

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAÏD – TLEMCEM  
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET  
DE L'UNIVERS

N° d'ordre : /DSTU/2014



**Mémoire**

Présenté au Département des Sciences de la terre et de l'Univers

Pour l'obtention du diplôme

**MASTER ACADEMIQUE**

(Option : Géoressources et Substances Utiles)

Par

**KHALFI Aicha**

**&**

**TALEB Chahinez**

Intitulé

---

**CONTRIBUTION A L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'EXPLOITATION  
MINIERE SOUTERRAINE ET DE REJETS DE TRAITEMENT  
(Cas de la mine de Chaabet El-Hamra, Ain Azel, Wilaya de Sétif)**

---

Soutenu le : 30/09/2014 devant le jury composé de :

<b>KACEMI Ali</b>	<b>Maître de conférences</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Président</b>
<b>BOUCIF Abdelkader</b>	<b>Maître Assistant</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Encadreur</b>
<b>BENSFIA Kamar Eddine</b>	<b>Maître Assistant</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Examineur</b>
<b>HAFSAOUI Abdellah</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université d'Annaba</b>	<b>Invité</b>

Année universitaire 2013-2014

## ***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 à tous mes frères, ma sœur **Ressala**, à tous mes amies et mon binôme **Aicha***

**Chahinez**

# DEDICACE

*En ce jour solennel, qui vient couronner mes efforts, je profite de l'occasion pour exprimer tous mes gratitudes en vers ma famille,*

*Pour les deux êtres, qui m'ont vu grandir, qui m'ont transmis tout le savoir et qui étaient pour moi un cœur veillant pendant toute ma vie, les deux que je ne pourrais jamais assez remercier,*

*A mon père Abd el Kader et ma mère Zohra.*

*A mes très cher frère Amine et Noureddine ; ma chère Narimane son marie Mohamed et sa petite fille Djana. Sans oublier ma 2<sup>ème</sup> mère Aicha et Malika*

*A toutes la famille dif et la famille khalfi*

*Pour celles et ceux qui ont partagé mes joies et mes peines, qui m'ont tant aidé et soutenu,*

*À toutes mes tantes et mes oncles et à toute ma grande famille je dédie ce travail*

*Pour mon binôme **Chahinez**, et mes amis de toujours Houda, Hmimo, Youcef, hako*

# AICHA

## **Avant propos**

*Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans l'aide inestimable de nos encadreurs **Mr. BOUCIF Abdelkader** et **Mr. HAFSAOUI Abdellah**, 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.*

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

*Nos remerciements vont à Monsieur **KACEMI Ali**, responsable de la formation, qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury. Aussi, pour sa contribution à notre formation durant nos années de Master.*

*Nos vifs remerciements s'adressent, plus particulièrement, à Monsieur **BENSFIA Kamar Eddine**, pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail et pour avoir accepté sans hésitation de juger ce travail malgré ses préoccupations.*

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

*Enfin, nous tenons 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.*

## **RESUME**

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, notamment leur stabilité mécanique sous l'effet des cavités souterraines, des rejets d'exploitation et d'une remontée progressive des eaux souterraines après l'arrêt de pompage d'exhaure. Malgré les progrès réalisés en matière de connaissance des phénomènes d'affaissement minier, des méthodes de calcul et des techniques de confortement, l'exploitation minière souterraine pose le problème des affaissements, des effondrements en surface et de traitement des rejets d'exploitation. L'existence de tels vides et de ses rejets d'exploitation soulève la question de leur comportement à long terme du point de vue impact sur la sécurité des personnes et la protection de l'environnement. L'objectif de ce travail est de dénombrer les différents impacts de l'exploitation minière souterraine sur l'environnement immédiat, à savoir les affaissements et les effondrements des surfaces, résultant des mouvements de terrains engendrés par le foudroyage des masses rocheuses adjacentes dues aux espaces exploités et des rejets d'exploitation pour le cas de la mine de Chaabet El-Hamra (Ain Azel, Wilaya de Sétif).

**Mots clés :** Algérie, exploitation minières, mines souterraines, impacts environnementaux, cavités, rejets, affaissements, effondrements, Chaabet El-Hamra, Ain Azel, Sétif.

## **ABSTRACT**

The work presented in this thesis is motivated by the problems below: The Post-mining, after a period of intense underground mining, Algeria and the world are facing the problems of closure and abandonment of these works, including their mechanical stability under the effect of underground cavities, operating discharges and a gradual rise in groundwater after pumping stopped dewatering. Despite progress in knowledge of mining subsidence phenomena, computational methods and techniques of reinforcement, underground mining is the problem of subsidence, subsidence and surface treatment process releases. The existence of such voids and its operating discharges raises the question of their long-term behavior from the perspective of impact on the safety of persons and the protection of the environment. The objective of this work is to count the various impacts of underground mining operations on the surrounding environment subsidence and collapse surface resulting from landslides caused by caving adjacent rock masses due to unexploited areas and operating discharges the case of mine Chaabet El-Hamra (Ain Azel, Sétif state).

**Keys words:** Algeria, mining exploitation, underground mine, environmental impact, cavity, discharges, subsidence, collapse, Chaabet El-Hamra, Ain Azel, Setif.

# TABLES DES MATIERES

DEDICACES	i
AVANT PROPOS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
TABLES DES MATIERES	vi
INTRODUCTION GENERALE	ix
<b><u>Chapitre I : Généralités</u></b>	
I. HISTORIQUE	2
II. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA MINE DE CHAABET EL-HAMRA	2
1. Cadre géographique	2
2. Cadre géologique	3
2.1. Cadre Stratigraphique général du Monts de Hodna	4
2.2. Cadre stratigraphique du gisement de Chaabet El-Hamra	5
3. Structure du gisement	6
III. MINERALISATION	8
IV. HYDROGEOLOGIE	10
V. RESERVES GEOLOGIQUES	10
<b><u>Chapitre II : Les phases d'exploitation minière et leurs impacts sur l'environnement</u></b>	
I. LES PHASES D'UN PROJET MINIER	13
1. Prospection	13
2. Développement	13
2.1. Construction de routes d'accès	13
2.2. Préparation et déblaiement du site	13
3. Exploitation souterraine	14
4. Evacuation des morts terrains	14
5. Extraction du minerai	15
6. Enrichissement	15
7. Evacuation des résidus	16
8. Réhabilitation et fermeture de site minier	17
II. EXPLOITATION DE LA MINE DE CHAABET EL-HAMRA	17
1. Cas des blocs inférieurs à 5 m d'épaisseur	17
1.1. Méthode des chambres et piliers abandonnés	17
1.1.1. Avantages de la méthode	17
1.1.2. Inconvénients de la méthode	18
1.2. Méthode par traçage et dépilage	18
1.2.1. Avantages de la méthode	19
1.2.2. Les inconvénients de la méthode	19

2. Cas des blocs d'épaisseur supérieur à 5m	20
2.1. Méthode par Chambre et piliers à deux niveaux	20
2.1.1. Avantages de la méthode	21
<b>III. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX</b>	21
1. Impacts environnementaux et sociaux de l'exploitation minière	21
2. Impacts sur les ressources en eau	23
2.1. Le drainage d'acide minier et la lixiviation des contaminants	23
2.2. Impacts des bassins de décantation des résidus, de la lixiviation en tas et des installations de stockage de lixiviats	24
<b>IV. CONCLUSION</b>	25
<b><u>Chapitre III : Traitement du minerai</u></b>	
<b><u>de Chaabet El-Hamra</u></b>	
<b>I. DESCRIPTION DE LA LAVERIE DE KHERZET YOUCEF</b>	27
<b>II. IDENTIFICATION DU MINERAI</b>	29
1. Prélèvement des échantillons	29
2. Etude minéralogique et pétrographique	30
3. Analyse chimique	31
4. Détermination des paramètres physiques du minerai	31
4.1. La masse volumique absolue	31
4.2. Taux d'humidité	31
4.3. Porosité	32
4.4. Dureté	32
5. Analyse granulométrique	32
5.1. Interprétation des résultats	33
6. Essais de flottation	34
6.1. Préparation de l'échantillon	34
6.1.1. Influence de la quantité du collecteur A.X	34
6.1.2. Influence de la quantité de l'activant CuSO4	35
<b>III. CONCLUSION</b>	37
<b><u>Chapitre IV : Eude d'impact environnemental</u></b>	
<b><u>de l'exploitation minière</u></b>	
<b>I. INTRODUCTION</b>	39
<b>II. L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL SUITE A L'EXPLOITATION DU GISEMENT</b>	39
1. Impacts fréquents dus à l'exploitation	39
1.1. Digue des stériles	39
1.2. Lixiviats (solution stérile)	39
1.3. L'exhaure	40
1.4. Poussière toxique	40
1.5. Déformation du paysage	40
2. Impacts accidentels	40

2.1. Affaissement	40
2.1.1. Mécanisme et phénomène d'affaissement	40
2.1.1.1. Affaissement dus aux exploitations par foudroyage	40
2.1.1.2. Affaissement dus aux exploitations par remblayage	41
2.1.2. Conséquence des affaissements miniers sur l'environnement	41
2.2. Effondrement	42
2.2.1. Mécanismes et phénomènes	42
2.3. Inondation souterraine	44
3. Impact dus au traitement	45
3.1. Drainage minier acide (DMA)	45
3.2. Effets du DMA	46
<b>III. MESURES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT</b>	46
1. Protection des travaux souterrains contre l'inondation	46
2. L'exhaure	47
3. Traitement du DMA	47
3.1. Traitements actifs	47
3.2. Traitements passifs	48
4. Les procédés de traitement des déchets de cyanure	48
<b>IV. CONCLUSION</b>	49
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	51
Références bibliographiques	53
Liste des figures	55
Liste des tableaux	55

## INTRODUCTION GENERALE

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.

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 (Ain Azel, Sétif).

Le travail comporte quatre chapitres :

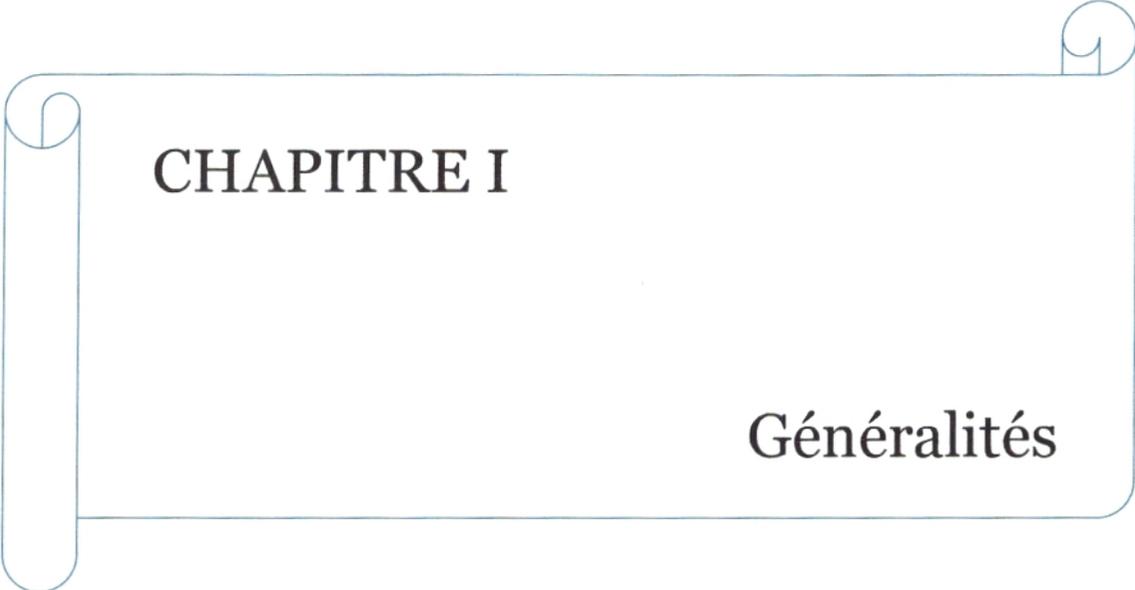
Nous présentons dans le **premier chapitre** des généralités sur la région d'étude, de point de vue géographique et géologique. Comme nous donnons un aperçu minier sur la mine de Chaabet el Hamra.

Le **deuxième chapitre** est réservé pour expliquer les phases d'exploitation et ces impacts sur l'environnement.

Au **troisième chapitre**, nous présentons les étapes de traitement de minerai de Chaabet el Hamra.

Le **quatrième chapitre**, nous le consacrons à l'étude d'impact environnemental de l'exploitation minière et des rejets de traitement des minerais sulfures pour la mine de Chaabet el Hamra.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.



# CHAPITRE I

Généralités

## I. HISTORIQUE

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

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

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

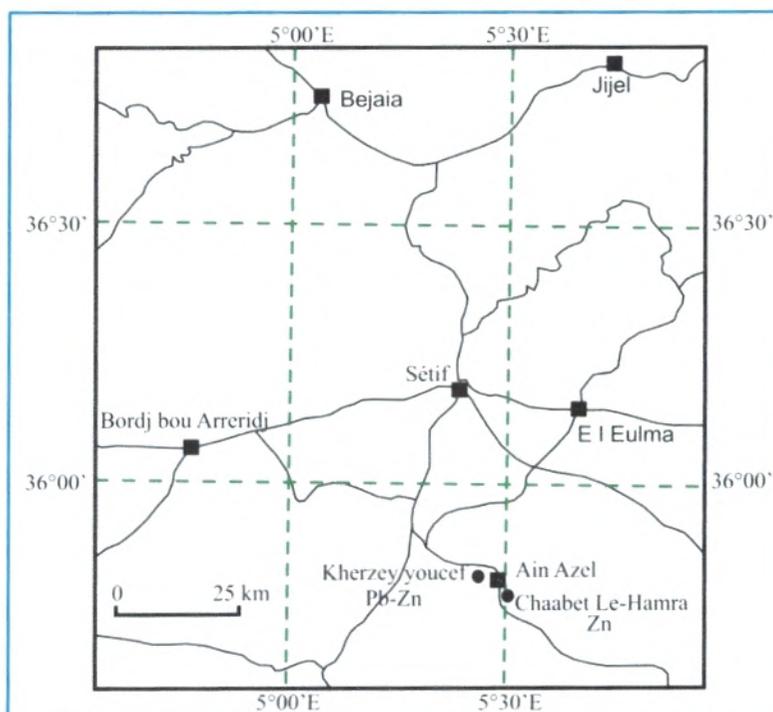
Les travaux miniers ont débuté en janvier 1992 et les ouvrages d'accès ont été achevés en avril 1994. L'extraction du tout-venant est commencée en avril 1994.

