

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

جامعة مولود معمري

Faculté des Sciences Biologiques Agronomiques

Département des Sciences Géologiques



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES GEOLOGIQUES

Option : Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnement

Par : AMRANI Riad

et MESLI Samy

Thème :

Projet de recyclage des rejets de la digue d'El Abed dans un Géo-matériau

Soutenu publiquement le 19 /09 / 2022 devant le Jury composé de :

M. HAMIS A.

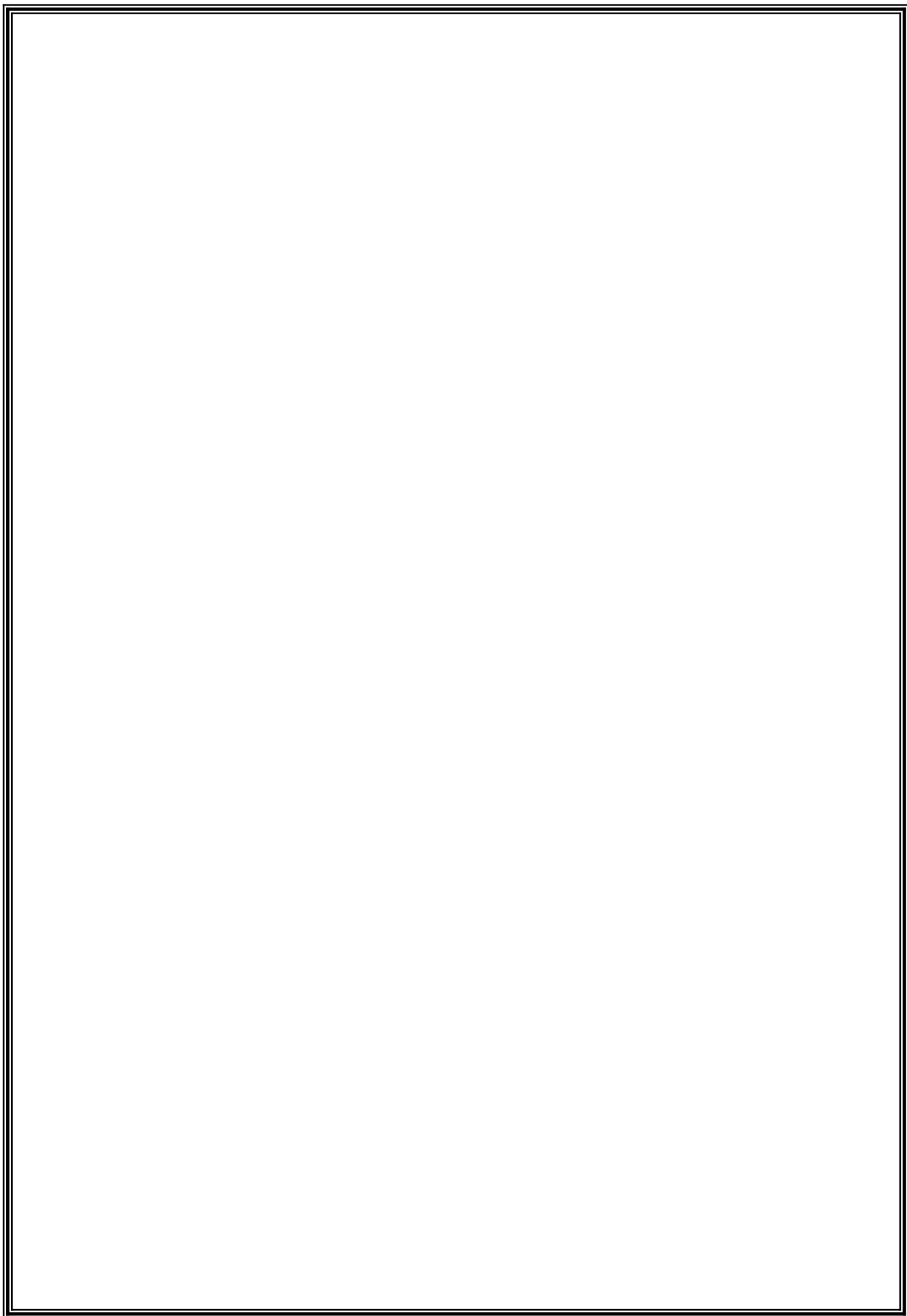
Président

M. IZRI D.

Encadreur

M. DROUCHE A.

Examineur



Remerciements :

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

Nos premiers et profonds remerciements et respects s'adressent à notre promotrice **Mme. IZRI.D** qui a accepté de nous diriger tout au long de la réalisation de ce mémoire et qui nous a fortement encourager et conseiller.

Nos remerciements vont à **M. HAMIS A.** pour nous avoir fait le grand honneur de présider le jury de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont à **M. DROUCHE A.** pour avoir bien voulu accepter d'examiner notre travail du faire partie du jury, et de nous avoir permis de profiter de sa connaissance profonde en géologie.

Nos vifs remerciements vont également à **M. YAHIAOUI et toute son équipe (BRIQUETRIE YAHIAOUI à DRAA BEN KHADA. T. O)** pour l'intérêt qu'ils nous ont accordé, et de nous avoir permis de profiter de leur modeste atelier et matériels.

Nos vifs remerciements à **Mm. BENAHMED** responsable de laboratoire génie des matériaux bastos.

Nous voulons plus particulièrement exprimer notre reconnaissance en géologie minière à **M. SAMI L.** et **M HAMIS A.** et tous les enseignants qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à notre formation, et toute notre promotion (2021/2022).

On remercie également toute l'équipe pédagogique des Sciences Géologiques de l'UMMTO. Sans oublier de remercier l'aide précieuse de nos chers camarades étudiants particulièrement Djafer ARKAM (Jeff) et BENBAIT Ismail (milou) qui vont se reconnaître.

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance...

J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à mes parents, en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts rien que pour me voir réussir, et voila l'occasion est venue.

Je Dédie ce modeste travail :

A mon chère père :mon premier encadrant et compagnant depuis ma naissance ;

A ma chère mère : qu'elle trouve ici l'hommage de ma gratitude qui ,si grande qu'elle puisse être ,ne sera à la hauteur de ses sacrifices et ses prières pour moi ;

A mes frères : Rabah , Saleh Eddine et Mouhamed Amine ;

A mon chère oncle :Hamid ;

A mon camarade : Samy ;

A toute l'équipe pédagogique et enseignants du département des sciences géologiques de Tamda ;

A toute l'équipe de la marbrerie YAHIAOUI DBK T.O ;

A tous mes amies et amis qui me sont chers,à tous ceux qui me connaissent, m'aiment et me souhaite la reussite :qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments les plus dévoués et mes vœux les plus sincères ;

RIAD

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance...

J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à mes parents, en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts rien que me voir réussir, et voila l'occasion est venue.

Je Dédie ce modeste travail :

A mon chère père : mon premier encadrant et la source de mon inspiration et mon courage depuis ma naissance ;

A ma très chère mère : qu'elle trouve ici l'hommage de ma gratitude qui ,si grande qu'elle puisse être ,ne sera à la hauteur de ses sacrifices et ses prières pour moi ;

A mon frères :Azzedine ;

A ma sœur : Imane ;

A la mémoire de mon cher oncle Nacer (paix a son ame) ;

A mon camarade : Riad ;

A mes meilleures amis :

salim, idir, mouh, jafer, smail, mahdi, noredin, haçene ;

A toute l'équipe pédagogique et enseignants du département des sciences géologiques de Tamda ;

A toute l'équipe de la marbrerie YAHIAOUI DBK T.O ;

A tous mes amies et amis qui me sont chers, à tous ceux qui me connaissent, m'aiment et me souhaite la réussite : qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments les plus dévoués et mes vœux les plus sincères ;

Résumé :

Située sur la frontière Algéro-Marocaine, Les rejets miniers de la digue d'El Abed, présentent beaucoup d'inconvénients, sur le plan paysager, environnemental, et social. Ces résidus sont caractérisés par un cortège minéralogique, qui crée de multiples impacts environnementaux à l'eau, le sol, et l'atmosphère, ce qui nécessite une gestion stricte et efficace pour éliminer les dangers qui en découlent, la digue d'El Abed est abandonnée depuis 2002, sans aucun moyen de sécurisation, en terme de diffusion de la pollution, d'où la nécessité de trouver une solution urgente à ces déchets.

Les déchets sont considérés de nos jours, comme une ressource précieuse (on peut toujours exploiter de la matière première de certain) et intarissable, d'où on peut extraire des matières premières et de l'énergie, la réutilisation de ces déchets permet dans ce sens, de mieux concilier les bénéfices socio-économiques et la protection de l'environnement en réduisant ces déchets via le recyclage.

Notre travail a consisté à faire une tentative d'essai d'un recyclage de ces sables, et la possibilité de les intégrer comme matière première, dans la production de carreaux de dallage, car c'est une solution qui pourrait donner une seconde vie à ces déchets, à moindre prix, et résoudre le problème des résidus miniers de la digue d'El Abed.

Après avoir élaboré plusieurs formulations de carreaux, à base de ces sables par différent dosage (en plus du ciment blanc et du gravier), les échantillons ont subi des tests et essais physiques, afin d'évaluer la meilleure formulation technique, et voir la possibilité d'envisager cette solution.

Techniquement, les tests ont donné des résultats satisfaisant, la possibilité de recyclage de ces sables et enfin envisageable. On peut même déduire que l'intégration de ces sables permet d'améliorer la résistivité des matériaux face à différents types de contraintes.

Mots clé : rejets minier, digue, El Abed, métaux lourd, déchets, recyclage, sables, matériaux de dallage, résistivité, socio-économiques,

Abstract :

Located on the Algerian-Moroccan border, the mining discharges of the El Abed dike, present many inconveniences, on the landscape, environmental, and social level. These residues are characterized by a mineralogical composition, which creates multiple environmental impacts to water, soil, and the atmosphere, which requires strict and effective management to eliminate the resulting dangers, the dam of El Abed has been abandoned since 2002, without any means of securing it, in terms of spreading the pollution, hence the need to find an urgent solution to this waste.

Waste is considered nowadays as a precious resource (we can always exploit some raw material) and inexhaustible, from which we can extract raw materials and energy, the reuse of this waste allows in this sense, to better reconcile socio-economic benefits and environmental protection by reducing this waste through recycling.

Our work consisted in making an attempt to test a recycling of these sands, and the possibility of integrating them as raw material, in the production of paving tiles, because it is a solution which could give a second life to this waste, at a lower price, and solve the problem of the mining residues of the dam of El Abed.

After having elaborated several formulations of tiles, based on these sands by different dosage (in addition to white cement and gravel), the samples underwent physical tests and trials, in order to evaluate the best technical formulation, and see the possibility to consider this solution.

Technically, the tests gave satisfactory results, the possibility of recycling these sands and finally possible. We can even deduce that the integration of these sands makes it possible to improve the resistivity of the materials in the face of different types of stresses.

Keywords : mining waste, dyke, El Abed, heavy metals, waste, recycling, sands, paving materials, stress.

Sommaire

Introduction Générale	1
1 Introduction générale.....	1
2 But et Méthodologie de travail.....	2
2.1. But de travail :.....	2
3 Méthodologie de travail :.....	2
4 Matériel :.....	2
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude	3
1 Introduction.....	3
2 Situation géographique.....	3
3 Climat et végétations.....	4
3.1. Climat :.....	4
3.2. Végétations.....	4
4 Hydrographie et Hydrogéologie.....	4
4.1. Hydrographie :.....	4
4.2. Hydrogéologie :.....	5
5 Historique des travaux.....	6
Chapitre II : Géologie régionale et locale	9
1 GEOLOGIE REGIONALE.....	9
1.1. Introduction.....	9
1.2. Cadre géologique.....	9
1.3. Stratigraphie.....	10
1.4. Paléogéographie :.....	13
1.5. Tectonique :.....	13
1.6. Géologie régionale.....	16
1.7. Conclusion.....	16
2 GEOLOGIE LOCALE.....	17
2.1. Introduction.....	17
2.2. Litho stratigraphie.....	18
2.3. Évolution paléogéographique.....	19
2.4. Tectonique.....	20
2.5. CONCLUSION.....	22
Chapitre III : Schémas d'exploitation	23

1	Introduction	23
2	Méthodes d'exploitation et de traitement de minerais	24
2.1.	Méthodes d'exploitation :	24
2.2.	Traitement mécanique et chimique du minerai :	25
Chapitre IV : Impact environnemental		28
1	Introduction	28
2	Etat actuel de site	28
2.1.	La Mine :	28
2.2.	La Digue :	30
3	Impact environnemental	31
3.1.	Impact sur les ressources en eaux :	32
4	Impact sur le sol :	33
5	Impact sur l'air :	33
6	Impact paysager :	33
7	Impact sur la faune et la flore :	34
8	Conclusion	35
Chapitre V : Etude expérimentale		37
1	Introduction	37
2	Analyses physico-chimiques :	37
2.1.	Les analyses physiques :	37
3	Travaux expérimentaux au niveau de la marbrerie	45
3.1.	Fabrications des carreaux :	45
3.2.	Matériel utilisé :	45
3.3.	Les différentes étapes à réaliser pour la fabrication des carreaux:	47
4	Partie analytique au laboratoire de geotechnie :	49
4.1.	Le but des tests effectuer :	49
4.2.	Essai de poinçonnement :	50
4.3.	Essai de flexion trois points :	52
4.4.	Essai de compression :	54
4.5.	Matériel utilisé pour les essais :	55
5	RESULTAT ET DISCUSSION	55
5.1.	Présentation des résultats de l'expérimentation	55
5.2.	Essai de flexion :	56
5.3.	Essai de poinçonnement :	57
5.4.	Essai de de compression :	58

6 Conclusion :	59
Conclusion général	64
1 Conclusion général	61
Bibliographie	65
Annexe	66

Liste de figures :

Chapitre I :

Figure 1 : Localisation géographique de la région d'El Abed (Google, Encarta 2009).....	3
Figure 2 : Réseau hydrographique du bassin de la Tafna.....	5
Figure 3 : zones aquifères de la Tafna d'après Collignon 1984.....	6

Chapitre II :

Figure 4 : Schéma structural de la chaîne tello-rifaine (WILDI, 1981).....	9
Figure 5 :Schéma structural du Nord-Ouest de la chaine Tellienne (BOUTALEB 2010). 10	
Figure 6 : Extrait de la carte géologique des Monts de GharRoubane (G. Lucas 1942) 11	
Figure 7 : log synthétique du horst de Ghar Roubane (G. Lucas, 1942).....	13
Figure 8 : Carte structurale schématique des Monts de GharRoubane et des régions voisines (S. Elmi, 1988).....	14
Figure 9 :Schéma structural simplifié de la région de GharRoubane(LUCAS, 1952).....	15
Figure 10 : carte de structure générale des Monts de Ghar Roubane (S. Elmi, 1988).....	16
Figure 11 : Carte géologique de secteur minier d'El Abed ZAGOSKINE (1972, modifié in Labchri. D 2011).....	19
Figure 12 : Position des corps minéralisés par rapport aux accidents tectoniques de Touissit-Boubeker et El Abed d'après (Makhoukhi et Al, 1993).....	22

Chapitre III :

Figure 13 : Carte montrant le plan d'exploitation de la mine d'El Abed (Doc. ORGM).....	25
Figure 14 :schéma montrant la méthode d'exploitation utilisée à El Abed.....	26
Figure 15 : Photo d'une chambre et d'un pilier abandonné.....	27
Figure 16 :Photos montrant les types de soutènements.....	27
Figure 17 : image montrant un concasseur à cône.....	28
Figure 18 : image montrant un broyeur à boulets.....	28
Figure 19 : image montrant les cellules de flottation du minerai.....	29
Figure 20 : schéma montrant les étapes d'exploitations et de traitements du minerai. 29	

Chapitre IV :

Figure 21 : Etat actuel du puit 3 (Google Earth) /matériel abandonné(Photographie).....	30
Figure 22 :Etat actuel de la laverie.....	31
Figure 23 :matériels de laboratoire abandonnés.....	31
Figure 24 : état actuel de la digue d'El Abed.....	32
Figure 25 : photos montrant deux lacs d'eaux au niveau de la digue.....	34
Figure 26 :photo montrant la décoloration des sols contaminés près de la digue.....	35
Figure 27 : photo montrant l'impact de la digue sur le paysage.....	36
Figure 28 : photo montre l'impact sur la faune locale.....	37
Figure 29 :photo montre l'impact sur la flore.....	37

Chapitre V :

Figure 30 : un tamiseur mécanique.....	39
Figure 31 : courbe d'analyse granulométrique de 1 ^{er} matériaux (sable ancien).....	42
Figure 32 : courbe d'analyse granulométrique de 2 ^{em} sable (nouveaux).....	43

Figure 33 : granulométrie du sable de la digue d'El Abed.....	43
Figure 34 : Photos montrant les éléments de la digue sous une loupe binoculaire.....	44
Figure 35: analyse chimique de sulfate.....	45
Figure 36 : analyse de ph.....	46
Figure 37 : la briqueterie YAHIAOUI (DBK Tizi Ouzou).....	47
Figure 38 : le ciment utilisé (ciment blanc).....	48
Figure 39 : le gravier utilisé (8/15).....	48
Figure 40 : sable de la digue d'El Abed.....	48
Figure 41 : préparation des moules (coffrage).....	49
Figure 42 : malaxeur mécanique.....	50
Figure 43 : les différents étapes de préparations des échantillons.....	50
Figure 44 : remplissages des moules.....	50
Figure 45 : ponçage des carreaux.....	51
Figure 46 : les échantillons obtenus.....	51
Figure 47 : délimitation des centres des carreaux.....	52
Figure 48 : presse hydraulique, IBERTEST piloté par un micro-ordinateur.....	53
Figure 49 : ordinateur connecté à la machine de poinçonnement, flexion et compression.....	53
Figure 50 : la force du troisième point sur l'éprouvette.....	54
Figure 51 : éprouvettes pour l'essai de flexion.....	54
Figure 52 : photos montrant la fissuration de l'éprouvette sous l'effet de la force des trois point.....	55
Figure 53 : Test de compression simple.....	56
Figure 54 : photo montrant le teste de la compression sur l'échantillon.....	56
Figure 55 : présentation graphique de l'essai de flexion.....	57
Figure 56 : présentation de l'essai de poinçonnement.....	58
Figure 57 : présentation graphique de l'essai de compression.....	59

Annexe :

Figure 58 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.....	63
Figure 59: le diagramme montrant les paliers de rupteurs.....	64
Figure 60 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.....	65
Figure 61 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.....	66
Figure 62 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.....	67
Figure 63 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.....	68
Figure 64 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.....	69
Figure 65 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.....	70
Figure 66 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.....	71

Liste de tableaux :

Chapitre V :

Tableau 1: Résultats d'analyses granulométriques sur le sable de la digue.....	40
Tableau 2: résultat d'analyse granulométrique pour le sable ancien.....	41
Tableau 3: résultat d'analyse granulométrique pour le sable nouveaux.....	41
Tableau 4 : tableau montrant les phases minérales des rejets miniers déterminées par DRX.....	44
Tableau 5: Dosage des sulfates de différentes fractions.....	45
Tableau 6: Dosage de chlorures des différentes fractions des rejets de la digue d'El Abed.....	46
Tableau 7: Ph des différentes fractions des rejets minier de la digue d'El Abed.....	46
Tableau 8 : Conductivité des rejets miniers de la digue d'El Abed.....	47
Tableau 9: dosages et diamètres des échantillon effectués.....	49
Tableau 10 : Essai de flexion.....	57
Tableau 11 : essai de poinçonnement.....	58
Tableau 12 : essai de compression.....	59

Annexe :

Tableau 13 : Résultat de l'échantillon 1(a, a', a'').....	63
Tableau 14 : Résultat de l'échantillon 1(b, b', b'').....	64
Tableau 15 : Résultat de l'échantillon 1(c, c', c'').....	65
Tableau 16 : Résultat de l'échantillon 2(a, a', a'').....	66
Tableau 17 : Résultat de l'échantillon 2(b, b', b'').....	67
Tableau 18 : Résultat de l'échantillon 2(c, c', c'').....	68
Tableau 19 : Résultat de l'échantillon 3(a, a', a'').....	69
Tableau 20 : Résultat de l'échantillon 3(b, b', b'').....	70
Tableau 21 : Résultat de l'échantillon 3(c, c', c'').....	71
Tableau 22 : la quantité et le prix d'achat des matériaux utilisées.....	72

Introduction

Générale

1 Introduction générale

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 maturités, les mines abandonnées telles que la mine d'El Abed.

L'homme, par ses activités, agricoles, minières et industrielles, produit des déchets chargés en éléments en trace 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 nous sommes intéressés à :

- L'étude des rejets miniers de la digue d'El Abed, situés à la frontière Algéro-Marocaine et l'impact environnemental sur la région.
- Proposer un schéma de recyclage pour ces rejets et particulièrement dans un matériau de dallages (carreaux de carrelage) à base de ces rejets.

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

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

Le **deuxième chapitre**, c'est l'étude géologie régionale et locale.

