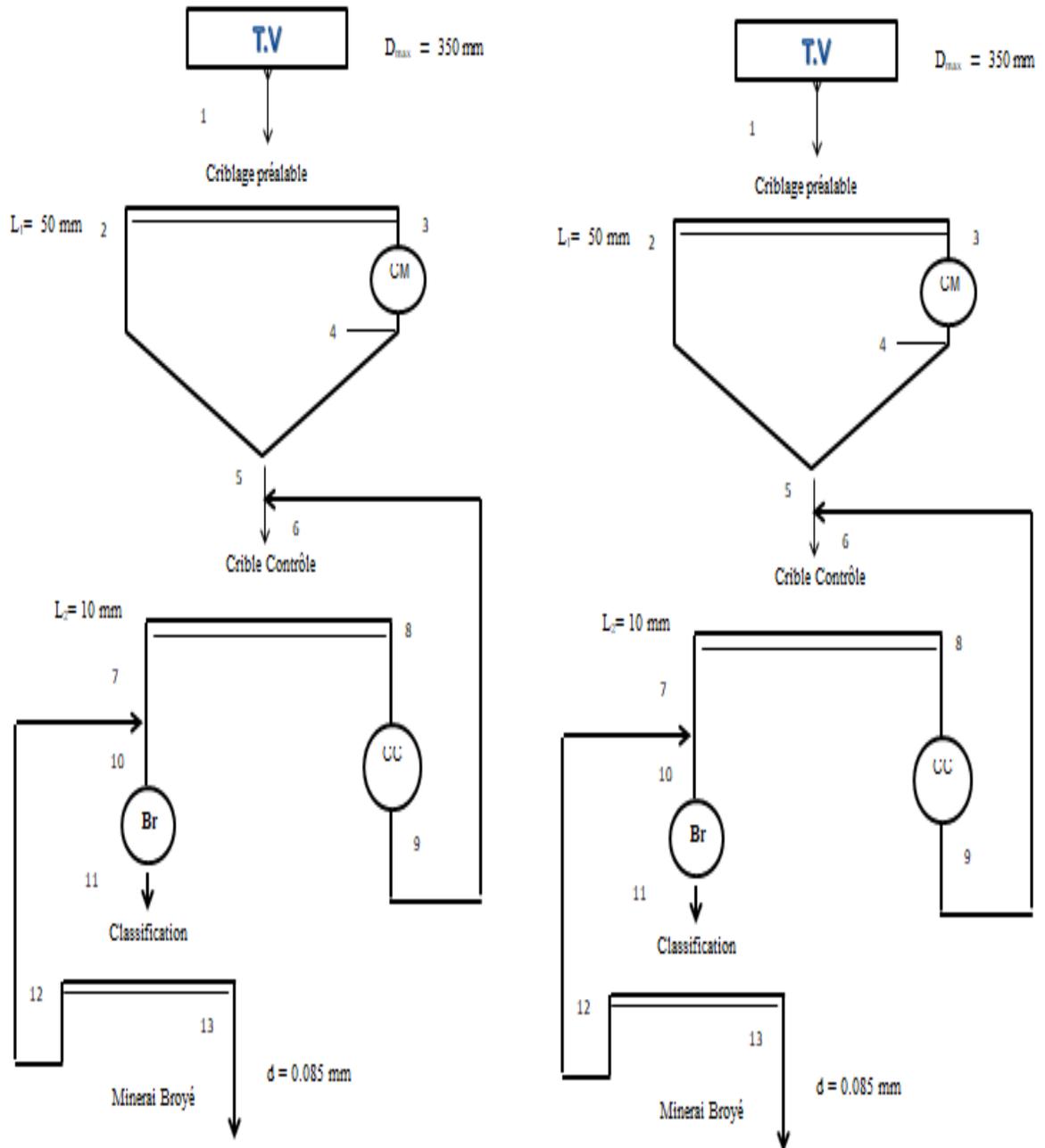
➤  $Y_{15} = 64,25\%$

Vérification

$$Y_{18} = 69,60 + 64,25$$

➤  $Y_{18} = 133,85\%$

