



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU



FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE  
DOMAINE DES SCIENCES GEOLOGIQUES.

Mémoire

présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

En sciences de la Terre et de l'Univers.

Option: Ressources Minérales et Environnement.

Thème

# ETUDE DU DRAINAGE MINIER DE LA DIGUE D'EL ABED (TLEMCEM).

Encadré par :

Mme IZRI. D.

Réalisé par :

M<sup>elle</sup> YOUSFI Ghalia.

M<sup>elle</sup> OUMAIOUF Fariza.

Soutenu publiquement le 24/12/2017 devant le jury composé de :

-M <sup>F</sup> ZEGHOUANE H.	Maitre de conférences B	à l'UMMTO	Président
-M <sup>elle</sup> YAHYAOUI S.	Maitre-assistante B	à l'UMMTO	Examinatrice
-M <sup>me</sup> IZRI D.	Maitre-assistante A	à l'UMMTO	Promotrice

Promotion : 2016/2017

## Remerciements

Tout d'abord nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir aidé et donné le courage et la volonté pour mener à bien ce modeste travail.

Nos premiers et profonds remerciements et respects s'adressent à notre promotrice **M<sup>me</sup>. IZRI.D** qui a accepté de nous diriger tout au long de la réalisation de ce mémoire et qui nous a fortement encouragés et conseillés.

Nos remerciements vont aussi à **M. ZEGHOUAN.H** pour nous avoir fait le grand honneur de présider le jury de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont également à **M<sup>lle</sup>. YAHYAOUI . S** pour avoir bien voulu accepter d'examiner notre travail du faire partie du jury, et de nous avoir permis de profiter de sa connaissance profonde en géologie.

Nous remercions également **M<sup>me</sup>. ABDERRAHMANE** de nous avoir assisté et guidé lors de nos nombreuses séances de travaux au laboratoire de sédimentologie et pour effectuer les courbes cumulatives de nos analyses granulométriques.

Nous voulons particulièrement exprimer notre profonde reconnaissance à **M. SAMIL.L** et **M.HAMIS.A** et tous les enseignants qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à notre formation, et toute notre formation en Géologie minier (2016/2017).

On remercie également toute l'équipe pédagogique de département Géologique des sciences de l'UMMTO. Sans oublier de remercier l'aide précieuse de nos chères camarades.



## *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire à mes très chers parents pour leur soutien et leur encouragement durant tout mon cycle d'étude.*

*A mon mari et sa famille.*

*Mes frères*

*Ma sœur.*

*A tous les membres de ma grande famille oncles, tantes, cousins et cousines.*

*Mes amies et mes copains*

*Ainsi que toute personne ayant participé d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.*

*Fariza*



## Résumé

L'objectif de cette étude est de caractériser les rejets miniers de traitement abandonnés à la digue d'El Abed situé à la frontière Algéro-Marocain et déterminer leurs impacts environnementaux tenant compte du climat semi-aride et du contexte géologique dans la région. Les résultats ont révélé que les versants à rejets miniers à la digue sont constituées de particules de taille fine, de stabilité géotechnique faible, très mobiles et présentent des teneurs élevées en éléments traces métalliques toxiques (ETM).

Ces rejets à pH alcalin ( $7,69 < \text{pH} < 7,91$ ) subissent l'effet d'une intense érosion hydrique et en particulier éolienne et créent de multiples impacts environnementaux. En effet, en plus de l'impact paysager négatif qu'ils génèrent, les ETM contenus dans ces rejets sont transportés, disséminés contaminent les ressources en eaux de surface et les sols aux alentours. Toutefois, on note que le risque de contamination lié à l'altération chimique à partir des rejets miniers étudiés est réduit suite d'une part au manque d'humidité en climat semi aride. Les phénomènes du drainage minier neutre (DMN), Il s'agit du drainage neutre contaminé pour les rejets de la mine d'El Abed. L'érosion mécanique éolienne est le vecteur principal de la dispersion, à partir des rejets miniers étudiés, de particules en suspension contaminants.

**Mots clés** : El Abed, drainage, digue, rejets, impacts, éléments trace métallique.

Introduction générale ..... 1

## CHAPITRE I : Généralités

I.1. But et méthodologie du travail..... 2  
    I.1.1. But du travail ..... 2  
    I.1.2. Méthodologie du travail..... 2  
I.2. Situation géographique..... 3  
I.3 Climat et végétation ..... 4  
    I.3.1 Climat ..... 4  
    I.3.2 Végétations..... 4  
I.4.Hydrographie..... 4  
I.5.Hydrogéologie..... 5  
I.6.Présentation de la mine d’El Abed ..... 6  
I-7 : Historique des travaux..... 8

## CHAPITRE II : Géologie régionale

II. 1. Introduction ..... 11  
II.2. Cadre géologique ..... 11  
II.3.Stratigraphie ..... 12  
II. 3.1. Le Paléozoïque ..... 12  
    II.3.1.1. Le Paléozoïque indéterminé ..... 13  
    II.3.1.2. Le Gothlandien ..... 13  
    II.3.1.3. Le Dévonien ..... 13  
    II.3.1.4. Le carbonifère ..... 13  
        A) Viséen inférieur et moyen (les horsts de Ghar Rouban ) ..... 13  
        B) Viséen supérieur (des horsts de Touissit) ..... 13  
        C) Le Viséen Supérieur et le Namurien (horst de Mendjel Ekhal) 14  
II.3.1.5 Les Roches Eruptives ..... 14  
    II.3.2. Le Mésozoïque..... 14  
    II.3.2.1. Le Trias..... 14  
    II.3.2.1. Le Permo-Trias des Horsts ..... 15

II.3.2.2. Le Trias gypseux des lagunes .....	15
II.3.2.2. Le Jurassique .....	15
II.3.2.2.1. Le Lias .....	15
a) Le lias inférieur.....	15
b) Le Lias moyen (Carixien–Domerien) .....	15
c) Le Lias supérieur (Le Toarcien) .....	15
II.3.2.2.2. Le Dogger .....	16
a) L’Aaléno-Bajocien inférieur-moyen .....	16
b) Le Bajocien supérieur .....	16
c) Le Bathonien .....	16
II.3.2.2.3. Le Malm .....	16
a) Le Callovo-Oxfordien.....	16
b) Le Lusitanien .....	16
c) Le Kimméridgien–Portlandien .....	16
II.4. Paléogéographie.....	20
II.4.1. Un Paléozoïque .....	18
II.4.2. Un Mésozoïque .....	18
II.5.Tectonique.....	18
II.6. Géologie .....	19
II.6.1. Les gisements encaissés dans le socle.....	20
II.6.2. Les gisements associés aux dolomies liasiques.....	20
Conclusion.....	21

## CHAPITRE III : Géologie locale

III .1. Introduction .....	22
III.2. Lithostratigraphie .....	23
III.2.1. Le Paléozoïque .....	23
III.2.2. Le Mésozoïque .....	23
III.2.2.1.Le Trias .....	23
III.2.2.2. Le Jurassique inférieur et moyen .....	24
III.2.2.2.1. Unité I .....	24
III.2.2.2.2. Unité II .....	24

III.2.2.2.3. Unité III .....	25
III.2.2.2.4. Le Bathonien .....	26
III.2.2.2.5. Le Callovien .....	26
III.2.2.3. Le Jurassique supérieur .....	26
III.3. Evolution paléogéographique.....	26
III.4. Tectonique générale d'El Abed.....	27
III.4.1. Le socle paléozoïque et l'orogénèse hercynienne.....	27
III.4.2. La couverture mésozoïque .....	27
III.4.3. Tectonique du gisement .....	28
III.5. Etude de l'encaissants.....	28
III.5. Conclusion.....	29

## CHAPITRE IV : Minéralisations

IV.1. Introduction .....	30
IV.2. L'encaissant .....	30
IV.1.1. Dolomicrite.....	30
IV.1.2. Dolomie microcristalline.....	31
IV-1-3 : Dolomite spathique .....	32
IV-4-4 : Dolomite zébrée .....	32
IV-1-5 : Dolomite baroque .....	32
IV-1-6 : Dolomite veinulée .....	33
IV-3 : La minéralisation.....	33
IV-3-1 : La minéralisation en stratabound (stratiforme).....	33
IV-3-1-1 : Minéraux métalliques .....	33
La sphalérite (ZnS) .....	34
La galène (PbS) .....	34
La pyrite(FeS <sub>2</sub> ) et marcassite (FeS).....	35
La chalcopryrite (CuFeS <sub>2</sub> ) .....	35
Le cuivre gris.....	35
La marcassite .....	36
IV.2. Texture du minerai.....	36
IV.2.1. Texture veinulée .....	36

IV.2.2. Texture disséminée.....	36
IV.2.3. Texture massive .....	36
IV.2.4. Texture bréchique .....	36
IV.2.5. Texture géodique .....	37
IV.2.6. Texture zonée.....	37
IV.2.7. Texture pulvérulente .....	37
IV.2.8. Texture rubanée .....	37
IV.2.9. Texture mouchetée .....	37
IV.2.10. Texture collomorphe .....	37
IV.3.1.2 Minéraux de gangue .....	38
La dolomite (CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ).....	38
La Silice (SiO <sub>2</sub> ) .....	38
La Calcite (CaCO <sub>3</sub> ) .....	38
IV.3.2. La minéralisation karstique.....	38
Conclusion.....	39

## CHAPITRE V : Drainage minier et ses impactes

-Introduction.....	40
V.I. Rappel sur la technique d'exploitation du gisement d'El Abed .....	40
V.I.1.Travaux préparatoires.....	41
V.I.2.Travaux d'abattages .....	41
V.I.3.Les techniques de soutènement .....	41
V.I.4.Traitement mécanique et chimique du minerai .....	42
V.II. Etat actuel du site .....	44
V.II.1. Les sites .....	45
V.II.2. La laverie .....	46
V.II.3. La digue .....	48
III. Drainage Minier.....	49

III.1.Definition	
III.2.Techniques d'approche .....	50
Introduction	
Echantillonnage	
III.2.1 Analyse effectués1 .....	50
III.2.1. 1-Granulométrie.....	50
III.2.1.2-Ph.....	53
III.2.1.3-Conductivité électrique .....	54
III.2.1.4. minéralogie .....	57
III.2.3.Conclusion des analyses .....	59
V.III.3.Impacte de la minéralisation sur l'environnement.....	60
-Introduction .....	60
III.3.1. Impact sur les ressources en eaux.....	61
III.3.1.1.Les eaux souterraines .....	61
III.3.1.2Les eaux de surface .....	61
III.3.2.Impact sur le sol .....	62
III.3.3.Impact sur l'air.....	62
III.3.4.Impact sur la faune et la flore .....	63
Conclusion générale .....	64

## Liste des abréviations

<b>Symboles</b>	<b>Désignations</b>
ANGCM	L'Agence Nationale de Géologie et du Contrôle Minier
ORGM	Office de recherche de Géologique et Minière
ENOF	Entreprise Nationale des non ferreux
ANAM	L'Agence Nationale des Activités Minières
Cu	Cuivre
Ba	Barytine
Ch	Chalcopyrite(CuFeS <sub>2</sub> )
Fe	Fer
pyr	Pyrite(FeS <sub>2</sub> )
DMNC	Drainage minier neutre contaminé
ETM	Eléments trace métalliques
Mt	Millions de tonnes
MVT	Missipi-Valley-Type
Pb	Plomb(Pb)
Gal	Galène(PbS)
Qtz	Quartz
T°C	Température
Sp	Sphalérite(ZnS)
Zn	Zinc(Zn)
EMEA	Ecole des mines El Abed
TBE	Touissit-Boubeker-El Abed

## CHAPITRE I

<b>Fig 1 :</b> Localisation géographique de la région d'El Abed (Naftal).....	3
<b>Fig 2 :</b> Réseau hydrographique du bassin de la Tafna (Boudiaf.M) .....	5
<b>Fig 3 :</b> Zones aquifères de la Tafna (Collignon 1984).. .....	6
<b>Fig 4 :</b> Images satellitaire du complexe minier d'El Abed (Google Earth 2009). .....	6
<b>Fig 5 :</b> Carte montrant le plan d'exploitation de la mine d'El Abed (Doc. ORGM).....	7

## CHAPITRE II

<b>Fig 6:</b> Schéma structural de la chaîne tello-rifaine (WILDI, 1981) .....	11
<b>Fig 7 :</b> Schéma lithologique de la chaîne Tellienne (BOUTALEB 2010) .....	12
<b>Fig 8:</b> Extrait de la carte géologique des monts de GharRoubane (G. Lucas, 1942) .....	14
<b>Fig 9 :</b> log synthétique du horst de GharRoubane (G. Lucas, 1942).....	17
<b>Fig 10 :</b> Carte structurale schématique des Monts de Ghar-Roubane et des régions Voisines (S. Elmi, 1988).....	19

## CHAPITRE III

<b>Fig 11 :</b> Carte géologique de secteur minier d'El Abed ZAGOSKINE (1972) .....	22
<b>Fig 12 :</b> Photo montrant les argiles rouges Supra-socle.....	23
<b>Fig 13 :</b> Photo montrant la dolomie grise de l'unité I. (Labchri.2011) .....	24
<b>Fig 14 :</b> Photo montrant la dolomie grise de l'unité II, (Labchri. 2011).....	25
<b>Fig 15 :</b> Photo montrant une cavité karstique de petite dimension, (Chaa.H. 2010).....	26
<b>Fig 16:</b> Position des corps minéralisés par rapport aux accidents tectoniques de Touissit-Boubeker et El Abed d'après (Makhoukhi et Al, 1993).....	28

## CHAPITRE IV

<b>Fig 17 :</b> Vue microscopique d'une Dolomicrite à fantômes d'oolithes S.P.N Gr x 10 .....	31
<b>Fig 18 :</b> Photo montrant la dolomite saccharoïde (L.M, L.P.N.A Gr x 5), (Chaa.H.2010) .....	31
<b>Fig 19 :</b> Photo montrant la dolomie spathique a débris de matière organique (Labchri.D) .....	32
<b>Fig 20 :</b> Photo montrant la dolomite baroque (Boudiaf.M) .....	32
<b>Fig 21 :</b> Photo montrant la dolomite (VI) veinulée (Boudiaf.M) .....	33
<b>Fig22 :</b> Sphalérite dissémine dans la dolomie grés (Boudiaf.M) .....	33
<b>Fig 23 :</b> Sphalérite post-dolomie (Boudiaf.M) .....	34
<b>Fig 24 :</b> Sphalérite ante-dolomie (Boudiaf.M) .....	34
<b>Fig 25 :</b> Galène en dissémination. (Boudiaf.M) .....	34
<b>Fig 26 :</b> Pyrite et marcassite oxydée entourant la dolomie (Boudiaf.M) .....	35
<b>Fig 27 :</b> Photo montrant la chalcopryrite et la galène associées à la dolomite (S.P L.N x 10).....	35
<b>Fig 28 :</b> Photo montrant l'association cuivre gris, galène et sphalérite (S.P L.N Gr x 5), (Labchri.D.2011) .....	36
<b>Fig 29 :</b> Photo montrant un échantillon de remplissage (Labchri.D.2011) .....	38

## CHAPITRE IV

<b>Fig 30 :</b> Photo d'une chambre et d'un pilier abandonné .....	41
<b>Fig 31 :</b> schéma d'abattage Chambres et piliers abandonnés .....	41
<b>Fig 32:</b> photos montrant les types de soutènements(Boudiaf.M) .....	42
<b>Fig 33 :</b> Photo montrant un concasseur à cône et un broyeur à boulets.....	43
<b>Fig 34:</b> Photo montrant les cellules de flottation du minerai. ....	43
<b>Fig 35 :</b> Schéma montrant les étapes d'exploitations et de traitement du minerai.(LABCHRI D) .....	44

## Liste des figures

---

<b>Fig 36 :</b> Photographie des puits (III) (IV) et (V) (Boudiaf.M).....	45
<b>Fig 37:</b> Photo montrant le stock de minerais laissé par la société chinoise(Boudiaf.M) .....	46
<b>Fig 38</b> -Localisation et état actuel da la lavrie (Boudiaf.M) .....	47
<b>Fig 39 :</b> photo montre la localisation et état actuel da la digue d’El Abed. (BOUDIAF M) .....	48
<b>Fig41-</b> courbes cumulatives des différents échantillons de la digue (Sable humide et sec) (M <sup>me</sup> .ABDERAHMANE) .....	51
<b>Fig 43 :</b> sables gossiers (500Um) (YOUSFI G) .....	52
<b>Fig 44 :</b> sables fins (45Um) (YOUSFI G) .....	52
<b>Fig 45 :</b> photo de PH mètren (YOUSFI G) .....	53
<b>Fig 46 :</b> une photo des échantillons préparés pour mesurer le PH et la conductivité électrique .....	53
<b>Fig 47:</b> Tableau 1 du résultat des analyses de Ph.....	54
<b>Fig 48 :</b> Echelle de salure en fonction de la conductivité de l’extrait aqueux aux 1/5 relations de Richards in Aubert.....	54
<b>Fig49:</b> Tableau de résultats des analyses de la conductivité électrique.....	55
<b>Fig.50 :</b> Graphique de la conductivité en fonction du Ph(YOUSFI G).....	56
<b>Fig 51 :</b> Tableau 3 de Résultats des analyses chimiques des échantillons de la digue.....	56
<b>Fig 52 :</b> Tableau 4 : montrant les phases minérales des rejets miniers déterminées par DRX.....	57
<b>Fig53:</b> Photos montrant les éléments de la digue sous une loupe binoculaire (YOUSFI G et OUMAIOUF F) .....	58
<b>Fig 55:</b> Photo montrant le sel de métaux déplacé par les eaux de ruissellement (BOUDIAF M) .....	62
<b>Fig 56 :</b> Photo montrant une décoloration des sols contaminés au pied de la digue (BOUDIAF M) .....	62
<b>Fig 57 :</b> Photo montrant le déplacement des éléments de la digue par l’effet du vent (BOUDIAF M) ..	63
<b>Fig 59 :</b> Photo montrant les champs de céréales au pied de la Digue (BOUDIAF M) .....	63

# **Introduction générale**

Le développement de projets miniers ainsi que la gestion des rejets de mines en exploitation nécessite une caractérisation environnementale détaillée des différents rejets et minerais rencontrés dans un site minier, Cette caractérisation est d'autant plus pertinente tôt durant le processus d'exploration et de mise en valeur d'un projet minier.

En Algérie aucun dispositif n'a été mis en place pour gérer l'abandon des anciens sites miniers, ces derniers sont caractérisés par la persistance d'immenses tonnages de résidus miniers dont la nocivité est à l'origine de nombreux cas, d'importants impacts environnementaux. L'objectif de ce travail de recherche est d'étudier des rejets abandonnés à la digue d'El Abed.

L'étude consiste d'abord à une caractérisation des propriétés physiques, chimiques, et minéralogiques des rejets.

En plus de l'impact négatif des rejets miniers de traitement sur l'esthétique du milieu naturel, ces résidus présentent généralement une capacité polluante chimique élevée. Issus des opérations de traitement du minerai, Ces résidus sont souvent très riches en minerais métalliques résiduels.

## **Problématique**

Les activités minières se caractérisent par l'excavation de large volume de stériles miniers et par la production des résidus miniers lors des différents procédés minéralogiques.

Ces rejets ou résidus sont entreposés à proximité de la mine et peuvent couvrir des superficies de plusieurs hectares

Afin d'étudier la capacité polluante des rejets miniers ; on a choisi comme cas typique les restes miniers de la mine d'El Abed, et pour ce la un certain nombre de paramètres furent analysés à savoir : La granulométrie ; les paramètres physico-chimiques (pH, Conductivité électrique), la minéralogie des rejets miniers.

# **Chapitre I :**

# **Généralités**

## **I - BUT ET METHODOLOGIE DU TRAVAIL**

### **I-1 : But du travail**

Dans la présente étude on s'intéresse à la caractérisation des stériles et des rejets miniers représentés par la digue d'El Abed. Ces produits représentent des déchets issus du processus du traitement du minerai extrait de la mine d'El Abed.

: Le gisement d'El Abed de type MVT représenté par une minéralisation de type stratiforme et une minéralisation karstique liée exclusivement aux dolomies aléno bajociennes.

L'objectif de ce mémoire est de réaliser

- Une étude des rejets miniers qui sont provoqués par l'extraction et le traitement de minerai.
- De déterminer le pH et la granulométrie des rejets miniers de la digue d'El Abed.
- Un état des lieux et l'évaluation des impacts environnementaux des activités d'exploitation du complexe minier d'El Abed.

Le but est la caractérisation de DMM en vue d'apporter des solutions aux problèmes qui touchent l'environnement immédiat de la mine.

### **I-1-1 : Méthodologie de travail**

Ce travail a nécessité l'utilisation de méthodes classiques en commençant par une synthèse bibliographique sur les travaux antérieurs dans la région, concernant la géologie et la géologie. En suite on a effectué un prélèvement des échantillons sur le terrain dans notre zone d'étude, suivi d'une étude de laboratoire.