Le **troisième chapitre**, on s'est intéressé à l'étude de la mine le processus d'exploitation

Le **quatrième chapitre** est consacré l'étude environnementale de la mine et la digue et à une évaluation des impacts environnementaux

Le **cinquième chapitre** est consacré à la caractérisation physico-chimique des sables de la digue et le schéma de recyclage proposé

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

2 But et Méthodologie de travail

2.1. But de travail :

Notre travail a pour but de proposer une solution, pour la gestion des résidus miniers générés par le traitement du minerai à Pb-Zn de la mine d'El Abed Les rejets de cette dernière sont stockés dans une digue sans sécurisation, ils provoquent des impacts environnementaux sur les milieux et la population, car ils sont chargés en métaux lourds toxiques, qui sont libérés par lessivage.

Nous allons essayer modestement de proposer un schéma de recyclage de ces résidus dans la fabrication d'un matériau de construction.

3 Méthodologie de travail :

Dans ce travail on va étudier les paramètres physico-chimiques des sables, puis préparer des échantillons à base de ce dernier, pour enfin pouvoir élaborer des analyses de laboratoire et effectuer les tests.

4 Matériel :

Dans ce travail on a utilisé : le ciment ; Granulat ; L'eau de gâchage ; pour les formulations.

Pour la préparation des coffrages on s'est servie de : Plâtre ; Huile usagée ; Pinceaux ; Mètre ruban ; en plus de : Feuille de papier de verre à taille des grains de 80 μ m pour le ponçage ; et une Balance de précision pour peser les ingrédients.

Chapitre I :
Présentation de la
zone d'étude

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).

2 Situation géographique

La région d'El Abed se situe à la frontière Algéro-Marocaine dans les Hauts Plateaux, à environ 670 Km à l'Ouest de la capitale Alger. Elle est 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 (fig 1).

Le gisement d'El Abed se situe à environ 70 km au SW de la ville de Tlemcen, il se prolonge au Maroc par le gisement de Boubeker et de Touissit (fig 1).

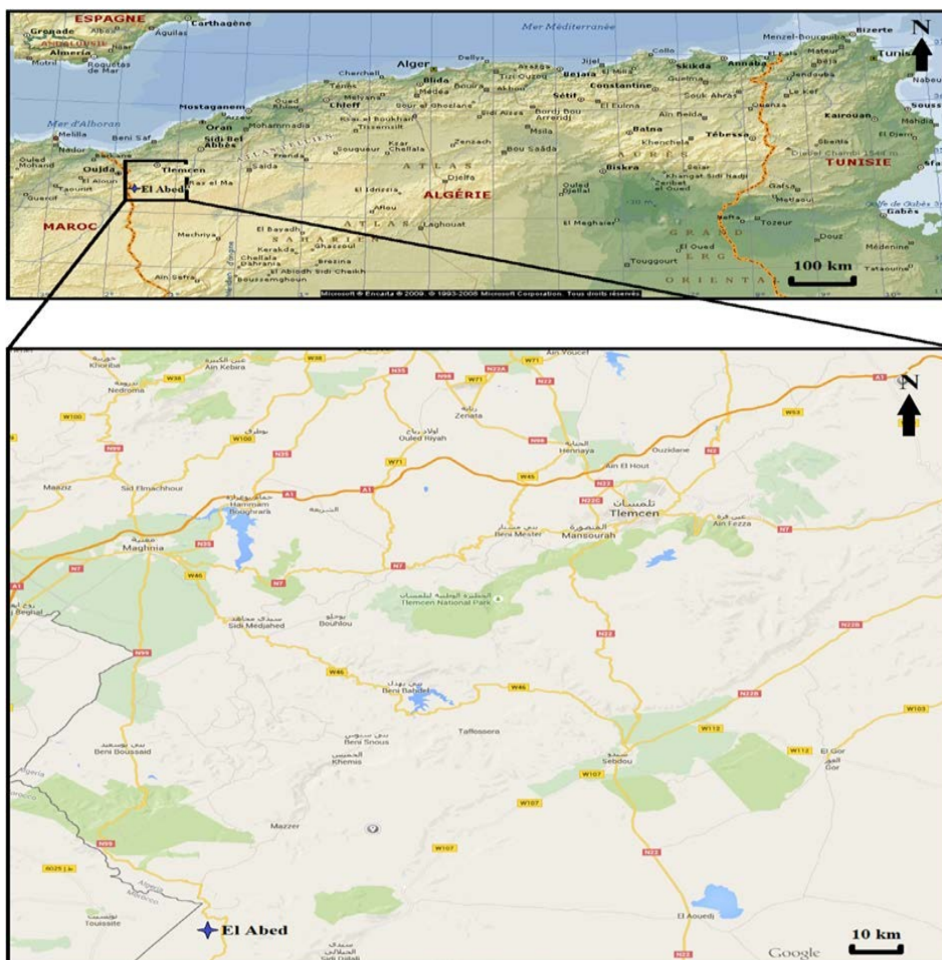


Figure 1 : Localisation géographique de la région d'El Abed (Google, Encarta 2009).

3 Climat et végétations

3.1. Climat :

Le climat de la région est de type continental caractérisé par un hiver prolongé froid et un été chaud et sec. Les températures varient de 5°C en hiver à 45°C en été. Les précipitations sont relativement faibles, avec une moyenne interannuelle de 300 mm, elle est très inégalement répartie au cours de l'année.

3.2. 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. Dans la région on rencontre de vaste étendue de champs et de prairies, hormis ceux réservés à l'agriculture, d'autres sont utilisés pour la plupart pour l'activité agro-pastorale par la population locale. L'activité agricole pratiquée dans la région se résume en générale à la céréaliculture et à l'arboriculture (oliveraie, pruniers et pommiers).

4 Hydrographie et Hydrogéologie

4.1. 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 chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du jurassique et se modifie avec l'évolution de la tectonique (fig 2).

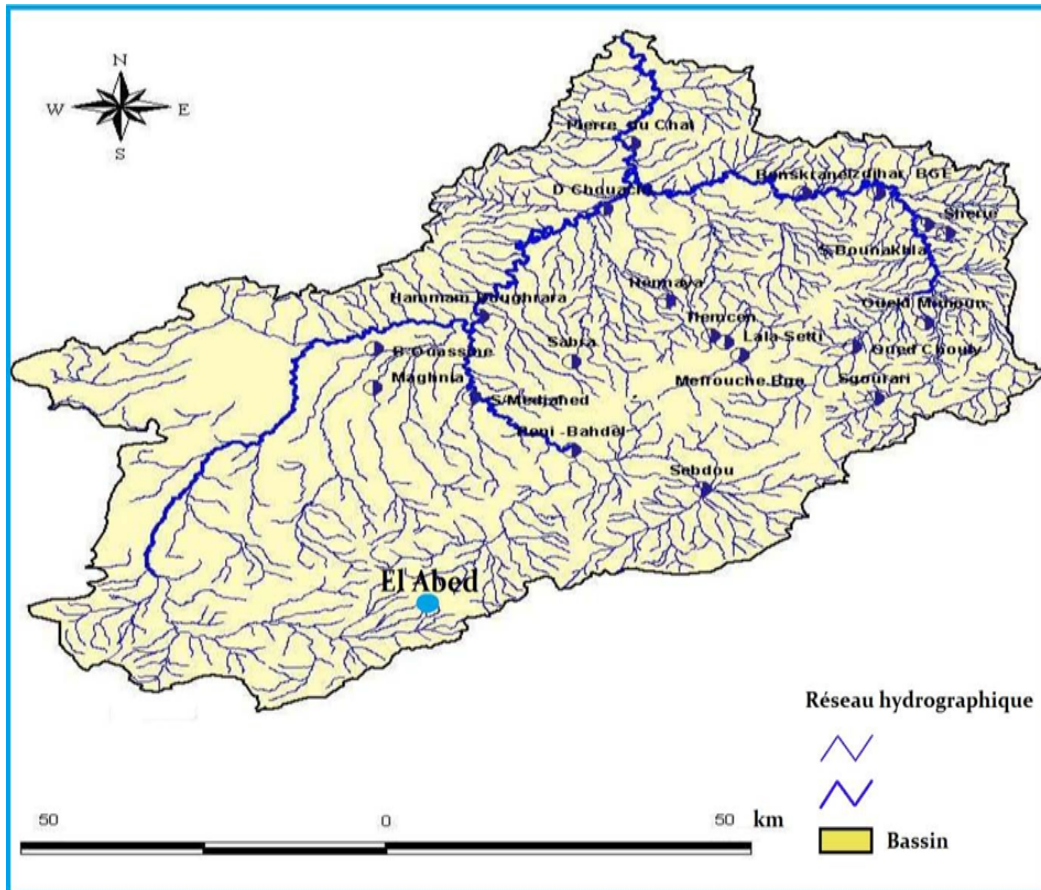


Figure 2 : Réseau hydrographique du bassin de la Tafna.

4.2. Hydrogéologie :

La région d'El Abed appartient au bassin versant de la Tafna qui est situé au Nord-Ouest de l'Algérie, il s'étend en grande partie dans la wilaya de Tlemcen sur une superficie totale de 7345 Km. Il appartient à la région hydrographique Oranie-Chott Chergui.

Les formations calcaire-dolomitiques des monts de Tlemcen et les grès de Boumediene, constituent les principales nappes aquifères de la région d'El Abed (fig 3). Les grès alimentent quelques sources à faible débit, mais les seuls niveaux les plus intéressants sont les formations calcaire-dolomitiques de Tlemcen. Les eaux issues de ces aquifères sont d'une bonne qualité physico-chimique avec une faible minéralisation, les eaux sont de facies bicarbonatés calciques ou magnésiennes.

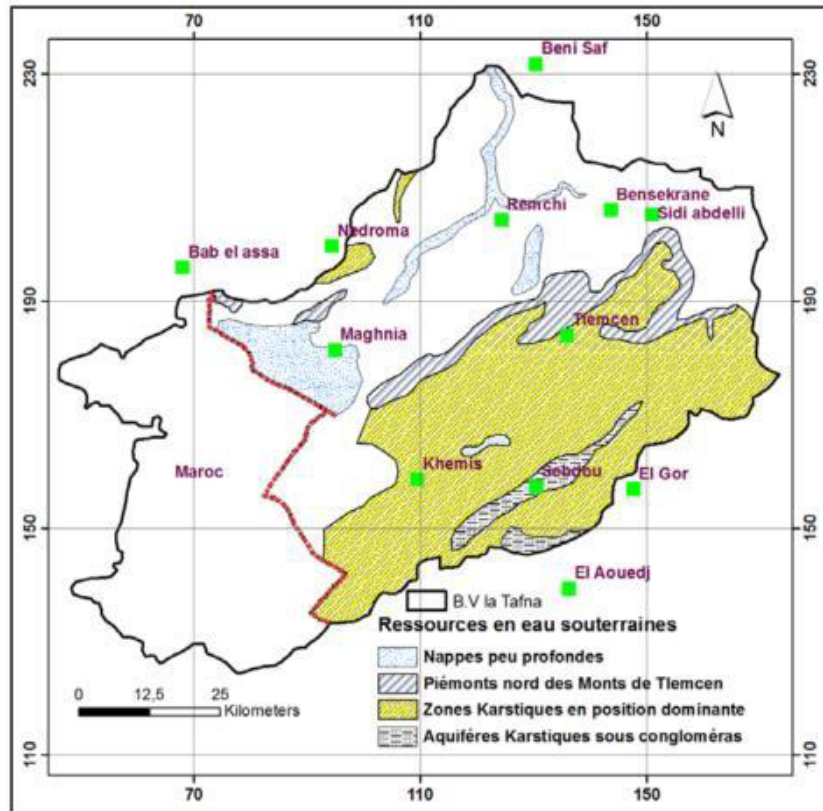


Figure 3 : zones aquifères de la Tafna d'après Collignon 1984.

5 Historique des travaux

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

En 1854, Ville L., et Bayle, furent les premiers à réaliser les travaux sur la région, puis En 1855, Pomel B. apporta un peu plus de données, en observant des calcaires et des dolomies minéralisées.

22 plus tard, Poujanne J. a établi la carte géologique de la région au 1\40.000, et détermina l'âge Oxfordien et Jurassique supérieur des marnes et des grés calcaires ;

EN 1904, Gentil. L et P. Lemoine publient une étude paléontologique de la région et plus de détail sur la sédimentation ont été donnée par Doumergue F., G.M.B. Flamand en 1910,

Jodot M. P. établit l'âge bajocien supérieur de l'oolithe ferrugineuse de Djebel Mahsour près de Touissit En 1932 après 2 ans que Savornin J. donna une bonne

subdivision stratigraphique, de la série secondaire des horsts de la région ;

En 1942, Lucas G. édite des travaux, qui couvrent l'aspect (tectonique, cartographique, Paléogéographique), sur les Monts de GharRouban, et Molkin M. confirme ces études en 1965. Depuis les travaux menés par les géologues, des universités d'Oran et de Lyon ont apporté d'autres précisions sur la géologie de la région (1969) ;

C'est jusqu'en 1966 que le BRMA puis la SONAREM ont effectué des travaux de recherche aux moyens de Sondages dans la mine d'El Abed ; puis, Touahri B. en 1983, publie une étude métallogénique et géochimique sur le gisement d'El Abed et d'autres sur tout le Nord-Algérien en 1987, ces travaux ont été publiés par l'ONIG (Office National de l'Information Géologique) en 1991.

Benest E. 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 1968, 10 ans avant d'étudier l'Eocène continental dans l'avant pays alpin d'Algérie avec Bensalah M. et l'étude sur la couverture mésozoïque et cénozoïque du domaine Tlemcénien qui ont fait en 1999 avec Bouabdellah M. qui lui-même à réaliser une étude sur les minéralisations du Touissit Boubeker En 1993.

Alors qu'en 1986, Kazi-Tani établit une synthèse de l'évolution géodynamique de la bordure Nord-Africaine .

Chapitre II :
Géologie régionale
et locale

1 GEOLOGIE REGIONALE

1.1. Introduction

La structure actuelle de l'Algérie septentrionale est liée aux mouvements hercyniens et Alpains, la région d'étude constitue une zone de passage entre le Tell au Nord et les hautes plaines au Sud (BENGERNIK, 2004). Le domaine Tlemcénien, forme la marge septentrionale des hauts plateaux Algéro-Marocains dont font partie les Monts de GharRoubane, ces derniers sont structurés en Horsts et Grabens (MEKHAHLI, 1988).

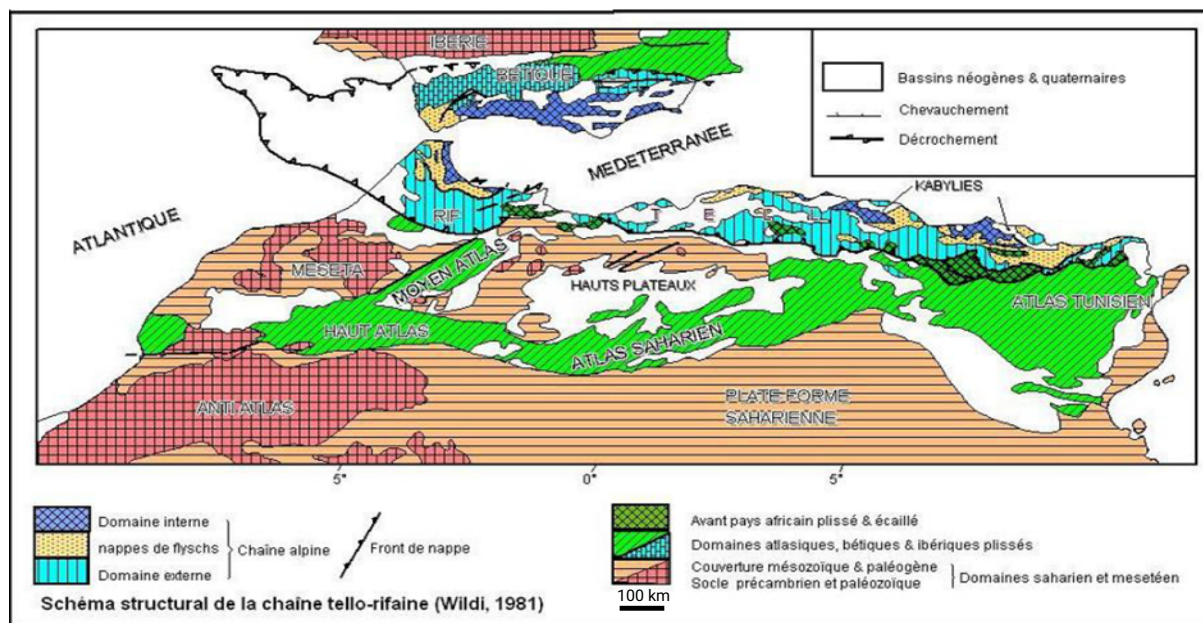


Figure 4 : Schéma structural de la chaîne tello-rifaine (WILDI, 1981).

1.2. Cadre géologique

Les Monts de GharRoubane 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.

On distingue deux ensembles géologiques : Le socle paléozoïque et La série mésozoïque.

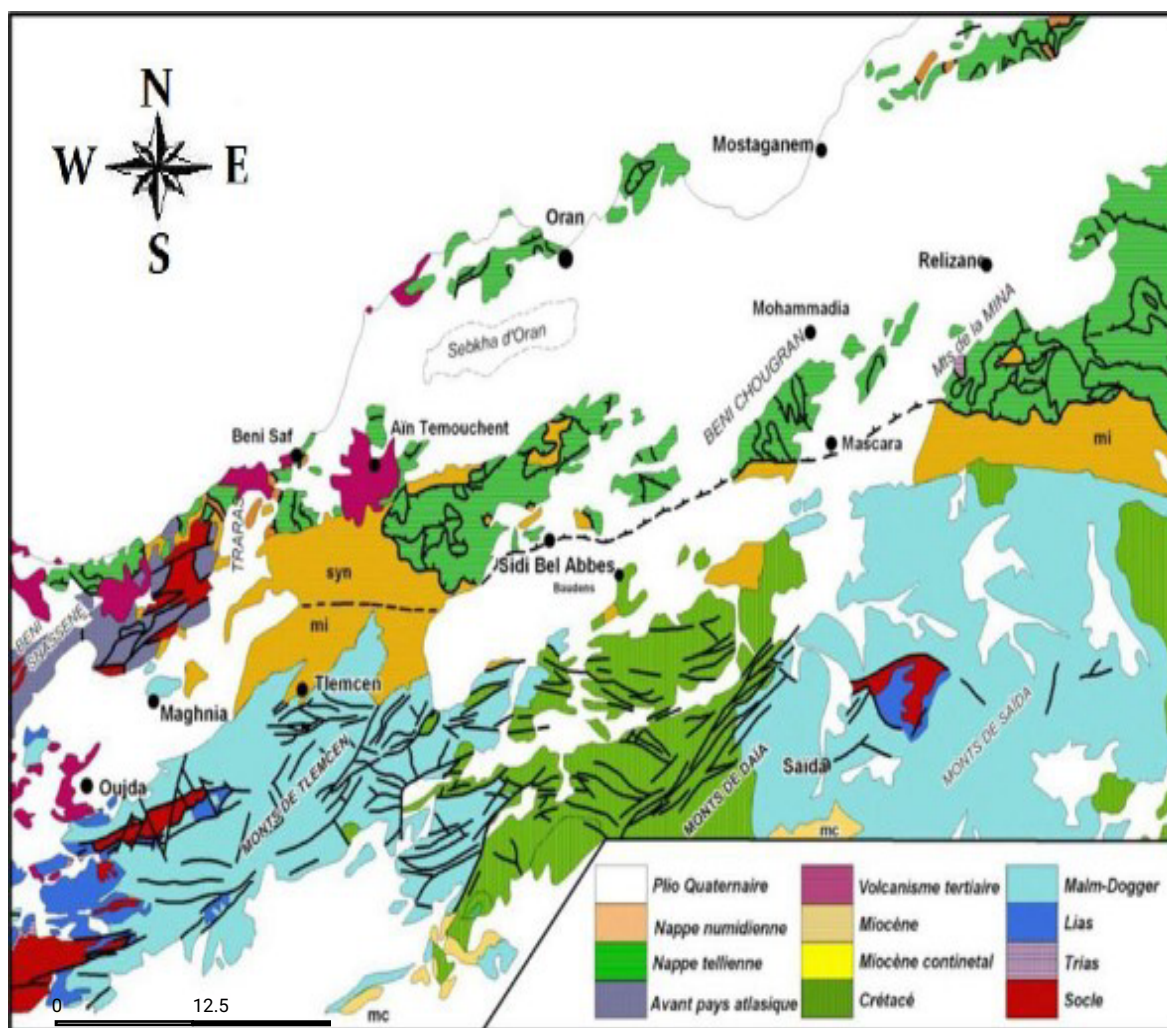


Figure 5 : Schéma structural du Nord-Ouest de la chaîne Tellienne (BOUTALEB 2010).

1.3. Stratigraphie

Dans les Monts de GharRoubane 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.

1.3.1 Le Paléozoïque :

Le Paléozoïque apparaît en affleurement dans le horst de GharRoubane et il est connu grâce aux travaux souterrains et aux forages dans la mine d'El Abed.

