

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أمجد بوقرة بومرداس  
Université M'hamed Bougara de Boumerdès



**Faculté des Sciences - Département de Chimie**

**Domaine :** Science de la matière

**Filière :** Chimie

**Spécialité :** Chimie et environnement

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de MASTER

Présenté et soutenu par :

**Berkane chaker**

30 juin 2016

**ÉVALUATION DU COMPORTEMENT GÉOCHIMIQUE DE STÉRILES PRÉSENTS SUR LA MINE  
CHAABET EL HAMRA ET KHARZET YOUCEF ,AIN AZEL ,ET LA GESTION DES DIFFÉRENTS REGETS  
MINIERS GÉNÉRER**

Mme GHUEMMIT Naima	présidente	<b>MCA</b>
Mme SOUAG Rafika	Examinatrice	<b>MCB</b>
Mme BOUDIEB Naima	Examinatrice	<b>MAA</b>
MmeBELOUANAS Ouardia	Promotrice	<b>MCB</b>

## *Avant-propos*

*Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans l'aide inestimable de nos – encadreurs  
MME BELOUANAS OUARDIA et Mr. Karim Zebiche Co-promoteur dans la mine de  
Kherzet Youcef, qui ont attribué leur soutien et qui ont consacré leur temps précieux  
à notre mémoire, nous sommes également reconnaissant pour les conseils qu'ils nous  
ont toujours prodigués.*

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

*Je voudrais remercier vivement l'ensemble des enseignants du département qui nous  
ont suivis durant notre cycle universitaire.*

*Enfin, je tiens vivement à remercier nos amies et toute notre promotion pour leurs  
soutiens moraux qui n'ont cessé de nous l'apporter durant la réalisation de ce présent  
travail.*

## **Dédicaces**

**Plus que jamais je dédie ce modeste travail à mes parents et j'aimerais qu'il soit le témoignage de leurs consécutions et leurs fois en moi.**

**A celle qui m'a imprégné de l'essence de son être, de sa générosité, et de sa gentillesse n'a jamais cessée d'être là pour moi: c'est à toi ma mère que je dois ce travail.**

**A celui qui n'a cessé de me procurer son aide durant mes années d'étude : à toi mon père, je dédie ce travail qui est le fruit de ta patience et de ton éducation.**

**Je le dédie aussi a tous mes frères, mes sœurs mon épouse, à tous mes amies**

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Impact environnemental dans la région d'Ain-Azel. Mine Kherzet Youcef.....	4
Figure I.2 : Situation géographique de la mine de Chaabet El-Hamra (Nekache, 2012).....	4
Figure I.3.1 : Extrait de la carte géologique d'Ain Azel au 1/50.000.....	5
Figure I.3.2 : Coupe géologique des deux corps du gisement Chaabet E1-Hamra .....	8
Figure I.4 : Log stratigraphique de gisement Chaabet El-Hamra (d'après ENOF 1993) .....	11
Figure I.5 : La minéralisation du gisement (faisceau supérieur et inférieur) (D'après Rezigat et al, 2008) .....	12
Figure I.6.1 : Coupe hydrogéologique Profil 0 – Profil 15 (d'après ENOF 2003) .....	13
Figure I.6.2 : Coupe hydrogéologique Profil 0 - Profil 30 (D'après ENOF 2003 et 2006) .....	14
Figure I.7 Distribution des teneurs en Zn des corps minéralisées de Chaabet E1-Hamra (D'après le bureau d'étude canadien SIDAM, in Nekache 2012).....	15
Figure I.2.2: Situation géographique de Ain Azel et de la mine de Kherzet Youcef .....	16
Figure I.8.1: Schéma de la mine en 1979. En vert on peut distinguer la faille Kherzet Youcef .....	18
Figure I.8.2: Plan Axonométrique de la mine de Kherzet Youcef (sans date).....	19
Figure I.9: Méthode d'exploitation minière à Kherzet Youcef .....	20
Figure I.10 : Colonne litho stratigraphique synthétique des monts du Hodna (BELKHIRI) .....	21
Figure I.11: Coupe hydrogéologique schématique (BELKHIRI) .....	22
Figure I.12: Carte du niveau d'eau de l'aquifère du Mio-Plio-Quaternaire (Mars 2008, unité: m) (BELKHIRI).....	24
Figure I.13: Développement du cône de dépression Déc. 1975 - Mars 1976 (SONAREM) .....	25
Figure II.1 : Lixiviation en tas, mine d'or Bighorn, Californie, États-Unis (Photo internet) .....	30
Figure II.2 : évacuation de l'eau de L'exhaure (photo internet).....	31
Figure II.3 : Section de la préparation mécanique .....	37
Figure II.4 : Section de la flottation de tout venant .....	38
Figure II.5 : Schéma de la répartition du minerai pour essais et analyse .....	39
Figure II.6 : Schéma de flottation de la blende.....	45
Figure III-1 : Illustration schématique de l'effet de la température sur les taux d'oxydation des sulfures normalisés (INAP, 2009, d'après Robertson et Broughton ,1992 ). .....	47
Figure III-2 : Solubilités théoriques de la calcite et de la dolomite et pH de l'acide carbonique en fonction de la température (pression partielle de CO <sub>2</sub> = 10-3,5 atm) (NEDEM, 2006).....	48
Figure III.3 :Schéma représente la station de lavage de stérile et l'eau .....	61
Figure III.4 : Formation d'une cuvette d'affaissement au-dessus de travaux miniers .....	63

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Les activités minières et les impacts sur l'environnement.....	32
Tableau II.2 : résultats obtenu de l'analyse chimique sur l'échantillon.....	40
Tableau II.3 : Résultats de l'analyse granulométrique .....	42
Tableau II.4 : influence de la quantité du collecteur A.X .....	43
Tableau II.5 : influence de le quantité de l'activant $\text{CuSO}_4$ .....	44
Tableau III.1 : analyse microbiologique de l'eau de forage de la mine Kherzet Youcef.....	58
Tableau III.2 : analyse microbiologique de l'eau de forage de la mine Chaabet el Hamra .....	58
Tableau III.3 : effets néfastes de quelque métal.....	64
Tableau III.4 : normes OMS/UE des cations dans l'eau.....	65
Tableau III.5 : normes OMS/UE des anions dans l'eau.....	65

## LISTE D'ABRÉVIATIONS

DMA Drainage Minier Acide

DNC Drainage Neutre Contaminé

ENOF SPA Entreprise Nationale des Produits Miniers non ferreux et des substances utiles el  
Harrach, Alger.

SONAREM Société Nationale Algérienne de Recherche Minière

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE I</b>	
I.1. INTRODUCTION.....	2
I.2 Historique de la mine de Chaabet El-Hamra .....	2
I.3 contexte géographique et géologique de la mine de Chaabet el-Hamra.....	3
I.3.1 Cadre géographique.....	3
I.3.2 Cadre géologique .....	4
I.3.3 Cadre stratigraphique du gisement de Chaabet El-Hamra .....	5
I.3.4 Structure du gisement.....	7
I.4 MINERALISATION.....	8
I.5 Hydrogéologie.....	10
I.5.1 Nappe Barrémienne.....	13
I.6 RESERVES GEOLOGIQUES.....	14
I.7 Historique de la mine de Kherzet Youcef.....	15
I.7.1 GENERALITE .....	16
I.7.2 Cadre géographique d'Ain Azel et de la mine de Kherzet Youcef.....	16
I.7.3 Développement de la mine.....	17
I.7.4 Interprétation de l'hydrogéologie.....	20
I.7.4.1 Cadre géologique .....	20
I.7.4.2 Cadre hydrogéologiques.....	22
I.8 Etudes hydrogéologiques sur la mine de Kherzet Youcef .....	24
I.8.1. SONAREM.....	24
I.8.2. BULGARGEOMIN .....	24
I.8.3. ENOF.....	24
<b>CHAPITRE II.</b>	
II Les phases d'un projet minier.....	28
II.1. Prospection.....	28
II.2. Développement.....	28
II.2.1. Construction de routes d'accès.....	28
II.2.2. Préparation et déblaiement du site.....	28
II.2.3. Exploitation souterraine.....	28
II.2.4. Evacuation des morts terrains.....	30

II.2.5. Extraction du minerai.....	29
II.2.6. Enrichissement .....	30
II.2.7. Evacuation des résidus.....	31
II.3 Impacts environnementaux.....	31
II.3.1 Impacts sur les ressources en eau.....	33
II.3.2 Défis environnementaux en lien avec les haldes à stériles.....	33
II.3.3 La réactivité des rejets miniers en climat.....	34
II.3.4 Impacts des bassins de décantation des résidus, de la lixiviation en tas et des installations de stockage de lixiviats.....	36
II.4 Description de la laverie de Kherzet Youcef .....	36
II.4.2 Etude minéralogique et pétrographique.....	39
II.4.3 Détermination des paramètres physiques du minerai.....	40
II.4.3.1 La masse volumique absolue.....	41
II.4.3.2 Taux d'humidité.....	41
II.4.3.3 Porosité.....	41
II.4.4 Analyse granulométrique.....	41
II.4.5 Interprétation des résultats.....	42
II.4.6 Essais de flottation.....	43
II.4.6.1 Influence de la quantité du collecteur A.X.....	43
II.4.6.2 Influence de la quantité de l'activant $\text{CuSO}_4$ .....	43
II.4.6.3 Flottation principale de la blende.....	44
II.5 Conclusion.....	45
<b>CHAPITRE III</b>	
III.1 Introduction.....	46
III.1.1 Activité bactérienne.....	46
III.1.2 Solubilité des ions.....	46
III.2 La gestion des stériles miniers.....	47
III.3 Cycles de gel et de dégel.....	48
III.3.1 Minéraux impliqués, réactions d'oxydation et de neutralisation.....	50
III.3.1.1 Pyrite et généralités.....	51
III.3.1.2 Pyrrhotite.....	51
III.3.1.3 Chalcopyrite.....	52

III.3.1.4 Pentlandite.....	53
III.3.1.5 Violarite.....	53
III.3.2 Processus de dissolution de certains minéraux neutralisants.....	54
III.4 Défis environnementaux en lien avec les haldes à stériles.....	54
III.5 La réactivité des rejets miniers en climat.....	56
III.6 Facteurs influençant la qualité de l'eau et la production de contaminants généérés par des rejets miniers.....	57
III.7 l'impact environnemental suite a l'exploitation du gisement.....	59
III.7.1 Digue des stériles .....	59
III.7.2 Lixiviats (solution stérile).....	60
III.7.3 L'exhaure.....	60
III.7.4 Poussière toxique.....	62
III.7.5 Déformation du paysage.....	62
III.8 Impacts accidentels.....	62
III.8.1 Affaissement .....	62
III.8.1.1 Mécanisme et phénomène d'affaissement.....	62
III.8.1.2 Affaissement dus aux exploitations par foudroyage.....	62
III.8.1.3 Conséquences des affaissements miniers sur l'environnement.....	63
III.9 Conséquence de l'exploitation minière.....	63
III.10 Normes.....	64
III.10.1 Comparaison aux normes de l'eau potable UE/OMS .....	64
III.10.2 Tableau comparatif des normes de l'UE et de l'OMS concernât l'eau potable ...	65
III.10.3 règlement.....	65
III.10.4 Conseille sécuritaire pour l'environnement.....	66
<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>67</b>





---

# Introduction

---



Les stériles miniers sont des rejets solides produits en grande quantité par l'industrie minière et sont habituellement entreposés en surface sur les sites miniers sur des haldes à stériles. Des minéraux présents dans ces rejets peuvent réagir avec l'eau et l'air et contaminer l'eau de drainage des haldes et, par le fait même, les milieux récepteurs. Ce type de contamination peut produire un drainage acide ou neutre; on parlera alors soit de drainage minier acide (DMA) ou de drainage neutre contaminé (DNC).

À la mine de Kherzet Youcef et Chaabet el Hamra, propriété d'Xstrata des métaux lourds, les eaux de drainage des haldes à stériles ont parfois des pH et des concentrations en des métaux lourds ne respectant pas les normes gouvernementales et nécessitent un traitement avant d'être rejetées à l'environnement.

Les deux mines Kherzet Youcef et Chaabet el Hamra sont situées dans la région du Sétif, Ain Azel (35°N) et exploitent un gisement de zinc-plomb depuis 1896 et 1910. Les stériles y sont entreposés dans des haldes durant les opérations et les eaux rejetées directement dans le oued pour l'irrigation des blés et blé dur sans traitements.

C'est dans ce contexte que notre travail porte sur l'étude de l'influence de la conduite des travaux miniers sur l'environnement, le cas de la mine de Chaabet el Hamra et la mine de Kherzet Youcef (Ain Azel, Sétif).

Le travail comporte trois chapitres:

Je présente dans le premier chapitre des généralités sur la région d'étude, de point de vue Historique et géographique, géologique et hydrogéologique. Comme je donne un aperçu minier sur les deux sites miniers.

Le deuxième chapitre est réservé pour expliquer les phases d'exploitation et ces impacts sur l'environnement et je présente les étapes de traitement de minerai de Chaabet el Hamra au niveau d'usine de traitement située au niveau de la mine Kherzet Youcef.

Le troisième chapitre, nous le consacrons à l'étude d'impact environnemental de l'exploitation minière et des rejets de traitement des minerais sulfures, les haldes des stériles et les rejets des eaux usées pour la mine de Kherzet Youcef, et les activités bactériennes dans les haldes de stériles fait la solution proposée pour gérer les rejets miniers, d'une manière à protéger l'environnement et la santé des habitants au voisinage de la mine, et éviter la contamination des sols l'agriculture au voisinage de la mine et la pollution de l'air.

Enfin, nous terminons notre travail par un ensemble de conseils concernant l'environnement pour diminuer la nuisance surtout la nuisance de transport de la minerai de la mine de Chaabet el Hamra pour la traiter au niveau de la mine de Kherzet Youcef et ce travail sera finalisé par une conclusion générale.



---

**Chapitre I**  
**Historique et contexte**  
**géographique**  
**et hydrogéologique, sites**  
**Chaabet el Hamra Et**  
**Kherzet Youcef**

---



## **I.1. INTRODUCTION :**

L'industrie minière est d'une grande importance économique dans plusieurs pays, Un des métaux importants de cette industrie est le zinc. Ce métal est exploité pour servir à plusieurs usages, le plus commun étant son utilisation dans l'acier ou d'autres produits métalliques. Comme toute industrie d'importance, les activités d'extraction du zinc génèrent une grande quantité de rejets solides et liquides qui doivent être gérés de façon à contrôler la contamination qu'ils peuvent engendrer. Beaucoup de progrès ont été effectués au niveau de la gestion environnementale des rejets miniers au cours des deux dernières décennies [1].

Comme les autres activités de l'homme, l'industrie minière pose aujourd'hui des problèmes d'environnement très aigus. la difficulté majeure que pose l'approche des problèmes de l'environnement dans l'industrie minière vient de l'extrême diversité des situations rencontrées, ce qui implique des solutions particulièrement variées, faisant souvent appel à des compétences et à des technologies très spécifiques, le plus souvent inexistantes dans les pays en voie de développement. Du secteur minier informel à la petite mine mécanisée, jusqu'aux grands projets industriels, il existe une gamme très large d'activités minières.

Dans chaque cas, la sensibilité aux nuisances susceptibles d'être causées à l'environnement et les capacités techniques des sociétés minières sont des aspects très variables alors que les risques environnementaux sont parfois très convergents. Cependant, l'exploitation de ces richesses n'est pas sans effet sur l'environnement et la santé des populations vivant dans les environs de ces sites. En effet, l'activité minière peut déséquilibrer les milieux naturels de plusieurs manières; par la transformation des paysages, le dépôt de déchets solides et le rejet d'effluents liquides et atmosphériques. Ce qui peut inévitablement porter préjudice à l'environnement et au cadre de vie des populations avoisinantes.

## **I.2. Historique de la mine de Chaabet El-Hamra :**

Le gisement de Chaabet El-Hamra est connu depuis longtemps, il a fait l'objet d'exploitation des affleurements de calamines de 1910 à 1920 et de 1936 à 1941.

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

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

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

Les travaux miniers ont démarré en janvier 1992 et les ouvrages d'accès ont été achevés en avril 1994.

La mine de Chaabet El-Hamra a démarré l'extraction du tout-venant en avril 1994 tout en continuant à réaliser des travaux de recherche au fond pour préciser les réserves géologiques et les conditions hydrogéologiques.

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

### **I.3. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA MINE DE CHAABET EL-HAMRA :**

#### **I.3.1 Cadre géographique**

Le gisement de Chaabet El-Hamra est situé à environ 250 km, au Sud-Est d'Alger et à 50 km, au Sud de Sétif, dans la région de Chouf-Bouarket à 4,5 km d'Ain-Azel et à 12 km au Sud-Est, du complexe minier de Kherzet Youssef (fig.I.1).

Ses coordonnées géographiques sont 35 045'N et 5030'E. L'altitude du site varie de 950 à 1200m.

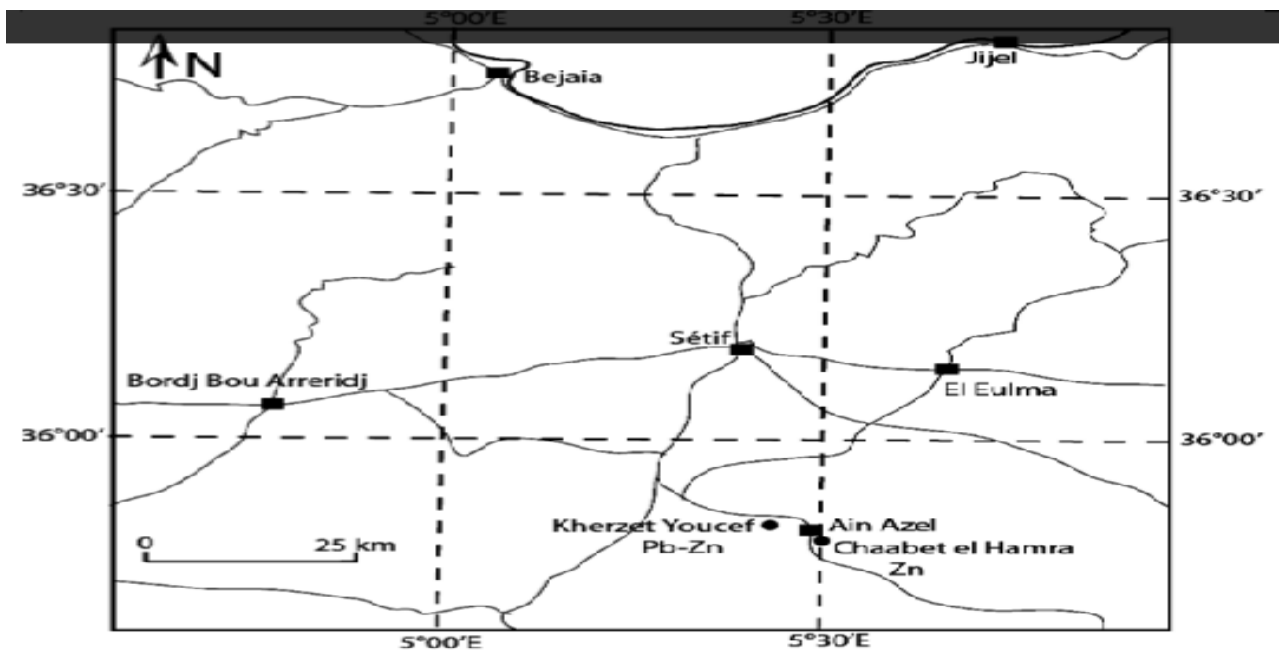
Le climat de la région est semi-aride, froid en hiver et chaud en été. Les précipitations annuelles moyennes sont de 322 mm et dépassent rarement les 500 mm. La température moyenne annuelle est de 15 °C.



*Figure I.1 : Impact environnemental dans la région d'Ain-Azel.  
Mine Kherzet Youcef*

### I.3.2 Cadre géologique :

Le gisement de Chaabet El-Hamra fait partie des Monts du Hodna qui renferme - d'importante minéralisation en Pb-Zn, localisée dans la région d'Ain Azel. Ce gisement appartient au bloc d'Ain Mlila, qui comprend trois structures de soulèvement en forme de horst-anticlinaux (fig.I.2).



*Figure I.2 : Situation géographique de la mine de Chaabet El-Hamra (Nekache, 2012).[7]*

### I.3.3 Cadre stratigraphique du gisement de Chaabet El-Hamra :

Elle est caractérisée principalement par des dépôts du Crétacé, dont le l'Hauterivien présente le plus grand intérêt, car il contient le maximum de minéralisation (Meftah, 2002). Valangimen (112): leurs dépôts affleurent à l'Est de la faille orientale et à l'Ouest du gisement et sont représentés par une alternance d'aleurolites grises avec des grès quartzeux gris clair, des dolomies gréseuses et argileuses, des calcaires et des marnes gris-verdâtres. Hauterivien (113): la minéralisation zincifère d'intérêt industriel est localisée dans la partie inférieure de Hauterivien, dont la puissance varie de 100 à 150 m.

