



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEINEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE.**



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU

**FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES
AGRONOMIQUES**

DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES

**Mémoire du Project de fin d'étude pour obtention d'un diplôme de master en géologie
Option : ressources minérales géométriques et environnement**

Thème :
**Caractérisation des rejets miniers de la digue
de la mine d'El Abed**

Réalisé par : MALEMBANE Antonieta Domingos

Soutenu publiquement le : 28 /12 /2020, devant le jury compose par :

Mr.MAKHLOUF A.

MCB FSBSA/UMMTO Président

Mr. HAMIS A.

MCA FSBSA/UMMTO Examineur

Mme IZRI Dehbia

MCA FSBSA/UMMTO Promotrice

Promotion 2019/2020

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mon très cher père **DOMINGOS MALEMBANE** qui m'a guidé pendant ce long chemin, en reconnaissance de leur soutien, amour, sacrifice et confiance qu'il a toujours su me donner .MERCI BEAUCOUP PAPÁ.

A ma chère mère **Eduarda Saúte**.

A mes aimables sœurs : **Isabel Malembane**

Angela Malembane

Elisabeth Matavata

Ruth Natacha

A ma très chère tante et bien aimée : **Dulce Saúte**

A ma chère copine et amies **Stela Edna** Pour son amour, soutien, encouragement et aide inconditionnel tous les jours.

A mes chers amis **Denise Uaene** , **Antonio Cassule** et **Maggie** je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A tous mes amies et collègues et tous ceux que je n'ai pas peut citer, mais qui m'ont donné leur soutien physique et moral direct ou indirect de loin ou de prés...

A vous tous MERCI BEAUCOUP.

REMERCIEMENTS

Je remercie d'abord, et en tout premier lieu Dieu le tout puissant, de m'avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science et de la connaissance, d'avoir été à mes côtés et me conduire jusqu'ici pendant cette longue période d'études loin de ma famille et tous mes chers. Merci Dieu.

J'adresse mes remerciements à ma promotrice Mme. **IZRI Dahbia** pour sa compréhension, ses conseils, son aide, sa gentillesse et ses orientations efficaces et pour son encadrement durant toute la période de réalisation de ce travail.

Merci, à **l'Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou** et au **Département Des Sciences Géologiques**.

Merci, aux enseignants membres du jury, Mr Hamis. A et Mr Makhlouf. A qui ont accepté d'examiner et de juger ce travail.

Mes remerciements vont également à Mr Omar IZRI Gérant du laboratoire de Géotechnique, d'essai, de contrôle de la qualité du béton et des travaux publics (ICELab) pour m'avoir permis la réalisation des analyses et des tests à titre gracieux.

Merci à Mme Teklel Kahina , Ingénieur au laboratoire ICELab, de m'avoir aider dans la préparation des échantillons et la réalisations des analyses.

J'adresse également ma profonde gratitude à tous les professeurs du Département des Sciences Géologiques, qui ont suivi directement ou indirectement ma trajectoire et mon évolution durant mes années d'études pour acquérir le bien le plus cher qu'est le SAVOIR.

Merci à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

Pour finir merci L'ALGERIE, merci beaucoup à la KABYLIE (ma deuxième maison).

Résumé

L'objectif de cette étude est de caractériser les rejets miniers abandonnés à la digue d'El Abed, situé à la frontière Algéro-Marocaine et de déterminer leurs impacts environnementaux, en tenant compte du climat semi-aride et du contexte géologique de la région. Les résultats ont révélé que les verses de 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 (8,57) 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 et 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 et au caractère chimique des rejets. Les phénomènes de drainage minier à El Abed sont neutres (DMN), il s'agit du drainage neutre contaminé DNC. L'érosion mécanique éolienne est la dissolution météoriques sont les principaux vecteur de la dispersion de la pollution.

Mots clés : El Abed, Monts de Tlemcen, dolomie, Pb-Zn, Aaléno-Bajocien, digue, impacts.

Abstract

The objective of this study is to characterize abandoned wastes mining at the El Abed dyke, located at the Algerian-Moroccan borders, and to determine their environmental impacts taking into account the semi-arid climate and the geological context in the region. The results revealed that the tailings dykes at the dike consist of fine-sized particles of low geotechnical stability, high mobility and high levels of toxic metal trace elements (MTE).

These wastes at alkaline pH (8.57) undergo the effect of intense water erosion and in particular wind and create multiple environmental impacts. In fact, in addition to the negative impact they generate on the landscape, the ETMs contained in these discharges are transported, disseminated and contaminate surface water resources and surrounding soils. However, it is noted that the risk of contamination related to the chemical alteration from the mining discharges studied is reduced due to the lack of moisture in semi-arid climates. Neutral Mine Drainage (MND), this is contaminated neutral drainage for discharges from the El Abed mine. Wind mechanical erosion is the main vector of dispersion, from the studied mining discharges, of contaminating particles in suspension.

keywords: El Abed, Mounts of Tlemcen, dolomite , Pb-Zn, Aaléno-Bajocien, dyke, impact.

Sommaire

Dédicaces.....	i
Remerciement.....	ii
Résumé/abstract.....	iii
Liste de abréviations.....	x
Liste de figures.....	xi
Liste de tableaux.....	xiv

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Généralités

I.1-INTRODUCTION.....	2
I.2- BUT ET METHODOLOGIE DU TRAVAIL :	2
I.2.1-But du travail :	2
I.2.2- Méthodologie de travail :	2
I.3.INFORMATION GENERALE SUR LA REGION D'ETUDE	3
I.3.1 Situation géographique et administrative :	3
I.3.2- Le climat et végétation	4
I.3.2.1-Climat.....	4
I.3.2.2-Végétations.....	5
I.3.2.3-Hydrographie	5
I.3.2.4-Historique de travaux	5

Chapitre II : Géologie Régional

II.1- INTRODUCTION :	8
II.2- CADRE GEOLOGIQUE :	8
II.3- STRATIGRAPHIE :	10

II.3.1- Le Paléozoïque :	10
II.3.1.1- Le Paléozoïque indéterminé :	10
II.3.1.2- Le Gothlandien :	10
II.3.1.3- Le Dévonien :	11
II.3.1.4- Le carbonifère :	11
II.3.1.4.1- Viséen inférieur et moyen (les horsts de Ghar Rouban et du Djorf Ouazène)	11
II.3.1.4.2- Viséen supérieur (des horsts de Touissit)	11
II.3.1.4.3- Le Viséen Supérieur et le Namurien (horst de Mendjel Ekhal).....	11
II.3.1.5- Les Roches Eruptives :	11
II.4- Le Mésozoïque :	12
II.4.1- Le Trias :	13
II.4.1.1- Le Permo-Trias des Horsts :	13
II.4.1.2- Le Trias gypseux des lagunes :	13
II.4.2- Le Jurassique :	13
II.4.2.1- Le Lias :	13
II.4.2.2- Le Dogger :	14
II.4.2.3- Le Malm :	14
II.5- LA TECTONIQUE :	17
II.6- GITOLOGIE REGIONALE :	18
II.6.1- Les gisements de cassures encaissés dans le socle :	18
II.6.2- Les gisements associés aux dolomies liasiques :	18
II.7- CONCLUTION.....	19

Chapitre III : Géologie Local

III.1- INTRODUCTION	20
III.2- LITHO STRATIGRAPHIE :	21

III.2.1- Le Paléozoïque :	21
III.2.2- Le Mésozoïque :	21
III.2.2.1- Le Trias :	21
III.2.2.2- Le Jurassique inférieur et moyen :	22
III.2.2.2.1- Unité I :	22
III.2.2.2.2- Unité II :	23
III.2.2.2.3- Unité III :	24
III.2.2.2.4- Le Bathonien :	24
III.2.2.2.5- Le Callovien :	24
III.2.2.3- Le Jurassique supérieur :	24
III.3- ÉVOLUTION PALEOGEOGRAPHIQUE :	25
III.4- TECTONIQUE :	25
III.4.1- Le socle paléozoïque et l'orogénèse hercynienne :	25
III.4.2- La couverture mésozoïque :	26
III.4.3- Tectonique du gisement :	27
III.5- CONCLUSION	27

Chapitre IV : Études de la Minéralisation

IV.1- INTRODUCTION	29
IV.2.1.1- Dolomicrite (DI) :	30
IV.2.1.2- Dolomite microcristalline (DII) :	31
IV.2.1.3- Dolomite spathique(DIII) :	32
IV.2.1.4- Dolomite zébrée (IV) :	32
IV.2.1.5- Dolomite baroque :	32
IV.2.1.6- Dolomite veinulée (DVI) :	33

IV.3- ASPECT TEXTURAL DU MINERAL	33
IV.3.1- Texture veinulée.....	33
IV.3.2- Texture disséminée	34
IV.3.3- Texture massive.....	34
IV.3.4- Texture bréchique.....	35
IV.3.5- Texture géodique.....	35
IV.3.6- Texture zonée	35
IV.3.7- Texture pulvérulente	36
IV.3.8- Texture rubanée	36
IV.3.9- Texture mouchetée.....	37
IV.4- LA MINERALISATION EN STRATABOND (stratiforme) :	38
IV.4.1- Minéraux métalliques :	38
IV.4.2- Minéraux de gangue :	41
IV.5- LA MINERALISATION KARSTIQUE	41
IV.5.1- Morphologie et sédimentologie de karst	42
IV.5.2- Minéralogie	43
IV.6- Caractéristique du minéral	43
IV.7- LA MISE EN PLACE DE LA MINERALISATION.....	43
IV.8- CONCLUSION	45

Chapitre V : Caractérisation de Rejets Miniers et leurs Impacts

V.1- INTRODUCTION	46
V.2- TRAITEMENT DU MINERAL	46

V.3- Les pertes des minéraux utiles :	48
V.4- État actuel du site:	48
V.4.1- Les puits :	49
V.4.2- Laverie	50
V.4.3. La digue	51
V.5- Drainage minier	52
V.5.1- Définition :	53
V.5.2- Problématique	53
V.5.2.1- Impacts sur l'environnement.....	54
V.5.2.1.1- Impact sur les ressources en eaux.....	54
V.5.2.1.2- Impact sur le sol	55
V.5.2.1.3- Impact sur l'air	55
V.5.2.1.4- Impact sur la faune et la flore.....	56
V.6- Techniques d'échantillonnages et d'analyses	57
V.6.1-Localisation des zones d'échantillonnages	57
V.6.2- Station	58
V.6.3- Techniques d'analyses et Préparation des échantillons	59
V.6.3.1- Interprétation des Résultats	69
V.7- Impact de la digue	70
V.7.1- Impacts paysager	72
V.7.2- Impact sur l'eau	73
V.8- Recommandations	73
V.9- Conclusion :	75
Conclusion générale	76
Bibliographie	78

LISTE DE ABRÉVIATIONS

ETM : Éléments traces métalliques

MVT : Mississippi vallée

DMA : Drainage miniers acides

DMN : Drainage miniers Neutres

ENOF : Entreprise national des produits miniers non ferreux

EMEA : École des mines d'El Abed

ICELab: IZIRI Concret Engineering Lab

PH : Potentiel hydrogène

Km : Kilomètre

m : mètre

cm : centimètre

Mm : Mille mètre

Kg : Kilogramme

g : gramme

t : tonne

t /J : tonne par jour

H : heure

DA : Dinar Algérien

MV :

Um : micromètre

Ppm : partie par million

Mg/l : milligramme par litre

LISTE DES FIGURES

Nu mér o	Titre	Page
01	Situation géographique de la région de (Extrait de la carte topographique de Ghar Roubane échelle 1 /50000)	4
02	Localisation géographique de la région d'El Abed (Google, Encarta 2009)	5
03	Réseau hydrographique du bassin de la Tafna (l'auteur).	7
04	Schéma structural de la chaîne tello-rifaine (WILDI, 1981)	10
05	Schéma structural du NW de la chaîne Tellienne (BOUTALEB 2010).	12
06	Extrait de la carte géologique des Monts de Ghar Roubane (G. Lucas, 1942)	15
07	log synthétique du horst de Ghar Roubane (G. Lucas, 1942)	19
08	Carte structurale schématique des Monts de Ghar-Roubane et des régions Voisines (S. Elmi, 1988)	20
09	Carte géologique de secteur minier d'El Abed ZAGOSKINE (1972)	23
10	Photo montrant les argiles rouges Supra-socle	24
11	Photo montrant la dolomie grise de l'unité I. (Labchri.2011).	25
12	Photo montrant la dolomie grise de l'unité II, (Labchri. 2011).	26
13	Photo montrant une cavité karstique de petite dimension, Labchri. 2010).	27
14	Position des corps minéralisés par rapport aux accidents tectoniques de Touissit-Boubeker et El Abed d'après (Makhoukhi et Al, 1993).	30
15	Projection des minéralisations à Pb-Zn dans le district Touissit-Boubeker-El Abed (MAKHOKHI et al, 1993).	32
16	Vue microscopique d'une dolomicrite à fantômes d'oolithes S.P.N Gr x 10	54
17	Photo montrant la dolomite saccharroïde (L.M, L.P.N.A Gr x 5), (Chaa.H.2010).	34

18	Photo montrant la dolomie spathique a débris de matière organique.	35
19	Photo montrant la dolomite baroque	36
20	Veinule centimétrique remplie de Dolomite blanche associée à une minéralisation à Galène	37
21	Minéralisation disséminée associée aux dolomites blanches	37
22	Minéralisation à Galène massive associe à a la dolomie grise	38
23	cavité drusique de dolomite rose a Pyrite au sein des dolomies spathique et baroque.	39
24	Photo montrant la sphalérite zonée lame mince (L.N Gx10), (Chaa.H 2010)	40
25	Des alternances de niveau de dolomite grise à galène et blanche diagénétique qui montre une texture rubanée.	41
26	Echantillon montrant une texture de crustification de dolomite rose sortie de moucheture de pyrite cuivreuse.	
27	Sphalérite dissémine dans la dolomie grés	42
28	Sphalérite post-dolomie.	42
29	Sphalérite ante-dolomie.	42
30	Galène en dissémination.	43
31	Pyrite et marcassite oxydée entourant la dolomie	43
32	Photo montrant la chalcopryrite et la galène associées à la dolomite (S.P L.N Gr x 10)	44
33	Photo montrant l'association cuivre gris, galène et sphalérite (S.P L.N Gr x 5), (Labchri.D.2011)	44
34	Photos montrant deux échantillons de karst.	46
35	Schéma montrant le mode de formation de la minéralisation stratabound	48
36	Schéma montrant le mode de formation de la minéralisation karstique	49
37	Photo montrant un concasseur à cône et un broyeur à boulets.	52
38	Photo montrant les cellules de flottation du minerai.	53

39	Schéma montrant les étapes d'exploitations et de traitement du minerais.	53
40	Photographie du puits (IV)	54
41	Photographie du puits (V)	54
42	Photographie du puits (III).	55
43	Photo montrant le stock de minerais laissé par la société chinoise	55
44	localisation et état actuel de la laverie	56
45	localisation et état actuel de la digue d'El Abed. (Boudiaf.M 2015)	57
46	Photo montrant un lac d'eau au niveau de la digue.	60
47	Photo montrant une décoloration des sols contaminés au pied de la digue.	61
48	Photo montrant le déplacement des éléments de la digue par l'effet du vent.	61
49	Photo montrant les champs de céréales au pied de la Digue.	62
50	localisation des zones d'échantillonnages.	63
51	Photo montrant la station des prélèvements des échantillons	64
52	Photo montrant (retenue collinaire).	64
53	Photo montrant le mélange à l'aide d'un agitateur automatique et une source de chaleur.	65
54	photo montrant le PH mètre	67
55	Photo montrant le peser de refus cumulés.	69
56	Photo d'une série des tamis emboîtée décroissante	69
57	Sables fins	70
58	Sables grossiers et graviers	70
59	Gravier	
61	Graphe des Sables en surface.	71
62	Graphe des sables sur la racine végétale.	

63	Représentation graphique de concentration de Pb et de Zn dans les sols.	73
64	Représentation graphique de concentration de Cd, Cu et d'As dans les sols.	73
65	Histogramme de concentration de Pb, Zn et Cd dans les eaux de surface	75
66	Photos montrant les éléments de la digue sous une loupe binoculaire.	76
67	Photo montrant le sel de métaux déplacé par les eaux de ruissellement (Boudiaf.M)	78
68	Photo montrant l'effet de la digue sur l'agriculture	79
69	Photo montrant l'impact de la digue sur le paysage. (Boudiaf.M 2015)	79
70	Photos montrant la pollution visuelle à El Abed.	80
71	Image satellitaire montrant les cours d'eau à El Abed (Google, 2009).	81
72	Photo montrant des graminées adaptées au sol pollué. (Boudiaf.M 2015)	82

LISTE DES TABLEAU

Numéro	Titre	Page
01	Dosage des sulfates de différentes fractions de rejet de la digue d'el Abed.	
02	Dosage de chlorures des différentes fractions de rejet de la digue d'el Abed.	
03	PH des différentes fractions des rejets minier de la digue d'el Abed.	
04	Conductivité des rejets miniers du la digue d'El Abed	
05	Résultats des analyses chimiques des échantillons de sol.	
06	Résultats des analyses chimiques des échantillons de l'eau.	

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie possède un potentiel géologique intéressant pour l'investissement et le partenariat visant l'exploration minière parmi le potentiel existant, en plus des gisements actuellement en exploitation, viennent s'ajouter les gisements en cours de maturité, les mines abandonnées telle la mine d'El Abed.

L'homme, par ses activités, agricoles, minières et industrielles, produit des déchets chargés en éléments traces métalliques. L'accumulation de ces éléments dans le sol, l'eau et l'air représente un risque pour l'environnement et la santé publique, qui est le cas de la digue d'El Abed par des rejets miniers issus du processus de traitement des minerais de Pb-Zn.

Dans notre étude sommes intéressés à :

- L'étude des rejets miniers de la digue d'El Abed, situés à la frontière Algéro-Marocaine.
- Discuter la stabilité géotechnique des vers à résidus et la mobilité des rejets.
- mettre en exergue la capacité polluante de ces rejets par dosage des teneurs des éléments traces métalliques (ETM).
- Déterminer les impacts environnementaux liés au stockage de ces rejets à l'air libre tenant compte du climat semi-aride et du contexte géologique dans la région.

Ce travail s'articule en (5) cinq chapitres qui sont :

Dans le **premier chapitre** c'est une présentation générale de la zone d'étude.

Dans le **deuxième chapitre**, c'est l'étude géologie régionale.

Dans le **troisième chapitre**, c'est l'étude de la géologie locale.

Dans le **quatrième chapitre** on s'est intéressé à l'étude des minéralisations et leurs encaissants présents dans notre zone d'étude.

Le **cinquième chapitre** et dernière sera consacré à la caractérisation physico-chimique et à une évaluation des impacts environnementaux des rejets miniers ainsi que le schéma de remédiation.

Nous clôturons ce travail par une **conclusion générale** et des **recommandations**.

CHAPITRE I :

GÉNÉRALITÉS

I.1-INTRODUCTION

Le gisement d'el Abed est situé à l'extrémité Nord-Ouest du territoire algérien sur la frontière Algéro-marocaine, le relief de la région est montagneux et les altitudes culminent entre les côtes, 1260 et 1550m. Le gisement représente le prolongement d'une importante couche minéralisée dont la partie se trouve au Maroc (Touissit - Boubker). Il a été étudié initialement au Maroc où la minéralisation affleure en surface. Il a été mis en évidence en 1949 par le BRGM et la société anonyme de Zellidja (Société Marocaine).

I.2- BUT ET METHODOLOGIE DU TRAVAIL :

I.2.1-But du travail :

Ce travail s'intéresse spécifiquement à l'étude des rejets abandonnés de la digue d'El Abed, ses rejets sont issus du traitement du minerai de la laverie de la mine où se situe le gisement d'El Abed.

Le gisement d'El Abed est de type MVT, représenté par une minéralisation de type stratiforme et une minéralisation karstique, liée exclusivement aux dolomies aaléno- bajociennes.