## 5. Schéma technologique proposé final pour l'usine



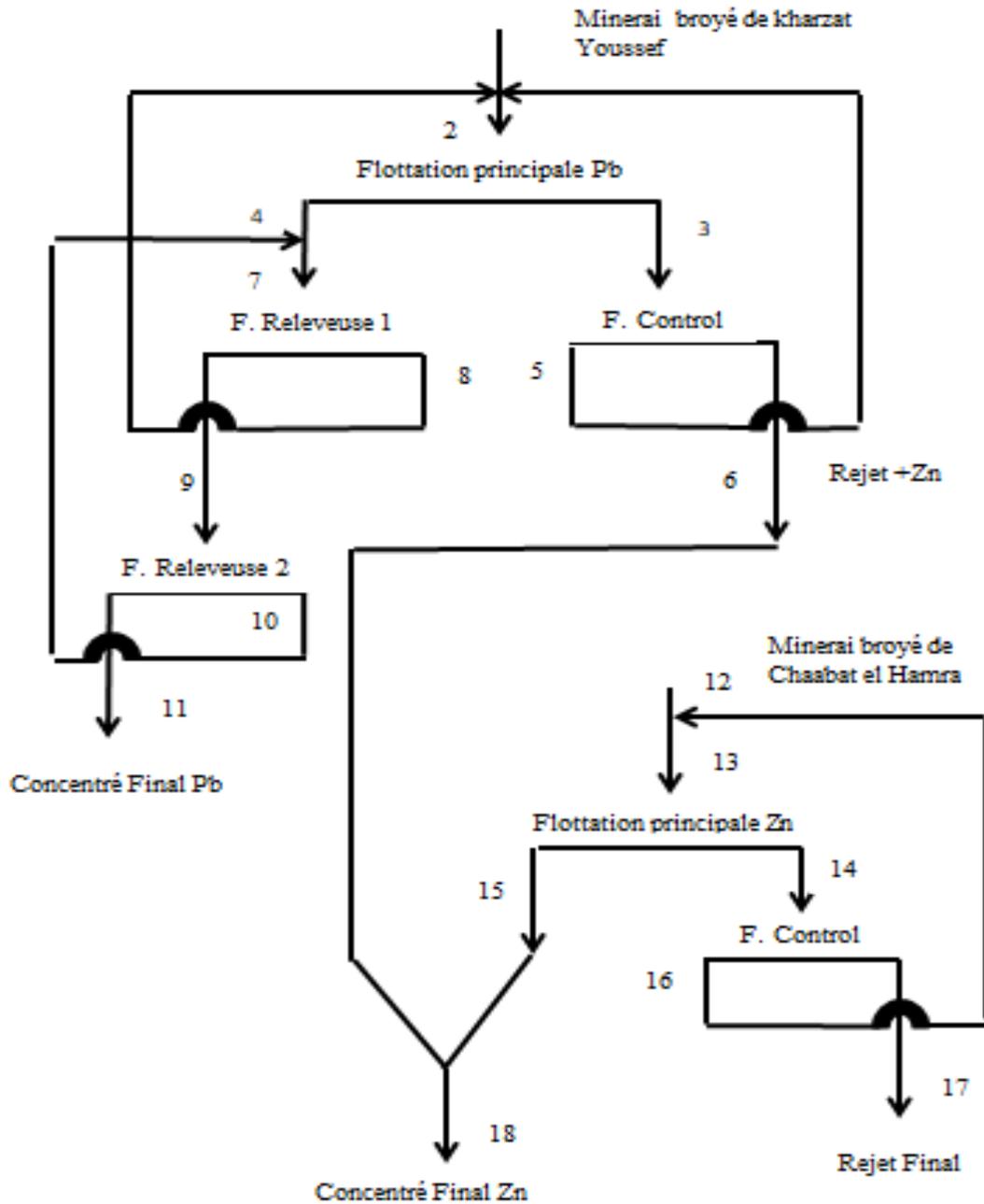


Figure.VI.6 : Schéma technologique final