La stratigraphie du massif de Hodna se caractérise par des séries sédimentaires définies du Trias au Quaternaire (Glaçon, 1967 ; Guiraud, 1990) (Fig. I.3.1) :

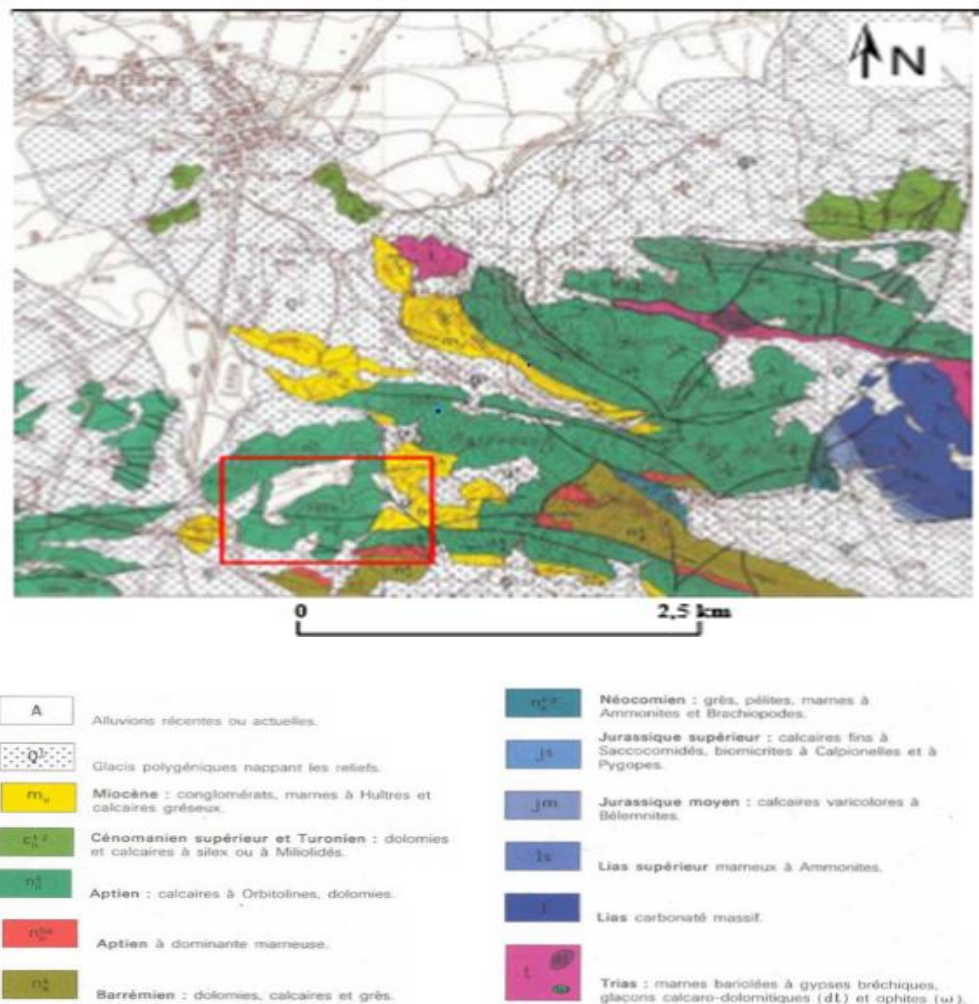


Figure I.3.1 : Extrait de la carte géologique d'Ain Azel au 1/50.000[7]

- 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.

Les étages sont subdivisés en deux :

**1) Hauterivien inférieur (n31) :** ce niveau, d'une puissance totale variant de 70 à 120 m, est à son tour divisé en trois termes:

- N31a : composé de dolomies grises massives, à grains fins, parfois gréseuse et par fois calcarénites noir dans la partie supérieur de 2 à 5 m.
- N 31b: représenté par une superposition, de bas en haut, de marne gris verdâtres (0,5 à 2 m), d'aleurites gris-brun (2 à 5 m), de dolomies grises (2 à 10 m), de dolomies gréseuses (3 à 8 m) et de marnes bariolées (5 à 10 m).
- N31: caractérisé par des dolomies à grains fins de couleur brunâtre ou fortement hématilisées.

**2) Hauterivien supérieur (n32) :** ce niveau, d'une puissance globale variant de 80 à 120 m, est subdivisé en cinq termes :

- N32a : formé de grés, parfois en alternance avec des argiles, de marnes et aleurolites verdâtres.
- N32b: représenté par des dolomies massives à grains fins plus ou moins hématilisées.

N32c : représenté par un calcaire gris argileux, dont l'épaisseur varie de 10 à 15 m.

• N32d : constitué de dolomies à grains fins, de couleur gris-brun, souvent argileuse, dont la puissance totale varie de 15 à 20 m.

• N32e : caractérisé par une irrégularité de composition et de puissances, il représenté par des calcaires gris en alternance grossière avec des marnes et des aleurolites.

**3) Barrémien (n4) :** il est développé au Nord-Ouest et Sud du gisement et il est subdivisé en deux niveaux :

**3.1) Barrémien inférieur (n41) :** ce niveau est à son tour divisé en trois termes:



- N41a : formé essentiellement par des grés et des dolomies gréseuses parfois argilo-bitumineuses, avec une fine dissémination de pyrite et de passées de dolomies légèrement oxydée.
- N41b: constitué par une alternance de dolomies marneuses massives, de marnes et de calcaires marneux .
- N41c: représenté par des dolomies massives à grains fins, avec des fissures remplies d'oxydes et de calcite.

### 3.2) Barrémien supérieur (n42) : ce niveau est subdivisé en quatre termes

- N42a : représenté par des dolomies gréseuses, massives à grains fins ou moyen avec souvent des fissures remplies par de la calcite.
  - N42b: formé de grés bruns, avec une alternance d'aleurolites et d'une dolomie très gréseuse.
  - N42c : constitué d'une alternance de dolomie gréseuse, de grés bruns et d'argiles verdâtres.
- N42d : formé de dolomies gréseuse et argileuse et de calcaire brun-violet, avec des passés d'argile verdâtre.

### I.3.4 Structure du gisement :

Le minerai zincifère du gisement de Chaabet El-Hamra est composé de deux faisceaux de couches lenticulaires, stratiformes, séparés par un banc de dolomie blanchâtre stérile, de 6m de puissance (fig.I.3.1). 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. 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).

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

La puissance moyenne du corps n°1 (corps supérieur) est de 5 mètres et celle du corps - n02 (corps inférieur) est de 4 mètres. Il n'existe aucune corrélation entre les épaisseurs et les teneurs et on constate une distribution contrastée dans les corps de minerai.

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

La galène est très rare, et se développe généralement aux extrémités des lentilles, limitant la zone zincifère (MINÉR. Qui contient du zinc. *Gisement, minerai zincifère. Ce spinelle zincifère (...) est vert foncé, vert poireau, vert noirâtre, noir* (Lapparent, *Minér.*, 1899, p. 511).

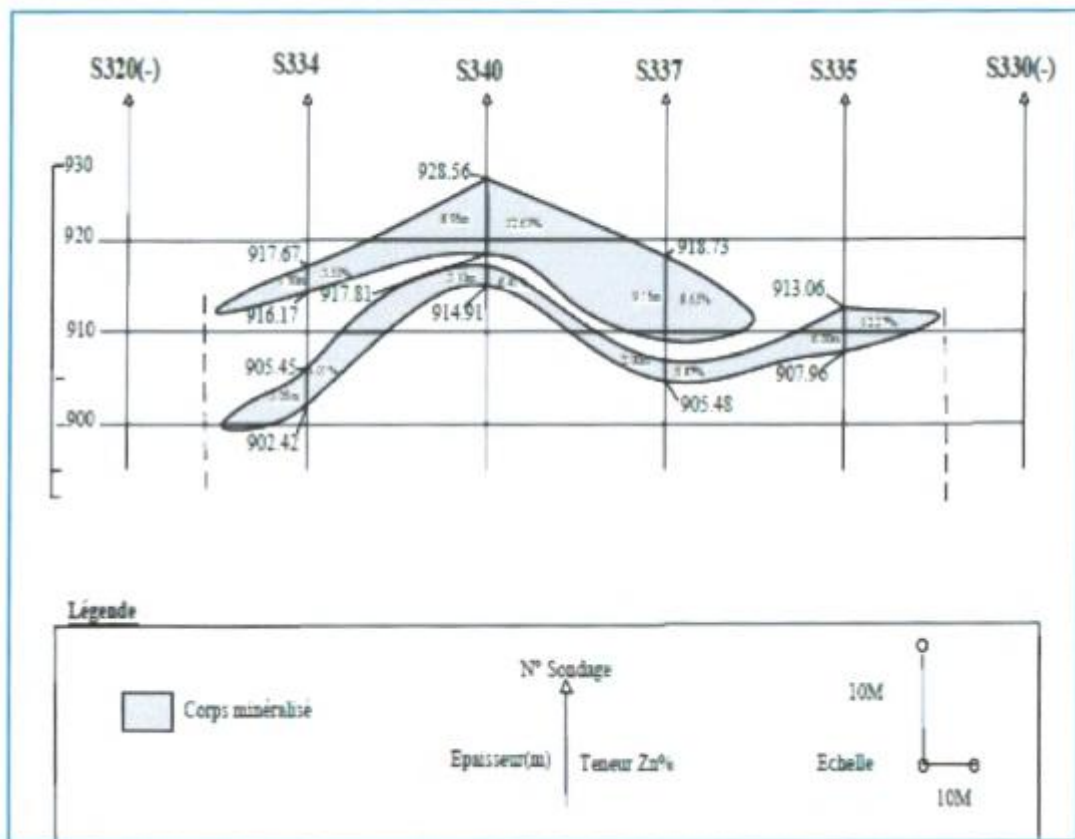


Figure I.3.2 : Coupe géologique des deux corps du gisement Chaabet El-Hamra[7]

#### I.4 IMINERALISATION :

La minéralisation du gisement de Chaabet El-Hamra est observée en faisceaux sous forme de lentilles minéralisées de composition tantôt mono-minérale, tantôt mixte.

Elle est représentée essentiellement par :

- **la sphalérite (ZnS)** : ou bien (Sulfure de zinc, la blende, également appelée sphalérite).
- **la pyrite ou bien la marcassite (FeS<sub>2</sub>)**: est une espèce minérale composée de disulfure de fer, de formule FeS<sub>2</sub>, pouvant contenir des traces de Ni, Co, As, Cu, Zn, Ag, Au, Tl, Se, V .
- **Les minéraux de gangue sont la calcite** :cette notion de gangue rejoint plus ou moins la notion de « stérile » employée par le mineur et qui désigne tout ce qui accompagne la minéralisation, aussi bien la gangue que la roche encaissante ; mais il y a là une extension peu souhaitable du sens premier.
- **la barytine BaSO<sub>4</sub>**: (La **barytine** ou **baryte**, voir les synonymes) est une espèce minérale composée de sulfate de baryum de formule BaSO<sub>4</sub> avec des traces de Sr, Ca et Pb. Ce minéral, d'origine hydrothermale, présente de nombreuses variétés. Sa densité et le baryum qu'il contient sont les causes principales de ses utilisations industrielles et plusieurs millions de tonnes de barytine sont extraits et produits chaque année.).
- **la dolomie CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**: est une roche sédimentaire carbonatée composée d'au moins 50 % de dolomite, c'est-à-dire d'un carbonate double de calcium et de magnésium, de composition chimique CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, qui cristallise en prismes losangiques (rhomboèdres). et plus rarement .
- **le gypse CaSO<sub>4</sub> . 2 H<sub>2</sub>O** : dénommé aussi *gypsite* ou *Pierre à plâtre*, est une roche tendre saline ou une évaporite commune, voire abondante, entièrement cristallisée, composée principalement du minéral gypse, un sulfate doublement hydraté de calcium, décrite par la formule CaSO<sub>4</sub> · 2 H<sub>2</sub>O et qui constitue le premier fin dépôt dans les marais salants .
- **le quartz SiO<sub>2</sub>** : Le **quartz** est une espèce minérale du groupe des silicates, sous-groupe des tectosilicates, composé de dioxyde de silicium de formule SiO<sub>2</sub> (silice), avec des traces de différents éléments tels que Al, Li, B, Fe, Mg, Ca, Ti, Rb, Na, OH.

Les minéraux d'oxydation sont principalement :

- **la smithsonite ZnCO<sub>3</sub>** : est une espèce minérale formée de carbonate de zinc de formule ZnCO<sub>3</sub> avec des traces : Fe;Co;Cu;Mn;Ca;Cd;Mg.
- **la cérusite (PbCO<sub>3</sub>)** : est une espèce minérale composée de carbonate naturel de plomb de formule (PbCO<sub>3</sub>), pouvant contenir comme impuretés des traces de Sr, Zn, Cu ; cristallisant dans le système cristallin orthorhombique.

La minéralisation de pyrite (FeS<sub>2</sub>), marcassite, blende et rarement la 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.

### **I.5 Hydrogéologie :**

L'importance de l'eau d'exhaure est assez connue dans la région. Le "coup d'eau" catastrophique du 02 juin 1990 a entraîné la fermeture définitive de la mine de Kherzet Youssef. Cette eau est récupérée pour les besoins agricoles et sa présence est un obstacle à l'avancement des travaux d'exploitation de la partie inférieure du gisement de Chaabet El Hamra.

Les données géologiques et hydrogéologiques confirment l'existence de deux nappes libres (Fig.I.6.) :

- 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.
- Dans la partie Est du gisement deux sondages hydrogéologiques ont été exécutés, ces derniers ont donné des résultats négatifs et une absence de venues d'eau a été notée.

Les travaux miniers réalisés par l'ENOF ont confirmé qu'il n'y a pas de niveau aquifère dans la partie Est.

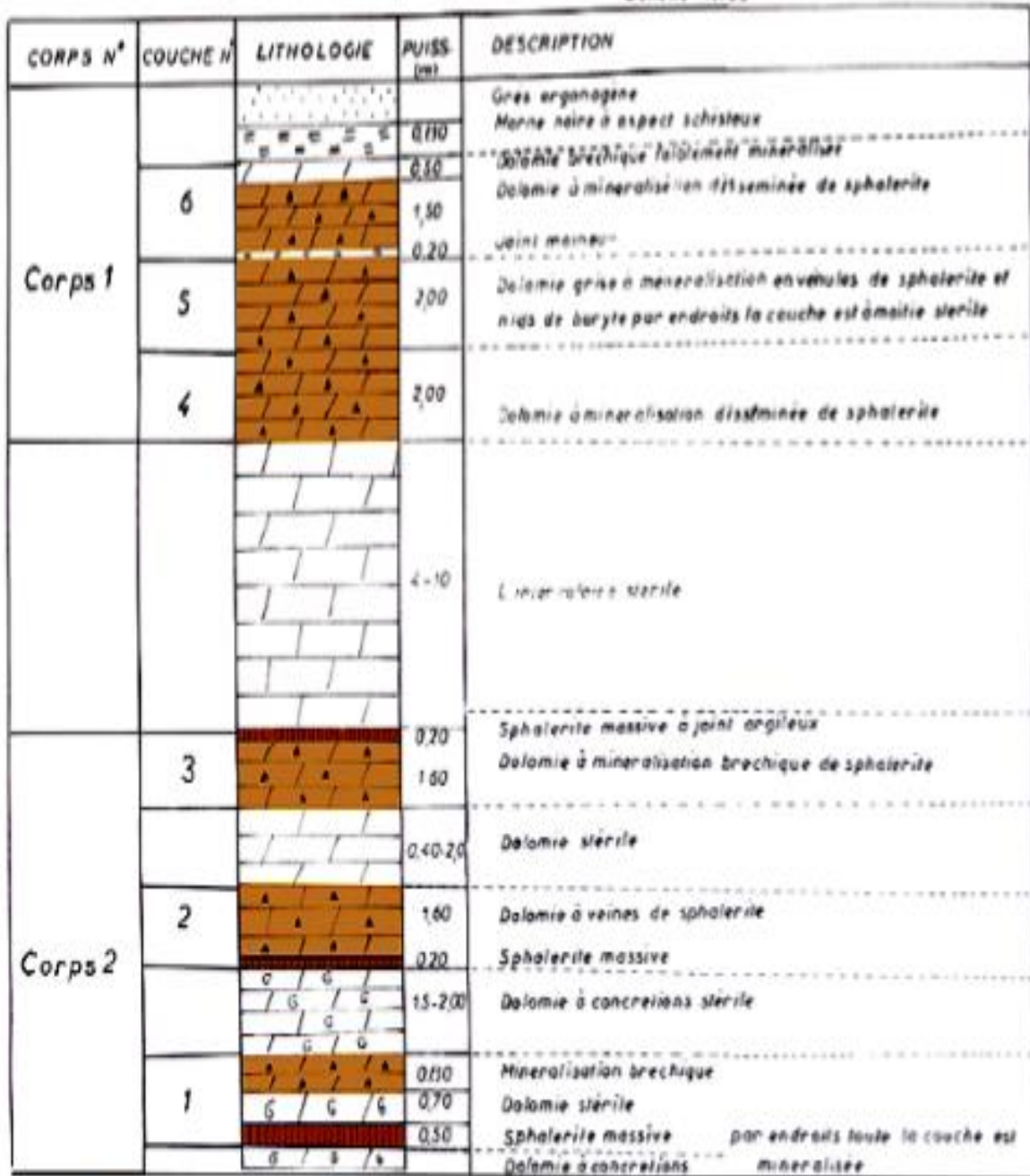
ETAGE	LOG	Conséquences Hydrogéologique	
Miocène 30 m		Perméable	<b>Non étudié</b>  Inexistant dans la partie centrale du gisement Exploité par les fellahs
Aptien 60 m			
Barroisien 200 m		Semi-Perméable	<b>Etudié sommairement</b>
		Perméable	Situé au dessus du Niveau Statique dans la partie centrale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

Figure I.4 : Log stratigraphique de gisement Chaabet El-Hamra (d'après ENOF 1993)[2]

## LA SERIE MINERALISEE DE

### CHAABET EL HAMRA

Echelle 1/100

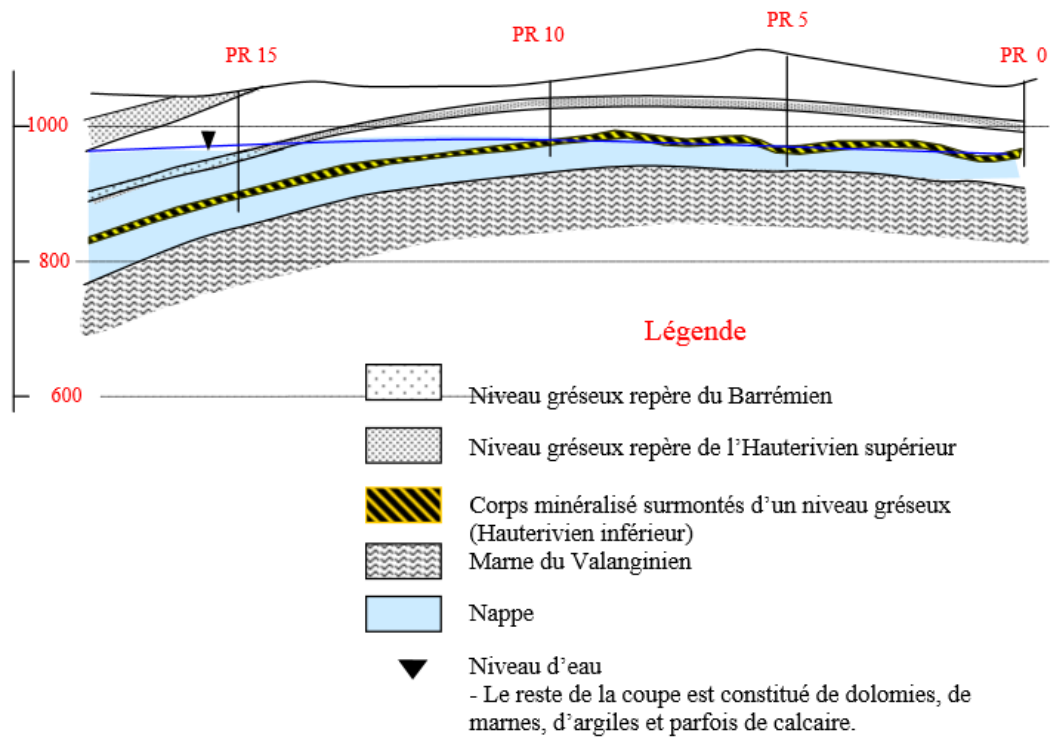


■ Sphalérite massive ■ Dolomie bréchique avec sphalérite, baryte.

Figure I.5 : La minéralisation du gisement (faisceau supérieur et inférieur)

(D'après Rezigat et al., 2008)[4]





**Figure I.6.1 :** Coupe hydrogéologique Profil 0 – Profil 15  
(d'après ENOF 2003)[2]

- Les données hydrogéologiques confirment l'existence de deux nappes libres.

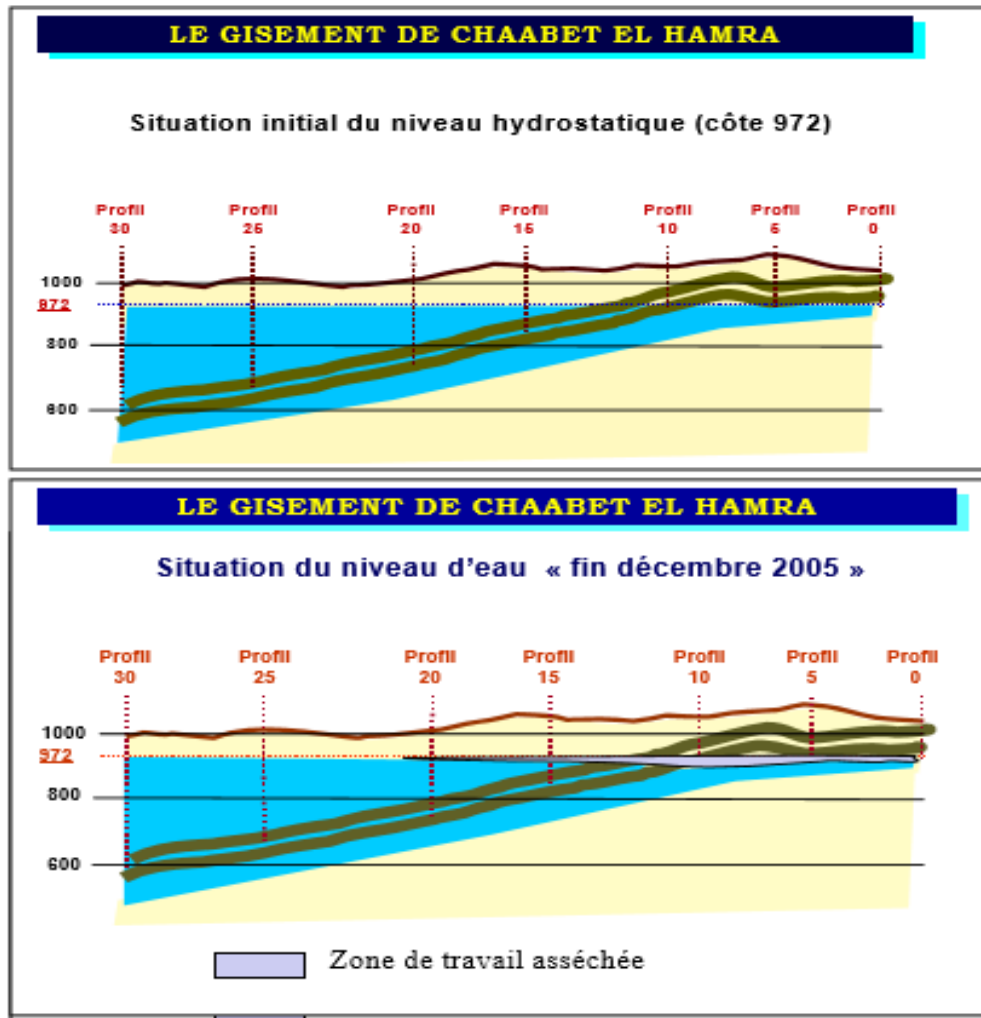
Dans la partie centrale du gisement, existe une nappe contenue dans les formations hauteriviennes - carbonatées à perméabilité de fissure. La deuxième est située dans la partie Nord-Ouest du gisement assiégée dans les formations barrémiennes figure .I.5. Cet aquifère est associé aux grés dolomitiques.