## II. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA MINE DE CHAABET EL-HAMRA

### 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.1).

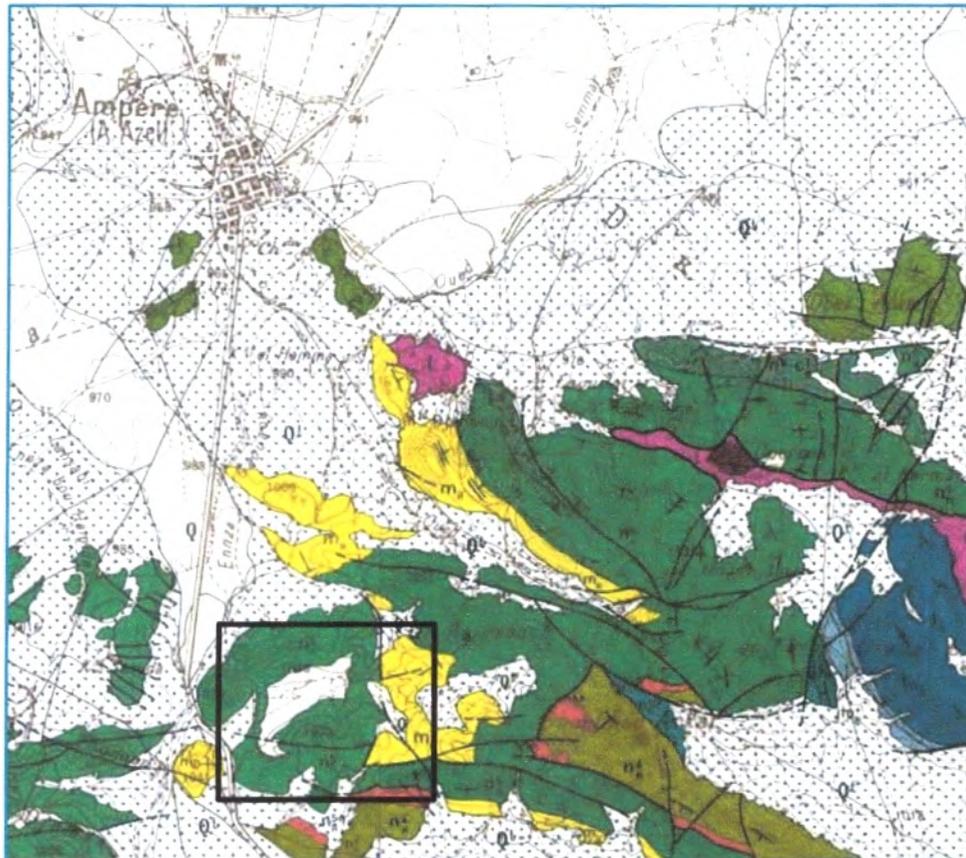
Ses coordonnées géographiques sont : 35°45'N et 5°30'E. L'altitude du site varie de 950 à 1200m.



**Figure 1** : Situation géographique de la mine de Chaabet El-Hamra (Nekache, 2012)

## 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.2).



**Figure 2** : Extrait de la carte géologique d'Ain Azel au 1/50.000



Localisation de la région de Chaabet El-Hamra

## 2.1. Cadre Stratigraphique général du Monts de Hodna

Les Monts de Hodna se caractérisent par des séries sédimentaires définies du Trias au Quaternaire d'après Glaçon (1967) et Guiraud (1990).

- **Le Trias** : se rencontre sous forme de pointements dans les zones les plus tectonisées. Il est composé de masses d'argiles, brèche dolomitiques, cargneules, gypse, schistes micacées avec parfois des fragments de cristallin et des roches vertes.
- **Le Jurassique** : affleure sur des surfaces importantes à l'Est d'Ain Azel :
  - Le Jurassique inférieur-moyen, constitue l'ossature calcaro-dolomitique de plusieurs chaînes des monts du Hodna.
  - Le Jurassique supérieur, constitué par trois groupes, un groupe grés-argileux, un groupe marno-calcaire et un groupe carbonaté supérieur très riche en fossiles.
- **Le Crétacé inférieur** : il affleure largement dans la région, il comprend de la base vers le sommet :
  - Une formation marno-silte gréseuse,
  - Une formation dolomitico-gréseuse,
  - Une formation argilo-calcaro-gréseuse,
  - Une formation calcaro-marneuse,
  - Une formation calcaro-marno-gréseuse.
- **Le Crétacé supérieur** : il est constitué par :
  - Des marnes et des marno-calcaires du cénomaniens inférieur et moyen,
  - Des calcaires et dolomies du cénomaniens supérieur et du Turonien basal,
  - Des marnes et marno-calcaire à Globotruncana Hevetica (Turonien inférieur à moyen),
  - Des marnes à Rudistes du Turonien supérieur.
- **L'Éocène** : représenté par des faciès calcaires ou marno-calcaire à silex.
- **Le Miocène** : représente la formation continentale et lagunaire, il est composé par conglomérats, grès, marnes et argiles rouges.
- **Le Pliocène** : constitué de formations détritiques, marneuses et conglomératiques.
- **Le Quaternaire** : est composé de formations continentales peu épaisses.

## 2.2. 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).

- **Valanginien ( $n_2$ )** : 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 grés quartzeux gris clair, des dolomies gréseuses et argileuses, des calcaires et des marnes gris-verdâtres.
- **Hauterivien ( $n_3$ )** : la minéralisation zincifère d'intérêt industriel est localisée dans la partie inférieure de Hauterivien, dont la puissance varie de 100 à 150 m. Cet étage est subdivisé en deux :

\_ **a) Hauterivien inférieur ( $n_{31}$ )** : ce niveau, d'une puissance totale variant de 70 à 120 m, est à son tour divisé en trois termes :

- $N_{31a}$  : composé de dolomies grises massives, à grains fins, parfois gréseuse et par fois calcarénites noir dans la partie supérieure 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'aleurolites 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).
- $N_{31c}$  : caractérisé par des dolomies à grains fins de couleur brunâtre ou fortement hématilisées.

\_ **b) Hauterivien supérieur ( $n_{32}$ )** : ce niveau, d'une puissance globale variant de 80 à 120 m, est subdivisé en cinq termes :

- $N_{32a}$  : formé de grés, parfois en alternance avec des argiles, de marnes et aleurolites verdâtres.
- $N_{32b}$  : représenté par des dolomies massives à grains fins plus ou moins hématilisées.
- $N_{32c}$  : représenté par un calcaire gris argileux, dont l'épaisseur varie de 10 à 15 m.
- $N_{32d}$  : constitué de dolomies à grains fins, de couleur gris-brun, souvent argileuse, dont la puissance totale varie de 15 à 20 m.
- $N_{32e}$  : caractérisé par une irrégularité de composition et de puissances, il représenté par des calcaires gris en alternance grossière avec des marnes et des aleurolites.

- **Barrémien (n<sub>4</sub>)** : il est développé au Nord-Ouest et Sud du gisement et il est subdivisé en deux niveaux :
  - \_ **a) Barrémien inférieur (n<sub>41</sub>)** : ce niveau est à son tour divisé en trois termes :
    - N<sub>41a</sub> : 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.
    - N<sub>41b</sub> : constitué par une alternance de dolomies marneuses massives, de marnes et de calcaires marneux
    - N<sub>41c</sub> : représenté par des dolomies massives à grains fins, avec des fissures remplies d'oxydes et de calcite.
  - \_ **b) Barrémien supérieur (n<sub>42</sub>)** : ce niveau est subdivisé en quatre termes :
    - N<sub>42a</sub> : représenté par des dolomies gréseuses, massives à grains fins ou moyen avec souvent des fissures remplies par de la calcite.
    - N<sub>42b</sub> : formé de grés bruns, avec une alternance d'aleurolites et d'une dolomie très gréseuse.
    - N<sub>42c</sub> : constitué d'une alternance de dolomie gréseuse, de grés bruns et d'argiles verdâtres.
    - N<sub>42d</sub> : formé de dolomies gréseuse et argileuse et de calcaire brun-violet, avec des passés d'argile verdâtre.

### 3. 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.3). 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 10° 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

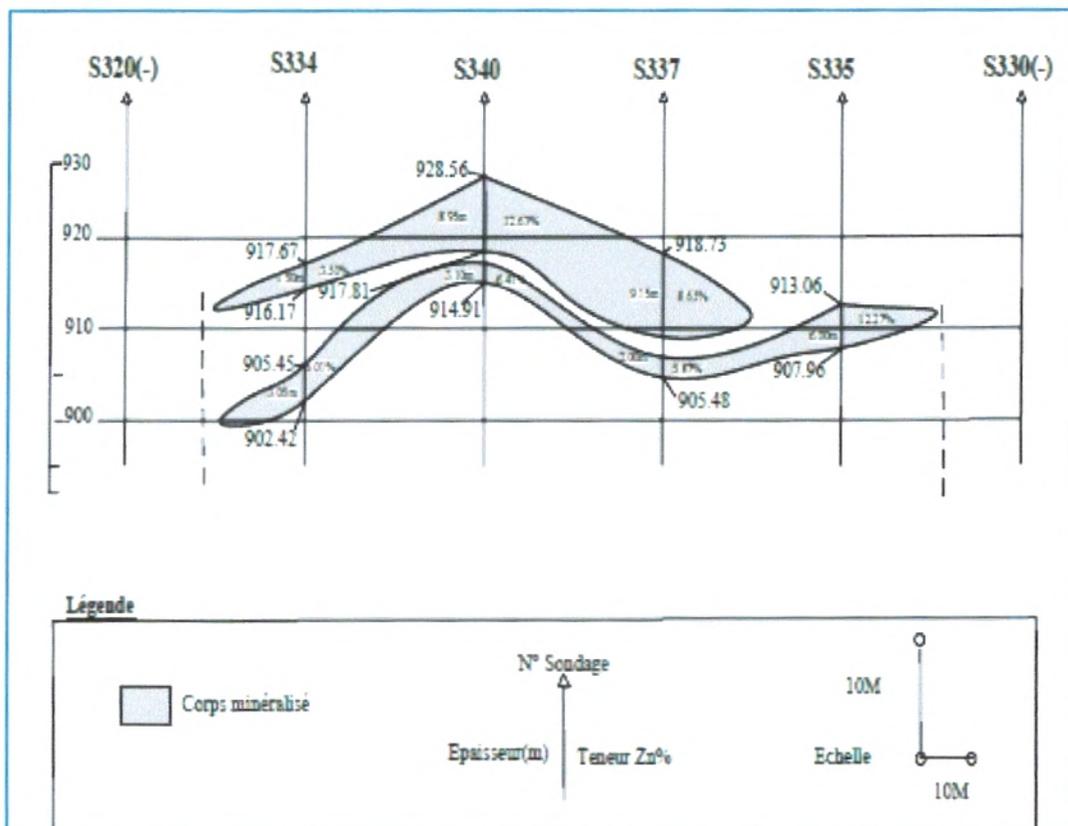
une dolomie à lits marneux tandis que le mur du corps inférieur (corps n° 2) est une dolomie massive à concrétions (dolomie tachetée).

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 n°2 (corps inférieur) est de 4 mètres. Il n'existe aucune corrélation entre les épaisseurs et les teneurs et on constate une distribution contrastée dans les corps de minerai.

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 de celle baryto-pyritifère.



**Figure 3** : Coupe géologique des deux corps du gisement Chaâbet El-Hamra (Profil X-XV, document interne inédit)

### III. MINERALISATION

La minéralisation du gisement de Chaabet El-Hamra est observée en faisceaux sous forme de lentilles minéralisées de composition tantôt mono-minérale, tantôt mixte (fig.4).

Elle est représentée essentiellement par la sphalérite, la pyrite, la marcassite. Les minéraux secondaires sont la galène et l'hématite.

Les minéraux de gangue sont la calcite, la barytine, la dolomie et plus rarement le quartz et le gypse. Les minéraux d'oxydation sont principalement la smithsonite, la cérusite et la limonite.

La minéralisation de pyrite, 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.