L'objectif principal de ce travail est de présenter:

- L'étude des rejets miniers qui résultent du processus de traitement de minerai.
- Une caractérisation minéralogique des rejets miniers
- Une caractérisation physico-chimique des rejets miniers de la digue d'El Abed.
- L'état actuel des lieux et l'évaluation des impacts environnementaux de la digue du complexe minier d'El Abed.

I.2.2- Méthodologie de travail :

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

Les travaux de terrains ont consisté en :

- un échantillonnage des sables sur la digue, selon des profils et des profondeurs différentes ;

- un échantillonnage de la flore de la digue ;
- des analyses ont pu être effectuées sur place au niveau de la retenue collinaire, telles que la conductivité et le PH.

L'étude au laboratoire a été consacrée à la préparation des échantillons afin de procéder aux différentes analyses physico-chimiques des échantillons de sable afin de déterminer les différents paramètres tels que le Ph, la conductivité, la granulométrie et le potentiel du drainage minier.

I.3.INFORMATION GENERALE SUR LA REGION D'ETUDE

I.3.1 Situation géographique et administrative :

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 (figure 1).

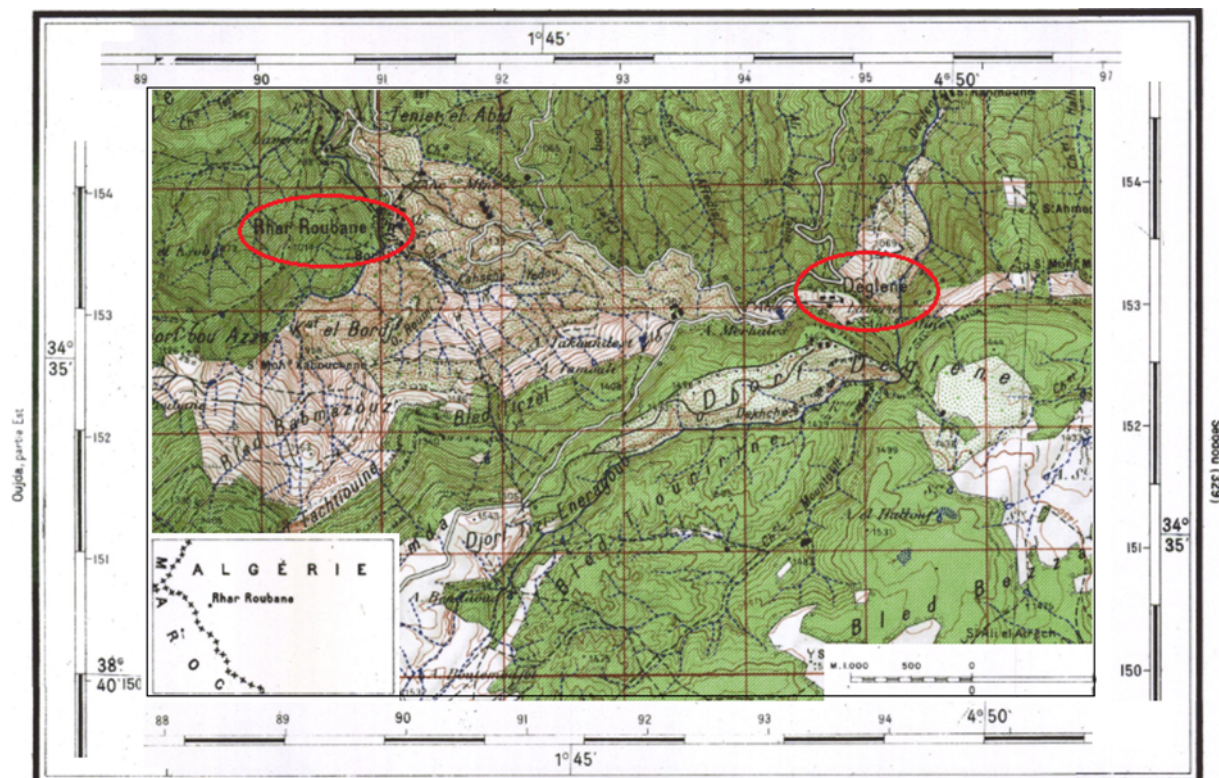


Figure1 : Situation géographique de la région de (Extrait de la carte topographique de Ghar Roubane échelle 1 /50000)



Figure 2 : Localisation géographique de la région d'El Abed (Google, Encarta 2009)

I.3.2- Le climat et végétation

I.3.2.1-Climat

La région d'El Abed est caractérisée par un climat de type 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. Ces vents sont froids en hiver et chauds en été et provoquent des nuages de poussière qui peuvent durer plusieurs jours.

I.3.2.2-Végétations

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. On peut retrouver dans la région de vastes étendues 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 (oliveraies, pruniers et pommiers).

I.3.2.3-Hydrographie

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. Le réseau hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du Jurassique et se modifie avec l'évolution de la tectonique.

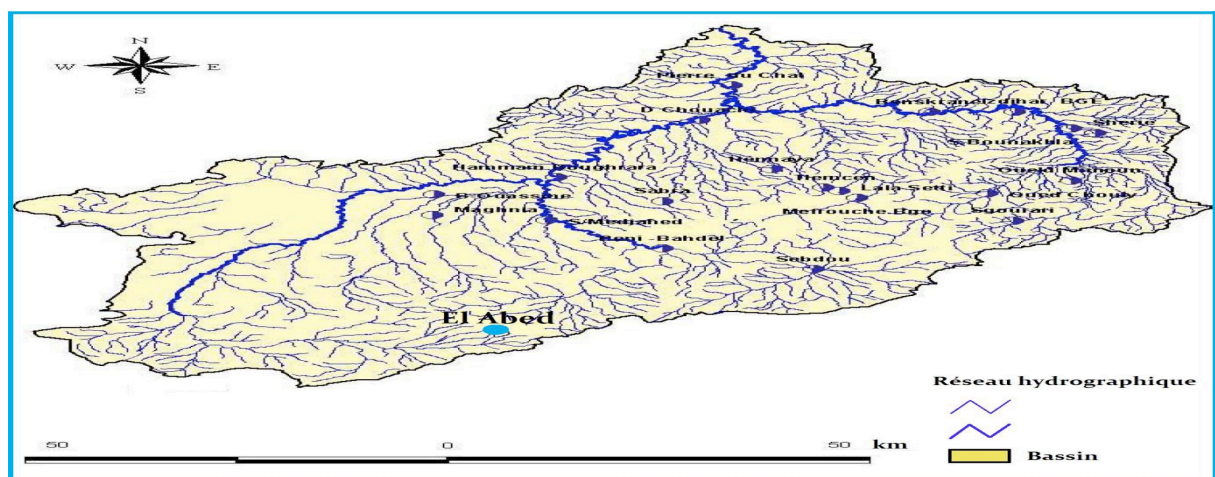


Figure 3 : Réseau hydrographique du bassin de la Tafna (Rapport ANRH Année).

I.3.2.4-Historique de travaux

Les premiers travaux qui se rapportent à la géologie des Monts de Tlemcen ont été élaborés par Bayle. E et Ville. L en 1854, Pouyanne. J en 1877 et Gentil. L 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 E. 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. Pouyanne, 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, Gentil. L et P. Lemoine publient une étude paléontologique de la région ;
- EN 1910, F. Doumergue et G.M.B. Flamand donnèrent plus de détails 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. Molkin 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) ? ;
- En 1966, Le BRMA puis la SONAREM ont effectué des travaux de recherches 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, E. 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, N. 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, E. Benest et M. Bensalah étudièrent l'Eocène continental dans l'avant pays alpin d'Algérie ;
- En 1993, M. Bouabdellah réalisa une étude sur les minéralisations du Touissit- Boubeker ;
- En 1999, Benest. E, Bensalah. M et Bouabdellah. M font une étude sur la couverture mésozoïque et cénozoïque du domaine Tlemcénien ;
- En 2002, M. Aouichat, Daouadji et Boudjadja U.S.T.H.B. : S. Bouhena, font une étude gîtologique des minéralisations d'El Abed;
- En 2003, O. Ingoulem et B. Sanago réalisèrent une étude sur les minéralisations karstiques d'El Abed;

- En 2004, Salifou .O et Sanogo.M ont établi des précisions sur l'étude des minéralisations karstiques du gisement Pb-Zn d'El Abed (Tlemcen) Master USTHB ;
- En 2008, El Hadj. N réalise une étude sur les Minéralisations de Mellal Beni-Snous W. Tlemcen Thèse de Magister - USTHB Alger ;
- en 2008 M. Kernouat. F et Daouda. A traitent les minéralisations d'El Abed W. Tlemcen Master USTHB.
- en 2010 Chaa. H réalise une étude sur la sédimentologie des remplissages karstiques du gisement Pb-Zn d'El Abed (Tlemcen) Master USTHB;
- En 2011, Labchri D. réalise une étude des minéralisations d'El Abed (Tlemcen) – Thèse de magister –USTHB Alger ;
- En 2011, Boutaleb, A. et Moussaoui, Kh. (2010). Réalisent une étude pétrographique et micro-thermométrie des dolomies et des sphalérites d'El Abed– W. Tlemcen. Master USTHB ;
- En 2015, Boudiaf. M, réalise une étude d'impact de la mine d'El Abed W. Tlemcen Master UMMTO;
- En 2015, Goumghar. N, réalise une étude sur les minéralisations à Pb-Zn de Déglène W. Tlemcen Master UMMTO ;
- En 2016, Haddad Kahina, réalise une étude sur les minéralisations d'El Abed W. Tlemcen Master UMMTO;
- En 2019, Salhi. N réalise une étude sur les minéralisations à Barytine des granites de Beni –Snous W. Tlemcen Master UMMTO ;
- En 2020, Azzoun Zakie Et Wassim, réalisent une étude sur les minéralisations associés au socle paléozoïque et sa couverture de Beni-Snous et Déglène W. Tlemcen Master UMMTO.

CHAPITRE II :

GEOLOGIE

REGIONAL

II.1- INTRODUCTION

La structure actuelle de l'Algérie septentrionale 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, ces derniers sont structurés en Horsts et Grabens (MEKHAHLI, 1988).

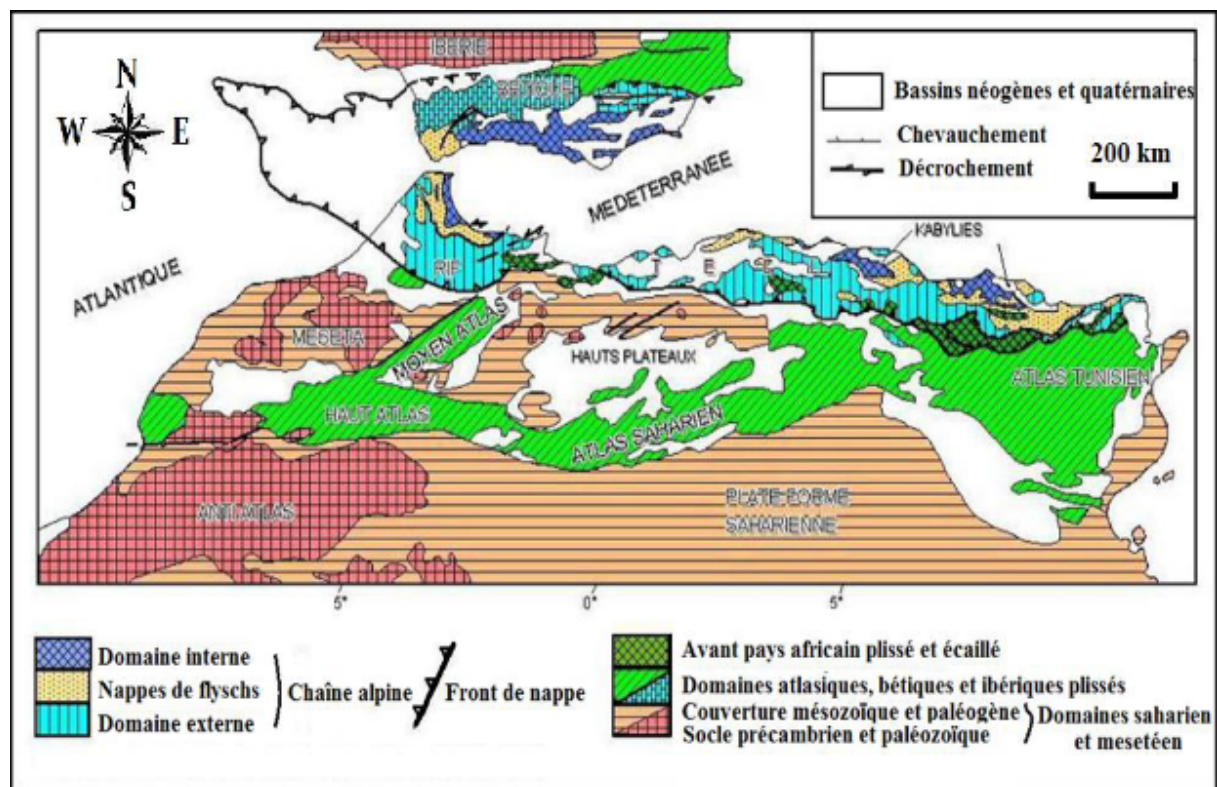


Figure 4: Schéma structural de la chaîne tello-rifaine (WILDI, 1981)

II.2- CADRE GEOLOGIQUE

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 zones géologiques affaissées « Grabens », forment des reliefs relativement déprimés, les zones 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 des séries de failles bordières subparallèles de directions générales Nord-Est et subverticales dont les rejets atteignent parfois les 1500 mètres.

On distingue deux ensembles géologiques (voir figure 7) :

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

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.

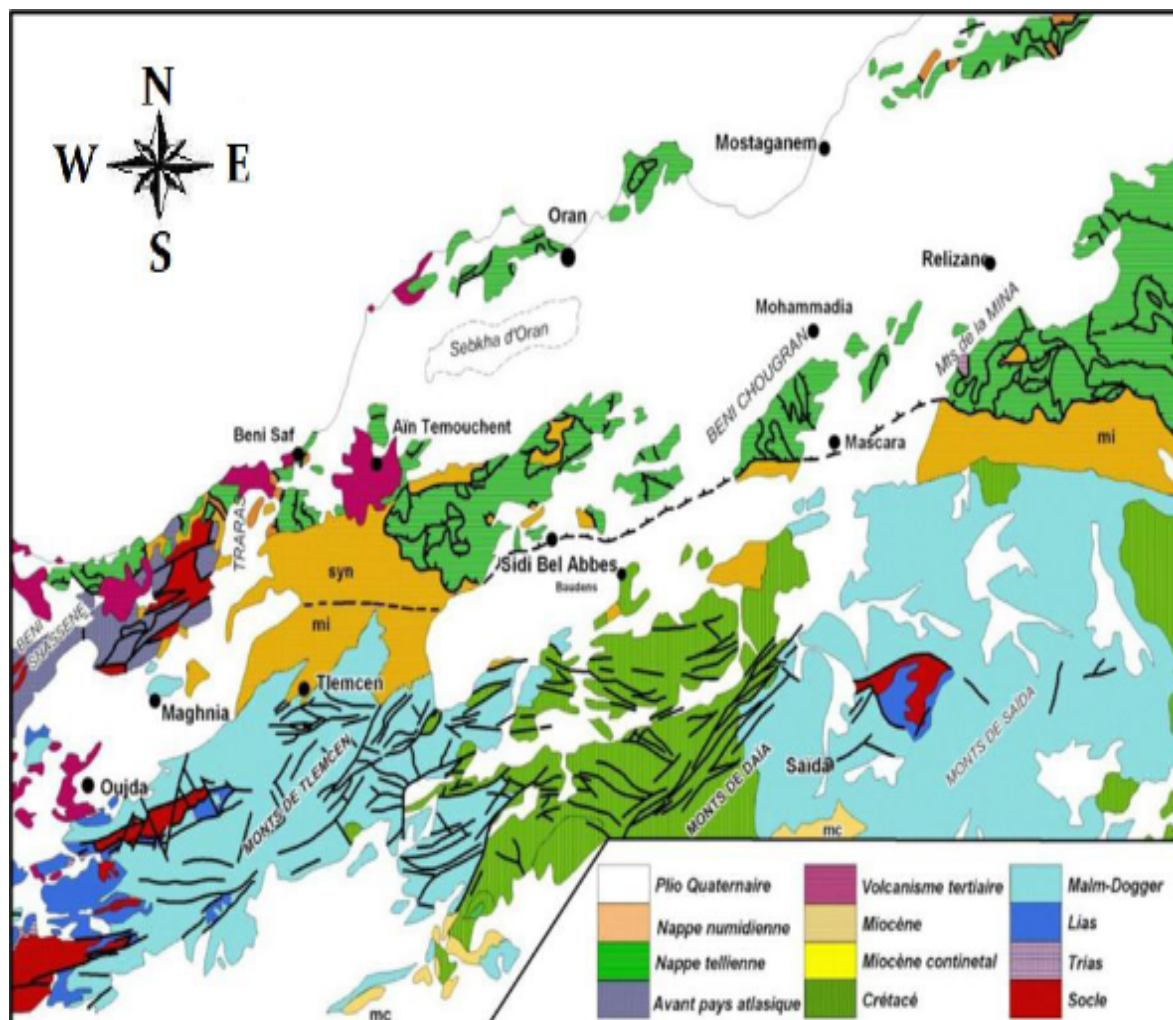


Figure 5: Schéma structural du NW de la chaîne Tellienne (BOUTALEB 2010).

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 grés. Une partie des schistes micacés, des phtanites et des quartzites, serait d'âge Gothlandien

II.3.1.2- Le Gothlandien

Il s'agit des schistes micacés, des phtanites 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 :**II.3.1.4.1- 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.

II.3.1.4.2- 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 Goniatis du Viséen supérieur; Lucas (1942) a signalé un moule de Spirifère dans les tufs.

II.3.1.4.3- Le Viséen Supérieur est 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.