### I.5.1 Nappe Barrémienne :

Elle est connue particulièrement dans la partie Nord-Ouest du gisement et elle est associée aux grés et dolomies gréseuses ayant pour cote piézométrique 959,48 m à 967,93 m.

La charge des eaux souterraines est en général de directions Est-ouest et Nord-Ouest : les venues d'eau ont une vitesse de  $1,2 \cdot 10^{-4}$  m/s et la pente de la surface piézométrique est de 5%.

Les caractéristiques hydrogéologiques de cette nappe ne sont pas connues et il est nécessaire de les étudier.



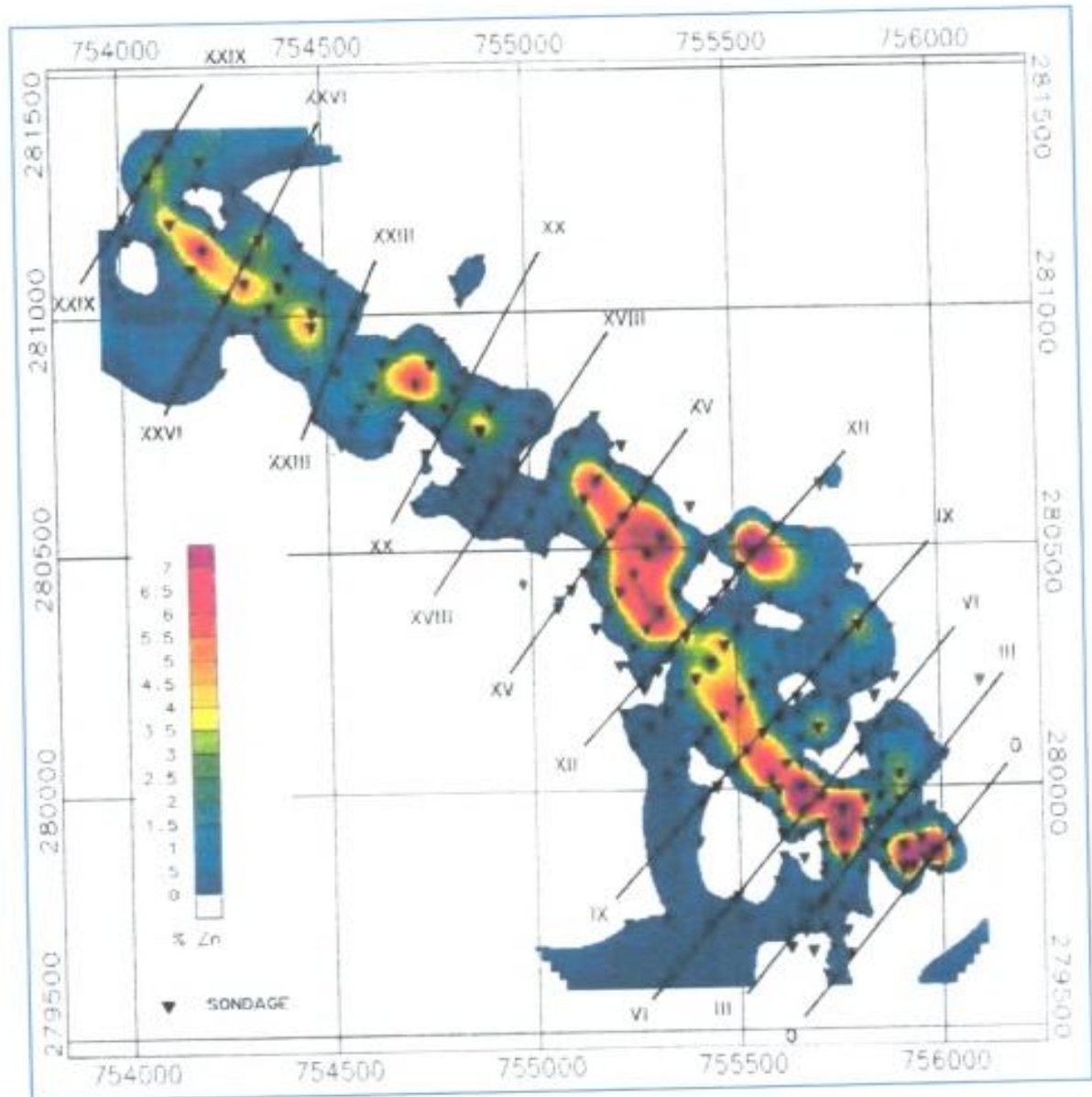
*Figure I.6.2 : Coupe hydrogéologique Profil 0 - Profil 30  
(D'après ENOF 2003 et 2006)[5]*

## I.6 RESERVES GEOLOGIQUES :

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 figure.I.5.

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 Nord-Ouest avec un angle plus prononcé que la moyenne (approximativement 15°). Cette particularité causera de plus grandes difficultés d'ouverture et d'exploitation.





*Figure I.7 : Distribution des teneurs en Zn des corps minéralisés de Chaabet El-Hamra (D'après le bureau d'étude canadien SIDAM, in Nekache 2012)[7]*

## I.7 Historique de la mine de Kherzet Youcef :

### I.7.1 GENERALITE :

Le gisement de Kherzet Youcef est situé à 250 km environ, à vol d'oiseau, au Sud-Est d'Alger et à 50 km au Sud de Sétif, dans la région d'Ain-Azel et à 12 km au Nord-Ouest du complexe minier de Chaabet El Hamra (Figure I.1).

Le gisement a été découvert en 1896 et son exploitation remonte à 1906. Après une période initiale d'extraction à ciel ouvert, l'exploitation souterraine a été développée par un premier Puits jusqu'au niveau 905. Après l'indépendance de l'Algérie, l'exploitation avait recommencée en 1979 avec le creusement d'un Puits plus profond et l'extraction des réserves situées entre les niveaux 905 et 835, et puis entre les niveaux 835 et 775. L'approfondissement du Puits III jusqu'au niveau 692 a été réalisé entre 1986 et 1990. Les différentes galeries sont reliées entre elles par des descenderies et des cheminées.

Le gisement est stratiforme avec un pendage sud-nord de 20 à 30°. Il est reconnu par des sondages jusqu'à une profondeur de 600 m (Niveau 450). Les réserves initiales étaient estimées à 2.700.000 t. Les réserves restantes du gisement sont estimées à 1.900.000 t avec des teneurs moyennes de 9,30 % en Zn et de 1,80 % en Pb.

La mine souterraine de zinc-plomb de Kherzet-Youcef a été noyée le 2 juin 1990 jusqu'au niveau 835 à la suite d'un coup d'eau de l'ordre de 36 000 m<sup>3</sup>/h dans la galerie au niveau 775. Les circonstances et le lieu de cette venue d'eau n'ont pas encore été déterminés définitivement. L'accident avait malheureusement causé la mort de dix-neuf mineurs. Après cet accident tragique, les travaux miniers furent abandonnés et la mine est restée fermée depuis.

### I.7.2 Cadre géographique d'Ain Azel et de la mine de Kherzet Youcef :



Figure I.2.2 : Situation géographique d'Ain Azel et de la mine de Kherzet Youcef[6]

### I.7.3 DEVELOPPEMENT DE LA MINE :

Le gisement de Kherzet Youcef fait partie du « district métallo génique » Pb-Zn des monts d'Hodna. La minéralisation est représentée par plusieurs corps minéralisés avec une puissance variant de quelques centimètres à trois mètres. Ce gisement a été découvert en 1896 grâce aux affleurements du minerai de zinc.

Son exploitation initiale a été lancée en 1906. Lorsque la nappe phréatique a été atteinte en 1915, les activités minières ont cessé. Dans cette première phase, l'exploitation était menée à ciel ouvert.

Avec le fonçage du Puits 1 à une profondeur de 90 m (niveau 902 m), les activités minières ont recommencé et une mine souterraine a été développée. L'exploitation était située 30 m au-dessous de la nappe phréatique et les venues d'eau dans les ouvertures de la mine pouvaient atteindre un débit de 18 m<sup>3</sup>/h. Cette deuxième phase de l'exploitation minière était divisée en deux phases : 1925-1927 et 1940-1941. A chaque fois l'exploitation minière était interrompue par des problèmes liés à des venues d'eau dans la mine.

Pour exploiter les ressources restantes, le gisement a été exploré encore une fois de 1964 à 1966. A la suite de quoi, les activités de minières ont pu reprendre en 1967. La méthode d'extraction est par chambres et piliers.

Avec l'avancement du Puits 3, jusqu'à une profondeur de 238 m (jusqu'au niveau 755 m), les activités minières étaient accompagnées par un système de pompage dans le Puits, étant donné que pendant le fonçage du Puits de fortes venues d'eau lourde avaient été enregistrées. Les pompes étaient situées au niveau 993,48 m. Le débit de pompage a atteint 40 m<sup>3</sup>/h. En plus une galerie de roulage principale a été conduite au niveau 830 m et a été utilisée également comme galerie de drainage la mine.

Quand le niveau de 894 m a été atteint par le fonçage du Puits, un coup d'eau de 900 m<sup>3</sup>/h s'est produit qui était réduite après 15 jours à 300 m<sup>3</sup>/h. Une autre forte venue d'eau a été enregistrée lorsque le niveau 885 a été atteint. Cette fois, un débit de 1.560 m<sup>3</sup>/h a été atteint et il a fallu un mois de pompage pour le ramener à 350 m<sup>3</sup>/h. Jusqu'à ce que la profondeur finale du Puits fût atteinte, le débit de pompage est resté relativement

Constant entre 350 et 420 m<sup>3</sup>/h. Au total, le fonçage du Puits a été retardé d'un an en raison des problèmes liés aux venues d'eau mentionnés ci-dessus.

Lorsque les travaux de construction du Puits 3 étaient terminés, les activités de pompage ont été arrêtées.

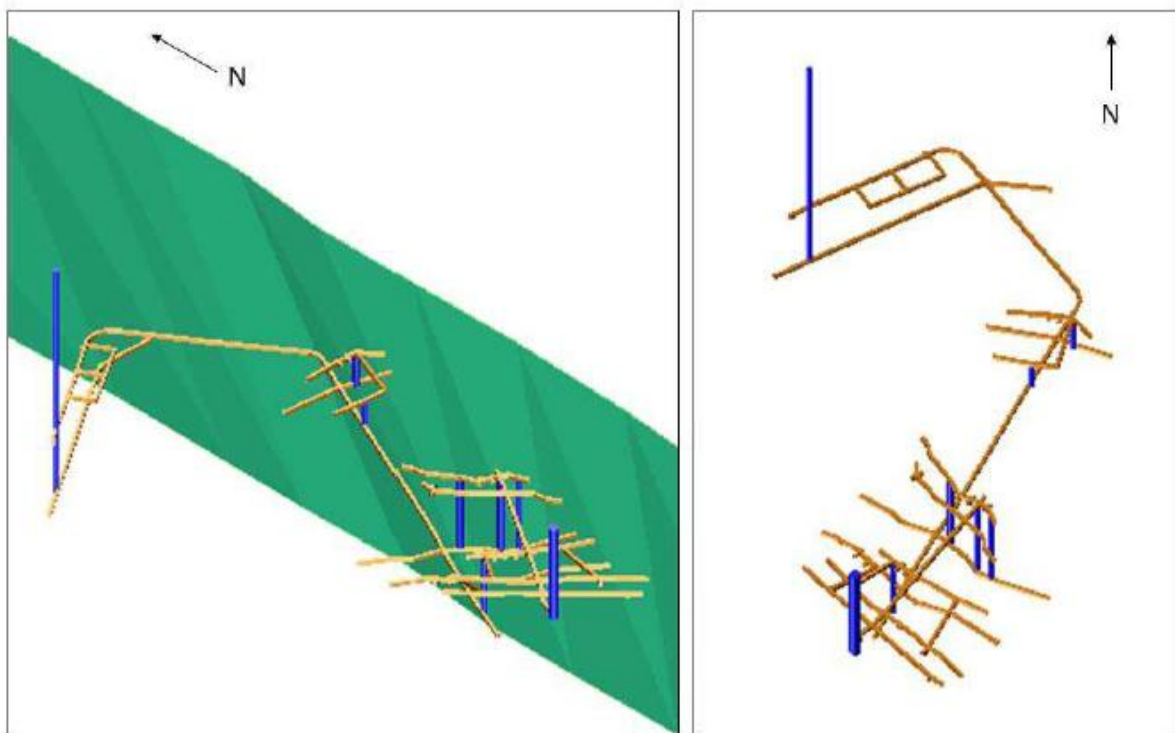
Cela a provoqué l'inondation de la mine et une remontée du niveau d'eau à son niveau d'origine. En conséquence, les activités minières avaient du être arrêtées en 1972, mais le dénoyage de la mine a duré jusqu'au mois de mai 1976.

La production a repris en 1979 en exploitant les réserves entre les niveaux 905 m et 835 m et entre 835 m et 775 m. Le fonçage du Puits III a commencé en 1986 et s'est achevée en 1990. Un quatrième niveau à 692 m a été ouvert dans l'objectif était d'exploiter toutes les réserves jusqu'au niveau 450 m.

C'était le 2 Juin 1990 quand un coup d'eau sur le flanc est du niveau 775 m d'un débit de 36.000 m<sup>3</sup>/h a causé l'inondation de la mine et la mort de 19 employés.

Depuis cet accident les activités minières ont été arrêtées. Les réserves restantes sont estimées à 1.900.000 t avec une teneur moyenne de 9,3% Zn et 1,8% Pb.

Le schéma de la mine en 1979 est illustré dans la Figure 2. Pour assécher la mine, des essais d'installation de pompes d'une capacité de 1.100 m<sup>3</sup>/h d'abord et plus tard de 1800 m<sup>3</sup>/h ont été effectués. Les deux tentatives ont échoué. La documentation relative à ces deux tentatives n'est pas fourni par ENOF.[6]

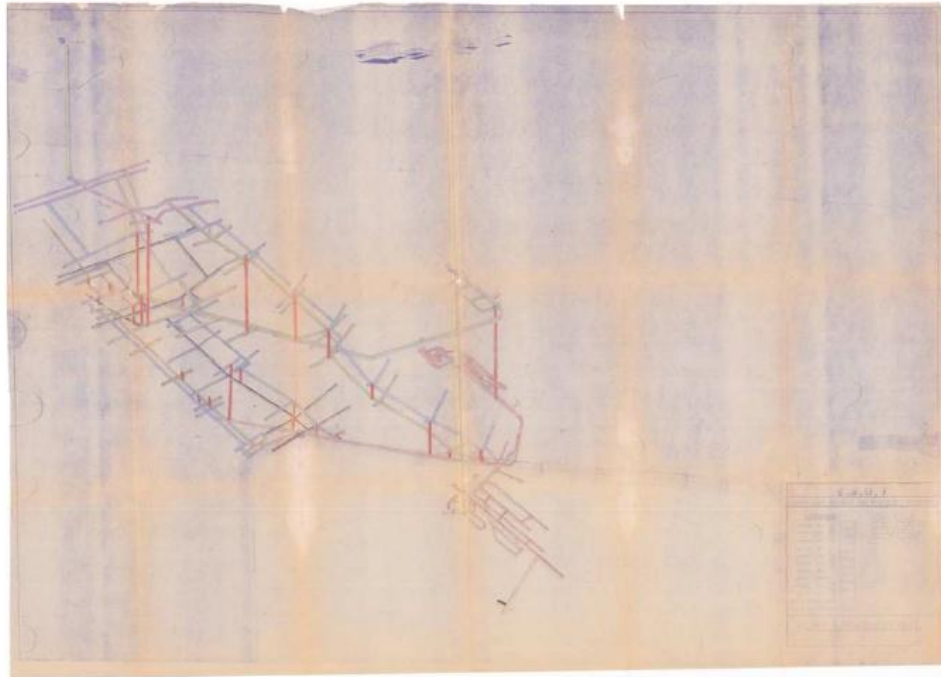


**Figure 1.8.1** : Schéma de la mine en 1979. En vert on peut distinguer la faille Kherzet Youcef.[6]

Les documents mis à disposition par ENOF comprennent le "Plan axonométrique" (Figure I.8.1) qui est plus détaillé, montrant l'approfondissement du Puits III vers le niveau 667,2 m ainsi que le développement du niveau de 692 m. L'année du développement de la mine démontré par ce plan



n'est pas indiquée. En plus, le plan de la mine montre un Puits aveugle (bure) entre les niveaux 835 m et 775 m



*Figure 1.8.2 : Plan Axonométrique de la mine de Kherzet Youcef (sans date)[6].*

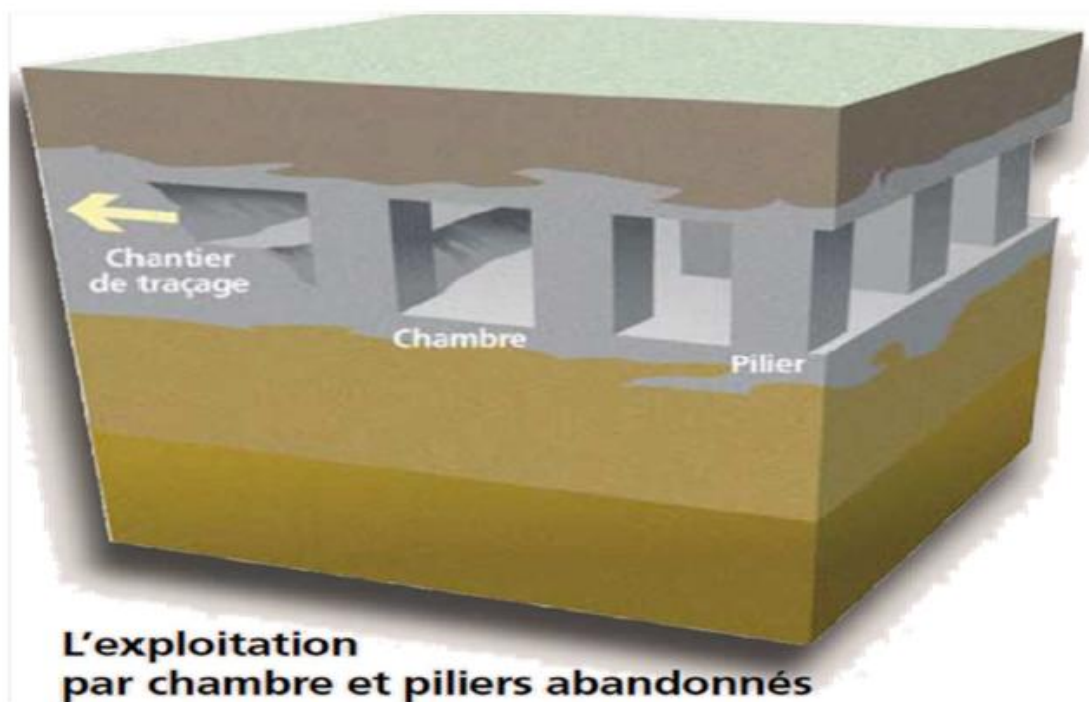
Les activités minières exécutées dans la mine de Kherzet Youcef (Figure I.4) sont décrites ci-après :

Compte tenu des conditions géologiques et minières avec des piliers discontinus et la création de fenêtre entre les chambres, les paramètres constructifs du système ont été fixés sur la base des propriétés physiques du massif. Celles-ci ont été déterminées par l'application de méthodes universellement connues et en prenant en considération l'évaluation visuelle du massif (minéral, intercalation marneuse, dolomies, calcaires dolomitiques).

Ainsi, les paramètres constructifs suivants, ont été déterminés :

- Largeur de la chambre : 6m
- Largeur des piliers : 3m
- Longueur des piliers (en amont) : 6m
- Distance entre les piliers (en amont) : 4m
- Hauteur des piliers : puissance du banc minéralisé
- Longueur de la chambre : environ 60m

Chaque couche minéralisée est découpée en blocs d'exploitation comportant le numéro de la couche suivi de celui du bloc. Le développement des travaux d'abatage pour chaque bloc se fait à partir de la galerie de scrapage. Le pilier était de 6m de longueur en amont, avec l'utilisation des fenêtres de 4m de longueur et de hauteur égale à la puissance du minerai type «caverneux» de manière à laisser une hauteur de 0,80 m au minimum dans la partie inférieure de la fenêtre. Les fenêtres sont percées à partir des deux chambres voisines, pour cela on utilise de l'explosif dans les trous de 1,40m de profondeur. Le toit des chambres suit les calcaires du toit de la couche minéralisée qui restent intactes. L'intercalaire du toit est abattu avec le minerai.[6]



*Figure I.9 : Méthode d'exploitation minière à Kherzet Youcef[6]*

## **I.7.4 INTERPRETATION DE L'HYDROGEOLOGIE :**

Cette partie contient un sommaire des aspects géologiques et hydrogéologiques principaux ainsi qu'une description de l'état des installations relevant de l'étude. Les sources documentaires sont les données mises à disposition par ENOF et d'autres sources littéraires. Un résumé de la situation géologique et hydrogéologique est présenté par l'étude de la pollution des eaux souterraines : cas de la plaine d'Ain Azel – Est Algérien, Thèse, BELKHIRI Lazhar, 2011.[6]

### **I.7.4. 1 Cadre géologique :**

Une étude litho stratigraphique de la région d'Ain Azel permet d'identifier deux formations. La première est une formation carbonatée et gréseuse d'environ 700 m d'épaisseur, de porosité de

fracture constituée par la formation Barrémien. La seconde est une formation alluvionnaire d'une épaisseur de 250 m qui correspond au Mio-Plio Quaternaire et qui est constituée de sable, gravier, galet, grès, argile et conglomérat et de porosité d'interstice.[6]

Les roches crétacées contiennent la minéralisation. Leur stratigraphie est représentée sur la (fig I.10).