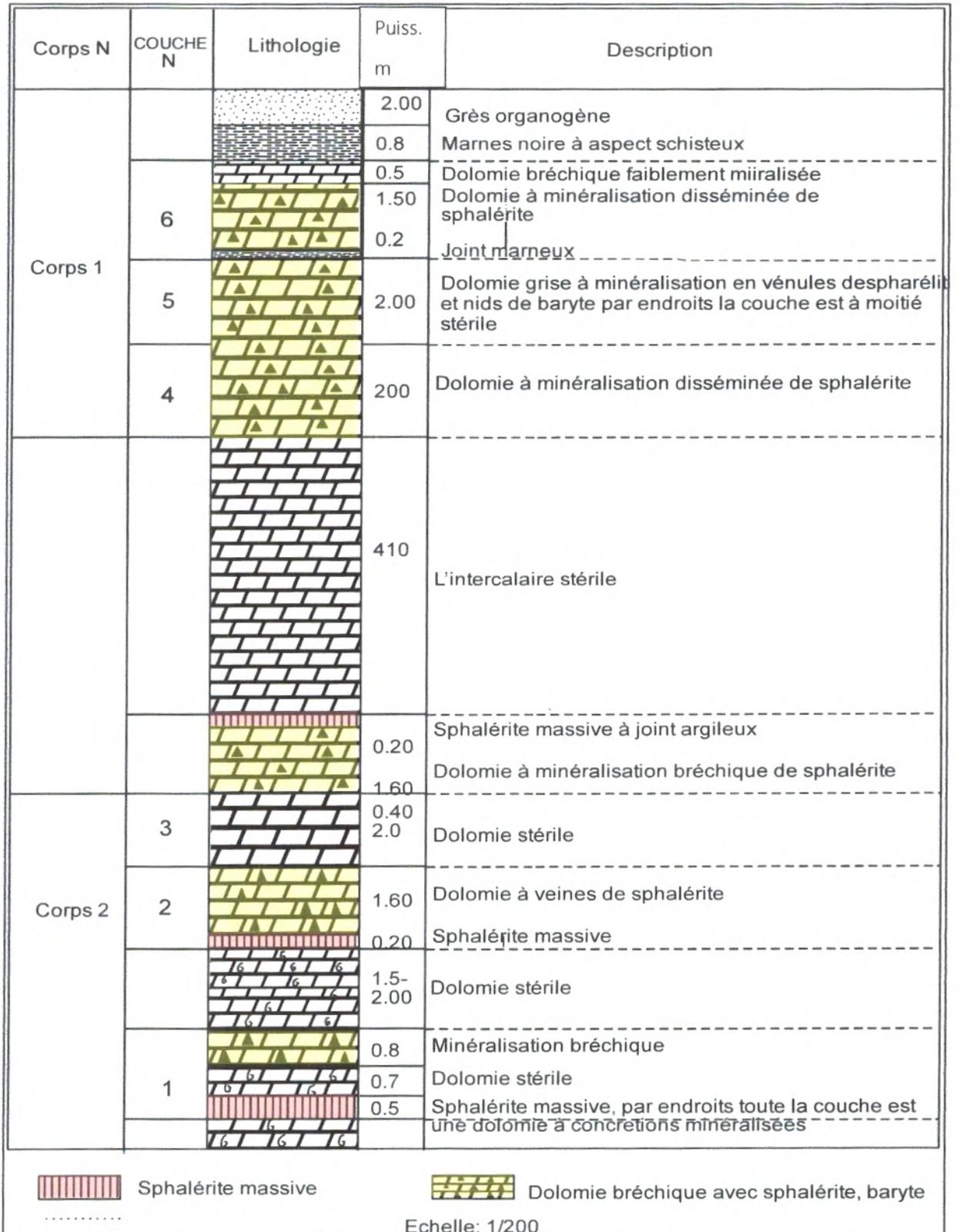


Figure 4 : La minéralisation du gisement, faisceau supérieur et inférieur,

(D'après Rezigat *et al.*, 2008)

#### IV. HYDROGEOLOGIE

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 (fig.5). Cet aquifère est associé aux grès dolomitiques.

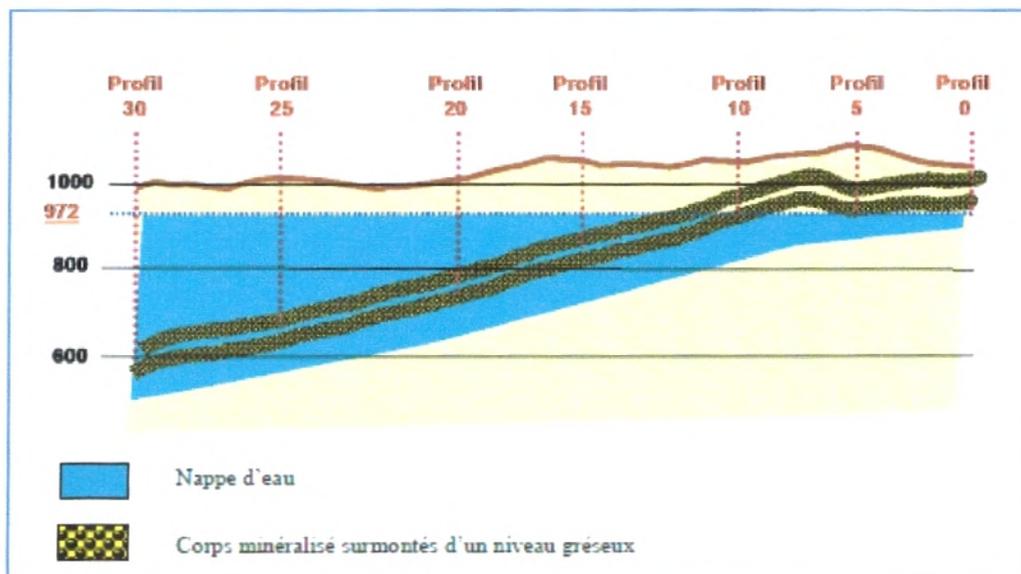


Figure 5 : Coupe hydrogéologique Profil 0 – Profil 30

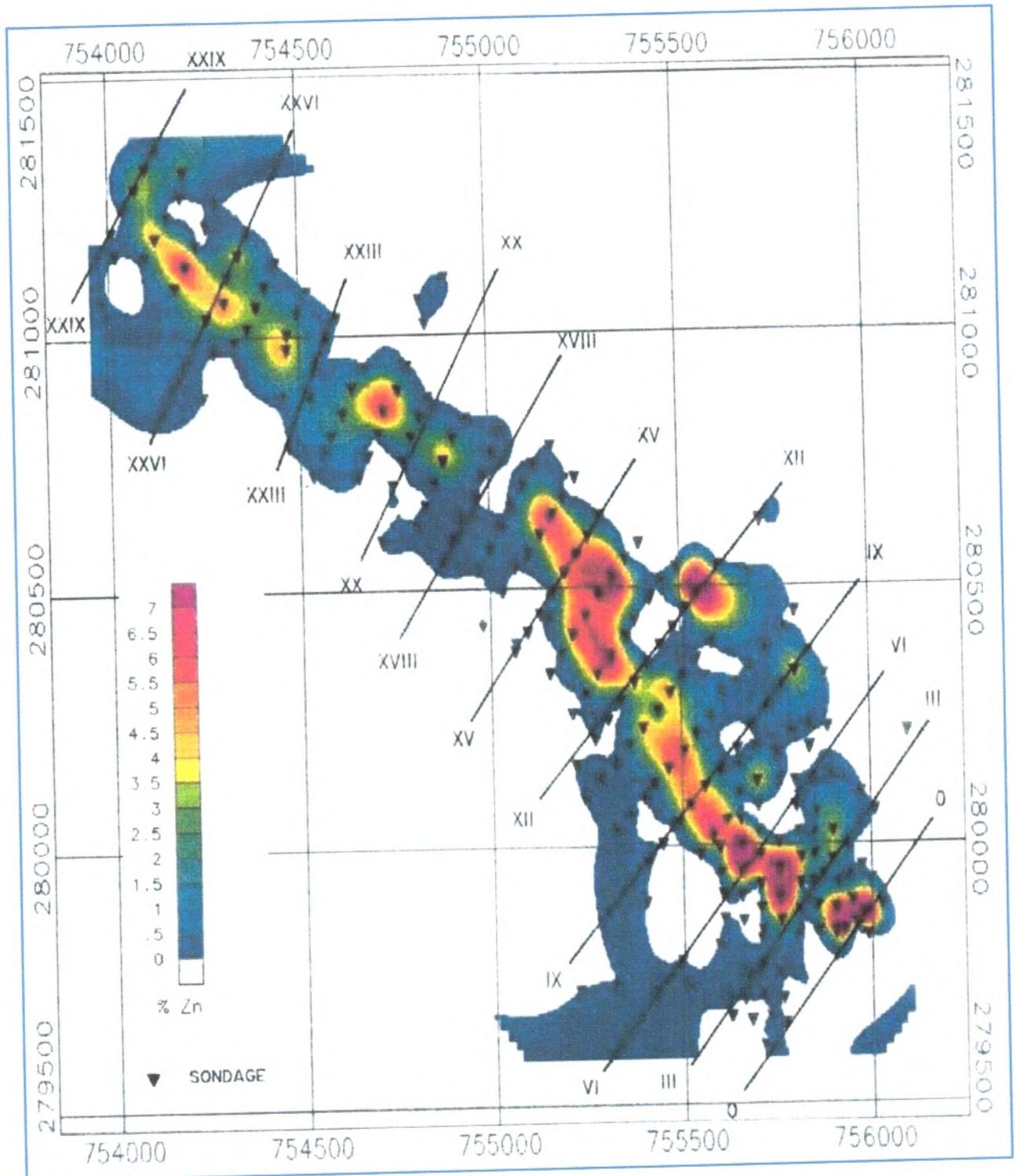
(D'après ENOF 2003 et 2006)

#### V. RESERVES GEOLOGIQUES

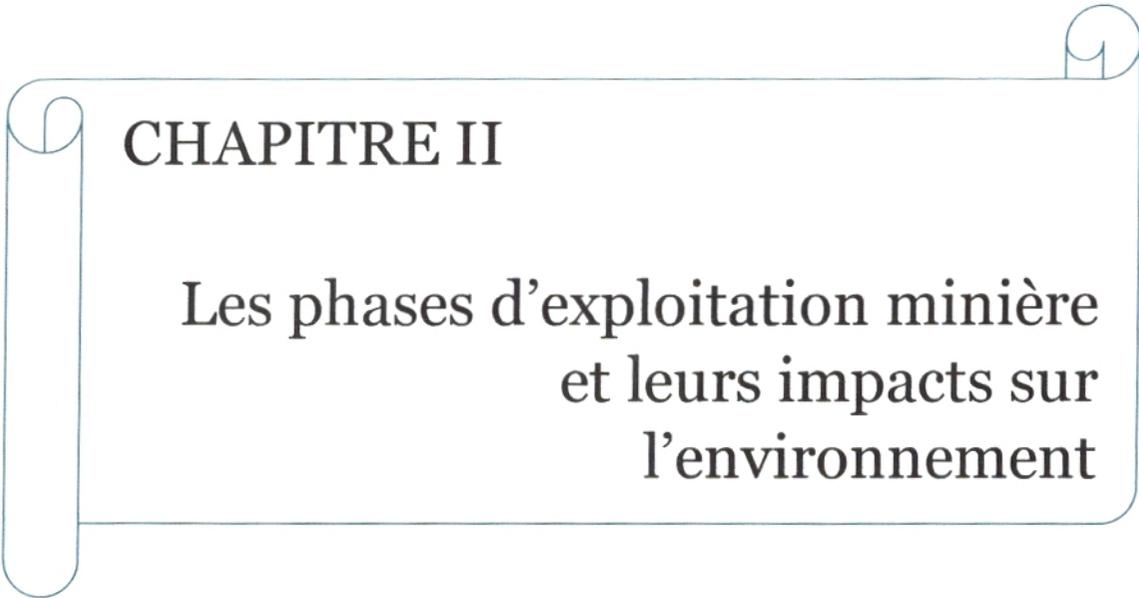
Le projet d'exploitation des réserves de Chaabet El-Hamra retenu par l'ENOF n'a pris en considération que les réserves situées entre les profils 0 et 15 pour les raisons suivantes : entre les profils 16 et 24, il existe un secteur d'environ 800 m de longueur à l'intérieur duquel les corps minéralisés sont absents ou présentent des teneurs et des épaisseurs insuffisantes pour justifier leur exploitation (fig.6).

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

A decorative graphic of a scroll with a light blue outline. The scroll is unrolled on the left and right sides, with the top and bottom edges curving inward. The text is centered within the scroll's body.

## CHAPITRE II

Les phases d'exploitation minière  
et leurs impacts sur  
l'environnement

## **I. 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.

### **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.

### **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.

#### **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.

#### **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.

### **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,
- c. 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.

### **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.

### **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.

### **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).

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 (fig7).



**Figure 7 :** Lixiviation en tas, mine d'or Bighorn, Californie, États-Unis  
(Photo internet)

### 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 (fig.8).

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 8 :** Evacuation des résidus d'une mine au Pérou (photo internet)

## **8. Réhabilitation et fermeture de site minier**

Lorsque l'exploitation minière active cesse, les installations minières et le site sont réhabilités et fermés. L'objectif du plan de réhabilitation et de fermeture d'un site minier doit toujours viser à retourner le site à une condition qui ressemble le plus possible à la condition d'avant exploitation.

Les mines qui sont célèbres pour leurs immenses impacts sur l'environnement ont le plus souvent produit ces impacts uniquement durant la phase de fermeture, lorsque les opérations minières avaient cessé. Ces impacts peuvent persister pendant des décennies et même des siècles.

## **II. EXPLOITATION DE LA MINE DE CHAABET EL-HAMRA**

Le choix d'une méthode d'exploitation dépend de plusieurs facteurs et qui sont :

- ✓ L'importance du gisement
- ✓ Les variations des teneurs
- ✓ La puissance, le pendage et l'irrégularité de la formation
- ✓ La stabilité de la couronne
- ✓ La dureté, les caractéristiques physico-mécanique du minerai et des encaissants

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

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

### **1. Cas des blocs inférieurs à 5 m d'épaisseur**

#### **1.1. Méthode des chambres et piliers abandonnés**

Cette méthode consiste dans un premier temps, à partir d'une voie d'accès, à tracer des chambres de 4 m à 5m de largeur, en chassant, laissant entre elle dans un premier temps des piliers de 4 m de largeur et de 12 m de longueur, et dans un deuxième temps, de récupérer en rabattant une partie des piliers par creusement de refonte de 4 m au milieu du pilier. On

abandonne des piliers de 16 m<sup>2</sup> de section pour supporter le toit sur une section de 64 m<sup>2</sup>. Ces piliers doivent supporter le poids de tout le recouvrement (fig.9).