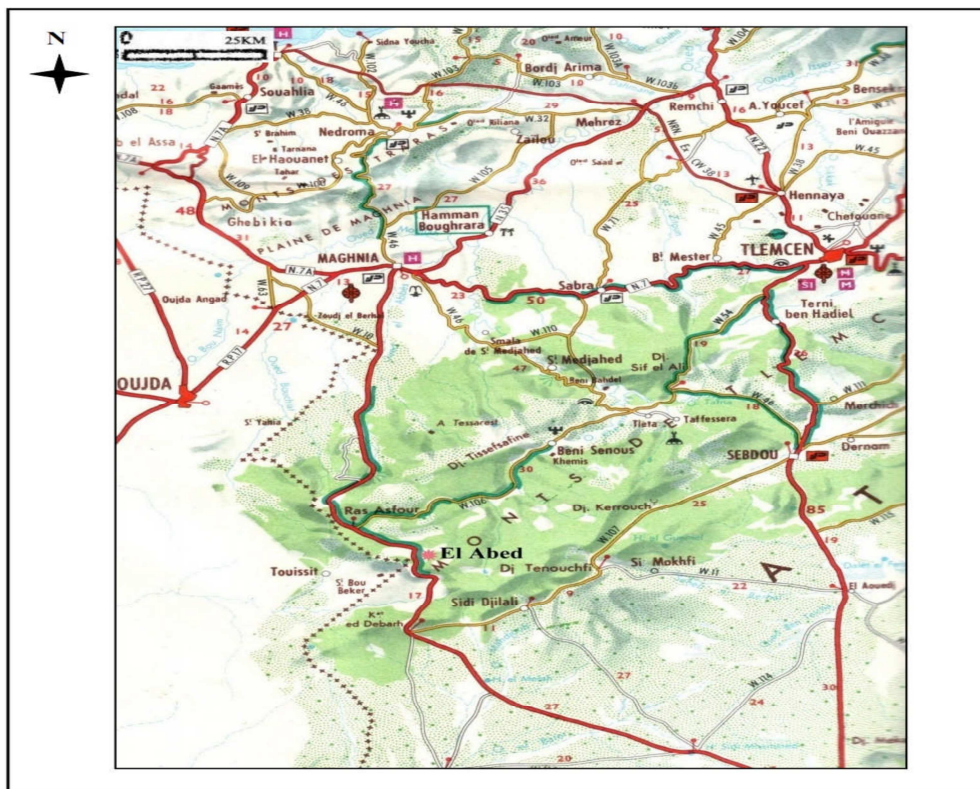
L'étude au laboratoire a été consacrée à la confection la description des différentes phases de l'extraction de minerai Complétée par des analyses physico-chimique des échantillons de sable pour déterminer leur pH et leur granulométrie ainsi les risques des impacts.

## I-2: Situation géographique

Le gisement d'El-Abed est situé au Nord-Ouest de l'Algérie, à la frontière Algéro-Marocaine, à 96Km au Sud-ouest du Chef Lieu de la Wilaya de Tlemcen et à 6Km de la Commune de Bouihi qui est rattachée à la Daïra de Sidi Djilalli (Fig.01).

La région d'El Abed se situe à la frontière Algéro-marocaine dans les Hauts Plateaux, à environ 670 Km de la capitale Alger. Ces monts forment une région comprise entre la plaine de Maghnia au Nord, la haute vallée de Tafna à l'Est, la dépression de Touissit- Boubeker à l'Ouest et les hauts plateaux au Sud.

Le gisement d'El Abed se situe à environ 70 km au SW de la ville de Tlemcen, il se prolonge au Maroc par le gisement de Boubeker et de Touissit.



**Fig 1** : Localisation géographique de la région d'El Abed ( Naftal)

### **I- 3 : Climat et végétation**

#### **I-3-1 : Climat**

La région d'El Abed est caractérisée par un climat continental caractérisé par un hiver prolongé froid et un été chaud et sec, le régime de précipitation est faible. La température moyenne annuelle minimale atteint (5°C) en hiver et la température moyenne annuelle maximale atteint (45°C) en été. La moyenne pluviométrique annuelle dans la région atteint 300mm, elle est très inégalement répartie au cours de l'année.

Cette région est balayée par des vents très violents qui renforcent la sécheresse dans la région, des vents froids soufflant pendant l'hiver et des vents chauds d'été. En été, les vents provoquent des nuages de poussière qui peuvent durer plusieurs jours.

#### **I-3-2 : Végétation**

La végétation d'El Abed est très peu développée, on rencontre généralement des chênes verts, des pins et des palmiers nains, et énormément de broussailles comme on peut retrouver dans la région de vaste étendue de champs et de prairies, hormis ceux réservés à l'agriculture, d'autres sont utilisés pour la plus part pour l'activité agro-pastorale par la population locale.

L'activité agricole pratiquée dans la région se résume en générale à la céréaliculture et à l'arboriculture (oliveraie, pruniers et pommiers).

### **I-4 ; Hydrographie**

Le réseau hydrographique est lié en grande partie à l'évolution structurale de la région au cours des temps géologiques. Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du Jurassique et se modifie avec l'évolution de la tectonique.(Figure 2).



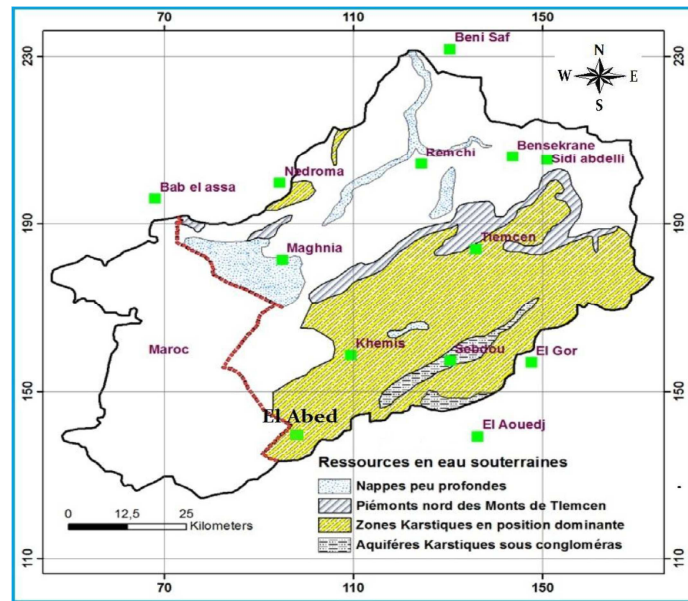


Fig 3 : Zones aquifères de la Tafna (Collignon 1984).

### I-6 : Présentation de la mine d'El Abed

Le gisement d'El Abed est situé à l'extrémité Nord-Ouest du territoire algérien sur la frontière Algéro-marocain, il a une extension très importante de couche minéralisée dont se prolonge jusqu'au Maroc (Touissit- Boubker) avec un relief montagneux à des altitudes atteint 1260 m à 1550 m.



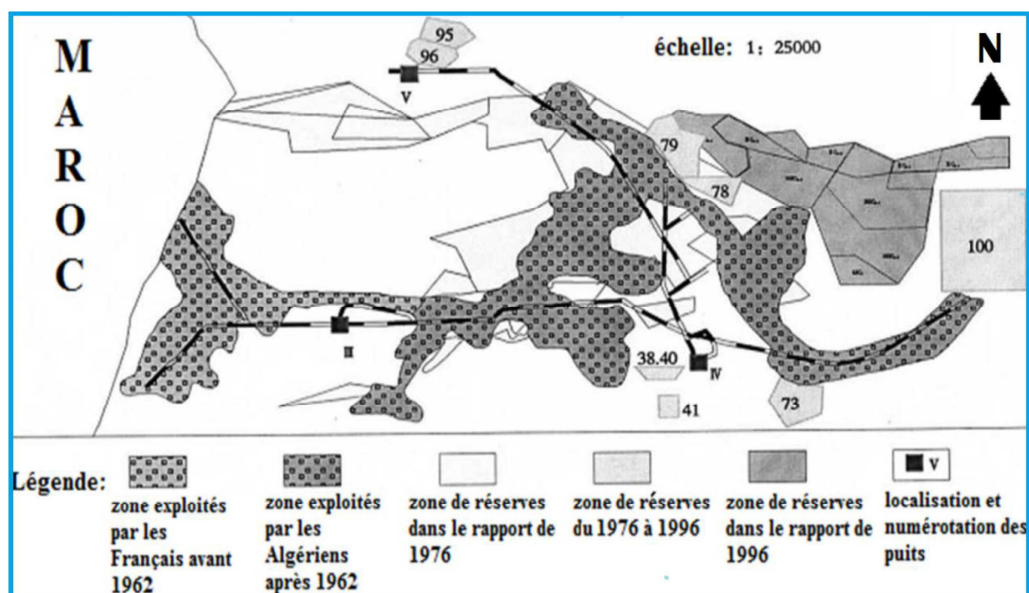
Fig 4 : Images satellitaire du complexe minier d'El Abed (Google Earth 2009).

Ce gisement a été exploité au Maroc d'abord entre 1952-1990 ou la minéralisation affleure, la charge de leur exploitation a été réalisée par la compagnie Zellidja et par le bureau de recherche en géologie minière (BRGM) avant 1966. Elle a été intégrée dans le patrimoine de l'ENOF en Juillet 1983. Les teneurs en Pb et en Zn ont variées durant toute la période d'exploitation, et ont permis la récupération de tonnages assez importants, de 1952 à 2001, la mine a procédé à une exploitation du gisement ayant permis d'extraire 5.300.000 tonnes de minerai.

La mine est subdivisée en quatre quartiers : le long de la zone Sud, d'Ouest en Est, on distingue ; Ain Arko, Alzi, El Abed, et parallèlement à ces quartiers, le long de la zone Nord se trouve le quartier Nord du puits (V). (Figure5).

L'accès au gisement se fait par trois puits verticaux :

- Le puits(III), à l'Ouest, a 276m de profondeur et dessert Ain Arko, il est actuellement hors service.
- Le puits(IV), à l'Est, a une profondeur de 365m et dessert Alzi et El Abed. actuellement hors service.
- Le puits(V), au Nord, avec 450m de profondeur, c'est un puits non achevé et abandonné il servira plus tard à l'aéragé.



**Fig 5 :** Carte montrant le plan d'exploitation de la mine d'El Abed (Doc. ORGM).

L'exploitation est souterraine, elle est réalisée par foudroyage ou remblayage, suivant les caractéristiques variables des quartiers. Les chantiers sont reliés aux puits par des galeries principales assurant d'une part l'accès du personnels et du matériels et d'autre part l'évacuation du minerais vers les puits (III) et (IV).

En Décembre 2002, l'ENOF décide de la fermeture de l'activité de la mine d'El Abed. A la fin de l'année 2002, le Ministère de l'Énergie et des Mines décide de récupérer et de créer une école des métiers de la mine sur le lieu et place de la mine d'El Abed.

### **I-7 : Historique des travaux**

Les premiers travaux qui se rapportent à la géologie des Monts de Tlemcen ont été élaborés par Bayle. E et Ville en 1854, Pouyanne en 1877 et Gentil en 1903 ; et c'est grâce à Doumergue que les grands ensembles litho-stratigraphiques ont été définis sur des cartes géologiques de Terni, Tlemcen et Lamoricière, publiées entre 1910 et 1943.

- En 1854, L. Ville, et Bayle, furent les premiers à réaliser les travaux sur la région. En 1855, B. Pomel apporta un peu plus de données, en observant des calcaires et des dolomies minéralisées.
- En 1877, J. Poujanne a établi la carte géologique de la région au 1\40.000, et détermina l'âge Oxfordien et Jurassique supérieur des marnes et des grès calcaires.
- EN 1904, L. Gentil et P. Lemoine publient une étude paléontologique de la région.
- EN 1910, F. Doumergue, G.M.B. Flamand, donna plus de détail sur la sédimentation.
- En 1932, M.P. Jodot établit l'âge bajocien supérieur de l'oolithe ferrugineuse de Djebel Mahsour près de Touissit.
- En 1930, J. Savornin, donna une bonne subdivision stratigraphique, de la série secondaire des horsts de la région.
- En 1942, G. Lucas édite des travaux, qui couvrent l'aspect (tectonique, cartographique, Paléogéographique), sur les Monts de Ghar Rouban.
- En 1965, M. Molquine, confirme les études de G. Lucas. Depuis les travaux menés par les géologues, des universités d'Oran et de Lyon ont apporté d'autres précisions sur la géologie des Monts de Ghar Roubane (1969). Le BRMA puis la SONAREM ont effectué des travaux de recherche aux moyens de Sondages dans la mine d'El Abed.

- En 1983, B. Touahri, publie une étude métallogénique et géochimique sur le gisement d'El Abed.
- En 1985, Benest présente une étude sur les dépôts de la plate-forme du Jurassique supérieur et du Crétacé basal dans l'Ouest Algérien et le Maroc oriental.
- En 1986, Kazi-Tani établit une synthèse de l'évolution géodynamique de la bordure Nord Africaine.
- En 1987 B. Touahri présente une étude géochimique et un guide de prospection sur la métallogénie du Nord algérien, ces travaux ont été publiés par l'ONIG (Office National de l'Information Géologique) en 1991.
- En 1995, Benest et Bensalah étudient l'Eocène continental dans l'avant pays alpin d'Algérie.
- En 1993, Bouabdellah réalisa une étude sur les minéralisations du Touissit Boubeker.
- En 1999, Benest, Bensalah et Bouabdellah font une étude sur la couverture mésozoïque et cénozoïque du domaine tlemcenien.
- En 2002, U.S.T.H.B. : S. Bouhena, M. Aouichat, Daouadji et Boudjadja font une étude gîtologique des minéralisations d'El Abed.
- En 2003, 2004 U.S.T.H. B, Sanago et O.Ingoulem ont effectué une étude sur les minéralisations karstiques d'El Abed. Puis M. Kernouat et F. Ali Daouda en 2008 traitent les minéralisations d'El Abed. Cette étude a été suivie par une étude de la sédimentologie des remplissages karstiques par H. Chaa en 2010.
- En 2011 LABCHRI D. réalise une étude des minéralisations d'El Abed (Tlemcen) – Thèse de magister –USTHB Alger.
- Entre 2010 et 2011 BOUTALEB, A. et MOUSSAOUI, Kh. (2010). Réalisent une étude pétrographique et microthermométrie des dolomies et des sphalérites d'El Abed– W.Tlemcen. Ankara 4-8 October.

# **Chapitre II :**

# **Géologie régionale**

## II-1 : Introduction

La structure actuelle du nord de l'Algérie est liée aux mouvements hercyniens et alpins, la région d'étude constitue une zone de passage entre le Tell au Nord et les hautes plaines au Sud (BENGERNIK, 2004). Le domaine tlemcenien, forme la marge septentrionale des hauts plateaux algéro-marocains dont font partie les monts de Ghar Roubane (Figure6). Ces derniers sont structurés en Horsts et Grabens (MEKAHLI, 1988).

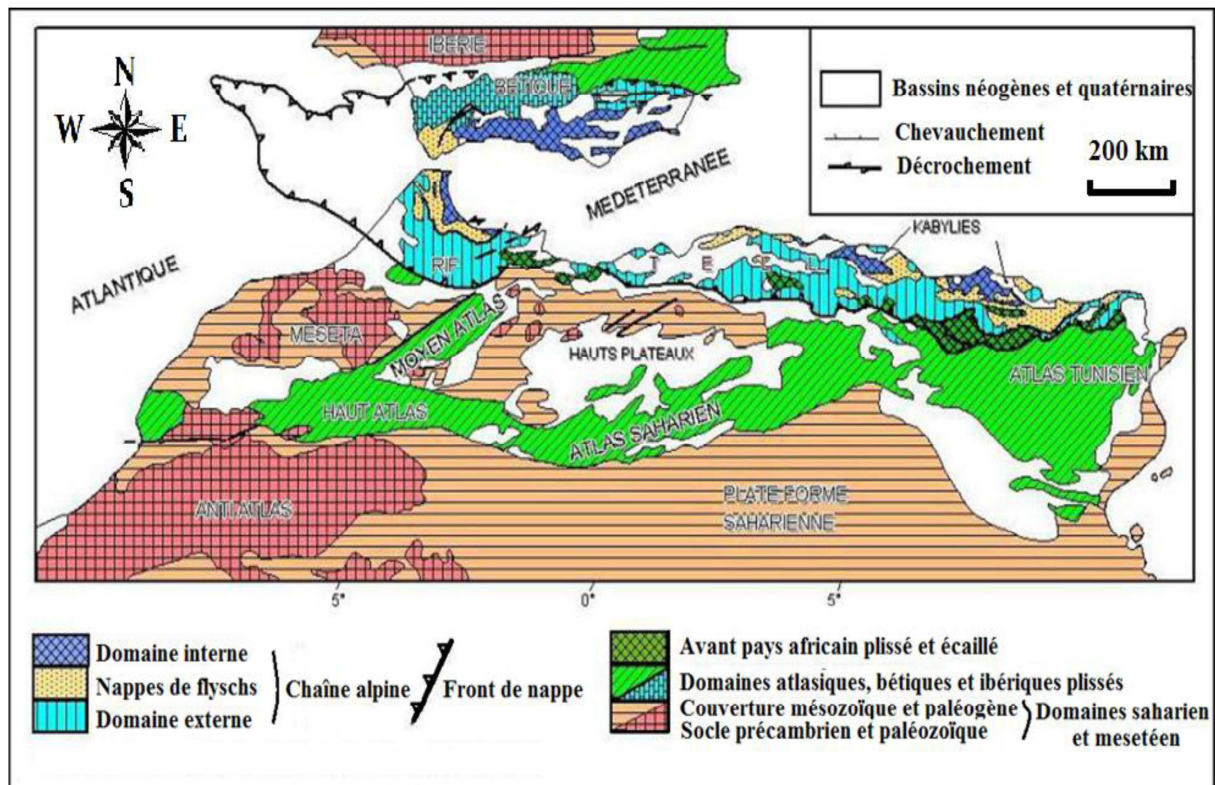


Fig 6: Schéma structural de la chaîne tello-rifaine (WILDI, 1981)

## II-2 : Cadre géologique

Les Monts de Ghar Roubane et de Sidi El Abed se caractérisent par une structure en horst et graben et une inversion généralisée des reliefs. Les structures affaissées « Grabens », forment des reliefs relativement déprimés, celle surélevées, « Horst », constituent les reliefs importants.

Le horst de Ghar Roubane s'étend sur une longueur de 25 km et 5 à 8 km de largeur. Il est délimité au Nord et au Sud par une série de failles bordières subparallèles de directions générales Nord-Est et subverticales dont les rejets atteignent parfois les 1500 mètres.

Dans on distingue deux ensembles géologiques (voire figure 7) :

- ✓ Le socle paléozoïque ; comprenant des formations sédimentaires et volcaniques, plissées à l'Hercynien, et recoupées par des intrusions magmatiques.
- ✓ La série mésozoïque ; elle est discordante sur le Paléozoïque et comprend les dépôts du Trias et du Jurassique.

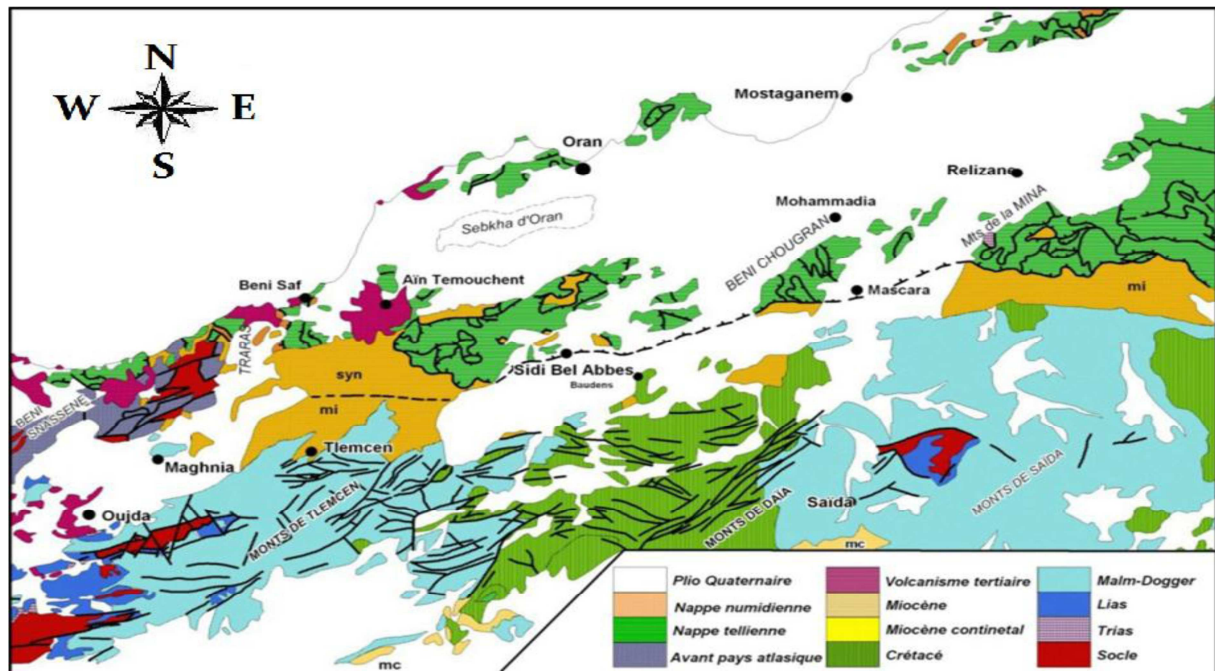


Fig 7 : Schéma lithologique de la chaîne Tellienne (BOUTALEB 2010).

### II-3 : Stratigraphie

Dans les monts de Ghar Roubane et de Sidi El Abed, deux ensembles structuraux se distinguent, séparés par une discordance. La série stratigraphique de ces derniers est constituée par des formations mésozoïques essentiellement carbonatées à laquelle sont associées les minéralisations Plombo-Zincifères qui caractérisent la région, reposant sur un socle Paléozoïque qui est constitué par des formations métamorphiques, sédimentaires ainsi que des intrusions magmatiques plissées à l'Hercynien.

#### II- 3-1 : Le Paléozoïque

Le Paléozoïque apparaît en affleurement dans le horst de Ghar Roubane et il est connu grâce aux travaux souterrains et aux forages dans la mine d'El Abed. Les datations ont pu être établies à partir des comparaisons faites avec la série caractéristique de Tifrit (Saida) ou celle de faciès analogues au Maroc.