Système	LITHOSTRATIGRAPHIE		LITHOLOGIE	METALLO (Indices et gisements)
	Etage	Formation		
Crétacé inférieur	Albien	Calcareo-marne-gréseuse		
	Aptien	Calcareo-marneuse à Orbitolines		Barré Aptienne Pb - Zn
	Barrémien	Argilo-calcareo-gréseuse		Kherzet Youcef Pb - Zn
	Hauteriviens	Dolomitico-gréseuse		Pb - Zn
	Berriassien sup Valangéens	Argilo-gréseuse		
Jurassique	Jurassique sup Berriassien inf	Marne-calcaire		
	Dogger	Dolomies et calcaires à silex		Pb - Zn
	Lias	Dolomies et calcaires dolomitiques		Pb - Zn - Fe - B
Trias				

Figure 1.10 : Colonne litho stratigraphique synthétique des monts du Hodna (BELKHIRI)[6]

La Figure I.11 ci-après, illustre une section Est – Ouest, traversant la situation géologique dans la mine de Kherzet Youcef qui est importante pour la situation hydrogéologique.

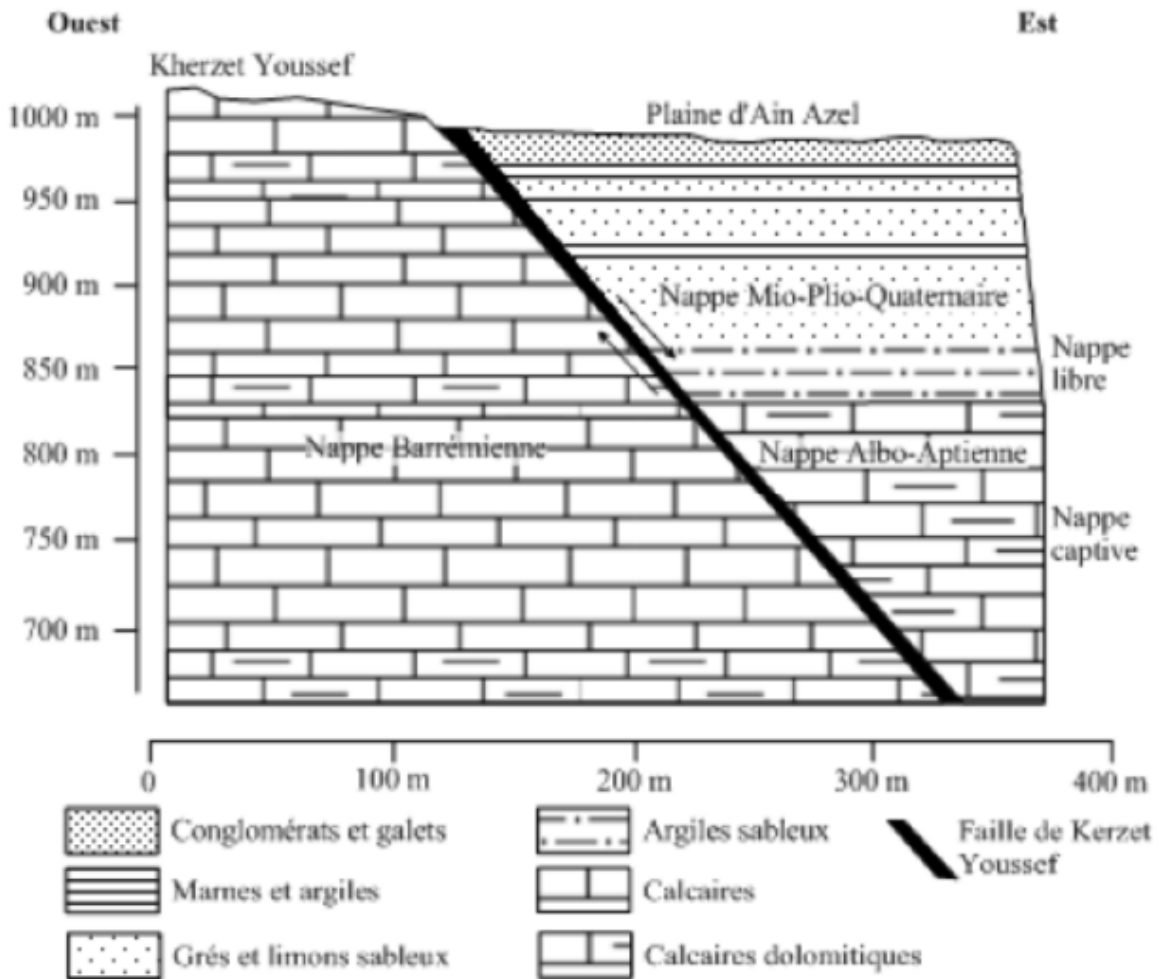


Figure I.11 : Coupe hydrogéologique schématique (BELKHIRI)[7]

#### I.7.4.2 Cadre HYDROGEOLOGIQUES :

Les travaux exécutés montrent une image de trois unités hydrogéologiques décrites comme suit (BELKHIRI):

##### ❖ La nappe Barrémienne :

La nappe Barrémienne est située à l'Ouest de la faille de Kherzet Youssef (Figure I.11), où elle est affleurant à un niveau piézométrique estimé à 929 m. L'ensemble du Barrémien fait 700m d'épaisseur.

Le Barrémien est caractérisé par des formations sédimentaires constituées d'une alternance de calcaires, de marnes, de dolomies et de grès. Les corps minéralisés du gisement de Kherzet Youssef sont encaissés dans ces formations.



Le Barrémien est affecté par un réseau de failles et fractures particulièrement développé au niveau du massif de Hadjar Labiod, permettant la circulation des eaux souterraines dans les formations calcaire-dolomitiques.

❖ **La nappe Albo-Aptienne :**

La nappe Albo-Aptienne est située dans le compartiment Est de la faille de Kherzet Youcef (Figure I.11). Elle est caractérisée par des calcaires karstiques avec des intercalations gréseuses, des calcaires marneux. Une faille formant une barrière étanche isole hydrauliquement cette nappe de la nappe Barrémienne. Cette nappe se trouve en charge sous un niveau argileux-sableux semi-perméable permettant de l'isoler hydrauliquement de la nappe Mio-Plio-Quaternaire.

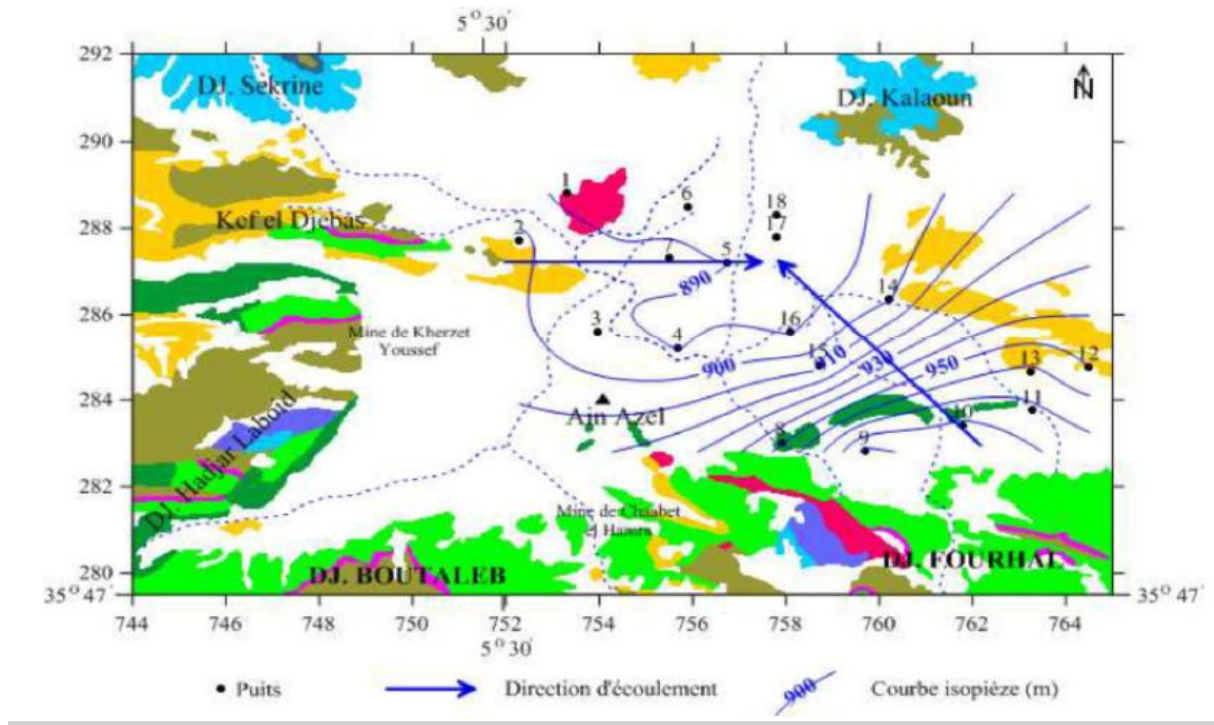
❖ **La nappe Mio-Plio-Quaternaire :**

La nappe Mio-Plio-Quaternaire est située immédiatement à l'Est de la faille de Kherzet Youcef dans la plaine d'Ain Azel (Figure I.11), son épaisseur peut atteindre 250m. Le Mio-Plio-Quaternaire est caractérisé par une sédimentation détritique continentale très hétérogène, représentée par des conglomérats qui s'intercalent avec des grès, argiles, marnes, calcaires lacustres et des galets avec des intercalations de limons sableux.

La nappe superficielle est alimentée directement par les précipitations et les eaux de ruissellement en provenance des différents reliefs entourant la dépression inter-montagneuse d'Ain Azel. Ces principaux exutoires sont représentés par Sebket el Hamiet et Chott el Beida, ainsi que l'évaporation. Le niveau piézométrique de cette nappe était de l'ordre de plus de 930 m en 1982.

Les eaux de cette nappe sont utilisées par les agriculteurs à travers leurs Puits domestiques pour l'irrigation et la consommation humaine.

L'étude de la surface piézométrique dans l'aquifère du Mio-Plio-Quaternaire (Figure I.12) montre que la direction de l'écoulement des eaux souterraines est du Sud au Nord et d'Ouest à l'Est. En général, l'eau souterraine s'écoule vers le centre de la plaine et montre une dépression potentiométrique qui coïncide avec la forte densité de Puits au centre de la plaine. Les essais de pompage, nous a permis d'estimer la transmissivité, qui est moyenne pour l'aquifère superficiel ( $T \sim 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ).[6]



**Figure I.12 :** Carte du niveau d'eau de l'aquifère du Mio-Plio-Quaternaire (Mars 2008, unité: m)  
(BELKHIRI)[7]

## I.8 ETUDES HYDROGEOLOGIQUES SUR LA MINE DE KHERZET YUCEF :

Dans les piézomètres le long de la faille, que dans les piézomètres à l'ouest pendant les essais de pompage Pendant l'exploitation minière, 3 études hydrogéologiques ont été exécutées :

**I.8.1. SONAREM :** «Rapport sur les travaux hydrogéologiques exécutés de 1973 à 1977 sur le gisement polymétallique de Kherzet-Youcef ».

**I.8.2. BULGARGEOMIN :** «Rapports sur les résultats du dénoyage réalisé et les observations hydrogéologiques de la mine de Kherzet Youcef pour la période du 15 Décembre 1975 au 30 Avril 1979 ».

**I.8.3. ENOF :** «Rapport sur les études hydrogéologiques menées lors de l'exploitation du gisement de Kherzet Youcef pendant la période Mars 182 – Mars 1987».

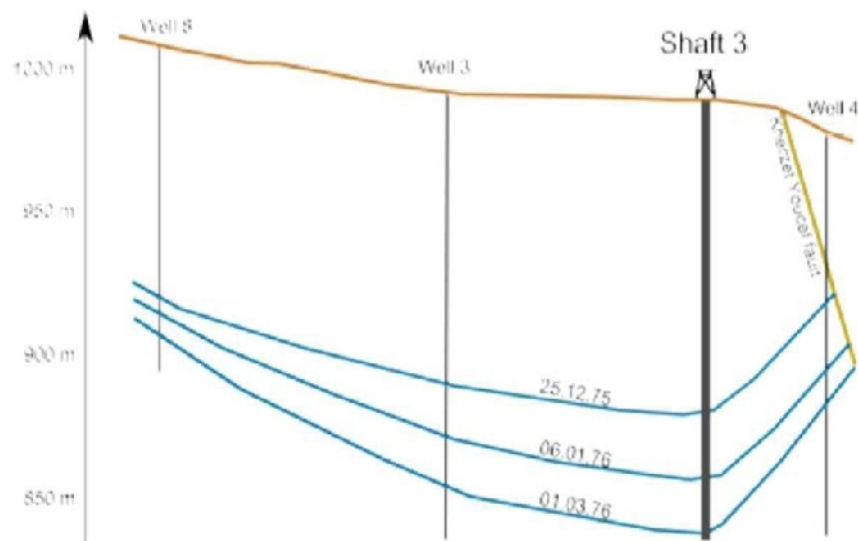
Les résultats les plus importants sont résumés brièvement ci-après :

### ❖ SONAREM :

L'étude montre que la faille méridionale Kherzet Youcef est une barrière hydraulique, dont le pendage est de 65 – 80°. Les mouvements tectoniques ont causé une zone de fissuration élevée tout au long de la faille. Cela a provoqué des remontées plus rapides et plus élevées. Le mouvement de l'eau a lieu dans les zones fissurées qui peuvent être agrandies à cause de la karstification.

La limite inférieure de la zone fissurée et karstifiée de l'assise carbonatée est limitée par les cotes +700 à 750 m, conformément aux cotes minimales de la base d'érosion d'ante Miocène. En profondeur, la fissuration et la karstification de l'assise carbonatée diminue. L'étude constate : «Il n'existe pas dans la région du gisement, de grandes formes karstiques (grottes, entonnoirs karstiques etc.)».

Finalement, l'étude conclue que les zones fissurées sont connectées hydrauliquement dans les formations carbonatées. L'analyse des essais de pompage donne une transmissivité moyenne de 169.43 m<sup>2</sup>/d et une conductivité hydraulique de 0,903x10<sup>-6</sup> m/s.[6]



*Figure I.13 : Développement du cône de dépression Déc. 1975 - Mars 1976 (SONAREM)[6]*

### ❖ BULGARGEOMIN :

Dans la description géologique de cette étude, il y a des différences minimales dans l'indication du pendage de la faille Kherzet Youcef comme étant de 70 – 75° est. Les descriptions hydrauliques de SONAREM sont confirmées :

« Les ouvrages miniers réalisés jusqu'au niveau 775, constatent une fissuration presque régulière en profondeur.

La tendance d'une diminution des fissures en profondeur est faiblement exprimée. A proximité de la faille Kherzet Youcef, la fissuration des roches augmente. Ceci crée une perméabilité supérieure des eaux dans la zone de la faille". Grâce à un processus d'approximation la conductivité hydraulique est estimée à 0,087 m/d ou  $1 \times 10^{-6}$  m/s.

Le rapport contient une cartographie des venues de l'eau dans la mine pendant les dates 30/04/1976 et 30/04/1979. Pendant cette période, le débit des venues diminue au niveau 835 et augmente au niveau 775. En avril 1979 on a mesuré un débit au niveau 825 de 130 m<sup>3</sup>/h et de 170m<sup>3</sup>/h au niveau 775. En plus, il y avait

#### ❖ ENOF :

Ce rapport analyse les résultats du dénoyage de 1982 à 1987. Pendant cette période, le débit a augmenté de 300 m<sup>3</sup>/h jusqu'à 779 m<sup>3</sup>/h. Cela correspond à un débit de 65 m<sup>3</sup> d'eau/t minerai. En même temps, le débit a diminué au niveau 835 de 115 m<sup>3</sup>/h en mars 1982 jusqu'à moins que 15 m<sup>3</sup>/h en mars 1987.

L'exploitation des ressources minérales du niveau 775 a débuté en Juillet 1985. Jusqu'à cette époque, les débits prévus et les taux de décharge réels coïncidaient tout à fait bien, mais à partir de maintenant les débits ont dépassé toutes les prévisions. On estime que la cause de l'augmenté du débit est le découpage de la zone fissurée.

L'étude a recommandé de forer trois trous horizontaux d'une longueur de 160 m quand les activités minières approchent la faille Kherzet Youcef et quand des galeries principales sont développées. Le dénoyage du gisement était un problème difficile à gérer. Quand le minerai était extrait, le contenu en particules présentes dans l'eau a augmenté jusqu'à 65-70 gr / l et les pompes n'étaient plus capables de gérer l'eau de la mine. Le dénoyage du niveau d'exploitation précédent pourrait résoudre ces problèmes. Par conséquent, on a recommandé que les niveaux inférieurs doivent drainer les niveaux supérieurs. Une autre recommandation était d'installer des cloisons pour sceller les sources d'entrée. Lorsque le rapport a été élaboré l'équipement approprié pour exécuter les travaux requis n'était pas disponible de sorte que la faisabilité de l'approche n'a pas pu être testée. Mais en 1987, 2 ans plus tard, l'approche de sceller une source au niveau 755 m a échoué.

Les conclusions de l'étude sont les suivantes : La grande faille de Kherzet Youcef et les accidents tectoniques qui la traversent, jouent un rôle primordiale dans la constitution des conditions hydrogéologiques du gisement.[7]

La conductivité d'eau des accidents tectoniques est beaucoup plus élevée que celle du complexe barrémien.

La principale venue d'eau de la mine provient de l'Est, de la nappe libre du Néogène. Plus les ouvrages miniers s'approchent à la faille de Kherzet Youcef, plus l'abondance d'eau augmente.

Le débit de la mine dépend des précipitations. L'augmentation du débit commence 24 heures après la chute de la pluie et sa valeur s'élève jusqu'à 10% du débit total.

L'étude contient une estimation selon laquelle 95% des sources des venues d'eau de la mine sont alimentées par le Néogène et seulement 5% par le complexe carbonaté.



---

## Chapitre II

# **Les phases d'exploitation minière et leurs impacts sur l'environnements**

---



## **II. LES PHASES D'UN PROJET MINIER :**

Du début des prospections minières à la période d'après-clôture de la mine, on distingue différentes phases dans un projet minier. Ce qui suit représente les phases typiques d'un projet minier. Chaque phase d'exploitation minière est associée à différents groupes d'impacts environnementaux.

### **II.1. Prospection :**

Un projet minier peut commencer seulement quand on connaît l'extension et la valeur du dépôt de minerai. Les informations sur la localisation et la valeur du dépôt de minerai s'obtiennent durant la phase de prospection. Cette phase comprend les enquêtes, les études de terrain, les essais de sondage et d'autres excavations exploratoires.

### **II.2. Développement :**

Si la phase d'exploration prouve l'existence d'un dépôt de minerai assez important et d'une teneur suffisante, le promoteur de projet peut alors commencer de planifier le développement d'une mine. Cette phase du projet minier comprend plusieurs composantes distinctes.

#### **II. 2.1. Construction de routes d'accès :**

La construction de routes d'accès, soit pour amener les équipements lourds et les approvisionnements au site minier ou bien pour expédier les métaux et minerais traités, peut engendrer des impacts environnementaux substantiels spécialement si les routes d'accès sont construites à travers des zones écologiquement sensibles ou près de communautés précédemment isolées.

#### **II. 2.2. Préparation et déblaiement du site :**

Si le site d'une mine se situe dans une zone sous-développée et difficile d'accès, le promoteur du projet peut avoir besoin de commencer le déblaiement des terrains pour la construction des zones de campement pour héberger le personnel et stocker les équipements.

#### **II.2.3. Exploitation souterraine :**

Ce mode est utilisé pour les gisements en profondeur (pour les minéralisations se trouvant à plus d'une dizaine de mètres de profondeur).

Le choix d'une méthode d'exploitation souterraine dépend de plusieurs facteurs:

- a. La forme du gîte (régulière ou irrégulière),
- b. La dimension du gîte,
- e. Les conditions du gisement,
- d. Les propriétés du minerai et de gangues,
- e. La répartition des minéraux de valeur qui conditionne le choix entre une exploitation sélective ou une exploitation globale.

Lors de l'exploitation, le champ minier peut être partagé en étapes, par soutènements ou non. Dans les mines souterraines, il faut veiller à l'exhaure, éclairage, aérage, soutènement pour la sécurité et la santé des travailleurs.

Dans l'exploitation souterraine, une quantité minimale de morts terrains est enlevée pour accéder au dépôt de minerai. L'accès à ce gisement de minerai se fait au moyen de tunnels ou de puits.

Tunnels ou puits conduisent à un réseau plus horizontal de tunnels souterrains qui accèdent directement au minerai.

Bien que l'exploitation minière souterraine soit une méthode moins destructive de l'environnement pour accéder à un gisement de minerai, elle est souvent plus coûteuse et comporte des risques de sécurité plus élevés que l'exploitation à découvert par décapage direct.

#### **II.2.4. Evacuation des morts terrains :**

Pour la plupart des projets miniers, la quantité de morts terrains générée par l'exploitation minière est énorme. Le rapport entre la quantité de morts terrains à la quantité de minerais (taux de découverte) est généralement supérieur à un et peut être beaucoup plus élevé.

Ces déchets volumineux, contenant parfois des niveaux significatifs de substances toxiques, sont généralement déposés sur place, soit en tas sur la surface ou comme remblai dans les carrières, ou dans les mines souterraines.

#### **II.2.5. Extraction du minerai :**

Après qu'une compagnie minière a déplacé les morts terrains, l'extraction du minerai commence à l'aide d'équipements lourds et d'une machinerie spécialisés, tels que les chargeurs, les wagons de mine et les camions-benne, qui transportent le minerai vers les installations de traitement à travers des routes de transport des matériaux.



Cette activité crée un groupe particulier d'impacts environnementaux, tels que les émissions de poussière fugitive des routes de transport des matériaux.