Cette méthode nécessite une bonne connaissance, ainsi qu'un suivi du comportement des piliers abandonnés, et se caractérise par un taux élevé de perte minerais de l'ordre de 25 %.

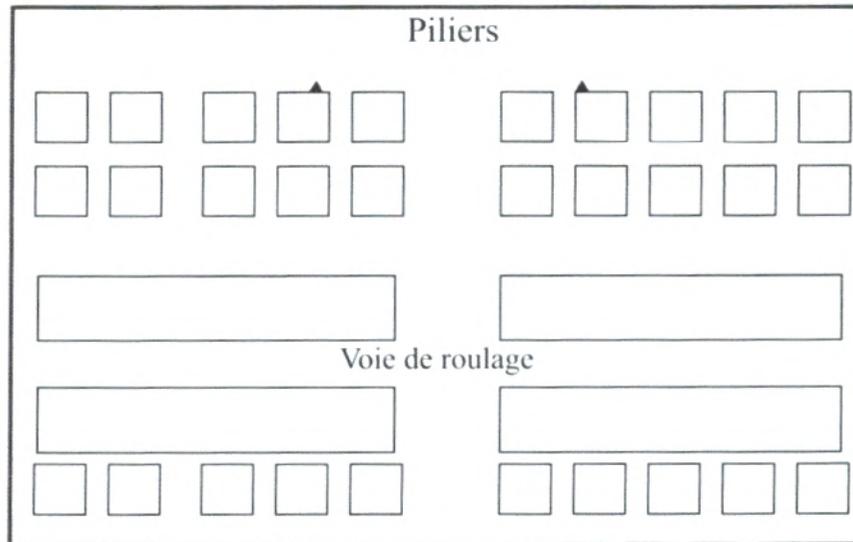


Figure 9 : Méthode des chambres et piliers abandonnés (Rezigat *et al.*, 2008).

### 1.1.1. Avantages de la méthode

- Méthode d'exploitation très facile d'emploi ne nécessitant pas l'utilisation d'un personnel très qualifié.
- Méthode d'exploitation ne provoquant pas d'affaissement de surface.
- Méthode d'exploitation au moindre coût d'extraction.

### 1.1.2. Inconvénients de la méthode

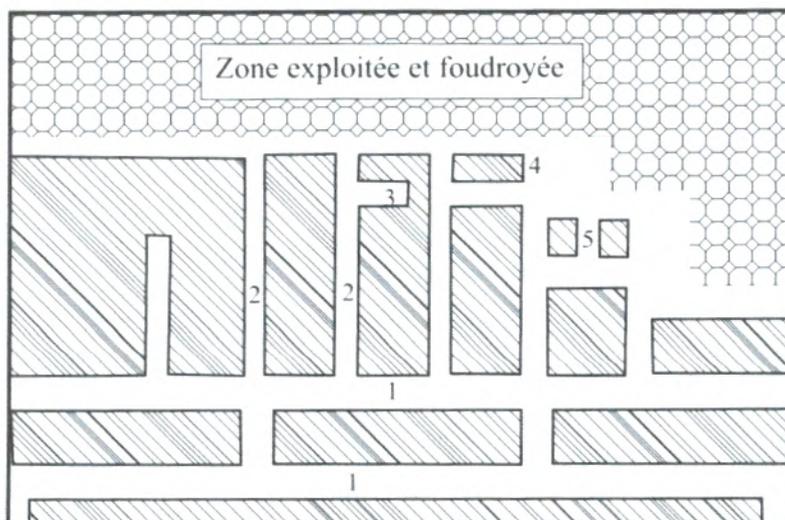
Quand la profondeur augmente, on perd beaucoup de minerai. Il faut alors abandonner cette méthode. C'est donc une méthode convenant aux faibles profondeurs.

## 1.2. Méthode par traçage et dépilage

Pour une morphologie de type lenticulaire comme celle du gisement de Chaabet El-Hamra, notamment pour les épaisseurs inférieures à 5 m, une autre méthode d'exploitation conventionnelle peut être utilisée est celle par traçage et dépilage.

Cette méthode consiste à creuser des galeries parallèles de 4 m de largeur, appelées «traçage», et distantes l'une de l'autre d'environ 4 m, ce qui constitue la largeur de pilier.

Ces piliers sont ensuite récupérés partiellement, seuls les piliers résiduels de 2 m de côté sont abandonnés et foudroyés (fig.10).



**Figure 10 :** Méthode d'exploitation par traçage et défilage (Rezigtat *et al.*, 2008, modifiée).

- 1- Galerie parallèles de départ, 2- Traçage, 3- Recoupe
- 4- Rideau, 5- Piliers résiduels

### 1.2.1. Avantages de la méthode

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

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

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

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

### 1.2.2. Les inconvénients de la méthode

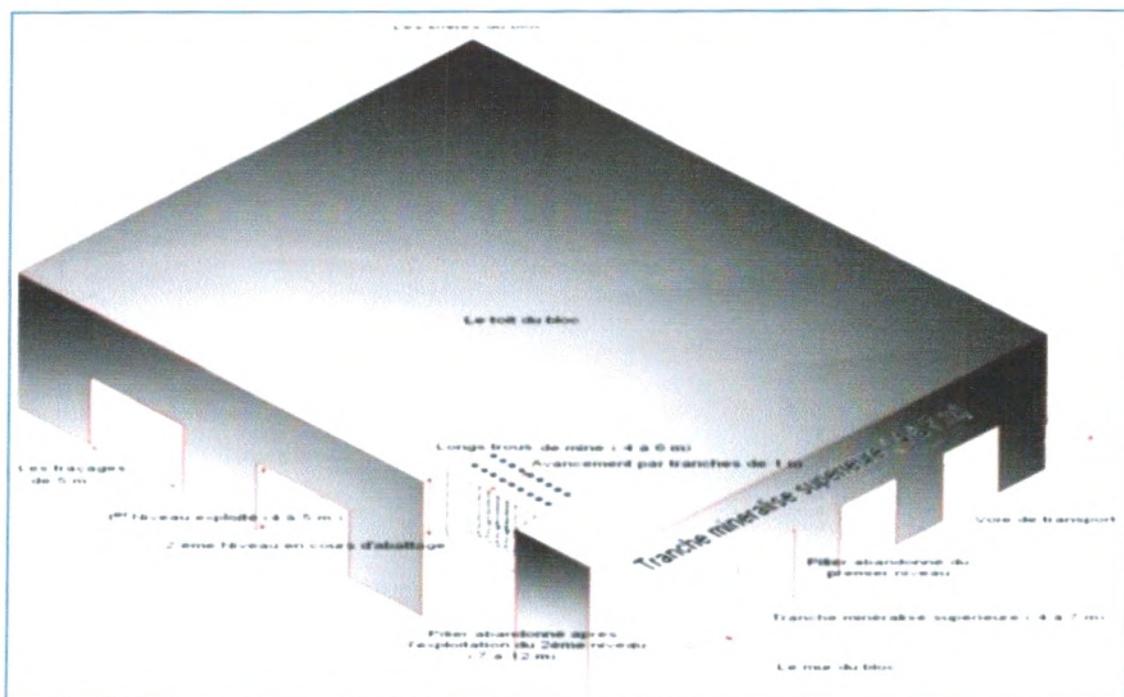
Cette méthode comme celle des piliers abandonnés ne peut pas s'utiliser à grande profondeur.

Il faut disposer d'une maîtrise expérimentée et d'un personnel qualifié, car il faut pouvoir apprécier la stabilité d'une chambre de défilage en fin d'exploitation.

## 2. Cas des blocs d'épaisseur supérieur à 5m

### 2.1. Méthode par Chambre et piliers à deux niveaux

Dans une première phase un premier niveau est exploité selon la méthode des chambres et piliers. Dans une deuxième phase lorsque l'exploitation du premier sous-niveau est terminée, on procède à l'exploitation du deuxième sous niveau. Dans ce cas à partir du traçage inférieure, les réserves situées au-dessus et de part et d'autre de cette galerie sont abattues et tout en abandonnant des piliers qui seront le prolongement des piliers du niveau inférieur (fig.11).



**Figure 11** : Exploitations par chambres et piliers à deux niveaux

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

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

### **2.1.1. Avantages de la méthode**

- Augmentation de la production : les taux de production est le plus haut possible.
- Méthode d'exploitation ne provoquant pas d'affaissement de surface.
- Sécurité élevée

## **III. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX**

### **1. Impacts environnementaux et sociaux de l'exploitation minière**

Les différentes étapes reliées à l'activité minière génèrent à divers degrés des risques pour l'environnement et pour la société en général, en 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 (tab.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.

Etapes de l'activité minière	Les activités-clés	Impacts potentiels sur l'environnement	Impacts population	potentiels sur la population
			<b>positifs</b>	<b>négatifs</b>
1) Exploration	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Recherche des données</li> <li>*prospection</li> <li>*levés géochimiques et géophysiques</li> <li>*Evaluation des réserves géologiques</li> <li>*Forage et tranchées</li> <li>*Démarches pour l'obtention d'une concession minière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Impacts nul ou faible.</li> <li>Construction de voies d'accès.</li> <li>*Coupe d'arbres et dégagement du couvert végétal.</li> <li>*Pollution sonore par la machinerie utilisée.</li> <li>*Décharge de contaminants : huiles et eaux utilisés en vue du fonctionnement de la machinerie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Mise en valeur d'une ressource naturelle locale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Poussières</li> <li>*Impact visuel</li> <li>*Pollution sonore : Affecte plutôt les travailleurs.</li> </ul>
2) Développement de la mine	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Etudes de faisabilité et projet d'ingénierie</li> <li>*Audiences publiques</li> <li>*Installation des infrastructures</li> <li>*Construction de bâtiments</li> <li>*Routes d'accès</li> <li>*Construction de la mine et pré-production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Coup de forêts</li> <li>*Impacts sur la flore et la faune</li> <li>*Altération du milieu physique : morphologie locale</li> <li>*Détournement de cours de la nappe phréatique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Création d'emplois</li> <li>*Opportunité pour la population d'exprimer son avis</li> <li>*Développement social et économique de la région</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Manipulation possible de l'information</li> <li>*Impact visuel</li> <li>*Poussière</li> <li>*Pollution sonore</li> </ul>
3) Production exploitation minière et traitement de minerai	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Extraction, broyage et concassage du minerai</li> <li>*Choix des sites pour la disposition des stériles</li> <li>*Flottation et concentration chimique du minerai</li> <li>*Transport du minerai ou des concentrés</li> <li>*Disposition des résidus et de déchets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Pollution de l'air : poussière, radioactivité</li> <li>*Pollution sonore</li> <li>*Empilement des stériles miniers</li> <li>* Génération et disposition des résidus miniers</li> <li>*Effluents contaminés générés par des réactions chimiques à l'intérieur du hall à stériles et des dépôts de résidus miniers</li> <li>*Contamination d'eaux de surface et souterraines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Élévation du revenu de la population locale</li> <li>*Revenus en taxes et impôts pour les gouvernements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travailleurs</li> <li>*Santé : poussière et bruit</li> <li>*Risques pour la santé de la population locale et régionale à court terme</li> <li>*Utilisation plus restreinte des lacs, des ruisseaux et des rivières</li> </ul>

Tableau 1 : Les activités minières et les impacts sur l'environnement

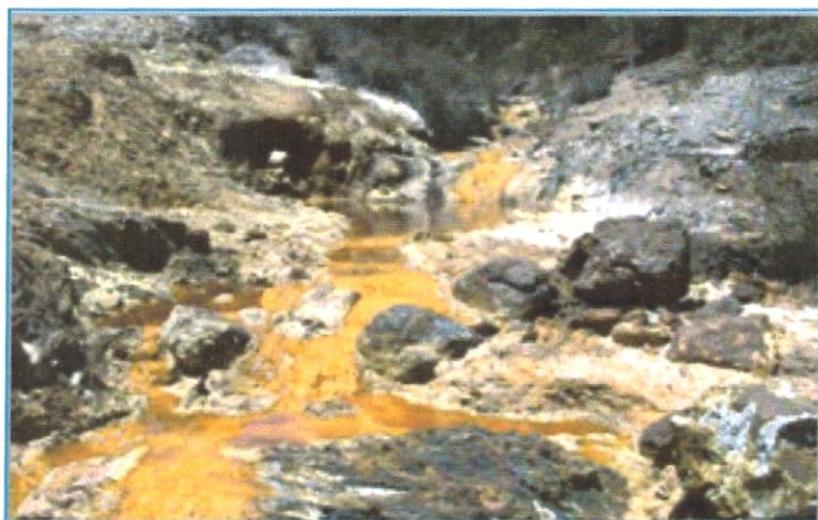
## 2. Impacts sur les ressources en eau

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.

### 2.1. Le drainage d'acide minier et la lixiviation des contaminants

Un drainage minier acide (DMA) est une solution minérale acide qui s'écoule régulièrement en conséquence de certains types de mines ou de stockage de déchets miniers. Il contribue localement au phénomène global d'acidification des eaux douces constaté depuis plusieurs décennies à grande échelle.

Le phénomène en cause est parfois « spontané » sur les affleurements de minéraux sulfurés, naturellement sujets à une oxydation par contact avec l'air et l'eau : de manière lente, il y a production d'acide sulfurique et solubilisation des métaux présents (du fer, mais aussi des métaux hautement toxiques tels que le plomb, l'arsenic ou le mercure, qui peuvent alors contaminer des nappes, cours d'eau ou lacs (fig.12).