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 :

- Le Paléozoïque indéterminé
- Le Gothlandien
- Le Dévonien
- Le Carbonifère :
 - o Le Viséen inférieur et moyen (les horsts de GharRouban et du Djorf Ouazène)
 - o Le Viséen supérieur (des horsts de Touissit)
 - o Le Viséen Supérieur et le Namurien (horst de Mendjel Ekhal)
 - o Les Roches Eruptives

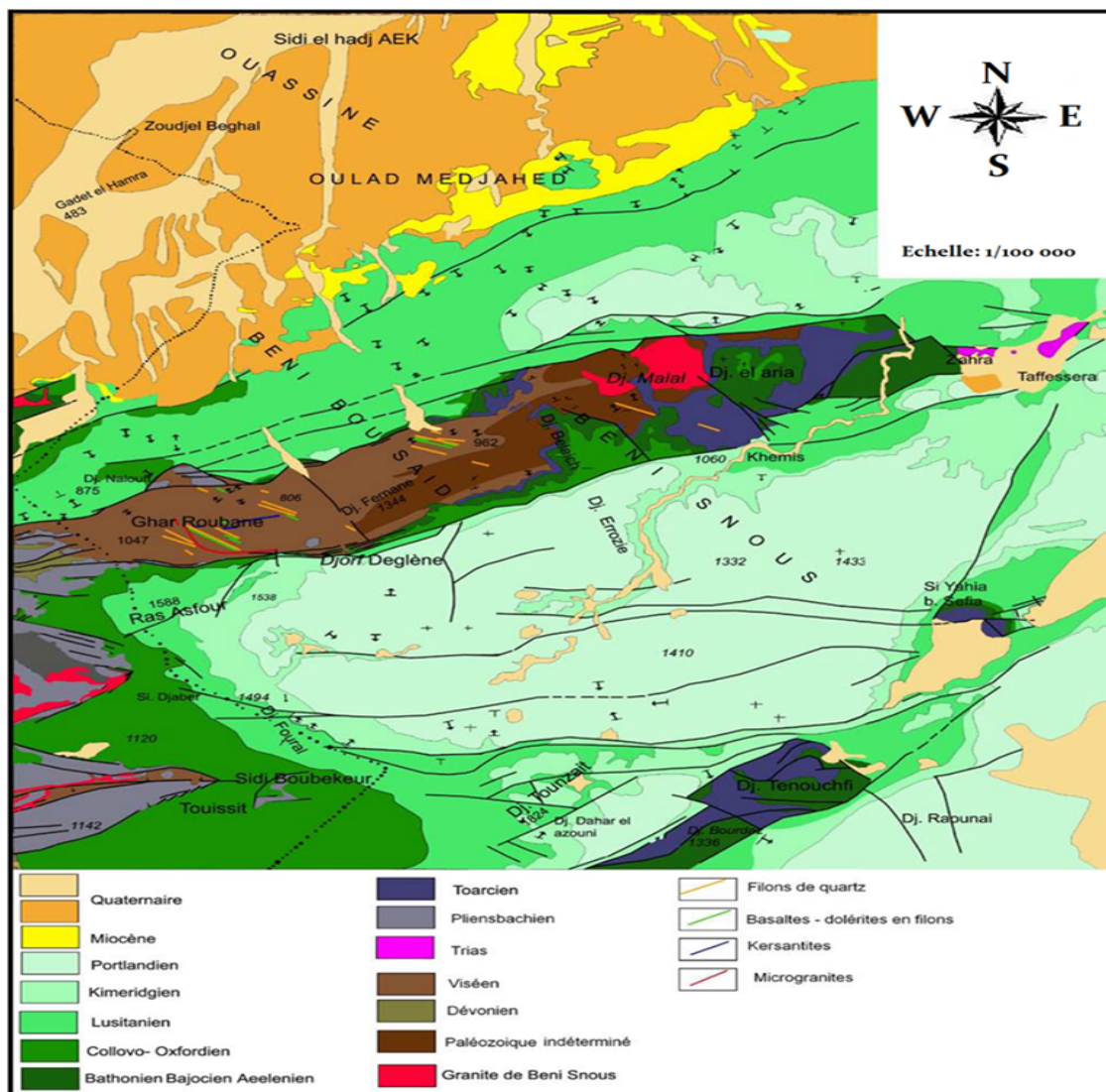


Figure 6 : Extrait de la carte géologique des Monts de GharRoubane (G. Lucas 1942)

1.3.2 Le Mésozoïque :

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

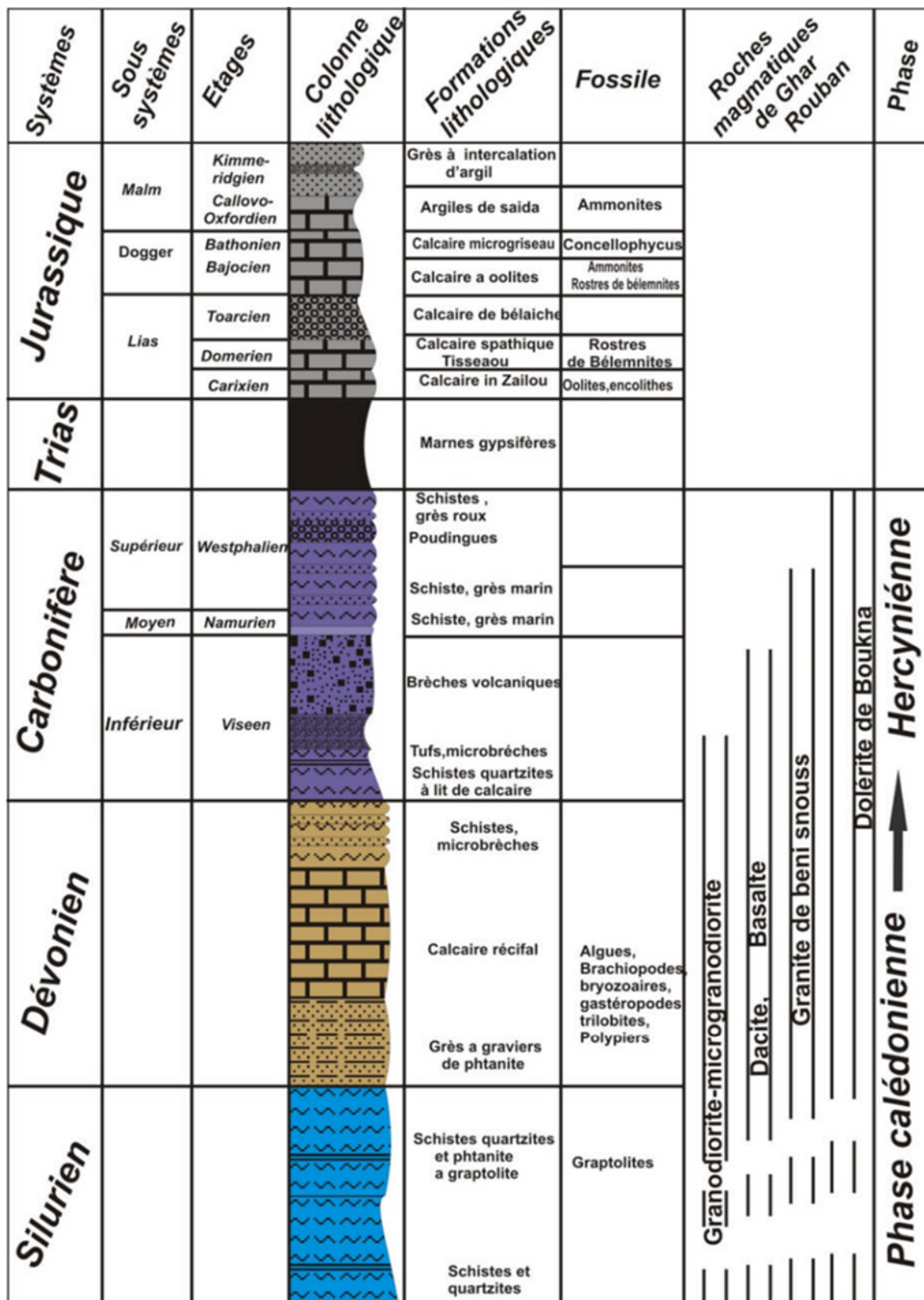


Figure 7 : log synthétique du horst de Ghar Roubane (G. Lucas, 1942)

1.4. Paléogéographie :

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

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

1.5. Tectonique :

Les Monts de GharRoubane 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.

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.

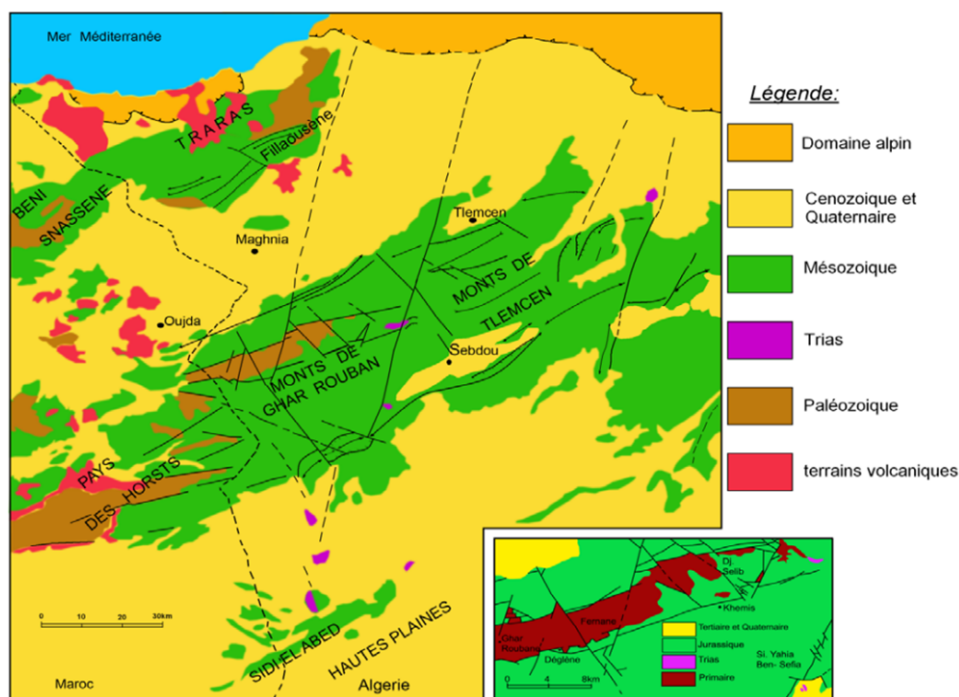


Figure 8 : Carte structurale schématique des Monts de GharRoubane et des régions voisines (S. Elmi, 1988).

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. Du Sud au Nord, G. Lucas (1942) définit les régions suivantes :

- Le pli de Tenouchfi
- La zone abaissée de la plaine Maghnia
- Une zone anticlinale : de Djebel El Hamra
- Une zone synclinale : les Monts du Kef
- Une zone anticlinale : Monts de GharRouban, et Béni-Bahdel
- Une zone synclinale : Ras Asfour
- Une zone anticlinale : les horsts occidentaux, Tounzait, et plaine de Seb dou
- Une zone synclinale : chaînons de Kou diat El Debar
- Une zone surélevée : la plaine de Magoura
- Une zone affaissée : de gradins étagés dans le Sidi El Abed

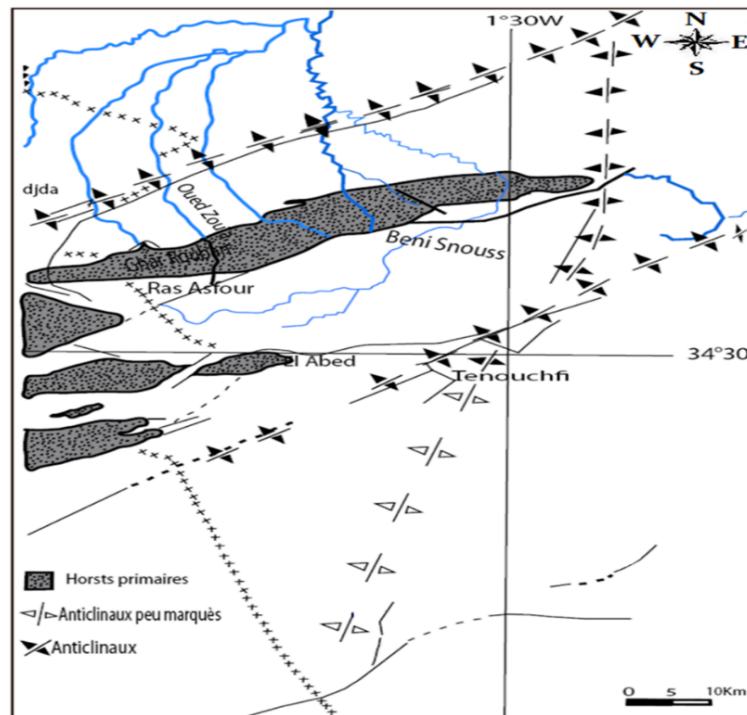


Figure 9 : Schéma structural simplifié de la région de Ghar Roubane (LUCAS, 1952).

Types de déformations :

Les déformations qui résument la tectonique de Ghar Roubane, sont de deux types :

Tectonique souple

Les Monts de Ghar Roubane sont formés de trois plis kilométriques :

- Le pli de Koudiat Ezzerga de direction N55° qui se prolonge jusqu'au Nord-ouest de Tlemcen.
- Le pli de Tenouchfi de direction N55° qui se prolonge à l'Est de Tlemcen.
- Le pli croiseur des Béni Bahdel de N15°.

G. Lucas (1952) a considéré la direction N15° comme un accident dû au refoulement de couches vers l'extérieur au cours de la montée verticale du socle profond.

Tectonique cassante :

Les failles qui délimitent les horsts, sont de directions bien déterminées, oscillant avec des écarts assez faibles de part et d'autres des orientations suivantes :

- N20° : Ce sont des décrochements sénestres à pendage fort.

- N85° : de grandes failles bordières des horsts à pendage très fort 70° 90°.
- N55° : Certaines failles verticales concourent avec les précédentes pour limiter les horsts.
- N110° à 140° : Ce sont des décrochements dextres à pendages très fort, ainsi qu'une bonne partie des filons minéralisés.

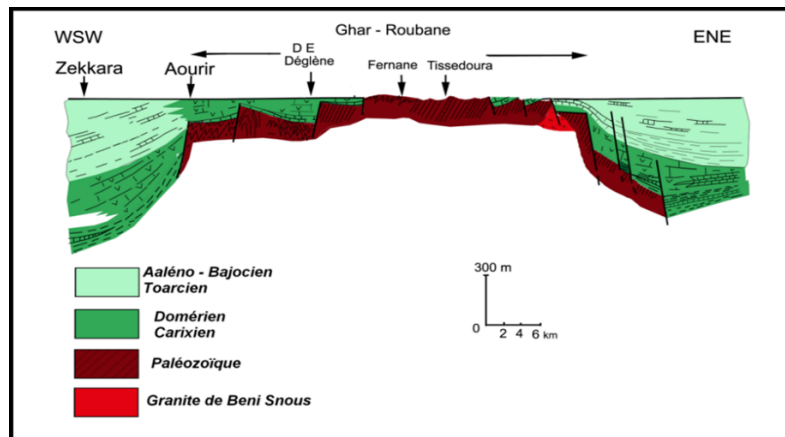


Figure 10 : carte de structure générale des Monts de Ghar Roubane (S. Elmi, 1988).

1.6. Géologie régionale

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

1.6.1 Les gisements de cassures encaissés dans le socle :

Ce sont des gisements connus dans le Primaire de GharRoubane, 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.

1.6.2 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 Dégène Est, en Algérie, totalisant un peu plus de 4 MT.

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

1.7. Conclusion

La géologie des Monts de GharRoubane, à une structuration en horst et grabens et blocs basculés caractéristiques d'une tectonique distensive. Géologiquement on distingue deux ensembles :

Au Paléozoïque :

Une phase tectonique compressive 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 GharRoubane, le Jurassique quant à lui il est bien représenté à GharRoubane, 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 plateforme, 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 GharRoubane en plis kilométriques.
- Une déformation cassante, matérialisée par des failles qui bordent les horsts.

La métallogénie de GharRoubane 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.

2 GEOLOGIE LOCALE

2.1. Introduction

Le district minier d'El Abed, tout comme l'ensemble de la région (Monts de GharRoubane 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

Les « argiles de Saida » du Callovien.

Les « grés de Boumediene » de l'Oxfordien.

Les « dolomies de Tlemcen » du Kimméridgien.

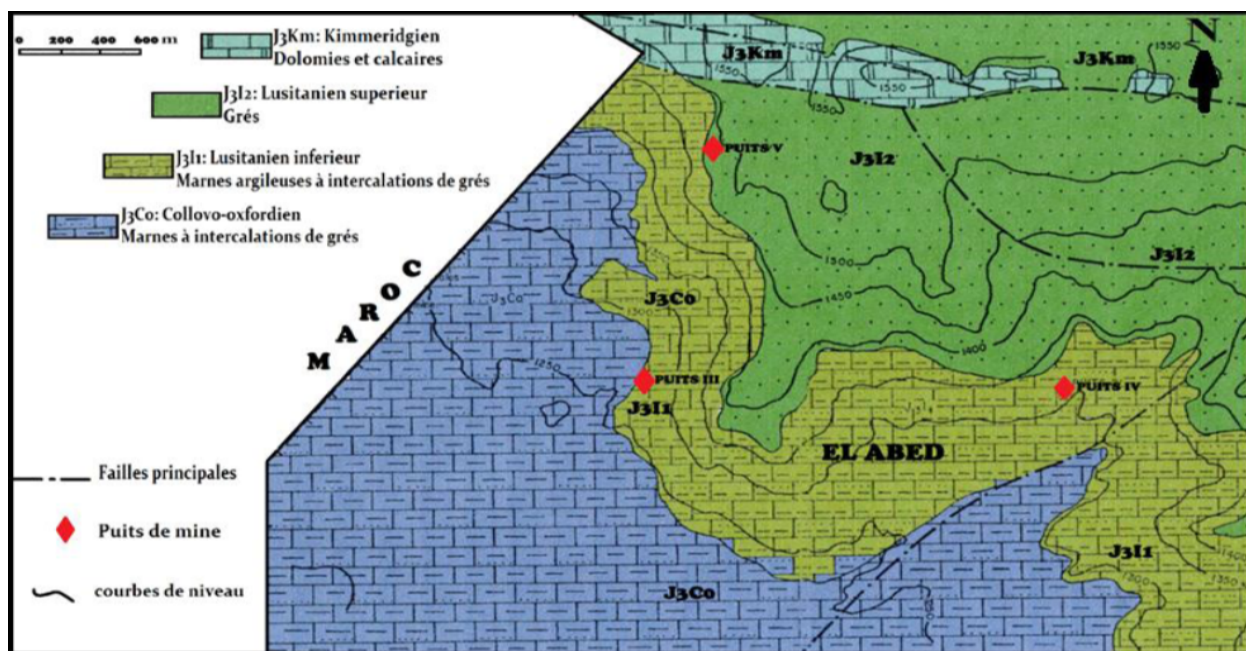


Figure 11 : Carte géologique de secteur minier d'El Abed ZAGOSKINE (1972, modifié in Labchri. D 2011)

2.2. Litho stratigraphie

Le Paléozoïque

Le Mésozoïque

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.

Le Jurassique inférieur et moyen

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

Une seconde formation dolomitique transgressive sur la précédente est constituée de dolomites grises plus grossières séparées par des intercalations argileuses noires.

Unité I :

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

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.

Unité III :

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

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.

Le Callovien :

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

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.

2.3. Évolution paléogéographique

La transgression mésogéenne s'est effectuée d'Est en Ouest durant le Trias, elle amen le dépôt de faciès des grés pélitiques rouges autour des zones émergées qui sont soumises 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 pénéplanation du district qui prend forme à partir de l'Aaléno-Bajocien.

2.4. 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.

2.4.1 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.

2.4.2 La couverture mésozoïque :

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

- La direction NNE -SSW N70°-N 80° (distension du Trias), caractérisée par :
 - Des Failles bordières des horsts
 - Un allongement des corps minéralisés
- La direction NW-SE N130° (distension du Jurassique moyen-supérieur),
Caractérisée par :

- Une découpe des structures en blocs
- Un contrôle de certains corps minéralisés

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

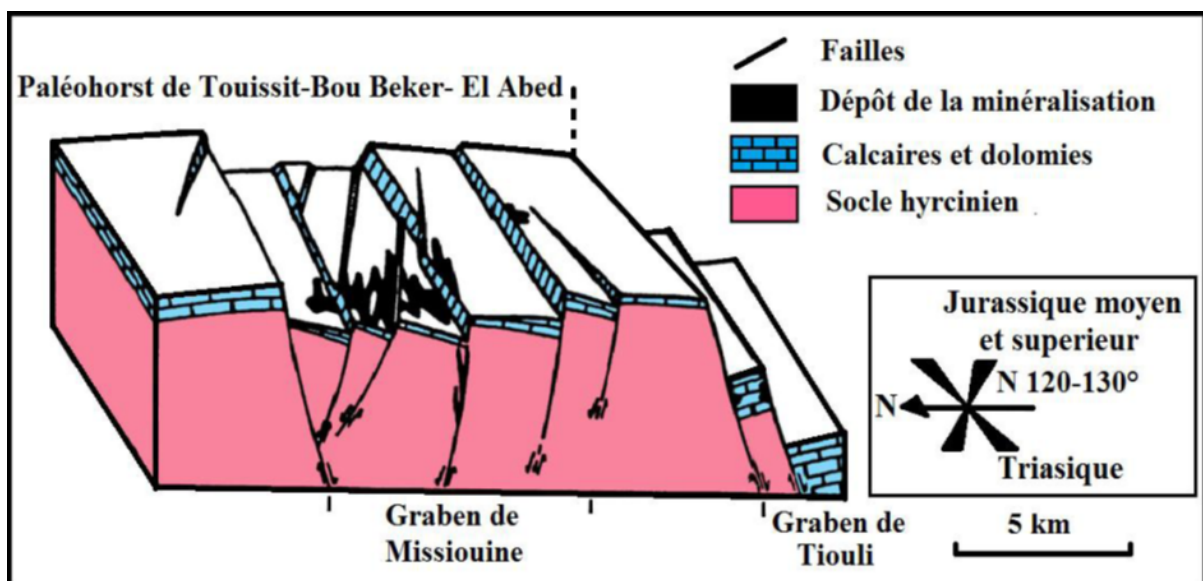


Figure 12 : Position des corps minéralisés par rapport aux accidents tectoniques de Touissit-Boubeker et El Abed d'après (Makhoukhi et Al, 1993).