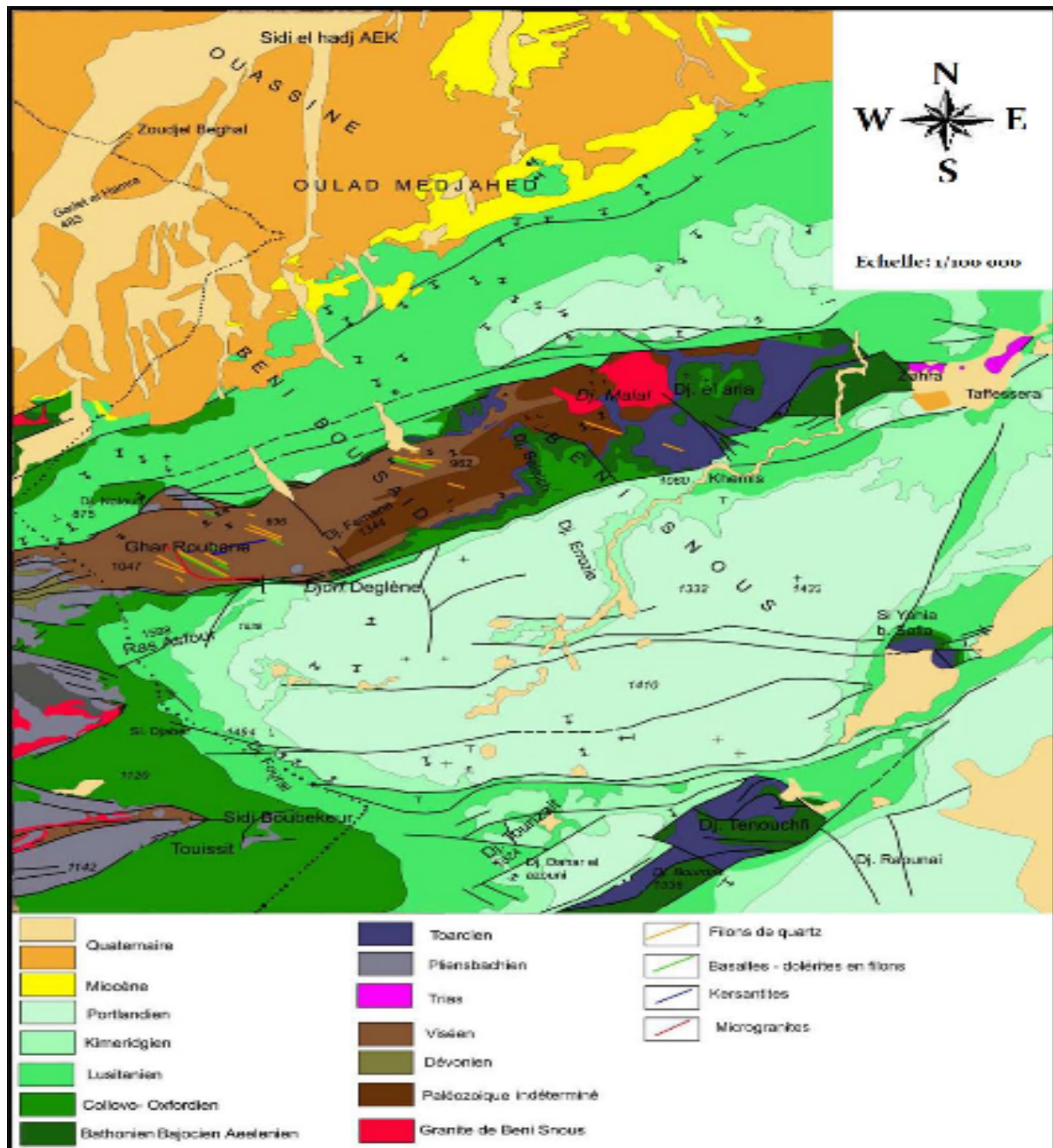


Figure 6: Extrait de la carte géologique des monts de Ghar Roubane (G. Lucas, 1942)

II.4- 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.4.1- 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.4.1.1- 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 Deglène, 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.4.1.2- 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 dolomitisés, à Sidi El Abed et dans la plaine de Magoura au sein de la dépression de Béni Bahdel.

II.4.2- 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.4.2.1- 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

Domérien est observable grâce aux failles de l'Est ; il est représenté par un calcaire à débris d'Echinodermes et à Brachiopodes souvent dolomitisés, 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.4.2.2- 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 (Lucas1942), alors que la partie Ouest présente des calcaires à Oolithes ferrugineux avec un ciment très hématitisé (Lucas, 1952).

II.4.2.3- 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 à 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 sub-lithographiques, et des calcaires argileux. Le Portlandien, est caractérisé par une série de calcaires sub-lithographiques, rarement oolithiques ou pseudo oolithiques riches en stylolithes. Elles constituent les hautes falaises de Degléne et Khemis (1200m).

G. Lucas, (1952) a résumé la série stratigraphique du Horst de Ghar Roubane sous forme d'un log synthétique (figure 9).

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 micropores	Concellophycus		
		Bajocien		Calcaire à Oolites	Ammonites		
	Lias	Tatrosien		Calcaire de héniche			
		Domerien		Calcaire spathique	Rostres de Délemnites		
		Carixien		Calcaire in Zailou	Oolites, Enoolithes		
	Tris			Marnes gypsifères			
Carbonifère	Sup	Westphalien		Schistes et grès roux			
				Poudingues			
	Moy	Namurien		Schistes et grès marin			
				Schistes et grès marin			
	Inf	Viseen		Tuils, microbrèches			
Dévonien				Schistes et microbrèches			
				Calcaire récifal	Algues, Brachiopodes, bryozoaires, Gastéropodes, Trilobites, Polypiers		
				Grès à graviers de phanite			
Silurien				Schistes, quartzites et phanite à graptolite	Graptolites		
				Schistes et quartzites			
Phase calédonienne Graptolites-micropores Dolomite de Boukna Granite de Béni Snaous Basalte Dacite							Phase Hercynienne

Figure 7: log synthétique du horst de Ghar Roubane (G. Lucas, 1942, modifié in 2002)

II.5- LA 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 (voir figure 6).

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

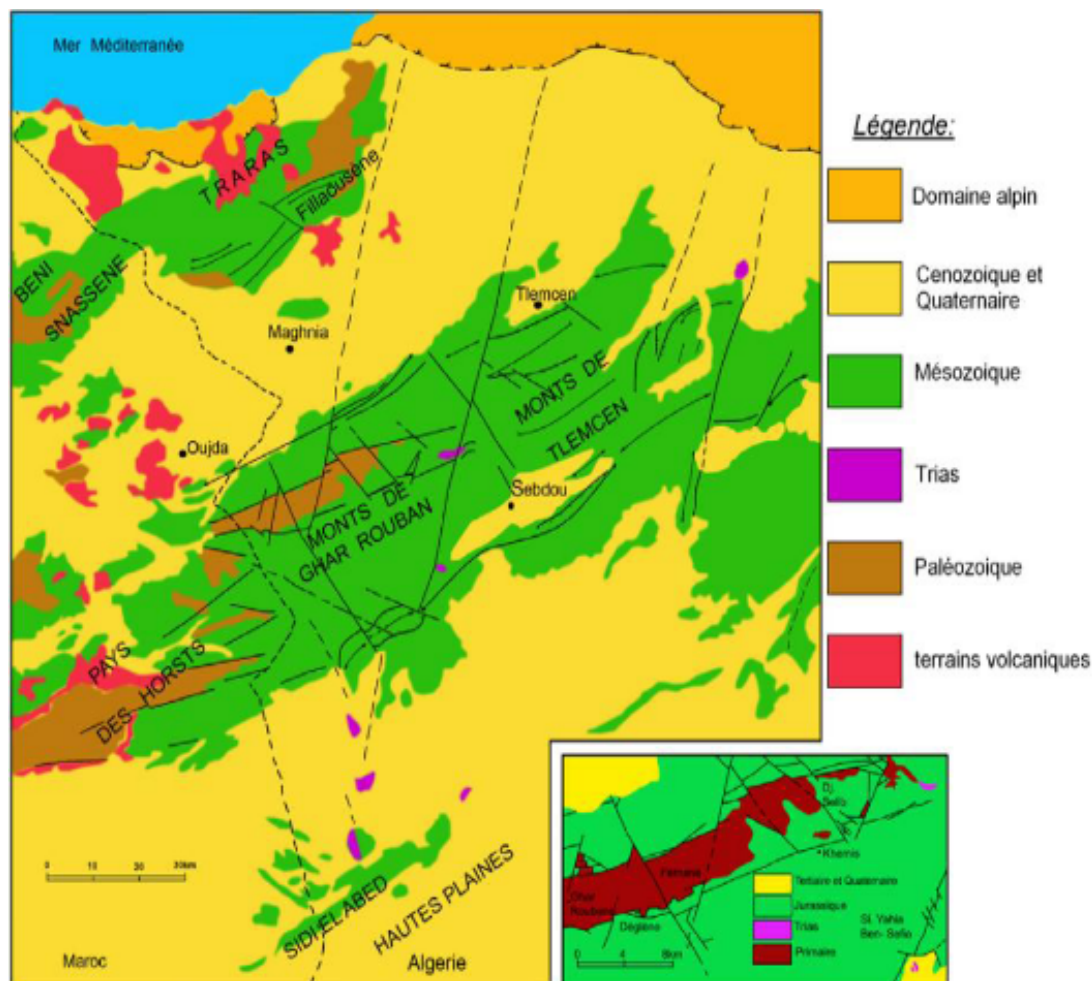


Figure 8: Carte structurale schématique des Monts de Ghar-Roubane et des régions voisines (S. Elmi, 1988)

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- GITOLOGIE REGIONALE

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'importances mondiales (Touissit-Boubeker). Selon les caractères structuraux et morphologiques, on distingue deux groupes de gisements :

II.6.1- Les gisements de cassures 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 quartzeuse ; 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 Deglène 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 à proximité 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.

II.7- 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 :

♦ 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.

♦ 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 :

GEOLOGIE LOCAL

III.1- INTRODUCTION

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 :

- 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 (figure 9):

Les «argiles de Saida» du Callovien.

Les« grès de Boumediene » de l'Oxfordien.

Les «dolomies de Tlemcen » du Kimméridgien.

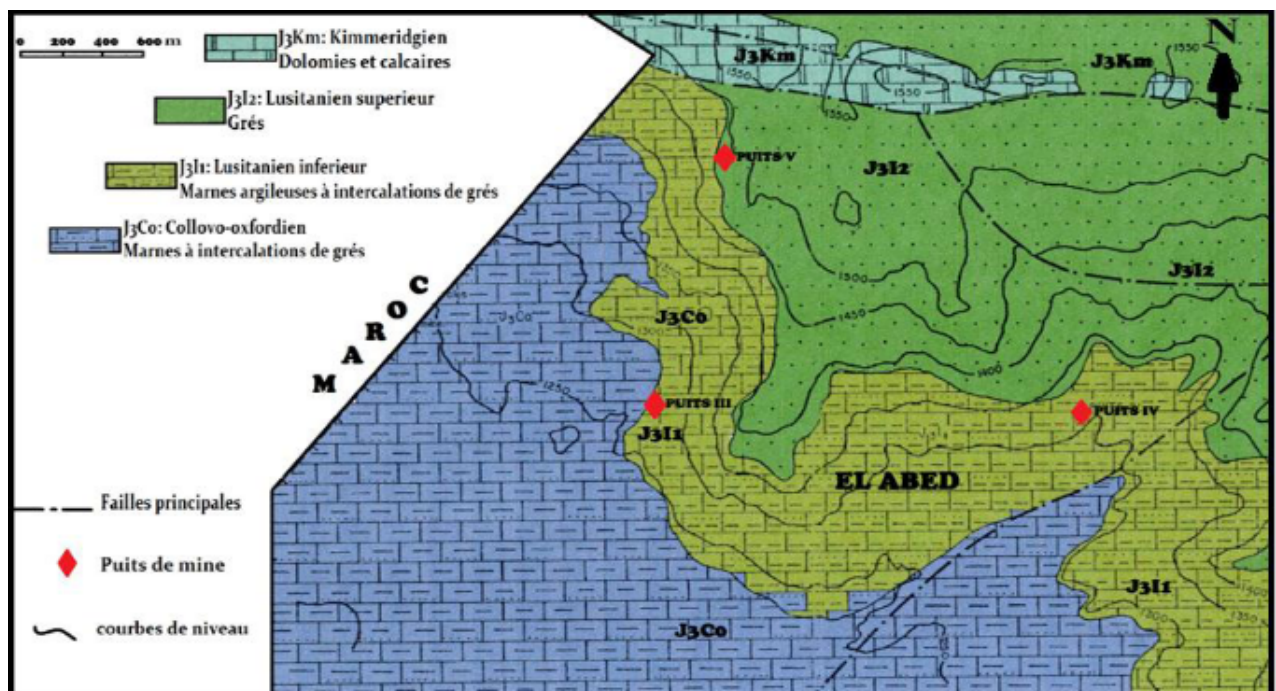


Figure 9: Carte géologique de secteur minier d'El Abed ZAGOSKINE (1972, modifié in Labchri. D 2011)

III.2- LITHO STRATIGRAPHIE

III.2.1- Le Paléozoïque

Le socle paléozoïque a été reconnu, par des travaux miniers et de forages 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.

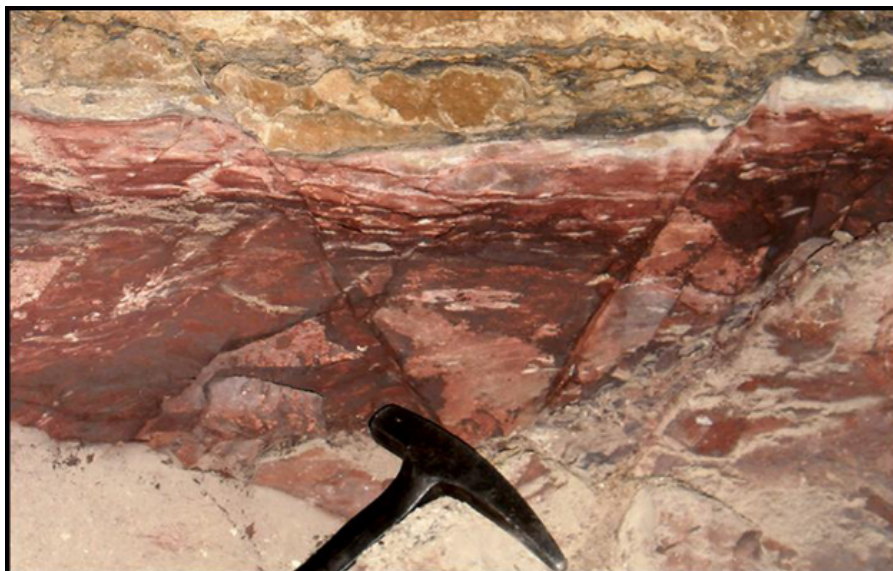


Figure 10 : Photo montrant les argiles rouges Supra-socle in Labchri.D 2011

III.2.2.2- Le Jurassique inferieur 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. 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.

III.2.2.2.1- Unité I

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

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

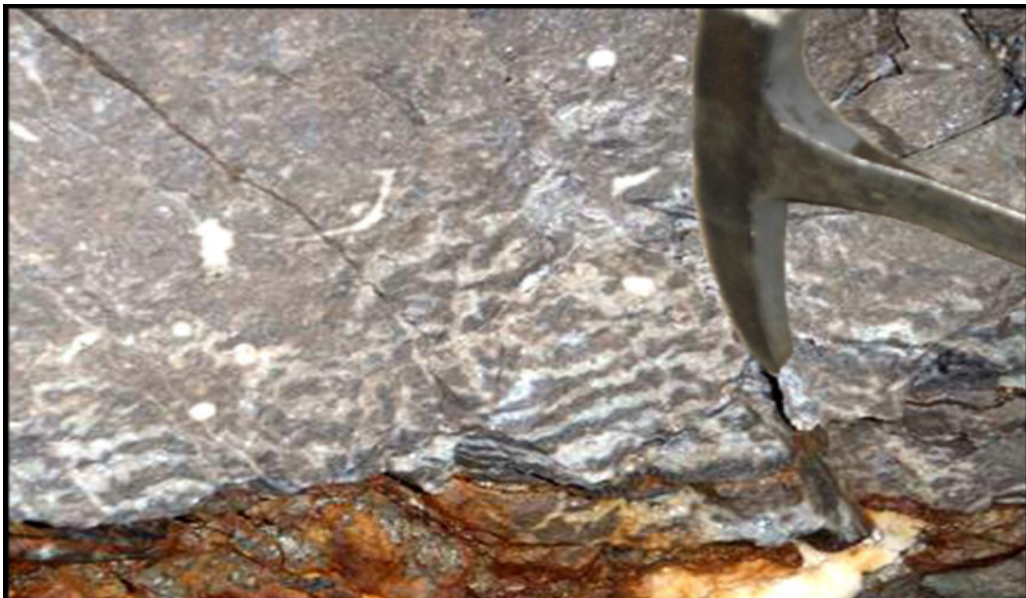


Figure 11 : Photo montrant la dolomie grise de l'unité I. (Labchri.2011).

III.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, chagrinées, 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.



Figure 12: Photo montrant la dolomie grise de l'unité II, (Labchri. 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.

III.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.



Figure. 13 : Photo montrant une cavité karstique de petite dimension, Labchri. 2010).

III.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.

III.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.

III.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 dolomies, avec une épaisseur de 70 m dans la partie NW du gisement.

III.3- ÉVOLUTION PALEOGEOGRAPHIQUE

La transgression mésogéenne s'est effectuée d'Est en Ouest durant le Trias, elle a amené le dépôt de faciès des grès 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 .A (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 penéplanation du district qui prend forme à partir de l'Aaléno-Bajocien.

III.4- TECTONIQUE

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.

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 $N70^{\circ}$ - $N 80^{\circ}$ (distension du Trias), caractérisée par :
 - des Failles bordières des horsts
 - un allongement des corps minéralisés
- ✓ La direction NW-SE $N130^{\circ}$ (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).

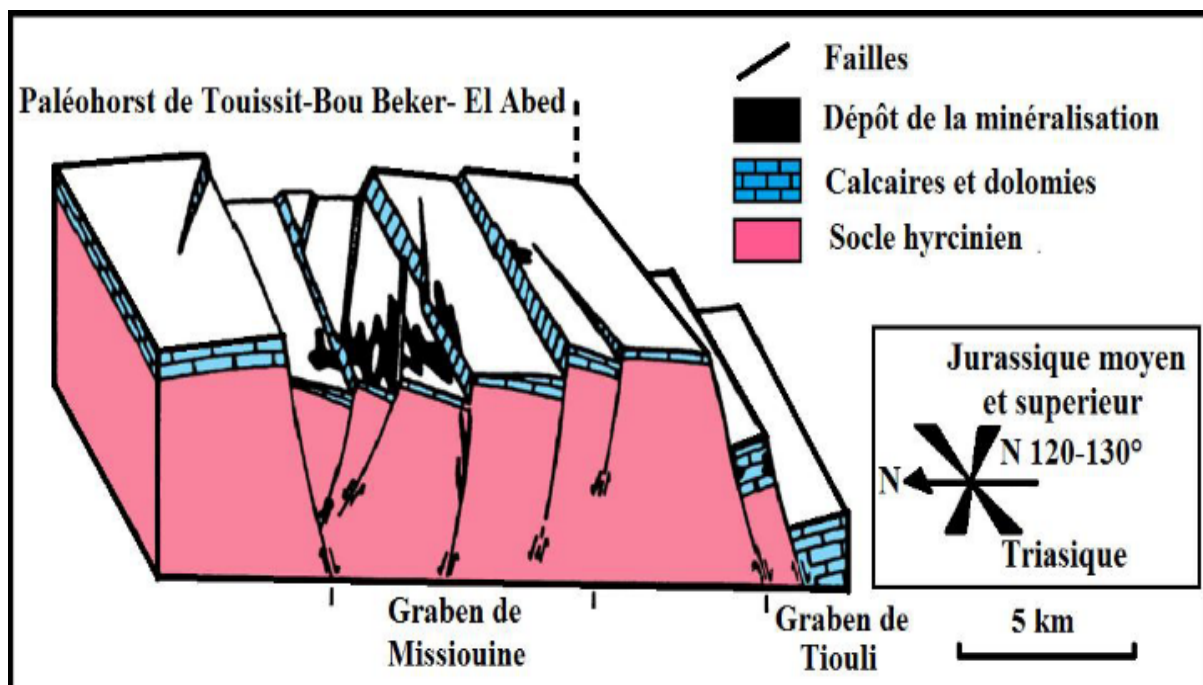


Figure 14 : Position des corps minéralisés par rapport aux accidents tectoniques de Touissit - Boubeker et El Abed d'après (Makhoukhi et Al, 1993).

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 reprise et même après la mise en place de la minéralisation, et 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°-N100°), 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° et N140° recoupent les directions N60°-N270° et N100°.

III.5- 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, diagénétiques et hydrothermales, 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 croute 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 :

ÉTUDE DE LA

MINÉRALISATION

IV.1- INTRODUCTION

Le district minier connu sous le nom Touissit-Boubeker-El Abed est de type(MVT) «Mississippi Vallée Type» et il compte cinq gisements importants dont quatre (Mekta, Bediane, Boubeker et Touissit,) au Maroc et le cinquième (El Abed) en Algérie avec une superficie d'environ 10 km² en Algérie.