Son large affleurement au Maroc, a permis à Lucas (1942) de l'étudier dans le bassin de Djérada et de faire des corrélations et les subdivisions suivantes :

### **II-3-1-1 : Le Paléozoïque indéterminé**

Ce sont des schistes, seuls ou associés à des quartzites qui apparaissent à Deglene et Khemis ainsi qu'au Nord du massif granitique de Béni Snous ; Affectés par un métamorphisme Viséen supérieur ; Près de la mine de Ghar Roubane, ce sont des schistes satinés, des schistes cornés à (Séricite, Cordiérite et Tourmaline) associés à des quartzites et à de petits bancs de grès. Une partie des schistes micacés, des phanites et des quartzites, serait d'âge Gothlandien

### **II-3-1-2 : Le Gothlandien**

Il s'agit des schistes micacés, des phanites et des quartzites du Gothlandien qui affleurent dans la Chaabet Chaat Diar Fouaya, caractérisés par une faune abondante de Graptolites, accompagnés de radiolaires et de spécules d'éponges.

### **II-3-1-3 : Le Dévonien**

Il est composé de schistes, de quartzites, de microbrèches et de calcaires récifaux à polypiers. Ces derniers sont datés de l'Emsien ou du Couvinien inférieur (faune de spirifères et de Rhynchonelles). Au Nord, le Dévonien présente des faciès analogues.

### **II-3-1-4 : Le carbonifère**

On distingue :

#### **A) Viséen inférieur et moyen (les horsts de Ghar Rouban et du Djorf Ouazène)**

Deux formations sont individualisées dans ces zones. La première est représentée par des calcaires recristallisés et dolomités à encrines, la seconde par des schistes, des quartzites et des microbrèches, caractérisant un apport détritique terrigène.

#### **B) Viséen supérieur (des horsts de Touissit)**

Il est représenté par une série volcanique (dacites, skalavites, tufs et brèches) encaissées à la base, et au sommet par des schistes, parfois gréseux à bancs de calcaires, dans la partie supérieure, ces schistes ont fourni des Brachiopodes et des Goniatites du Viséen supérieur; Lucas (1942) a signalé un moule de Spirifère dans les tufs.

### C) Le Viséen Supérieur et le Namurien (horst de Mendjel Ekhal)

Il est représenté par des schistes gréseux ; de grés, d'arkoses et de schistes gris foncés.

#### II-3-1-5 : Les Roches Eruptives

On les rencontre dans tous les affleurements primaires du horst où elles ont développé dans leur entourage un métamorphisme plus ou moins accentué.

Il s'agit des granites de Béni Snous, des microgranites, des kersantites, des dolérites, et basaltes, qui apparaissent en filons, leurs âges sont très contestés (Figure 8).

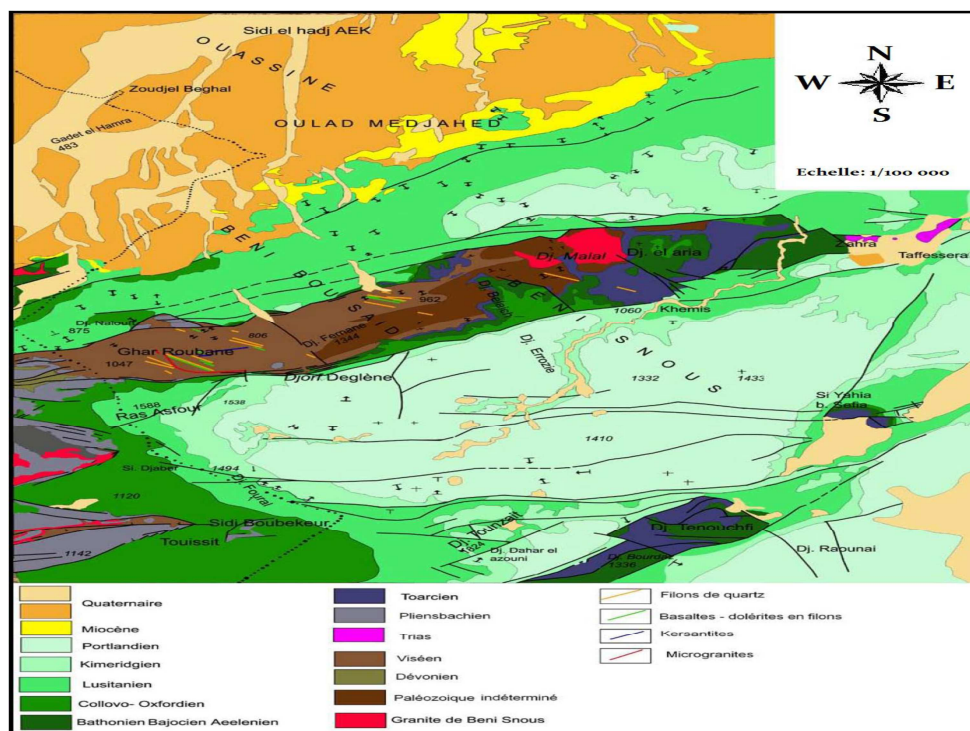


Fig 8: Extrait de la carte géologique des monts de Ghar Roubane (G. Lucas, 1942)

#### II-3-2 : Le Mésozoïque

Il est marqué par une discordance et transgression sur l'orogénèse hercynienne, qui a été suivie d'une pénéplanation, d'une altération profonde du matériel éruptif, et d'une rubéfaction des schistes.

##### II-3-2-1 : Le Trias

G. Lucas (1942) distingue un Permo-Trias des horsts et un Trias gypseux des lagunes. La nature et la répartition des différents faciès du Trias sont en fonction de la configuration du relief anté-triasique.

**II-3-2-1 : Le Permo-Trias des Horsts**

Ce faciès n'est conservé qu'au bord Sud du horst de Ghar Roubane, dans sa partie algérienne. Au Nord de Deglene, il est représenté par des conglomérats rouges à galets peu roulés de dacites et de roches volcaniques. Au Djebel Aourir (Sidi Abdellah Ben Seïoub) et au WNW de Ghar Roubane, ce sont des coulées de basaltes intercalées de bancs de calcaires et d'argiles rouges ; le tout est recouvert par des calcaires du Lias inférieur.

**II-3-2-2 : Le Trias gypseux des lagunes**

Il s'agit de marnes bariolées et gypsifères, à bloc de dolérites et de basaltes, rarement des intercalations de calcaires parfois dolomités, à Sidi El Abed et dans la plaine de Magoura au sein de la dépression de Béni Bahdel.

**II-3-2-2 : Le Jurassique**

Il est bien représenté dans la région de Ghar Roubane et forme la couverture secondaire du socle paléozoïque. Son extension est très grande : Elle va de la zone frontalière jusqu'aux monts de Tiaret, avec une variation de faciès au cours du Dogger et du Lias. Le horst de Ghar Roubane montre les formations suivantes :

**II-3-2-2-1 : Le Lias****a) Le lias inférieur**

Il comprend des calcaires sub-récifaux et des dolomies.

**b) Le Lias moyen (Carixien–Domerien)**

la partie Est du horst, il débute par un calcaire fin à Lamellibranche, surmonté d'un calcaire spathique à Brachiopode. La base de cette série est caractérisée par la présence de lits de calcaires riches en petits galets du Primaire. A l'Ouest, le Domerien est observable grâce aux failles de l'Est ; il est représenté par un calcaire à débris d'Echinodermes et à Brachiopodes souvent dolomités, recouvert par une dolomie cristalline.

**c) Le Lias supérieur (Le Toarcien)**

Il est marno-calcaire à Brachiopodes et passe à des calcaires argileux à structures peu noduleuses riches en Ammonites à l'Ouest. Plus à l'Est, il repose directement sur le Paléozoïque. Le Toarcien est absent dans une bonne partie du horst.

**II-3-2-2-2 : Le Dogger****a) L'Aaléno-Bajocien inférieur-moyen**

D'après G. Lucas (1942), des courants très violents ont balayé le horst, l'Aalénien est en relief, empêchant ainsi, les dépôts de se fixer. Au voisinage du horst (Béni Bahdel),

l'Aalénien est représenté par des bancs calcaires durs à voiles siliceux alors que le Bajocien est un calcaire plus argileux (Lucas, 1952).

### **b) Le Bajocien supérieur**

A l'Est du horst deux parties sont distinguées : L'une orientale marneuse à Ammonites pyriteuses, l'autre occidentale calcaire à Oolithes ferrugineuses ou placages ferrugineux reposant indifféremment sur le Toarcien ou sur le Carixien, ou directement sur le socle.

### **c) Le Bathonien**

Dans la partie Est du horst, le Bathonien est représenté par des calcaires micro-gréseux (Lucas 1942), alors que la partie Ouest présente des calcaires à Oolithes ferrugineux avec un ciment très hématitisé (Lucas, 1952).

### **II-3-2-2-3 : Le Malm**

Sur l'ensemble de la région, le Malm est caractérisé par des faciès homogènes. On distingue les formations suivantes :

#### **a) Le Callovo-Oxfordien**

Il est représenté par trois faciès :

- Des grés en gros bancs dans la zone des horsts occidentaux avec des épaisseurs variant entre 150 à 200 mètres.
- Des intercalations argilo-gréseuses dans le horst de Ghar Roubane avec une épaisseur de 350 mètres.
- A Béni Bahdel, il est formé par des argiles peu gréseuses dites argiles de Saida de faible épaisseur ; Associé par endroit, à des faciès ferrugineux, Oolithiques ou Bréchoïdes.

#### **b) Le Lusitanien**

Il a été complètement érodé, et n'est présent que dans les zones tectoniquement abaissées. Les formations sont des grés avec des intercalations argileuses, dolomitiques et calcaires à Polypiers, Brachiopodes, Lamellibranche et Echinoderme.

#### **c) Le Kimméridgien–Portlandien**

Ce sont des dolomies massives, finement grenues à intercalation de calcaires sublithographiques, et des calcaires argileux. Le Portlandien, est caractérisé par une série de calcaires sublithographiques, rarement oolithiques ou pseudo oolithiques riches en stylolithes. Elles constituent les hautes falaises de Deglene et Khemis (1200m).

G. Lucas, (1952) a résumé la série stratigraphique du Horst de Ghar Roubane sous forme d'un log synthétique.

Sys	Sous systèmes	Etages	Colonne lithologique	Formations lithologiques	Fossiles	Roches magmatique	Ph
Jurassique	Malm	Kimmeridgien		Grès à intercalation d'argile			
		Callovo-Oxfordien		Argiles de Saida	Ammonites		
	Dogger	Bathonien		Calcaire microgreseu	Concellophycus		
		Bajocien		Calcaire à Oolites	Ammonites		
	Lias	Toarcien		Calcaire de bélaiche			
		Domerien		Calcaire spathique	Rostres de Bélemnites		
		Carixien		Calcaire in Zailou	Oolites, Encolithes		
Tris			Marnes gypsifères				
Carbonifère	Sup	Westphalien	Schistes et grès roux				Phase Hercynienne
			Poudingues				
	Moy	Namurien	Schistes et grès marin				
			Schistes et grès marin				
Inf	Viseen	Tufs, microbrèches					
		Schistes quartzites à lit de calcaire					
Dévonien			Schistes et microbrèches		Algues, Brachiopodes, brayozoaires, Gastéropodes, Trilobites, Polypiers	Granodiorite-microgranodiorite Dacite Basalte Granite de Béni Snouss Dolorite de Boukna	Phase calédonienne
			Calcaire récifal				
			Grès à graviers de phtanite				
Silurien			Schistes, quartzites et phtanite à graptolite	Graptolites			
			Schistes et quartzites				

Fig 9 : log synthétique du horst de Ghar Roubane (G. Lucas, 1942)

## II-4 : Paléogéographie

Dés 1942 puis 1952, G. Lucas établira les bases de la paléogéographie des bordures septentrionales des hautes plaines dans l'Algérie occidentale plus particulièrement les monts de Ghar Roubane et Sidi El Abed.

Pour Elmi (1973-1976-1978) le domaine tlemcenien est un domaine de transition entre les futures zones alpines externes et l'avant-pays africain. Dans les Monts de Ghar Roubane et Sidi El Abed deux ensembles structuraux sont individualisés :

### II-4-1 : Un Paléozoïque

Constitué essentiellement de formations sédimentaires et volcaniques, plissées métamorphosées et recoupées par des venues magmatiques.

La tectonique hercynienne a généré des accidents Nord-est, Sud-ouest, qui sont à l'origine des structures de ce domaine, à la fin du Paléozoïque, ces terrains sont soumis à une érosion intense et une pénéplanation.

### II-4-2: Un Mésozoïque

Où des terrains essentiellement jurassiques, se sont déposés en discordance (angulaire) sur un socle métamorphisé, rubané et arasé, se sont des dépôts marins dont l'épaisseur et le régime ont été fortement influencés par la tectonique.

A partir du Trias se distinguent déjà des zones lagunaires et des zones promontoires où le socle n'a pas subi une pénéplanation complète et certains de ces reliefs ont persistés.

Une transgression commence au Domerien-Carixien et se généralise au Toarcien, les eaux envahissent les monts de Ghar Roubane. Seules quelques zones surélevées subsistent ; le seuil de Fernane en est l'exemple.

Ces dernières ne sont immergées qu'à l'Aalénien-Bajocien où le milieu s'approfondit. Une régression au Callovo-Oxfordien débutera par les horsts occidentaux, où les dépôts sont néritiques, et atteindra les horsts orientaux, avec un milieu de dépôt fluviomarín.

Cette régression continuera jusqu'au Lusitanien avec l'installation d'une plaine alluviale, des fluctuations du niveau de l'eau et formation de marécages.

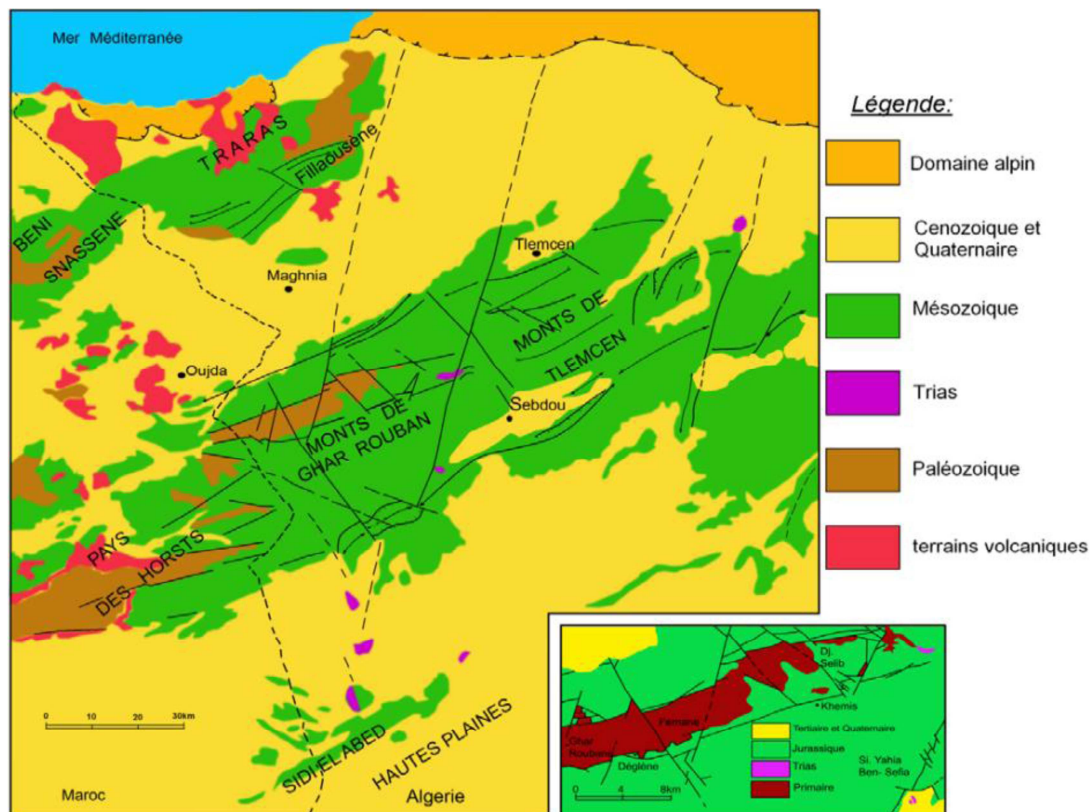
Une forte subsidence reprend au Kimméridgien-Portlandien avec un arrêt de l'activité tectonique.

La plaine de Maghnia s'abaisse au dessous du niveau marin au Miocène. Dans son état actuel, la région est caractérisée par une inversion de relief très généralisée, sauf en ce qui concerne la plaine de Maghnia.

## II-5 : Tectonique

Les Monts de Ghar Roubane et les reliefs qui les relient vers l'Est (mont de Tlemcen, de Daïa, de Saida et de Frenda), forment une longue barrière orographique orientée SW-NE (figure 10).

Par ailleurs ils forment un ensemble complexe de plateaux et de zones subsidentes séparées par des zones faillées et tectonisées, le tout est recoupé par des décrochements transversaux



**Fig 10 :** Carte structurale schématique des Monts de Ghar-Roubane et des régions Voisines (S. Elmi, 1988)

La tectonique de cette région doit son schéma global aux mouvements épirogéniques pendant le Lias et le Dogger à partir des structures hercyniennes d'une succession de horst et grabens localisée le long de la frontière algéro-marocaine

**II-6 : Géologie**

La région de Gharb Roubane, sur le plan métallogénique, est caractérisée par la présence de plusieurs indices et gisements de Pb-Zn dont certains sont d'importance mondiale (Touissit-Boubeker). Selon les caractères structuraux et morphologiques, on distingue deux groupes de gisements :

**II-6-1 : Les gisements encaissés dans le socle**

Ce sont des gisements connus dans le Primaire de Ghar Roubane, ils ont leurs analogues dans Djebel Mekam, au Sud-ouest de Berguent, et dans la mine de charbon de Djérada.

Les filons qui suivent parfois des dykes de basaltes propylitisés, sont faits de tronçons orientés surtout N110° et N135°, avec une grande prédominance de la direction N110°.

La gangue est essentiellement quartzreuse ; souvent, on rencontre de la baryte dans la partie supérieure des filons ; la minéralisation consiste essentiellement en galène et parfois en chalcopryrite et en sphalérite, de texture massive, disséminée et bréchique.

**II-6-2 : Les gisements associés aux dolomies liasiques**

Ce sont les minéralisations les plus nombreuses, elles sont encaissées dans les dolomies du Lias moyen ou supérieur, elles ont une plus grande extension géographique. Elles constituent la majorité de la chaîne des horsts, qui comprennent les gîtes de Touissit, Boubeker, Mekta, et Bediane, au Maroc, El Abed et de Deglene Est, en Algérie, totalisant un peu plus de 4 MT.

La gangue est exclusivement dolomitique, la minéralisation se présente en poches diffuses ou en lentilles, généralement localisées près des grandes cassures et souvent sur de petites fractures. L'association minérale est composée essentiellement, de galène et de sphalérite. Les textures peuvent être massive, rubanées et souvent bréchique,

## Conclusion

La géologie des monts de Ghar Roubane, à une structuration en horst et grabens et blocs basculés caractéristique d'une tectonique distensive. Géologiquement on distingue deux ensembles :

### a) Au Paléozoïque

Une phase tectonique compressive est à l'origine des structures tectoniques, elle est apportée à l'Anté-Viséen.

La mise en place du granite de Béni Snous s'est effectuée à la fin du Carbonifère. La fin du Paléozoïque est marquée par une forte érosion des reliefs, conduisant à une pénéplanation de la région.

### b) Au Mésozoïque

La couverture mésozoïque en discordance sur le socle ; qui débute par le Trias reconnu grâce aux sondages à El Abed où au Djebel Aourir au NW de Ghar Roubane, le Jurassique quant à lui il est bien représenté à Ghar Roubane, il va du Jurassique inférieur (Carixien) au Jurassique supérieur (Portlandien), suivit de dépôts du Quaternaire représentés par les alluvions récents et anciens. Du point de vue lithologique et pétrographique, la série dolomitique montre une régression générale, et une émergence de la plate forme, d'où la variation d'épaisseur de la série jurassique.

**La tectonique globale** est divergente, marquée par les mouvements épirogéniques du Lias et Dogger, on distingue deux zones :

- ✓ Au Nord, une zone paléo-géographiquement relevée c'est les horsts, et l'autre paléo-géographiquement abaissée c'est la zone d'Oujda-Sebdou.
- ✓ Au Sud une région très peu ondulée, faillée dans le Sud de Sidi El Abed.

Les déformations qui résultent de cette tectonique sont de deux types :

- ✓ Une déformation souple qui a structuré la morphologie globale des monts de Ghar Roubane en plis kilométriques.
- ✓ Une déformation cassante, matérialisée par des failles qui bordent les horsts.

La métallogénie de Ghar Roubane se caractérise, par des indices et gisements à Pb-Zn-Cu-Ba, encaissés dans le socle et le Permo-Trias, et des gisements associés aux dolomies liasiques.

# **Chapitre III :**

# **Géologie locale**

### III-1 : Introduction

Le gisement à Pb-Zn d'El Abed fait partie des monts de Ghar Roubane qui se situent au Nord- Ouest de l'Algérie.

Le district minier d'El Abed, tout comme l'ensemble de la région (monts de Ghar Roubane et de Sidi El Abed), comprend deux ensembles structuraux (figure 11).

- Un ensemble inférieur constitué de terrains paléozoïques (formations sédimentaires et volcaniques plissées, métamorphisées et recoupées par des venues magmatiques).
- Un ensemble supérieur formé de dépôts mésozoïques (essentiellement jurassiques) fortement influencés par la tectonique.

-Les terrains affleurent dans la région d'El Abed vont du Callovien au Kimméridgien (Fig 11)

Les «argiles de Saida» du Callovien.

Les« grés de Boumediene » de l'Oxfordien.

Les «dolomies de Tlemcen » du Kimméridgien.