2.4.3 Tectonique du gisement :

Le style tectonique du gisement s'inscrit dans le schéma général du GharRoubane 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 qu'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° recourent les directions N60°-N270° et N100°.

2.5. CONCLUSION

La géologie du gisement d'El Abed, se résume en deux unités lithologiques composées d'un socle paléozoïque à surface d'altération météorique et rubéfaction 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 dolomités, 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 dolomies sont très variées. Ainsi on rencontre des dolomies de différentes générations. La minéralisation associée aux strates dolomitiques, elle remplit les espaces inter-granulaires des dolomites diagénétiques 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 plateforme est régie par des jeux de subsidences variables qui conditionnent la sédimentation durant tout le Jurassique.
- ❖ Sur le plan tectonique, le socle enregistre les témoins de l'orogénèse hercynienne de direction NNE-SSW, et la couverture mésozoïque ceux de l'orogénèse alpine, le système de divergence de directions NW-SE qui débute au Trias, et le système de convergence N-S au Crétacé Supérieur-Eocène.

Cette tectonique tardive va aboutir au morcellement de la croûte en une morphologie

en horst et graben. Les corps minéralisés sont affectés, par cette tectonique dans l'ensemble ce qui prouve le caractère tardif de cette tectonique.

Chapitre III :
Schémas
d'exploitation

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 une 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).

Le gisement se compose d'une minéralisation glane-sphalérite, il exploite pour le Pb et le Zn

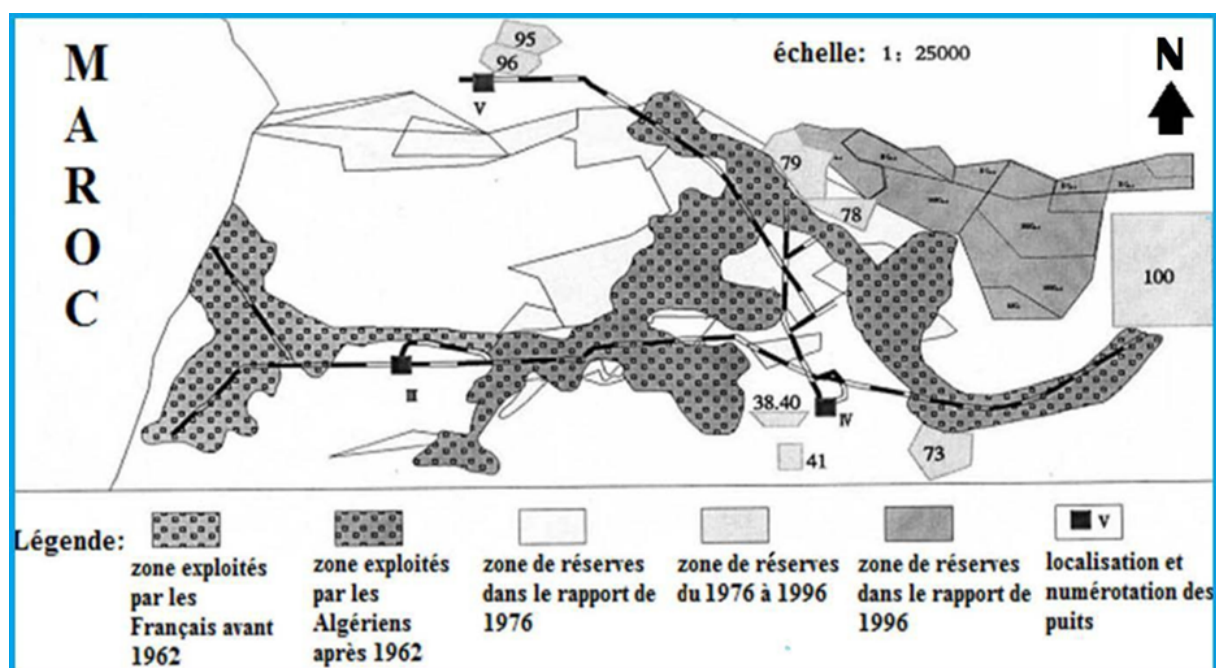


Figure 13 : Carte montrant le plan d'exploitation de la mine d'El Abed (Doc. ORGM, 1966).

2 Méthodes d'exploitation et de traitement de minerais

2.1. Méthodes d'exploitation :

La méthode d'exploitation à la mine d'El Abed est par chambres et piliers abandonnés, elle consiste à enlever le minerai partiellement et abandonner des piliers systématiques. Les dimensions des chambres et des piliers sont de 5x5m ou 6x6m, avant de procéder aux travaux de défilage on doit préparer des blocs de 50x50m, pour des traçages horizontales perpendiculaires ; de même section que les galeries de panneaux. L'abattage du minerai se fait par l'explosif, la perforation des trous de mine se fait par marteau perforateur disposés sur un système pneumatique qui est destiné à laver le marteau et à l'avancer vers la taille. Le plan de tir utilisé est le même que pour les travaux préparatoires, c'est-à-dire on utilise les bouchons en coin horizontal.

La mise à feu se fait par détonateur électrique à microretard. Chaque chantier d'abattage peut abattre de 40 à 50 tonnes par pose. Le minerai abattu est transporté sans aucun procédé d'abattage, le débitage secondaire se fait manuellement à la masse au niveau de la cheminée.

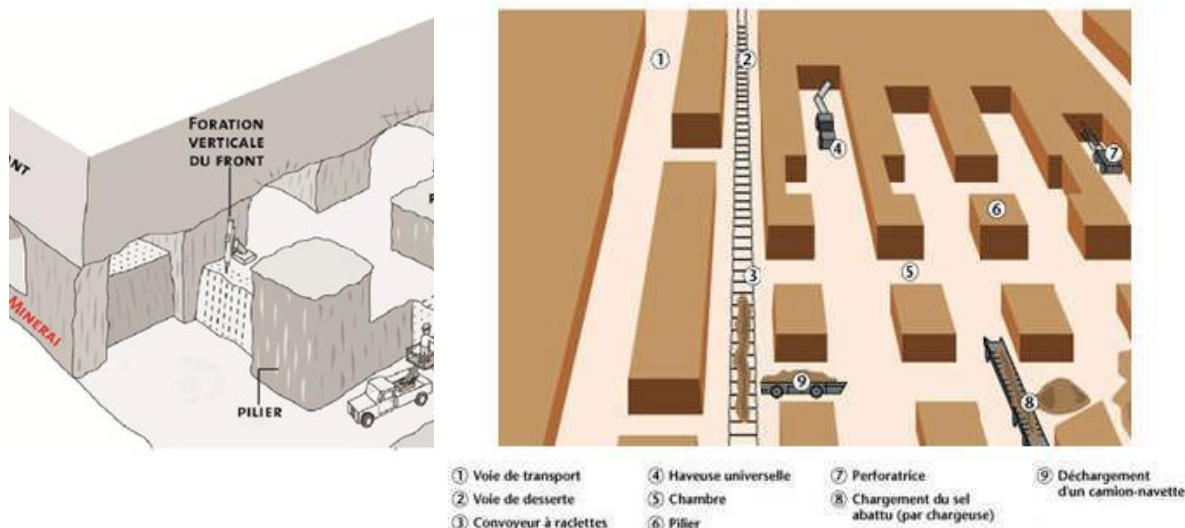


Figure 14 :schéma montrant la méthode d'exploitation utilisée à El Abed.

La méthode d'exploitation par chambres et piliers abandonnés, engendre des pertes de minéraux utiles à cause des piliers de protection abandonnés définitivement ou

recupérés systématiquement. Quelque fois les pertes de minerai peuvent aller jusqu'à plus de 50% par endroit.



Figure 15 : Photo d'une chambre et d'un pilier abandonné (Google).

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



a : soutènement artificiel.



b : soutènement naturel.

Figure 16 : Photos montrant les types de soutènements (Google).

2.2. 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 4000t.

Ce même minerai subit ensuite une classification et un broyage dans les classificateurs à spirales et dans les broyeurs à boules 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 12x12, 14x14, 24x24. En fonction de la qualité du minerai tout-venant.

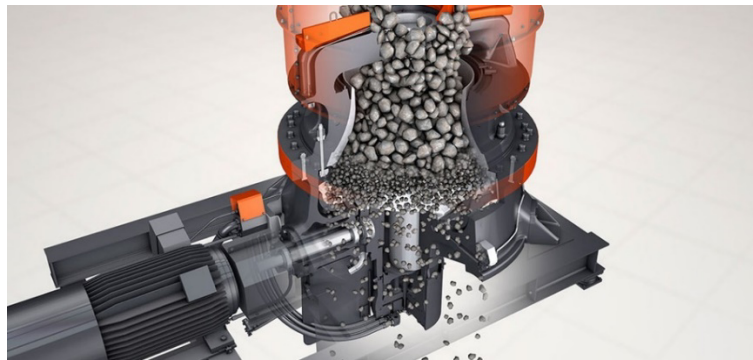


Figure 17 : image montrant un concasseur à cône (Google).



Figure 18 : image montrant un broyeur à boulets (Google).

L'unité de flottation de l'usine est destinée au traitement du minerai tout venant (plomb et zinc) provenant des quartiers Ain Arko, Alzi et El Abed.

La capacité de production est de 2000t/j de minerai. La flottation sélective est assurée par des cellules. D'abord on commence par flottation de plomb et ensuite 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 19 : image montrant les cellules de flottation du minerai (Google).

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 150 m² situé à proximité.

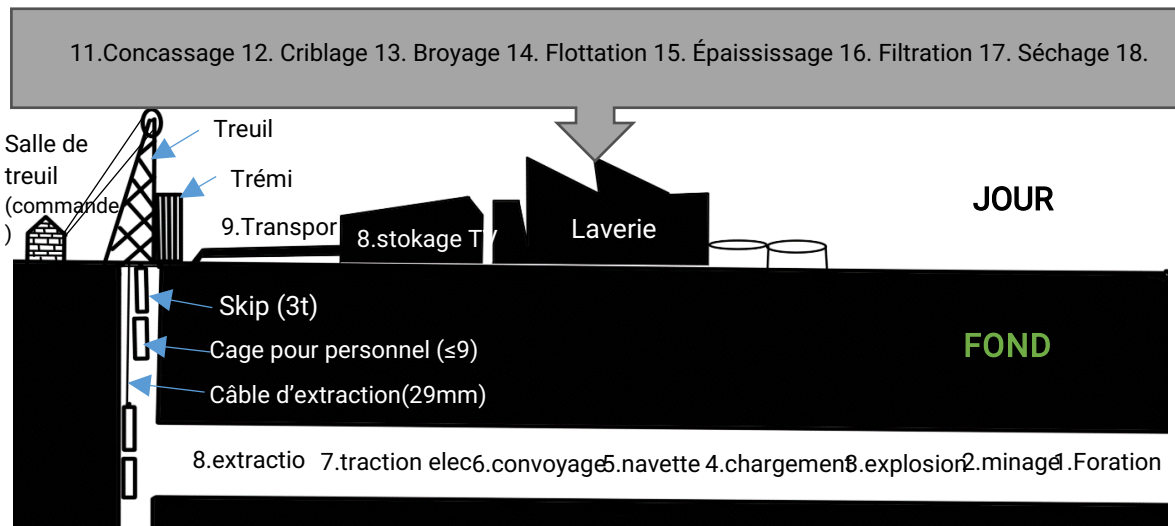


Figure 20 : schéma montrant les étapes d'exploitations et de traitements du minerai.

Chapitre IV : Impact environnemental

1 Introduction

Dans tout projet minier, les activités minières (prospection, exploration, exploitation et élimination des déchets) génèrent des impacts environnementaux observés à grand échelle, telle que les modifications hydrographique, topographiques et structurale qui affect ainsi la vie sur ces terrains.

En Algérie la loi 01-10 du 03 juillet 2001 stipule l'élaboration d'une étude d'impacts sur l'environnement (EIE) approuvée par le ministère de l'environnement et de l'aménagement de territoire (MATET).

Mais le problème se pose lorsque ces projets sont abandonnés (n'ayant subi aucune remise en état après la fin ou l'arrêt de l'exploitation), les impacts deviennent plus agressifs, sur les milieux. C'est le cas de la mine d'El Abed (la digue).

2 Etat actuel de site

2.1. La Mine :

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

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



Figure 21 : Etat actuel du puit 3 (Google Earth) /matériel abandonné(Photographie)



Figure 22 :Etat actuel de la laverie.



Figure 23 :matériels de laboratoire abandonnés.

2.2. La Digue :

Située à quelques centaines de mètres au Sud du village d'El Abed (fig 24), avec une superficie d'environ 365062 m² et une épaisseur d'environ 5 à 15 mètres par endroits, cumulant un volume de 5475930 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 primaire. Ces éléments sont en contact directe avec les Oueds, la végétation et la faune locale ainsi qu'avec les champs cultivés par les agricultures de la région.

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

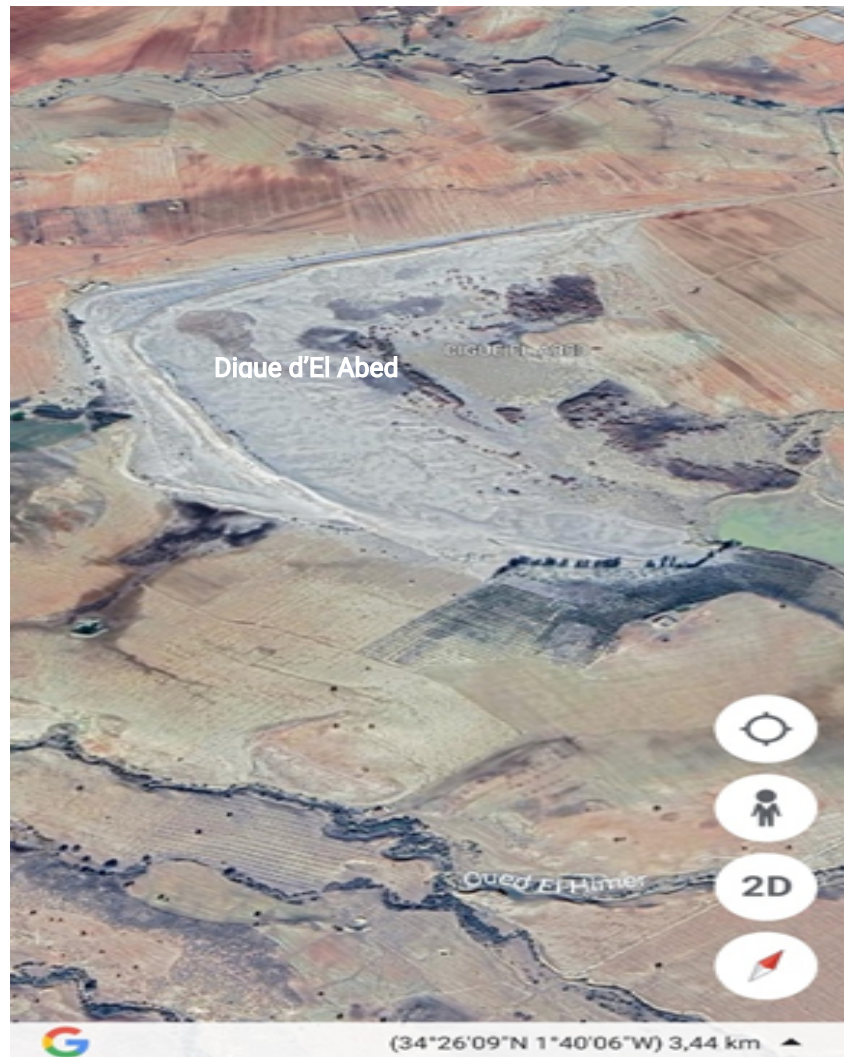


Figure 24 : état actuel de la digue d'El Abed (Google earth).

3 Impact environnemental

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

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

La notion d'impact environnemental ne prend tout son sens que si elle inclut un

changement des paramètres environnementaux, suite à l'activité minière. Ces paramètres qui régissent la qualité de l'environnement, peuvent avoir plusieurs composants :

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

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

L'exploitation minière est une source principale d'ETM, en effet, durant la majorité des étapes de son développement, elle affecte à divers degrés l'environnement et généralement de façon irréversible, et induit formellement, la décadence de l'écosphère.

Les résidus de traitement et de décapage issus de l'activité minière sont délaissés sur place, et constituent une source de contamination importante, à court, et à long terme, particulièrement les résidus de traitement, riche en éléments traces métalliques.

3.1. Impact sur les ressources en eaux :

3.1.1 Les eaux souterraines :

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

La longévité et l'intensité de l'activité minière à El Abed durant plusieurs décennies et en se basant sur les résultats des analyses chimique des ETM faite au pare avant, ou est amené à penser que les ressources en eaux souterraines au voisinage du site

minier peuvent être contaminés 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.

3.1.2 Les eaux de surface :

La laverie et la digue de tailing, sont situées à proximité de l'Oued El Himer qui est le principal cours d'eau 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.

Ainsi que les eaux retenues par la digue qui se déversent même à l'actuel dans l'Oued El Himer. Ces eaux 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 (fig 25), ce qui affecte également les champs de cultures et les animaux de la région vu que cette eau leur est indispensable.



Figure 25 : photos montrant deux lacs d'eaux au niveau de la digue.

4 Impact sur le sol :

L'utilisation des explosifs durant la période d'extraction de minerais fragilise 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 est engendré par une pollution des sols (végétal, agricole) (fig 26), issues des particules fines de métaux lourds entreposés à quelques centaines de mètres en aval de la laverie au niveau de la digue.



Figure 26 :photo montrant la décoloration des sols contaminés près de la digue.

5 Impact sur l'air :

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

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

6 Impact 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.

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 (fig 27).



Figure 27 : photo montrant l'impact de la digue sur le paysage.

7 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 (fig 29).

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

Le déplacement de la faune dans les zones de dégagements de déchets et de polluants miniers ;

Morcellement de l'habitat naturelle et dispersion des espèces indigènes, 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 (fig 28).



Figure 28 : photo montre l'impact sur la faune locale.



Figure 29 :photo montre l'impact sur la flore.

8 Conclusion

La digue d'El Abed représente l'impact environnemental le plus influant dans la région à l'heure actuelle. Ce dernier est conséquent aux 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 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 ;

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.

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.

Chapitre V : Etude **expérimentale**

1 Introduction

En effet, notre travail expérimental consiste à mener une expérience en vue de voir la possibilité du recyclage du sable de la digue d'El Abed.

Nous avons essayé d'intégrer ses résidus dans la formulation des carreaux de carrelages qui se compose habituellement des (sable, gravier, ciment blanc et l'eau) par différents dosages afin de comparer les résultats pour déterminer celle qui convient le plus, et optimiser les meilleures caractéristiques du produit à base d'un matériau recyclé.

2 Analyses physico-chimiques :

2.1. Les analyses physiques :

2.1.1 Essais sur granulats :

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant l'échantillon de sable d'El Abed.

Nous avons préparé l'analyse granulométrique au niveau du laboratoire du département des sciences Géologique de l'université Mouloud Mammeri a Tamda Tizi-Ouzou. Elle consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant l'échantillon en utilisant des tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieure et le classement des grains est obtenu par vibration à l'aide d'une machine vibrante à la base.

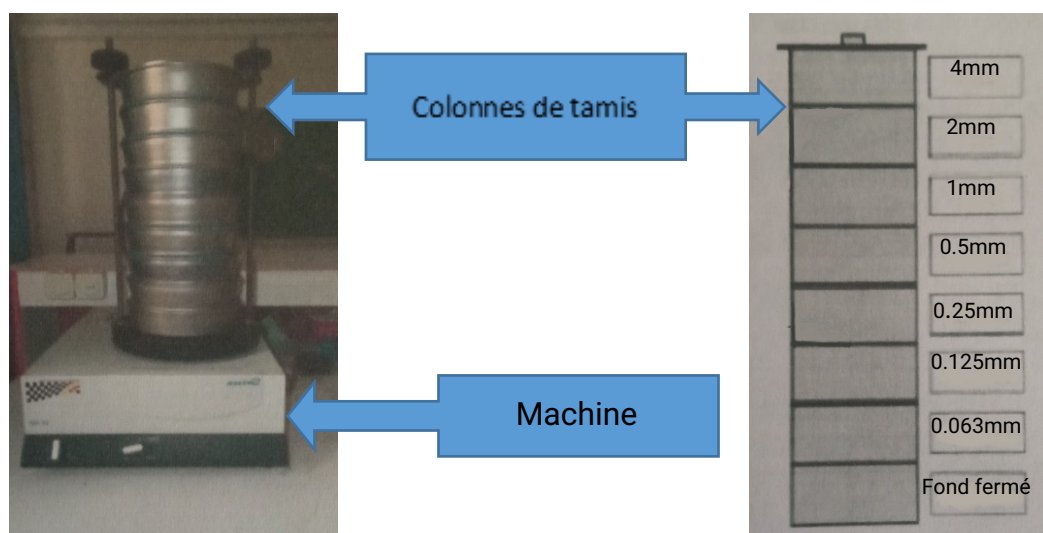


Figure 30 : un tamiseur mécanique.