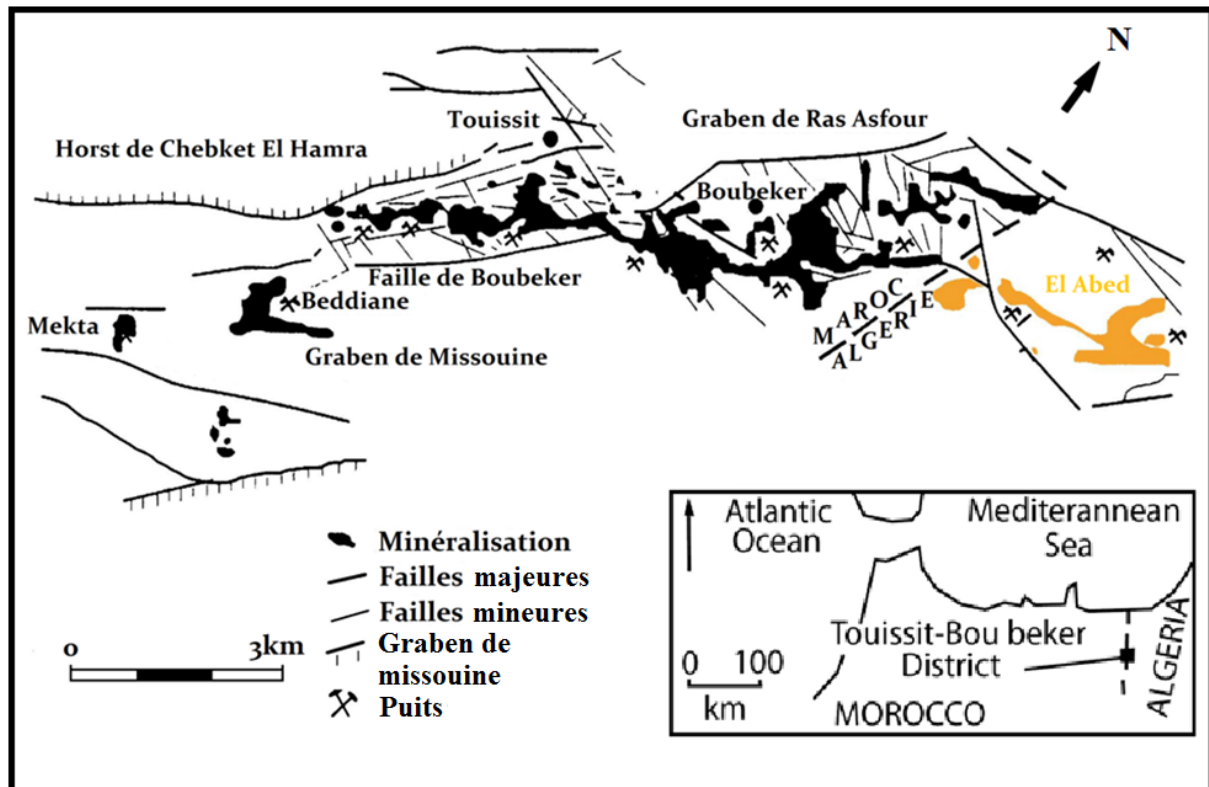


Figure 15: Projection des minéralisations à Pb-Zn dans le district Touissit-Boubeker-El Abed (Makhoukhi et al, 1993).

La minéralisation dans le gisement d'El Abed (B.Touarhri 1983,) est d'âge Aaléno-Bajocien. D'une façon générale, on va aborder de la minéralisation stratiforme (stratabound) et la minéralisation Karstique

- Une **minéralisation en stratabound** localisée dans les dolomies aaléno-bajociennes. Elle se rencontre fréquemment en bandes stratiformes irrégulières et discontinues liée aux zones de dissolutions recristallisations et fracturations.

- Une minéralisation liée aux sédiments internes détritiques du **remplissage karstique** et essentiellement zincifère et pyriteuse. Le karst contrôle la localisation des minerais zincifères les plus intéressants en tonnage et en teneur du gisement d'El Abed.

IV.2-ENCAISSANT DE LA MINERALISATION

L'encaissant dolomitique du gisement est constitué principalement de deux phases de dolomitisation :

Une phase **diagénétique**, représentée par l'association de trois types de dolomite : microcristalline, spathique et zébrée.

Une phase **épigénétique** caractérisée par l'association de deux types de dolomite : baroque et veinulée.

La 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.2.1.TYPES DE DOLOMITES

Les observations macroscopiques et microscopiques révèlent les types des dolomites suivantes :

IV.2.1.1- Dolomicrite (DI) :

Elle se présente sous forme de cristaux xénomorphes de dolomites très fins avec des fantômes de calcites (Figure. 15), c'est une dolomite de remplacement précoce résultat d'une dolomitisation d'une ancienne calcarénites avec la présence de restes de bio-clastes épigénisés et recristallisés dans cette dolomite.

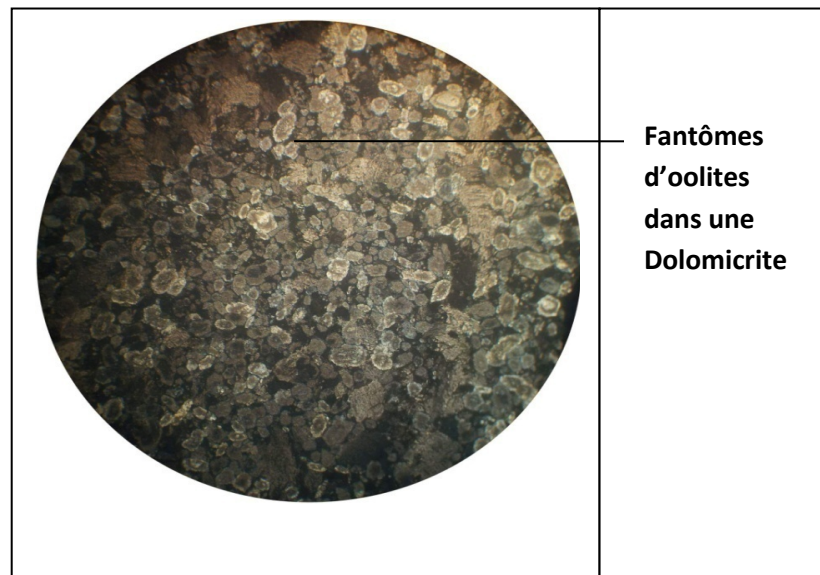


Figure 16 : Vue microscopique d'une Dolomicrite à fantômes d'oolithes S.P.N Gr x 10 Labchri 2011

IV.2.1.2- 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 μm , les grains sont jointifs à dissémination de pyrite.



Figure 17: Photo montrant la dolomite saccharoïde (L.M, L.P.N.A Gr x 5), (Chaa.H.2010).

IV.2.1.3- Dolomite spathique(DIII) :

Il s'agit de cristaux de dolomites ne dépassant guère les 250 μm , elles sont automorphes, avec quelques fois des espaces inter-granulaires remplies de matières organiques ou argileuses qui constituent le remplissage du karst ou se présente sous forme concentrique (figure 17).



Figure 18: Photo montrant la dolomie spathique à débris de matière organique.

IV.1.2.4- 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 inter-granulaires, dolomites grises à grains moyens qui peuvent atteindre 1 mm et dolomite blanche grossière.

IV.2.1.5- 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.



Figure 19: Photo montrant la dolomite baroque.

IV.2.1.6- Dolomite veinulée (DVI) :

Elles occupent les fractures des dolomites blanches, les fentes de tensions qui recoupent la dolomite grise, elles peuvent être à oxyde de fer. Ces veinules peuvent être remplies de galène tardive. On trouve des occurrences minérales sous forme de filonnets dans le socle Viséen ; On trouve également des minéralisations en remplissage de failles bordières.

IV.3- ASPECT TEXTURAL DU MINERAL

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

IV.3.1- Texture veinulée

C'est une texture dans laquelle la minéralisation sulfurée (galène-blende) se manifeste en petits veinules allant du millimètre jusqu'au centimètre.



Figure 20 : Veinule centimétrique remplie de Dolomite blanche associée à une minéralisation à Galène

IV.3.2- 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.

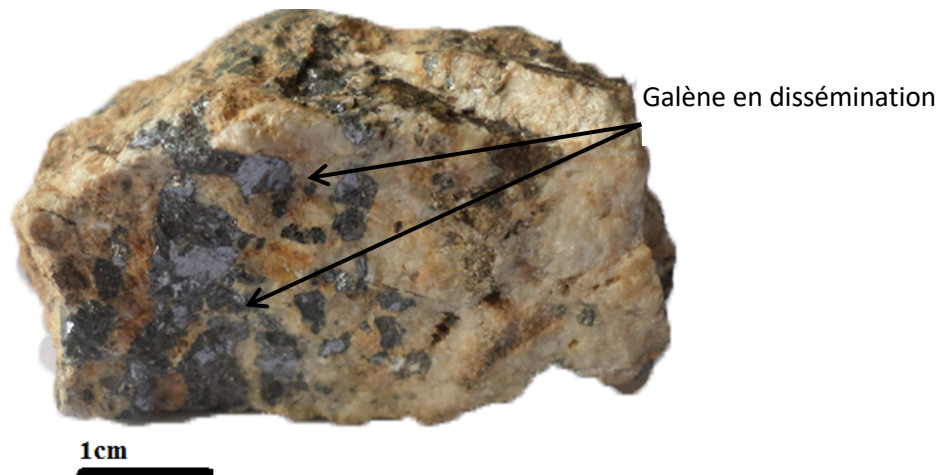


Figure 21: Minéralisation disséminée associée aux dolomites blanches

IV.3.3- Texture massive

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

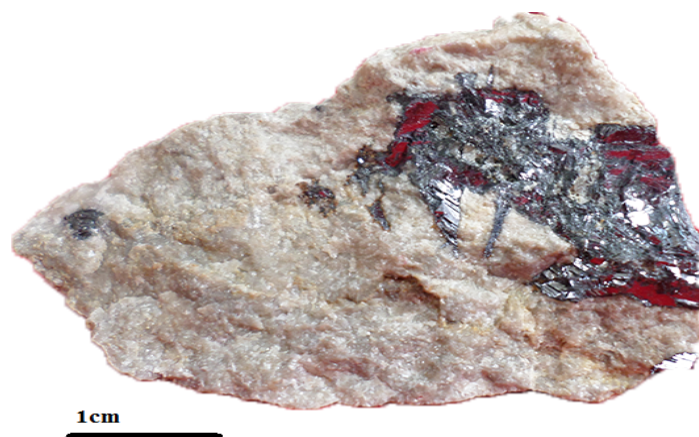


Figure 22 : Minéralisation à Galène massive associée à la dolomite grise

IV.3.4- Texture bréchique

Elle se rencontre au niveau du karst et au niveau des dolomies grises (brèche hydraulique), 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 .

IV.3.5- 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.

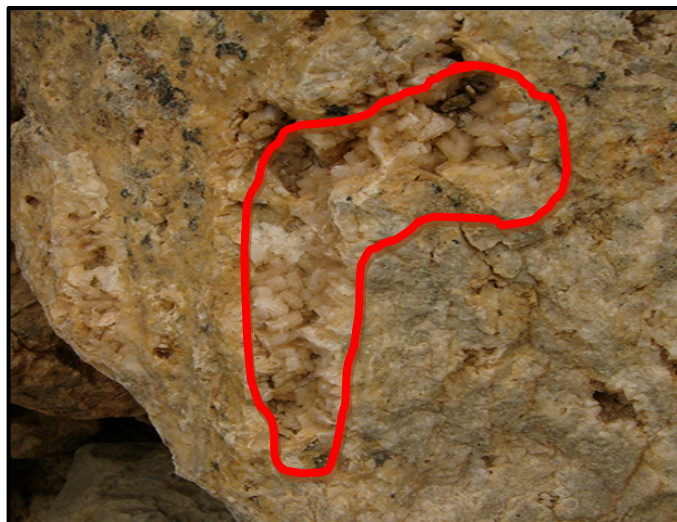


Figure 23: cavité drusique de dolomite rose a Pyrite au sein des dolomies spathique et baroque.

IV.3.6- 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.

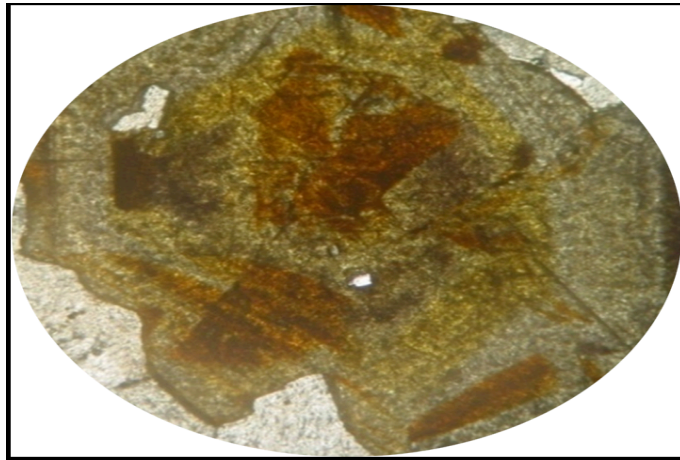


Figure 24 : Photo montrant la sphalérite zonée lame mince (L.N Gx10), (Chaa.H 2010)

IV.3.7- 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.

IV.3.8- 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.



Figure 25: Des alternances de niveau de dolomite grise à galène et blanche diagénétique qui montre une texture rubanée.

IV.3.9- Texture mouchetée

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



Figure 26 : Echantillon montrant une texture de crustification de dolomite rose sertie de moucheture de pyrite cuivreuse.

IV.4- LA MINERALISATION EN STRATABOND (stratiforme) :

IV.4.1- Minéraux métalliques :

A- Sphalérite (ZnS) :

C'est le minéral le plus abondant a une couleur rouge à brun miel, on peut la trouver disséminée et au contact de la dolomite grise et blanche. On distingue aussi deux type de sphalérite : post-dolomite et anté-dolomite. Ce dernier type est caractérisé par une zonalité. La sphalérite présente aussi une texture montrant une asymétrie.



Figure 27 : Sphalérite disséminée dans la dolomie grise



Figure 28: Sphalérite post-dolomie.

Figure 29: Sphalérite ante-dolomie.

B- Galène (PbS) :

Noire bleutée brillante, elle se manifeste soit en cristaux automorphes de taille millimétrique à centimétrique dans la dolomite blanche riche en matière organique ou grise. Cette galène est moins abondante que la sphalérite.

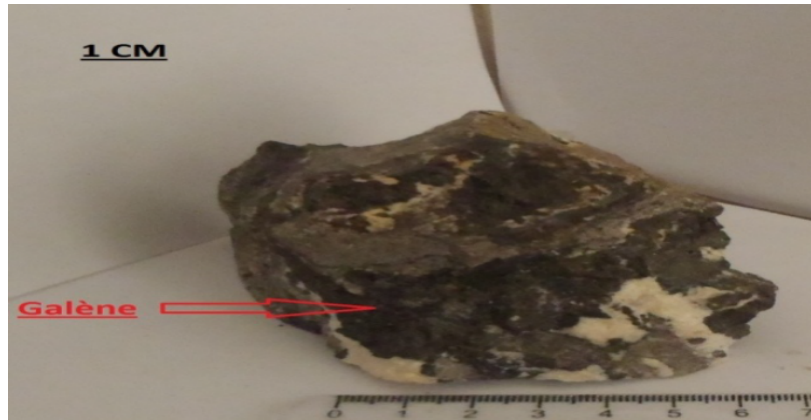


Figure 30 : Galène en dissémination.

C- Pyrite (FeS₂) et marcassite(FeS₂) :

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



Figure 31: Pyrite et marcassite oxydée entourant la dolomite

D- Chalcopyrite (CuFeS₂) :

Moins abondante, elle est 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 accolés à la galène.

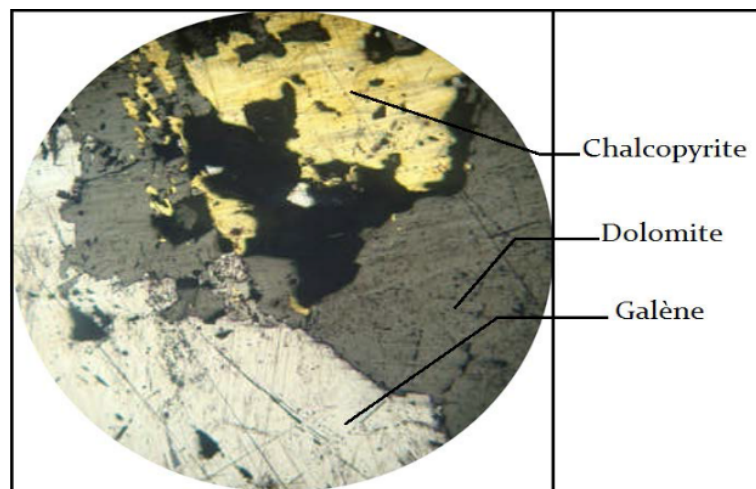


Figure 32: Photo montrant la chalcopyrite et la galène associées à la dolomite (S.P L.N Gr x 10)

E- Cuivre gris :

Il est très rare de forme xénomorphe, on observe 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.

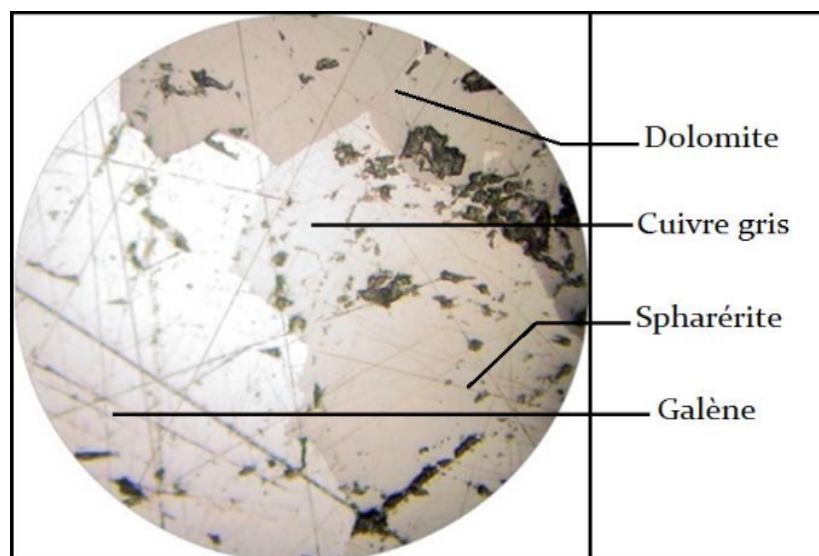


Figure 33: Photo montrant l'association cuivre gris, galène et sphalérite (S.P L.N Gr x 5), (Labchri.D.2011)

IV.4.2- Minéraux de gangue :

A- Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) :

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.

B- Silice (SiO_2) :

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

C- Calcite (CaCO_3) :

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.5- LA MINERALISATION KARSTIQUE

Un karst correspond à la formation des cavités par un mécanisme de dissolution, d'effondrement et de recristallisation, généralement en milieu carbonaté.

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 des minéralisations importantes, et 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 été trouvées dans les argiles. La base du karst est caractérisée par un produit ferrugineux qui nous donne une oxydation ante-karst.