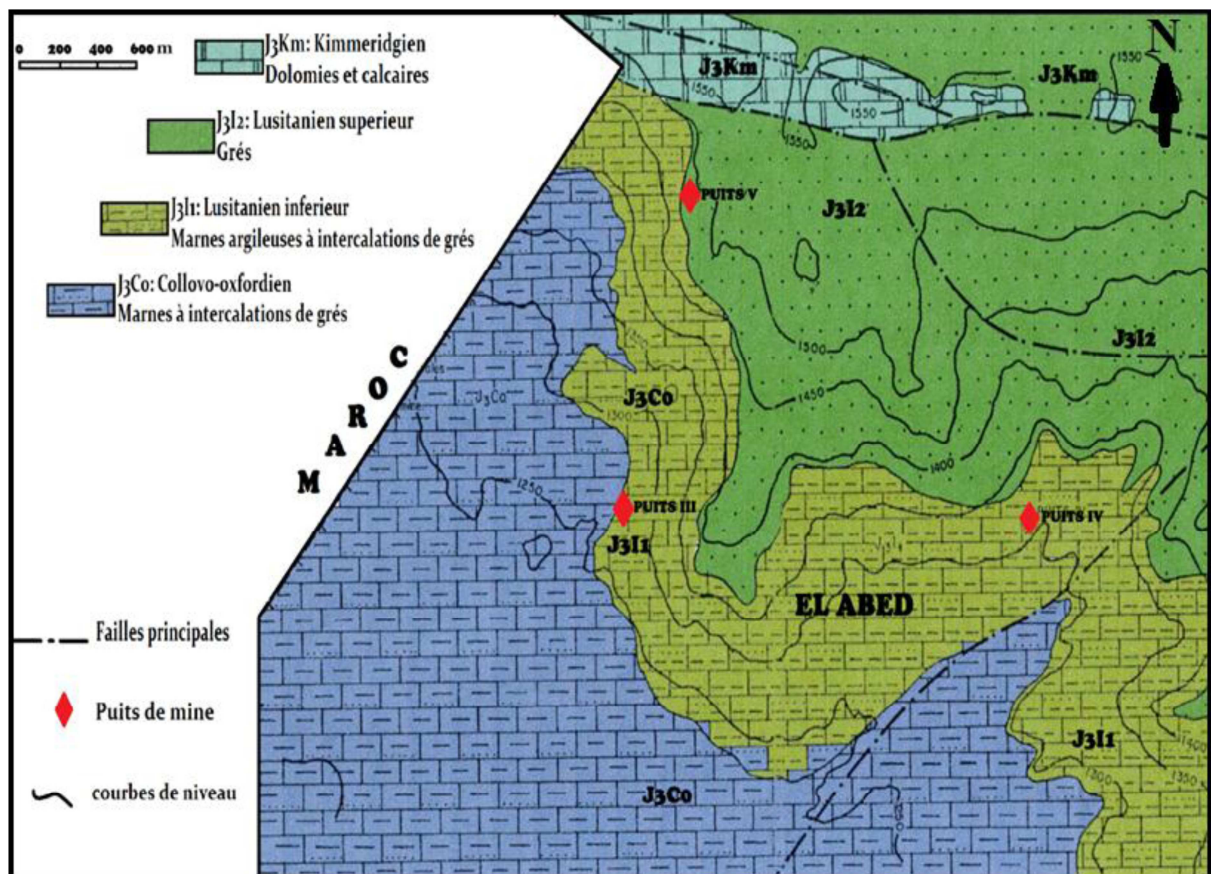


Fig 11 : Carte géologique de secteur minier d'El Abed ZAGOSKINE (1972)

## III-2 : Lithostratigraphie

### III-2-1:Le Paléozoïque

Le socle paléozoïque a été reconnu, par des travaux miniers et de forages ainsi que grâce au jeu des failles majeures qui le font remonter. Ce substratum comprend des formations métamorphiques, sédimentaires et volcaniques plissées (dacites viséennes visibles dans les galeries d'Ain Arko). Ainsi il consiste en des schistes argileux indiquant des alternances de lits millimétriques d'argiles riches en séricite et de lits verdâtres de séricite pigmentées en oxyde de fer.

### III-2-2 :Le Mésozoïque

Le Mésozoïque est formé par les dépôts du Trias et les dolomies du Lias et du Dogger ; auxquelles ; sont associées les minéralisations Plombo-Zincifères stratiformes et karstiques.

#### III.2.2.1.Le Trias

Il est constitué par des conglomérats et des argiles rouges lenticulaires qui remplissent souvent les creux de la surface d'érosion Supra-paléozoïque(Figure12)

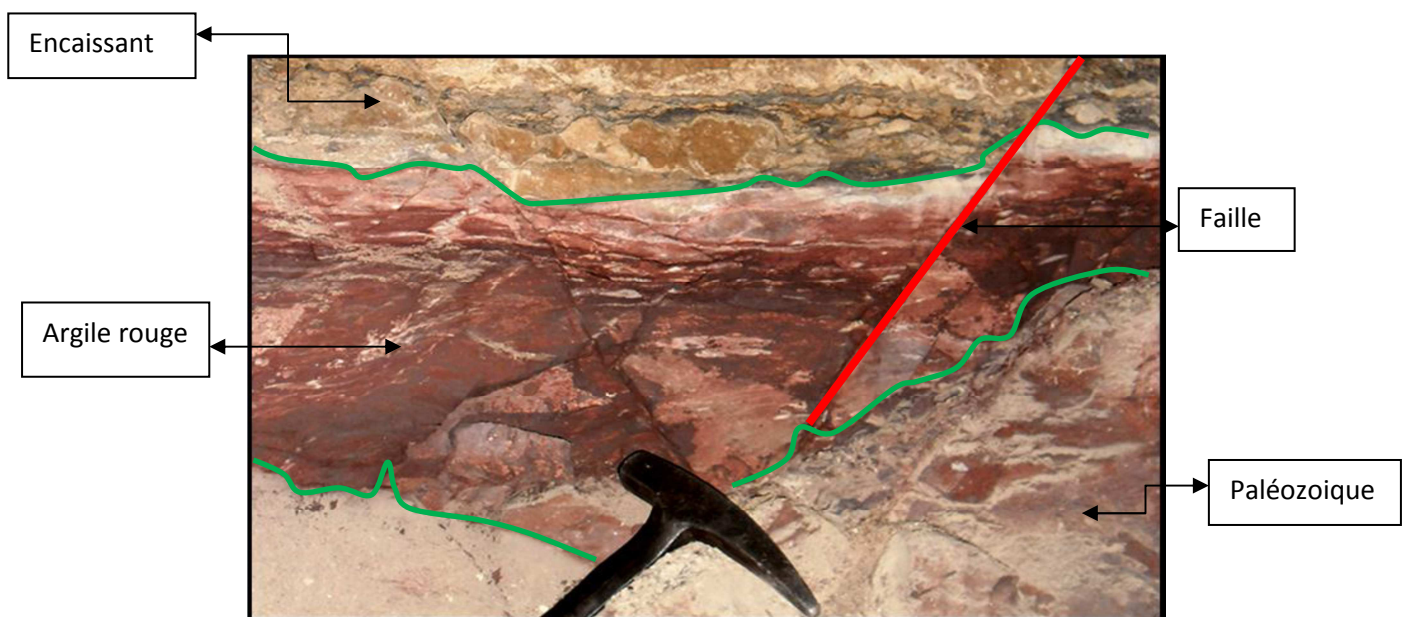


Fig 12 : Photo montrant les argiles rouges Supra-socle

### II-2-2-2 : Le Jurassique inférieur et moyen

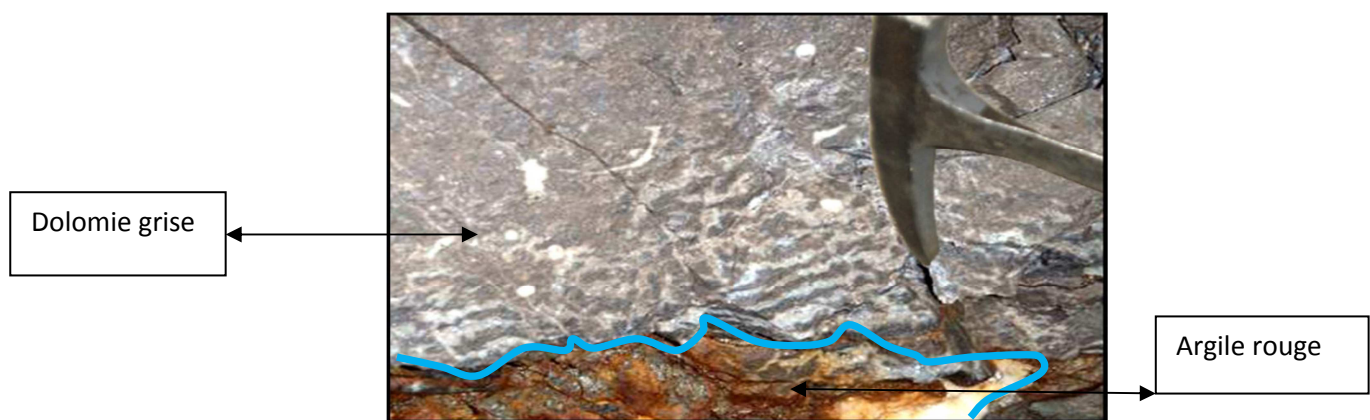
La transgression jurassique se fait sur la surface bosselée et altérée du substratum hercynien. Elle débute par un conglomérat argileux suivi de dolosparites supratidales rubéfiées. Cet ensemble est recouvert en discordance de ravinement par des dolosparites grises à intercalations de laminites.

Une seconde formation dolomitique transgressive sur la précédente est constituée de dolomites grises plus grossières séparées par des intercalations argileuses noires (Figure 13). Etant donné que les minéralisations d'El Abed sont encaissées dans les dolomies de l'Aaléno-Bajocien, nous développerons la description de l'encaissant. En effet on distingue trois unités dans l'Aaléno-Bajocien à savoir l'unité I, l'unité II et l'unité III.

#### II.2.2.2.1. Unité I

Il s'agit d'un matériel argileux rouge, bréchié à la base, remaniant des éléments anguleux de dolomicrites.

Au microscope ces éléments apparaissent sous forme de ponctuations rouges, associés à des nodules de silice, de l'opale, de la matière organique, de l'hématite et des sulfures.



**Fig 13** : Photo montrant la dolomie grise de l'unité I. (Labchri.2011).

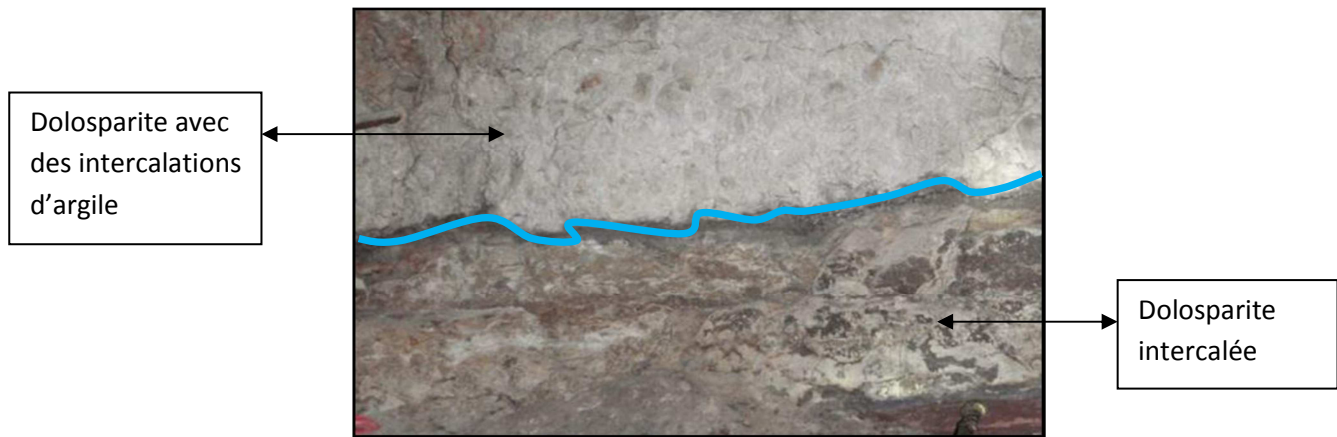
#### II.2.2.2.2. Unité II

A la base, il présente de grands bancs de dolomies grises à tests de gastéropodes qui sont appelées aussi **dolosparites**. Dans cette série les dolosparites sont intercalées de laminites.

L'étude microscopique montre des cristaux xénomorphes jointifs de dolomite de différentes variétés. Elles sont cryptocristallines à microcristallines, limpides, chagrénées,

porphyriques et sont en association avec la pyrite, la sphalérite, et la galène qui occupent les interstices de ces dernières.

Les dolomites qui suivent sont des dolosparites plus grossières avec des intercalations d'argiles riches en matière organique(Figure14).



**Fig 14** : Photo montrant la dolomie grise de l'unité II, (Labchri.D 2011).

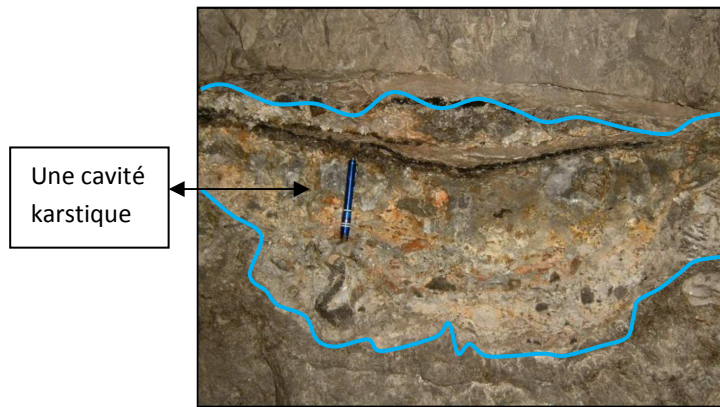
Au microscope, il s'agit de dolomites à grains moyens et grossiers, Sub-automorphes et contiennent des bioclastes épigénisés.

Cependant, on remarque dans ces bancs que la dolomite grise diagénétique est recoupée par la dolomite blanche épigénétique de texture zébrée ; ensuite elle change de couleur et devient beige et friable. Ce processus indique qu'elles ont été soumises à une altération par les solutions hydrothermales, qui sont à l'origine des phénomènes de karstification.

#### **II.2.2.2.3. Unité III**

Les dolomies encaissant les karsts sont variées aussi bien dans leurs stratonémie (épaisseur des bancs) que dans leurs faciès. Les dolomies sont homogènes à grains moyens équigranulaires et parcourues par des dolomites blanches zébrées et épigénétiques.

Les karsts se développent soit au sein d'un seul banc quand celui-ci est massif ou chevauchent sur l'épaisseur de plusieurs bancs (Figure15).



**Fig 15** : Photo montrant une cavité karstique de petite dimension, (Chaa.H. 2010).

#### **II.2.2.2.4. Le Bathonien**

Il est constitué par des lentilles de calcaires oolithiques ferrugineux. La roche est compacte, grise rougeâtre avec un faciès oolithique à tests de gastéropodes.

#### **II.2.2.2.5. Le Callovien**

Il est constitué par des marnes grises et des argiles, avec une épaisseur de 250 à 270 m, sa base est bréchifiée.

#### **II.2.2.3. Le Jurassique supérieur**

Représenté par le Lusitanien qui est constitué par des grès de Boumediene avec une épaisseur de 350 à 400 m et le Kimméridgien qui est marqué par des dépôts calcaires et de dolouemies, avec une épaisseur de 70 m dans la partie NW du gisement.

### **III-3 : Evolution paléogéographique**

La transgression mésogéenne s'est effectuée d'Est en Ouest durant le Trias, elle à amené le dépôt de faciès des grés pélitiques rouges autour des zones émergées qui sont soumis à une altération de type rubéfiante et à une érosion continentale. En position externe se sont déposées des formations salifères et gypsifères associées à des argiles violacées (BHEROUA (2007).

#### **La paléogéographie d'El Abed se caractérise par**

- ✓ L'existence d'une structure en mole pendant l'Hercynien
- ✓ Un paysage émergé durant le Trias et le Lias ;
- ✓ Des dépôts qui se font dans les fosses subsidentes de Tiouli et Oujda ;
- ✓ Une peneplanation du district qui prend forme à partir de l'Aaléno-Bajocien.

### III-4 : Tectonique général d'El Abed

L'organisation structurale à l'échelle régionale aurait joué un rôle important dans l'individualisation du horst et graben. La région est caractérisée par un socle paléozoïque déformé par l'orogénèse hercynienne et une couverture méso-cénozoïque restée quasi horizontale.(Figure16).

#### III-4-1 : Le socle paléozoïque et l'orogénèse hercynienne

Elle se déroule pendant le Carbonifère. On a l'habitude de la subdiviser en plusieurs épisodes ou « phases » qui représentent plutôt des paroxysmes de déformation dans un processus de raccourcissement continu.

La phase majeure est observée dans l'ensemble du domaine mésétien. La direction de raccourcissement est orientée NW-SE, les structures sont des plis synschisteux de direction NNE-SSW à ENE-WSW associés à un métamorphisme régional de faible degré. Les déformations hercyniennes sont de faible intensité (plis ouverts).

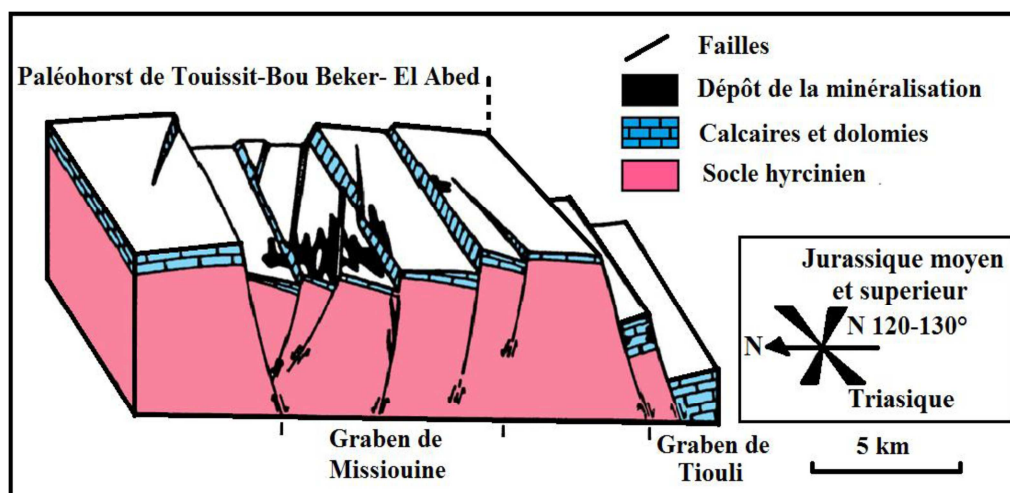
Des granitoïdes se mettent en place sous forme de petits massifs circonscrits en développant un métamorphisme thermique. Leurs âges isotopiques varient entre 320 et 280 Ma selon les massifs. Ces plutons granitiques se sont donc mis en place tout au long de l'orogénèse hercynienne depuis le Viséen supérieur jusqu'au Permien.

#### III-4-2 : La couverture mésozoïque

La tectonique prédominante est de type cassant, affectant la couverture. Elle se résume en deux directions majeures :

- ✓ La direction NNE -SSW N70°-N 80° (distension du Trias), caractérisée par :
  - des Failles bordières des horsts
  - un allongement des corps minéralisés
- ✓ La direction NW-SE N130° (distension du Jurassique moyen-supérieur), caractérisée par :
  - Une découpe des structures en blocs
  - Un contrôle de certains corps minéralisés

Cette tectonique a morcelé la couverture mésozoïque, aboutissant à la formation de horst et graben ; généralement, les failles sont normales avec des rejets qui varient, les failles inverses sont rares et ont été déduites grâce aux sondages ; il s'agit probablement de fractures de réajustement ou des inversions de bassins (Vially, 1994) .



**Fig 16:** Position des corps minéralisés par rapport aux accidents tectoniques de Touissit-Boubeker et El Abed d'après (Makhoukhi et Al, 1993).

### III-4-3 : Tectonique du gisement

Le style tectonique du gisement s'inscrit dans le schéma général du Ghar Roubane et de Sidi El Abed, les failles post-calloviennes représentent les directions hercyniennes qui ont rejouées à plusieurs reprises. Même après la mise en place de la minéralisation, provoquant un décalage vertical des zones minéralisées qui se mettent en contact avec le stérile (paléozoïque ou callovien) ; ainsi les variations d'épaisseurs ou les différences de profondeurs de recoupement ont été souvent expliquées par des failles qui ne sont pas observables en galeries.

A El Abed les failles existantes de directions NS ( $N270^{\circ}$ - $N100^{\circ}$ ), qui limitent au Sud les hauts fonds du Touissit-Boubeker auraient joué un rôle important dans la morphologie en blocs basculés, et la mise en place de la minéralisation, à l'Est du gisement d'El Abed, les failles  $N120^{\circ}$  et  $N140^{\circ}$  recouper les directions  $N60^{\circ}$ - $N270^{\circ}$  et  $N100^{\circ}$ .

### III-5 : Etude de l'encaissant

Les minéralisations d'El Abed sont strictement associées aux niveaux calcaires et calcaires gréseux à bioclastes fortement dolomités de L'Aaléno-Bajocien. La dolomitisation irrégulière, présente une extension importante, (Environ 60m d'épaisseur), remplaçant totalement les calcarénites bioclastiques.

L'encaissant du gisement d'El Abed est formé, principalement de deux stades de dolomitisation :

- Une dolomitisation diagénétique, qui affecte les calcarénites en milieu tidal, lors de la diagenèse des sédiments, elle est liée à la circulation d'eau magnésienne de mer

chaude en milieu laguno-continentale. Elle est représentée par la dolomite grise microcristalline et la dolomie spathique et zébrée.