proposé pour l'usine

## 6. Schéma d'appareillages

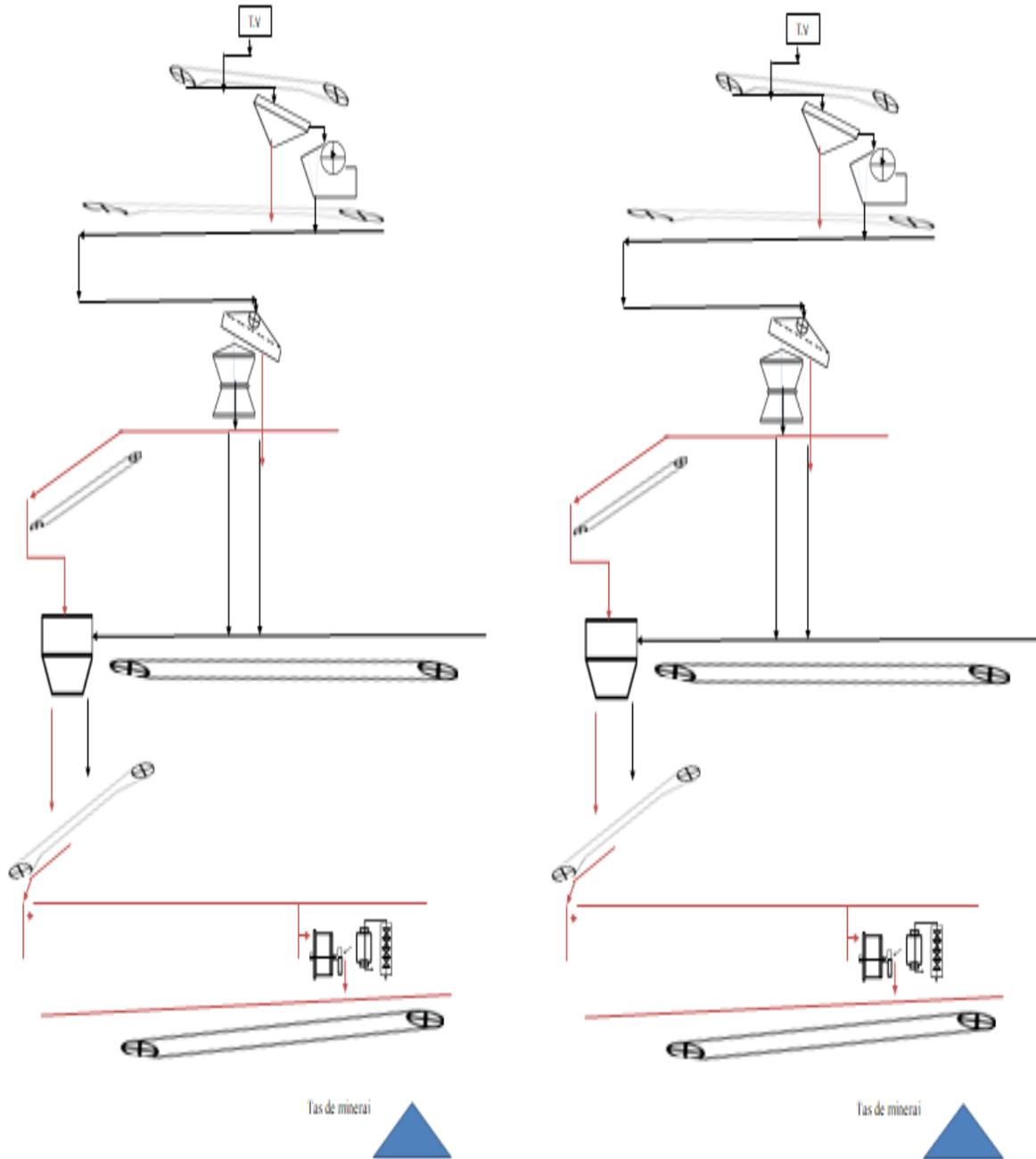
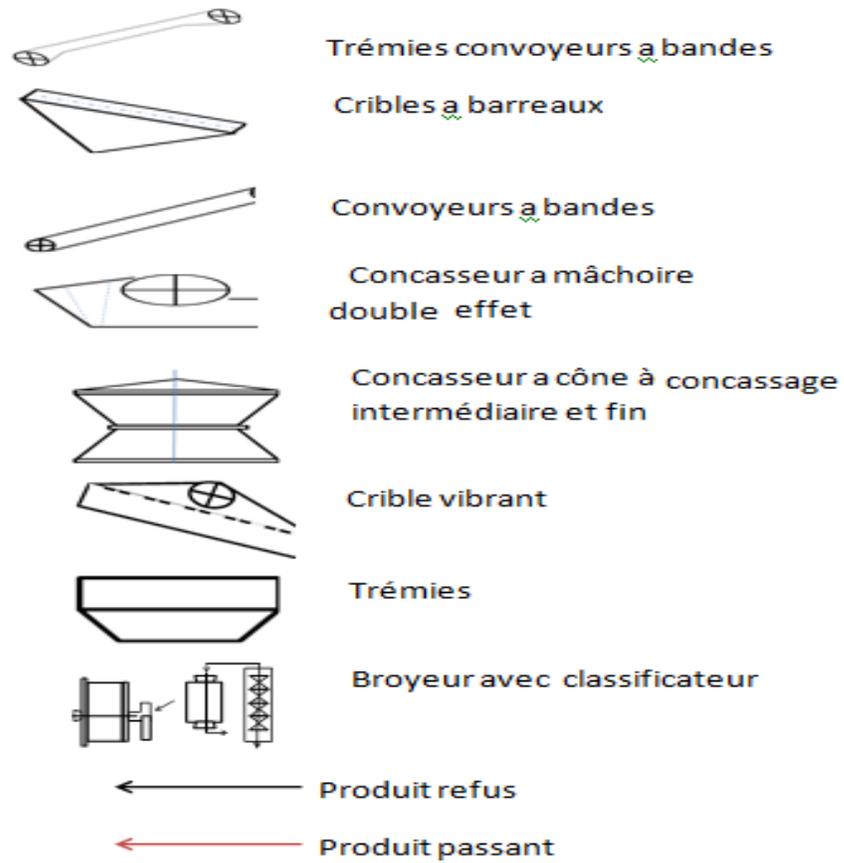