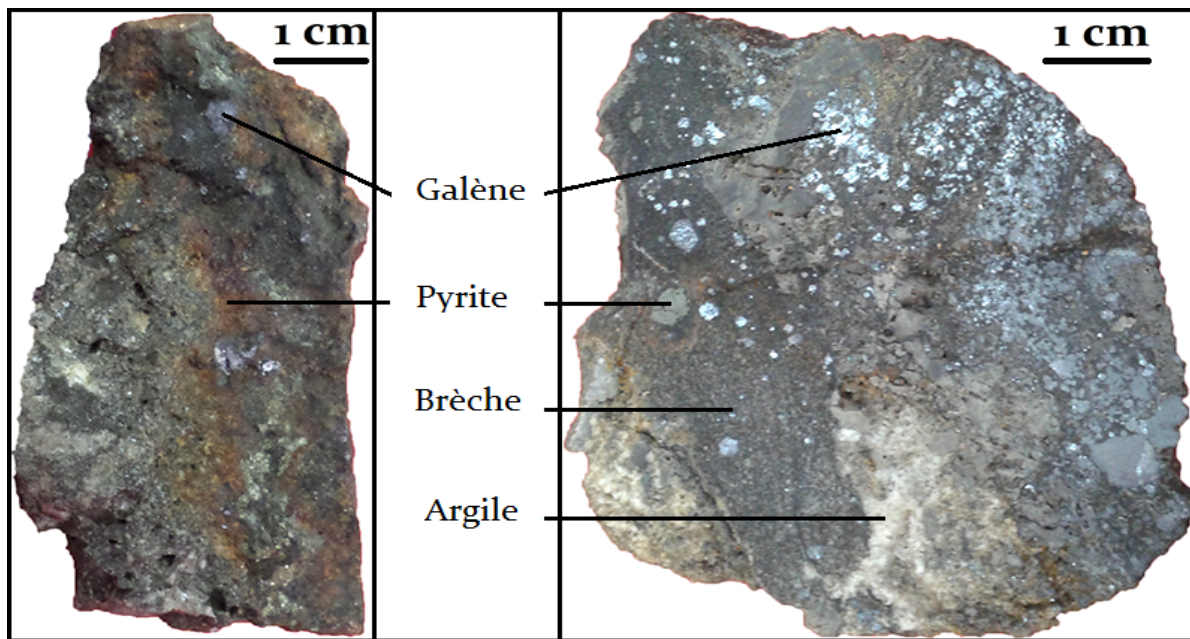


Figure 34 : Photos montrant deux échantillons de karst.

IV.5.1- Morphologie et sédimentologie de karst

La minéralisation karstique d'El Abed est encaissée dans les formations carbonatées de plate forme épicontinentale du Jurassique inférieur et moyen, les dépôts sont nettement discordants par rapport à leurs encaissant dolomitique, l'âge de ces minéralisations est post Eocène (BOUTALEB, 2005).

La morphologie des cavités paraît dépendre directement d'une dissolution guidée par la stratification et la tectonique. La forme de ces poches karstiques est typique et peut être subcirculaire ou se présentent en forme de poches en «U», leurs dimensions horizontalement peuvent dépasser une dizaine de mètre alors que leurs hauteurs sont de l'ordre de 1 à 2 mètre.

Le remplissage karstique d'El Abed est constitué par un mélange chaotique clastique hétérométrique et polygénique, qui consiste en des fragments de pyrite, sphalérite, de chalcopryrite et des grains de quartz et de dolomie gréseuse pris et enrobés par des argiles et des sables.

Le karst peut être dépourvu de minéralisation dans le cas où le fluide hydrothermal minéralisant n'a pas rencontré sur son chemin des zones renfermant le minéral de la minéralisation stratabound.

IV.5.2- Minéralogie

La minéralisation karstique est constituée essentiellement de pyrite et de sphalérite, et accessoirement de galène et de chalcopryrite.

IV.6- Caractéristique du minerai

D'après les données recueillis 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.

IV.7- LA MISE EN PLACE DE LA MINÉRALISATION

L'étude géologique de la minéralisation stratabound et des produits de remplissage du karst a mené à reconstituer la succession chronologique des événements qui ont prévalu dans cette région de la façon suivante :

Dépôt de toute la série, allant de Trias jusqu'au Jurassique supérieur et mise en place de la minéralisation stratabound par des fluides hydrothermaux chauds et salés à partir des zones de subsidences vers les Paléo-horsts (Bouabdellah, 1996, Boutaleb, 2003) causés par les mouvements Eocène.

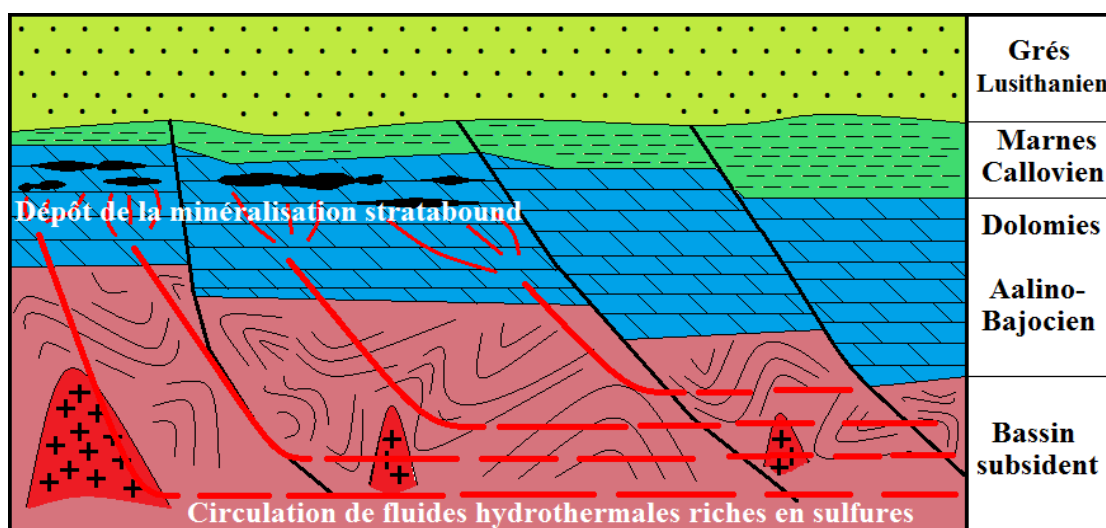


Figure 35 : schéma montrant le mode de formation de la minéralisation stratabound. Bouabdellah-Makhoukhi.S modifié Labchri.D 2011.

Ultérieurement, un autre fluide chaud, acide, réducteur et stérile karstifié, bréchifié, et remanie mécaniquement et chimiquement tout les produits de la minéralisation stratabound, par un mudflow, sur de faible distance et redépose les produits détritiques dans les cavités de karst Labchri. D 2011.

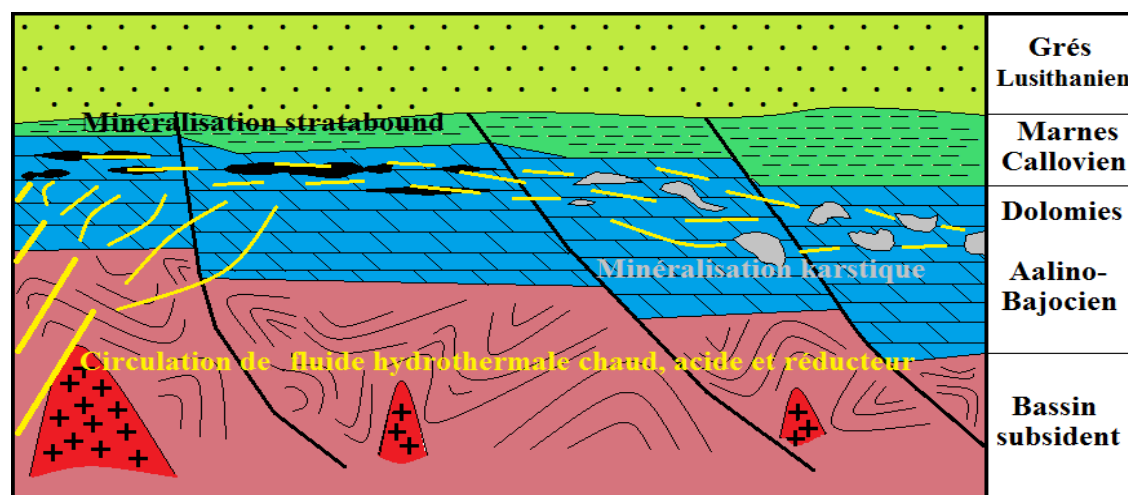


Figure 36 : Schéma montrant le mode de formation de la minéralisation karstique

Une dernière phase de fracturation, affecte les formations aaléno- bajociennes. Cette phase se traduit par le dépôt d'une dolomite blanche, géodique, sécante, rose en remplissage veinulés, est postérieure à la minéralisation ; on note aussi la présence d'une pyrite cubique (Pyr III), et du quartz hexagonal (Qtz II), de la barytine, très tardifs postérieurs à la dolomite blanche et rose.

L'absence de minéralisation liée à cette phase, nous permet d'avancer que le fluide tardif ayant circulé, était stérile et pauvre en métaux.

Les analyses chimiques des éléments en trace métallique des dacites du socle, des argiles rouges supra-socle et l'encaissant dolomitique révèlent des concentrations élevées de Pb et de Zn cela nous permet de dire que le socle paléozoïque et l'encaissant dolomitique sont les sources des métaux dans la minéralisation (Labchri. D. 2011).

IV.8- CONCLUSION

La formation dolomitique d'âge Aaléno-Bajocien est l'encaissant carbonaté de la minéralisation, celle-ci se présente de deux types :

-une Minéralisation stratoïde : encaissée dans les dolomies grises et dans les dolomites blanches/roses.

-une Minéralisation karstique : constituée de fragments de roches et de minéraux issus de la minéralisation stratoïde.

L'étude de la minéralisation stratabound et de l'encaissant révèle six types de dolomites dont quatre antérieurs à la minéralisation, il s'agit de dolomite diagénétique :

- Dolomicrite (I) ;
- Dolomite microcristalline (II) ;
- Dolomite spathique (III) ;
- Dolomite zébrée (IV).

L'arrivée des sulfures (sphalérite, galène, pyrite, chalcopryrite, cuivre gris) est liée à une première fracturation avec stylolitisation, cristallisation, et bréchification.

Après une deuxième fracturation se développe, la dolomite baroque (V) et la dolomite veinulée (VI) avec apport de pyrite, quartz et galène lié à la phase épigénétique.

Les produits de remplissage karstique sont issus du remaniement des minéralisations et de l'encaissant de la minéralisation stratabound par des fluides hydrothermaux acides et réducteurs.

- Parmi les principaux minéraux trouvés dans le gisement, on peut citer : la galène, la sphalérite, la pyrite et la marcassite. Ils sont associés aux argiles et à la matière organique, ils présentent différentes textures (massive, veinulée, disséminée, géodique, zonée, rubanée, mouchetée, pulvérulente et collomorphe), par rapport à leur encaissant essentiellement dolomitique.

CHAPITRE V :

CARACTERISATION DES

REJETS MINIERS ET SES

IMPACTS

V.1- INTRODUCTION

Selon Lee (2001), l'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 de son impact sur l'environnement .

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, et en phases minérales comprenant des éléments traces métalliques (ETM) toxiques.

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 constitue le problème environnemental le plus important pour les mines exploitant les minerais.

Notre travail dans ce chapitre est la caractérisation des rejets miniers qui sont stockés (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 36 Km de la daïra de Sebdou, qui est rattachée à Sidi El Djillali, qui contient des gisements polymétalliques de Pb-Zn.

V.2- TRAITEMENT DU MINERAI

-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.

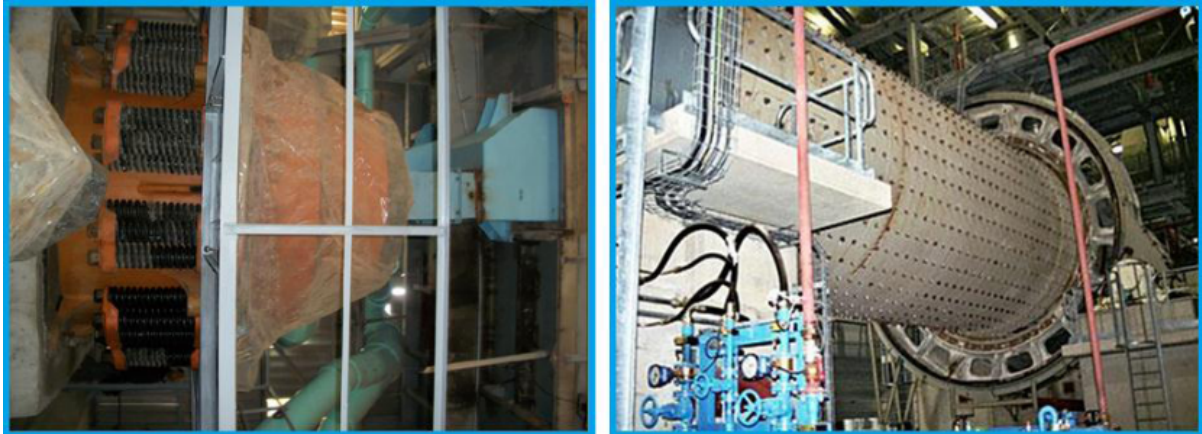


Figure 37 : Photo montrant un concasseur à cône et un broyeur à boulets.

L'unité de flottation de l'usine est destinée au traitement chimique du minerai, (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).



Figure 38: Photo montrant les cellules de flottation du minerai.

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 3.6m³ /t environ, pour subvenir aux besoins de la laverie les exploitants utilisent l'eau souterraine, qui est pompée dans un réservoir de 150m³ situé à proximité.

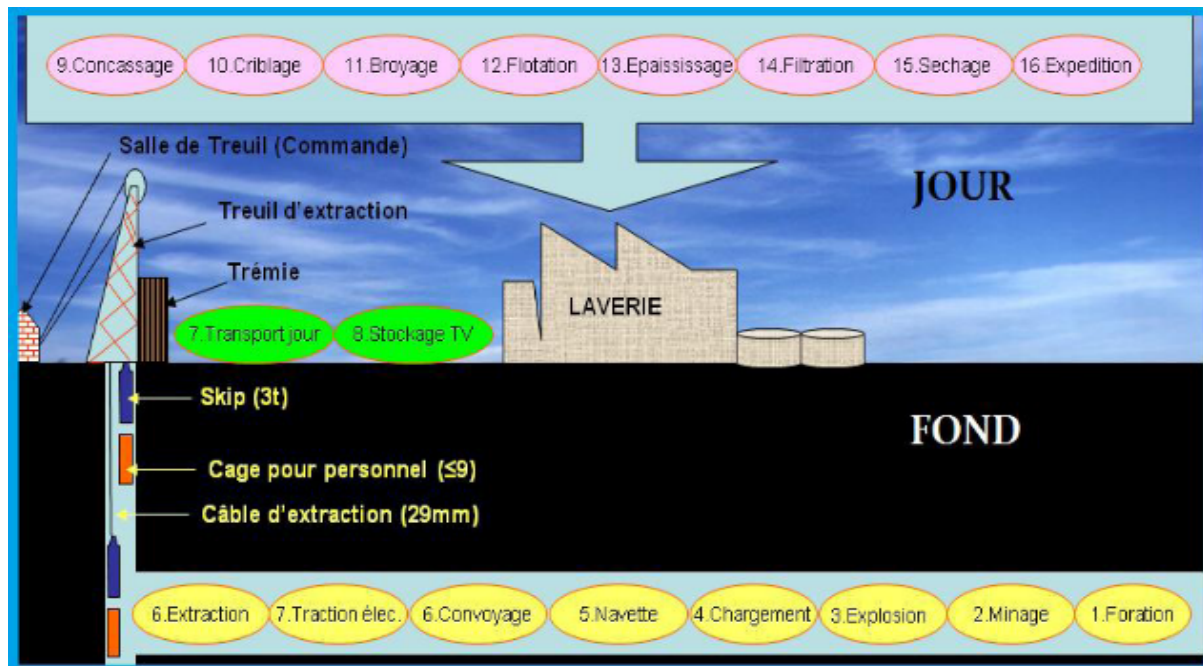


Figure 39: Schéma montrant les étapes d'exploitations et de traitement du minerai.

V.3- Les pertes des minéraux utiles :

On comprend par les pertes des minéraux utiles une partie du minerai qu'on ne peut pas exploiter.

Dans la mine d'El-Abed il y a les pertes du minerai à cause des piliers de protection Abandonnés définitivement ou récupérés systématiquement, quelques fois on distingue les pertes de minerais plus que 50%.

Les causes principales des pertes du minerai sont les suivants :

- a- A cause de soutirage incomplet.
- b- A cause des piliers de protection.
- c- Abattages incomplet du minerai.

V.4- État 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 (BEERGGM) pour une éventuelle reprise de la production de concentré de Zn et de Pb.

Chapitre V Caractérisation de Rejets Miniers et leurs Impacts

Cependant L'accord signé avec les chinois, n'à 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.4.1- Les puits :

Il existe trois puits (III, IV, V) et sont actuellement hors service.



Figure 40: Photographie du puits (IV).



Figure 41: Photographie du puits (V).



Figure 42: Photographie du puits (III).

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.



Figure 43: Photo montrant le stock de minerais laissé par la société chinoise(Boudiaf.M)

V.4.2- 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 44 : localisation et état actuel de la laverie

V.4.3. 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 365 062 m² et d'une épaisseur d'environ 5 à 15 mètres par endroits, cumulant un volume de 5 475 930 m³. Elle est constituée d'environ 15 Millions de tonnes de déchets à éléments très fins, accumulés durant toute la période de traitement du minerai

Chapitre V Caractérisation de Rejets Miniers et leurs Impacts

primaire. Ces éléments sont en contact direct 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.



Figure 45 : localisation et état actuel de la digue d'El Abed. (Boudiaf.M 2015)

V.5- Drainage minier

Les rejets miniers sulfurés (stériles et rejets de concentrateurs) sous l'effet de l'eau et de l'oxygène atmosphériques peuvent générer du drainage minier acide (**DMA**) qui sont considérés comme le plus important problème environnemental auquel fait face l'industrie minière.

Les **DMN** sont des fortes concentrations de métaux en solution à un ph neutre ou presque neutre.

V.5.1- Définition :

Le drainage minier est un phénomène de production d'une solution minérale acide ou neutre qui s'écoule régulièrement, suite à une production d'acide sulfurique induite par la mise en contact avec l'air de certains minéraux (sulfures métalliques), généralement à l'occasion de grandes excavations (carrières) et travaux miniers ou de stockage de déchets miniers. Il contribue localement au phénomène global d'acidification des eaux douces constaté depuis plusieurs décennies à grande échelle.

Le phénomène est parfois « spontané » sur des affleurements de minéraux sulfurés, naturellement sujets à une oxydation par contact avec l'air et l'eau. Les formes graves sont souvent anthropiques, induites par des travaux miniers (excavations et pompages).

V.5.2- Problématique

La prise de conscience généralisée d'un problème environnemental dans le secteur minier, le « drainage minier ». Bien qu'il soit difficile de le prévoir et de le quantifier de manière fiable, le DMA est associé aux minerais sulfurés de pyrite, associés au minerai de plomb, de zinc, de cuivre, l'or et d'autres minéraux, y compris du charbon. Ce phénomène peut se produire sur les parois riches en sulfurés, des puits et des mines souterraines, mais seul le drainage est lié à la gestion des résidus et des stériles.

Les principales origines de ce problème environnemental sont les suivantes :

- La présence fréquente de sulfures métalliques dans les résidus et/ou stériles ;
- L'oxydation des sulfures lorsqu'ils sont exposés à l'oxygène et à l'eau ;
- La formation d'une lixiviation acide chargée en métaux par oxydation des sulfures ;
- La formation de cette lixiviation durant de longue période.

V.5.2.1- Impacts sur l'environnement

V.5.2.1.1- Impact sur les ressources en eaux

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.

2. Les eaux de surface

La digue de tailing, est située sur le tracé et à proximité de l'Oued El Himer qui est le principal cours d'eaux d'El Abed dont l'écoulement est à caractère temporaire, donc généralement à sec la majeure partie de l'année à l'exception des périodes de grandes pluies.

Les eaux résiduelles qui résultaient du traitement de minerais, de l'exhaure de mine lors de l'exploitation vont dans un bassin de décantation. Les eaux retenues par la digue se déversent même à l'actuel dans la retenue collinaire de l'Oued El Himer, contiennent des concentrations variées en ETM notamment en Pb et en Cd.

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 46 : Photo montrant un lac d'eau au niveau de la digue.

V.5.2.1.2- Impact sur le sol

L'utilisation des explosifs durant la période d'extraction de minerais a fragilisé les zones riches en éléments métalliques, en multipliant les réseaux de microfissures. Il en résulte une augmentation importante de la perméabilité des zones exploitées, même si parfois les anciennes galeries sont remblayées avec des résidus de traitement de minerais.

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 s'exprime par une pollution des sols (végétal, agricole), issues des particules fines des rejets en contre bas de la digue.