- Une dolomitisation épigénétique, elle succède à la diagenèse des dolosparites, elle est liée au passage d'eaux magnésiennes chaudes le long des fractures, ceci génère des dolomies à structures baroques ou veinulées, elle peut se présenter en dolomie géodique ou sécante, de couleur blanche remplissant les vides et les fractures.

## Conclusion

La géologie du gisement d'El Abed, se résume en deux unités lithologiques composées d'un socle paléozoïque à surface d'altération météorique intense, formé de dacites et schistes métamorphiques. Suivi d'une série mésozoïque transgressive qui est représentée par des formations qui vont du Trias au Jurassique supérieur, et qui montrent plusieurs phases d'émersions locales.

Le Jurassique inférieur et moyen sont dolomitisés, les dolomitisations sont de deux types, diagénétique et hydrothermale, l'Aaléno-Bajocien forme l'encaissant de la minéralisation.

L'étude pétrographique de l'encaissant des minéralisations d'El Abed montre que les dolomites sont très variées. Ainsi on rencontre des dolomites de différentes générations. La minéralisation associée aux strates dolomitiques, elle remplit les espaces inter-granulaires des dolomites digénétiques et les dolomites épigénétiques et elles montrent un polyphasage dans leur mode de mise en place.

La minéralisation karstique à son tour est encaissée par les mêmes dolomites (les mêmes en terme d'âge et de nature) que la minéralisation en stratabound.

L'évolution paléogéographique de la plate forme est régie par des jeux de subsidences variables qui conditionnent la sédimentation durant tout le Jurassique.

Sur le plan tectonique, le socle enregistre les témoins de l'orogénèse hercynienne de direction NNE-SSW, et la couverture mésozoïque ceux de l'orogénèse alpine, le système de divergence de directions NW-SE qui débute au Trias, et le système de convergence N-S au Crétacé Supérieur-Eocène.

Cette tectonique tardive va aboutir au morcellement de la croûte en une morphologie en horst et graben. Les corps minéralisés sont affectés, par cette tectonique dans l'ensemble ce qui prouve le caractère tardif de cette tectonique.

# **Chapitre IV :**

# **Minéralisation**

## **-Introduction**

La minéralisation dans le gisement d'El Abed est d'âge Aaléno-Bajocien. D'une façon générale on va parler de la minéralisation stratiforme (stratabound) et de la minéralisation Karstique :

-La minéralisation en stratabound est localisée dans les dolomies aléno-bajociennes. C.a.d.Elle se rencontre fréquemment en bandes stratiformes irrégulières et discontinues liée aux zones de dissolutions, recristallisations et fracturations dans la partie Est.

-La minéralisation liée aux sédiments internes détritiques du remplissage karstique est essentiellement zincifère et pyriteuse dans la partie Ouest.

L'essentiel des minéralisations exploitées s'exprime dans la couverture sous forme de stratoides. Les minéralisations exploitables du district se présentent en faisceaux continus et d'extension kilométriques.

L'encaissant du gisement est formé principalement de deux stades de dolomitisation :

- Stade diagénétique, il s'agit de dolomite microcristalline, de la dolomite spathique et la dolomite zébrée.
- Stade épigénétique représenté par de la dolomite baroque et la dolomite veinulée.

Une dolomitisation affectant les calcarénites en milieu tidale a eu lieu lors de la diagenèse des sédiments, elle est liée à une présence d'eau de mer chaude riche en magnésium dans un domaine laguno-continentale.

La dolomitisation épigénétique prend place après la diagenèse des dolosparites, elle est souvent liée à la circulation d'eau magnésienne plus ou moins chaude le long des fractures, ceci génère des dolomites baroques ou veinulées, elle peut se présenter en géode ou dolomite sécante.

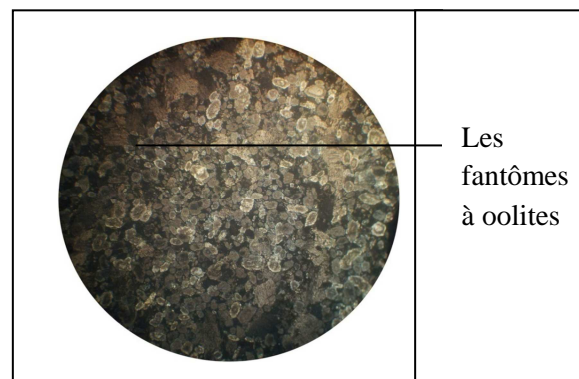
### **IV-1: L'encaissant :**

Les observations macroscopiques et microscopiques des échantillons révélés de l'encaissant six principaux types de dolomites suivantes :

#### **IV-1-1 :Dolomicrite (DI) :**

Elle se présente sous forme de cristaux xénomorphes de dolomites très fins avec des fantômes de calcites. C'est une dolomite de remplacement précoce résultat d'une dolomitisation d'une

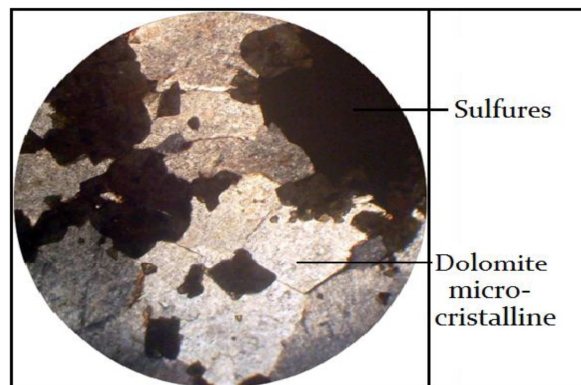
ancienne calcarénites avec la présence de restes de bioclastes épigénisés et recristallisés dans cette dolomite.(Figure17)



**Fig 17 :** Vue microscopique d'une Dolomicrite à fantômes d'oolithes S.P.N Gr x 10(Ghaleb.B)

#### IV-1-2 : Dolomite microcristalline (DII) :

Elle est représentée par une dolomite saccharoïde à cristaux moyens (microsparite) brunâtre à inclusions de matières organiques de tailles inférieurs à 100  $\mu\text{m}$ , les grains sont jointifs à dissémination de pyrite(Figure18).



**Fig 18 :** Photo montrant la dolomite saccharoïde (L.M, L.P.N.A Gr x 5), (Chaa.H.2010).

**IV-1-3 : Dolomite spathique(DIII) :**

Ils s'agissent de cristaux de dolomites ne dépassant guère les 250  $\mu\text{m}$ . Elles sont automorphes, avec quelques fois des espaces intergranulaires remplis de matières organiques ou argileuses qui constituent le remplissage du karst ou se présente sous forme conconctrique.(Figure19).



**Fig 19 :** Photo montrant la dolomie spathique a débris de matière organique.(Labchri.D)

**IV-1-4 : Dolomite zébrée (IV) :**

Il s'agit de bandes millimétriques à centimétriques avec alternance de lits claires et de lits gris ou beiges. Ces cristaux sont xénomorphes à sub-automorphes constitués de matières argileuses intergranulaires, dolomites grises à grains moyens qui peuvent atteindre 1 mm et dolomite blanche grossière.

**IV-1-5 : Dolomite baroque :**

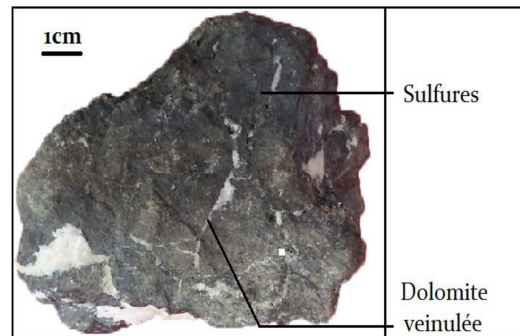
De couleur blanche et rose, elle est appelée aussi « saddle dolomite » ou dolomite en selle. Microscopiquement elle se présente en grandes plages de cristaux limpides avec une texture xénotypique et se caractérise par des clivages courbes(Figure20).



**Fig 20 :** Photo montrant la dolomite baroque.(Boudiaf.M)

**IV-1-6 : Dolomite veinulée (DVI) :**

Elles occupent les fractures des dolomites blanches, les fentes de tensions qui recourent la dolomite grise, elles peuvent être à oxyde de fer. Ces veinules peuvent être remplies de galène tardive(Figure21).



**Fig 21 :** Photo montrant la dolomite (VI) veinulée,(Boudiaf.M.)

On trouve des occurrences minérales sous forme de filonnets dans le socle Viséen ;

On trouve également des minéralisations en remplissage de failles bordières.

**IV-2: La minéralisation :****IV-2-1 : La minéralisation en stratabound (stratiforme) :****IV-2-1-1 : Minéraux métalliques :****A -Sphalérite (ZnS) :**

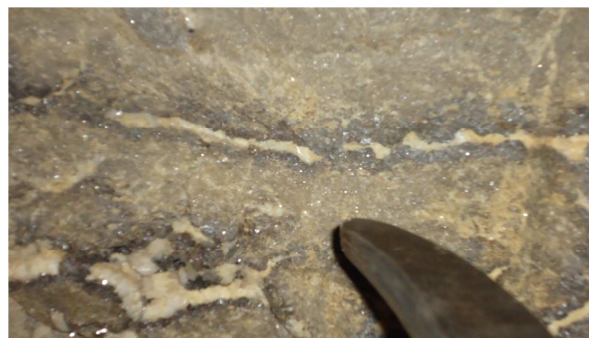
C'est le minéral le plus abondant à une couleur rouge à brun miel, on peut la trouver disséminée et au contact de la dolomite grise et blanche. On distingue aussi deux types de sphalérite : post-dolomite et ante-dolomite. Ce dernier type est caractérisé par une zonalité. La sphalérite présente aussi une texture qui montre une asymétrie (Figure22 ;23 ;24)



**Fig22 :** Sphalérite disséminée dans la dolomie grés(Ghaleb.B)



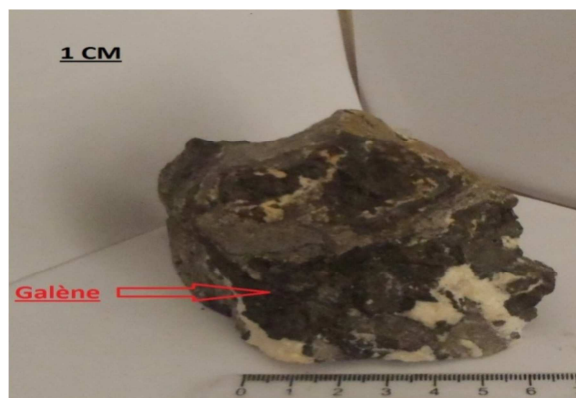
**Fig 23 :** Sphalérite post-dolomie.



**Fig 24 :** Sphalérite ante-dolomie.

**B -Galène (PbS) :**

Noire bleuté brillante, Elle se manifeste soit en cristaux automorphe de taille millimétrique à centimétrique dans la dolomite blanche riche en matière organique ou grise. Cette galène est moins importante que la sphalérite(Figure25).



**Fig 25 :** Galène en dissémination. (Ghaleb B)

**C -Pyrite (FeS<sub>2</sub>) et marcassite(FeS) :**

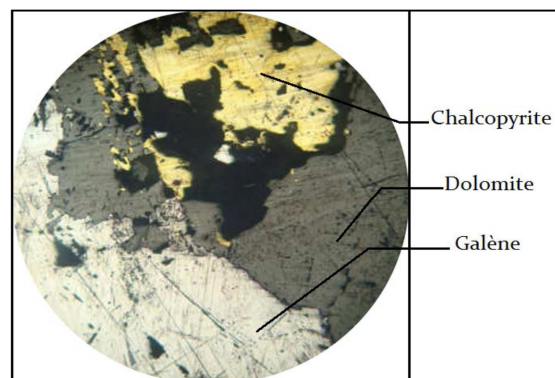
Disséminées dans les grains de dolomite et de sphalérite. On les trouve aussi oxydées entourant la dolomite grossière.(Figure26).



**Fig 26 :** Pyrite et marcassite oxydée entourant la dolomie

#### **D -Chalcopyrite (CuFeS<sub>2</sub>) :**

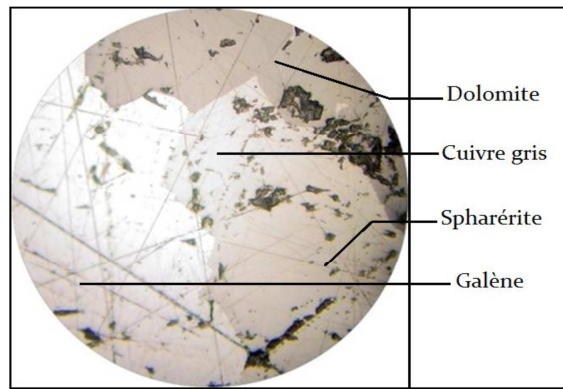
Moins abondante, caractérisée par sa couleur jaune franc avec une très faible anisotropie. Elle se manifeste en petits cristaux subautomorphes à xénomorphes disséminés irrégulièrement dans la dolomite, et quelquefois en agrégats attachés à la galène(Figure27).



**Fig 27 :** Photo montrant la chalcopyrite et la galène associées à la dolomite (S.P L.N Gr x 10)  
(Labchri.D)

#### **E -Cuivre gris :**

Il est très rare de forme xénomorphe, il se présente en deux générations dont la première est souvent associée à la sphalérite ou en inclusion dans la chalcopyrite et la deuxième est aussi associée à la sphalérite ou il est inclus en dissémination dans la galène massive(Figure28).



**Fig 28 :** Photo montrant l'association cuivre gris, galène et sphalérite (S.P L.N Gr x 5),  
(Labchri.D.2011)

### ***F -Marcassite :***

Elle est très rare, et souvent associée à la sphalérite ou à la pyrite disséminée. Elle se présente sous forme des cristaux xénomorphes.

### **IV-3-2 : Texture du minerai**

La texture désigne la relation spatiale ou l'agencement entre les différentes espèces minérales du minerai.

#### **A : Texture veinulée**

Dans laquelle la minéralisation sulfurée (galène-blende) se manifeste en petits veinules allant du millimètre jusqu'au centimètre.

#### **B: Texture disséminée**

Il s'agit de grains de sphalérite et celle de galène, et également de la pyrite de taille millimétrique éparpillés dans la gangue dolomitique.

#### **C: Texture massive**

Elle est représentée par des cristaux (galène et blende) automorphes et xénomorphes d'ordre centimétrique, distribués irrégulièrement dans la gangue dolomitique.

#### **D : Texture béchique**

Elle se rencontre au niveau des dolomies (brèche hydraulique), et au niveau du karst, où elle se caractérise par la présence de fragments de sulfures, de gros cristaux de sphalérite, galène, pyrite, et de fragments dolomitiques stériles et à sphalérites, débris de matière organique, et matières sableuses .

**E : Texture géodique**

Elle apparaît sous forme de micro cavités remplies par des cristaux centimétriques de dolomites, on trouve aussi associé : de la pyrite, du quartz, et de la barytine. Elle s'observe dans la dolomie blanche ou rose.

**F:Texture zonée**

Elle se voit au microscope au niveau de la sphalérite grossière, et dans la sphalérite collomorphe. Certains cristaux de sphalérites montrent au centre une nuée d'impureté riche en quartz en fines baguettes et en grains squelettiques qui apparaissent en lumière polarisée comme une nucléation, avec des réflexions internes de couleur chamoise. Cette texture est observée aussi au niveau des dolomites rhomboédriques spathiques.

**G : Texture pulvérulente**

Cette texture est généralisée puisqu'elle intéresse pratiquement une bonne partie des produits de remplissage karstique, C'est un produit meuble, détritique avec des agrégats minéraux friables composés de sable dolomitique, et surtout de produit remaniés.

**H : Texture rubanée**

Les textures rubanées se caractérisent par une succession rythmée de lits millimétriques à centimétriques de dolomite grise minéralisée (sphalérite et galène), avec la dolomite blanche spathique post minérale. Le passage entre ces rubans peut parfois être brusque ou graduel. Ces rubanements sont parfois perturbés par des microfissures, remplies essentiellement par des petits cristaux de dolomies, témoignant d'un épisode épigénétique ultérieur.

**I : Texture mouchetée**

Elle se caractérise par des mouchetures de pyrite cuivreuse qui ornent la dolomite rose.

**J : Texture collomorphe**

Les concrétions de matière organique dans les espaces ouverts permettent de former des encroutements visibles au microscope.

### IV-3-1-2 : Minéraux de gangue :

#### -Dolomite [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]:

Elle constitue le minéral de gangue le plus fréquent, et se présente en plusieurs variétés granulométriques, des cristaux de taille très fine, moyenne et grossière, et de différentes couleurs : blanche, rose.

#### -Silice (SiO<sub>2</sub>) :

Elle se présente en plages microcristallines (calcédoine), le quartz est détritique, corrodé, et subarrondi. Certains montrent des résidus internes (B.Touahri, 1983).

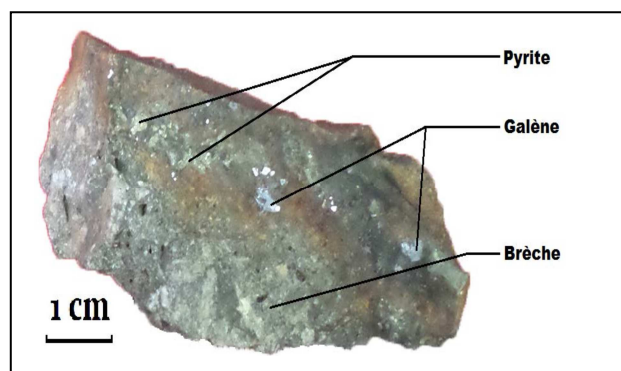
#### - Calcite (CaCO<sub>3</sub>) :

Minéral de gangue rarement rencontré à cause de la prédominance de la dolomite (primaire et secondaire) ou à cause de la ressemblance de ces deux minéraux.

### IV-3-2 : La minéralisation karstique

Le karst est caractérisé par un remplissage détritique constitué de pyrite, marcassite, sphalérite, galène et quartz qui sont associés à la matière organique et aux argiles. La minéralisation karstique est encaissée dans les dolomies. Les rubanements du karst ne sont pas parallèles, dans un certain moment on remarque que les bancs sont ravinés.

Le Karst recèle beaucoup d'eau raison par laquelle sa minéralisation contient un matériel plus ou moins soft de couleur variée : tâches noires, tâches rouillées, traduites par des oxydes de fer et des tâches blanches de jarosite et chalcantite qui ont les trouve dans les argiles. La base du karst est caractérisée par un produit ferrugineux qui nous donne une oxydation ante-karst.



**Fig 29** : Photo montrant un échantillon remplissage karstique.(Boudiaf.M)

## Conclusion

El Abed est un gisement de Pb-Zn qui se localise au nord-ouest de l'Algérie à 70Km au sud-ouest de Tlemcen.

La formation dolomitique d'âge Aaléno-Bajocien fait l'encaissant carbonaté et en plus c'est dans cette formation qui porte la minéralisation.

La minéralisation y est de deux types :

**-Minéralisation strataboude :** encaissée dans les dolomies grises et dans les dolomites blanches/roses.

**-Minéralisation karstique :** constituée de fragments de roches et de minéraux issus de la minéralisation strataboude.

Parmi les principaux minéraux trouvés dans le gisement on peut citer la galène, sphalérite, pyrite, marcassite, quartz. Ils sont associés aux argiles et à la matière organique sont présentées par diverses particularités texturales (texture massive, texture veinule, texture disséminée, texture géodique, texture zonée, texture rubanée, texture mouchetée, texture pulvérulente et la texture (collomorphe) par rapport à leur encaissant essentiellement dolomitique.

La tectonique se fait dans un système de horsts et grabens.

D'après les données recueillies de l'école des mines d'El-Abed (EMEA) sur les teneurs moyennes de Zinc et de Plomb, peuvent atteindre jusqu'à 2,96% pour le Plomb et 9,8% pour le Zinc. La mine d'El-Abed a été considérée précédemment parmi les gisements les plus riches en ces deux substances minérales en Algérie.

**Chapitre V :**  
**Drainage minier et**  
**ses impacts**

## **-Introduction**

Selon Lee (2001), une exploitation minière est l'une des plus importantes sources de pollution dans l'environnement. L'objectif de cette étude est de caractériser le drainage minier de la digue d'El Abed et l'évaluation du complexe minier.

Ces résidus présentent généralement une capacité polluante chimique élevée. Issus des opérations de traitement du minerai, ces résidus sont riches en minerais métalliques résiduels, en sulfates, en sulfures de fer.

L'oxydation naturelle des minéraux sulfurés des rejets exposés à l'air et à l'eau peut entraîner la production d'effluents suffisamment acidifiés et chargés d'ions métalliques pour poser de sérieux problèmes dans un milieu aquatique récepteur. Ce phénomène appelé Drainage Minier acide (DMA) constitue le problème environnemental le plus important pour les mines exploitant les minerais.

Notre travail dans ce chapitre est l'étude de drainage minier des rejets qui sont stokes (la digue d'el Abed) et ces impacts environnementaux, la mine d'el abed est située à 70 Km au Sud Ouest du chef lieux de la willaya de Tlemcen et à 6 Km de la commune de Bouihi, qui est rattachée à la daïra de Sidi El Djillali, qui contient des gisements polymétalliques de Pb-Zn.