### II.2.6. Enrichissement :

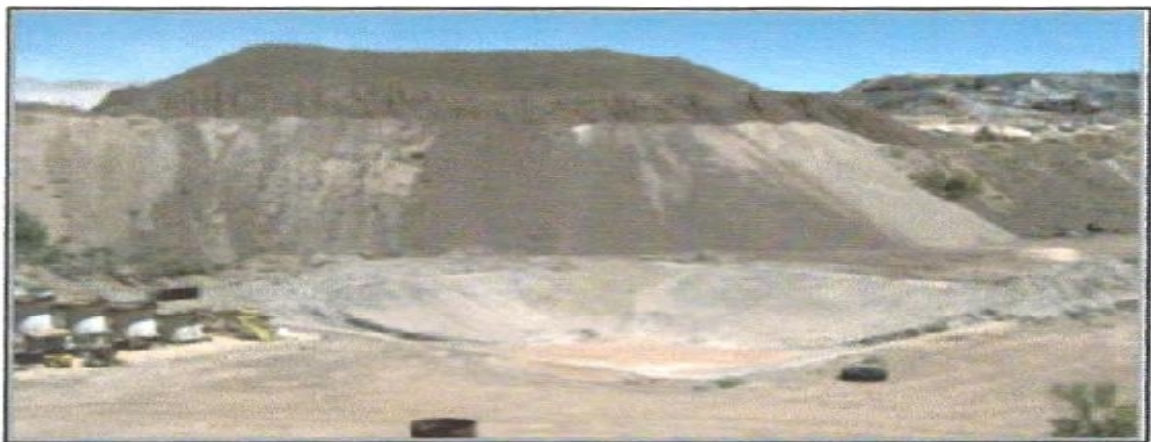
Bien que les minerais métalliques contiennent des niveaux élevés de métaux, ils produisent aussi de grandes quantités de déchets. Par conséquent, l'étape suivante dans

- l'exploitation minière est le concassage (ou broyage) du minerai et la séparation des quantités relativement faibles de métaux du matériau non métallique du minerai au cours d'un processus de traitement dénommé enrichissement.

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

Les déchets provenant de ces processus incluent des décharges de déchets rocheux, des résidus, des matériaux de lessivage (pour les opérations d'or et d'argent) et des décharges de matériaux lessivés (pour les opérations de lessivage de cuivre).[7]

La lixiviation impliquant l'utilisation de cyanure est un type de processus d'enrichissement, généralement utilisé pour des minerais d'or, d'argent et de cuivre et qui mérite une attention particulière en raison des graves impacts sur l'environnement et sur la sécurité publique (figII.2).



*Figure II.1 : Lixiviation en tas, mine d'or Bighorn, Californie, États-Unis (Photo internet)*

### II.2.7. Evacuation des résidus :

Même les minerais métalliques à haute teneur sont composés presque entièrement de matériaux non métalliques et contiennent souvent des métaux toxiques indésirables (comme le cadmium, le plomb et l'arsenic). Ainsi, le processus d'enrichissement génère de gros volumes de déchets appelé résidus figure .II.1.

Si un projet minier implique l'extraction de quelques centaines de millions de tonnes métriques de minerai, le projet de mine générera une quantité similaire de résidus. La manière dont une compagnie minière dispose de son important volume de matériau de déchets toxique est l'une des questions centrales qui détermineront si un projet minier proposée est acceptable du point de vue environnemental.



*Figure II.2 : évacuation de l'eau de L'exhaure (photo internet)*

### II.3 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX :

Les différentes étapes reliées à l'activité minière génèrent à divers degrés des risques pour l'environnement et les ressources naturelles abiotique et biotique telles que l'aire l'atmosphère l'eau le sole et le sous-sol la et la flore ;les interactions entre les dite ressources ainsi que le sites ,les paysages et les monuments naturels et la santé et la faune et pour la société en général, n particulier pour les populations avoisinantes. L'activité minière peut affecter, à différents niveaux, l'air, le sol, les eaux de drainage, les eaux souterraines, et, en conséquence, elle peut aussi toucher directement ou indirectement la flore, la faune et la santé humaine.

Le tableau ci-dessous tableau II.1 décrit brièvement et, d'une façon générale, les activités clés de chacune des étapes de l'activité minière et ses principaux impacts potentiels sur l'environnement naturel et sur la population en général.

**Tableau II.1 : Les activités minières et les impacts sur l'environnement [7]**

Étapes de l'activité minière	Les activités-clés	Impacts potentiels sur l'environnement	Impacts population	
			positifs	potentiels sur la population négatifs
1) Exploration	*Recherche des données	*Impacts nul ou faible.	*Mise en valeur	*Poussières
	*prospection	Construction de voies d'accès	d'une ressource naturelle locale.	*Impact visuel
	*levés géochimiques et géophysiques	*Coupe d'arbres et dégagement du couvert végétal.		*Pollution sonore :
	*Évaluation des réserves géologiques	*Pollution sonore par la machinerie utilisée.		Affecte plutôt les travailleurs.
	*Forage et tranchées	*Décharge de contaminants : huiles et eaux utilisés en vue du fonctionnement de la machinerie.		
2) Développement de la mine	*Études de faisabilité et projet d'ingénierie	*Coup de forêts	*Création d'emplois	*Manipulation possible de l'information
	*Audiences publiques	*Impacts sur la flore et la faune	*Opportunité pour la population d'exprimer son avis	*Impact visuel
	*Installation des infrastructures	*Altération du milieu physique : morphologie locale	*Développement social et économique de la région	*Poussière
	*Construction de bâtiments	*Déviement de cours de la nappe phréatique		*Pollution sonore
	*Routes d'accès			
	*Construction de la mine et pré-production			
3) Production exploitation minière et traitement de minéral	*Extraction, broyage et concassage du minéral	*Pollution de l'air : poussière, radioactivité	*Élévation du revenu de la population locale	Travailleurs
	*Choix des sites pour la disposition des stériles	*Pollution sonore	*Revenus en taxes et impôts pour les gouvernements	*Santé : poussière et bruit
	*Flottation et concentration chimique du minéral	*Empilement des stériles miniers		*Risques pour la santé de la population locale et régionale à court terme
	*Transport du minéral ou des concentrés	* Génération et disposition des résidus miniers		*Utilisation plus restreinte des lacs, des ruisseaux et des rivières
	*Disposition des résidus et de déchets	*Effluents contaminés générés par des réactions chimiques à l'intérieur du hall à stériles et des dépôts de résidus miniers. *Contamination d'eaux de surface et souterraines		

### II.3.1 Impacts sur les ressources en eau :

Les effets sur la qualité de l'eau et de la disponibilité des ressources en eau dans la zone du projet constituent peut-être l'impact le plus important d'un projet d'exploitation minière.

### II.3.2 Défis environnementaux en lien avec les haldes à stériles :

Les eaux de drainage des haldes à stériles doivent respecter des normes environnementales de plus en plus sévères, ce qui constitue un défi important pour l'industrie minière. Cette eau peut provenir de précipitations, de la fonte des neiges ou pouvait déjà être présente dans la haldes au moment de sa construction. On reconnaît qu'en général, en raison de leurs propriétés *in situ* (granulométrie étalée et variable, propriétés hydrogéotechniques variables, porosité élevée, angularité élevée des particules, etc.), les stériles peuvent être plus problématiques que les rejets de concentrateur d'un point de vue environnemental[1].

Un problème bien connu dans l'industrie minière pouvant survenir dans les parcs à résidus et les haldes à stériles est le drainage minier acide (DMA). Celui-ci consiste en la contamination de l'eau lorsque celle-ci entre en contact avec certains types de minéraux (c.-à-d. les sulfures) présents dans les rejets. En s'oxydant naturellement au contact de l'eau et de l'air environnant.

Un problème bien connu dans l'industrie minière pouvant survenir dans les parcs à résidus et les haldes à stériles est le drainage minier acide (DMA). Celui-ci consiste en la contamination de l'eau lorsque celle-ci entre en contact avec certains types de minéraux (c.-à-d. les sulfures) présents dans les rejets.

En s'oxydant naturellement au contact de l'eau et de l'air environnant formant ce que l'on appelle un drainage neutre contaminé (DNC) [1]. Parmi les contaminants pouvant être retrouvés dans le DNC, on retrouve l'arsenic (As), l'antimoine (Sb), le cadmium (Cd), le cobalt (Co), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le zinc (Zn). Ces éléments peuvent provenir de minéraux les intégrant dans leur formule chimique respective ou se retrouver en impuretés dans d'autres minéraux tels la pyrite[1], la pyrrhotite et l'arsénopyrite. Même si le problème du DNC peut sembler avoir une ampleur moindre que celui du drainage minier acide, il peut néanmoins contenir des concentrations en éléments supérieures aux limites exigées par la réglementation et ainsi avoir un impact significatif sur l'environnement si aucune mesure n'est prise pour son atténuation.

Plusieurs mines au Algérie extraient des rejets ayant le potentiel de produire du DNC, par exemple : les rejets de concentrateur et de stériles de Kherzet Youcef et Chaabet el Hamra, les rejets de concentrateur et les stériles de la mine el Ouenza a Tébessa ....ect

Sur chaque site minier en opération, il est requis de caractériser les rejets pour déterminer s'ils peuvent potentiellement générer du DMA ou du DNC. Une prédiction fiable servira, par exemple, à développer des techniques pour l'entreposage lors des opérations puis pour assurer une restauration appropriée pour empêcher ou limiter la production de la contamination. Un exemple de méthode de restauration pour les haldes à stériles est la construction de couvertures avec effets de barrière capillaire pour empêcher soit l'infiltration d'eau (en climat ; aussi appelée «Store-and-Release cover» en anglais) (Zhan, Aubertin, Mayer, Burke et Mc Mullen, 2001), soit la migration de l'oxygène en climat tempérée[1].

L'entassement des stériles est une autre approche permettant de contrôler la disponibilité de l'oxygène[1]. Si les stériles ne sont pas potentiellement générateurs de contamination (DMA ou DNC), ils pourront servir de matériaux de construction au lieu d'être entreposés dans un aménagement contrôlé (Rinker et al., 2003). De plus, si leur pouvoir neutralisant est considérable, ils peuvent aussi être disposés de manière à neutraliser le drainage minier acide généré par d'autres rejets (Morin et Hutt, 2000). Par exemple, des stériles non générateurs d'acidité peuvent être disposés à la base et sur les côtés de haldes génératrices de DMA pour agir comme tampon et restreindre l'ampleur de la contamination [1].

### **II.3.3 La réactivité des rejets miniers en climat :**

Les caractéristiques climatiques locales doivent être considérées dans la gestion d'un parc à résidus miniers ou d'une halde à stériles. En effet, les précipitations, les températures et d'autres facteurs météorologiques influencent la réactivité des rejets, l'efficacité de scénarios de restauration et, en bout de ligne, l'ampleur de la contamination produite. Tel est d'ailleurs le cas des exploitations minières situées dans les régions d'Ain Azel, Les basses en températures ralentissent la plupart des réactions chimiques et biologiques qui régissent les processus de génération de contaminants, tandis que le gel réduit leur vitesse de migration.

L'intégration au pergélisol est d'ailleurs souvent employée comme méthode de contrôle de l'oxydation des rejets miniers et de la production de DMA. L'objectif de cette approche étant de geler les résidus ou les maintenir à des températures près du gel pendant la majeure partie de l'année[1].



Plusieurs chercheurs ont tenté de déterminer avec plus de précision les conditions froides limites auxquelles doivent être soumis les rejets miniers potentiellement problématiques afin qu'ils ne génèrent pas de contamination. Les résultats de ces études montrent d'une part que la présence de contamination en région pergélisol peut en partie être attribuée à la zone active (couche de sol subissant le dégel à la surface du sol) qui permet la production de contamination, la lixiviation et le transport des contaminants dans les bassins de drainage locaux et les environnements marins[1].

L'épaisseur de la zone active dépend principalement des propriétés thermiques du sol et des conditions météorologiques locales. D'autre part, [1] a mesuré l'oxydation de sulfures dans des résidus miniers jusqu'à une température de  $-11\text{ °C}$  et a montré que le gel limite, mais n'empêche pas totalement ce phénomène. Il suggère donc que les rejets doivent être maintenus à des températures en-dessous du point de congélation pour empêcher la contamination des eaux de drainage. Dans certains cas, les faibles températures ne feraient que ralentir ou retarder la production de DMA[1]. Plusieurs auteurs ont tenté d'établir une température maximale d'entreposage des rejets, sous laquelle ceux-ci seraient pratiquement inerte[1].

À partir des observations faites sur le terrain et en laboratoire, il a été remarqué qu'en règle générale, cette technique peut être viable pour les sites miniers situés dans un climat où la température du pergélisol est inférieure à  $-2\text{°C}$  et où la température moyenne annuelle de l'air se situe sous  $-8\text{°C}$ [1]. La relation entre la température de l'air et du sol est toutefois complexe et chaque site doit être analysé de façon spécifique[1]. Une gestion adéquate des résidus et des stériles miniers, il devient de plus en plus pertinent de considérer l'impact des changements climatiques, particulièrement en conditions nordiques où l'on retrouve de plus en plus d'activités minières et ce, autant au Québec qu'au Canada [1]. Les prédictions indiquent que les régions arctiques pourraient être les régions les plus affectées de la planète par le réchauffement climatique[1].

### **II.3.4 Impacts des bassins de décantation des résidus, de la lixiviation en tas et des installations de stockage de lixiviats :**

Les impacts des bassins de décantation des résidus de mine, de la lixiviation en tas et des installations de stockage de lixiviats sur la qualité de l'eau peuvent être graves. Ces effets comprennent la contamination des eaux souterraines en dessous de ces installations et des eaux de surface.

Les substances toxiques peuvent alors lessiver de ces installations, filtrer à travers le sol et contaminer les eaux souterraines, surtout si la base de ces installations n'est pas équipée d'un revêtement imperméable.

Les stériles représentent de gros volumes de déchets qui peuvent contenir des quantités de substances toxiques dangereuses, telles que l'arsenic, le plomb, le cadmium, le chrome, le nickel et le cyanure.

Finalement, les bassins de résidus seront ou bien asséchés dans les climats arides, ou bien peuvent libérer l'eau contaminée, dans des climats humides. Dans les deux cas, les techniques de gestion spécifiques sont exigées pour fermer ces dépôts de déchets et réduire les menaces environnementales.

Lorsque les bassins de décantation de résidus de mine cèdent, ils déversent de grandes quantités d'eaux toxiques qui peuvent tuer la vie aquatique et empoisonner l'alimentation en eau potable sur de nombreux kilomètres en aval du bassin de décantation.

## **II.4 DESCRIPTION DE LA LAVERIE DE KHERZET YUCEF :**

L'usine d'enrichissement du complexe de Kherzet Youcef, fait partie des plus importantes réalisations industrielles de l'Algérie dans le domaine minier.

Elle est conçue pour le traitement du minerai Plomb/Zinc de la mine de Kherzet Youcef, mais après l'inondation de 2 juin 1990, qui a causé des catastrophes dans la mine, l'usine exposée au risque de fermeture, a repris du service grâce à l'ouverture de la mine de Chaabet El-Hamra distante d'une 12(km).

Le schéma technologique inclut le broyage humide avec deux broyeurs à boulets, après le concassage en deux étapes (la première avec un concasseur à mâchoire et la deuxième avec concasseur à cône), suivies le cycle de la flottation qui contient une opération de contrôle et trois opérations d'épuration. La capacité de travail de la laverie est de 100 000 tonnes, pour l'année 2000, pour un niveau de production de 75 000 tonnes de minerai humide (fig.II.3 &II.4).

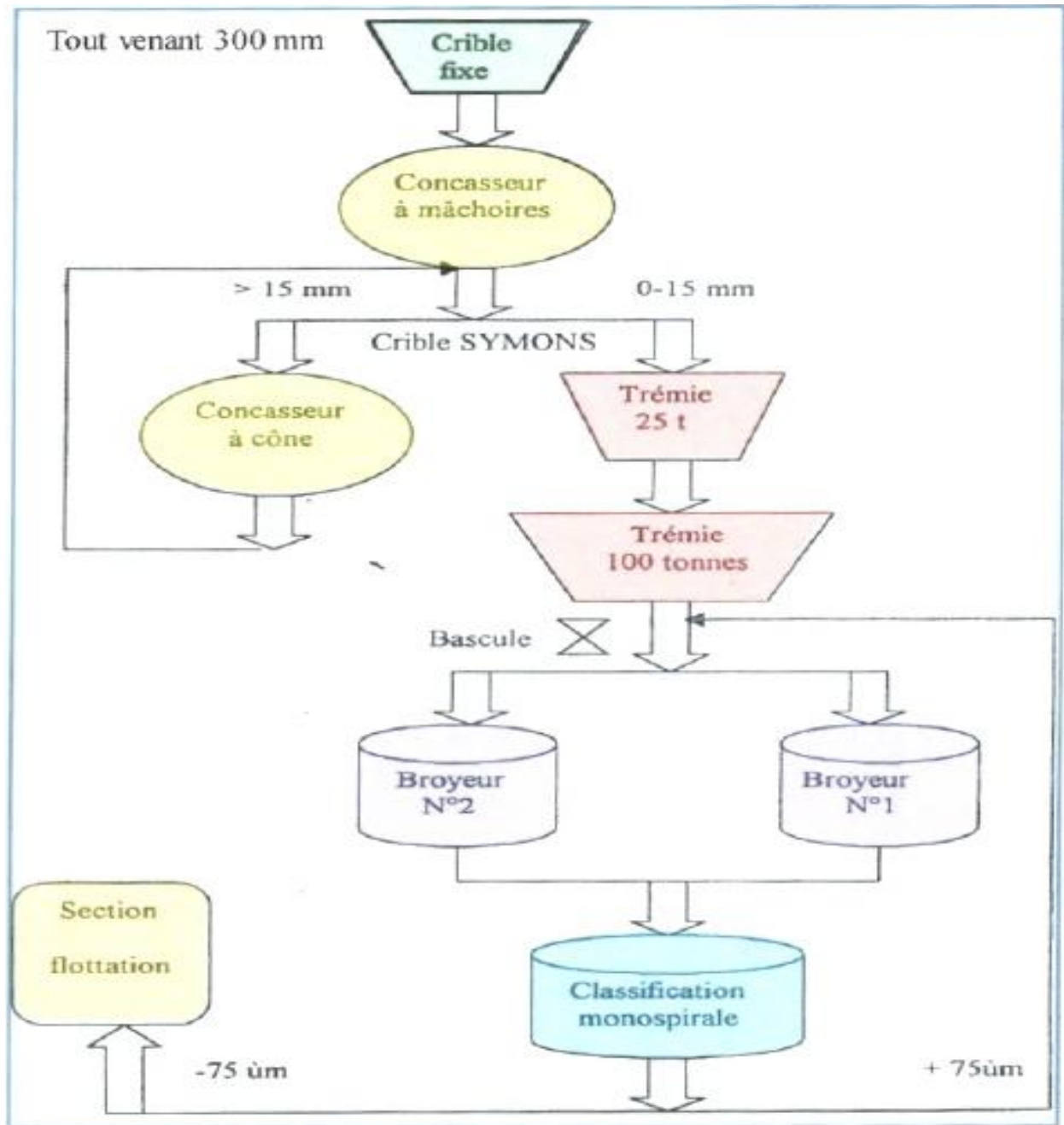


Figure II.3 : Section de la préparation mécanique[7]



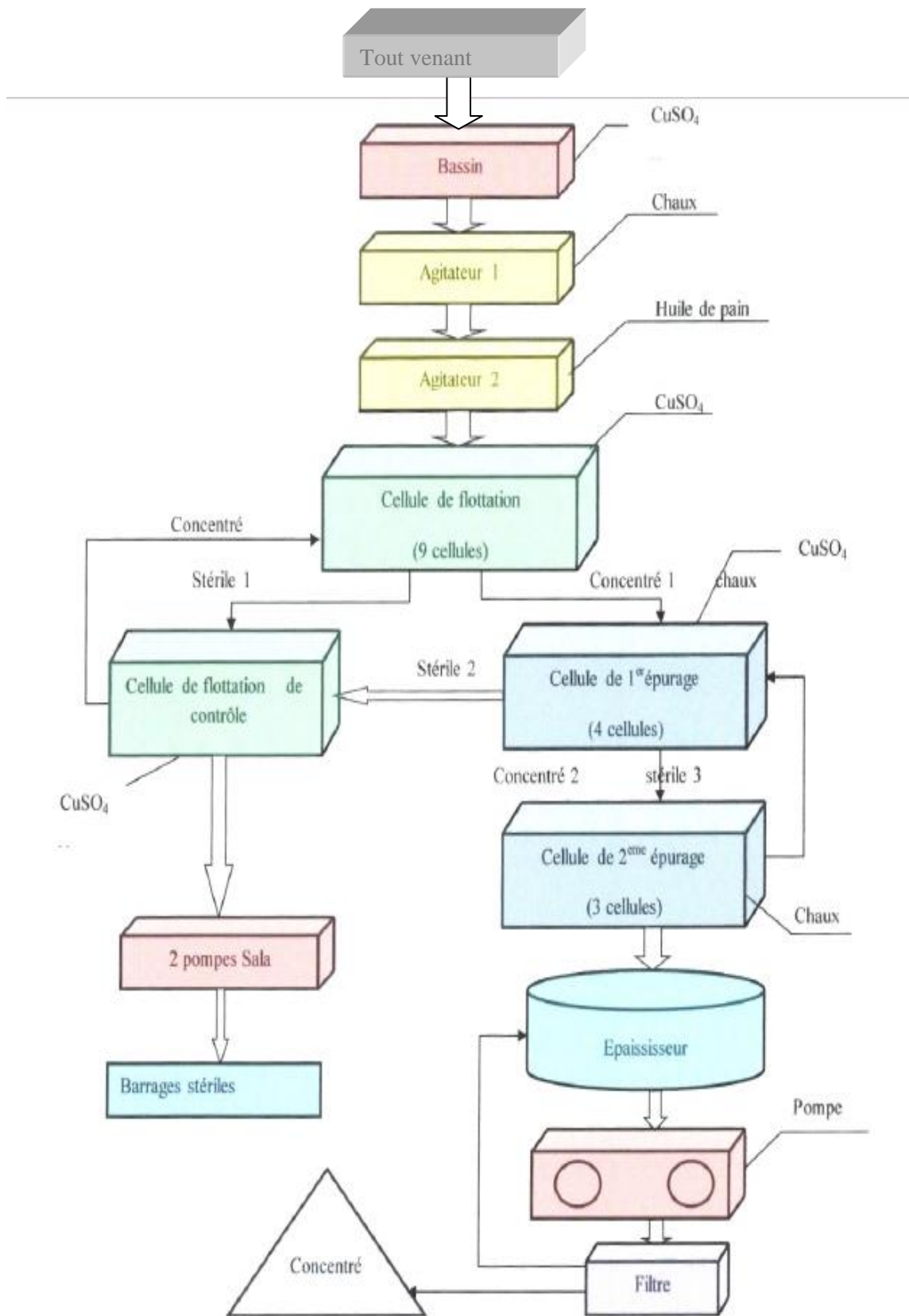


Figure II.4 : Section de la flottation de tout venant[7]

#### II.4.1 Prélèvement des échantillons :

L'échantillon provenant du gisement de Chaabet El-Hamra, a été prélevé du tapis qui-emporte le minerai concassé sortant de la trémie vers le broyeur à boulets. Son poids total est de 50 Kg environ (figure .II.5).