Figure 47: Photo montrant une décoloration des sols contaminés au pied de la digue.

V.5.2.1.3- 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 sont soulevées de la digue sous l'effet des vents violents.



Figure 48 : Photo montrant le déplacement des éléments de la digue sous l'effet du vent.

V.5.2.1.4- 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 note que la végétation au niveau de la digue est très réduite.

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

- Le déplacement de la faune dans les zones de dégagements de déchets et de polluants miniers.
- Morcellement de l'habitat naturel et dispersion des espèces locales, ainsi que la perturbation de leurs intégrités écologiques.
- Augmentation du risque de contamination et de toxicité par les particules de métaux lourds présents en grande quantité dans la digue d'El Abed.



Figure 49 : Photo montrant les champs de céréales au pied de la Digue.

V.6- Techniques d'échantillonnages et d'analyses

V.6.1-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 a été effectué dans la digue située à proximité du site minier, ces échantillons sont représentatif, collecté méthodiquement, transporté stocké dans les conditions aux normes.

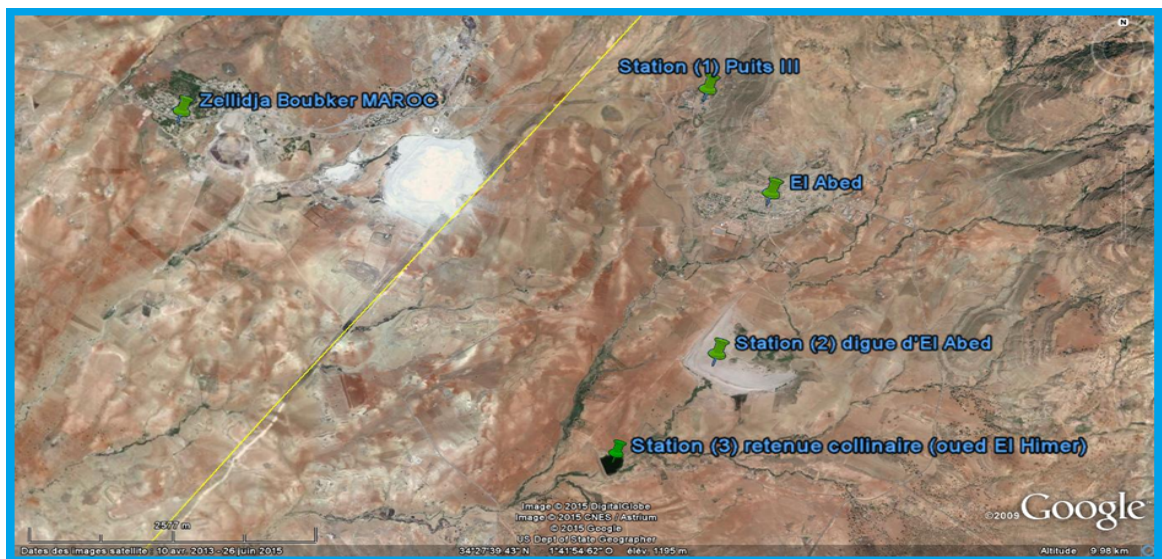


Figure 50 : localisation des zones d'échantillonnages.

V.6.2- Station

Les échantillons sont prélevés au niveau de la digue, du sol à proximité et les eaux de la retenue collinaire de la digue.

A- Station de la digue

Les échantillons sont prélevés au niveau de la digue et son voisinage, les coordonnées géographiques de la digue sont ($34^{\circ}27,244'N$ & $01^{\circ}41,373'W$), avec une altitude de 1216m.

- Échantillon (2) : digue de sables.
- Échantillon (3) : sol végétal, près de la digue (25m).
- Échantillon (4) : sol végétal, loin de la digue (200m).
- Échantillon (5) : l'eau retenue par la digue.

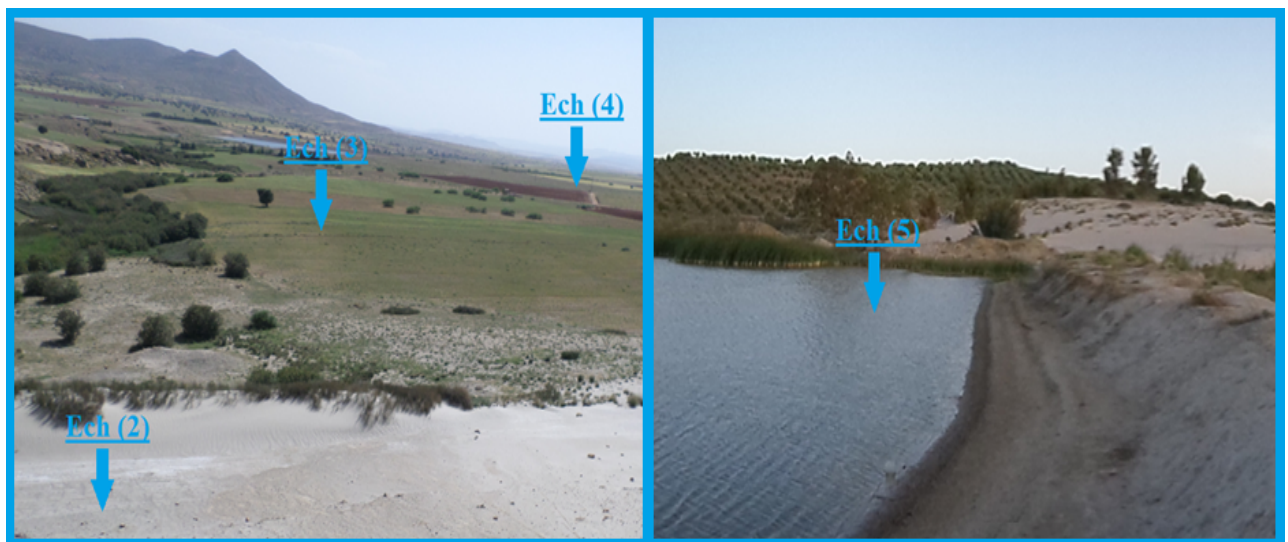


Figure 51 : Photo montrant la station des prélèvements des échantillons

B- Station de la retenue collinaire

Au niveau de la retenue collinaire, située à 100 mètres au Sud-ouest de la digue avec les coordonnées géographiques ($34^{\circ}27,226'N$ & $01^{\circ}40,334'W$) est une altitude de 1217m. L'échantillon (6) a été prélevé dans l'eau de la retenue collinaire sur 10 cm de profondeur.



Figure 52 : Photo montrant la retenue collinaire.

V.6.3- Techniques d'analyses et Préparation des échantillons

Les diverses analyses ont été réalisées dans le laboratoire de Géotechnique d'essai et de contrôle de la qualité du béton et des travaux publics (**ICELab**) à Tamda.

Les échantillons prélevés sur le terrain ont été soumis à l'étude des paramètres suivants :

A- Les sulfates

Dans le milieu minier, les sulfates sont des sels ou des esters de l'acide sulfurique provenant de l'oxydation des minéraux sulfurés. La teneur en sulfates dans le DMA renseigne sur la toxicité par le degré d'oxydation des minéraux sulfurés.

Cette analyse consiste à déterminer la présence de sulfates, elle se fait à l'aide d'un agitateur automatique, on sépare 1g de chaque échantillon tamisé à 0,08 mm, dans un bécher on mélange avec une eau déminéralisée, on ajoute quelques gouttes de HCL, on introduit l'agitateur automatique plus une source de chaleur pour accélérer le mélange.

Par la suite à l'aide de papier filtre, on filtre le mélange puis on ajoute le Barium chloride (BaCl_2) qui va nous renseigner sur la présence ou absence des sulfates. Après avoir confirmé leur présence, on filtre encore à l'aide du papier filtre vide, et

Chapitre V Caractérisation de Rejets Miniers et leurs Impacts

on les sèche, puis on passe les échantillons à l'étuve pendant 48h pour avoir la quantité approximative des sulfates présente.

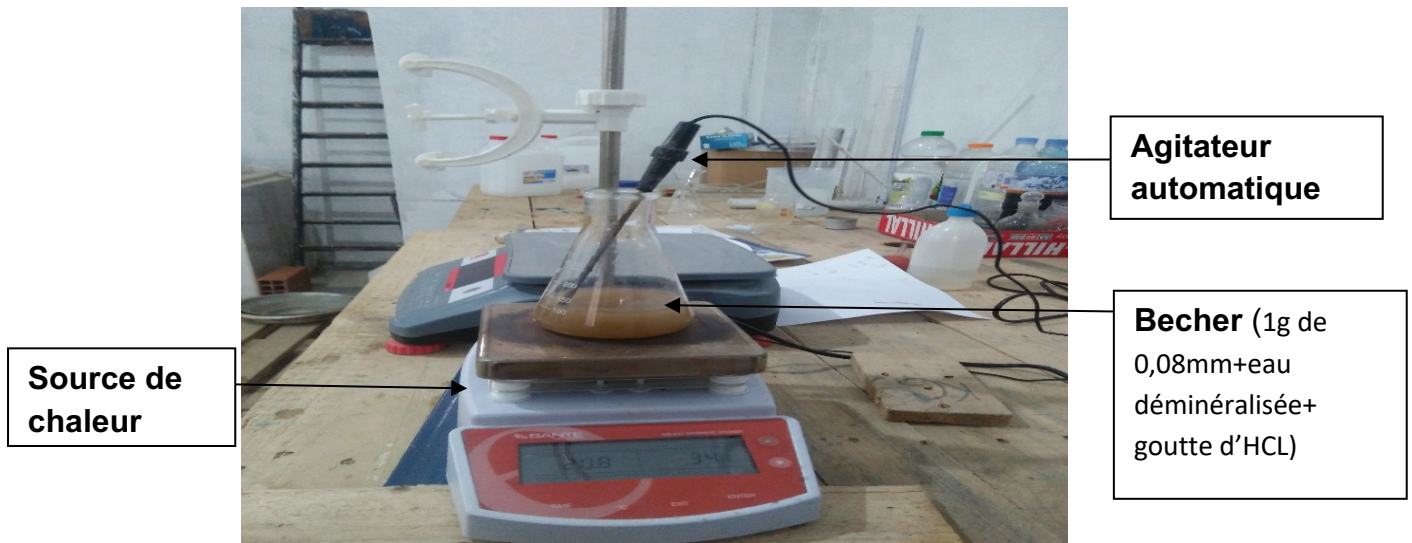


Figure 53 : Photo montrant le mélange à l'aide d'un agitateur automatique et une source de chaleur dans un bécher

Échantillons	Sulfates	Quantités des sulfates/gramme
Sable à 40cm de profondeur	Néant	/
Sable en surface	Trace	0,6958g
Sable sur la racine végétale	Trace	0,34364g

Tableau 1: Dosage des sulfates de différentes fractions.

- Les sulfates sont présents dans les sables et les racines avec des valeurs différentes

B- Les chlorures

En fait le dosage en utilisant toujours 1g d'échantillon tamisé à 0,08mm, plus l'eau déminéralisée, on ajoute un peu de Chromate de Potassium (K_2CrO_4) et on fait le mélange en suite, à l'aide d'une pipette, on ajoute petit à petit la solution d'Ag dans notre mélange jusqu'à obtenir une coloration rougeâtre, à partir de là on peut déterminer la quantité de chlorures présente.

Résultat :

Enchantions	Sable à 40 cm	Sable en surface	Sable sur la racine végétale
Chlorures	0,326781	0,1805	0,23218

Tableau 2: Dosage de chlorures des différentes fractions des rejets de la digue d'El Abed.

- Les chlorures sont plus élevés dans les horizons profonds.

C- LE PH

C'est un paramètre chimique qui mesure la concentration en ions H^+ et qui donne des indicateurs sur l'acidité ou la basicité d'une solution ainsi, dans un milieu aqueux à 25°.

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.

On mesure d'abord le Ph des deux solutions tanpons, ensuite on sépare un gramme (1g) pour chaque échantillon tamisé à 0,08 mm, par suite on mélange ces échantillons avec l'eau déminéralisée, pour enfin mesurer notre Ph à l'aide du pH-mètre, pour cela on introduit la tige du PH-mètre dans le mélange et on 'attend jusqu'à sa stabilisation pour avoir la valeur du Ph.



Figure 54: photo montrant le PH mètre .

Chapitre V Caractérisation de Rejets Miniers et leurs Impacts

Résultat :

Échantillons	Sable à 40 cm	Sable en surface	Sable sur la racine végétale	Eau de la digue	Eau retenue collinaire
PH	11,34	11,54	11,23	8.38	8.52

Tableau 3 : Ph des différentes fractions des rejets minier de la digue d'El Abed.

- Les Ph mesurés donnent des valeurs basiques, Typique d'un DMN de milieu carbonaté.

D- Conductivité électrique

Elle reflète le degré de salinité « la concentration des ions dissouts » dans les échantillons. La détermination de la conductivité électrique se fait sur extrait de sol (rapport sol/eau=1/2) à l'aide d'un conductimètre sur place. Les résultats obtenus seront comparés à une échelle de salinité.

Résultat :

Échantillons/Fractions	250 Um	125Um	63Um	Eau de la digue	Eau de la retenue collinaire
Conductivité Mv	0 ,620mv	0 ,467mv	0 ,45mv	1.74	2.76

Tableau 4 : Conductivité des rejets miniers de la digue d'El Abed

- Les résultats des analyses de-là conductivité électrique montre une valeur élevée dans la fraction la plus grande.

E- Granulométrie

L'analyse granulométrique est l'étude de la répartition des éléments d'une roche détritique, notre cas ce sont les rejets miniers prélevés au niveau de la digue.

L'analyse granulométrique est réalisée par tamisage, Elle consiste à séparer le grain aggloméré d'une masse connue, au moyen d'une série de tamis superposés par maille décroissante et à poser successivement le refus cumulé sur

Chapitre V Caractérisation de Rejets Miniers et leurs Impacts

chaque tamis. La masse de refus cumulée de chaque tamis est rapportée à la masse totale de l'échantillon soumis à l'analyse qui sont divisés en famille de :

1. Gravier
2. Sable grossier
3. Sable fin



Figure 55: Photo montrant le peser de refus cumulés.



Figure56 : Photo d'une série des tamis emboîtés décroissante.

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



Figure 57: Sables fins



Figure 58 : Sables grossiers



Figure 59 : Gravier

Courbes cumulatives échantillons de trois fractions du rejet de la digue d'EL Abed. Histogrammes des classes

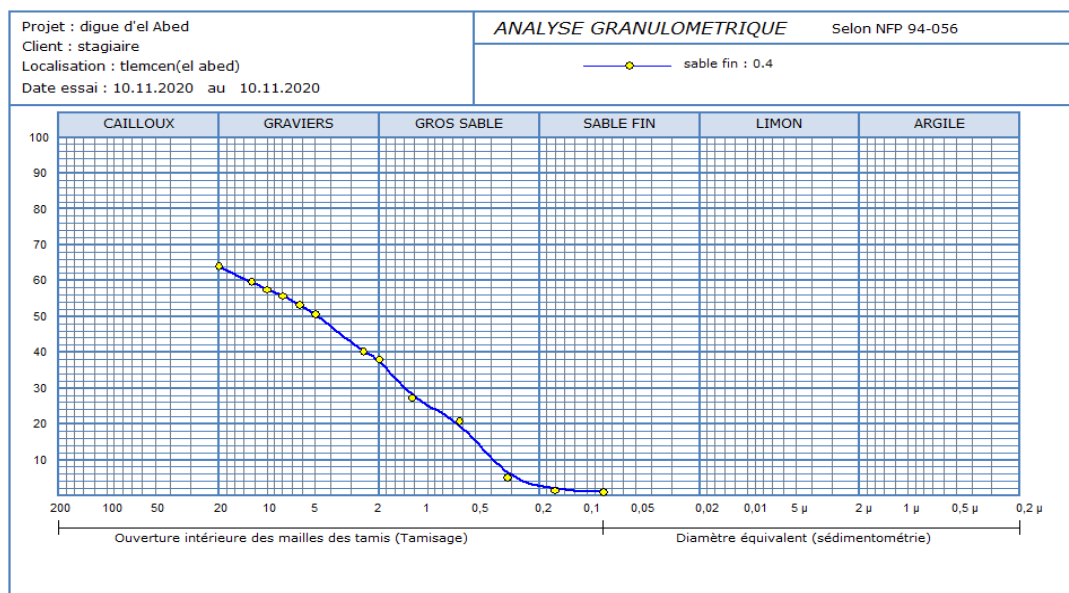


Figure 60 : Graphe des Sables fins.

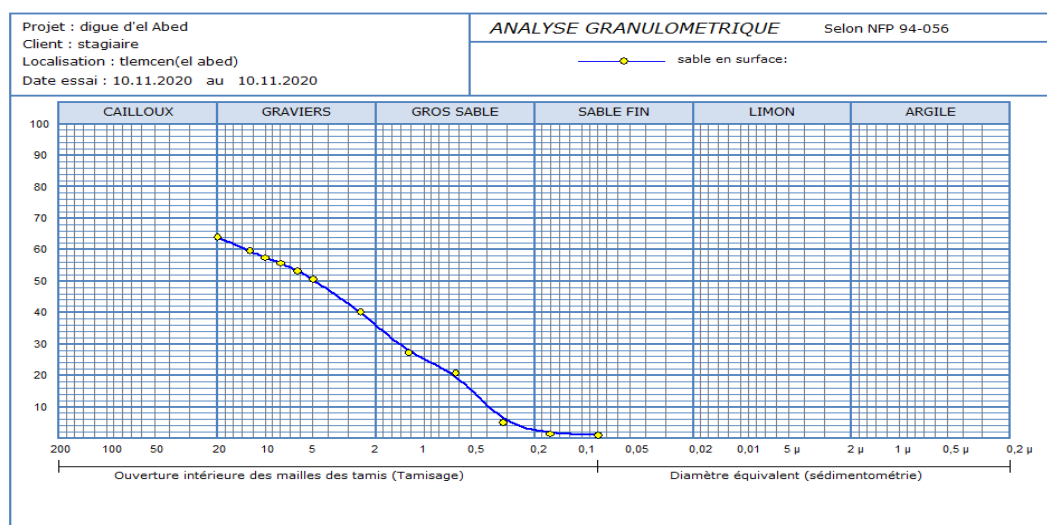


Figure 61 :Graphe des Sables en surface.

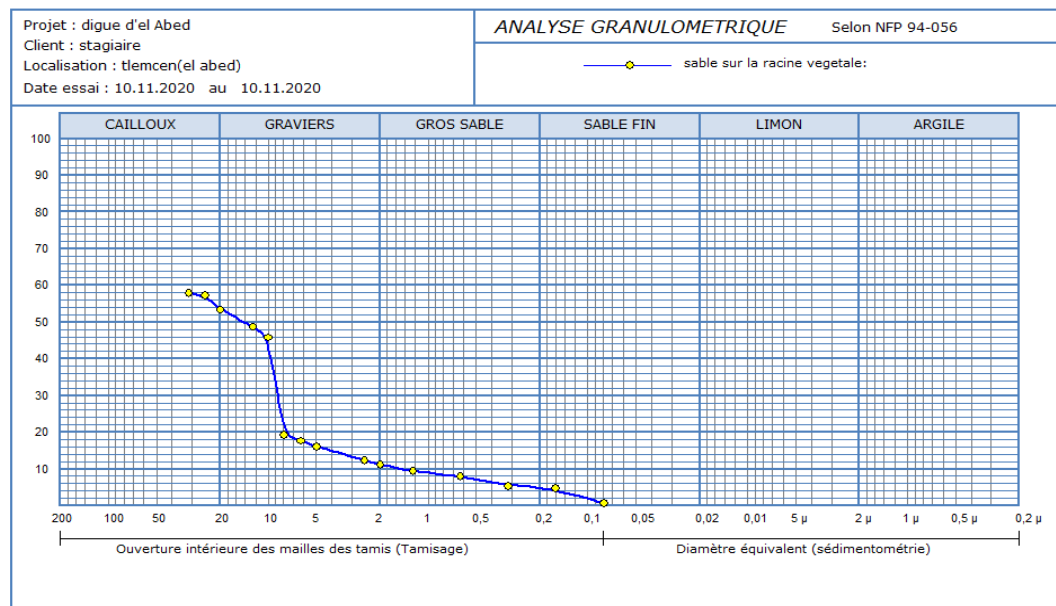


Figure 62 : Graphe des sables sur la racine végétale .