**Figure 12** : Drainage acide de mine (photo NASA, internet)

Les métaux solubilisés dans les effluents miniers acides sont non-dégradables, bioaccumulables et presque tous de violents poisons du métabolisme pour toutes les espèces animales, l'homme, et la plupart des plantes.

Enfin, les DMA ont également un impact visuel sur les paysages : les dépôts de couleur rouille, sur plusieurs kilomètres de cours d'eau, ou l'aspect dénudé des stocks de déchets miniers sont notables.

## **2.2. 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 terrils 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.

#### **IV. CONCLUSION**

L'exploitation des mines souterraines se présente comme une activité ayant d'importantes répercussions sur l'environnement. En effet, les ponctions minières qui contribuent à l'épuisement des ressources naturelles, les modifications apportées au milieu géologique et à la nappe phréatique, l'altération de la qualité de l'air, le bruit, les poussières, l'altération des eaux superficielles et l'atteinte à l'intégrité du paysage sont autant de facteurs susceptibles de dégrader fortement l'environnement.

Par rapport aux exploitations à ciel ouvert et à d'autres industries, la consommation d'espace est faible. Hormis les emplacements réservés aux verses et terrils, les surfaces nécessaires ne seront occupées que pour la durée de l'exploitation.

Dans l'ensemble, la fixation des seuils limites, leur surveillance et le contrôle des exploitations fonctionnent de façon exemplaire. Néanmoins il faudrait dans tous les cas essayer d'atteindre un niveau qui permettra d'éviter les incidences négatives sur l'homme et son environnement.

Un problème crucial dans le secteur minier est celui posé par les innombrables micro-activités du secteur informel, caractérisées par des méthodes de travail non contrôlables, inadaptées et hasardeuses, tant pour l'ouvrier que pour l'environnement.

La bonne conduite d'une exploitation minière suppose une étroite surveillance, c'est-à-dire des mesures effectuées régulièrement, la collecte de données et le contrôle du respect des principaux seuils limitent fixés. A cet effet, l'action d'organismes de tutelle compétents est indispensable.

## CHAPITRE III

Traitement du minerai

de Chaabet El-Hamra

## I. 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 dizaine de kilomètres.

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.13 &14).

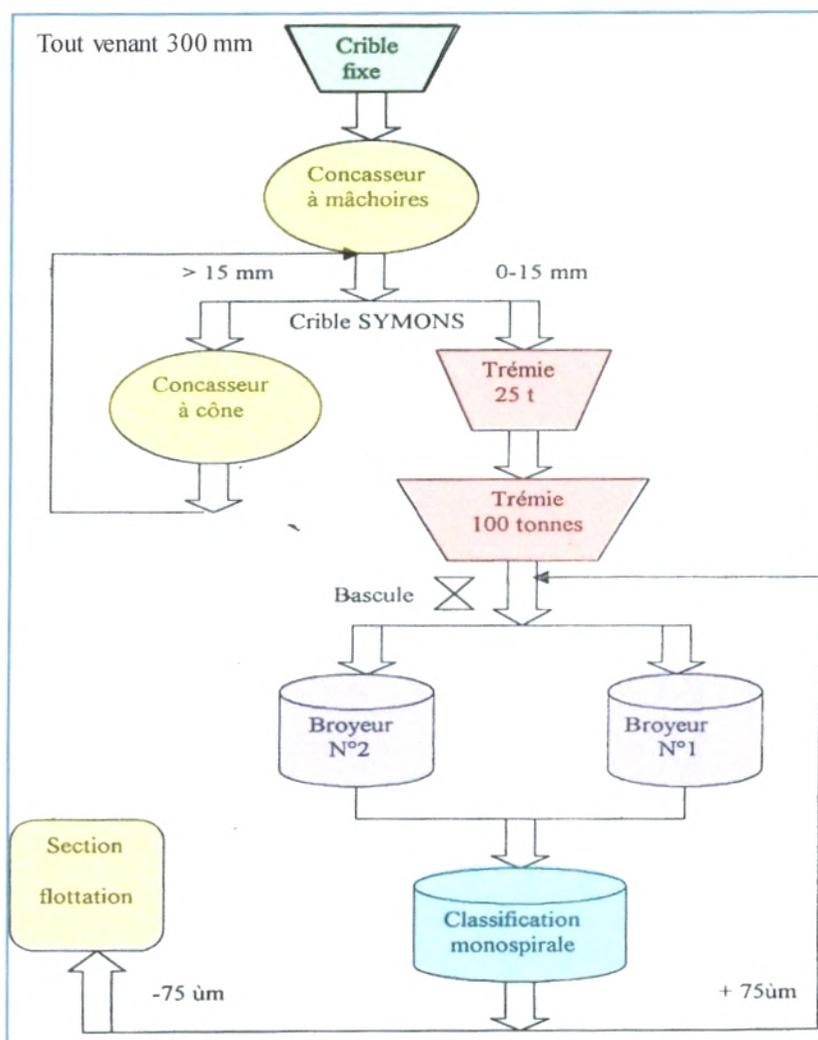


Figure 13 : Section de la préparation mécanique

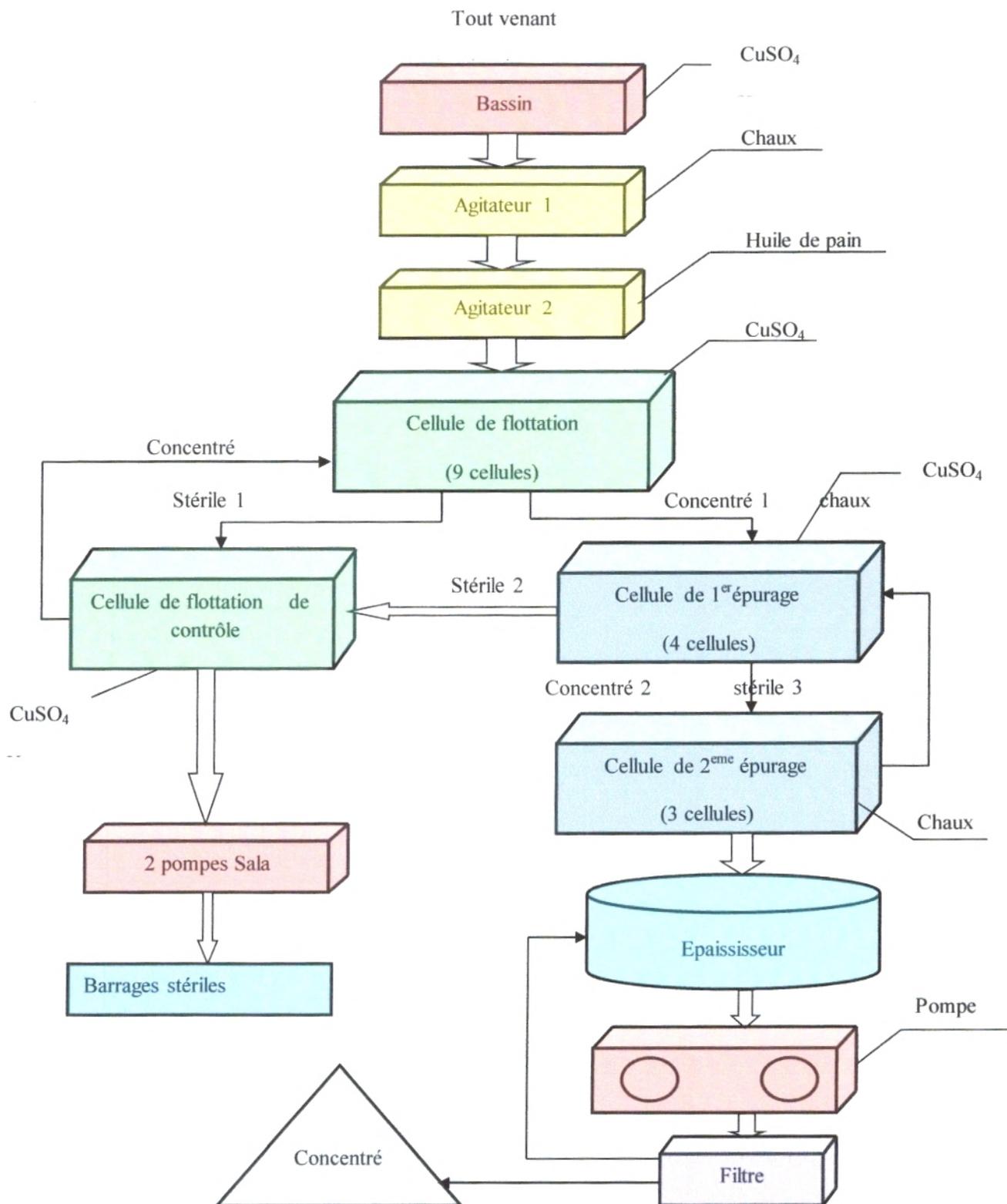


Figure 14 : Section de la flottation de tout venant

## II. IDENTIFICATION DU MINERAI

### 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 (fig.15).

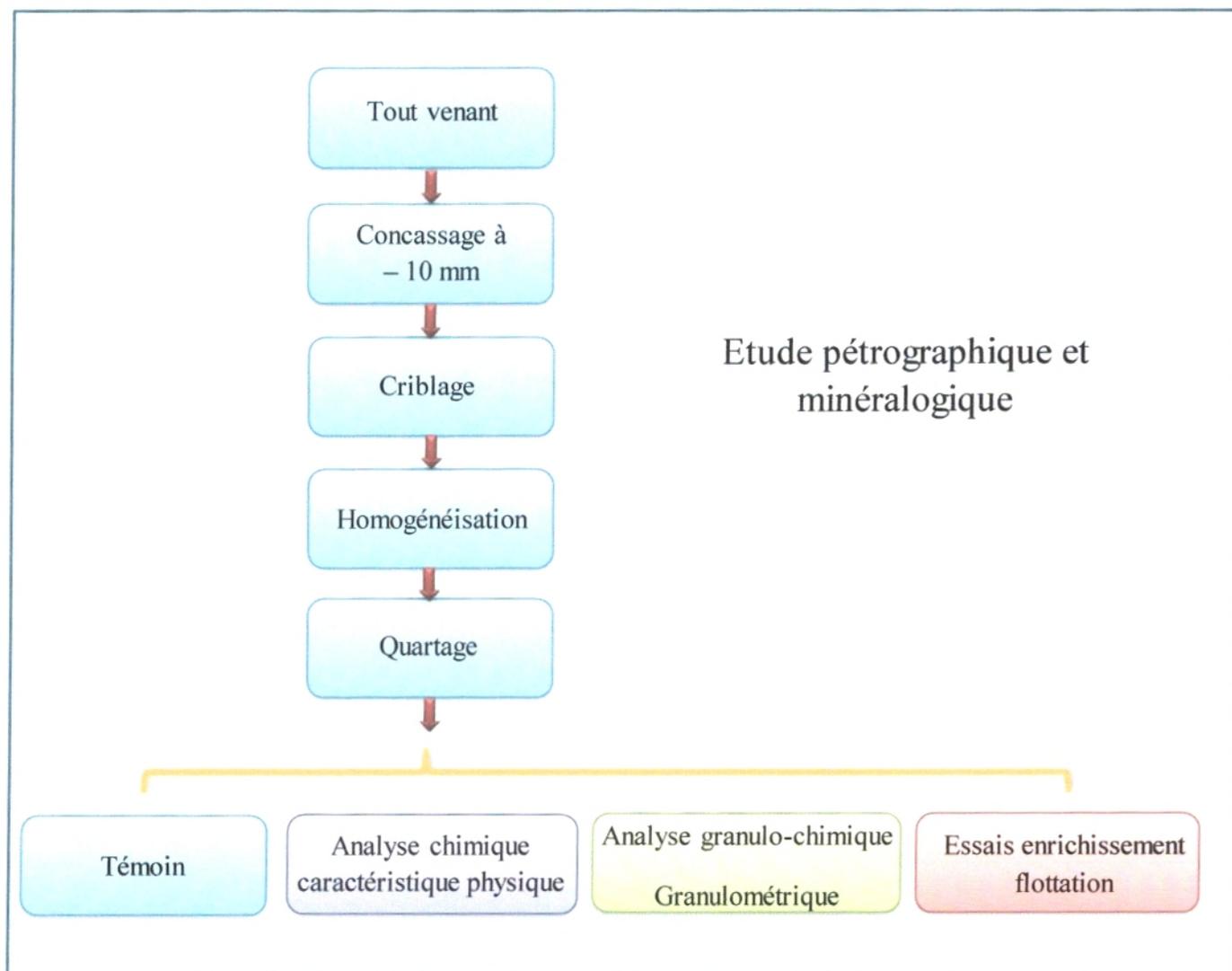


Figure 15 : Schéma de la répartition du minerai pour essais et analyse.

## 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 :

Zn %	Sp %	Pb %	Cu %
7.5	16.50	0.125	0.005

### 4. Détermination des paramètres physiques du minerai

4.1. La masse volumique absolue : Elle est déterminée par la formule suivante :

$$\rho = M / V$$

On y relève les valeurs tel que : M = 501.0 gr & V = 151.4 cm<sup>3</sup>

$$\rho = 3.309 \text{ g / cm}^3$$

### 4.2. Taux d'humidité

La formule est :

$$T \% = 100 (M_I - M_o) / M_I$$

Avec M<sub>I</sub> = 250.g et M<sub>o</sub>=249.g

$$T = 0.4 \%$$

### 4.3. Porosité

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

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

$$P = 3,76 \%$$

#### 4.4. Dureté

Suivant l'échelle de MOHS, l'échantillon prélevé a une dureté (d) qui varie entre 5 à 6.

#### 5. 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 et les histogrammes (fig.16 et 17).

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

Tableau 2 : Résultats de l'analyse granulométrique.