## **I- Rappel sur la technique d'exploitation du gisement d'El Abed**

### **V-I-1 Travaux préparatoires**

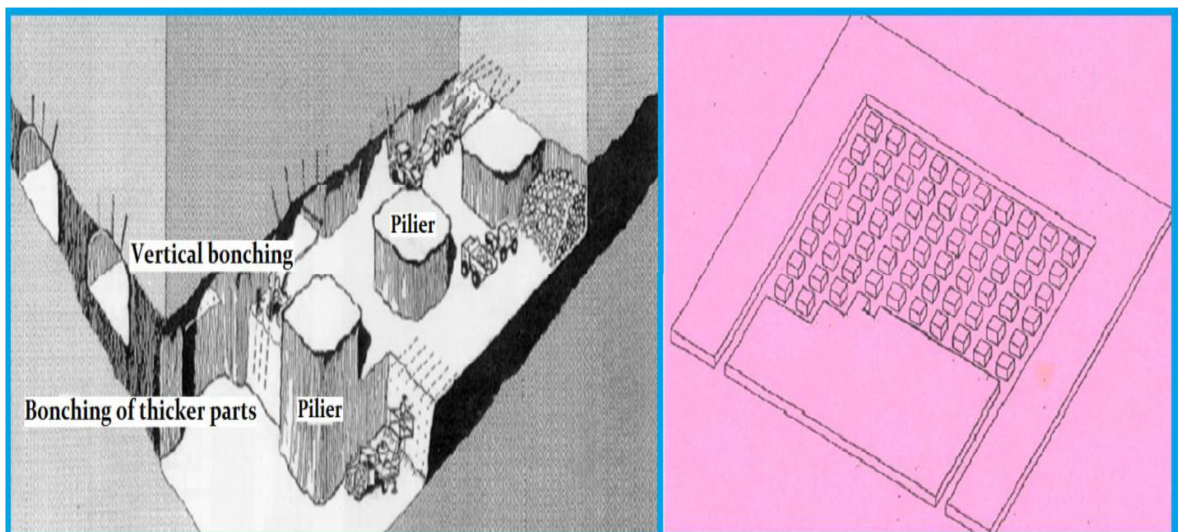
La méthode d'exploitation appliquée à la mine d'El Abed est celle par chambres et piliers abandonnés. Elle consiste à enlever le minerai partiellement et abandonné des piliers systématiques. Les dimensions des chambres et des piliers sont de 5x5m ou 6x6m, avant de procéder aux travaux de défilage on doit préparer des blocs de 50x50m, pour des traçages horizontaux perpendiculaires, de même section que les galeries de panneaux (fig 30).



**Fig 30:** Photo d'une chambre et d'un pilier abandonné à *El Abed*.(BOUDIAF.M)

### V-I-2- Travaux d'abattages

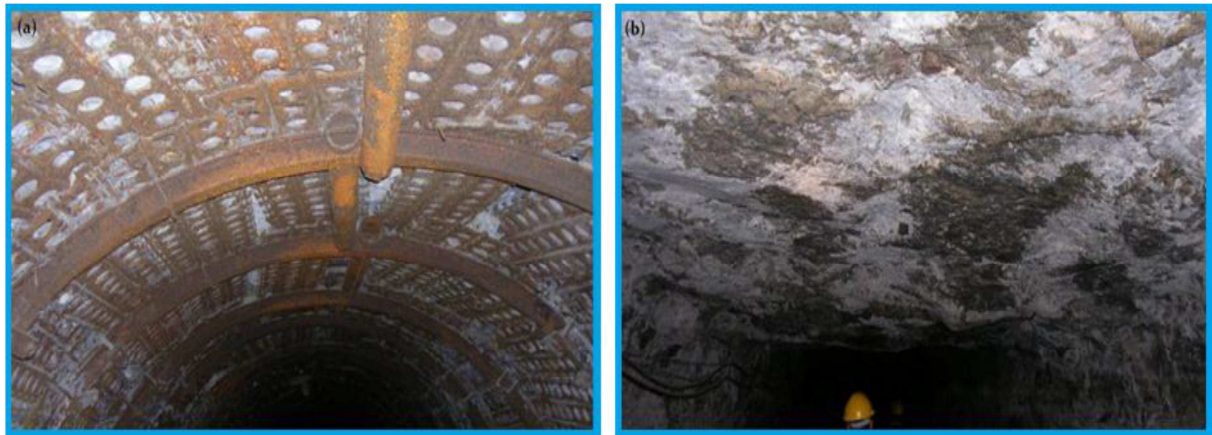
L'abattage du minerai se fait par l'explosif, la perforation des trous de mine se fait par marteau perforateur disposés sur un système pneumatique qui est destiné à lever le marteau et à l'avancer vers la taille. Le plan de tir utilisé est le même que pour les travaux préparatoires, c'est-à-dire on utilise les bouchons en coin horizontal (fig 31)



**Fig 31 :** schéma d'abattage Chambres et piliers abandonnés (BOUDIAF.M)

### V-I-3 Les techniques de soutènement

Le soutènement joue un rôle principal dans ce type d'exploitation, il contribue à la stabilité du massif rocheux. Il existe deux types de soutènement dans la mine d'El Abed, un soutènement naturel pour les roches dures et un soutènement artificiel pour les roches tendres (fig32).



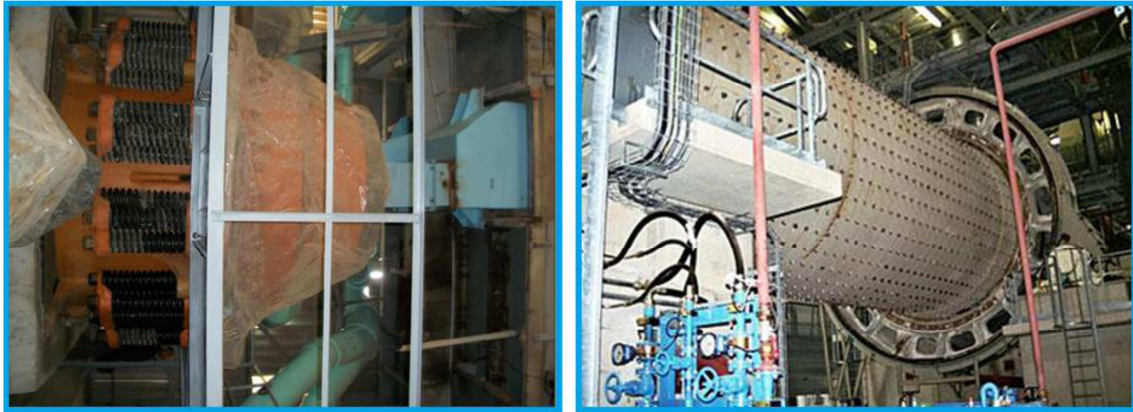
(a) : Soutènement artificiel

(b) : Soutènement naturel

**Fig 32:** photos montrant les types de soutènements (BOUDIAF M)

### V-I-4- Traitement mécanique et chimique du minerai

Le traitement du minerai est effectué au niveau de la laverie d'El Abed, Le concassage s'effectue en trois étapes, primaire et secondaire ou en emploi un concasseur à mâchoire et ensuite tertiaire par des concasseurs à cônes. Une fois le minerai concassé il est dirigé vers une trémie de stockage dont la capacité est de 4000t. Ce même minerai subit ensuite une classification et un broyage dans les classificateurs à spirales et dans les broyeurs à boulets de 60 et 80mm de diamètre. . Le criblage est réalisé par des tamis vibrants à deux étages et deux lignes en parallèle. Les tamis en acier utilisés sont de 12x12, 14x14, 24x24. En fonction de la qualité du minerai tout-venant.



**Fig 33 :** Photo montrant un concasseur à cône et un broyeur à boulets (BOUDIAF M)

L'unité de flottation de l'usine est destinée au traitement du minerai tout venant (plomb et zinc) provenant des quartiers Ain Arko, Alzi et El Abed. La capacité de production est de 2000t/j de minerai. La flottation sélective est assurée par des cellules. D'abord on commence par la flottation de Plomb et ensuite par celle du Zinc.

Les produits enrichis sont envoyés vers des cellules releveuses pour être récupérés comme concentrés (produits final), ces concentrés sont épaississais-filtrés-séchés et prêts à l'enlèvement (chargement-expédition).



**Fig 34:** Photo montrant les cellules de flottation du minerai(BOUDIAF M).

La récupération des produits Pb-Zn étant achevée, les résidus (stériles définitifs) sont évacués vers un dépôt de stérile (digue) où ils sont stockés. Le traitement nécessite beaucoup d'eau à raison de 3.6m<sup>3</sup> /t environ, pour subvenir aux besoins de la laverie les exploitants utilisent l'eau souterraine, qui est pompée dans un réservoir de 150m<sup>3</sup> situé à proximité.

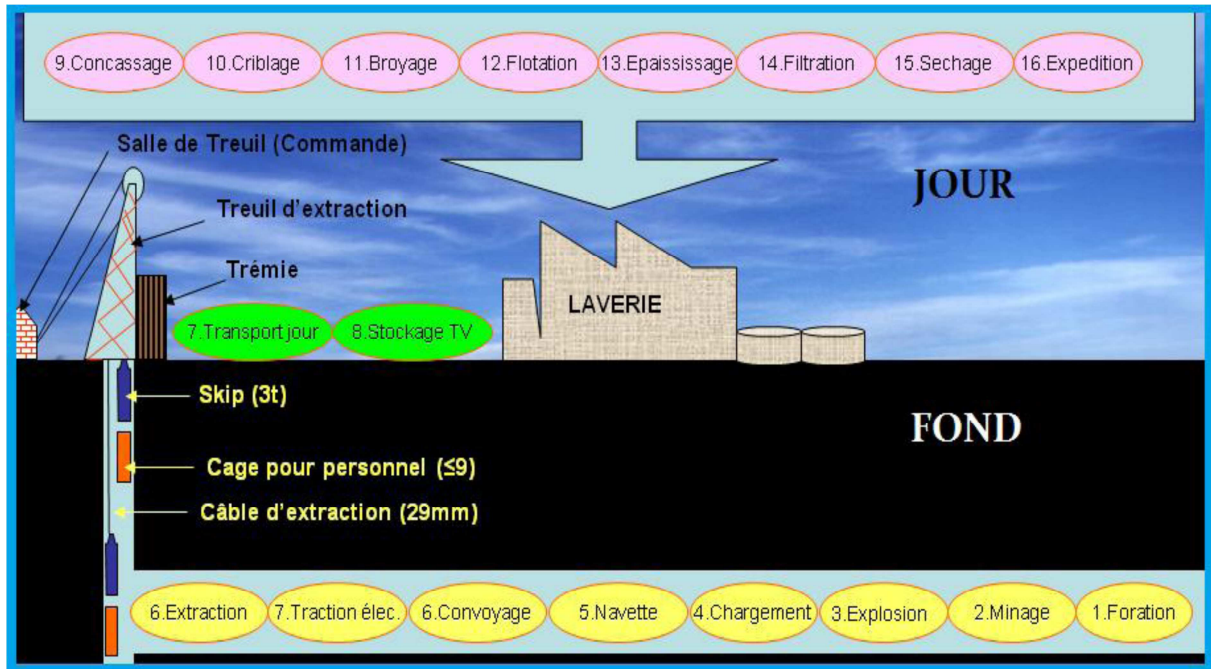


Fig 35 : Schéma montrant les étapes d'exploitations et de traitement du minerai (LABCHRI D).

## V-II-Etat actuel du site

Depuis la mise en arrêt des activités minières par l'ENOF en 2002, le complexe minier d'El Abed est resté presque à l'abandon, sauf pour le puits (III) qui a servi pendant plusieurs années comme moyen d'accès à la mine, pour les stagiaires de l'école des mines d'El Abed (EMEA), et les universitaires. Au cours de l'année 2006 la mine a suscité l'intérêt d'une entreprise chinoise (BEERGM) pour une éventuelle reprise de la production de concentré de Zn et de Pb.

Cependant L'accord signé avec les chinois, n'a abouti à rien de concluant, vu qu'ils sont partis après plusieurs mois en abandonnant la plupart de leurs matériels et leurs équipements sur place.

**V-II-1. Les puits (III, IV, V)**

Le puits (III) situé au Nord Ouest d'El Abed au niveau de l'école des mines, il est actuellement hors service.

Le puits (IV) situé au Nord Est d'El Abed près de la laverie, actuellement hors service.

Le puits (V) situé au Nord du village d'El Abed près de la route nationale (N99), utilisé à l'origine pour l'aération, il est actuellement hors service.

Le matériel utilisé pendant l'exploitation dans les trois puits (engins, camions,...) est abandonné sur place.



**Fig 36 :** Photographie du puits (III)(BOUDIAF M).

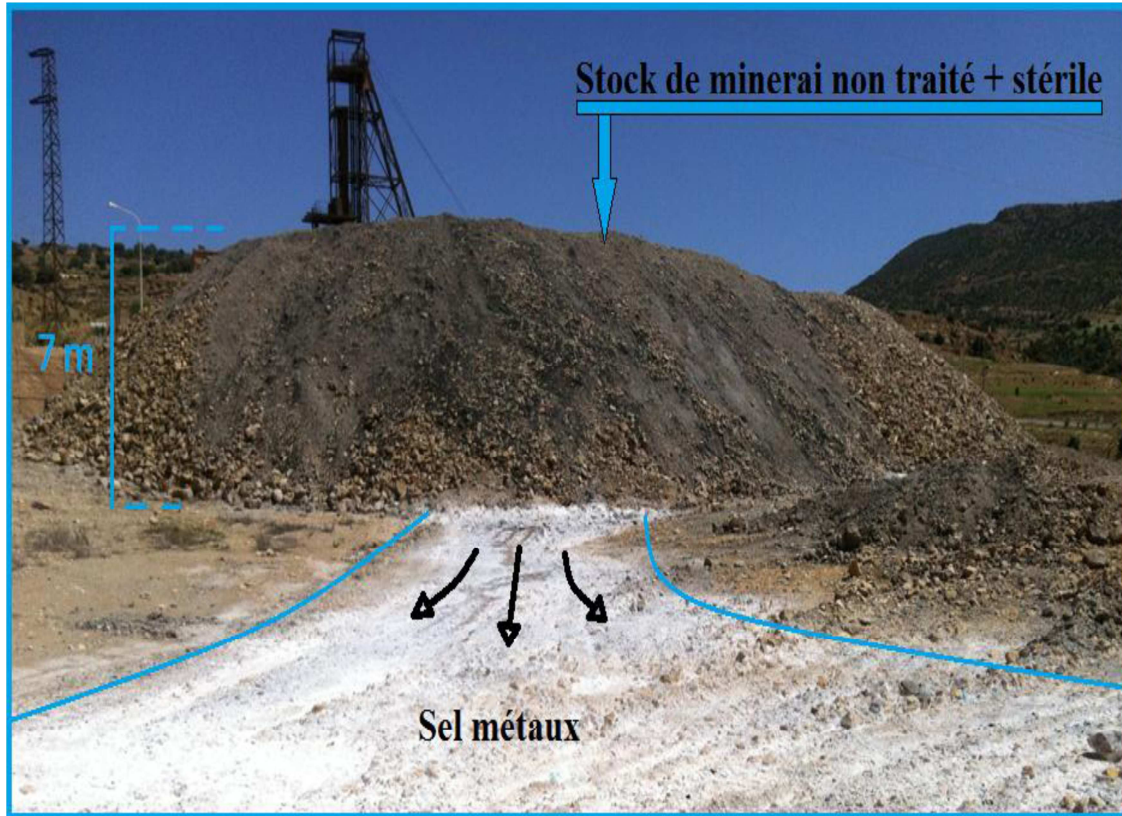


**Figure 63:** Photographie du puits (IV).



**Figure 64:** Photographie du puits (V).

Au niveau de puits (IV), on retrouve un petit stock de minerais laissé à l'air libre par la société chinoise, sous l'effet de la pluie les métaux sont dissous et transportés par les eaux de ruissèlement.



**Fig 37:** Photo montrant le stock de minerais laissé par la société chinoise (BOUDIAF M).

**V-II-2.Laverie**

Située au Nord-est du village, elle fut construite et mise en service en 1972, avec une capacité de traitement de 600.000 tonnes par an de tout-venant. Elle est actuellement hors service en raison de la fermeture de la mine.



**Figure 38 : Localisation et état actuel de la laverie**

**V-II-3.La digue :**

Située à quelques centaines de mètres au Sud du village d'El Abed au milieu d'une zone agricole, elle est non sécurisée avec une superficie d'environ 365062 m<sup>2</sup> et d'une épaisseur d'environ 5 à 15 mètres par endroits, cumulant un volume de 5475930 m<sup>3</sup>. Elle est constituée d'environ 15 Millions de tonnes de déchets à éléments très fins, accumulés durant toute la période de traitement du minerai primaire. Ces éléments sont en contact directe avec les Oueds, la végétation et la faune locale ainsi qu'avec les champs cultivés par les agriculteurs de la région.

La digue n'a fait l'objet d'aucune campagne de réhabilitation, par l'état ce qui affecte énormément la région du point de vue environnementale.



**Fig 41 :** photo montre la localisation et état actuel da la digue d'el abed  
(BOUDIAF M)

### III-Drainage minier

#### III-1-Définition

La quantité importante de rejets aura un impacte négatif majeur sur l'environnement si la gestion de ces derniers n'est pas faite correctement. Dépendamment de leur composition, la stabilité chimique des résidus cause des problèmes environnementaux importants la présence de minéraux sulfureux dans les rejets peut causer une baisse significative du pH du notamment à l'oxydation de ces sulfures. Ce phénomène est le DMA .de moindre ampleur, le DNC est aussi problématique .il peut entrainer dans l'environnement des métaux lourd a des concentrations supérieures a celles exigées par les gouvernements

##### **Le DMA :**

Le drainage minier acide (artificiel) ou drainage rocheux acide (naturel), est un phénomène chimique et biologique qui conduit à la production d'eau acide suite à l'oxydation des sulfures métalliques. Théoriquement, cette oxydation résulte des réactions chimiques et biologiques dues à l'exposition à l'eau et à l'air (conditions atmosphériques) des minéraux sulfureux acidogènes tels que : la pyrite, la marcassite, l'arsénopyrite, la pyrrhotite. Ces réactions libèrent des substances dans le milieu entraînant par la suite la précipitation des métaux lourds tels que (Zn, Pb, As, Cd...) solubles lorsque le pH est bas,

##### **Le DNC :**

Le DN C est un drainage qui a un pH neutre, mais dans lequel on retrouve des hautes concentrations en métaux lourds .plusieurs processus peuvent mener au DNC .en raison de l'abaissement de pH, l'oxydation des minéraux sulfureux générateurs d'acide cause la dissolution d'autres minéraux qui se trouvent dans les rejets miniers.au digue ;les éléments plus problématiques reliés au DNC sont Pb, Zn Cd, lorsqu'il y a présence de minéraux neutralisants dans les rejets, ceux-ci peuvent ramener le PH près de la neutralité. Certains métaux peuvent cependant rester dans en solution, le DNC peut aussi être le produit de l'oxydation de minéraux sulfureux non générateur d'acide, comme la sphalérite, qui largue du zinc en solution à des pH près de la neutralité, et un autre qui peut mener à la production de DNC est lié aux résidus entreposés sous une barrière capillaire ou sous un recouvrement en eau .le faible apport en oxygène limite l'oxydation des sulfures, mais peut causer des concentrations en métaux lourds supérieures aux normes de rejet .

Le contrôle et la prévention du DNC sont intimement liés aux mesures prises pour contrôler le DMA .comme le phénomène du DNC peut causer par les altérations de pH qui entraînent la dissolution de métaux ; les méthodes pour empêcher l'action oxydante sont privilégiées.

### **III-2-Techniques d'approche :**

#### **A-Localisation des zones d'échantillonnages**

Dans le but de mettre en évidence l'impact de la pollution générée par l'exploitation de la mine d'El Abed, sur l'environnement. L'échantillonnage est effectué dans la digue située à proximité du site minier.

#### **B-Station**

Les échantillons sont prélevés au niveau de la digue , les coordonnées géographiques de la digue sont (34°27,244'N & 01°41,373'W), avec une altitude de 1216m.

#### **C-Echantillonnages**

Les diverses analyses ont été réalisées dans laboratoire de l'université (UMMTO). Les échantillons prélevés sur le terrain sont soumis à l'étude des paramètres suivants : La granulométrie, le PH, la conductivité électrique

### **III-2-1-Analyses effectués**

#### **III.2.1.1.analyse granulométrique par tamisage sec :**

L'analyse granulométrique est réalisée par tamisage, les échantillons de résidus été séchés à l'aide d'un four à une température élevée avant d'être séparés pendant dix minutes, par des colonnes de tamis calibrés (inférieur à 2 mm),

L'analyse granulométrique par tamisage à sec est une méthode analytique qui permet d'étudier la granularité d'un échantillon. Autrement dit, la distribution dimensionnelle des grains. Avant d'aborder le mode opératoire, des définitions de quelques termes techniques propres à la méthode nous semblent nécessaires :

- ✓ Le tamisat : C'est la quantité de matériaux passée à travers un tamis.
- ✓ Le refus : C'est la quantité retenue par un tamis.
- ✓ Le refus cumulé : C'est la somme de tous les refus du tamis, c'est-à-dire le refus du tamis lui-même plus ceux des tamis de mailles supérieures. Le refus cumulé est exprimé en pourcentage (%) ou en gramme.