Figure.VI.7. Schéma d'appareillages de la préparation mécanique proposé pour l'usine.



**Figure VI.8.** Guide de Schéma d'appareillages de la préparation mécanique pour l'usine

# **Conclusion**

## Conclusion

Pour la projection d'une laverie dans les conditions de Chaabet el Hamra et Kharzat Youssef ,on a procédé a un réglage des dimensions des différents parties concernant le schéma de la préparation mécanique actuel , à savoir les fentes de chargement et de déchargement des deux stades de concassage ainsi que les dimensions de maille des deux crible ( primaire et secondaire) .

Pour cela on a pu diminuer le temps de broyage ainsi que la consommation d'énergie électrique au niveau du broyeur ce dernier qui consomme soixante-dix pourcent de la laverie.

Pour la partie traitement, on a proposé deux chaines de traitement, une pour le minerai Plomb Zinc de Kharzat Youssef et l'autre pour le minerai Zinc de Chaabet el Hamra.

En dernier lieu on a obtenu un concentré du Plomb et un concentré final de Zinc après une homogénéisation entre le rejet de la flottation de contrôle issus de rejet de la flottation principale du Plomb de minerai de Kharzat Youssef et le concentré de la flottation principale de Zinc du minerai de Chaabet el Hamra à fin d'atteindre une teneur exigé par les consommateurs qui est  $\beta_{13}^{Zn}$ .