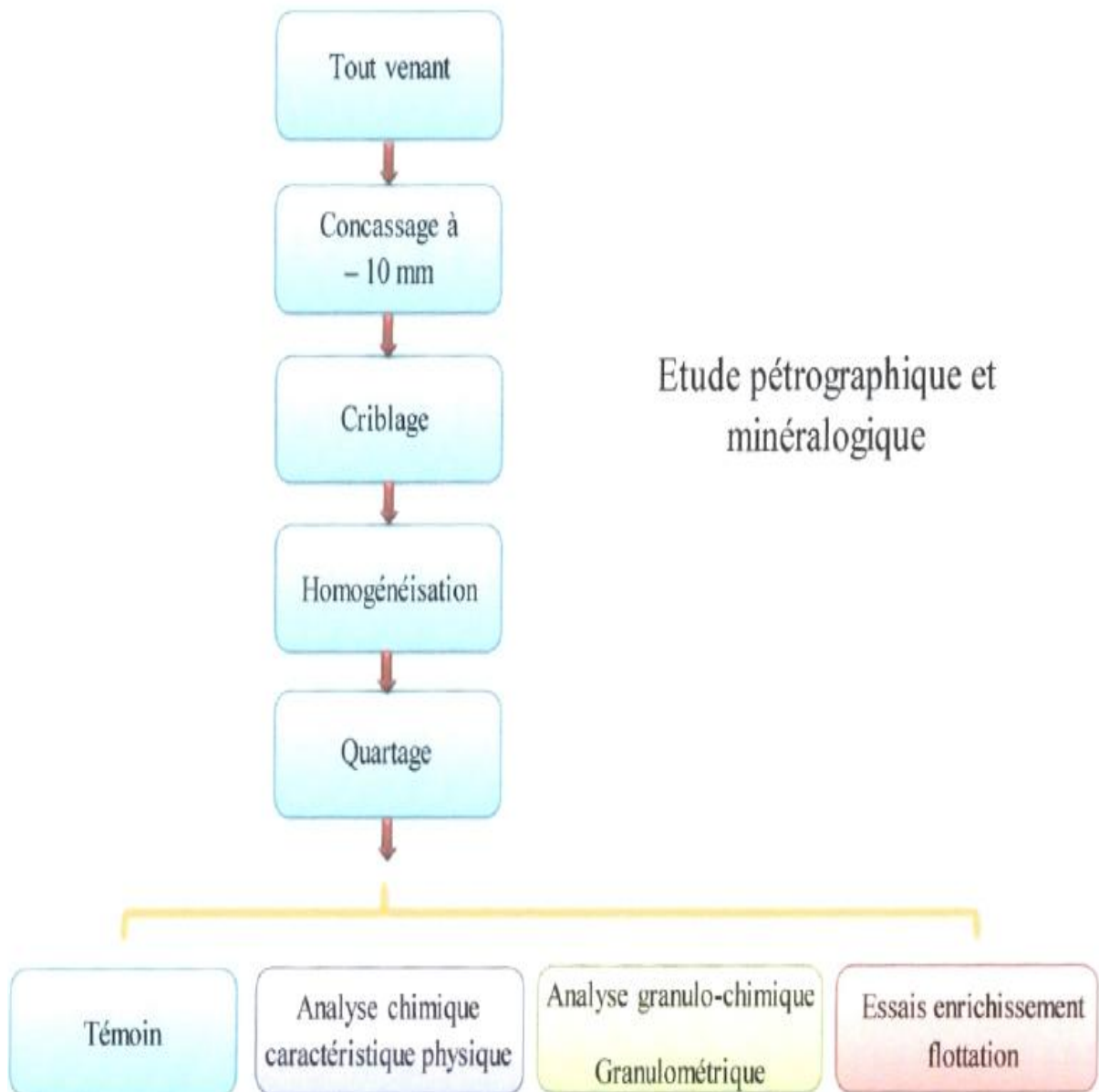


Figure II.5 : Schéma de la répartition du minerai pour essais et analyse.[7]

### II.4.2 Etude minéralogique et pétrographique :

L'étude pétrographique et minéralogique d'un échantillon de la mine a permis de distinguer les principales minéralisations suivantes :

- **La pyrite :**

Elle apparaisse sous trois formes en grains fins xénomorphes 0.050 mm, disséminés dans la dolomie. en agrégats (0 - 0.5 mm) en filonnets de 10 à 15 cm de longueur.

- **La blende :**

Elle se présente en général sous forme d'agrégats monocristallins, de dimension 10 mm ou en cristaux classiques isolés de dimension 0.08 à 0.3 mm. La répartition de la sphalérite dans les dolomies encaissantes est irrégulière. Elle est présente dans les trois principaux corps porteurs de minéralisation.

- **La marcassite :** Elle se présente sous forme d'agrégats cristallins aplatis.

Quant aux minéralisations secondaires:

- **La galène :** est peu fréquente, on la trouve parfois associée à la barytine.

- **Hématite :** est très abondante, parfois associée à la barytine.

- **La dolomie :** présente une teneur importante dans la constitution de la gangue, elle forme les roches encaissantes.

- **La barytine :** est rare, elle se présente sous forme de filonnets, de composition monominérale, formant des nids dans les minerais pyriteux de couleur blanche.

### 3. Analyse chimique :

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

*Tableau II.2 : résultats obtenu de l'analyse chimique sur l'échantillon*

Zn%	Sp%	Pb%	Cu%
07 ,5	16,5	0,125	0,005

### II.4.3 Détermination des paramètres physiques du minerai :

**II.4.3.1 La masse volumique absolue :** Elle est déterminée par la formule suivant :

$$\rho = m/v$$

On relève les valeurs tel que:  $M = 501.0\text{g}$  et  $V = 151.4\text{ cm}^3$

$$\rho = 3,309\text{ g/cm}^3$$

**II.4.3.2 Taux d'humidité :**

La formule est:

$$T\% = 100 (m_i - m_o) / m$$

Avec  $m_i = 250\text{g}$  et  $m_o = 249\text{g}$

$$T = 0.4\%$$

**II.4.3.3 Porosité :**

La porosité d'une roche représente le volume des vides contenus dans l'unité de volume.

$$P\% = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume du materiaux}} \times 100$$

$$P = 3,78\%$$

**II.4.4 Analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique a pour objectif de préciser après classification l'aspect qualitatif et quantitatif, en éléments métallifère au niveau de chaque classe granulométrique. Cette analyse s'est fait par analyse volumétrique et absorption atomique. Les résultats sont portés sur le tableau n°2 ci-dessous :

*Tableau II.3 : Résultats de l'analyse granulométrique.*

Mailles mm	Poids %	teneur%		répartition%	
		Zn%	Pb%	Zn%	Pb%
+5	183,0	3,5	0,075	7,95	3,13
-5 +4	73,1	5,5	0,17	4,99	2,83
-4 +3,15	47,1	6,0	0,12	3,5	1,28
-3,15 +2,50	59,3	4,5	0,50	3,31	8,65
-2,50 +2,00	61,2	7,5	0,62	5,69	2,22
-2,00 +1,60	39,0	8,5	0,25	4,11	4,74
-1,60 +1,25	46,2	10,0	0,45	5,73	16,59
-1,25 +0,80	88,7	11,0	0,82	12,11	12,29
-0,80 +0,50	80,4	13,0	0,67	12,97	17,24
-0,50 +0,25	77,9	14,5	0,97	14,02	17,24
-0,25+0,125	86,2	13,0	0,75	13,91	14,75
-0,125+0,074	76,5	8,5	0,62	8,07	10,82
-0,074	79,1	7,0	0,30	6,87	5,41
Totale	997,7			100	100

### II.4.5 Interprétation des résultats :

Les résultats de l'analyse granulométrique indiquent que la teneur de zinc est plus importante dans les classes granulométriques inférieures et uniformément répartie dans les classes supérieures.

On interprète le zinc est finement disséminé dans la gangue exigeant un broyage fin pour sa libération. La teneur en plomb est très faible dans toutes les classes granulométriques et varie entre 0.97 et 0.075.

### II.4.6 Essais de flottation :

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

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

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

#### II.4.6.1 Influence de la quantité du collecteur A.X

L'Amyl xanthate est le collecteur de la blende (ZnS). Les consommations dans le circuit du zinc ont été variées de la manière suivante :

*Tableau II.4 : influence de la quantité du collecteur A.X*

Réactif	Quantité g/t			
L'Amylxanthate	100	150	200	250

On ajoute dans la cellule:

-La chaux (CaO) pour fixer le PH entre 10 et 11.

-L'activant de la blende, le sulfate de cuivre (CuSO<sub>4</sub>) : 300 g / tonne, le temps de conditionnement est de 5 min.

Le collecteur, l'Amylxanthate, conditionnement est de 5 min.

Le moussant : 12.5 g f tonne de l'huile de pins, le temps de conditionnement est de 1 mini.

On introduit de l'air; Le temps de raclage est de 5 min.

On récupère la mousse formée à la surface pendant 5 mm, qui représente le concentré 1.

#### II.4.6.2 Influence de la quantité de l'activant CuSO<sub>4</sub> :

Les quantités de l'activant CuSO<sub>4</sub> utilisés sont:

*Tableau II.5 : influence de le quantité de l'activant CuSO<sub>4</sub>*

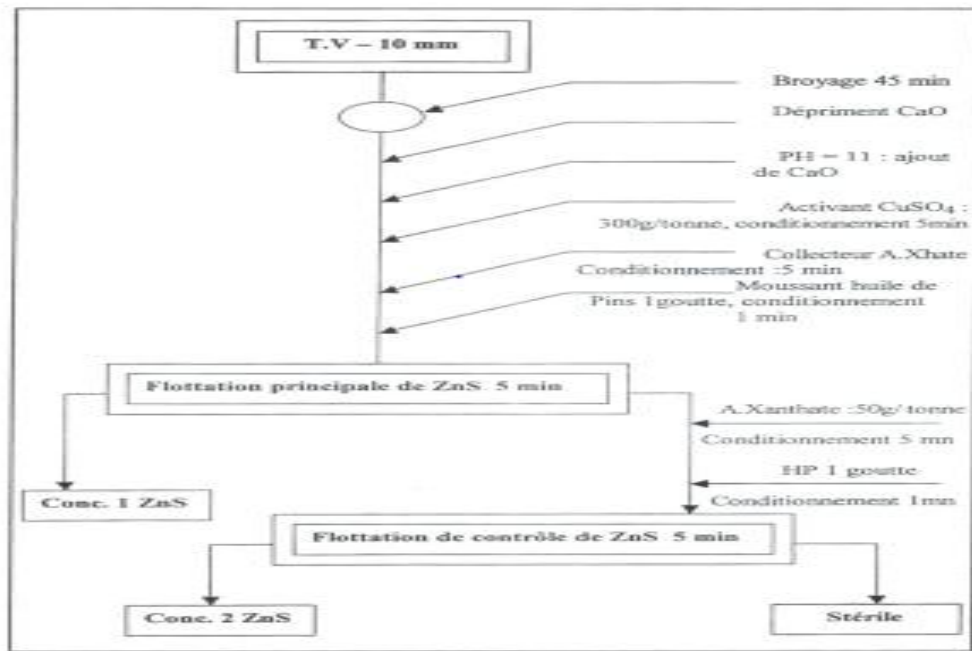
Activant	Quantité g/t			
CuSO <sub>4</sub>	200	250	300	350

#### II.4.6.3. Flottation principale de la blende:

. PH entre 10 et 11 à l'aide de la chaux.

- Ajouter de l'activant CuSO<sub>4</sub>, conditionnement 5 min.
- Ajouter 150 g/tonne de collecteur (A.X), conditionnement 5 min.
- Ajouter 12.5 g/tonne de moussant (H.P), conditionnement I min.
- Introduire de l'air
- Le temps de raclage est de 5 min.

On récupère la mousse formée, à la surface pendant 5 mm, et qui représente le concentre 1.



*Figure II.6 : Schéma de flottation de la blende.[6]*

## II.5 CONCLUSION :

Au cours de cette étude on a procédé au traitement par flottation d'un minerai polymétallique de plomb - zinc.

La récupération maximale du zinc est obtenue pour les quantités, en réactifs suivants :

- Collecteur: Amyl xanthate 150 g/t.
- Activant :  $\text{CuSO}_4$  200 g/t.
- Le moussant : l'huile de pins 12.5 g/t.

Temps de flottation principale 5 minute.

A titre de recommandations, il est nécessaire d'introduire une flottation de relevage pour améliorer la qualité du concentré en teneur, afin d'éviter, toute contamination, il faut stocker le produit fini dans des lieux conformes.





---

**Chapitre III**

**Etude de l'impact de  
l'exploitation minière et  
solutions  
environnementales**

---



### III.1 INTRODUCTION :

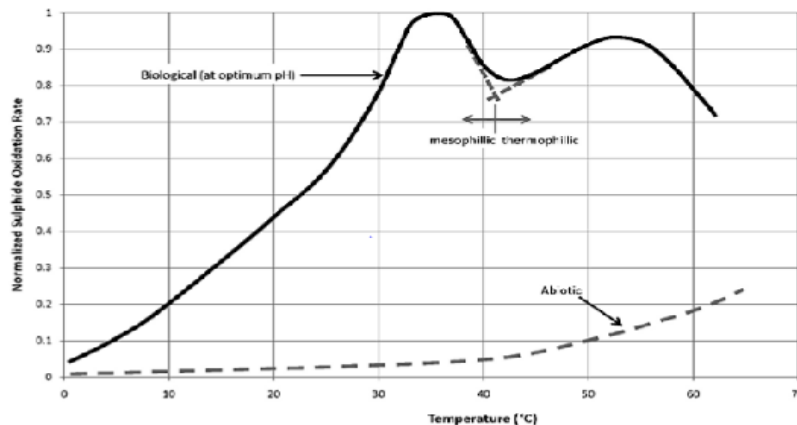
En raison de l'absence des installations de traitement et d'élimination des déchets dans notre pays, les usines de traitement des minerais étaient contraintes depuis plusieurs années à stocker les rejets les plus toxiques au sein des sites industriels qui les produisaient.

Ces rejets stockés dans de mauvaises conditions occasionnent une importante pollution des sols environnants, de l'atmosphère, et des nappes d'eaux, ce qui a causé de graves maladies à la population contrainte, malgré elle à respirer et à inhaler tout genre de poussières toxiques, ce qui est le cas de la digue de Kherzet Youcef.

#### III.1.1 Activité bactérienne :

Plus d'une douzaine d'espèces de bactéries sont impliquées dans la catalyse des réactions d'oxydation des sulfures et leur présence varie notamment selon le pH et l'humidité en présence. Il est aussi reconnu que l'activité des bactéries impliquées dans ces processus diminue avec la température. Un paramètre clé assurant la présence de microorganismes viables à de basses températures est la présence d'eau sous forme liquide.[1]

Quelques travaux ont étudié l'effet de la température sur l'apport bactérien par rapport à l'apport de l'activité chimique dans l'oxydation des sulfures. La Figure III-1 suivant montre un schéma simple de ce que pourrait être la proportion du taux d'oxydation biologique par rapport au taux maximum à 35°C avec la présence de bactéries mésophiles (dont le taux de croissance maximal se situe à environ 35°C) et thermophiles (dont le taux de croissance maximal se situe à plus de 50°C) par rapport au taux d'oxydation chimique selon la température. On y remarque qu'une diminution de la température résulte en une importante diminution du taux d'oxydation des sulfures. L'oxydation chimique de l'oxygène à température ambiante est très faible et la présence de microorganismes oxydant le fer et le soufre accroît significativement ce taux[1].



**Figure III-1** : Illustration schématique de l'effet de la température sur les taux d'oxydation des sulfures normalisés (INAP, 2009, d'après Robertson et Broughton, 1992 ) [1].

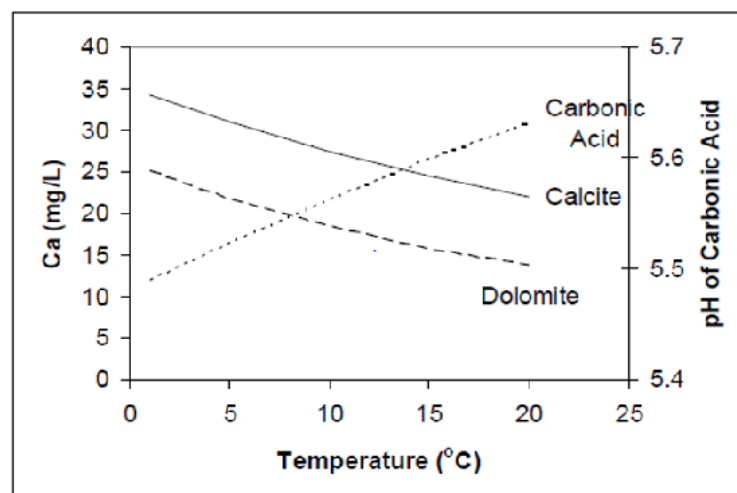
En ajout, quelques études ont montré qu'il existe des bactéries psychrophiles dans les rejets miniers. Leur température de croissance maximale est inférieure à 15°C selon Elberling (2001a) ou 20°C selon Berthelot et al. (1994) et elles peuvent être actives sous 0°C. On parle aussi de bactéries psychrotolérantes ou psychrotrophes qui sont actives sous 0°C et dont la température maximale de croissance est supérieure à 15°C ou 20°C. Celles-ci sont surtout observées sur les sites où une température inférieure à 10°C persiste la majorité de l'année [1].

D'autres études montrent la présence de bactéries psychrophiles sur des sites miniers arctiques (Kalin, 1987), de bactéries de type **Thiobacillus ferrooxidans** présentes dans des résidus miniers. (Elberling, Schippers et Sand, 2000) dont l'activité a été mesurée jusqu'à des températures de -4°C (Elberling, 2001b) et aussi des populations de bactéries oxydant le fer et dominées par **Thiobacillus ferrooxidans** dans du minerai naturellement exposé aux conditions atmosphériques. [1]

### III.1.2 Solubilité des ions :

La solubilité des ions est dépendante des conditions d'équilibre thermodynamique et diminue généralement avec une baisse de la température. Il est alors important de considérer la température lorsque la solubilité est calculée à partir de modèles thermodynamiques. Par exemple, des calculs thermodynamiques ont montré que la solubilité du gypse ( $\text{FeSO}_4$ ) est de 1275 mg/L à 5°C et de 1354 mg/L à 20°C. Toutefois, l'effet contraire a été constaté pour les carbonates qui présentent une augmentation de leur solubilité avec une baisse de la température.

La présence des produits de dissolution des carbonates a pour effet d'accroître la solubilité de certains métaux (ex. : zinc et cadmium). Une lixiviation de zinc accrue a d'ailleurs déjà été observée en ce sens lors d'essais à des températures plus froides (NEDEM, 2006). Les solubilités de la calcite et de la dolomite peuvent être exprimées selon les équations III.1 et III.2 en réagissant avec l'acide carbonique ( $H_2CO_3$ ) formé par la mise en solution du dioxyde de carbone atmosphérique dans l'eau figure III.2.[1]



*Figure III-2: Solubilités théoriques de la calcite et de la dolomite et pH de l'acide carbonique en fonction de la température (pression partielle de  $CO_2 = 10^{-3,5}$  atm) (NEDEM, 2006)[1]*

On remarque une augmentation de 1,4 et de 1,6 fois de la solubilité de la calcite et de la dolomite lorsque la température passe de 20 à 4°C. La réactivité des silicates est quant à elle plus complexe en raison des produits de réaction qui demeurent à la surface du minéral et inhibent l'altération. Par contre, il n'est pas exclu que la présence de conditions plus acides en raison du dioxyde de carbone dissous puisse contribuer à leur altération plus rapide[1].

### III.2 La gestion des stériles miniers :

Les rejets de concentrateur et les roches stériles sont des rejets solides produits en grande quantité par l'industrie minière et dont la gestion doit être effectuée stratégiquement, de manière à minimiser les coûts tout en assurant un maximum de protection pour

l'environnement. Les rejets de concentrateur (ou résidus miniers) sont la fraction du minerai broyé finement et dépouillé de ses minéraux ou métaux à valeur économique.

Ils sont entreposés dans un parc à rejets (digue) de concentrateurs, le plus souvent sous forme de pulpe (donc à très forte teneur en eau) et entourés de digues de retenue. De nouvelles approches développées récemment consistent à les épaissir et les filtrer avant leur déposition de façon à améliorer leurs propriétés hydro géotechniques en place (Bussièrès, 2007). À titre d'exemple, le cas de la mine de Chaabet el Hamra (Ain Azel, Sétif).

Les résidus sont lavés dans la laverie et ils sont donc amenés au parc par camion et mis en place sans avoir recours à des digues. La Figure I.1 1a montre une vue du parc à résidus de la mine de Kherzet Youcef, située à l'Ouest de la mine de Chaabet el Hamra.

Les stériles sont des roches qui ne contiennent pas ou trop peu de minéraux ou métaux à valeur économique pour être exploitées et qui sont extraites des galeries souterraines et des fosses à ciel ouvert dans le but d'avoir accès au gisement. Ces rejets sont habituellement entreposés en surface dans des empilements appelés haldes à stériles voir Figure I.1.

Ces ouvrages peuvent parfois atteindre des dimensions impressionnantes avec des hauteurs de plusieurs centaines de mètres et contenir des centaines de millions de mètres cubes de roches. Le cas de la digue de Kherzet Youcef aura des haldes occupant des 7 hectares et une hauteur de 13 mètres et Par exemple au Canada, la mine étatsunienne Goldstrike de Barrick Gold aura à sa fermeture des haldes contenant 1,75 milliards de tonnes de stériles, atteignant 200 mètres de hauteur et couvrant une superficie d'environ 1000 hectares.[1]

La granulométrie des stériles est très étalée (de dimensions allant du micromètre à plus d'un mètre) et en raison des méthodes de minage, celle-ci est normalement un peu plus fine si elle est extraite d'une galerie souterraine que d'une fosse. Les haldes à stériles sont construites selon des méthodes qui favorisent l'hétérogénéité à l'intérieur de la pile, comme le déversement à la benne (end-dumping) et l'épandage au butoir (push-dumping) pour les mines de roches dures.[1]

Des couches de distributions granulométriques et de densités variables sont alors formées et le passage des machineries lourdes en surface crée des zones plus denses qui persistent avec le rehaussement de la haldes[1].