2.1.2 Mode opératoire :

- Les sables sont d'abord lavés pour enlever les fractions argileuses, puis séché dans l'étuve pendant 8 heures.
- Pour faire une analyse granulométrique rigoureuse, il faut que l'échantillon analyse soit en quantité suffisante pour être mesurable et pas trop important pour éviter de saturer les tamis et de les faire déborder.
- La vibration fait descendre les grains au travers des tamis jusqu'à ce qu'ils soient bloqués par le tamis de la maille correspondante au diamètre du grain.,
- Détermination les poids cumulés en gramme.
- Détermination des pourcentages de refus cumulés.,
- Détermination des pourcentages de tamisât cumulés.,
- Tracé la courbe granulométrique.

Les échantillons de la digue ont subi une analyse granulométrique afin d'identifier leur classe.

Les résultats d'analyses granulométriques qu'on a réalisés au niveau du laboratoire de géologie pour les deux échantillons de sable (ancien et nouveaux) sont résumés dans le tableau suivant :

- Matériau 1 : sable ancien (2018-2019) et nouveau (2021-2022)
- Nature : sable
- Provenance : La digue d'El Abed
- Date d'analyse : 29/03/2022
- Poids : 300g

Tableau 1: Résultats d'analyses granulométriques sur le sable de la digue.

Diamètre (μ)	1000	500	125	45	<45
Echantillon					
Echantillon (1)	0	0,4	258,3	39,87	1,43
élément de la digue (%)	Sable grossier		Sable fin		
Texture(%)	0,13		85,81	13,24	0,82
Echantillon (2)	0	3,49	278,27	17,77	0,47

élément de la digue (%)	Sable grossier	Sable fin		
Texture (%)	1,16	82,76	15,92	0,16

2.1.3 Résultats d'analyse granulométrique :

Les résultats d'analyse granulométrique qu'on a réalisé au niveau du laboratoire géologie pour les deux échantillons de sable (ancien et nouveaux) sont résumés dans les deux tableaux suivants :

- Matériau 1 : sable ancien (2018-2019)
- Provenance : La digue d'El Abed
- Date d'analyse : 29/03/2022
- Poids : 300g

Tableau 2: résultat d'analyse granulométrique pour le sable ancien.

Ø	Poids des refus cumules (g)	Refus cumules (%)	Complément a 100% des refus cumules
500mm	0.40g	0.13%	99.87%
125mm	258.70g	85.94%	14.06%
45mm	298.57g	99.18%	0.82%
<45mm	300g	100%	0

- Matériau 2 : sable nouveaux (2021-2022)
- Provenance : La digue d'El Abed
- Date d'analyse : 29/03/2022
- Poids : 300g

Tableau 3: résultat d'analyse granulométrique pour le sable nouveaux.

Ø	Poids des refus cumules (g)	Refus cumules (%)	Complément a 100% des refus cumules
---	-----------------------------	-------------------	-------------------------------------

500mm	3.49g	1.16%	88.81%
125mm	281.76g	83.92%	16.08%
45mm	299.53g	99.84%	0.16%
<45mm	300g	100%	0%

Calcul de refus en pourcentage R% :

R% :

$$P_t \longrightarrow 100\%$$

$$\text{Refus } R \longrightarrow R\%$$

$$R\% = (\text{refus } R \times 100) / P_t$$

- P_t : poids total
- R% : refus en pourcentage

Le tamisât : le tamisât ou passant, désigne la quantité totale des grains qui traverse un tamis.

$$P_t \longrightarrow 100\%$$

$$\text{Tamisât} \longrightarrow R\%$$

$$T\% = (\text{refus } R \times 100) / P_t$$

Les résultats de l'essai pour le sable utilisé sont présentés sous forme des courbes granulaires.

La courbe du premier sable (ancien) :

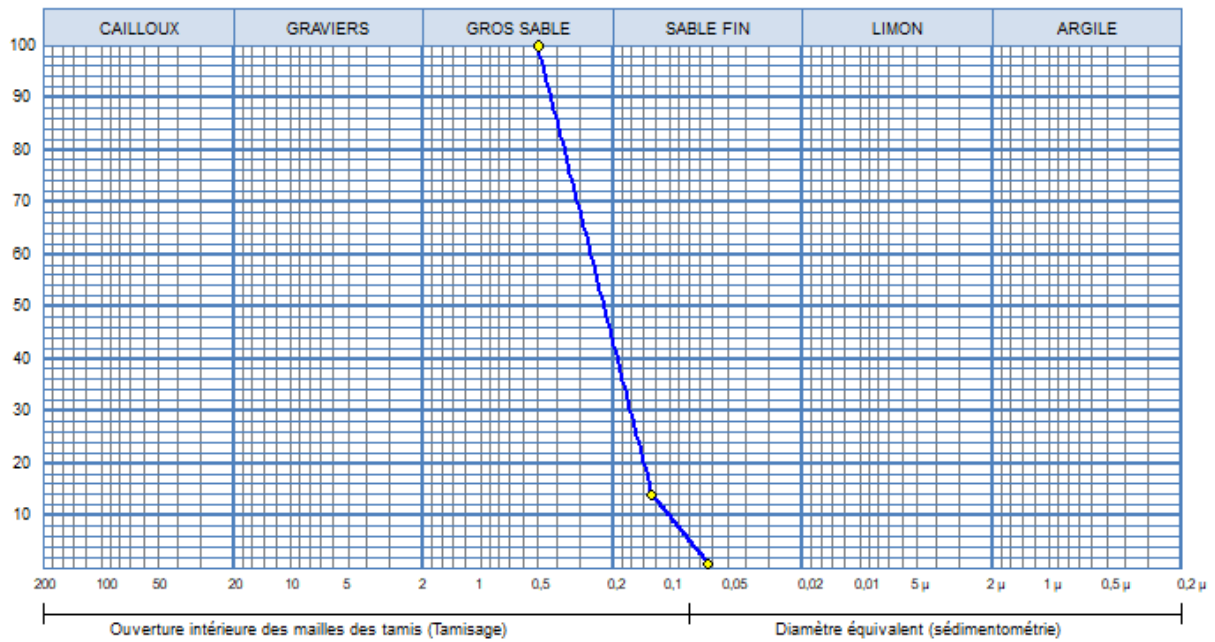


Figure 31 : courbe d'analyse granulométrique de 1^{er} matériaux (sable ancien).

Ces courbes correspondant à des analyses granulométrique (pourcentage des tamisages en fonction de module ou diamètre des tamis).

La courbe représentant la distribution granulométrique les éléments, doit être tracer de manière continus et peut ne pas passer rigoureusement par tous les points.

On a : 42% sable fin et 58% sable grossier.

La courbe du deuxième sable (nouveaux) :

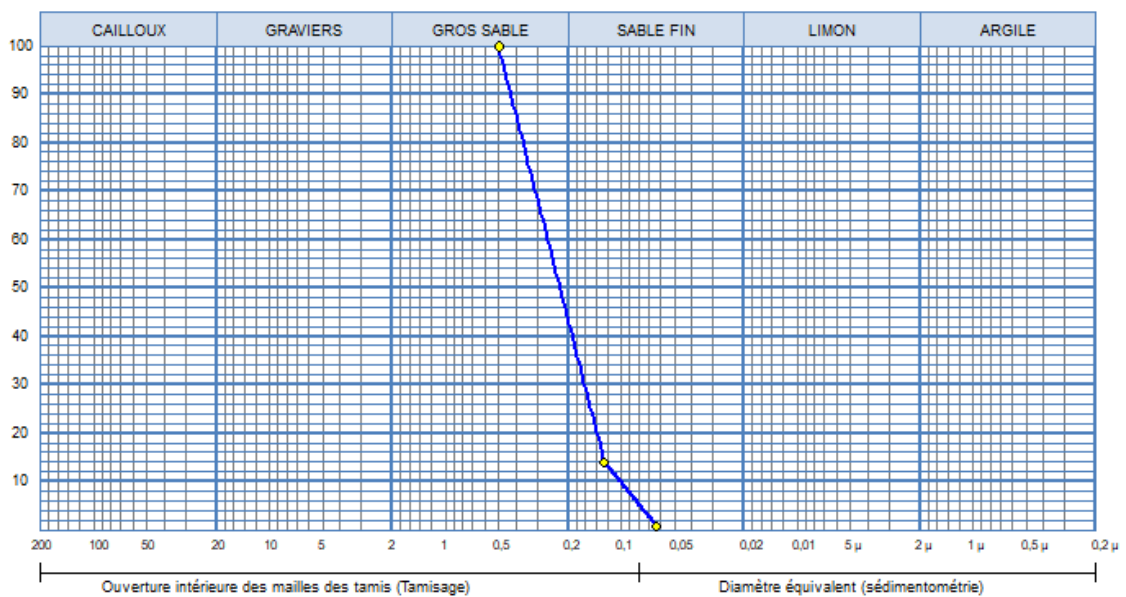


Figure 32 : courbe d'analyse granulométrique de 2^{em} sable (nouveaux).

On peut citer que le 2em sable est presque identique avec le précédant car on a :
41% sable fin et 59% grossier.

Les résultats des analyses montrent que les éléments de la digue sont de nature sableuse grossière et fine. Cette distribution granulométrique est typique d'un résidu minier issu d'un procédé de flottation broyage d'un minerai polymétallique.



Figure 33 : granulométrie du sable de la digue d'El Abed.

2.2. Minéralogie de la digue :

La digue d'El Abed est constituée essentiellement de dolomite (CaMgCO_3) et de silice (SiO_2), et accessoirement de sulfures (pyrite, galène et sphalérite). Ces éléments se présentent sous forme de sable fin, qui résultait du processus de traitement du minerai. La pyrite se présente en petits grains isolés de couleur jaune doré, par contre la galène et la sphalérite se présentent en fragments associés aux grains de dolomite. On note également la présence de carbonates de Plomb et de Zinc ainsi que des rhomboèdres de dolomies.

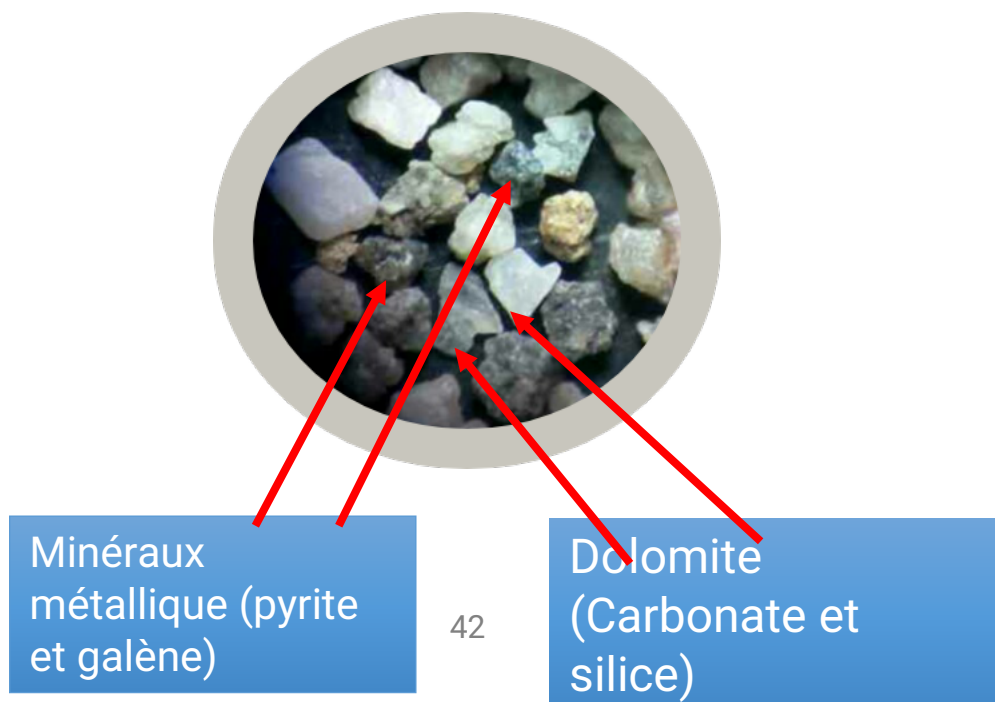


Figure 34 : Photos montrant les éléments de la digue sous une loupe binoculaire.

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

Tableau 4 : tableau montrant les phases minérales des rejets miniers déterminées par DRX.

Phases minérales	Formules	Rejets miniers (%)
Silice	SiO ₂	8.17
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	76.6
Ankérite	Ca(FeMgMn)(CO ₃) ₂	5.8
Smithsonite	ZnCO ₃	3.8
Kaolinite	Al ₂ SiO ₂ (OH) ₄	5.47

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

2.3. Analyse chimique :

Les analyses suivantes ont été effectuées sur les échantillons de sable :

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, on la fait à l'aide d'un agitateur automatique, on sépare 1g de chaque échantillon tamisé à 0,08 mm, 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 chlorure (BaCl₂) 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 on les sèche, puis on passe les échantillons à l'étuve pendant 48h pour avoir la quantité approximative des sulfates présents.

Tableau 5: Dosage des sulfates de différentes fractions.

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

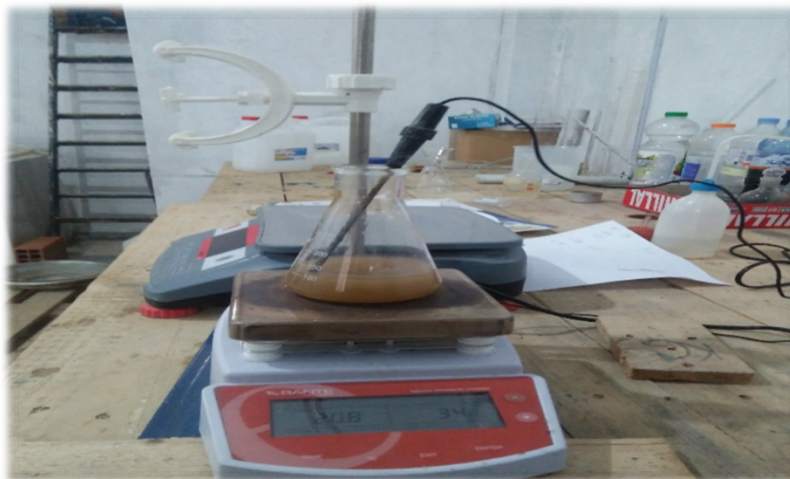


Figure 35: analyse chimique de sulfate.

Les sulfates sont présents dans les sables en surface et racines avec des valeurs différentes, par contre à 40cm on remarque l'absence de ces sulfates, ceci s'explique par la mobilisation des sulfates en surface par dissolution avec les eaux d'une part et la fixation par le système racinaire d'autres part.

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 mélanger en suite, à l'aide d'une pipette, on ajoute petit à petit la solution d'Argent (Ag) dans notre mélange jusqu'à obtenir une coloration rougeâtre, à partir de là on peut déterminer la quantité de chlorures présentes.

Résultat :

Tableau 6: Dosage de chlorures des différentes fractions des rejets de la digue d'El Abed.

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

Les chlorures sont plus élevés dans les horizons profonds.

C. 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° C.

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 tapons, ensuite on a séparé un gramme (1g) pour chaque échantillon tamisé à 0,08 mm, par la 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 sonde du PH-mètre dans le mélange et on attend jusqu'à la stabilisation pour avoir la valeur de pH sur l'écran de l'appareil.

Résultat :

Tableau 7: pH des différentes fractions des rejets minier de la digue d'El Abed.

Echantillons	Sable à 40 cm	Sable en surface	Sable sur la Racine végétale	Eau de la digue
pH	11,34	11,54	11,23	8.38



Figure 36 : analyse de ph.

Le pH mesurés donnent des valeurs basiques, Typique d'un Drainage miniers Neutres 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 :

Tableau 8 : Conductivité des rejets miniers de la digue d'El Abed.

Echantillons/Fractions	250 Um	125 Um	63 Um	Eau de la digue
Conductivité Mv	0 ,620 mv	0 ,467 mv	0 ,45 mv	1.74

Les mesures de la conductivité électrique montrent une valeur élevée dans la fraction

la plus grande, et dans les eaux de la digue.

Ce qui s'explique par une minéralisation élevée, donc présence de beaucoup d'éléments dissous dans l'eau est saturée chimiquement.

3 Travaux expérimentaux au niveau de la marbrerie

3.1. Fabrications des carreaux :

Les échantillons (carreaux) ont été préparés et fabriqués au niveau de la marbrerie YAHIAOUI (Draa Ben Kheda Tizi Ouzou).



Figure 37 : la briqueterie YAHIAOUI (DBK Tizi Ouzou).

3.2. Matériel utilisé :

- Le ciment :

Nous avons utilisé le ciment blanc portland au calcaire qui sert comme liant, composé NA442 CEMII, A-L52, 5N provenant de LAFARGE Oggaz, Mascara, Algérie.



Figure 38 : le ciment utilisé (ciment blanc).

- L'eau de gâchage :

L'eau du robinet est utilisée, pour homogénéiser le mélange en pâte

- Granulat

Ils sont de deux classes : gravier 8/15 et gravier 3/8.



Figure 39 : le gravier utilisé (8/15).

- Ajout minéral

Les résidus du traitement du minerai d'El Abed (le sable de la digue) et un sable de couleur Gris foncé et une composition chimique riche en carbonates et sulfates (le Pb et Zn sont des éléments traces).



Figure 40 : sable de la digue d'El Abed.

- Plâtre
- Huile usagée
- Pinceaux
- Feuille de papier de verre à taille des grains de 80µm
- Mètre ruban
- Balance de précision.

Afin d'estimer les caractéristiques du matériau et optimiser les résultats, nous avons confectionné 27 échantillons de différentes formulations (9 Echantillons/formule) et diamètres (9 Echantillons/diamètre) présenter dans le tableau suivant :

Tableau 9: dosages et diamètres des échantillon effectués.

diamètre(cm)	D1(L=30,l=10, e=2,5) rectangulaire	D2(L=15, e=2,5) carré	D3(4x4) cubique
Formule			
F1(100%G,0%S)+CB+eau	1(a, b, c)	1'(a', b', c')	1''(a'', b'', c'')

F2(50%G,50%S)+CB+eau	2(a, b, c)	2'(a', b', c')	2''(a'', b'', c'')
F3(0%G,100%S)+CB+eau	3(a, b, c)	3'(a', b', c')	3''(a'', b'', c'')

L= longueur, l = largeur, e = épaisseur, G= gravier, S= sable, CB= ciment

3.3. Les différentes étapes à réaliser pour la fabrication des carreaux:

Nos avons préparés les différents échantillons au niveau de de la marbrerie YAHIAOUI de DBK à Tizi-Ouzou.

3.3.1 Préparation des moules d'entreposage :

Préparation des moules d'entreposage pour les échantillons, à l'aide de deux plaquettes de bois et des tubes de fer de 25 mm d'épaisseur. On a confectionné 30 moules, 12 de 10 cm x 30 cm, 9 de 15 cm x 15 cm pour chaque plaquette et 9 cube de 4cm. On a obstrué tous les petits vides par lesquelles la matière pourrait s'échapper lors du versement en dehors des moules avec du plâtre, puis on a bien graissé le fond pour pouvoir décoffrer facilement après séchage.

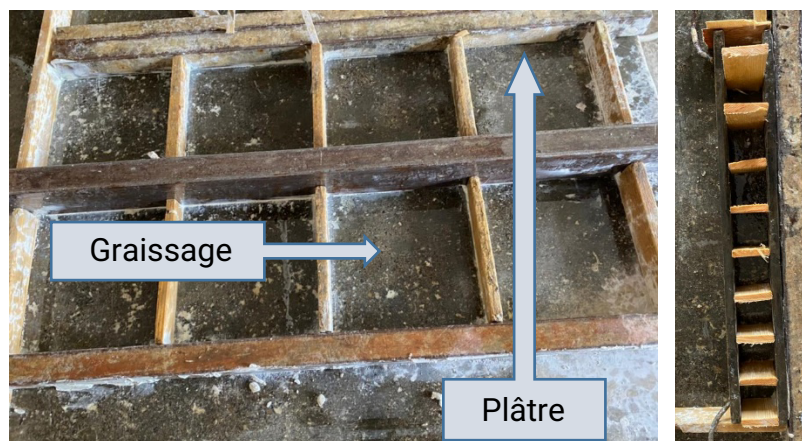


Figure 41 : préparation des moules (coffrage).