# Références bibliographiques

- [1] **E.N.O.F**, plan d'exploitation final 2018.
- [2] **E.N.O.F**, plan d'exploitation final 2020
- [3] **HAMIS. A** : « Contribution à l'étude géologique et gîtologique du gisement de Chaâbet- El-Hamra (AïnAzél - Sétif) ». Mémoire en science technique. USTHB, 79p, (1988).
- [4] **HAMIS. A** : « Contribution à l'étude géologique et gîtologique du gisement de Chaâbet- El-Hamra (AïnAzél - Sétif) ». Mémoire en science technique. USTHB, 79 p, (1988).
- [5] **DAGALLIER.G & BEYOD. Z** : « Les minéralisations à Zn-Pb-Ba-F du Lias carbonaté littoral d'Ain Azel (Algérie) : un modèle de concentration stratiformes syn- diagenétiques et de remobilisations épigénétiques liées à des émergences successives ». C. R. Acad. Sc. Paris t. 303, série II, N°9, pp.831-836, (1986).
- [6] **E.N.O.F** Documentation USINE de traitement de kharzetyoucef
- [7] **KHALFLA & TALEB.C**: « Contribution à l'étude d'impact environnemental de l'exploitation minière souterraine et de rejets de traitement (cas de la mine de Chaâbet-El- Hamra. Ain Azel. Sétif) ». Mémoire de fin d'étude. Université de Sétif, (2014).
- [8] **E.N.O.F** : « Plan d'exploitation du groupe Complexe minier de kherzet-Youcef », 2016.
- [9] **E.N.O.F**: « Projet de développement de la partie inférieure de gisement de Chaâbet-El- Hamra », 2003.
- [10] **MEFTAH. L** : « Avis sur la situation Technico-économique de la mine de Chaâbet-El- Hamra (Sétif) », (2002).
- [11] **BLAZY Pierre**, (2011), "Métallurgie du Plomb Procédés classiques et ressources primaires", Minéralurgie, technique de l'ingénierie, [ en ligne ], 2011, m2264, TIB370DUO
- [12] **CAILLERIE Jean-Louis**, **WILMOTTE François**, (1993), "Plomb et alliages de plomb", technique de l'ingénierie, [ en ligne ], article : m510, TIB357DUO
- [13] **Claude FOUASSIER**, **Michel PÉREYRE**, **Michel RABINOVITCH**, **Jean-Louis VIGNES**, « **PLOMB** », *Encyclopædia Universalis* [ en ligne ], consulté le 4 mai 2021.

- [16] **Jean Michel HAU**,2010, HAU,Jean Michel.,(2010),« Métallurgie du zinc »,Dans « métallurgie extractive »,[ en ligne],Edition T.I.[Paris, France]m2270, TIB69DUO,pp1\_15
- [17] **Samira**,(2014),ELABORATION D'UN SCHEMA DE TRAITEMENT DES MINERAIS PLOMB-ZINC DE KHERZET YOUSSEF ET DU ZINC DE CHAABET EL HAMRA , Mémoire de master , Université Laarbi Tébéssi ,Tebessa.
- [19] RAPPORT BRGM R 37775 DMM-RMI-93 : « Mémento roches et minéraux industriels »,2015.
- [20] **VIGNES Jean-Louis**, **ABDRABAH Manef**, **BABY Jean-Michel**, « Une vie de zinc – Expériences sur l’élaboration, les propriétés et le recyclage d’un métal – les minerais et leur grillage » , BUP, n°766, juillet-août-sept. 1994
- [21] **GILLE,B.**(1981),« Flottation machines et circuit. Exploitation », minéralurgie, génie de la reactionchimique,A5360. 16p.
- [22] Groupe d’étude international du plomb et du zinc
- [23] Platts Metals Week, Engineering and Mining Journal; Thomson Reuters Data Stream; World Bank.
- [24]**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).
- [25]Cours Flottation, 3eme année licence Valorisation, krim mansour (2020), Université Larbi Tébéssi, Tébéssa.
- [26] **VIGNES. J-L** : « Zinc ». Société Chimique de France,2016.
- [28]**BENABDERRAHMANE Djamel**,(2010), « Valorisation du minerai polymétallique (Plomb / Zinc) du gisement d’EL-ABED (W.Tlemcen). » Projet fin d’études, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE DEPARTEMENT DE GENIE MINIER , El Harrach Alger.
- [29] **ZEMMOUR CHAFIK MEBARKI AHMED ELAID**,(2017), « AMELIORATION DE LA QUALITE DES CONCENTRES DE LA FLOTTATION DU MINERAI DE ZINC

ET ENRICHISSEMENT DES RESIDUS. (CAS DU COMPLEXE MINIER DE KHERZET YUCEF-SETIF) »Mémoire fin d'études, Université Abderrahmane Mira de Bejaia

[30] MERABTI Soufian , 2017, Les étapes de la fabrication du ciment,(  
<https://payhip.com/b/tMjW>)

### Webgraphique

[14](<https://www.rncan.gc.ca/mines-materiaux/faits/plomb/20598> )

[15](<https://www.journaldunet.fr/patrimoine/guide-des-finances-personnelles/1146972-prix-des-metaux-les-tarifs-des-metaux-en-avril-2021/>)

[18] (<https://www.lelementarium.fr/element-fiche/zinc/>)

[27] (<https://www.lelementarium.fr/element-fiche/zinc/>)