De par leur méthode de construction et la nature même des roches, les haldes subiront du tassement au fur et à mesure de leur construction. La structure hétérogène des haldes de stériles aura un impact sur les mouvements d'eau et des gaz au sein même de la haldes et des comportements géochimiques et géotechniques hétérogènes.[1]

Sur le site minier, différents types de stériles sont extraits : de la pyrite, calcite et de la péridotite, marcassite, la blende, gypse et de l'argilite et de la volcanique (du basalte) ; les stériles peuvent également contenir une certaine proportion de minerai selon la teneur de coupure à la mine et la proximité du gisement. Les stériles de la mine Kherzet Youcef sont temporairement entreposés dans des haldes en peuvent utilise sous forme de remblai rocheux dans les galeries et au fond des fosses de la mine. Le concept de restauration est d'intégrer les stériles en se basant sur le fait que l'oxydation des sulfures est diminuée considérablement à basse température. Les stériles seraient donc déposés dans les fosses et recouverts par une couverture de matériaux non générateurs de contaminants.

La température de la base de la couverture devra être en permanence sous 0°C pour assurer le gel des stériles.[1]

### **III.3 Cycles de gel et de dégel:**

Des impacts peuvent survenir suite à des cycles de gel et de dégel. Les changements créés par les phénomènes de gel et de dégel peuvent créer des fissures à la surface des résidus miniers qui peuvent former des brèches pour l'infiltration de l'oxygène, ainsi que des chemins préférentiels pour l'infiltration de l'eau. Ils peuvent aussi potentiellement fracturer ou briser des particules et exposer davantage de minéraux réactifs à des conditions oxydantes (NEDEM, 2006). De plus, les cycles de gel et de dégel peuvent augmenter la stabilité mécanique de la surface de résidus miniers en favorisant leur consolidation et en évacuant une grande partie de leur contenu en eau. En effet, les résidus gelés en surface ont une moins grande teneur en eau que les résidus non gelés sous-jacents, l'eau étant repoussée au front de gel.

#### **III.3.1 Minéraux impliqués, réactions d'oxydation et de neutralisation :**

Tel que mentionné précédemment, les réactions d'oxydation des sulfures peuvent produire du drainage minier acide, mais aussi du drainage neutre contaminé. Plusieurs facteurs influencent la réactivité des sulfures et le transport de métaux dans les rejets miniers sulfureux notamment

: la disponibilité de l'oxygène, les concentrations d'oxygène et de  $\text{Fe}^{3+}$ , la température, la présence ou l'absence de microorganismes, le pH, le potentiel d'oxydoréduction (Eh), la force ionique et les activités des ions présents, le temps de résidence, le degré de saturation, la précipitation de sulfates de fer sur les surfaces et la surface spécifique. Les processus régissant les réactions sont complexes et peuvent impliquer des réactions chimiques, biologiques et électrochimiques selon plusieurs voies. Les effets galvaniques peuvent aussi influencer les taux d'oxydation des sulfures, même à pH neutre (Moses et Herman, 1991). Les facteurs énumérés ont donc un impact sur les processus d'oxydation des sulfures et leurs taux de réaction, ainsi que sur les réactions de neutralisation. Les processus d'oxydation de certains sulfures (pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, pentlandite, violarite) sont résumés dans les prochains paragraphes.[1]

### III.3.1.1 Pyrite :

La pyrite ( $\text{FeS}_2$ ) est un minéral de la famille des sulfures très connu pour être impliqué dans la production de drainage minier acide. Son oxydation chimique peut s'effectuer par une variété de voies impliquant des interactions de surface avec de l'oxygène dissous, du fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) et d'autres minéraux catalyseurs (ex.  $\text{MnO}_2$ )[1]. Les principales réactions décrivant l'oxydation de la pyrite sont :



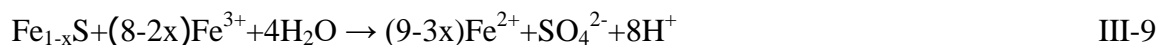
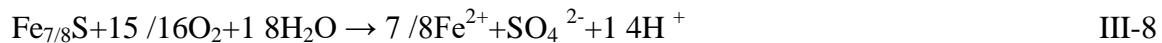
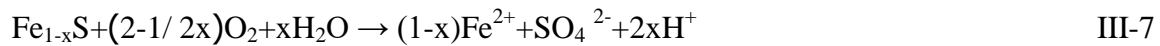
Les processus biologiques peuvent accélérer les taux de réaction d'oxydation des sulfures en agissant comme agent catalyseur et accélérer la réaction de l'équation III.4. Leur rôle peut être d'une grande importance dans les processus de contamination des eaux en contact avec des rejets miniers.[1]

### III.3.1.2. Pyrrhotite :

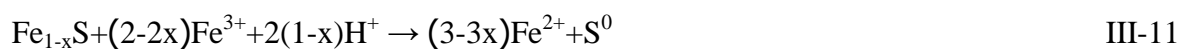
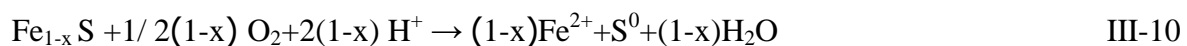
La pyrrhotite ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ , où  $0 < x < 0,125$  selon la forme cristalline) est un sulfure qui, selon des observations sur le terrain, s'oxyderait de 1 à 100 fois plus rapidement que la pyrite.



L'oxydation de la pyrrhotite qui réagit avec l'oxygène est présentée sous forme générale à l'équation III.7 et pour la forme monoclinique du minéral (où  $x = 0,125$ ) à l'équation III.8 . Le  $Fe^{2+}$  produit par ces réactions peut ensuite réagir selon des mécanismes présentés précédemment à l'équation III.2 et se transformer en  $Fe^{3+}$  qui peut oxyder la pyrrhotite équation III.8.[1]



L'oxydation avec l'oxygène et le  $Fe^{3+}$  peut parfois être incomplète et générer du soufre élémentaire, comme présenté dans les équations III.10 et III.11. Dans ce cas, le soufre natif produit peut être oxydé par des bactéries et produire de l'acide sulfurique tel que montré à l'équation III.12.[1]



D'autres réactions impliquant la pyrrhotite sont aussi retrouvées dans la littérature pour différents types d'oxydants et différentes conditions, telles la réactivité rapide à pH acide produisant du  $Fe^{2+}$  et du  $H_2S$ , la réaction plus lente de dissolution oxydative, l'oxydation biologique et l'oxydation électrochimique.[1]

### III.3.1.3.Chalcopyrite:

La chalcopyrite ( $CuFeS_2$ ) peut être oxydée par l'oxygène et par le fer ferrique selon les équations III.13 et III.14.



La réactivité de la chalcopyrite peut aussi être fortement influencée par les effets galvaniques créés par le contact avec un autre minéral. La présence de pyrite et de molybdénite peut accélérer son taux d'oxydation, tandis que la galène et la sphalérite le font diminuer.[1]

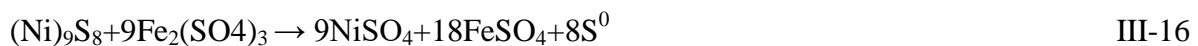
Une énergie d'activation de 73 kJ/mol a été mesurée entre 4 et 37 °C pour ce minéral présent dans un minerai polymétallique.[1]

#### III.3.1.4 .Pentlandite :

L'oxydation de la pentlandite  $(\text{Ni, Fe})_9 \text{S}_8$  peut s'effectuer selon l'équation III.17 où l'oxygène est l'oxydant. On remarque qu'il n'y a pas production d'acidité dans cette équation[1].

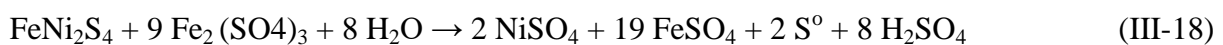


En réagissant avec un sulfate de fer, la pentlandite peut aussi former du soufre natif selon l'équation (III.16), qui pourra réagir à son tour et produire de l'acidité voir équation III.12. Peu de données sont disponibles quant aux taux de réaction et à l'énergie d'activation de ce minéral.



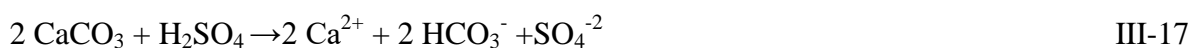
#### III.3.1.5 Violarite :

La violarite  $(\text{FeNi}_2\text{S}_4)$  est un minéral pouvant être une phase super gène (située près de la surface du sol et influencée par les eaux souterraines descendantes). Il peut s'oxyder avec l'oxygène selon l'équation 3.17 ou avec le fer selon l'équation 3.18 en produisant de l'acidité (Watling, 2008). Peu de données sont disponibles sur les taux de réaction et l'énergie d'activation de la violarite.



### III.3.2 Processus de dissolution de certains minéraux neutralisants :

Certains minéraux possèdent un potentiel à neutraliser l'acidité produit dans leur milieu environnant. Les principaux minéraux neutralisants sont les carbonates, tel que la calcite dont la réaction de neutralisation est présentée à l'équation III.17 (Hedin, Nairn et Kleinmann, 1994).



Comme les stériles à l'étude contiennent peu de carbonates, les réactions de neutralisation reliées à cette famille de minéraux ne seront pas décrites davantage ici. Le lecteur intéressé à ce sujet est invité à consulter les références suivantes [1]. Outre les carbonates, il existe d'autres minéraux dits acidivores parce qu'ils peuvent neutraliser l'acidité. Ces derniers ont un potentiel de neutralisation moindre que celui des carbonates. On retrouve entre autres les oxydes, oxyhydroxydes et hydroxydes de Fe et Al et les silicates. Dans cette dernière famille, on retrouve notamment le chlorite, la serpentine et le talc. La dissolution du clinocllore, qui est un chlorite commun, est présentée à l'équation III.18 où l'on remarque qu'une mole de clinocllore neutralise 8 moles d'acide sulfurique.[1]



### III.4 Défis environnementaux en lien avec les haldes à stériles :

Les eaux de drainage des haldes à stériles doivent respecter des normes environnementales de plus en plus sévères, ce qui constitue un défi important pour l'industrie minière. Cette eau peut provenir de précipitations, de la fonte des neiges ou pouvait déjà être présente dans la halde au moment de sa construction. On reconnaît qu'en général, en raison de leurs propriétés in situ (granulométrie étalée et variable, propriétés hydro géotechniques variables, porosité élevée, angularité élevée des particules, etc.), les stériles peuvent être plus problématiques que les rejets de concentrateur d'un point de vue environnemental [1].

Un problème bien connu dans l'industrie minière pouvant survenir dans les parcs à résidus et les haldes à stériles est le drainage minier acide (DMA). Celui-ci consiste en la contamination de l'eau lorsque celle-ci entre en contact avec certains types de minéraux (c.-à-d. les sulfures) présents dans les rejets. En s'oxydant naturellement au contact de l'eau et de l'air environnant, ces minéraux libèrent de l'acidité, des métaux et des sulfates qui sont potentiellement toxiques pour l'environnement (Aubertin et al., 2002). Par ailleurs, l'eau de drainage en contact avec les rejets miniers peut entraîner à des pH près de la neutralité la mise en solution d'éléments solubles dont les concentrations peuvent dépasser les normes environnementales, formant ce que l'on appelle un drainage neutre contaminé (DNC). Parmi les contaminants pouvant être retrouvés dans le DNC, on retrouve l'arsenic (As), l'antimoine (Sb), le cadmium (Cd), le cobalt (Co), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le zinc (Zn). Ces éléments peuvent provenir de minéraux les intégrant dans leur formule chimique respective ou se retrouver en impuretés dans d'autres minéraux tels la

pyrit, la pyrrhotite et l'arsénopyrite. Même si le problème du DNC peut sembler avoir une ampleur moindre que celui du drainage minier acide, il peut néanmoins contenir des concentrations en éléments supérieures aux limites exigées par la réglementation et ainsi avoir un impact significatif sur l'environnement si aucune mesure n'est prise pour son atténuation.[1]

Plusieurs mines au Algérie extraient des rejets ayant le potentiel de produire du DNC, par exemple : contenir des concentrations en éléments supérieures aux limites exigées par la réglementation et ainsi avoir un impact significatif sur l'environnement si aucune mesure n'est prise pour son atténuation. Plusieurs mines au Algérie extraient des rejets ayant le potentiel de produire du DNC, par exemple :les mine de l'Ouenza à Tébessa et Tlemcen et a Ain Azel au sud de Sétif .

Sur chaque site minier en opération, il est requis de caractériser les rejets pour déterminer s'ils peuvent potentiellement générer du DMA ou du DNC. Une prédiction fiable servira, par exemple, à développer des techniques pour l'entreposage lors des opérations puis pour assurer une restauration appropriée pour empêcher ou limiter la production de la contamination. Un exemple de méthode de restauration pour les haldes à stériles est la construction de couvertures avec effets de barrière capillaire pour empêcher soit l'infiltration d'eau, aussi appelée «Store-and-Release cover» en anglais, soit la migration de l'oxygène en climat tempérée.[1]

L'ennoiement des stériles est une autre approche permettant de contrôler la disponibilité de l'oxygène. Si les stériles ne sont pas potentiellement générateurs de contamination (DMA ou DNC), ils pourront servir de matériaux de construction au lieu d'être entreposés dans un aménagement contrôlé. De plus, si leur pouvoir neutralisant est considérable, ils peuvent aussi être disposés de manière à neutraliser le drainage minier acide généré par d'autres reje. Par exemple, des stériles non générateurs d'acidité peuvent être disposés à la base et sur les côtés de haldes génératrices de DMA pour agir comme tampon et restreindre l'ampleur de la contamination.[1]

### **III.5 La réactivité des rejets miniers en climat :**

Les caractéristiques climatiques locales doivent être considérées dans la gestion d'un parc à résidus miniers ou d'une haldes à stériles. En effet, les précipitations, les températures et d'autres facteurs météorologiques influencent la réactivité des rejets, l'efficacité de scénarios

de restauration et, en bout de ligne, l'ampleur de la contamination produite. Tel est d'ailleurs le cas des exploitations minières situées dans les régions de Sétif. Les basses températures (*d'hiver*) ralentissent la plupart des réactions chimiques et biologiques qui régissent les processus de génération de contaminants, tandis que le gel réduit leur vitesse de migration. L'intégration au pergélisol est d'ailleurs souvent employée comme méthode de contrôle de l'oxydation des rejets miniers et de la production de DMA.

L'objectif de cette approche étant de geler les résidus ou les maintenir à des températures près du gel pendant la majeure partie de l'année.[1]

Plusieurs chercheurs ont tenté de déterminer avec plus de précision les conditions froides limites auxquelles doivent être soumis les rejets miniers potentiellement problématiques afin qu'ils ne génèrent pas de contamination. Les résultats de ces études montrent d'une part que la présence de contamination dans des conditions froides (cas de Ain Azel -5°C dans l'hiver à 8°C) peut en partie être attribuée à la zone active (couche de sol subissant le dégel à la surface du sol) qui permet la production de contamination, la lixiviation et le transport des contaminants dans les bassins de drainage locaux et les environnements marins.

L'épaisseur de la zone active dépend principalement des propriétés thermiques du sol et des conditions météorologiques locales. D'autre part, Elberling (2005) a mesuré l'oxydation de sulfures dans des résidus miniers jusqu'à une température de -11°C et a montré que le gel limite, mais n'empêche pas totalement ce phénomène. Il suggère donc que les rejets doivent être maintenus à des températures en-dessous du point de congélation pour empêcher la contamination des eaux de drainage.

Dans certains cas, les faibles températures ne feraient que ralentir ou retarder la production de DMA. Plusieurs auteurs ont tenté d'établir une température maximale d'entreposage des rejets, sous laquelle ceux-ci seraient pratiquement inertes. À partir des observations faites sur le terrain et en laboratoire, il a été remarqué qu'en règle générale, cette technique peut être viable pour les sites miniers situés dans un climat où la température du pergélisol est inférieure à -2°C et où la température moyenne annuelle de l'air se situe sous -8°C. La relation entre la température de l'air et du sol est toutefois complexe et chaque site doit être analysé de façon spécifique.[1]

En plus de considérer les caractéristiques climatiques particulières de chaque site pour assurer une gestion adéquate des résidus et des stériles miniers, il devient de plus en plus pertinent de considérer l'impact des changements climatiques.

### **III.6 Facteurs influençant la qualité de l'eau et la production de contaminants générés par des rejets miniers :**

Dans les rejets miniers entreposés sur les sites, plusieurs phénomènes peuvent être influencés par les basses températures, que ce soit de manière directe ou indirecte. Ces modifications de comportement peuvent modifier la qualité de l'eau qui s'écoule dans les rejets (NEDEM, 2006). Les taux de réaction des minéraux libérant des contaminants sont fonction de la température et de la disponibilité des réactifs. Les taux de réaction des minéraux libérant des contaminants sont fonction de la température et de la disponibilité des réactifs. Les solutés présents dans l'eau favorisent la réactivité à des températures inférieures à 0°C. De plus, une concentration des contaminants de l'eau peut aussi survenir lorsque le point de congélation est atteint. La température influence l'activité bactérienne qui peut à son tour influencer les taux d'oxydation de manière significative. Enfin, la solubilité des espèces en solution, les taux de sorption des contaminants et les changements physiques peuvent également être dépendants de la température.

L'ENOF réalisait des forages au tour des deux sites pour injecter les eaux des trois nappes phréatiques pour favoriser la dénoyement des trois puits, il utilise des pompes de haute qualité et d'un débit considérable ses eaux alimentent trois daïra (Ain Azel), pour sécher les puits et commencera les travaux.

#### **❖ Analyse microbiologique des eaux de forages :**

##### **Kherzet Youcef :**

Les résultats obtenus sont dans le tableau :

**Tableau III.1** analyse microbiologique de l'eau de forage de la mine Kherzet Youcef

coliformes	Colibacilles	Streptococcoliformes
02	00	00

**Chaabet el Hamra :****Tableau III.2** analyse microbiologique de l'eau de forage de la mine Chaabet el Hamra

Coliformes	Colibassilluces	Streptococcoliformes
2,2	00	00

**❖ NORMES :**

Eau de bonne qualité bactériologique possède un nombre de coliformes  $\leq 12/\text{ml}$  et 00 colibassilluces.

Eau de mauvaise qualité bactériologique possède un nombre de coliformes  $\geq 12/\text{ml}$  et 00 CB.

Eau de mauvaise qualité bactériologique CB++ même nombre de coliformes  $\leq 12/\text{ml}$ .

D'après les résultats obtenus, l'eau de forage des deux sites est de bonne qualité bactériologique (EBQB).

Les eaux rejetées dans le Ouade directement parfois ne répondent pas au règlement national au vu du règlement de l'OMS, il provoque un risque et une nuisance sur la santé humaine et la santé des animaux et les végétaux et le sol agricole si pour ça il est nécessaire d'installer une unité de traitement de ses eaux, traiter ses eaux avant de distribuer à l'utilisation agricole, donc, elle est nécessaire de faire une étude globale sur les eaux existantes dans le site pour canaliser vers une seule voie vers la station de traitement.

L'objectif global de cette étude est d'apporter une solution pour optimiser et fiabiliser les procédés de clarification déjà existants. En effet, suite à la dernière réglementation sur l'eau potable les traiteurs d'eau sont tenus de produire une eau potable de turbidité inférieure à 0,5.

Les traitements actuels, à base de coagulants minéraux, sont capables de tenir de tels objectifs. Toutefois, en période d'eau de qualité dégradée, les taux de réactif à utiliser sont très importants et génèrent d'autres désagréments: forte production de boue, ions métalliques résiduels, modification du pH.

L'utilisation de coagulants organiques de synthèse (aussi appelés polymères cationiques) est une des voies potentielles et prometteuses pour améliorer l'efficacité et la fiabilité des



Procédés de clarification. En effet, ces polymères peuvent être mis en œuvre au niveau Des procédés de coagulation, floculation et filtration actuels, en alternative partielle aux Réactifs minéraux conventionnels. Leurs performances dépendent peu du pH et de la température. Efficaces à faible concentration, ces réactifs permettent de réduire la teneur En métal résiduel dans l'eau traitée et le volume de boues produites.

Les polymères cationiques peuvent être utilisés en alternative aux coagulants minéraux Pour renforcer la fiabilité des procédés de clarification.

Leurs applications sont les suivantes :

- en coagulation/décantation/filtration où ils permettent de fiabiliser les étapes de clarification, d'allonger les cycles de filtration et de diminuer le volume de boue produite.
- en coagulation sur filtre, leur effet bénéfique se traduisant par une augmentation des temps des cycles de filtration ainsi qu'une diminution du volume de boue produite.
- En post coagulation, ils permettent alors d'augmenter les temps des cycles de filtration par formation d'un colmatage progressif et en profondeur des filtres.

Le schéma représenter l'installation des deux stations aux niveaux de site Kherzet Youcef Figure III.3.

## **III.7 L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL SUITE A L'EXPLOITATION DU GISEMENT :**

### **III.7.1 Digue des stériles :**

L'impact environnemental suite à l'exploitation du gisement de Chaabet El -Hamra est ce lui de la digue des stériles stockés à l'air libre dans le complexe minier de Kherzet-Youssef près d'une nappes d'eau. Les dépôts des stériles rejetés par l'usine de traitement, sont saturés de produits toxiques(les métaux lourd) et le cyanure qui utilisé dans le traitement , xanthate, et sulfate de cuivre.

En effet l'utilisation des produits chimiques à base de cyanure pendant la période passer avant 1990 la digue es saturer de cyanure ce produit est très répandue dans l'industrie minière pour l'enrichissement des minerais sulfurés. De façon typique, le tout venant de la mine est finement broyé puis agité pendant des heures dans une solution contenant une quantité du

cyanure (xanthate), après la récupération du zinc lisser la digue riche en produit toxique qui implique une intervention rapide et avant de débarrasserai le stérile dans la digue par une lavage concentrer et haute pression pour laver le stérile de toute substance toxique donc crée une station de lavage de stérile voisin de l'usine de traitement pour minimise le risque

### **III.7.2 Lixiviats (solution stérile) :**

Ils sont riches en cyanure et pénètrent en profondeur provoquant la pollution du sol et des nappes d'eaux souterraines peu profondes, ce qui présente un très grand danger sur la santé des habitants du village et sur la flore et la faune.