Le résultat des analyses montrent que les éléments de la digue sont de nature sableuse. Cette distribution granulométrique est typique d'un résidu minier issu d'un procédé de traitement d'un minerai polymétallique.

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).

F- Analyse chimique des ETM

Des analyses ont été effectuées sur les sables de la digue (2b), le sol végétal en contrebas de la digue (2b), les eaux de la digue (3) et retenue collinaire (4).

		Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	As (ppm)
Échantillon (2)	(a)	677	809	27	/	/
	(b)	1460	2120	23	280	29
Échantillon (3)		120	260	11	/	/
Échantillon (4)		24	53	0.97	/	/
Valeurs normales selon Bowen 1979		35	90	0.35	30	6
Valeurs limites selon Baize		100	300	2	125	15

Tableau 5 : Résultats des analyses chimiques des échantillons de sol.

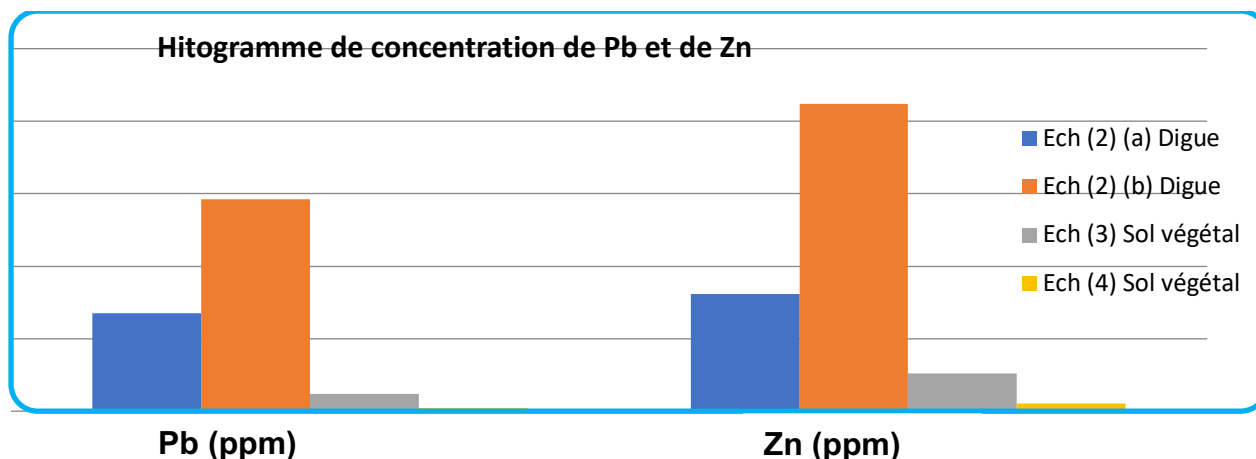


Figure 63 : Représentation graphique de concentration de Pb et de Zn dans les sols.

- Les résultats d'analyse chimique de Pb dans les échantillons (2) et (3) montrent une concentration élevée par rapport à la norme de Baize (100 ppm). l'échantillon (4) à une concentration normale.
- La concentration de Zn dans l'échantillon (2) dépasse largement la norme de Baize (300 ppm), par contre les autres échantillons (3) et (4) montrent des concentrations normales.

On note que la concentration de Zn dans l'échantillon (3) (sol végétal près de la digue d'El Abed) est élevée par rapport à celle de l'échantillon (4) (sol végétal loin de la digue d'El Abed).

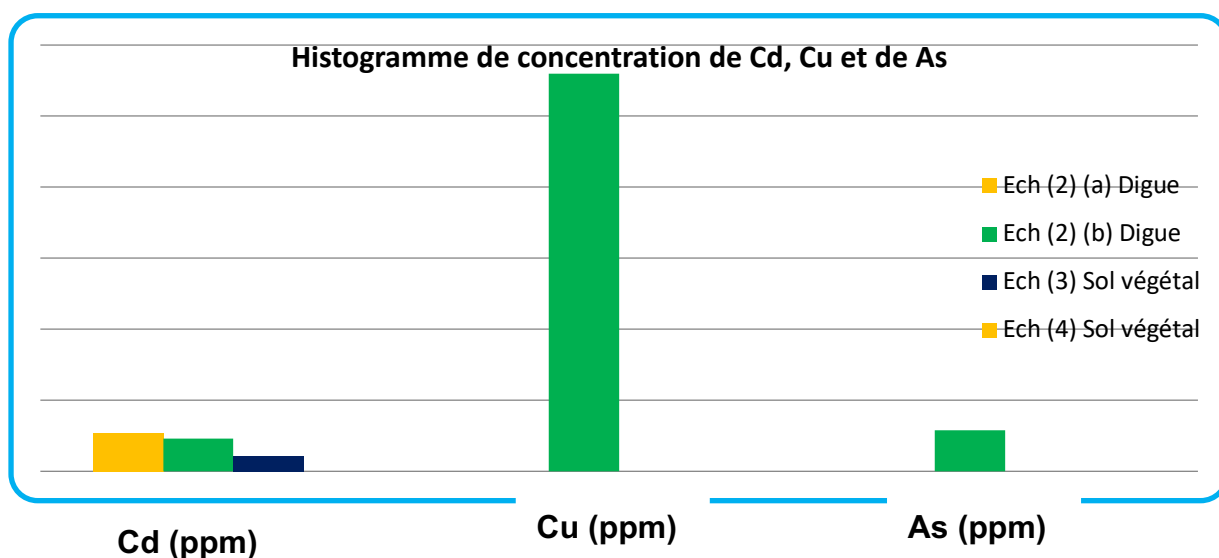


Figure 64: Représentation graphique de concentration de Cd, Cu et d'As dans les sols.

Chapitre V Caractérisation de Rejets Miniers et leurs Impacts

- Le cadmium montre des concentrations supérieures à la norme (2 ppm) pour les échantillons (2) et (3), l'échantillon (4) montre une concentration normale en Cd.
- Le cuivre et l'arsenic montrent des concentrations élevées par rapport à la norme pour l'échantillon (2).

	Pb (mg /l)	Zn (mg /l)	Cd (mg /l)
Échantillon (1)	0,243	0,702	0,058
Échantillon (2)	0,185	0,302	0,032

Tableau 6 : Résultats des analyses chimiques des échantillons de l'eau.

D'après les résultats obtenus, on remarque que les échantillons (1) et (2) présentent une :

- Concentration en plomb supérieure à la norme de l'OMS 2008 (0.01 mg/L).
- Les concentrations en zinc des deux échantillons (1) et (2) sont inférieures à la norme (3mg/L).

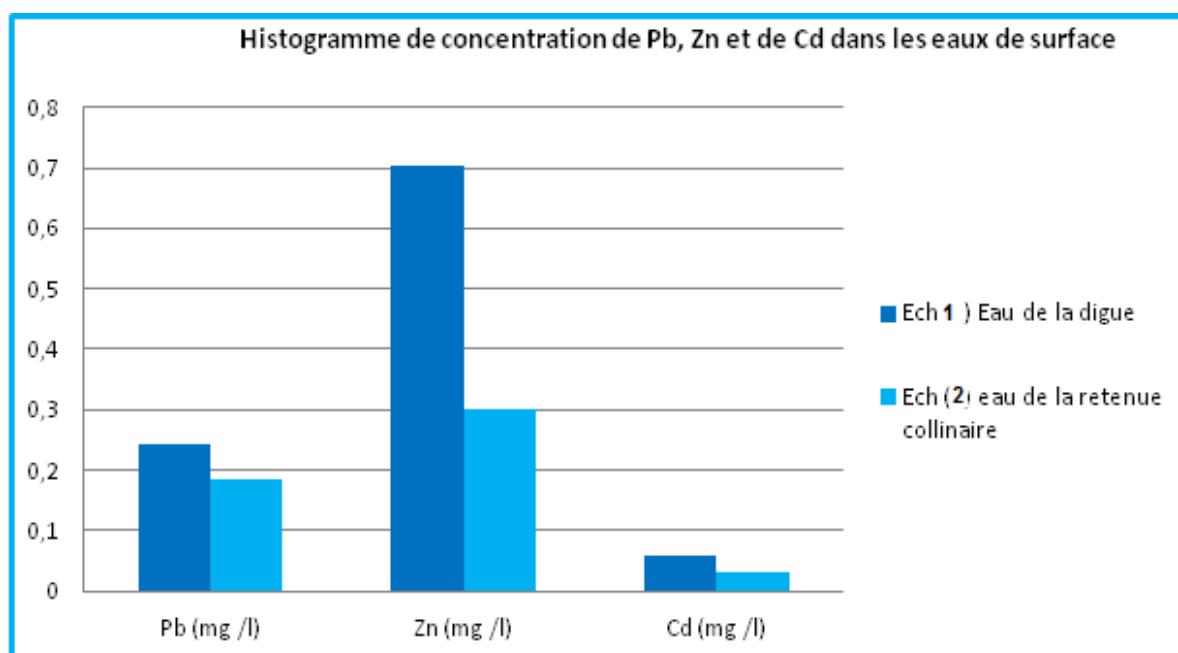


Figure 65 : Histogramme de concentration de Pb, Zn et Cd dans les eaux de surface.

G- Minéralogie de la digue

La digue d'El Abed est constituée essentiellement de dolomie (CaMgCO_3) de la malachite, azurite, et de silice (SiO_2), et accessoirement de sulfures (pyrite, galène et sphalérite). Ces éléments se présentent sous forme de sable fin, qui résulte 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

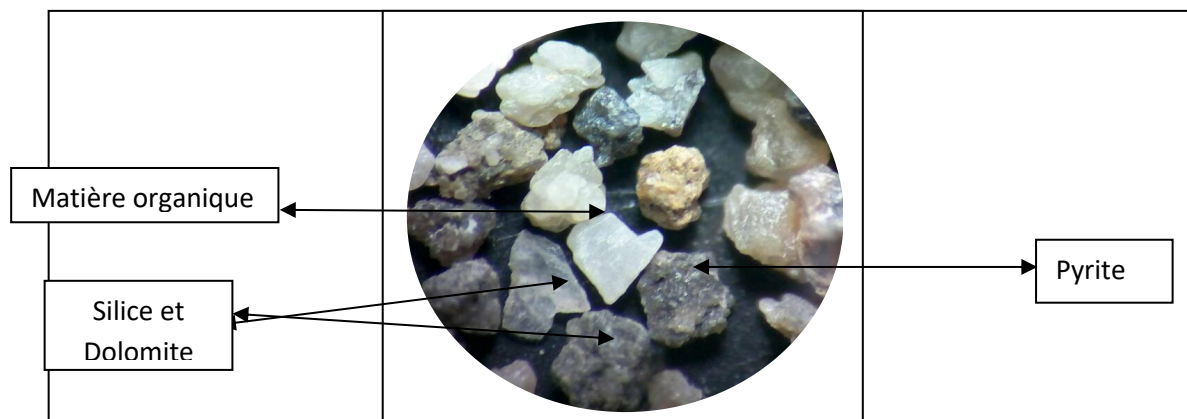


Figure 63 : Photos montrant les éléments de la digue sous une loupe binoculaire.

V.6.3.1- Interprétation des Résultats

Cette partie est consacrée à l'interprétation et à la comparaison de nos résultats d'analyses physico-chimique selon les normes internationales.

L'objectif est de mettre en évidence les caractérisations des propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des rejets et des eaux de la digue.

➤ Le PH

L'analyse montre que les rejets miniers de la digue d'El Abed, généralement ont des Ph essentiellement basiques qui varient entre ($11,23 \leq \text{ph} \leq 11,54$). La valeur basique du PH s'explique par la prédominance des carbonates « dolomite » dans les rejets miniers qui est l'encaissant de la minéralisation, néanmoins on remarque de légère différence

Au niveau du système racinaire des plantes, la baisse du ph s'explique par la présence des acides humiques qui ont tamponné le Ph légèrement.

Les sables en profondeur ont un Ph inférieur à celui du niveau de surface, cela s'explique par un lessivage de ces sables par les eaux ;

➤ **Conductivité électrique**

La digue est en amont de ces ressources en eaux « oued et retenue » a contribué à l'augmentation de la minéralisation des eaux. En effet, ces rejets sont fortement minéralisés, la dissolution par la pluie, l'érosion et le transport « eau+vent », des particules fines de ces résidus vers les oueds sont à l'origine de l'augmentation de la salinité au niveau des eaux de la digue.

➤ **La granulométrie :**

Nos échantillons présentent tous une configuration homogène. En effet , ils montrent que les rejets miniers analysés sont composés de trois (03) fractions : graviers, sables grossier et sables fins.

Les échantillons prélevés à différents endroits montrent que l'ensemble des échantillons de la digue d'El Abed ont une texture très sableuse (98 % des grains de taille inférieure à 50 mm).

➤ **La minéralogie**

L'observation des éléments de la digue sous la loupe montre qu'ils sont constitués majoritairement par des grains de dolomite de couleur blanche de la malachite, l'azurite, du quartz, des minéraux métalliques (galène et pyrite) sous forme de petits cristaux de couleur sombre.

➤ **Analyse des Eléments Traces Métalliques**

On se basant sur les résultats obtenus, la digue d'El Abed présente des concentrations élevées en Pb, Zn, As, Cu et Cd par rapport à la norme de Baize, le sol végétal près de la digue montre des teneurs en Pb, Zn et en Cd supérieures à la norme, cela est dû à l'instabilité de la digue (érosion éolienne et hydraulique).

V.7- Impact de la digue

La digue d'El Abed représente l'impact environnemental le plus influant dans la région à l'heure actuelle. Ce dernier est régi par les rejets miniers entreposés sur place qui posent le problème du risque d'instabilité physique, de retenue et de confinement ainsi que d'instabilité chimique. L'instabilité physique de la digue est

Chapitre V Caractérisation de Rejets Miniers et leurs Impacts

liée à la saturation du matériel en place, il est caractérisé par une consolidation lente.

Les facteurs qui seraient à l'origine de l'instabilité physico-chimique de la digue sont :

- La saturation de la digue par une crue des eaux excessives dans le bassin ;
- L'érosion régressive des matériaux dans la digue et dans la fondation ;
- L'érosion de surface due à l'entraînement des particules par l'eau ou le vent et le glissement des zones instables ;

La stabilité physico-chimique des déchets de la digue d'El Abed est un aspect environnemental très important qui doit attirer l'attention des structures concernées, dans le cas contraire le risque de pollution par des particules de matières fines à éléments lourds des eaux, du sol, de la faune et de la flore, et même sur la santé publique s'accroît de plus en plus.

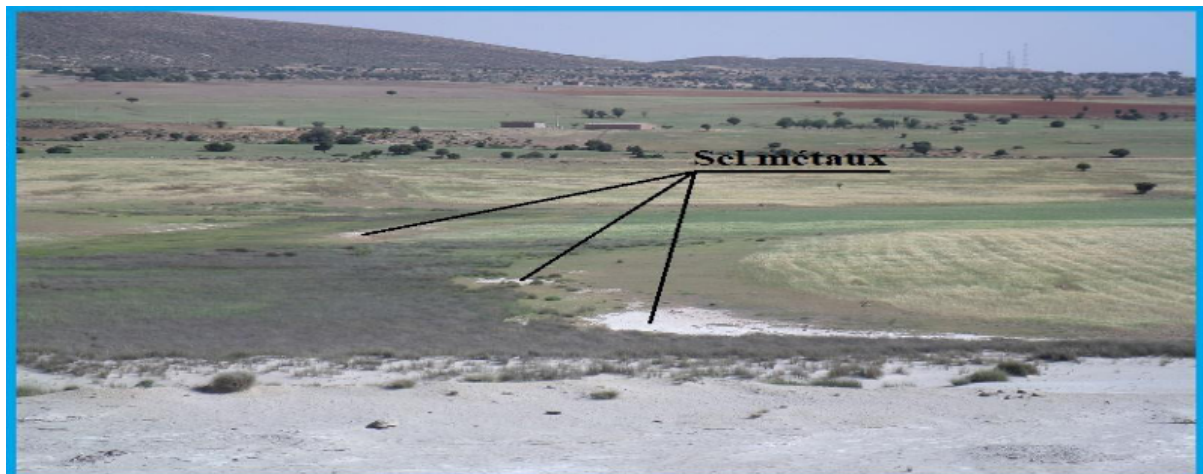


Figure 64 : Photo montrant le sel de métaux déplacé par les eaux de ruissellement
(Boudiaf.M 2015)



Figure 65: Photo montrant l'effet de la digue sur l'agriculture

V.7.1- Impacts paysager

Le paysage est une perception de l'espace, image perçue d'un système complexe d'éléments issus d'un grand nombre de facteurs physiques (géologie, géomorphologie, pédologie, climatologie) auxquels il convient d'ajouter l'action anthropique (humaine).

Le principal problème (l'impact sur le paysage) que représente l'ouverture d'un chantier d'exploitation est son impact visuel auquel il faut ajouter la modification de la valeur culturelle du paysage.



Figure 66 : Photo montrant l'impact négatif de la digue sur le paysage

L'accumulation de déchets de matériels et d'équipements utilisés durant les compagnes d'exploitations sur le site minier, ainsi que la digue d'El Abed engendrent une importante pollution visuelle.



Figure 67 : Photos montrant la pollution visuelle à El Abed.

V.7.2- Impact sur l'eau

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

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. Les résultats ont mis en évidence la présence des concentrations élevées en As, Cu, Cd, Pb et Zn dans les rejets miniers, le sol végétal près de la digue et dans les eaux de surfaces (eau de la digue et celle de la retenue).

V.8- 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 a proposé le plan de réhabilitation suivant :

Chapitre V Caractérisation de Rejets Miniers et leurs Impacts

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

Après l'arrêt de l'activité minière.

L'utilisation L'aménagement et la remise en état du site minier d'El Abed en procèdent à une désinfections des différentes installations « laverie, les puits...etc.», et à l'évacuation du matériels abandonnés 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.

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.



Figure 69 : Photo montrant des graminées adaptées au sol pollué. (Boudiaf.M 2015)

V.9- Conclusion :

Les résultats qui ont été fournis par les différentes analyses permettent de conclure que les rejets miniers de la digue d'El Abed sont de nature basique, les drainages sont des DMN on est en cas d'absence de DMA.

Cette absence s'explique par la nature chimique et minéralogique des rejets miniers, composés essentiellement de carbonates (calcite et dolomite) qui neutralisent le peu de pyrite qui s'oxyde toute acidité produite et qui bloque toutes les réactions d'oxydation.

Les analyses chimique montre la présence des EMT, indice de pollution est souvent très élevés, montre que la combinaison en métaux dans les sols, sable de la digue sont une source potentiellement toxique pour la flore, faune et les habitants.

Les conditions chimiques génèrent et créent de multiples impacts environnementaux sur le sol, l'air et l'eau, en plus de l'impact négatif paysager des rejets miniers qui font saillie dans le milieu naturel, ces résidus ont une capacité polluante chimique élevée souvent très riches en minerais métalliques résiduels, en sulfures de fer en sulfates et en phases minérales comprenant des éléments traces métalliques.

Malgré l'environnement hostile du milieu, plusieurs essences végétale tell que les graminées ont été observé sur le sites et son parfaitement adaptées aux conditions hydro-chimiques 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

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

Ces gisements d'El Abed sont de type MVT, épigénétiques encaissés principalement dans des dolomies, 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.

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 : Paléozoïque et Mésozoïque .

La tectonique globale est divergente, marquée par les mouvements épirogéniques du Lias et Dogger.