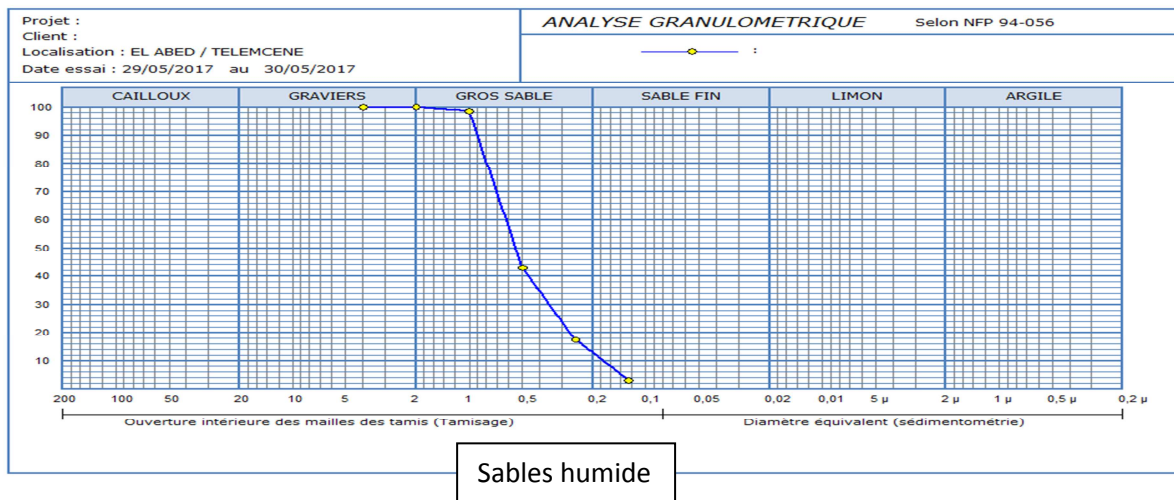
➤ **a- mode opératoire est simple :**

Il consiste à classer les grains de l'échantillon à l'aide d'une série de tamis emboîtés les uns dans les autres avec des dimensions de mailles décroissantes de haut en bas. L'échantillon est préalablement séché à l'étuve et désagrégé. Il est ensuite placé dans le tamis du haut et par vibration, on répartit les grains dans les différents tamis en fonction de leur grosseur,

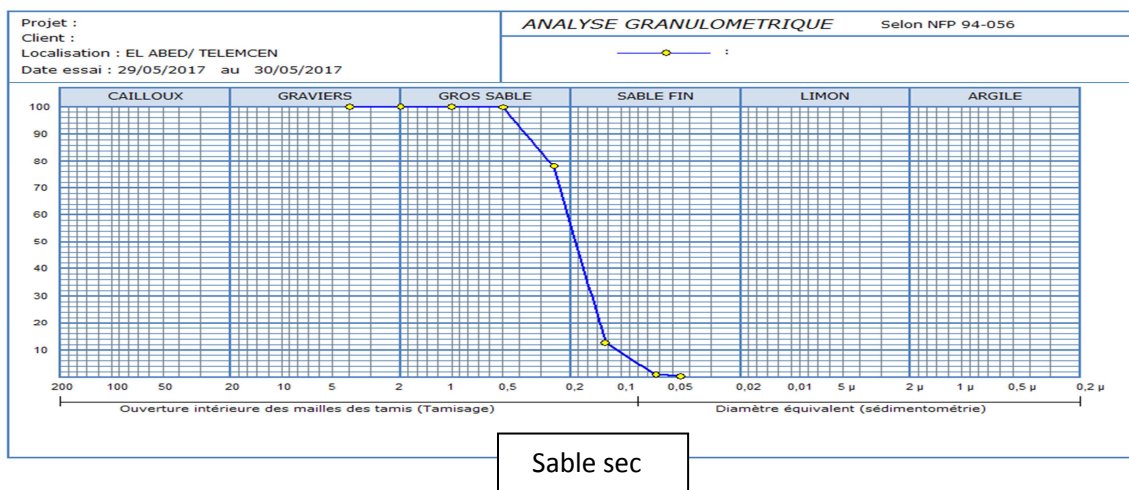
Le refus de chaque tamis est pesé et le refus cumulé est calculé.

➤ **b-résultats de l'étude granulométrique**

Les résultats de l'analyse granulométriques sont exprimés sous forme de graphes, (voir ci-dessous).



Sables humide

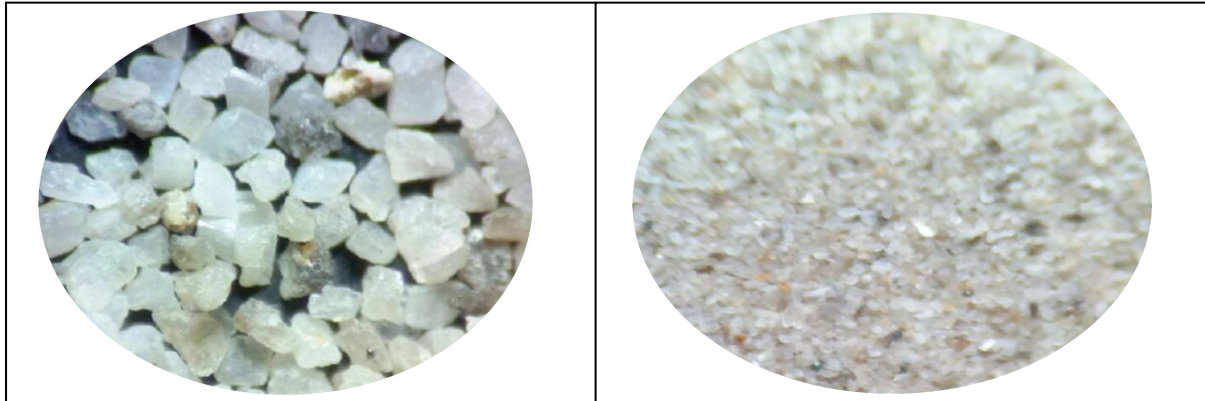


Sable sec

**Fig 42** : courbes cumulatives des différents échantillons de la digue (Sable humide et sec)

(M<sup>me</sup> .ABDERAHMANE)

- Cette granularité s'observe également sous la loupe binoculaire comme la montre les photos ci-dessous.



**Fig 43** : sables grossiers (500Um)

**Fig 44** : sables fins (45Um)

#### DISCUSSION :

- Les courbes granulométriques issues de l'analyse granulométrique de nos échantillons montrent que les éléments de la digue sont composés de deux fractions : sable grossiers et sable fin. On conclut que le sol prélevé de la digue d'el Abed a une texture très sableuse.
- Cette distribution granulométrique est typique d'un résidu minier issu d'un procédé de broyage d'un minerai polymétallique réalisée sur les échantillons prélevés de la digue montrant qu'elle a une nature sableuse.
- La granulométrie est le facteur naturel le plus important susceptible de faire varier les concentrations en métaux traces d'un sédiment, en effet, les métaux présentent une grande affinité pour les sédiments fins, pour une simple raison physique : à masse égale, la surface disponible pour adsorber des métaux est plus importante pour des particules fines que pour des particules grossières (Chiffolleau et al, 2004).

**III.2.1.2.PH**

C'est une mesure qui donne des indicateurs sur l'acidité ou la basicité de l'eau et du sol. La mesure du pH s'accomplit à l'aide d'un pH-mètre. D'une manière générale le pH se mesure sur une échelle de 1 à 14.

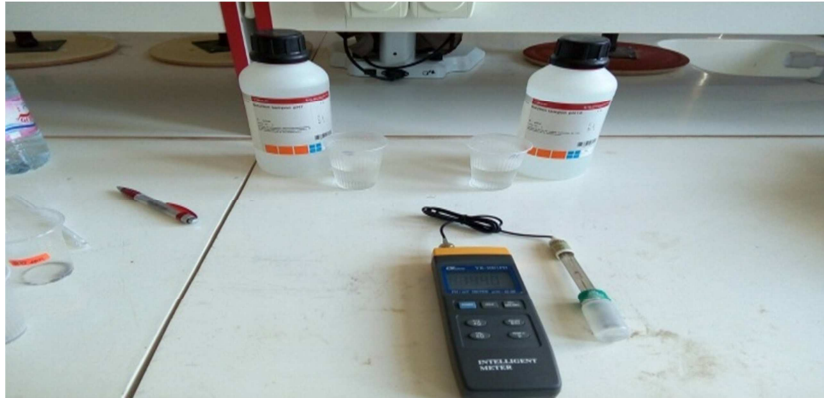
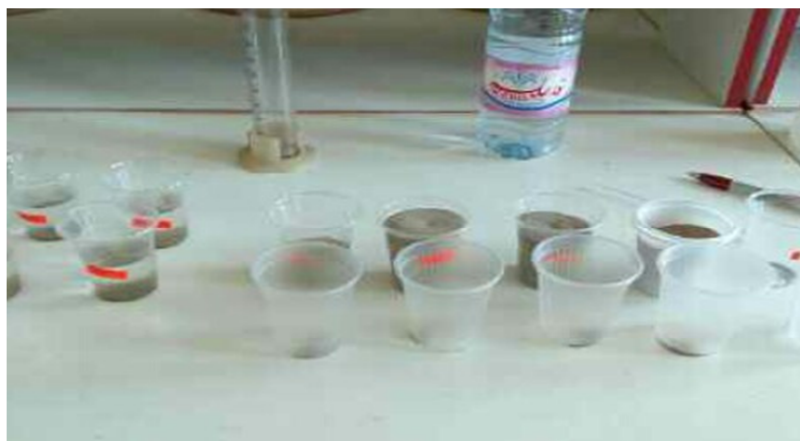


Figure 45 : photo de PH mètre (YOUSFI G)

➤ **A-Le mode opératoire pour cette analyse est la suivante :**

Après avoir réalisé l'analyse granulométrique de l'échantillon on sélectionne les classes granulométriques suivantes : 45Um, 63Um, 125Um ,250Um, 500Um) .on mesure 2 grammes de chaque échantillon pour les différentes fractions granulométrique et on le met dans un Goblet en plastique par la suit ont ajouté de l'eau (figure ci dessous) :



**Fig 46** : une photo des échantillons préparés pour mesurer le PH et la conductivité électrique (YOUSFI G).

On a fait des manipulations sur plusieurs fractions de sol de la digue (sable 2g +100 ml l'eau) agité manuellement laisser décanter 30mn pour calculé le PH de chaque solution.

➤ B-Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Fraction (Um)	500 Um	250 Um	125Um	63Um	45Um
PH	7,75	7,69	7,70	7,91	7,78

Figure 47: Tableau 1 du résultat des analyses de ph.

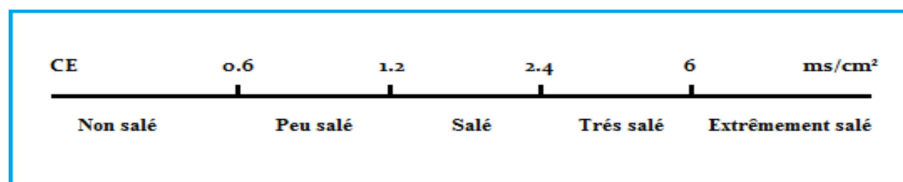
➤ **Discussion:**

Le pH est un paramètre chimique qui mesure la concentration en ions  $H^+$  dans une solution. D'après notre mesure, le PH est **basique** comprise entre (7,69 et 7,91). Ces résultats montrent que les rejets miniers de la digue (d'El Abed) génèrent des solutions sensiblement neutres à légèrement basiques.

### III.2.1.3. Conductivité électrique

Elle reflète le degré de saturation en ions dans le sol. La détermination de la conductivité électrique se fait sur extrait de sol (2g sable/100ml d'eau) à l'aide d'un conductimètre.

L'estimation de la teneur globale en sels dissous a été faite à l'aide de l'échelle de salure des sols.



**Figure 48 :** Echelle de salure en fonction de la conductivité de l'extrait aqueux aux 1/5 relations de Richards in Aubert.

➤ **A-Le mode opératoire pour cette analyse est la suivante :**

Dans les mêmes solutions on fait cette mesure ; et avant de passer d'un échantillon à un autre pour chaque mesure, on nettoie l'électrode de conductimètre de façon adéquate pour limiter les possibilités de contamination et obtenir un résultat fiable. Les résultats obtenus seront comparés à une échelle de salinité.

La conductivité électrique, elle traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique et est directement liée à la quantité de solides (ions) dissouts dans la solution.

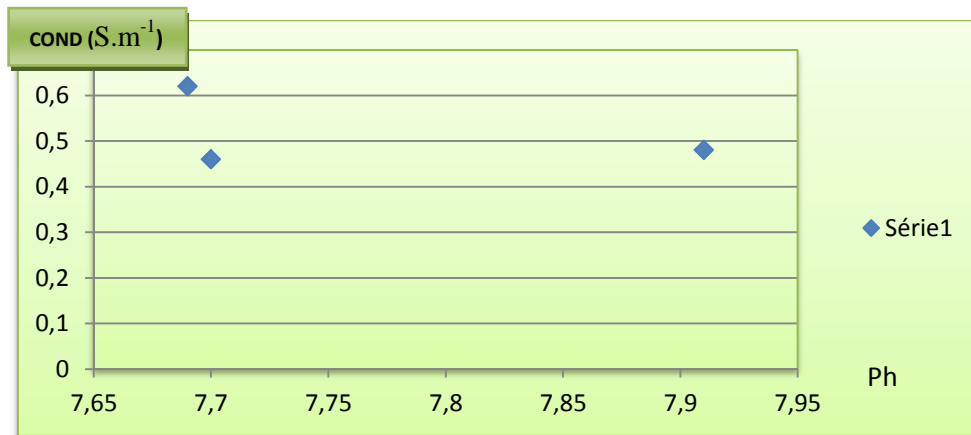
➤ **B-Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :**

Fraction(µm)	sable non tamisé	250µm	125µm	63µm
Conductivité électrique(S.m <sup>-1</sup> )	0,61	0,621mv	0,467mv	0,485mv

Figure 49: Tableau de résultats des analyses de la conductivité électrique.

➤ **Les résultats des analyses de la conductivité électrique :**

- ✓ La conductivité électrique dépend à la fois de la concentration des ions présents dans la solution, de leurs charge électronique et de leur nature ;
- ✓ d'après les résultats obtenus on a conclu que plus la concentration en ion dans la solution n'est importante, plus la conductivité est élevée.
- ✓ Ces résultats montrent que ces rejets miniers génèrent des solutions faiblement conductrices ( $0,467 \text{ S.m}^{-1} \leq \text{conductivité} \leq 0,621 \text{ S.m}^{-1}$ ). La faible conductivité confirme que les réactions d'oxydation des sulfures sont stoppées à un stade très précoce, ce qui limite la libération des ions H<sup>+</sup> dans l'eau.



**Fig.50 : Graphique de la conductivité en fonction du Ph(YOUSFI G)**

Le graphe précédent (fig.50) constitue une représentation graphique des conductivités électriques en en fonction du pH. Le pH est un paramètre chimique qui mesure la concentration en ions  $H^+$  dans une solution. Quant à la conductivité électrique, elle traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique et est directement liée à la quantité de solides (ions) dissouts dans la solution.

Ces résultats montrent que les rejets miniers de la digue d'El Abed génèrent des solutions sensiblement neutres à légèrement basiques ( $7.69 \leq \text{pH} \leq 7.91$ ) et faiblement conductrices ( $0.46 \text{mv} \leq \text{conductivité} \leq 0,62 \text{mv}$ ). La faible conductivité confirme que les réactions d'oxydation des sulfures sont stoppées à un stade très précoce, ce qui limite la libération des ions  $H^+$  dans l'eau.

➤ **Analyse chimique des ETM de la digue :**

		Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	As (ppm)
Echantillon	(a)	677	809	27	/	/
	(b)	1460	2120	23	280	29
Valeurs normales selon Bowen 1979		35	90	0.35	30	6
Valeurs limites selon Baize		100	300	2	125	15

Figure 51 : Tableau 3 de Résultats des analyses chimiques des échantillons de la digue (BOUDIAF M)

### V.2.1.4. Analyse minéralogique

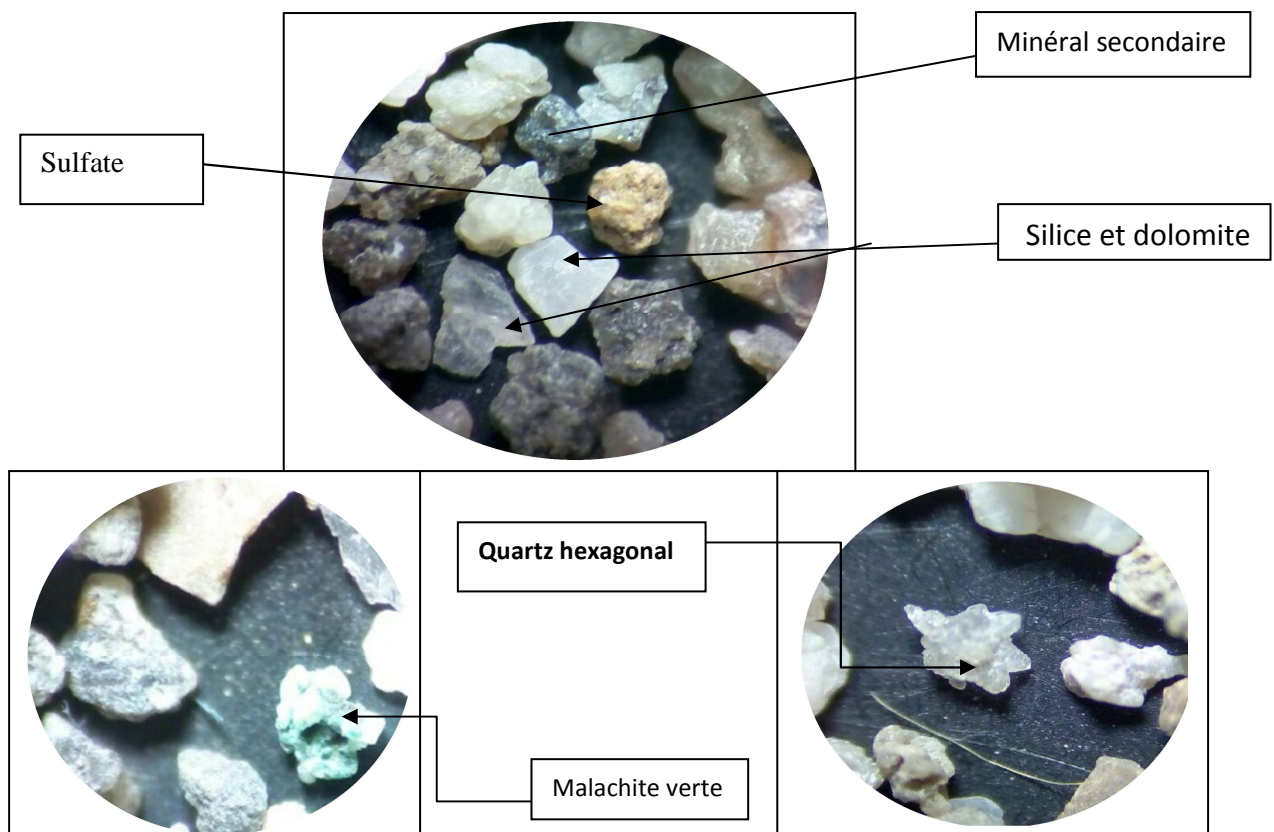
La digue d'El Abed est constituée essentiellement de dolomie ( $\text{CaMgCO}_3$ ) et de silice ( $\text{SiO}_2$ ), et accessoirement de sulfures (pyrite, galène et sphalérite). Ces éléments se présentent sous forme de sable fin, qui résultait du processus de traitement du minerai. La pyrite se présente en petits grains isolés de couleur jaune d'orée, par contre la galène et la sphalérite se présentent en fragments associés aux grains de dolomite. On note également la présence de carbonates de Plomb et de Zinc ainsi que des rhomboèdres de dolomies.

Les résultats d'analyse minéralogique des éléments de la digue sont consignés dans le tableau suivant :

Phases minérales	Formules	Rejets miniers (%)
Silice	$\text{SiO}_2$	7.17
Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	1.93
Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	76.6
Ankérite	$\text{Ca}(\text{FeMgMn})(\text{CO}_3)_2$	5.8
Smithsonite	$\text{ZnCO}_3$	3.8
Kaolinite	$\text{Al}_2\text{SiO}_2(\text{OH})_4$	4.7
Malachite	$\text{Cu}(\text{CO}_3)_2$	1.9
Cérusite	$\text{Pb}(\text{CO}_3)$	2.9

Figure 52 ; Tableau 4 : montrant les phases minérales des rejets miniers déterminées par DRX.

L'observation des éléments de la digue sous la loupe montre qu'ils sont constitués par des grains de dolomite de couleur blanche, de malachites on note l'existence des minéraux métalliques (galène, pyrite et chalcoppyrite) sous forme de petits cristaux de couleur sombre, des sulfates



**Figure 53** : Photos montrant les éléments de la digue sous une loupe binoculaire  
(YOUSFI G et OUMAIOUF F)

L'observation des éléments des différentes fractions sous la loupe binoculaire montre :

➤ Pour la fraction 45Um et 63Um :

- minéraux métalliques (pyrite, chalcopirite, galène) et la matière organique en couleur sombre.
- Carbonates (dolomite) et le quartz.

➤ Pour la fraction 125Um et 250Um:

- Les dolomies beaucoup plus abondantes de couleur blanche.
- Des minéralisations disséminées (pyrite, galène, sphalérite, marcassite).
- Quartz.

➤ Pour la fraction 500Um :

- La minéralisation disséminée dans les dolomies (pyrite et galène).
- Des traces de résidus (sulfates) sous forme d'une couche blanche.
- Malachite (couleur verte).