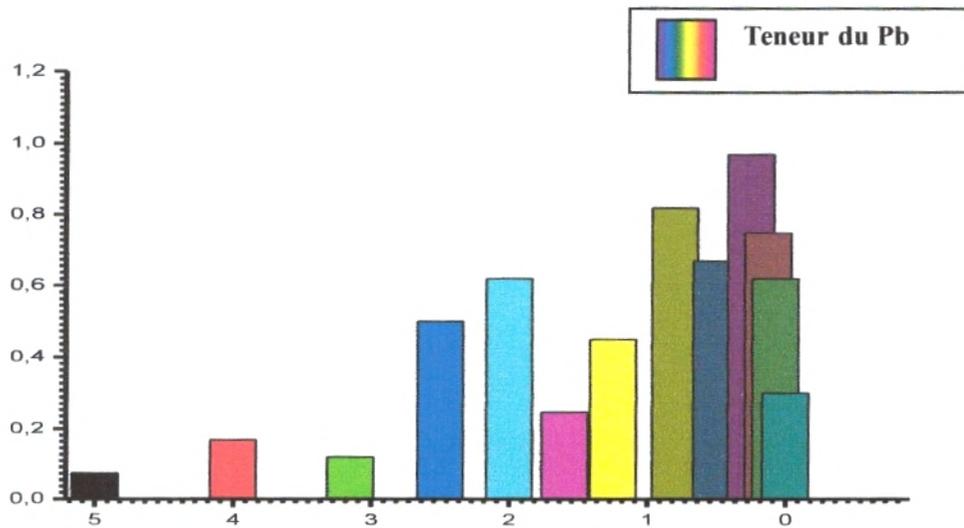


Figure 16 : Histogramme de la teneur du Pb dans les tranches granulométriques

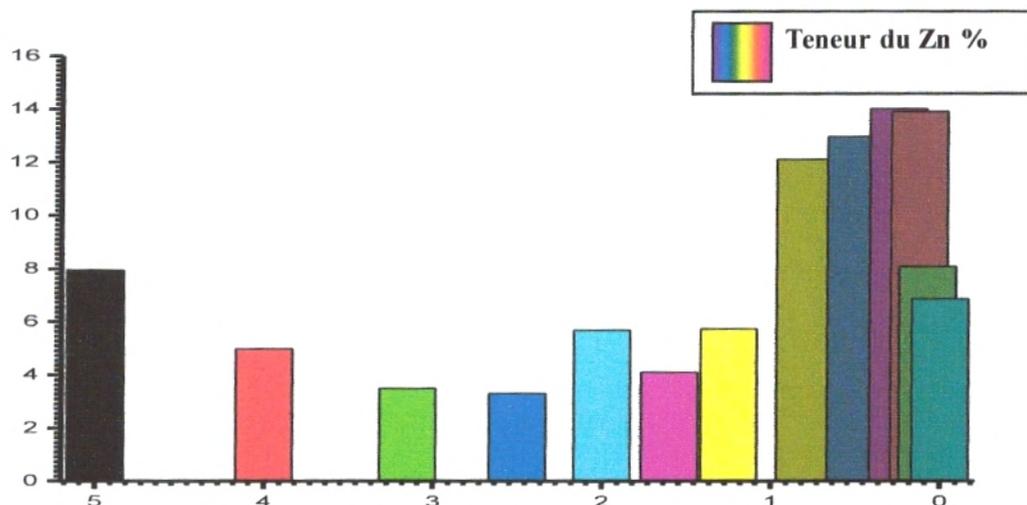


Figure 17 : Histogramme Teneur du Zn dans les tranches granulométriques

### 5.1. 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.

## 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.

### 6.1. Préparation de l'échantillon

Un échantillon de 1 Kg concassé à une dimension de 1 mm et mélangé à 1 litre d'eau. Il est broyé pendant 45 min dans un broyeur à boulets pour l'obtention de plus de 80 % inférieur à 74  $\mu\text{m}$ . Le produit obtenu est versé dans une cellule de flottation (fig.18). Dans cette partie, l'étude est portée sur l'influence de :

- De la quantité du collecteur l'Amylxyanthate.
- De l'activant  $\text{CuSO}_4$ .

#### 6.1.1. Influence de la quantité du collecteur A.X

L'Amylxyanthate est le collecteur de la blende ( $\text{ZnS}$ ). Les consommations dans le circuit du zinc ont été variées de la manière suivante :

Réactifs	Quantités g/t			
Amylxyanthate	100	150	200	250

On ajoute dans la cellule :

- La chaux ( $\text{CaO}$ ) pour fixer le PH entre 10 et 11.
- L'activant de la blende, le sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ) : 300 g / tonne, le temps de conditionnement est de 5 min.

- Le collecteur, l'Amyl xanthate, conditionnement est de 5 min.
- Le moussant : 12.5 g / tonne de l'huile de pins, le temps de conditionnement est de 1 min.
- On introduit de l'air ;
- Le temps de raclage est de 5 min.

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

### 6.1.2. Influence de la quantité de l'actifant $\text{CuSO}_4$

Les quantités de l'actifant  $\text{CuSO}_4$  utilisés sont :

Actifant	Quantité : g/t			
$\text{CuSO}_4$	II.	250	300	350

#### ➤ Flottation principale de la blende :

- PH entre 10 et 11 à l'aide de la chaux.
- Ajouter de l'actifant  $\text{CuSO}_4$ , conditionnement 5 min.
- Ajouter 150 g/tonne de collecteur (A.X), conditionnement 5 min.
- Ajouter 12.5 g/tonne de moussant (H.P), conditionnement 1 min.
- Introduire de l'air ;
- Le temps de raclage est de 5 min.

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

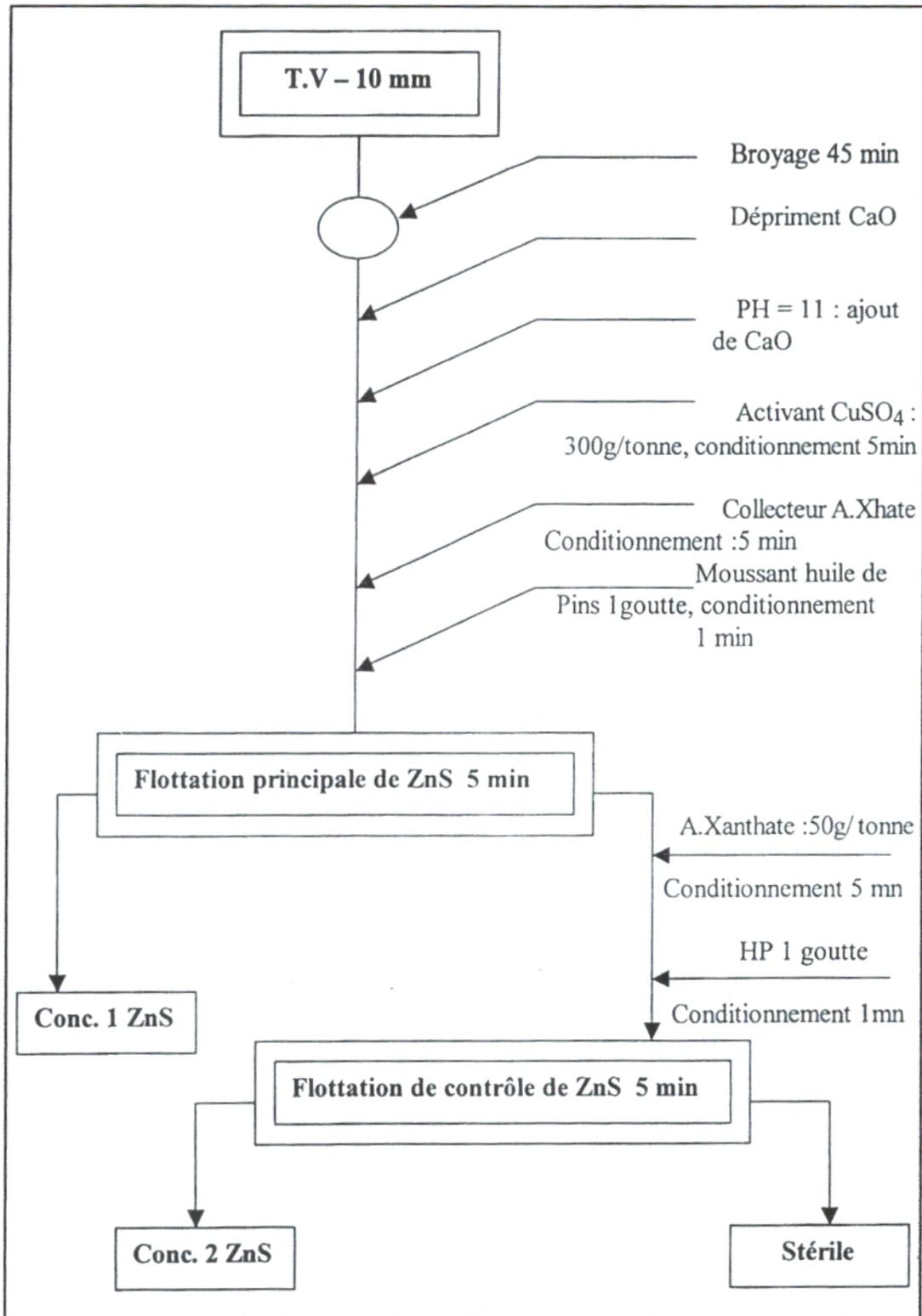


Figure 18 : Schéma de flottation de la blende.

### **III. CONCLUSION**

Au cours de cette étude il a été 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 : Amylxanthate 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.

Ainsi, il est nécessaire de renouveler les installations surtout celle de la distribution des réactifs, pour permettre de respecter les quantités recommandées.

A decorative border in the shape of a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both ending in small curls. The text is centered within this scroll.

## CHAPITRE IV

Eude d'impact environnemental de  
l'exploitation minière

## **I. 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 contraints 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 mine de Chaabet El-Hamra.

## **II. L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL SUITE A L'EXPLOITATION DU GISEMENT**

### **1. Impacts fréquents dus à l'exploitation**

#### **1.1. 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 nappe d'eau. Les dépôts des stériles rejetés par l'usine de traitement, sont saturés de produits toxiques tels que le cyanure, xanthate, et sulfate de cuivre.

En effet l'utilisation des produits chimiques à base de cyanure 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.

#### **1.2. Lexiviats (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.

### **1.3. L'exhaure**

L'eau de l'exhaure est rejetée directement dans l'oued le plus proche de la mine ces eaux polluées ont été toujours utilisées pour l'irrigation des terres par les paysans depuis l'ouverture de la mine.

### **1.4. Poussière toxique**

Le climat de la région de Ain-Azel est caractérisé par des vents forts 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.

### **1.5. 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.

## **2. Impacts accidentels**

### **2.1. Affaissement**

#### **2.1.1. 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 importante.

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 (fig.19).

##### **2.1.1.1. 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 demeuraient limitées.

#### 2.1.1.2. Affaissement dus aux exploitations par remblayage

Lorsque l'exploitation se réalise avec remblayage des vides, les vides souterrains résiduels sont très réduits. Il n'est pas totalement exclu que se produise un tassement ultérieur du remblayage. Les répercussions en surface restent cependant faible, de l'ordre de grandeur des mouvements naturels du sol.

#### 2.1.2. Conséquence 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.

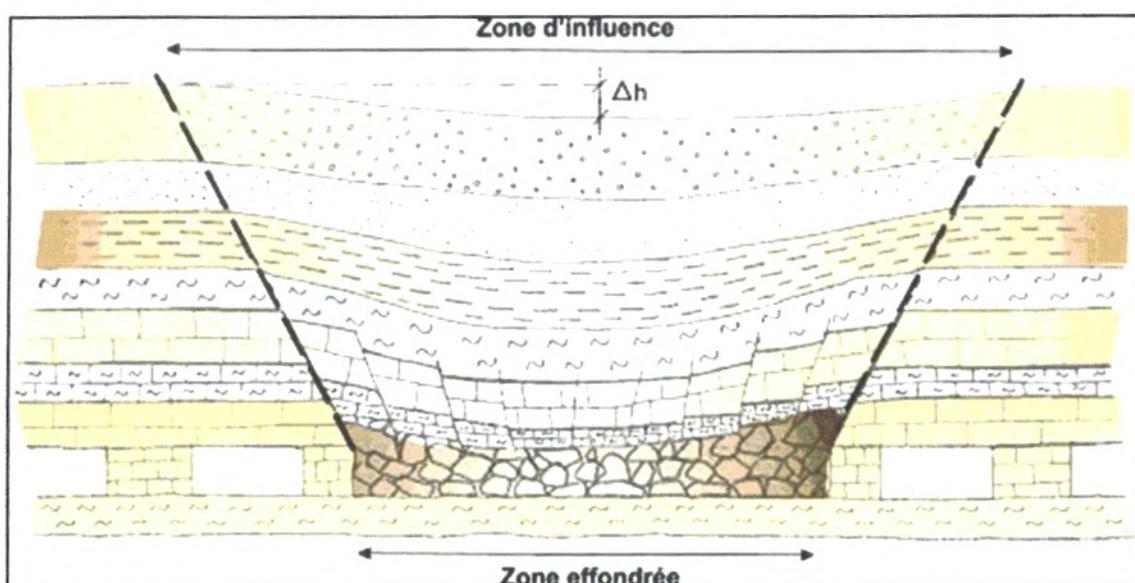


Figure 19 : Formation d'une cuvette d'affaissement au-dessus de travaux miniers.

## 2.2. Effondrement

### 2.2.1. Mécanismes et phénomènes

Au contraire, au phénomène d'affaissement, on parle d'effondrement (fig.20 et 21) lorsque l'abaissement de la surface se fait de manière discontinue dans le temps ; événement rapide et brutal et / ou dans l'espace ; formation de fractures, de figures d'arrachement, de cratères... (Nekache, 2012).