3.3.2 Préparation des échantillons à différents dosages :

Le mélange a été fait manuellement à l'aide d'un malaxeur mécanique.



Figure 42 : malaxeur mécanique



a : Mélange des

b : l'ajout de l'eau

c : mélange



Figure 43 : les différentes étapes de préparations des échantillons.

On prépare les différents composants selon le dosage requis.



Figure 44 : remplissages des moules.

Une fois le mélange est versé, on dépose les moules sur une table vibrante pour faire

évacuer les bulles d'air qui sont à l'intérieur du mélange.

Séchage et décoffrage :

Le décoffrage a été fait deux jours après le coffrage.

Ponçage et polissage :

Le ponçage est fait à l'aide d'une machine ponceuse pour donner un aspect lisse aux carreaux.



Figure 45 : ponçage des carreaux.



Figure 46 : les échantillons obtenus.

4 Partie analytique au laboratoire de géotechnie :

4.1. Le but des tests effectués :

Les essais de poinçonnement de flexion et de compression ont été réalisés au niveau du laboratoire de génie civil à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

L'effet des forces sur différents matériaux est expliqué par Hooke (1635-1703), de façon empirique à l'échelle macroscopique : un matériau à l'état solide ne résiste à une force appliquée qu'en se déformant sous l'action de cette force. Les matériaux sont élastiques. Il établit une règle, la loi de HOOKE, selon laquelle l'allongement est toujours proportionnel à la force appliquée. Cette loi n'est rigoureusement vraie que pour les céramiques, le verre, la plupart des minéraux et les métaux les plus durs.

Mais, dans quelle mesure le comportement d'une structure dépend de son matériau constitutif plutôt que de ses dimensions et de sa forme ? Nous avons besoin de standards objectifs de comparaison qui soient indépendants de la taille et de la forme du matériau.

La considération des conditions qui règnent en chaque point d'un matériau soumis à des forces mécaniques conduit aux notions de contrainte et de déformation. La définition claire et utilisable de ces deux notions est due à Augustin CAUCHY (1789-1857). Quand on soumet un corps à l'action de forces extérieures, des contraintes s'établissent par réaction, à l'intérieur de ce corps. À ces contraintes sont associées des déformations.

Pour s'affranchir de la dépendance des dimensions du matériau, les paramètres contraintes et déformation sont utilisés.

❖ La contrainte (σ)

Elle détermine avec quelle intensité les atomes du matériau sont écartés les uns des autres ou comprimés les uns sur les autres. Cette contrainte est pour une traction simple, la force qui agit sur une unité de surface du matériau.

$$\sigma = F/S$$

F : Force S :

Elle se mesure en Pascal (Pa).

Les trois principales contraintes sont la traction, la compression et le cisaillement qui sont définies plus loin.

❖ La déformation (ϵ)

Indique dans quelles proportions les liaisons inter atomiques (à l'échelle microscopique) et la structure elle-même (l'objet, à l'échelle macroscopique) ont été déformées. La déformation, pour une traction simple, est le rapport de l'allongement à la longueur initiale.

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

L = allongement. L₀ = Longueur initiale. ϵ =

L'allongement est sans unité.

4.2. Essai de poinçonnement :

L'essai de poinçonnement consiste à avoir la capacité d'une surface de ne pas se laisser percer ou endommager sous l'effet d'une action ponctuelle, déformation d'un élément de structure (plaque par exemple) sous l'effet d'une charge localisée.

Pour le test de poinçonnement, on a repéré les centres des carreaux de carrelage.



Figure 47 : délimitation des centres des carreaux.

Le test de poinçonnement est fait sur une presse hydraulique, IBERTEST qui appliqué l'effort vertical progressivement à vitesse de chargement très lente (0,05 MPa/seconde) jusqu'à l'obtention des microfissures sur les carreaux de carrelage, pilotée par un microordinateur programmé par le logiciel WINTESTE 32, sa capacité maximale est de 200KN.

On place les carreaux de carrelages sur un carreau métallique de 15 X 15 cm puis on ajoute au-dessus de l'échantillon un petit carré en métallique de 2 X 2 cm pour que les deux plateaux fixes ne se contacte pas lors de l'écrasement de l'échantillon, sinon la machine risque de ne plus être fonctionnelle.

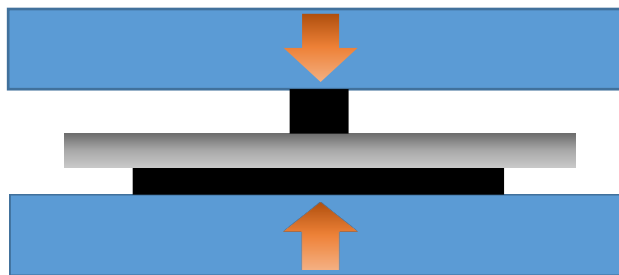


Figure 48 : presse hydraulique, IBERTEST piloté par un micro-ordinateur.

Puis on lance la machine pour commencer le test de poinçonnement jusqu'à la phase de rupture qui apparait aussi sur l'écran de l'ordinateur prévu pour ce test.

On continue ainsi avec tous les autres échantillons, et on enregistre les données et les résultats sur un ordinateur programmé pour ce test.

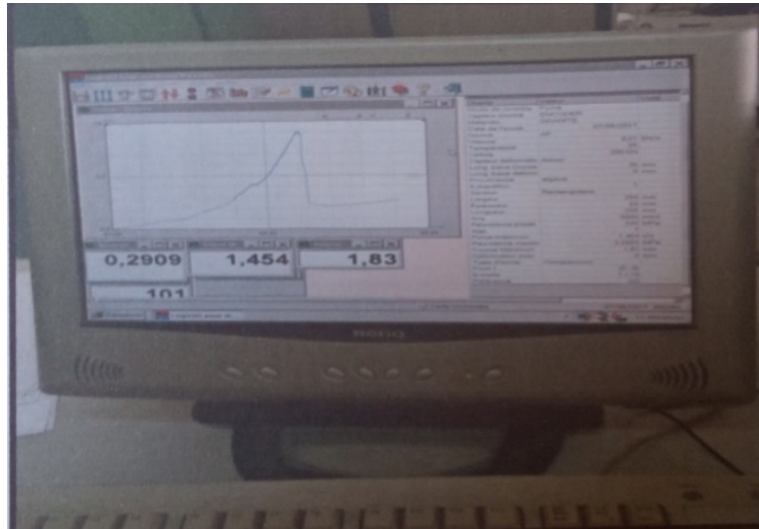


Figure 49 : ordinateur connecté à la machine de poinçonnement, flexion et compression.

4.3. Essai de flexion trois points :

L'essai de flexion 3 points permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à la rupture. L'essai de flexion ne permet généralement pas d'atteindre la rupture des matériaux ductiles. L'essai de flexion est surtout adapté aux matériaux fragiles. Cet essai se caractérise par la simplicité du montage de l'éprouvette et sa géométrie simple (peu ou pas d'usinage).

Lors du test, la partie supérieure est en compression et la partie inférieure en traction.

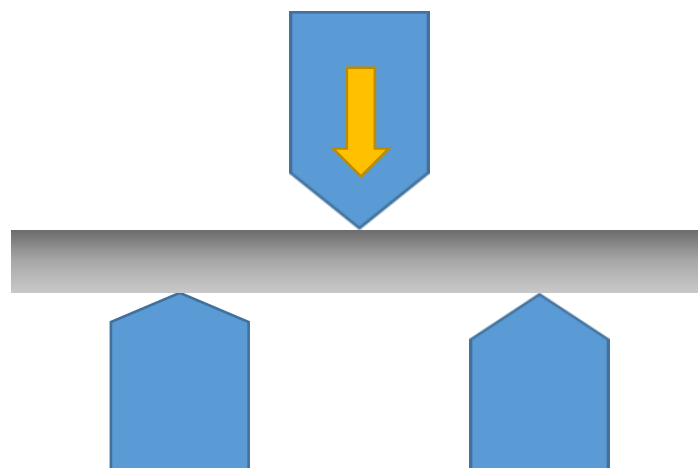


Figure 50 : la force du troisième point sur l'éprouvette.

Il existe d'autres types d'essais de flexion comme le test de flexion 4 points, similaire à l'essai de flexion 3 points avec l'avantage de ne pas positionner l'appui au niveau de la zone de rupture. Ceci est en effet une limitation du système à trois points où l'appui central peut endommager l'éprouvette et fausser ainsi les résultats en

entraînant une rupture précoce de celle-ci.

- Couper les carreaux de 30 cm x 30 cm en des éprouvettes de 30 cm de longueur et de 10 cm de largeur, et puis les tracer le milieu à l'aide d'un crayon.



Figure 51 : éprouvettes pour l'essai de flexion.

Les essais de flexion ont été réalisés au laboratoire du Génie-civil, sur une presse hydraulique, IBERTEST, pilotée par un micro-ordinateur. Elle est programmée pour les essais de poinçonnement, de flexion et les essais de compression. Les appuis sont placés à 10 cm de nu des éprouvettes, les charges F sont à 30 cm des appuis.

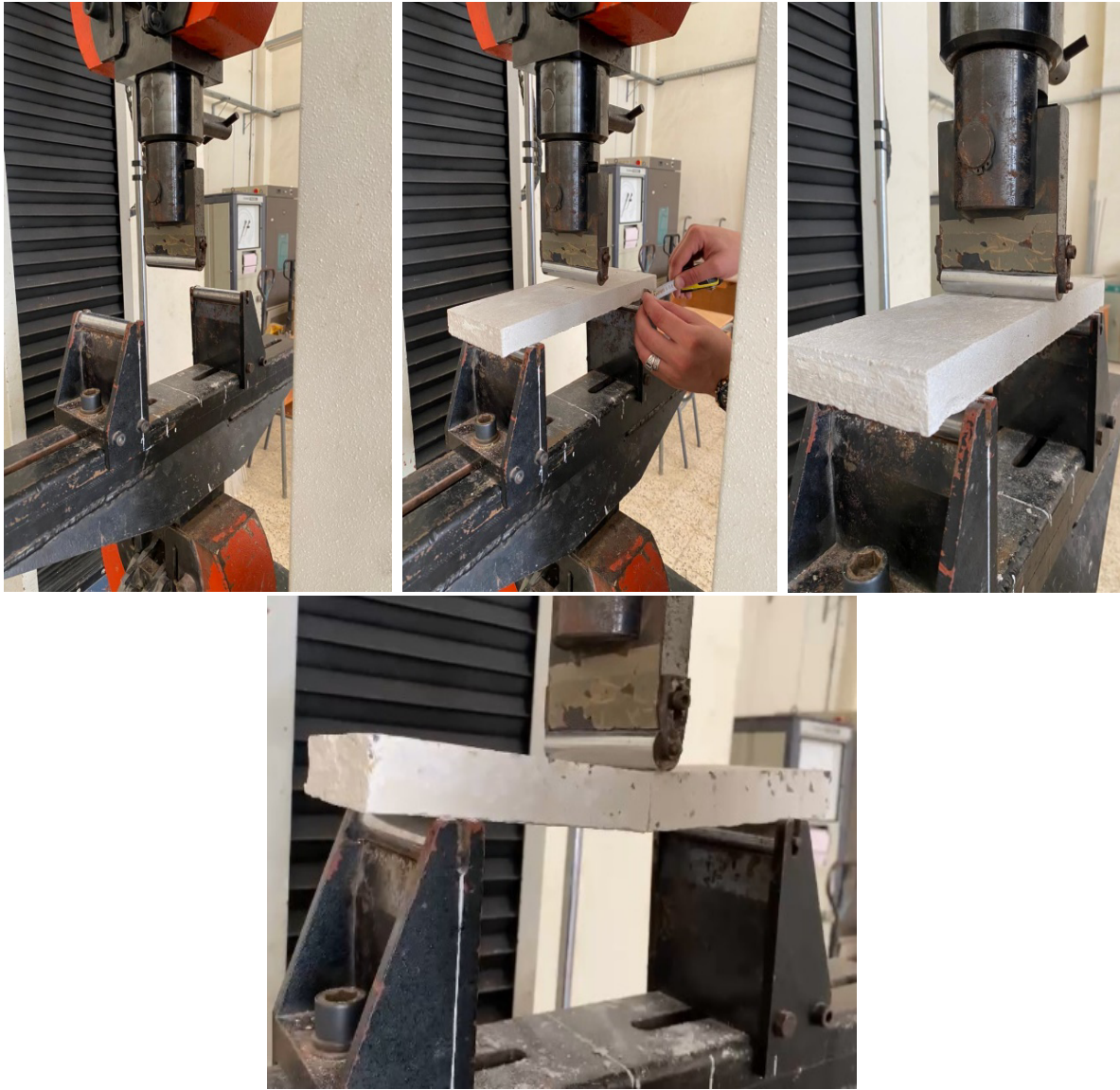


Figure 52 : photos montrant la fissuration de l'éprouvette sous l'effet de la force des trois point.

4.4. Essai de compression :

L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de forme cylindrique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées. Si le matériau étudié est ductile, la rupture ne peut être atteinte avec ce test. L'essai de compression est surtout utilisé pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux fragiles (comme les céramiques) qui sont difficiles à usiner pour un essai de traction.

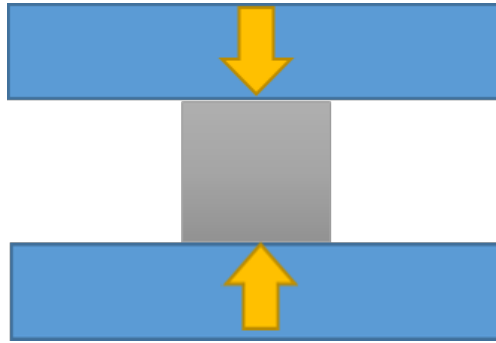


Figure 53 : Test de compression simple.

- Pour le test de compression, les dimensions des éprouvettes changent, 10 cm de longueur et 5.5 cm de largeur.
- Le test de compression est fait sur la même machine IBERTEST. On place l'éprouvette entre deux barres métalliques pour que les deux plateaux fixes ne se touchent pas lors de l'écrasement de l'échantillon, sinon la machine risque de ne plus être fonctionnelle.
- Puis on lance la machine pour commencer le test de compression jusqu'à la phase de rupture qui apparaît aussi sur l'écran de l'ordinateur prévu pour ce test.



Figure 54 : photo montrant le teste de la compression sur l'échantillon.

4.5. Matériel utilisé pour les essais :

- Ponceuses manuelle
- Une cisaille
- Tamis traditionnelle
- Une presse hydraulique IBERTEST piloté par un ordinateur
- Mètre ruban.

5 RESULTAT ET DISCUSSION

5.1. Présentation des résultats de l'expérimentation

L'expérimentation nous a permis d'obtenir, à partir des différents échantillons préparé (carreaux) utilisable pour faire des dallages de sol.

Les tests de poinçonnement, flexion et de compression effectués sur ces carreaux nous ont donné les résultats présenté ci-dessus :

5.2. Essai de flexion :

Les résultats de poinçonnement obtenu 30 jours après le décoffrage sont résumés dans le tableau suivant :

matériaux (échantillons)	Ech 1(a)	Ech 1(b)	Ech 1(c)	Ech 2(a)	Ech 2(b)	Ech 2(c)	Ech 3(a)	Ech 3(b)	Ech 3(c)
flexion (MPa)	7,00	3,48	2,56	4,11	4,14	4,77	6,93	5,70	5,73

Tableau 10 : Essai de flexion.

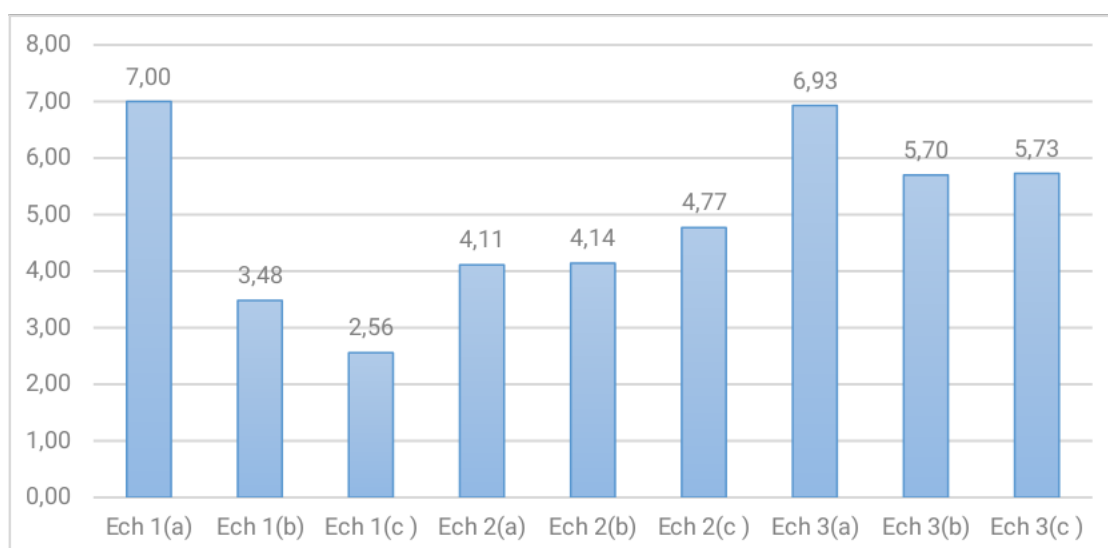


Figure 55 : présentation graphique de l'essai de flexion.

Discussion des résultats :

La Flexion est une application d'une force sur un matériau sur trois points, il y a d'abord **déformation élastique** suivie parfois (en fonction de la ductilité du matériau) d'une **déformation plastique** et enfin **rupture** (la sollicitation dépasse la résistance intrinsèque du matériau).

La résistance à la flexion dépend de la résistance intrinsèque du matériau. Les tests effectués, donnent les résultats suivants :

- En première position l'échantillon 1(a) ;
- En deuxième position on trouve les échantillons 3(a, b et c) ;
- En troisième position 2(c) ;

Ces échantillons donnent un seuil de résistance à la contrainte assez élevé.

- Echantillon 2(a et b) et 1(b) donne une résistance moyenne à la flexion.
- L'échantillon 1(c) à la valeur la plus faible à cause de la structure, vu que le sable et totalement absent.

5.3. Essai de poinçonnement :

Les résultats de poinçonnement obtenu 2 jours après le décoffrage sont résumés dans le tableau suivant :

matériaux (échantillons)	Ech 1'(a')	Ech 1'(b')	Ech 1'(c')	Ech 2'(a')	Ech 2'(b')	Ech 2'(c')	Ech 3'(a')	Ech 3'(b')	Ech 3'(c')
poinçonnement (MPa)	3,826	4,341	4,339	3,826	4,546	4,066	4,376	4,331	0

Tableau 11 : essai de poinçonnement.

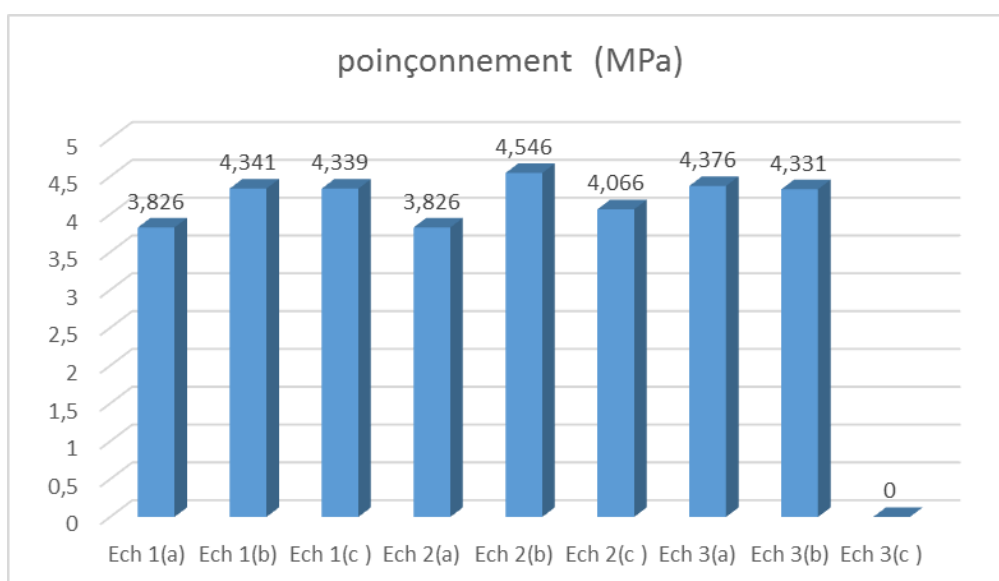


Figure 56 : présentation de l'essai de poinçonnement.

Discussion des résultats :

Le poinçonnement est une capacité d'un revêtement, d'une surface ou d'un élément de structure de ne pas se laisser percer ou endommager sous l'effet d'une **action ponctuelle** ou bien est un **enfouissement d'une surface**, tassement d'un sol, déformation d'un élément de structure (plaque par exemple) sous l'effet d'une **charge localisée**.

Le poinçonnement s'effectuant à vitesse constante par la machine IBERTESTE, les courbes les paliers de ruptures correspondant aux résultats de chaque échantillon se trouve dans les annexes.

Ce premier argument nous permet d'émettre l'hypothèse que parmi les échantillons on a sélectionnés Cinq (05) qui ont une importance élevée. Ce sont les échantillons 1'(b'), 1'(c'), 2'(b'), 3'(a') et 3'(b').