### **III.7.3 L'exhaure :**

L'eau de l'exhaure est rejetée directement dans l'oued le plus proche de la mine ces eaux polluées par les métaux lourd et les substance chimique de cyanure ont été toujours utilisées pour l'irrigation des terres par les paysans depuis l'ouverture de la mine qui cause avec le temps et par accumulation une contamination chronique du sol agricole voisin de la digue irrigué par l' exhaure et pour éviter ce problème d'environnementale la direction de l' ONOF et de la mine de Kherzet Youcef de faire une intervention rapide pour minimiser le risque sur le sol et la santé et le climat par une installation de station de pulvérisation et les eaux de l'exhaure et le lavage de stérile et l'eau de puits III sont rassembler et diriger ver la station de pulvérisation pour le traiter puis distribue ver l' agriculture .

Le schéma suivante représente la station de lavage de stérile et la station de traitement de l'eau de Lixiviats (solution stérile) et L'exhaure tous canaliser ver la station figure III.3.

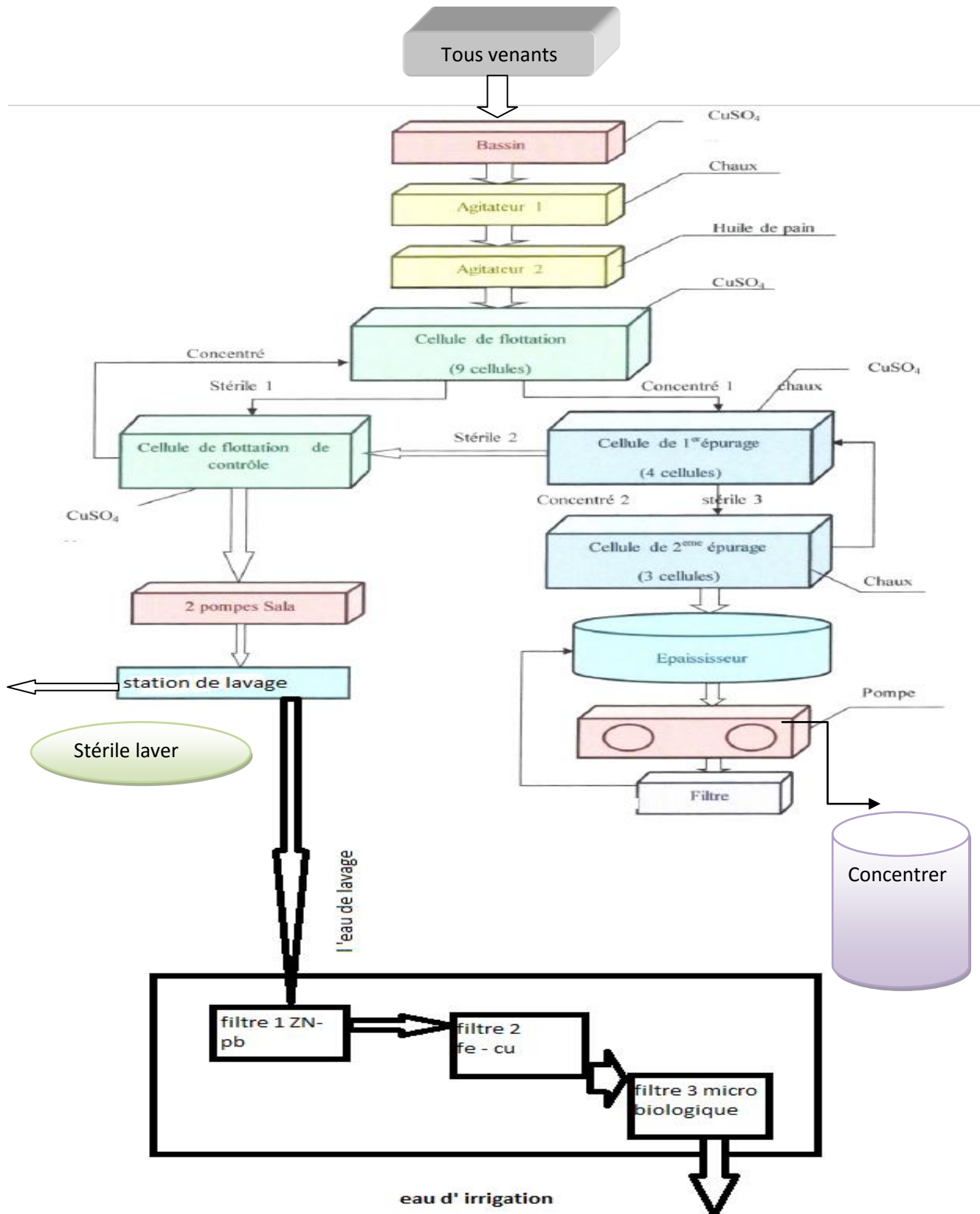


Figure III.3 Schéma représente la station de lavage de stérile et l'eau

### **III.7.4 Poussière toxique :**

Le climat de la région de Ain-Azel est caractérisé par des vents forts surtout dans l'été (chihli) qui entraînent ainsi une pollution de l'atmosphère marquée par un grand brouillard blanc de poussières toxiques qui proviennent de la digue des stériles de complexe minier de Kherzet Youssef contamine les soles voisines et provoque un risque réel sur la santé des habitants de 'ketef el Bire' qui se trouve au nord de la digue de stérile.

### **III.7.5 Déformation du paysage :**

Pendant l'exploitation de la mine de Chaabet El-Hamra, les activités d'extraction ont un effet direct sur la morphologie des lieux en créant des fosses d'exploitation, des piles de roche stérile et de minerai ou des orifices à flanc de coteau servant d'entrée de mine.

## **III.8 Impacts accidentels :**

### **III.8.1 Affaissement :**

#### **III.8.1.1 Mécanisme et phénomène d'affaissement :**

On parle d'affaissement minier, au sens large, lorsque le réajustement de la surface se fait de façon souple et progressive, en formant une dépression topographique, sans rupture cassante importante, avec une allure de cuvette. Généralement, ce type de manifestation ne concerne que les exploitations situées à grande profondeur et présentant des extensions horizontales importantes.

L'affaissement est relativement lent et progressif. Il se produit lorsque les terrains sont plutôt plastiques et que la profondeur d'exploitation est importante par rapport à l'épaisseur de la maille. Souvent, ces accidents prennent naissance au sein des travaux souterrains figure III.4.

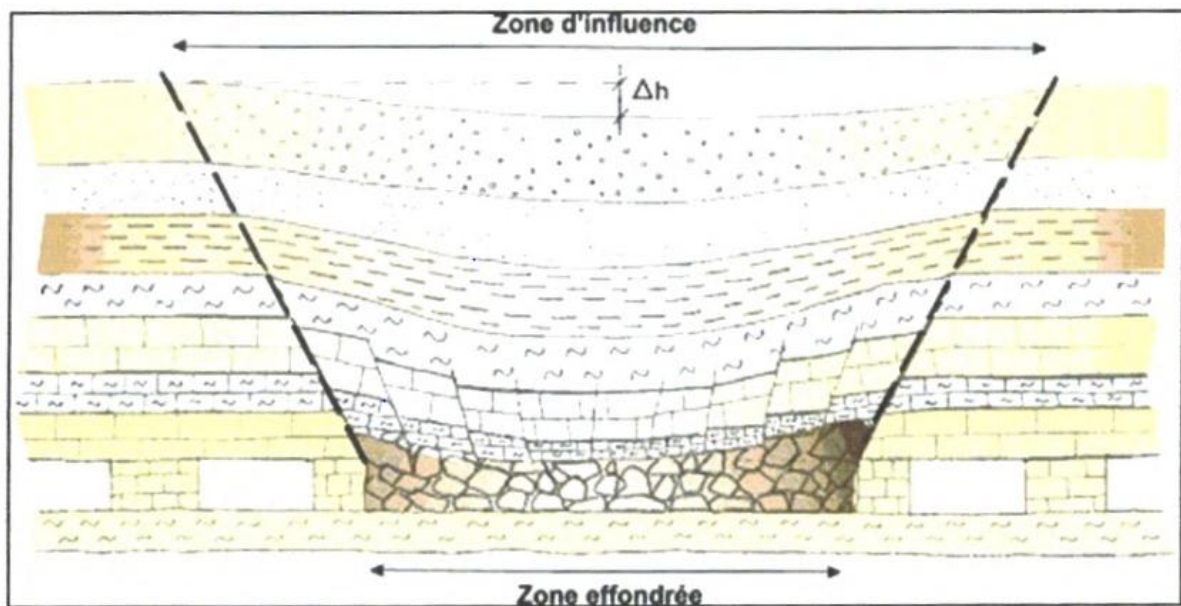
#### **III.8.1.2 Affaissement dus aux exploitations par foudroyage :**

Dans le cas des exploitations par foudroyage, les vides souterrains ont été comblés par l'éboulement des terrains sus-jacents et par le foisonnement. Lorsque la zone foudroyée a atteint la largeur critique, des affaissements se produisent en surface. Ces affaissements se stabilisent au bout de quelques années. Le risque des mouvements ultérieurs est de ce fait très faible. Les répercussions en surface de ces mouvements demeurent limitées.

### III.8.1.3 Conséquences des affaissements miniers sur l'environnement :

Généralement, les conséquences les plus dommageables sont celles qui affectent la stabilité des bâtiments et infrastructures de surface. Les dommages consécutifs aux - - déformations du sol sont en relation avec:

- La longueur des ouvrages qui les subissent
- Leur position par rapport à la cuvette
- La nature du sol et des fondations
- Les tolérances des constructions.



*Figure III.4 : Formation d'une cuvette d'affaissement au-dessus de travaux miniers.[7]*

### III.9 Conséquence de l'exploitation minière (La Pollution de l'air, le sol et de l'eau) :

Sources, types des métaux lourds et effets sur l'environnement :

L'exploitation minière génère une production excessive de métaux lourds, et engendre des dégradations et des effets néfastes sur l'environnement (sol, air, eau) et sur la santé humaine le tableau suivante indique les effets de quelque métal.

Tableau III.3 : effets néfastes de quelque métal

Métaux	Sources	Effets sur l'air	Effets sur l'eau	Effets sur le sol	Effets sur la Santé humaine
Mercure (Hg)	Combustion du charbon, du pétrole, incinération de déchets ménagers, hospitaliers et industriels.	Intégralement lessivé par les précipitations	Action inhibitrice sur le métabolisme des microorganismes aquatiques.	S'accumule dans les sols	Troubles du système nerveux (mémoire, fonctions sensorielles de coordination)
Plomb (Pb)	Trafic automobile, fabrication de batteries électriques, la fabrication de certains verres ...	Le plomb qui se trouve dans l'atmosphère retombe avec les pluies sur les sols et les eaux de surface.	S'accumule dans le corps des organismes aquatiques	S'accumule dans les sols, empoisonnement de la faune du sol par le plomb	Perturbations neurologique hémato-logiques et rénales, Perturbation du comportement des enfants: agressivité, comportement impulsif, hyperactivité.
Cadmium (Cd)	Production de zinc et l'incinération de déchets		Bio accumulé dans les moules, les huîtres, les crevettes, les langoustines et les poissons	Accumulation dans la chaîne alimentaire et qui peut causer la mort.	Affections respiratoires et troubles rénaux Fracture des os
Cuivre (Cu)	Trafic ferroviaire, traitement des déchets, exploitations minières		Interrompt l'activité des sols agricoles, bioaccumulable par les animaux, surtout pour les moutons c'est un poison	Bioaccumulable par la flore et faune aquatique	Irritation au nez, à la bouche et aux yeux A fortes doses dommages aux reins et au foie et même la mort
Zinc (Zn)	Combustion du charbon et du fuel lourd, La métallurgie, incinération des déchets		Peut interrompre l'activité du sol, bioaccumulation du zinc dans la chaîne alimentaire	Augmente l'acidité des eaux, bioaccumulation du zinc dans la flore et la faune marine	Crampes d'estomac; des irritations de la peau, l'anémie. endommage le pancréas et perturber le métabolisme des protéines et provoquer de l'artérioclose à de fortes doses.

### III.10 NORMES:

#### III.10.1 Comparaison aux normes de l'eau potable UE/OMS :

Les normes de l'UE sont plus récentes (1998), plus complètes et plus strictes que celles de l'OMS (1993).

Exemples :

- Bore (B): Ligne directrice réduite de 0.3 mg/l à 0.001 mg/l.
- Brome (Br): Non mentionné par l'OMS, limité à 0.01 mg/l par l'UE .
- Manganèse (Mn): Ligne directrice réduite de 0.5 à 0.05 mg/l.
- Cyanure (CN): Ligne directrice réduite de 0.07 à 0.005 mg/l.

Mais dans certains cas les lignes directrices de l'UE sont moins strictes que celles de l'OMS:

- Cadmium (Cd): Ligne directrice augmentée de 0.003 à 0.005 mg/l.

### III.10.2 Tableau comparatif des normes de l'UE et de l'OMS concernât l'eau potable:

#### ▪ Cation :

*Tableau III.4 : normes OMS/UE des cations dans l'eau (OMS)*

	Norme de l'OMS	Normes de l'UE
<u>Aluminium (Al)</u>	0.2 mg/l	0.2 mg/l
<u>Antimoine (Sb)</u>	0.005 mg/l	0.005 mg/l
<u>Arsenic (As)</u>	0.01 mg/l	0.01 mg/l
<u>Cadmium (Cd)</u>	0.003 mg/l	0.005 mg/l
<u>Chrome (Cr)</u>	0.05 mg/l	0.05 mg/l
<u>Cuivre (Cu)</u>	2 mg/l	2.0 mg/l
<u>Fer (Fe)</u>	Pas de lignes directrices <sup>(6)</sup>	0.2mg/l
<u>Plomb (Pb)</u>	0.01 mg/l	0.01 mg/l
<u>Manganèse (Mn)</u>	0.5 mg/l	0.05 mg/l
<u>Mercuré (Hg)</u>	0.001 mg/l	0.001 mg/l
<u>Molybdène (Mo)</u>	0.07 mg/l	Non mentionnée
<u>Sodium (Na)</u>	200 mg/l	200 mg/l
<u>Zinc (Zn)</u>	3 mg/l	Non mentionnée

#### ▪ Anion:

*Tableau III.5 : normes OMS/UE des anions dans l'eau(OMS)*

	Norme de l'OMS	Normes de l'UE
<u>Chlore (Cl)</u>	250 mg/l	250 mg/l
<u>Cyanure (CN)</u>	0.07 mg/l	0.05 mg/l
<u>Fluor (F)</u>	1.5 mg/l	1.5 mg/l
<u>Sulfate (SO4)</u>	500 mg/l	250 mg/l
<u>Nitrate (NO3)</u>	(Voir azote)	50 mg/l
<u>Nitrite (NO2)</u>	(voir azote)	0.50 mg/l

### III.10.3 règlement :

- Selon le journal officielle N : 26 du 23 avril 2006 et le décret exécutif définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

- Selon le norme mondiale de l OMS et l'UE.

Selon l'ENOF les résultat obtenu de l'analyse de l'eau de puits 3les concentration de Pb est de 1.86mg/L et le Zn est de 2,25mg/L le Zn est dans les norme dans l'eau de puits car l'arrêt de travaille dans le puits pendant d'années mais le Pb 1,87 est très élever la valeur de l'OMS est de 0,01mg/L et l'union européenne ne mentionnée pas la valeur de concentration maximale admicible de Pb dans l'eau , au du la le risques plus grand de contamination est provoque une risque sanitaires sur les humain même que les animaux et le risque de contamination de sole car l'eau est débarrassera directement dans le Ouade et utilisé directement a l'irrigation.

#### **III.10.4 Conseille sécuritaire pour l'environnement :**

Ces Conseilles n'ont pas la prétention de résoudre dans leur immense complexité les problèmes mentionnés, mais d'apporter une modeste contribution à l'amélioration des principaux problèmes.

1. L'analyse périodique des rejets stériles de la digue, pour éviter les risques de pollution des écoulements souterrains.
2. Le nettoyage du camion pondant le transport du mènerais ver l'usine de traitement pour minimisé le risque de pollution de la vile de Ain Azel car les camions passer proche de la vile.
3. La surveillance et le contrôle des déchets miniers toxiques et éviter autant que possible le risques d'infiltration.
4. La lutte contre la poussière au cours de la forassions ou de l'abattage (forassions par voie humide).
5. La réhabilitation des sites fermés : protection des ouvrages, drainage des eaux de pluie, couverture des digues, étude d'impact et suivi permanent de la qualité des eaux.
6. Mettre en place les actions d'amélioration et les moyens de contrôle et de protection au cas où les risques résiduels restants se manifestent.
7. Identifier les risques environnementaux et industriels susceptibles de subvenir et évaluer les conséquences possibles.





---

## Conclusion

---



**CONCLUSIONS :**

Dans ce mémoire, dans le 1<sup>ère</sup> chapitre L'objectif principal est de donner une idée sur l'historique de la mine et le contexte géographique et hydrologique des deux sites et la nature des travaux qui s'effectuent au voisinage d'une nappe phréatique et le contexte géologique de deux mines Kherzet Youcef et Chaabet el Hamra et les études qui se font par différentes sociétés pour déterminer les réserves de gisement et la réserve d'eaux de nappe phréatique.

Au Chapitre 2, principalement est de montrer les phases d'un projet minier et leur impact environnemental sur les eaux et explique les deux phénomènes (DNC) et (DMA) et Les eaux de drainage des halles à stériles et leur défis environnementaux et la réactivité des rejets miniers en climat ainsi une description de la laverie de Kherzet Youcef et les études granulométriques et les calculs nécessaires journaliers .

Au Chapitre 3, la revue de littérature a montré qu'en conditions de pH neutre, l'oxydation des sulfures peut survenir et produire certains métaux en solution dans les eaux de drainage de rejets miniers, tel le Pb et le Fe, la précipitation des métaux peut se produire selon les conditions et les matériaux en présence et ainsi atténuer la contamination. Les processus d'oxydation des sulfures, de neutralisation augmentent généralement avec la température, tandis que la précipitation de minéraux secondaires peut quant à elle augmenter ou diminuer avec une baisse de la température. Il a aussi été démontré que l'oxydation des sulfures présents dans des rejets miniers peut se produire à des températures inférieures à 0°C, entre autres en raison de la présence d'eau non gelée (la quantité de solutés réduit la température de congélation).et la solution proposée pour éviter et diminuer le risque sanitaire et la nuisance des métaux lourds présentés dans les différents types d'eaux et les halles à stériles en fin un tableau de normes mondiales respectives dans le monde.

## Référence

[1] évaluation du comportement géochimique en conditions normale et froides de différents stériles présents sur le site de la mine raglan marie-pier éthier département des génies civil, géologique et des mines école polytechnique de montréal Marie-Pier Éthier, 2011.

[2] ENOF (2003), Projet de développement de la partie inférieure du gisement de Chaabet El-Hamra situé sous le niveau hydrodynamique (Profil 10 - Profil 15).

[3] ENOF (Octobre 2004), Projet d'exploitation des réserves de la zone inférieure Profil 10 - Profil 15

[4] ENOF (2006), Eau du gisement de Chaabet El-Hamra. Dossier Hydrogéologique.

[5] ENOF (Mai 2006), Projet d'exploitation de la partie inférieure du gisement de Chaabet El-Hamra Profil 10 - Profil 15

[6] Bureau d'étude (IMC) GLOBAL SERVICES TO THE MINING AND ENERGY INDUSTRY SINCE 1947.

[7] contribution à l'étude d'impact environnemental de l'exploitation minière souterraine et de rejets de traitement (cas de la mine de chaabet el-hamra, ain azel, wilaya de sétif) KHALFI Aicha, taleb chah inez Année universitaire 2013-2014

OMS : Organisation Mondiale de Manté

## Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire est motivé par la problématique ci-dessous L'après-mine, après une période d'exploitation intense des mines souterraines, l'Algérie et les pays du monde sont confrontés aux problèmes posés par la fermeture et l'abandon de ces ouvrages.

L'exploitation minière souterraine pose le problème des affaissements, des effondrements en surface et de traitement des rejets d'exploitation.

L'objectifs et structure du mémoire est de La compréhension du comportement géochimique des rejets miniers et de l'effet de la température sur leur potentiel de contamination sont primordiaux afin d'optimiser leur gestion tous les stériles extraits à la mine de Chaabet El Hamra et Kherzet Youcef sont gérés de la même façon, sans considérer leur potentiel de génération de contamination.

Les eaux de lavage de stérile et Lixiviats (solution stérile) et L'exhaure et l'injection des eaux des puits I et II ainsi le puits III peut canaliser ver une station de traitement des eaux installera dans le site pour les traitements avant de débarrassera a l'irrigation agriculture pour minimisera la probabilité de contaminations du sol agriculture et les hectares des blés et blé dur voisin de la mine.

## Summary

The work presented in this paper is motivated by the problem below the post-mining, after an intense period of operation of underground mines, Algeria and countries of the world are facing the problems of closure and abandonment of these works.

Underground mining is the problem of subsidence, surface subsidence and processing operations releases.

The objectives and structure of the memory is understanding the geochemical behavior of tailings and the effect of temperature on their contamination potential are essential to optimize their management all waste mined to Chaabet El Hamra mine Kherzet Youcef are managed in the same way, regardless of their contamination-generating potential.

sterile wash water and leachate (sterile) and the pumping and injecting water wells I and II and III can channel the well ver a water treatment station will install the site for treatment prior to rid to irrigation agriculture to minimize the likelihood of contamination of soil and agriculture hectares of wheat and durum neighbor of mine.

## ملخص

والدافع وراء العمل المقدم في هذه الورقة من مشكلة أدناه ما بعد التعدين، بعد فترة مكثفة من تشغيل المناجم تحت الأرض الجزائر ودول العالم تواجه مشاكل الإغلاق و التخلي عن هذه الأعمال،

التعدين تحت الارض يسبب مشكلة ، هبوط الارضية ومعالجة مخلفات التعدين.

أهداف وهيكل الذاكرة هو فهم سلوك الجيوكيميائية للنفايات وتأثير درجة الحرارة على إمكانية تلويثها للبيئة هي ضرورة حتمية .. بهدف النظر الى إمكانية توليد التلوث بها. مياه الغسيل معقمة والعصاراة (العقيمة) يمكن لتحسين إدارة جميع النفايات الملغومة إلى توجيهها نحو محطة تصفية وتنقية هذه المياه الملوثة ..