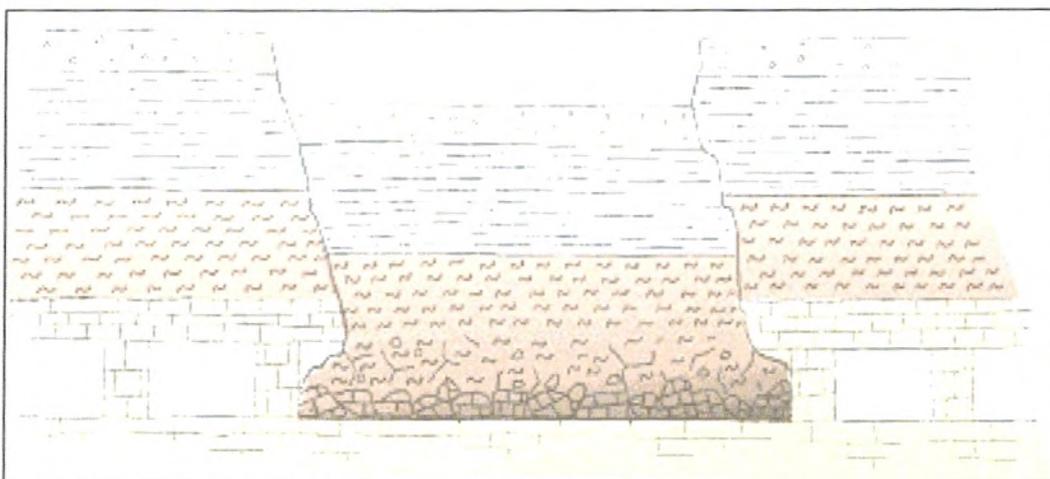


Figure 20 : un cas simplifié d'un effondrement brutal (Nekache, 2012)



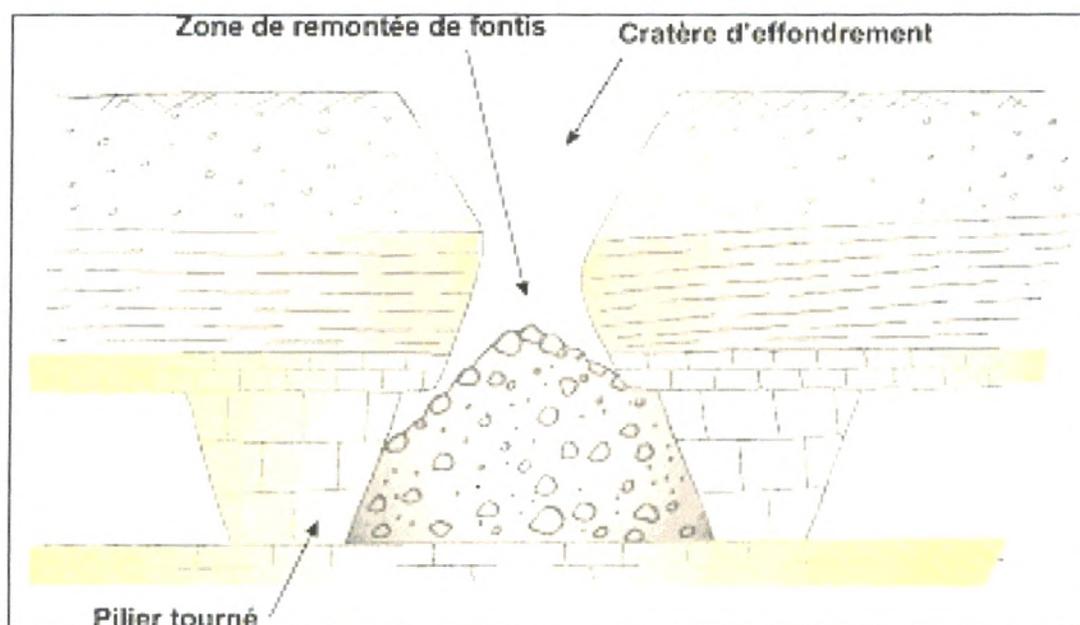
Figure 21 : Effondrement de la mine Bodovalle, Espagne.  
(RAMÍREZ OYANGUREN P, LAÍN R, 2003)

Les effondrements se caractérisent par un mouvement gravitaire à composante essentiellement verticale qui peut atteindre une amplitude sensiblement égale à la hauteur de la cavité sous-jacente ou de l'ouverture de la couche exploitée. Ce sont des phénomènes très spécifiques qui ne peuvent affecter que les mines souterraines exploitées par une technique permettant la persistance de vides souterrains.

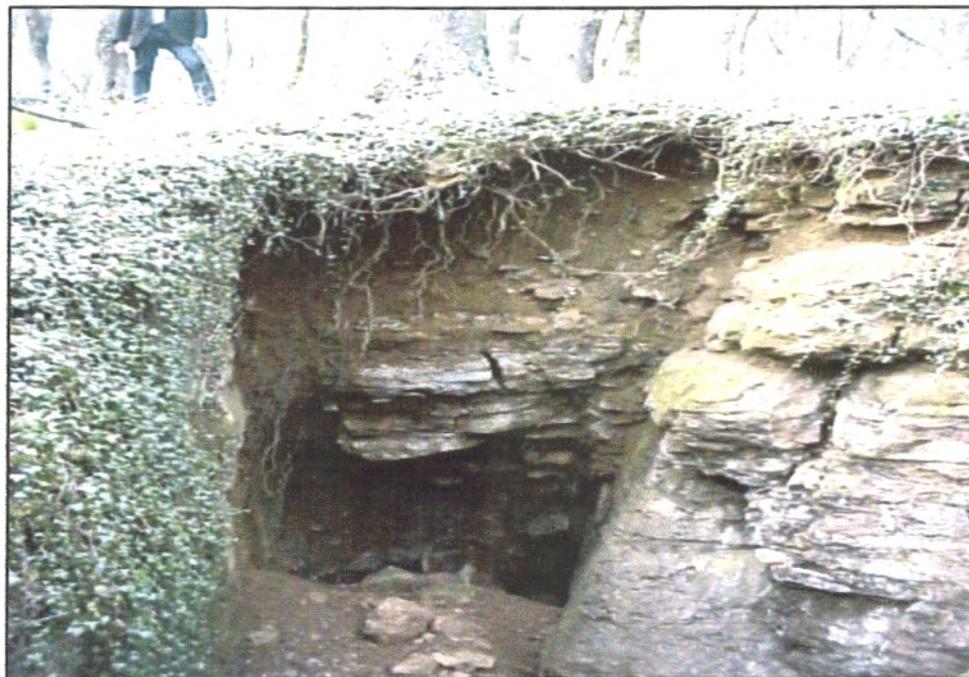
Il existe plusieurs types d'effondrement en fonction de l'ampleur du phénomène, du contexte géologique, hydrogéologique et d'exploitation. Parmi eux, il y a ce qu'on appelle fontis.

Le fontis est l'apparition soudaine en surface d'un entonnoir de quelques mètres de rayon et quelques mètres de profondeur. Le fontis fait suite à une dégradation progressive de la voûte d'une galerie qui remonte peu à peu dans le recouvrement.

Ces fontis se développent préférentiellement dans des zones où le toit présente de larges portées non soutenues (carrefours de galerie, piliers ruinés, chambres vides ou seulement partiellement remblayées). La présence d'un recouvrement peu épais constitué de matériaux peu cohérents et faiblement résistants (ex : sable, marnes ...) facilite la propagation de l'instabilité vers la surface et donc l'apparition du fontis (fig.22 et 23).



**Figure 22 :** Schéma d'un fontis par rupture du toit d'une carrière (Nekache, 2012).



**Figure 23 :** effondrement type fontis (photo internet)

### 2.3. Inondation souterraine

En juin de l'année 1990, la mine de Kherzet-Youcef a connu une inondation d'une grande ampleur, qui est due à un cout d'eau causé par une éruption instantanée d'un aquifère alimenté des eaux confinées, situé à l'ouest de la faille de Kherzet-Youssef caractérisée par la présence de quartz et par une forte fissuration due à une tectonique locale.

Cette inondation a entraîné le noyage total de la mine, la mort de 19 mineurs et l'arrêt définitif de l'exploitation.

Après quinze ans de fermeture de la mine, des fractures et de fissures (fig.24) ont été observées au-dessus des anciens travaux miniers (BOUKELLOUL.M.L, 2007).



**Figure 24** : quelques photos montrant une fissuration du sol et une fracturation d'un mur (BOUKELLOUL.M.L, 2007).

## II. Impact dus au traitement

Le risque environnemental provenant des rejets de la mine de Chaabet El-Hamra est intense à cause du fait de la présence des minéraux sulfureux. En plus du risque acide, la dissolution des minéraux sulfurés favorise la libération des éléments métalliques en solution, ce qui rend ces rejets hautement toxiques et constitue un risque permanent aux habitants.

### 3.1. Drainage minier acide (DMA)

Le DMA est une solution minérale acide qui s'écoule régulièrement en conséquence de certains types de mines ou de stockage de déchets miniers. Il contribue localement au phénomène global d'acidification des eaux douces constaté depuis plusieurs décennies à grande échelle.

Le phénomène en cause est parfois « spontané » sur les affleurements de minéraux sulfurés, naturellement sujets à une oxydation par contact avec l'air et l'eau : de manière lente, il y a production d'acide sulfurique et solubilisation des métaux présents du fer, mais aussi des métaux hautement toxiques tels que le plomb, l'arsenic ou le mercure, qui peuvent alors contaminer les eaux.

### **3.2. Effets du DMA**

Le DMA affecte toutes les principales composantes de la biosphère, le sol et plus particulièrement l'eau.

En milieu aquatique, le drainage acide est une source de pollution acide et métallique. Il est capable de libérer plusieurs tonnes de sels métalliques toxiques par jour dans le système hydrographique ayant un impact sur la faune et la flore des cours d'eau récepteurs.

En milieu terrestre, le DMA peut engendrer des effets néfastes aux sols avoisinants par l'érosion éolienne ou hydrique des résidus miniers non-confinés, et ce, en les rendant moins aptes au développement et au maintien de la végétation. Ce lixiviat affecte aussi la flore terrestre par la libération de métaux lourds.

## **III. MESURES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT**

### **1. Protection des travaux souterrains contre l'inondation**

Afin de prévenir l'éventuelle pénétration des eaux de la surface dans les travaux souterrains, les puits de la mine et les galeries à flanc de coteau ne doivent pas être creusés dans des endroits inondables.

L'orifice du puits ou de la descenderie doit être protégé contre la possibilité de pénétration des eaux de ruissellement et cela par des margelles qui s'élèvent de 0,5 à 1 m au-dessus du niveau du sol.

La nécessité d'effectuer des études sur les directions des écoulements des eaux et de creuser des rigoles à la base de la galerie, avec une pente de 1/1000 suffit largement pour drainer ces eaux.

## 2. L'exhaure

Lors des travaux d'exploitation minière les eaux souterraines sont souvent une cause d'entrave pour le fonçage des galeries. Lorsque les pressions des eaux souterraines et leurs débits sont importants on doit pratiquer un pompage intensif ou utiliser des méthodes spéciales pendant la réalisation des travaux souterrains.

Il est nécessaire de procéder en permanence aux opérations suivantes :

- Mesurer les variations des venues d'eau à différents niveaux d'avancement.
- Calculer des éventuelles venues dans les ouvrages miniers.
- Vérifier les quantités d'eau dans l'espace et dans le temps qui peuvent parvenir aux chantiers de la mine.
- Recycler l'eau décantée, contenant une partie des réactifs ce qui permet de réduire les besoins en eau d'exhaure pour la laverie.

## 3. Traitement du DMA

L'atténuation naturelle de l'acidité demande habituellement plusieurs dizaines à plusieurs centaines d'années avant de se produire (Brunet 2000).

En vue de minimiser les impacts du drainage acide sur l'environnement, il faut le recueillir, le traiter et le neutraliser.

### 2.1. Traitements actifs

Ce système de traitement consiste à récolter les eaux de lixiviation provenant des parcs à résidus miniers et à les canaliser vers un bassin où elles sont traitées chimiquement. De façon générale, les procédés comprennent l'ajout de chaux afin d'augmenter le pH, une aération afin d'oxyder les ions métalliques en solution et l'ajout de flocculant pour favoriser l'agglomération et la précipitation.

Malgré leur efficacité, les traitements actifs ne sont pas bien adaptés pour traiter les eaux de lixiviation puisqu'ils nécessitent habituellement une installation très coûteuse et un entretien continu afin d'assurer le bon fonctionnement du système d'opération. De ce fait, il n'est ni pratique, ni économique d'envisager un traitement chimique comme une mesure de contrôle à long terme.

## 2.2. Traitements passifs

Ils représentent des solutions qui nécessitent généralement peu d'investissement, un entretien minime et qui sont satisfaisantes à long terme au plan environnemental (Brunet, 2000).

Le principe des systèmes de traitement passif consiste à faire circuler les effluents miniers à travers des matériaux ou systèmes vivants qui génèrent suffisamment d'alcalinité pour neutraliser l'acidité et par conséquent diminuer la charge en métaux.

Les méthodes passives utilisent généralement des réactions catalysées par des bactéries anaérobies ou aérobies.

## 4. Les procédés de traitement des déchets de cyanure

A cause de leur grande toxicité, les cyanures doivent être éliminés avant que la solution stérile ne soit déversée dans l'environnement. La teneur en cyanure est habituellement abaissée par exposition de la solution à la lumière solaire dans de grands étangs, ce procédé est connu sous le nom de Dégradation Naturelle.