L'échantillon 3(c) et perdue à cause d'une erreur technique.

5.4. Essai de de compression :

Les résultats de compression obtenu 2 jours après le décoffrage sont résumés dans le tableau suivant :

matériaux (échantillons)	Ech 1"(a")	Ech 1"(b")	Ech 1"(c")	Ech 2"(a")	Ech 2"(b")	Ech 2"(c")	Ech 3"(a")	Ech 3"(b")	Ech 3"(c")
compression (MPa)	4,38	5,02	6,64	6,386	10,38	7,18	7,57	7,21	6,89

Tableau 12 : essai de compression.

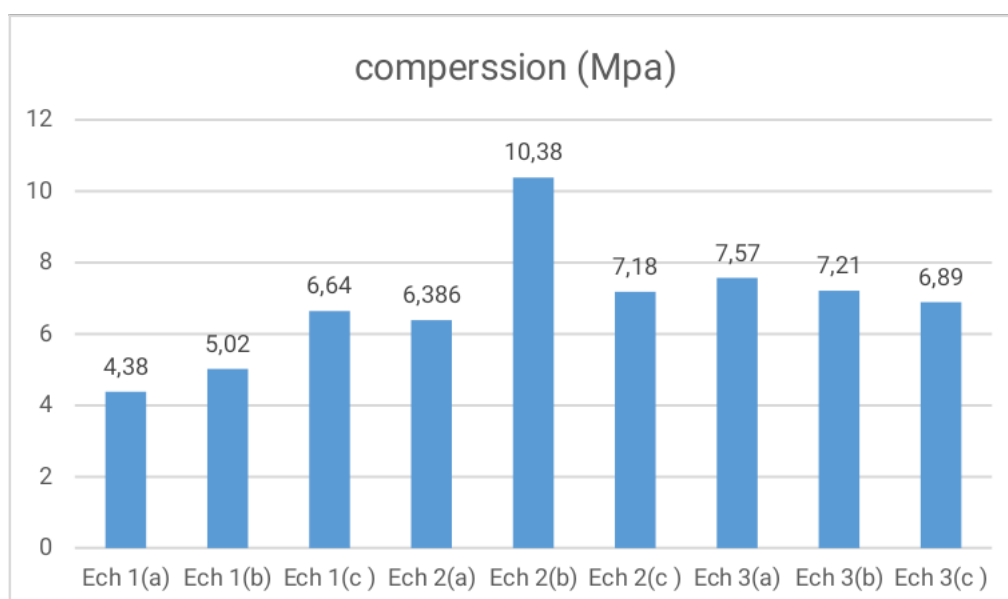


Figure 57 : présentation graphique de l'essai de compression.**Discussion des résultats :**

En premier lieu nous remarquons que les échantillons qui sont constituée du mélange de sable, gravier et ciment blanc donnent une bonne résistance à celles produites à la marbrerie YAHIAOUI (formule de base de carreaux).

Echantillons 3" (a", b", c") donnent un très bon résultat de résistance à la compression. Le test de compression s'applique sur toute la surface d'un matériau,

L'écrasement dépend du vide interstitiel, moins il y a moins de porosité plus la résistance à la compression est importante.

Les composants de l'échantillons 2"(b") sont le gravier, le sable (rejet de mine) et le ciment blanc, ils ont presque la même granulométrie donc tous les vides sont obstrués. Echantillons 3"(a", b", c") est composé de sable et de ciment blanc (composant fin) par conséquent les vides sont obstrués, ce qui donne une bonne résistance à la compression.

Tableau 13: la quantité et le prix d'achat des matériaux utilisées.

Les matières utilisées	La quantité en gramme (g)	Le prix d'achat
gravier	9367.5	3.35
Sable (Rejet de mine)	6867.5	Echantillonnage d'El Abed
Ciment gris	1575	22.05
Ciment blanc	2775	91.575
L'eau de robinet	4325	
Total	21910	116.975

Les matières utilisées, La quantité en gramme(g), Le prix d'achat (DA), gravier 9367,5 g X 3,35 DA, Sable (Rejet de mine),3867,5 g, Gratuit, Ciment gris,1575 g X 22,05 DA, Ciment blanc,2775 g X 91,575 DA, L'eau de robinet,4325, Total, 116.975 DA

Le prix de 1m² de plaque de carreaux obtenus avec les déchets recyclés revient à 116,975DA/m². Alors que le prix d'une plaque de granito se vent à 2200 DA/m² a la marbrerie YAHIAOUI et avec des résultats plus significatifs contrairement aux

échantillons témoins.

On remarque aussi que le recyclage des sable de la digue a un grand bénéfice économique, car c'est gratuit (sans inclure les frais de déplacement) et la formulation qui l'inclut coûte moins chère ,ou le taux d'ingrédients habituelles et réduit à sa présence.

6 Conclusion :

Les résultats des tests effectués permettant d'avancer la possibilité de valorisation du sable de la digue d'El Abed comme substituant de sable de carrière dans la fabrication de carreaux de carrelage.

D'après les analyses effectuées, les résultats montrent que les échantillons qui contiennent le sable répondant aux exigences d'une bonne résistance à la rupture (compression, flexion) ou la déformation est plus grande pour les échantillons qui contiennent la formule de base (gravier, sable de carrière, ciment blanc).

Ce qui nous indique, du point de vue technique, que les déchets de mine (sable) peuvent être recycler dans la synthèse de matériaux de construction en général.



Conclusion général

1 Conclusion général

Les déchets sont considérés de nos jours, comme une ressource précieuse et intarissable, d'où on peut extraire des matières premières et de l'énergie, la réutilisation de ces déchets permet dans ce sens de mieux concilier les bénéfices socio-économiques et la protection de l'environnement en réduisant le gaspillage, limiter les pollutions et économiser les ressources.

La digue d'El Abed (déchet de mine) due à la contamination en Pb-Zn que contient son sable, génère un immense impact sur l'eau ; le sol ; l'air ; la faune et la flore de cette région située à Tlemcen.

Ce mémoire présente donc une étude des résidus de la digue d'El Abed et un travail de laboratoire. Afin de connaître toute ce qui concerne les déchets de la mine d'El Abed (sable de la digue) et étudier la possibilité de les utiliser dans l'industrie de la fabrication des graniteux (carreaux de carrelage), en substituant le sable de carrière dans la formulation par les sables de la digue d'El Abed.

On a élaboré des échantillons à partir du sable de la digue à différents dosages pour comparer leur paramètre géotechnique à ceux de la marbrerie YAHIAOUI en passant par différents tests de laboratoire (flexion, poinçonnement et compression). Afin d'envisager la possibilité de l'intégration de ces sables comme matériaux de recyclage dans la fabrication de carreaux de dallage.

Les résultats obtenus sont très satisfaisants, et indiquent que le sable de l'Abed est apte à être utilisé comme remplaceur de sable habituel ou aditif dans la fabrication de ces carreaux, vu que les carreaux fabriqués à base de ce sable donnent une résistivité supérieure à celle fabriqués dans la marbrerie YAHIAOUI en ce qui concerne les tests géotechniques effectués dans ce travail.

Bibliographie

Bibliographie

- AOUICHAT. M, DAOUADJI et BOUDJADJA U.S.T.H.B. : S. BOUHENA (2002)** - font une étude gîtologique des minéralisations d'El Abed W. Tlemcen ;
- AZZOUN Z. Et WASSIM (2020)** - réalisent une étude sur les minéralisations associées au socle paléozoïque et sa couverture de Beni-Snous et Déglène W. Tlemcen Master UMMTO.
- BENDJAZIA M. BENLAMARI A. (2012)** - contribution à l'étude géologique et minéralogique du gîte plombo-zincifères d'El Abed.
- BENEST M. (1985)** - Évolution de la plate-forme de l'Ouest Algérien et du Nord-Est Marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire. Thèse Sci., Lyon, Docum. Lab. Géol. Lyon, vol. 95, 581 p.
- BOUDIAF M. (2015)** - réalise une étude d'impact de la mine d'El Abed W. Tlemcen Master UMMTO ;
- BOUDIAF M. et IGALOUZENE. (2015)** - Etude des minéralisations Pb-Zn d'El Abed (Tlemcen) et leurs impacts sur l'environnement. Mémoire de Master UMMTO Tizi-ouzou.
- 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- Aurés. 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
- BOUTALEB A. (2001)** - Etude des minéralisations des domaines Sétifien-Hodna – pétrographie des dolomies, microthermométrie : implications métallogéniques. Thèse de Doctorat - USTHB 400p.
- BOUTALEB A. (2001)** - Etude des minéralisations des domaines sétifien-Hodna – pétrographie des dolomies, micro thermométrie : 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 Abbes 7-9 décembre.
- BOUTALEB A. (2011) et MOUSSAOUI Kh. (2010)** - Réalisent une étude pétrographique et micro-thermométrie des dolomies et des sphalérites d'El Abed– W. Tlemcen. Master USTHB ;
- BOUTALEB A. (2011)** - Carbonate hosted lead-zinc deposit of El Abed-Tlemcen North.
- BOUTALEB A. et MOUSSAOUI KH. (2010)** - Etude pétrographique et micro-Thermométrie préliminaire des dolomies et des sphalérites d'El Abed– W. Tlemcen. Master USTHB, Alger.
- CHAA H. (2010)** - Etude des minéralisations karstiques d'El Abed (Tlemcen). Mémoire d'ingénieur d'état USTHB (Alger).

Bibliographie

- CHAA H. (2010)** - réalise une étude sur la sédimentologie des remplissages karstiques du gisement Pb-Zn d'El Abed (Tlemcen) Master USTHB ;
- 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).
- EL HADJ N. (2008)** - étude des minéralisations de Mellal et granite de Beni-Snous Ghar Roubane
- EI HADJ N. (2008)** - étude sur les Minéralisations de Mellal Beni-Snous W. Tlemcen Thèse de Magister - USTHB Alger ;
- 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.
- ELMI S. (1973)** - décrochements et mouvements Atlasiques dans la région frontalière Algéro-Marocaine (monts de Ghar Rouban). C.R. Acad. Sci. Paris, 276, 1521-1524.
- ELMI S. (1978)** - l'évolution des monts de Ghar –Rouban (Algérie Nord occidentale) au début du Jurassique.
- GOUMGHAR N. (2015)** - réalise une étude sur les minéralisations à Pb-Zn de Dégène W. Tlemcen Master UMMTO ;
- GOUMGHAR N. DJEDDLY (2015)** - Etude de la minéralisation à Pb-Zn de Dégène W. Tlemcen ; Master UMMTO.
- HADDAD K. (2016)** - Etude sur les minéralisations d'El Abed W. Tlemcen Master UMMTO.
- HADDAD K. (2016)** - Étude 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 ;
- INGOULEM O. ET SANAGO. B (2003)** - Étude sur les minéralisations karstiques d'El Abed W. Tlemcen U.S.T.H.B ;
- KERNOUAT F. et DAOUDA M. (2008)** - traitement des minéralisations d'El Abed W. Tlemcen Master USTHB.
- LABCHRI D. (2011)** - Etude des minéralisations d'El Abed (Tlemcen) – Thèse de magister–USTHB Alger ;
- LABCHRI D. (2011)** - Réalise une étude des minéralisations d'El Abed (Tlemcen) – Thèse de magister –USTHB Alger ;
- LUCAS G. (1954)** - relation de la structure de la minéralisation Plombo-Zincifère dans la région de Ghar Rouban frontière Algéro-Marocaine Congrès de géologie.
- MALEMBANE ANTONIETA DOMINGOS. (2020)** - Etude de drainage minier de la digue

Bibliographie

d'el Abed (Tlemcen) Master UMMTO.

MIMOUNI D. et MAHBOUBI H. (2014) - Etude géologique de l'indice de minéralisation « Djebel Deglene » (partie Sud des Monts de GharRoubane, Tlemcen, Algérie). Thèse de magister Université Abou BekrBelkaid-Tlemcen.

SALHI N. (2018) - Etude sur les minéralisations à Barytine des granites de Beni –Snous W. Tlemcen Master UMMTO.

SALHI N. (2019) - réalise une étude sur les minéralisations à Barytine des granites de Beni –Snous W. Tlemcen Master UMMTO ;

SALIFOU O. et SANAGO M. (2004) - des précisions sur l'étude des minéralisations karstiques du gisement Pb-Zn d'El Abed (Tlemcen) Master USTHB ;

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

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

Annexes

Annexe 01(a)

champ		valeur		valeur		valeur	unité
mode de control		force		force		force	
matériau		0(sable)		0(sable)		0(sable)	%
date de l'essai		31/05/2022		07/06/2022		07/06/2022	
vitesse		0,5		0,5		0,5	KN/s
échantillon		1(a)		1'(a')		1''(a'')	
section		rectangulaire		carrée		carrée	
largeur		100		150		40	Mm
épaisseur		25		25		40	Mm
longueur		300		150		40	Mm
aire	flexion	2500	poissonnement	3750	compression	1600	mm2
résistance projet		200		200		200	MPa
Age		30		2		2	J
force maximum		1,326		1,594		7,02	KN
résistance maximum		7,00		3,826		4,38	MPa
course maximum		2,38		4,3		6,96	Mm
type d'essai		flexion		poissonnement		compression	
référence		E-0PSCB-1		E-0PSCB-poins-1		E-0PSCB-comp-1	

Tableau 14 : Résultat de l'échantillon 1(a, a', a'').

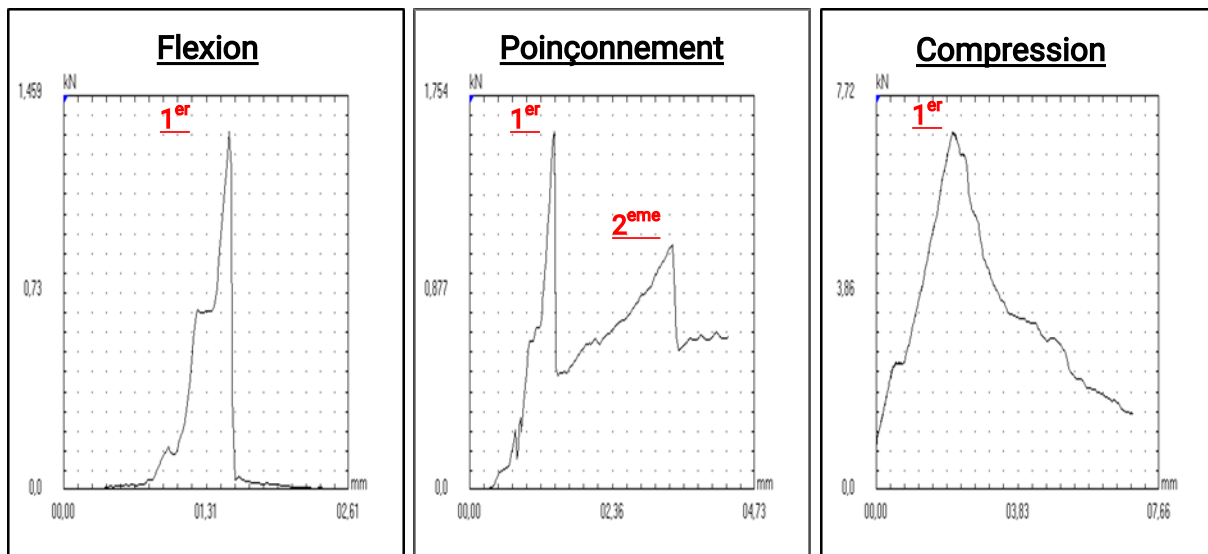


Figure 58 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.

Annexe

champ		valeur		valeur		valeur	unité
mode de control		force		force		force	
matériau		0(sable)		0(sable)		0(sable)	%
date de l'essai		31/05/2022		07/06/2022		07/06/2022	
vitesse		0,5		0,5		0,5	KN/s
échantillon		1(b)		1'(b')		1''(b'')	
section		Rectangulaire		carrée		carrée	
largeur		100		150		40	Mm
épaisseur		25		25		40	Mm
longueur		300		150		40	Mm
aire	flexion	2500	poinçonnement	3750	compression	1600	mm2
résistance projet		200		200		200	MPa
Age		30		2		2	J
force maximum		0,659		1,809		8,03	KN
résistance maximum		3,84		4,341		5,02	MPa
course maximum		4,89		3,4		8,02	Mm
type d'essai		flexion		poinçonnement		compression	
référence		E-0PSCB-2		E-0PSCB-poins-2		E-0PSCB-comp-2	

Annexe 01(b)

Tableau 15 : Résultat de l'échantillon 1(b, b', b'').

Annexe

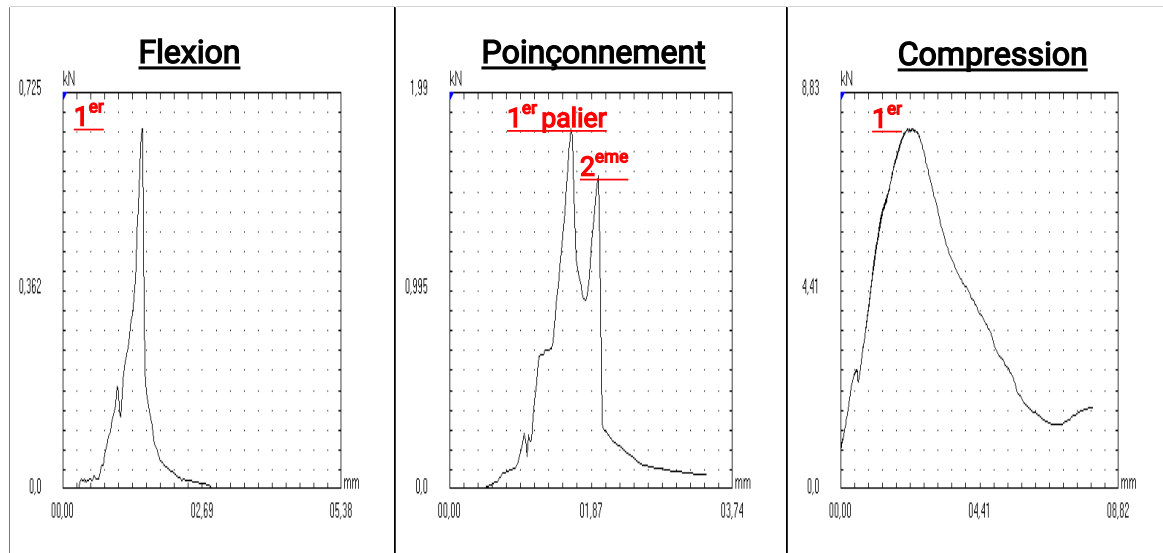


Figure 59: le diagramme montrant les paliers de rupteurs.

Annexe 01(c)

champ		valeur		valeur		valeur	unité
mode de control		force		force		force	
matériau		0(sable)		0(sable)		0(sable)	%
date de l'essai		31/05/2022		07/06/2022		07/06/2022	
vitesse		0,5		0,5		0,5	KN/s
échantillon		1(c)		1'(c')		1''(c'')	
section		Rectangulaire		carrée		carrée	
largeur		100		150		40	Mm
épaisseur		25		25		40	Mm
langueur		300		150		40	Mm
aire	flexion	2500	poinçonnement	3750	compression	1600	mm2
résistance projet		200		200		200	MPa
Age		30		2		2	J
force maximum		0,485		1,808		10,62	KN
résistance maximum		2,56		4,339		6,64	MPa
course maximum		2,95		3,74		5,3	Mm
type d'essai		flexion		poinçonnement		compression	
référence		E-0PSCB-3		E-0PSCB-poins-3		E-0PSCB-comp-3	

Annexe

Tableau 16 : Résultat de l'échantillon 1(c, c', c'').

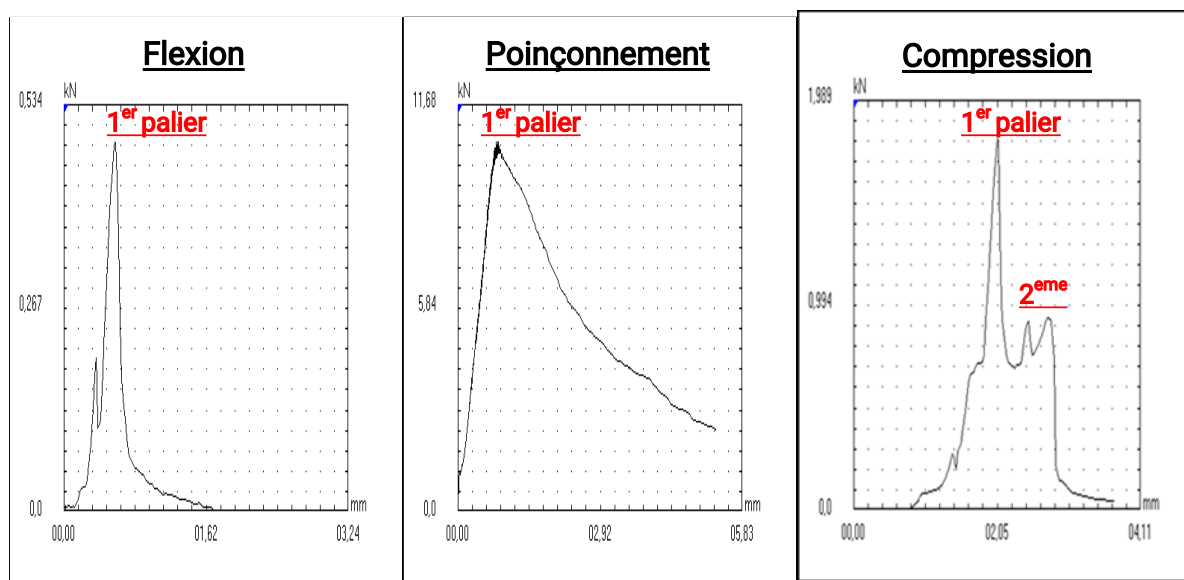


Figure 60 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.