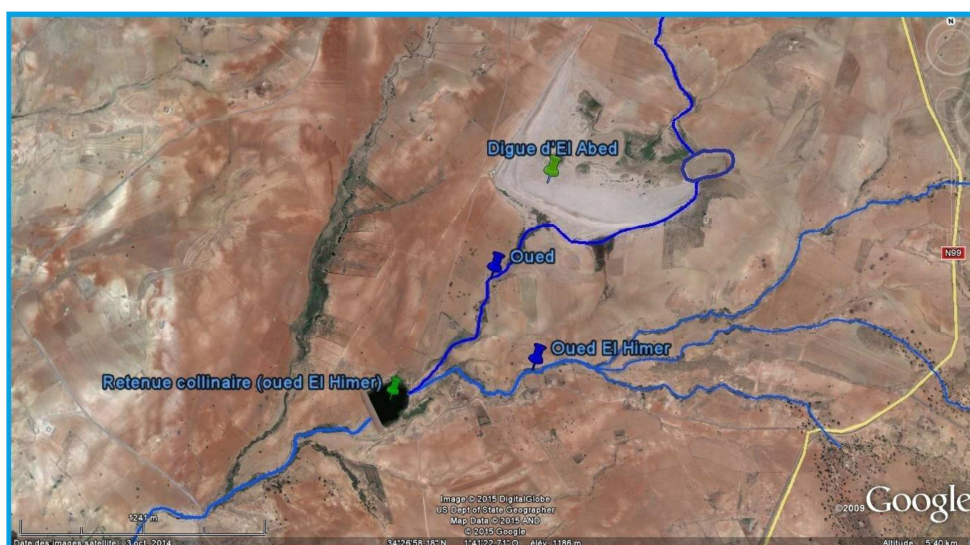
### ✓ Conclusion des analyses

La digue d'El Abed est constituée essentiellement de dolomie ( $\text{CaMgCO}_3$ ) et de silice ( $\text{SiO}_2$ ), et accessoirement de sulfures (pyrite, galène et sphalérite). Ces éléments se présentent sous forme de sable fin.

Cependant, les résultats des analyses minéralogiques montrent que ces rejets miniers sont plus riches en minéraux neutralisants (carbonates) qu'en minéraux acidogènes (pyrite principalement). Grâce à leur pouvoir neutralisateur, ces carbonates inhibent les réactions d'oxydation génératrices du DMA en les stoppant à un stade très précoce. ce qui explique les tests de prédiction à des Ph tous supérieurs à 7.00, traduisant un milieu basique , et des faibles conductivités électriques (comprises entre  $0,69\text{Sm}^{-1}$  et  $0,91\text{Sm}^{-1}$ ) prouvant que la libération des ions  $\text{H}^+$  dans l'eau est limitée.

Ces rejets miniers sont riches en carbonates neutralisants (calcite et dolomite), qui bloquent l'oxydation des sulfures (pyrite), l'analyse des éléments trace de la digue montre la présence de métaux "pollution", d'où la génération de drainage minier neutre contaminé.

Durant la période hivernale, les fortes accumulations des eaux de pluies provoquent la saturation de la digue. Ce qui engendre par la suite un déplacement de ces eaux par ruissellement vers la retenue collinaire de l'Oued El Himer, tout en ramenant avec elles des proportions plus ou moins importantes d'éléments de la digue. Cela explique les teneurs élevées en Pb et en Cd dans les eaux de la retenue.



**Figure 54** : Image satellitaire montrant les cours d'eau à El Abed (Google, 2009).

### III.3. Introduction sur l'environnement

Le site minier d'El Abed est caractérisé par la persistance d'immenses tonnages de résidus miniers dont la nocivité est à l'origine dans de nombreux cas, d'importants impacts environnementaux.

L'impact environnemental désigne l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendré par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits, de sa conception à sa « fin de vie ».

L'impact qu'un résidu minier peut avoir sur l'environnement dépend essentiellement de la capacité polluante potentielle des substances qu'il contient ainsi que l'éventuel mouvement dans l'espace de ces substances.

La notion d'impact environnemental ne prend tout son sens que si elle inclut un changement des paramètres environnementaux, suite à l'activité minière. Ces paramètres qui régissent la qualité de l'environnement, peuvent avoir plusieurs composants :

- la qualité esthétique visuelle,
- la composition chimique des eaux, sols,
- la diversité biologique.

La contamination par les éléments traces métalliques (ETM) des sols, de l'atmosphère, de l'hydrosphère et des sédiments représente un problème environnemental majeur. Ces éléments sont d'origines naturelles (altération des roches, volcanisme, érosion..) mais ils sont aussi issus des activités anthropiques (exploitation minière, industries métallurgiques..).

L'exploitation minière est une source principale d'ETM, en effet, durant la majorité des étapes de son développement, elle affecte à divers degrés l'environnement et généralement de façon irréversible, et induit formellement, la décadence de l'écosphère. Les résidus de traitement et de décapage issus de l'activité minière sont délaissés sur place, et constituent une source de contamination importante, à court, et à long terme, particulièrement les résidus de traitement, riche en éléments traces métalliques.

### **V.9.1. Les éléments traces métalliques (Pb, Zn, Cu, Cd, As)**

Les éléments traces (ETM), sont les 80 éléments chimiques constituant la croûte terrestre. La concentration de ne dépasse pas 0.1%. L'ensemble de ces éléments constitue seulement 0.6% du total, tandis que les 12 éléments majeurs, (O ; Si ; Al ; Fe ; Ca ; Na ; K ; Mg ; Ti ; H ; P ; Mn), représentent 99,4 %.

On distingue 2 catégories d'éléments traces :

#### **V.9.1.1. Eléments traces essentiels :**

Indispensables aux processus biologiques, mais sont toxiques à fortes concentrations (ex : cuivre (Cu), Zinc (Zn), Fer (Fe), chrome (Cr)),

#### **V.9.1.2. Eléments traces non-essentiels :**

Ces éléments n'ont aucune fonction métabolique (ex : Pb, Cd, Hg), ils sont souvent toxiques à un seuil inférieur à celui des éléments essentiels.

## **V.3.1. Impact sur les ressources en eaux**

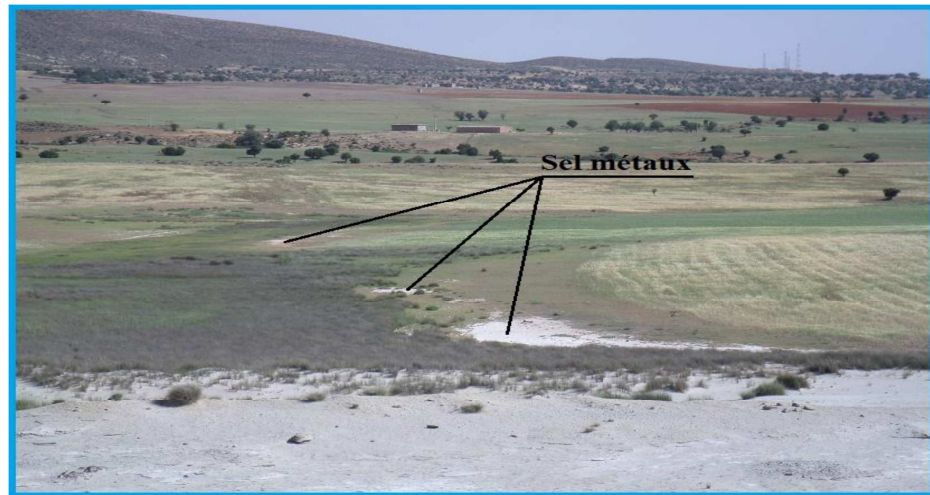
### **V.3.1.1. Les eaux souterraines**

Le creusement des galeries modifie profondément les voies naturelles de circulation des eaux et crée des exhaures à flanc de collines, ce qui réduit leurs disponibilités dans la région.

La longévité et l'intensité de l'activité minière à El Abed durant plusieurs décennies et en se basant sur les résultats de nos analyses chimiques des ETM, nous amènent à penser que les ressources en eaux souterraines au voisinage du site minier peuvent être contaminées par les métaux lourds (Pb, Zn, Cd), et d'autres produits chimiques. Ce qui induit à la contamination des cultures, des végétaux et de toute la région vu que ces eaux sont utilisées pour l'irrigation des terres agricoles, ainsi qu'à la consommation humaine et par la faune terrestre native.

### **V.3.1.2. Les eaux de surface**

Les résidus de la digue jouent actuellement le rôle principal dans la contamination des eaux de surfaces, ce qui affecte également les champs de cultures et les animaux de la région vu que cette eau leur est indispensable.



**Figure 55:** Photo montrant le sel de métaux déplacé par les eaux de ruissellement

(BOUDIAF M)

### V.3.2. Impact sur le sol

Du moment que l'activité minière est à l'arrêt depuis l'an 2002, la digue d'El Abed représente l'impact majeur pour les sols avoisinants ce dépôt de résidus miniers. Cet impact est régi par une pollution des sols (végétal, agricole), issues des particules fines de métaux lourds entreposés à quelques centaines de mètres en aval de la laverie au niveau de la digue.



**Figure 56 :** Photo montrant une décoloration des sols contaminés au pied de la digue

(BOUDIAF M).

### V.3.3. Impact sur l'air

Les vents et l'évapotranspiration qui caractérisent la région d'étude permettent le transport aérien des éléments de la digue riches en métaux lourds (Pb, Zn, Cd), qui se déposent et contaminent le sol, l'eau et la végétation représentant ainsi un risque de contamination de la chaîne alimentaire.

La pollution de l'air dans la région se limite aux particules de matières très fines qui jaillissent de la digue sous l'effet des vents violents



**Figure 57** : Photo montrant le déplacement des éléments de la digue par l'effet du vent.

(BOUDIAF M)

#### V.3.4. Impact sur la faune et la flore

On se basant sur nos observations sur le terrain, la végétation à proximité de l'usine de traitement et de la digue d'El Abed semble affectée par les déchets miniers rejetés par ces deux installations. Cependant, vu que la végétation est peu développée dans la région, nous n'avons pas observé de détérioration plus importante, mais on not que la végétation au niveau de la digue est très réduite.

-La faune locale subit elle aussi les inconvénients de l'activité minière, les impacts sont régit par plusieurs phénomènes :



**Figure 58** : Photo montrant les champs de céréales au pied de la digue (BOUDIAF M).

### V.11. Conclusion

La digue d'El Abed est constituée essentiellement de dolomie ( $\text{CaMgCO}_3$ ) et de silice ( $\text{SiO}_2$ ), et accessoirement de sulfures (pyrite, galène et sphalérite). Ces rejets miniers sont plus riches en carbonates neutralisants (calcite et dolomite) qu'en sulfures (pyrite). Ce qui explique le phénomène de drainage minier neutre DMNC.

Les minéraux carbonatés sont des minéraux neutralisateurs de leur prédominance dans la minéralogie des déchets miniers de la digue est le principal facteur empêchant la production du DMA.

La distribution granulométrique est typique d'un résidu minier issu d'un procédé de broyage d'un minerai polymétallique réalisée sur les échantillons prélevés de la digue montrent qu'elle a une texture très sableuse.

L'analyse de la composition des rejets des de la digue d'El Abed a indiqué que les pH sont tous supérieurs à 7 et traduisent ainsi un milieu basique légèrement neutralisé, et les conductivités électriques sont comprises entre  $(0,467(\text{Sm}^{-1})) \leq \text{conductivité} \leq 0,621 (\text{Sm}^{-1})$  indique que ces derniers génèrent des solutions faiblement conductrices. La faible conductivité confirme que les réactions d'oxydation des sulfures sont stoppées à un stade très précoce, ce qui limite la libération des ions  $\text{H}^+$  dans l'eau.

A révèle des taux élevés en ETM. L'index de pollution, souvent très élevé, montre que la combinaison en métaux dans les sols de la région est une source potentielle de toxicité pour la flore, la faune et les habitants. En plus des activités minières, ces régions connaissent une activité agricole vivrière et à prendre en considération.

La digue n'a fait l'objet d'aucune campagne de réhabilitation, par l'état ce qui affecte énormément la région du point de vue environnementale.

Malgré l'environnement hostile du milieu, plusieurs essences végétales ont été observées sur les sites et sont parfaitement adaptées aux conditions hydro-climatiques de la région. Ces espèces dites métallophiles participent à la fixation des sols et minimisent ainsi la dissémination des ETM sous l'effet de l'érosion.

**Conclusion générale**  
**et**  
**Recommandation**

## Conclusion générale et recommandation

---

Les gisements de type MVT sont des gisements épigénétiques encaissés principalement dans des dolomies. Ils constituent la principale source mondiale de Plomb et de Zinc. En Algérie, les gisements de ce type se concentrent dans la partie nord du pays, (Boutaleb, 2001), et sont donc relativement sous les mêmes conditions climatiques (climat méditerranéen semi-aride); facteur influant considérablement sur le comportement environnemental des déchets miniers.

Leur exploitation génèrent des millions de tonnes de résidus miniers riches sulfures, c'est le cas à la digue d'el Abed cette dernière est constituée d'environ 15 Millions de tonnes de déchets à éléments très fins, accumulés durant toute la période de traitement du minerai primaire. Ces éléments sont en contact directe avec les Oueds, la végétation et la faune locale ainsi qu'avec les champs cultivés par les agriculteurs de la région. Exposés aux conditions atmosphériques.

Le drainage minier est le problème environnemental le plus important lié aux activités minières. Lorsque des résidus miniers riches en sulfures sont exposés aux conditions atmosphériques, des réactions d'oxydation ont lieu entre ces sulfures, l'oxygène et l'eau pour produire du DMA. Cependant, naturel ou artificiel, ils sont neutralisés par certains minéraux, principalement les carbonates (calcite et dolomite). Et d'après l'analyse de la composition des rejets des de la digue d'El Abed a indique que les ph sont tous supérieurs à 7 et traduisent ainsi un milieu basiques légèrement neutralise, et une faible conductivité électrique comprise entre  $(0,467(\text{Sm}^{-1})) \leq \text{conductivité} \leq 0,621 (\text{Sm}^{-1})$ . La faible conductivité confirme que les réactions d'oxydation des sulfures sont stoppées à un stade très précoce, ce qui limite la libération des ions H<sup>+</sup> dans l'eau.

Ces rejets déposés a approximée de l'oued himer .ces derniers de stabilité physique faible et sans couvert végétal, sont sujets à une dispersion large sous l'effet des vents violent et des pluies orageuses que connait la région. ces derniers riche en ETM présentent une capacité polluante élevée sur l'environnement. L'analyse des éléments traces de la digue montre la présence de métaux pollution, d'ou la génération de drainage minier neutre contaminé.

Toutefois, on note que les risques des impacts liés à l'altération chimique à partir des rejets miniers étudiés est réduit suite d'une part au manque d'humidité en climat semi aride

## Conclusion générale et recommandation

---

favorisant l'abondance des carbonates et/ou les silicates dans les rejets et dans le terrain géologiques de la région.

Enfin, nous estimons que les déchets miniers des gisements algériens de type MVT, parce que ces derniers sont tous relativement sous les mêmes conditions climatiques (climat méditerranéen semi-aride), ne génèreraient pas de DMA non plus. Toutefois, chaque gisement reste unique

### Recommandations

Dans le but de remettre le complexe minier d'El Abed dans sa vocation initial, si il n'ya pas de reprise de l'exploitation dans les années à venir, on à proposés le plans de réhabilitation suivant :

L'élimination des risques d'effondrement et d'affaissement des soles par le comblement des anciennes galeries et des puits de la mine en utilisant les déchets du stérile et du tout venant « mine ».

L'aménagement et la remise en état du site minier d'El Abed en procédent à une désinfectassions des différentes installations « laverie, les puits...etc», et à l'évacuation du matériels abandonnés après l'arrêt de l'activité minière.

L'utilisation des rejets miniers comme granulats « mortier » incorporés dans une matrice cimentaire forment un agrégat à matériaux stables limitant la ré-expulsion du Pb et du Zn dans la nature.

La couverture de la surface des rejets miniers par des produits imperméables « géotextiles, argiles » tout en réalisant des conduits d'eau. Ces eaux seront stockées puis recyclées. pour diminuer du DMNC.

La phytoremediation ; la mise en végétation des terrains affectés par l'activité minière, soit en procédant à l'implantation directe en utilisant une végétation comparable à celle préexistante, « pins d'Alep, laurier, graminée, halfa », ou en utilisant des plantes dite hyper-accumulatrices capables d'absorbées et de stabiliser de grande quantités de métaux lourds.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- **ABADAZ. (1982)** - contribution à l'étude minéralogique du gisement de Pb-Zn d'El Abed. Mémoire d'ingénieur USTHB. Alger.
- **B. TOUAHRI (1983)** publie une étude métallogénique et géochimique sur le gisement d'El Abed.
- **BENEST ET BENSALAH (1995)** étudient l'Eocène continental dans l'avant pays alpin d'Algérie.
- **BENEST, BENSALAH ET BOUABDELLAH (1999)** font une étude sur la couverture mésozoïque et cénozoïque du domaine tlemcenien.
- **BENLAMARI Azzouz (2012)** - Contribution à l'étude Géologique et Minière du gisement Plombo-Zincifère d'El-Abed (Wilaya de Tlemcen), Université Mentouri Constantine.
- **BOUABDELLAH (1993)** réalisa une étude sur les minéralisations du Touissit Boubeker.
- **BOUABDELLAH, M. 1993.** Metallogenesis of a Mississippi Valley-type district: case of the Touissit-BouBeker mining district, North-eastern Morocco. Unpub. Ph.D. thesis Ecole Poly. De Montréal: 367 (in French).
- **BOUDIAF M. (2015)** Etude de la minéralisation Pb-Zn d'El Abed (Tlemcen) et leurs impacts sur l'environnement. Master en géologie minière UMMTO .Tizi-Ouzou
- **BOUHENA S. et AOUICHET M., (2002)** - contribution à l'étude structurale et à la pétrographie des dolomies du gisement Zn-Pb d'El Abed. Mémoire d'ingénieur d'état USTHB Alger.
- **BOUTALEB A. (2001)** - Etude des minéralisations des domaines sétifien-Hodna pétrographie des dolomies, microthermométrie : implications métallogéniques. Thèse de Doctorat USTHB Alger.
- **BOUTALEB A. (2011)** - Carbonate hosted lead-zinc deposit of El Abed (Tlemcen) North Western Algeria.
- **BOUTALEB A. (2003)** - Origine et âge relatif de la minéralisation karstique d'El Abed, 2 Ème Séminaire de Stratigraphie National, Béni Abbes 7-9 décembre.
- **BOUTALEB A. et MOUSSAOUI Kh. (2010).** Etude pétrographique et microthermométrie préliminaire des dolomies et sphalérites d'El Abed -Tlemcen - Nord-Ouest de l'Algérie - Thèse de magister USTHB Alger.

## Références bibliographiques

---

- **BOUTALEB A., AFALFIZ, A., AÏSSA D. E., KOLLI, O., MARIGNAC CH. TOUAHRI, B. (2000)** - Métallogénie et évolution géodynamique de la chaîne Tellienne en Algérie. Bull. Service Géologique de l'Algérie.
- **BOUTALEB A. AISSA, D.E & TOUAHRI, B. (1999)** : Les gîtes plombo-zincifères du Hodna : Minéralisations comparables au type « Vallée du Mississipi ». Bull. Ser. Géol de l'Algérie.
- **CHAA H. (2010)** - Etude des minéralisations karstiques d'El Abed (Tlemcen). Mémoire d'ingénieur d'état USTHB (Alger).
- **DAOUADJI M, BOUDJADJAL. (2002)** - Contribution à l'étude gîtologiques de la minéralisation du gisement Zn Pb d'El Abed (W, Tlemcen) mémoire d'ingénieur d'état USTHB. Alger.
- **ELMI S. (1972)** - L'instabilité des Monts de Tlemcen et de GharRouban (Ouest Algérien) pendant le Jurassique, interprétation paléogéographique.
- **ELMI S. (1973)** - Décrochements et mouvements Atlasiques dans la région frontalière algéro-marocaine (Monts de GharRouban). C.R. Acad. Sci. Paris.
- **F. DOUMERGUE, G.M.B. FLAMAND (1910)** donna plus de détail sur la sédimentation.
- **G. LUCAS(1942)** édite des travaux, qui couvrent l'aspect (tectonique, cartographique, Paléogéographique), sur les Monts de Ghar Rouban.
- **J. POUJANNE (1877)** a établi la carte géologique de la région au 1\40.000, et détermina l'âge Oxfordien et Jurassique supérieur des marnes et des grés calcaires.
- **J. SAVORNIN (1930)** donna une bonne subdivision stratigraphique, de la série secondaire des horsts de la région.
- **KAZI-TANI (1986)** établit une synthèse de l'évolution géodynamique de la bordure Nord Africaine.
- **L. GENTIL ET P. LEMOINE (1904)** publient une étude paléontologique de la région.
- **L. VILLE, ET BAYLE (1854)**, furent les premiers à réaliser les travaux sur la région. En 1855, B. Pomel apporta un peu plus de données, en observant des calcaires et des dolomies minéralisées.
- **LABCHRI. D (2011)** - Etude des minéralisations d'El Abed (Tlemcen) - Thèse de magister USTHB Alger.
- **M. MOLKINE (1965)** confirme les études de G. Lucas. Depuis les travaux menés par les géologues, des universités d'Oran et de Lyon ont apporté d'autres précisions sur la géologie

## Références bibliographiques

---

des Monts de Ghar Roubane (1969). Le BRMA puis la SONAREM ont effectué des travaux de recherche aux moyens de Sondages dans la mine d'El Abed.

- **M.P. JODOT (1932)** établit l'âge bajocien supérieur de l'oolithe ferrugineuse de Djebel Mahsour près de Touissit.
- **MIMOUNI Djalila et MAHBOUBI Hasnia. (2014)** - Etude géologique de l'indice de minéralisation « djebel Deglen » (partie Sud des Monts de GharRoubane, Tlemcen, Algérie).
- **REZIGAT.N, EMCHAL.K (2008)** - contribution à l'étude des problèmes environnement et. De sécurité, le cas de la mine souterraine de Chaabet El Hamra, Ain Azel. Wilaya de Sétif. Diplôme d'ingénieur d'état en géologie. Université Ferhat Abbas. Sétif.
- **SALIFOU SANAGO. M, INGOULEM. O (2004)** - Contribution à l'étude de la minéralisation karstique du gisement Pb- Zn d' El Abed (W, TLEMCEN).Mémoire d'Ingénieur USTHB Alger.
- **U.S.T.H.B. : S. BOUHENA, M. AOUICHAT, DAOUADJI ET BOUDJADJA (2002)** font une étude géologique des minéralisations d'El Abed.