Pour parvenir à la destruction complète des cyanures, on procède à une oxydation chimique de ces déchets. Ce procédé est réalisé en deux étapes :

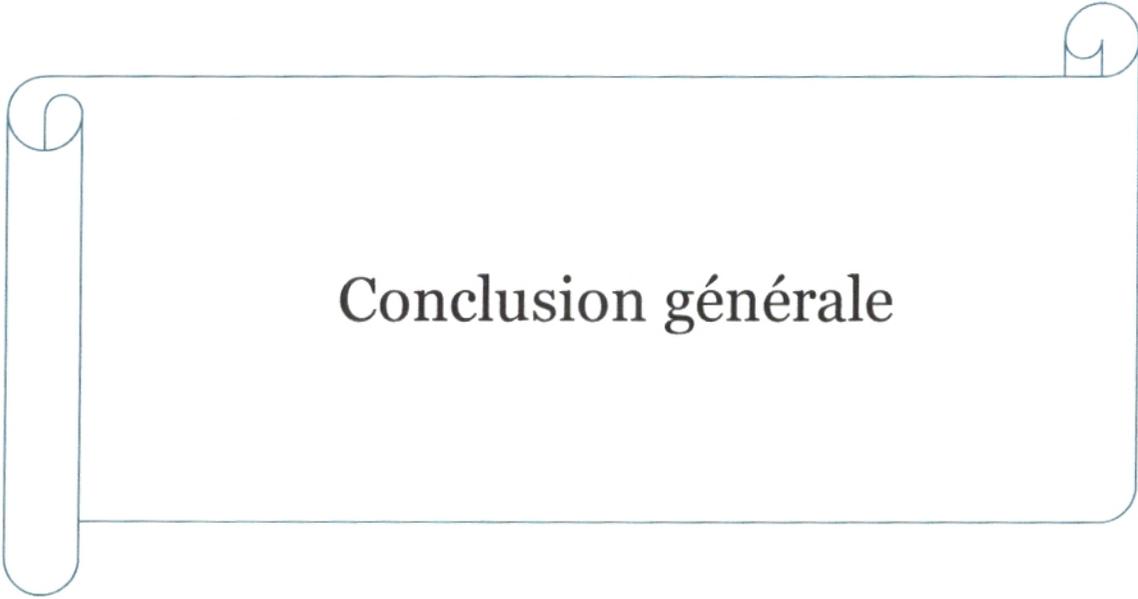
- **La première étape** consiste à oxyder un peu plus le cyanure en utilisant des agents oxydants tel que l'hypochlorite de sodium ( $\text{NaClO}$ ) en présence d'un alcalin (PH = 10 ou plus haut), afin d'éviter le dégagement du gaz dangereux HCN.
- **La seconde étape** a pour but d'oxyder un peu plus le cyanure qui est maintenant beaucoup moins toxique, et cela en ajoutant du dioxyde de carbone ou du nitrogène avec un peu plus d'hypochlorite de sodium.

#### **IV. CONCLUSION**

L'exploitation de la mine de Chaabet El-Hamra pose énormément de problèmes sécuritaires que environnementales. L'accident survenu en juin 1990, à la mine de Kherzet-Youcef, est témoin de la mauvaise gestion des risques liés à une exploitation souterraine.

A travers ce chapitre, nous avons dénombré les principaux impacts environnementaux qui menacent d'une façon directe ou indirecte, la région d'Ain Azel. Parmi eux, viennent en premier lieu, les rejets toxiques issus du traitement du Zinc. Aussi, les bassins de décantation constituent un facteur de risque potentiellement élevé vis-à-vis les eaux souterraines, où deux nappes phréatiques se trouvent tout près de la station du traitement.

En revanche, une étude d'impact doit être réalisée afin de déterminer, d'une part l'étendue et le tonnage des stériles, et d'autre part connaître les différents métaux lourds constituant les déchets, leur teneur, ainsi que la profondeur à laquelle ils se sont infiltrés. Ensuite, les déchets doivent être stockés dans des fûts hermétiques afin de permettre leur enfouissement au fond de la mine. Enfin, le sol contaminé doit être raclé jusqu'à la profondeur d'infiltration, puis mis dans des fûts et enfoui dans le sous-sol.



**Conclusion générale**

## CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

L'exploitation des mines souterraines se présente comme une activité ayant d'importantes répercussions sur l'environnement. En effet, les ponctions minières qui contribuent à l'épuisement des ressources naturelles, les modifications apportées au milieu géologique et à la nappe phréatique, l'altération de la qualité de l'air, le bruit, les poussières, l'altération des eaux superficielles et l'atteinte à l'intégrité du paysage sont autant de facteurs susceptibles de dégrader fortement l'environnement.

La mort de 19 miniers à la mine de Kherzet Youcef en juin de l'année 1990, à 5 km au Nord-Ouest de la mine de Chaabet El-Hamra, suite à une inondation et autres accidents au secteur minier, atteste que ce domaine est loin des normes de sécurités approuvées par l'état algérien.

En plus du côté sécuritaire, la mine de Chaabet El-Hamra verse ces rejets et déchets de grande toxicité directement dans la nature, sans prendre en charge le côté environnemental malgré les textes réglementaires qui fixent les modalités du traitement des rejets. Par exemple, la loi de Finances du 22 décembre 2001 a permis un début d'application du principe **Pollueur – Payeur** à travers son article 203 qui précise ce qui suit :

- Une taxe d'incitation au déstockage des déchets spéciaux de 10500 DA/tonne avec moratoire de trois (03) ans pour que les entreprises se dotent ou disposent d'équipements de traitement nécessaires.

En tenant compte des problèmes sécuritaires et environnementaux cités dans les chapitres deux, trois et quatre, nous recommandons à la mine de Chaabet El-Hamra quelques points, susceptibles de régler certains problèmes spécifiques et cela conformément aux normes d'hygiène et de sécurité fixées par la réglementation minière algérienne, qui sont :

**Sur le plan exploitation :**

La mine de Chaabet El-Hamra doit révisée la méthode utilisée à l'extraction du Zinc, en soutenant les galeries par :

- des boulons, appliqués principalement dans les exploitations par chambres et piliers. Les boulons doivent être placés le plus tôt possible après l'abattage et le chargement du minerai.
- Des cintres métalliques, sont généralement utilisés comme cintres de soutènement ou de renforcement, en raison de leur rigidité. Ils sont en effet, en mesure dans la plupart des cas, et s'ils sont correctement appuyés et bloqués, de ralentir et de limiter les déformations du terrain encaissant (risques d'affaissement et d'effondrement).
- la méthode proposée par OBERT et DUVALL (1967), est la plus appropriée pour le calcul du dimensionnement des piliers pour le cas de la mine de Chaabet El Hamra. Cette méthode est reconnue mondialement grâce à ses résultats appréciables pour des cas similaires. Elle tient compte de beaucoup de facteurs importants (géologiques, hydrogéologiques, géotechniques, etc.) D'autre part, elle s'applique pour l'extraction des minerais de Zinc, correspondant aux conditions minières du gisement de Chaabet El Hamra.

**Sur le plan environnemental :**

- L'imperméabilisation des digues de stériles, pour éviter les risques de pollution des écoulements souterrains.
- La surveillance et le contrôle des déchets miniers toxiques et éviter autant que possible le risques d'infiltration.
- La végétalisation du site minier pour minimiser la pollution de l'atmosphère.

- 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.
- Identifier les risques environnementaux et industriels susceptibles de subvenir et évaluer les conséquences possibles.
- Mettre en place les actions d'amélioration et les moyens de contrôle et de protection au cas où les risques résiduels restants se manifestent.
- La vérification périodique des paramètres technologiques des équipements de traitement.
- Le recyclage de l'eau décantée, contenant une partie des réactifs ce qui permet de réduire les besoins en eau d'exhaure pour la laverie.

## ***LISTE DES FIGUEURS***

<b>Fig 1</b> : Situation géographique de la mine de Chaabet el Hamra	2
<b>Fig 2</b> : Extrait de la carte géologique d'Ain Azel au 1/50000	3
<b>Fig 3</b> : Coupe géologique des deux corps de gisement du Chaabet el Hamra	7
<b>Fig 4</b> : La minéralisation du gisement, faisceau supérieur et inférieur	9
<b>Fig 5</b> : Coupe hydrogéologique profil 0- profil 30	10
<b>Fig 6</b> : Distribution des teneurs en Zn des corps minéralisées de Chaabet el Hamra	11
<b>Fig 7</b> : Lixiviation en tas, mine d'or Bighorn, Californie, Etats-Unis	16
<b>Fig 8</b> : Evacuation des résidus d'une mine au Pérou	16
<b>Fig 9</b> : Méthodes des chambres et piliers abandonnés	18
<b>Fig 10</b> : Méthode d'exploitation par traçage et dépilage	19
<b>Fig 11</b> : Exploitation par chambre et piliers à deux niveaux	20
<b>Fig 12</b> : Drainage acide de mine	23
<b>Fig 13</b> : Section de la préparation mécanique	27
<b>Fig 14</b> : Section de la flottation de tout venant	28
<b>Fig 15</b> : Schéma de la répartition du minerai pour essais et analyse	29
<b>Fig 16</b> : Histogramme Teneur du Pb dans les tranches granulométrique	33
<b>Fig 17</b> : Histogramme Teneur du Zn dans les tranches granulométrique	33
<b>Fig 18</b> : Schéma de flottation de la blende	36
<b>Fig 19</b> : Formation d'une cuvette d'affaissement au dessus de travaux minière	41
<b>Fig 20</b> : Un cas simplifier d'un effondrement brutal	42
<b>Fig 21</b> : Effondrement de la mine Bodovalle, Espagne	42
<b>Fig 22</b> : Schéma d'un fontis par rupture du toit d'une carrière	43
<b>Fig 23</b> : Effondrement type fontis	44
<b>Fig 24</b> : Quelques photos montrant une fissuration du sol et une fracturation d'un mur	45

## ***LISTE DES TABLEAUX***

<b>Tableau 1</b> : Les activités minières et les impacts sur l'environnement	22
<b>Tableau 2</b> : Résultats de l'analyse granulométrique	32

### ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

- 1) **AIT YAHIA TENE**, Ecole Nationale Polytechnique, Le prix de revient, cours d'économie
- 2) **BENNANI M., JOSIEN J.P., BIGARRE P. (2004)**, Surveillance des risques d'effondrement dans l'après-mine, besoins, méthode : apport de la micro sismique. Revue Française de Géotechnique, N° 106-107, pp. 5-14.
- 3) **BOKY. 1968**, "exploitation des mines ", Edition Mir.
- 4) **BOUKELLOUL M. ET BOUNOUALA M, (2005)**, Impact de l'exploitation souterraine par piliers abandonnés sur l'environnement: Cas de la mine de Chaabet El Hamra- Ain Azel Algérie, Séminaire National sur l'industrie minière, Université de Annaba.
- 5) **BOUKELLOUL M. (2007)**, Étude comparative de l'analyse de la stabilité des mines souterraines par méthodes analytiques et numériques application a la mine de Chaabet El Hamra (Algérie). Thèse de doctorat d'état Université Annaba.
- 6) **Bureau d'étude Février 2009**, Générale des mines.
- 7) **ENOF (2003)**, Projet de développement de la partie inférieure du gisement de Chaabet El- Hamra situé sous le niveau hydrodynamique (Profil 10 – Profil 15).
- 8) **ENOF (Octobre 2004)**, Projet d'exploitation des réserves de la zone inférieure Profil 10 – Profil 15
- 9) **ENOF (2006)**, Eau du gisement de Chaabet El-Hamra. Dossier Hydrogéologique.
- 10) **ENOF (Mai 2006)**, Projet d'exploitation de la partie inférieure du gisement de Chaabet El-Hamra Profil 10 – Profil 15

## BIBLIOGRAPHIQUE

---

- 11) **GUIRAUD R. (1990)**, Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Mémoire de l'Office Nationale de la Géologie. N°3. 271 p.
- 12) **KH.Gouisseem., 2001**, Augmentation du taux de récupération du zinc du minerai sulfure du gisement de chaabet EL-Hamra. Mém DE FIN D'ETUDES DE L'ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE.
- 13) **NEKACHE Radouane, 2012-** Étude de la stabilité des mines souterraines par les méthodes numériques, Cas de la mine de Chaabet El Hamra – Algérie. Mém de mag d'université Badji Mokhtar- Annaba.
- 14) **R. Noreddine I. Karim., juin 2008-** Contribution à l'étude des problèmes environnementaux et de sécurité sur l'exemple de la mine souterraine de Chaabet El-Hamra (Ain Azel, Wilaya de Sétif. Mém de fin d'études d'université Ferhat abbas-setif.

### - Sites Web:

- {1}: [http://www.juris.freesurf.fr/droit\\_fiscal/amortissements.html](http://www.juris.freesurf.fr/droit_fiscal/amortissements.html)
- {2}: <http://www.dechetcom.com/infos/cours.html>
- {3}: [http://www.Vernimmen.net/html/glossaire/definition\\_actualisation.html](http://www.Vernimmen.net/html/glossaire/definition_actualisation.html)
- {4}: [http://www.fr.wikipedia.org/wiki/valeure\\_actuelle\\_nette.html](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/valeure_actuelle_nette.html)
- {5}: [http://www.fr.wikipedia.org/wiki/delai\\_de\\_recuperation.html](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/delai_de_recuperation.html)
- {6}: [http://www.fr.wikipedia.org/wiki/taux\\_de\\_rentabilit.html](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/taux_de_rentabilit.html)
- {7}: [http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Indice\\_de\\_profitabilit.html](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Indice_de_profitabilit.html)
- {8}: <http://www.becompta.be/modules/dictionnaire/26-comptable-chiffre-d-affaire.html>