Annexe 02(a)

champ	flexion	valeur	poinçonnement	valeur	compression	valeur	unité
mode de control		force		force		force	
matériau		50(sable)		50(sable)		50(sable)	%
date de l'essai		31/05/2022		07/06/2022		07/06/2022	
vitesse		0,5		0,5		0,5	KN/s
échantillon		2(a)		2'(a')		2''(a'')	
section		Rectangulaire		carrée		carrée	
largeur		100		150		40	Mm
épaisseur		25		25		40	Mm
langueur		300		150		40	Mm
aire		2500		3750		1600	mm2
résistance projet		200		200		200	MPa
Age		30		2		2	J
force maximum		0,779		1,561		10,217	KN
résistance maximum		4,11		3,746		6,386	MPa
course		2,03		2,74		8,99	Mm

Annexe

maximum						
type d'essai		flexion		poinçonnement		compression
référence		E-50PSCB-1		E-50PSCB-poins-1		E-50PSCB-comp-1

Tableau 17 : Résultat de l'échantillon 2(a, a', a'').

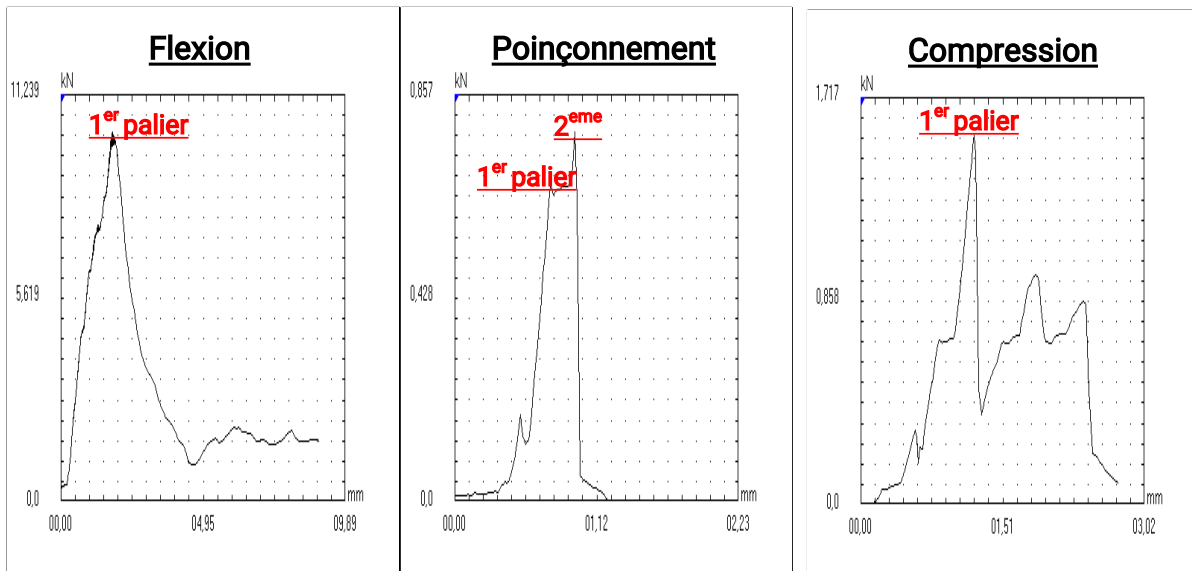


Figure 61 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.

Annexe 02(b)

champ	flexion	valeur	poinçonnement	valeur	compression	valeur	unité
mode de control		force		force		force	
matériau		50(sable)		50(sable)		50(sable)	%
date de l'essai		31/05/2022		07/06/2022		07/06/2022	
vitesse		0,5		0,5		0,5	KN/s
échantillon		2(b)		2'(b')		2''(b'')	
section		Rectangulaire		carrée		carrée	
largeur		100		150		40	Mm
épaisseur		25		25		40	Mm
langueur		300		150		40	Mm
aire		2500		3750		1600	mm2
résistance projet		200		200		200	MPa
Age		30		2		2	J

Annexe

force maximum		0,784		1,894		16,6		KN
résistance maximum		4,14		4,546		10,38		MPa
course maximum		2,62		2,72		7,12		Mm
type d'essai		flexion		poinçonnement		compression		
référence		E-50PSCB-2		E-50PSCB-poins-2		E-50PSCB-comp-2		

Tableau 18 : Résultat de l'échantillon 2(b, b', b'').

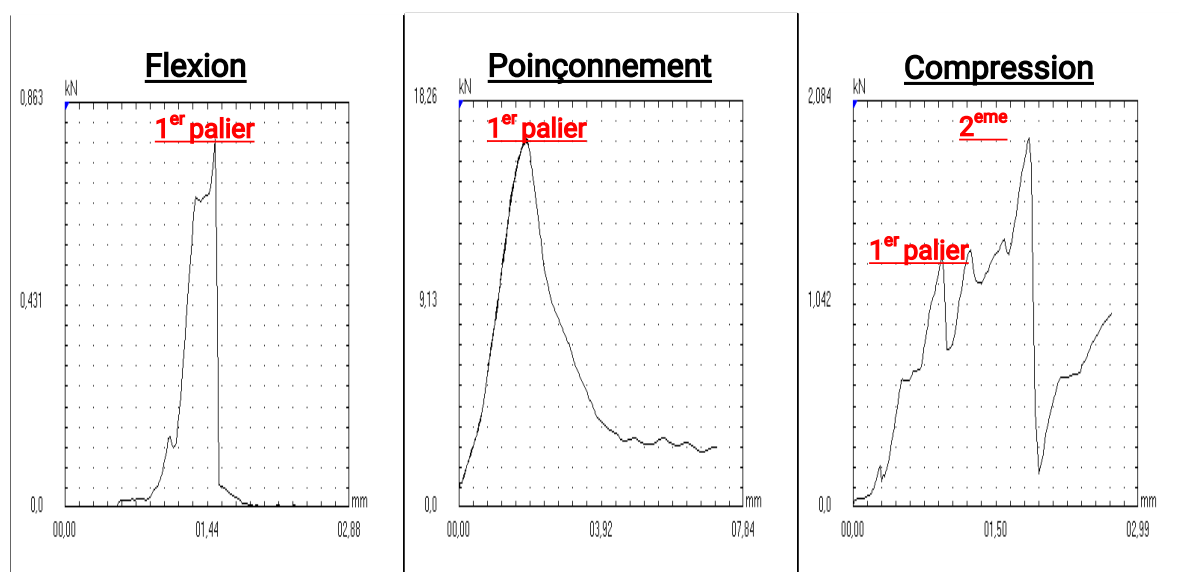


Figure 62 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.

Annexe(c)

champ	flexion	valeur	poinçonnement	valeur	compression	valeur	unité
mode de control		force		force		force	
matériau		50(sable)		50(sable)		50(sable)	%
date de l'essai		31/05/2022		07/06/2022		07/06/2022	
vitesse		0,5		0,5		0,5	KN/s
échantillon		2(c)		2'(c')		2''(c'')	
section		Rectangulaire		carrée		carrée	
largeur		100		150		40	Mm
épaisseur		25		25		40	Mm

Annexe

longueur	300	150	40	Mm
aire	2500	3750	1600	mm2
résistance projet	200	200	200	MPa
Age	30	2	2	J
force maximum	0,904	1,694	11,49	KN
résistance maximum	4,77	4,066	7,18	MPa
course maximum	1,86	2,56	7,27	Mm
type d'essai	flexion	poinçonnement	compression	
référence	E-50PSCB-3	E-50PSCB-poins-3	E-50PSCB-comp-3	

Tableau 19 : Résultat de l'échantillon 2(c, c', c").

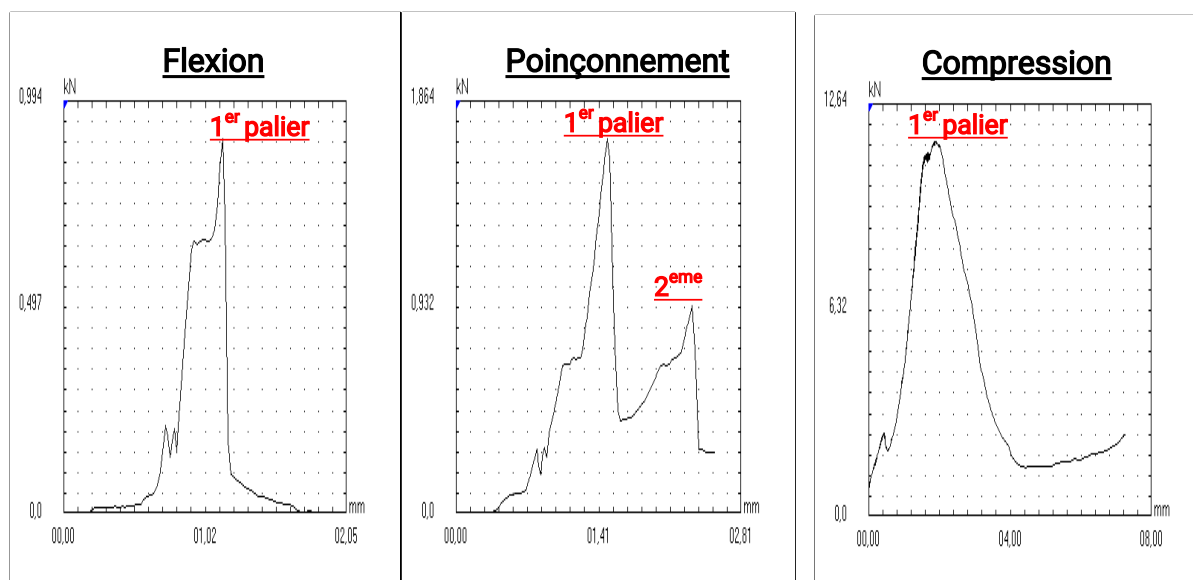


Figure 63 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.

Annexe 03(a)

champ	flexion	valeur	poinçonnement	valeur	compression	valeur	unité
mode de control		force		force		force	
matériau		50(sable)		100(sable)		100(sable)	%
date de l'essai		31/05/2022		07/06/2022		07/06/2022	
vitesse		0,5		0,5		0,5	KN/s
échantillon		3(a)		3'(a)		3"(a)	
section		Rectangulaire		carrée		carrée	

Annexe

	e						
largeur	100		150		40		Mm
épaisseur	25		25		40		Mm
longueur	300		150		40		Mm
aire	2500		3750		1600		mm2
résistance projet	200		200		200		MPa
Age	30		2		2		J
force maximum	1,312		1,823		8,91		KN
résistance maximum	6,93		4,376		5,57		MPa
course maximum	2,57		2,01		7,56		Mm
type d'essai	flexion		poinçonnement		compression		
référence	E-100PSCB-1		E-100PSCB-poins-1		E-100PSCB-comp-1		

Tableau 20 : Résultat de l'échantillon 3(a, a', a").

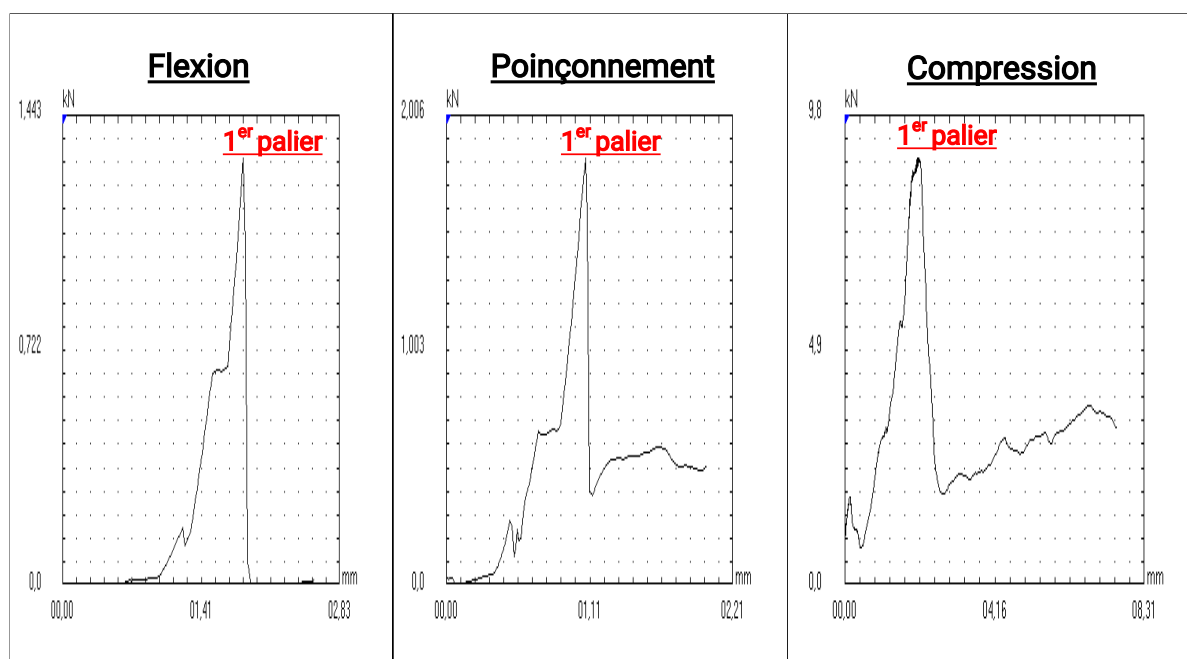


Figure 64 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.

champ	flexion	valeur	poinçonnement	valeur	compression	valeur	unité
mode de control		force		force		force	
matériau		50(sable)		100(sable)		100(sable)	%

Annexe

date de l'essai	31/05/2022		07/06/2022		07/06/2022	
vitesse	0,5		0,5		0,5	KN/s
échantillon	3(b)		3'(b')		3''(b'')	
section	Rectangulaire		carrée		carrée	
largeur	100		150		40	Mm
épaisseur	25		25		40	Mm
longueur	300		150		40	Mm
aire	2500		3750		1600	mm ²
résistance projet	200		200		200	MPa
Age	30		2		2	J
force maximum	1,08		1,805		11,54	KN
résistance maximum	5,7		4,331		7,21	MPa
course maximum	1,43		1,44		5,59	Mm
type d'essai	flexion		poinçonnement		compression	
référence	E-100PSCB-2		E-100PSCB-poins-2		E-100PSCB-comp-2	

Annexe 03(b)

Tableau 21 : Résultat de l'échantillon 3(b, b', b'').

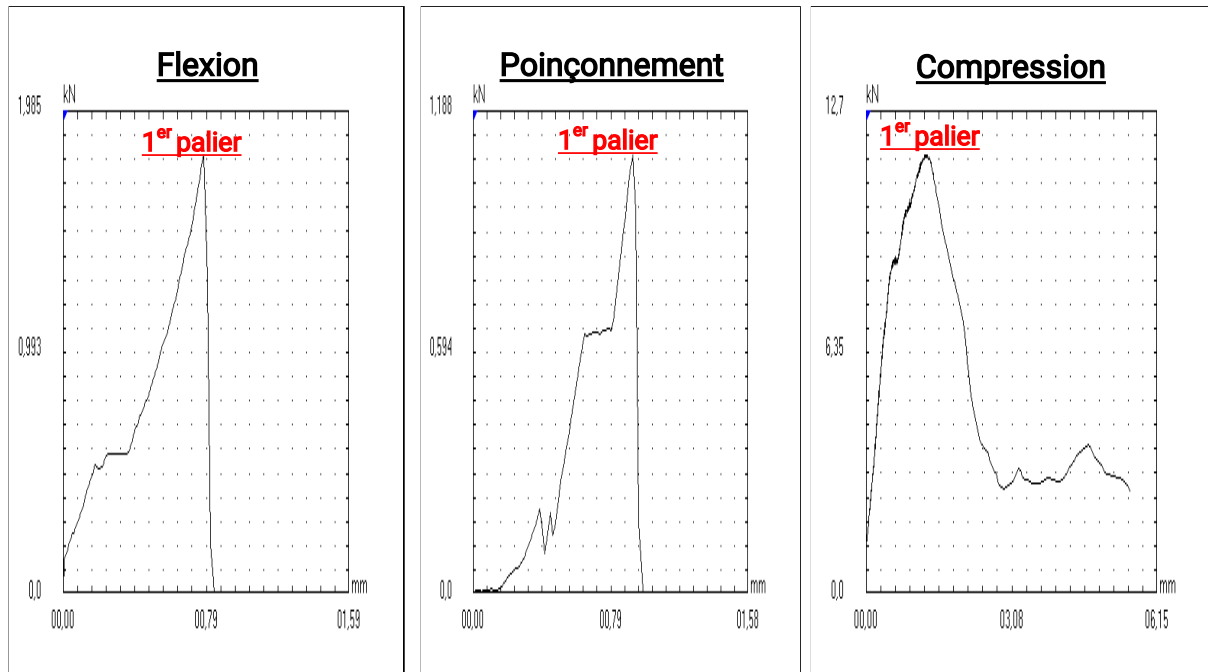


Figure 65 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.

champ	flexion	valeur	poinçonnement	valeur	compression	valeur	unité
-------	---------	--------	---------------	--------	-------------	--------	-------

Annexe

mode de control		force		force		force	
matériau		100(sable)		100(sable)		100(sable)	%
date de l'essai		31/05/2022		07/06/2022		07/06/2022	
vitesse		0,5		0,5		0,5	KN/s
échantillon		3(c)		3'(c')		3"(c'')	
section		Rectangulaire		carrée		carrée	
largeur		100		150		40	Mm
épaisseur		25		25		40	Mm
longueur		300		150		40	Mm
aire		2500		3750		1600	mm ²
résistance projet		200		200		200	MPa
Age		30		2		2	J
force maximum		0,779		0		11,03	KN
résistance maximum		4,11		0		6,89	MPa
course maximum		2,03		0		6,01	Mm
type d'essai		flexion		poinçonnement		compression	
référence		E-100PSCB-3		/		E-100PSCB-comp-3	

Annexe 03(c)

Tableau 22 : Résultat de l'échantillon 3(c, c', c'').

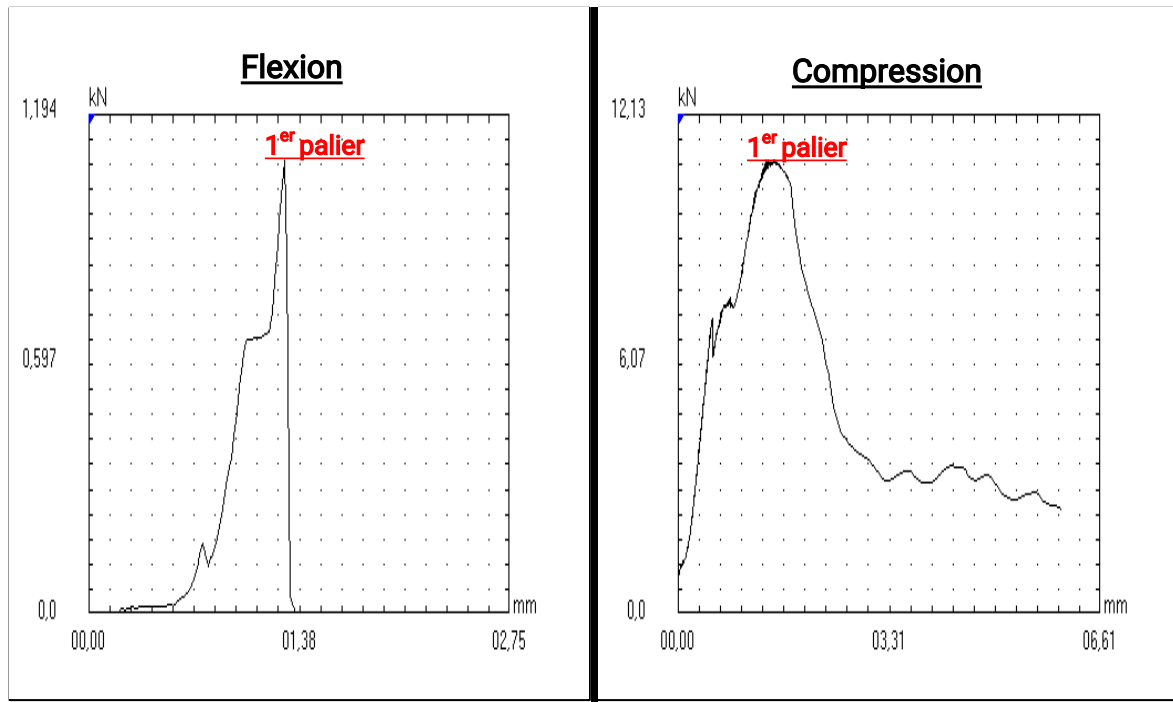


Figure 66 : le diagramme montrant les paliers de rupteurs.