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

La minéralisation dans le gisement d'El Abed est encaissée dans des formations d'âge Aaléno-Bajocien. On dénombre deux types de minéralisation, une minéralisation strataboud l'autre karstique issue du remaniement de la première.

L'étude des rejets miniers de la digue d'El Abed montre que ces rejets miniers de la digue cumulent un volume d'environ 15 Millions de tonnes de déchets à éléments très fins, issus du traitement du minerai primaire durant la période d'exploitation. Ces rejets déposés sur le tracé de l'oued l'himer, de stabilité physique faible et sans couvert végétal, sont sujets à une dispersion large sous l'effet des vents violents et des pluies orageuses que connaît la région. Le drainage minier est le problème environnemental le plus important lié aux activités minières.

Les rejets miniers d'El Abed (la Digue) ont une distribution granulométrique typique d'un résidu minier issu d'un procédé de broyage d'un minerai polymétallique; ils montrent une texture sableuse à matrice carbonatés (calcite et dolomite).

Les résultats fournis par les différentes analyses permettent de conclure que les rejets miniers de la digue d'El Abed sont généralement des DMN, ce qui indique

Conclusion Générale

l'absence de DMA. Cette absence s'explique par le fait que les rejets miniers sont composés des carbonates qui neutralisent toute acidité produite et qui bloque toutes les réactions d'oxydation.

La stabilité physico-chimique des déchets de la digue d'El Abed est un aspect environnemental très important qui doit attirer l'attention des services concernés, dans le cas contraire le risque de pollution par des particules de matières fines à éléments lourds des eaux, du sol, de la faune et de la flore, et même sur la santé publique s'accroît de plus en plus. Ces derniers, riches en ETM, présentent une capacité polluante élevée sur l'environnement.

Toutefois, on note que les risques des impacts liés à l'altération chimique à partir des rejets miniers étudiés sont réduits (DNC).

BIBLIOGRAPHIE

BENDJAZIA M A –BENLAMARI (2012)-contribution à l'étude geologique et mineralogique du gite plombo-zincifères d'El Abed.

BENEST M. et ELM I S. (1969) – apporta des Précisions stratigraphiques sur le Jurassique inférieur et moyen de la partie méridionale des Monts de Tlemcen (Algérie). C.R. somm. Soc. Géol.Fr.Paris, n° 8, p. 295-296,

BENEST M. (1985) - Lyon, *Docum. Lab. Géol.* Évolution de la plate-forme de l'Ouest Algérien et du Nord-EstMarocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire. Thèse Sci., Lyon, vol. 95, 581 p.

BENDJAZIA M A –BENLAMARI (2012)-contribution à l'étude geologique et mineralogique du gite plombo-zincifères d'El Abed.

BOUABDELLAH M. (1996) - Mechanisms of formation of internal sediments at the Beddiane Lead-Zinc deposit, Touissit mining district, North-eastern Morocco. Department of Mineral Engineering, Génie Minéral, Ecole Polytechnique de Montréal. Special Publication N°4, 1996, pp. 356-363.

BOUTALEB A. (1987) - étude de la minéralisation karstique du Djebel Debbagh occidental-Guelma Thèse de magister USTHB (Alger).

BOUTALEB A. (1993) - Métallogénie des gîtes à Pb-Zn-Ba du Sétifien-Hodna-Aurès. In:Proceedings of Workshop MVT (Mississippi Valley Type) Deposits in Europe and North Africa, comparisons with North American Deposits, constraints on modeling paleo-circulations. pp. 203-210

BOUABDELLAH M. (1996) - Mechanisms of formation of internal sediments at the Beddiane Lead-Zinc deposit, Touissit mining district, North-eastern Morocco. Department of Mineral Engineering, Génie Minéral, Ecole Polytechnique de Montréal. Special Publication N°4, 1996, pp. 356-363.

BOUTALEB A. AFALFIZ A. ; AISSA D. ; KOLLI O. ; MARIGNAC Ch. & TOUAHRI B(2000) – Métallogénie et évolution géodynamique de la chaîne tellienne en Algérie. Bull.Serv. Géol. Algérie, Vol.11, n°1, pp. 3-27.

BOUTALEB A. (2001) –Etude des minéralisations des domaines sétifien-Hodna– pétrographie des dolomies, microthermométrie : implications métallogéniques. Thèse de Doctorat - USTHB 400p.

BOUTALEB A. (2003) - Origine et âge relatif de la minéralisation karstique d'El Abed, 2^{ème} Séminaire de Stratigraphie National, Béni Abbès 7-9 décembre .

BOUTALEB, A. et MOUSSAOUI, KH. (2010). Etude pétrographique et microthermométrique préliminaire des dolomies et des sphalérites d'El Abed– W. Tlemcen. Master USTHB ; Alger.

BOUTALEB A. (2011) .Carbonate hosted lead-zinc deposit of El Abed-Tlemcen North

BOUDIAF.M et IGAHLOUZENE.(2015) :Etude des minéralisation Pb-Zn d'El Abed (Tlemcen) et leurs impacts sur l'environnement .Mémoire de Master UMMTO Tizi-ouzou.

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 géologiques de la minéralisation du gisement Zn Pb d'El Abed (W, Tlemcen) mémoire d'ingénieur d'état USTHB (Alger).

ELMI S. (1970). - Rôle des accidents décrochant de direction SSW-NNE dans la structure des Monts de Tlemcen (Ouest algérien). Soc. Hist. nat. Afrique Nord, t. 61, p. 3-8, 1 fig.

ELMI S. (1971). - Les zones d'ammonites dans la série Bajocien supérieur-Callovien de l'Oranie (Ouest algérien). Bull. Soc. Géol. Fr., (7), t. XIII, p. 28-37, 1 fig.

ELMI S. (1972) -l'instabilité des monts de Tlemcen et de Ghar Rouban (Ouest Algérien) pendant le Jurassique, interprétation paléogéographique .C.R .somm .Soc .géol.fr. p.20-222.

Bibliographie

ELMI S. (1977) - La sédimentation carbonatée en bordure du horst de Ghar-Roubane (Algérie occidentale) pendant le Carixien. Bull. Soc. Géol. Fr., (7), t. XIX, p. 355-365, 12 fig.

ELMI S. (1978) - Polarité tectono-sédimentaire pendant l'effritement des marges septentrionales du bâti africain au cours du Mésozoïque (Maghreb). Ann. Soc. géol. Nord, (1977), p. 315-323.

ELMI S. et BENEST M. (1978) - Les "Argues de Saïda" faciès flyschoides du Callovien-Oxfordien du sillon Tlemcenien (Ouest algérien). Stratonomie, environnement, interprétation et évolution paléogéographique. Docum. Lab. géol. Fac. Sci. Lyon, hors-série 4, Livre jubilaire Jacques Flandrin, p. 203-261.

ELMI S. (1978)- l'évolution des monts de Ghar-Rouban (Algérie Nord occidentale) au début du Jurassique.

GOUMGHAR. N DJEDDLY(2015) Etude de la minéralisation à Pb-Zn de Dégène W. Tlemcen ; Master UMMTO.

HADDAD KAHINA(2016) -Etude sur les minéralisations d'El Abed W. Tlemcen Master UMMTO.

INGOULEM. O ET SANAGO. B (2003) - Etude sur les minéralisations karstiques d'El Abed W. Tlemcen U.S.T.H.B ;

LABCHRI D. (2011). Etude des minéralisations d'El Abed (Tlemcen) – Thèse de magister –USTHB Alger ;

LETOUL,Ch ET BOUALAMAT, A.B (2014) : étude des minéralisations à Ba-Zn-Cu-F des filons de Ghar Roubane, Monts de Tlemcen (NW Algérie). Mémoire de Master USTHB. Alger

LUCAS G. (1942) - Description géologique et pétrographique des monts de Ghar Roubane et de Sidi El-Abed. Bull. Ser. Car. Géol. Algérie 2ème série n°16.

Bibliographie

LUCAS G. (1954)- relation de la structure de la minéralisation Plombo-Zincifère dans la région de Ghar Rouban frontière Algéro-Marocaine Congrès de géologie .

MAKHOUKHI S. (1993) – Le gisement de Beddiane (Maroc oriental) : Géologie et élément de modélisation d'une minéralisation de type Mississippi Valley. Thèse de Doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Paris. 124p.

MIMOUNI Djalila et MAHBOUBI Hasnia (2014)-Etude géologique de l'indice de minéralisation « Djebel Deglen » (partie Sud des Monts de Ghar Roubane, Tlemcen , Algerie). Thèse de magister Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.

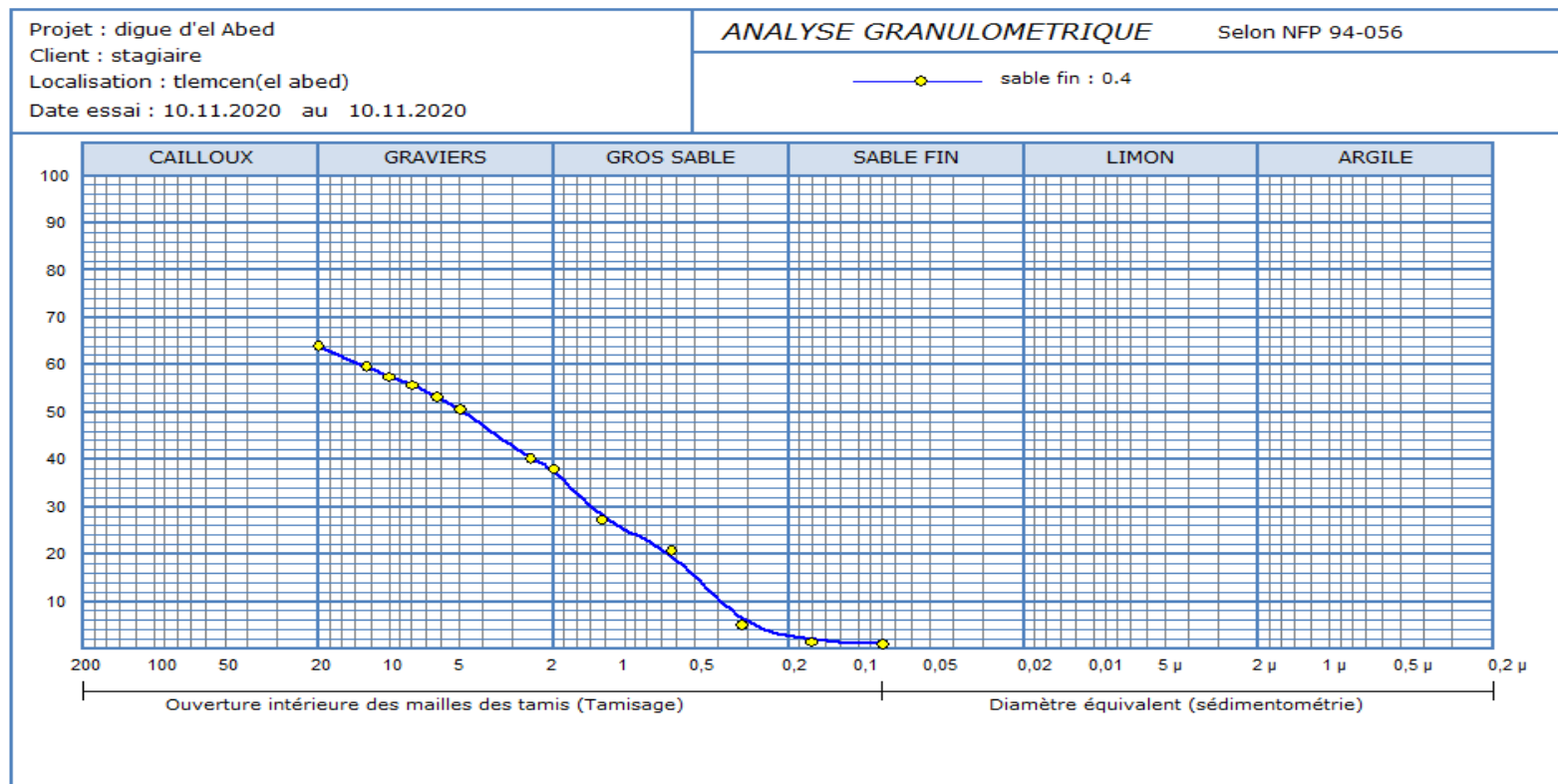
TOUAHRI. B (1991) - géochimie et métallogénie des minéralisations Pb-Zn du Nord de l'Algérie.

SALHI. N(2019). Etude sur les minéralisations à Barytine des granites de Beni – Snous W. Tlemcen Master UMMTO.

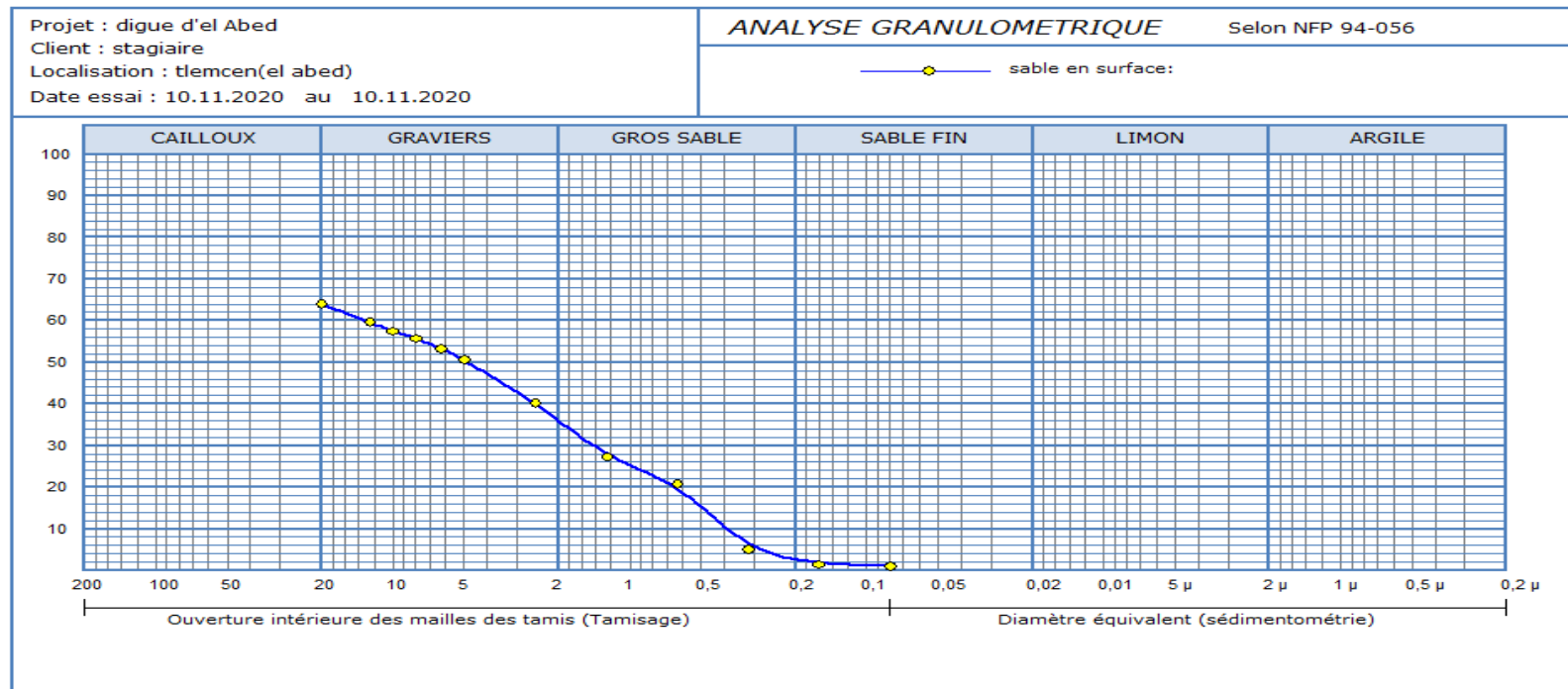
YOUSFI G.et OUMAIOUF F. (2017).Etude du drainage minier de la digue d'El Abed(Tlemcen). Master UMMTO.

SALIFOU SANAGO M, INGOULEM O. (2004)- contribution à l'étude de la minéralisation karstique du gisement Pb- Zn d' El Abed (W, TLEMCEM).Mémoire d'Ingénieur U.S.T.H.B.

SALHI. N(2019). Etude sur les minéralisations à Barytine des granites de Beni – Snous W. Tlemcen Master UMMTO.

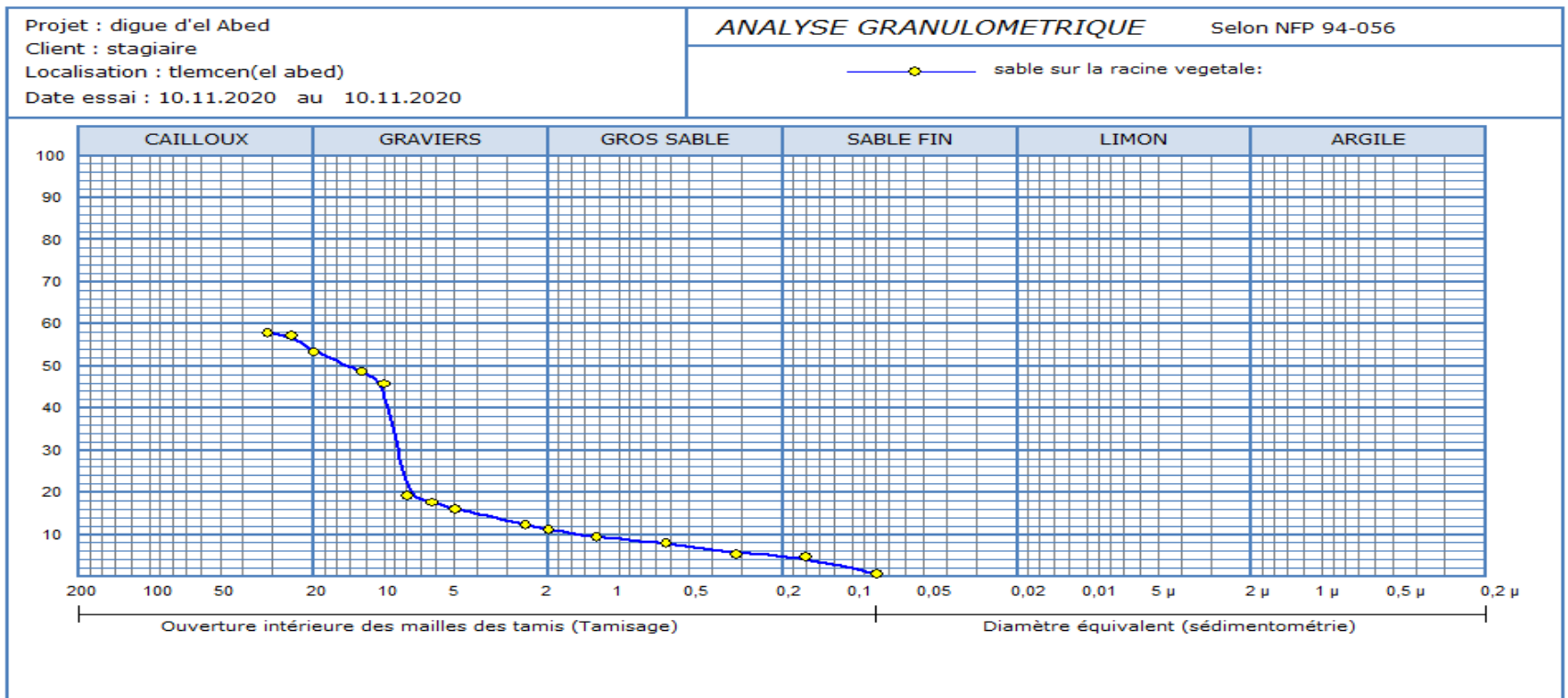


Courbe granulométrique des sables a 40 cm



Programme: Soltestis 2007 ©

Courbe granulométrique des sables en surface



Programme: Sollests 2007 ©

COURBE GRANULOMETRIQUE DES SABLES SUR LA RACINE VEGETAL

