



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ORAN 2 MOHAMED BEN AHMED
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

MEMOIRE DE MASTER

OPTION : RISQUE GEOLOGIQUE

**IMPACT DES TRAVAUX MINIERS DE
L'ENOF SUR L'ENVIRONNEMENT
PROCHES DE LA ZONE DE BOU-CAID.
WILAYA DE TISSEMSILT**

Présenté Par : FARTASSI Tarek

Devant les jurys :

Président : SAFA AISSA

Examineur : BAKRITI Amel

Rapporteur : BOUZID Rabah

Invité : NADJI A. Mansour

DEDICACE

C'EST AVEC UN GRAND PLAISIR QUE JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À :

A MES CHERS PARENTS. A CE QUI SONT MA RAISON D'ÊTRE ET ONT OFFRE TOUT LEUR VIE POUR MOI, PAR LEURS SACRIFICES POUR MON BONHEUR ET LA RÉUSSITE DANS MES ÉTUDES.

MES GRANDS-PARENTS ; MES FRÈRES : OUSSAMA ; SALAH

MES SCEURS : MERIEM, ASSIA.

MES ENCADREURS : MR. BOUZID ; MR. NADJI ; BAKRITI ; SAFA.

A MES NEVEUX & NIÈCES : ANFEL ; ANAIS ; YASSMIN ; YACIN ; ANES ; ASSILE ; AMIR.

MES TRÈS CHÉRES AMIES : RAOUF, AYMEN, AMIN, NADIR, MOUSSA, DADDY, WALID, ALLA.

A TOUTES LES FAMILLES : FARTASSI, HAMMADA, RIGHI, TAOULI, HESSIN.

A TOUS MES COLLÈGUES DE DÉPARTEMENT DE LA SCIENCE DE LA TERRE ET SPÉCIALEMENT À MES COLLÈGUES DE PROMOTION BOUZID NABIL, MAHI MOHAMED MEDJAHED, BENDAHOU DJAMEL, DOUAR EL AID, DERBAL WAHID.

A TOUTE MA PROMOTION 2020 -2021.

AVANT PROPOS

Avant tout, nous remercions le DIEU le tout puissant qui nous a offert sagesse et Santé afin de réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier Monsieur Khaled BOUNEB de m'avoir proposé ce sujet. Une personne que je le respect beaucoup et je n'oublierai guère votre gentillesse et votre sympathie, J'ai beaucoup profité de son expérience comme un vrai géologue de terrain. Je serais très heureux de vous voir le jour de ma soutenance Monsieur Mohamed BENDINE responsable des carrières à l'entreprise ENOF Bou-Caid, pour son aide, sa patience et sa grande contribution à la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi à monsieur Toufik BOUGANNA Superviseur d'exploitation à ENOF Bou-Caid, je suis très impressionné par votre méthode de travail au terrain et au bureau, j'ai beaucoup appris grâce à vous sur le secteur minier et surtout les techniques d'abattage de la roche. Et je suis très reconnaissant à lui pour son aide, son écoute et ses conseils pertinents.

Je remercie la direction ainsi que tout le personnel de l'entreprise ENOF Bou-Caid, je suis très reconnaissant à monsieur BOUGENNA chargé de l'exploitation minière pour son aide.

Ma profonde reconnaissance s'adresse à l'ensemble des enseignants du département qui ont contribué à ma formation et avec beaucoup d'émotion que je formule ma sincère gratitude.

SOMMAIRE

DEDICACE

AVANT-PROPOS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

RESUME

ABSTRACT

INTRODUCTION GENERALE 01

CHAPITRE 1 : INVESTIGATION GEOLOGIQUE

1- Introduction	03
1-1- Généralités	03
1-2- Les grands ensembles structuraux de l'Algérie du nord	04
2- Cadre géographique	05
2-1- Cadre régionale	05
2-2- Cadre locale	06
3- Cadre géomorphologique	07
3-1- Définition	07
3-2- Les unités géomorphologiques du massif de l'Ouarsenis	07
4- Cadre géologique	08
4-1- Cadre litho-stratigraphique	09
4-2- Cadre structurale	12
5- Condition climatique et occupation du sol	13
5-1- Paléoclimat	13
5-2- Les températures extrêmes	13

5-3-	Les précipitations	13
5-4-	La couverture végétale	14
5-5-	Les vents	14
5-6-	Inondation et boues	14
6-	Tectonique	14
6-1-	Généralités	14
6-2-	Local	16
7-	Sismicité	17
7-1-	De la région	17
7-2-	Du site étudié	18
8-	Hydrogéologie	19
9-	Conclusion	19

**CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ENOF, SON ORGANIGRAMME,
ET ESTIMATION DU RISQUE POTENTIEL LIE A L'IMPACT DES REJETS DES
CARRIERES**

1-	Introduction	21
1-1	Objectif de l'étude	21
1-2	Choix de sujet	22
1-3-	L'impact économique	23
2-	L'entreprise	23
2-1-	Historique de la mine	23
2-2-	Présentation de l'entreprise	24
3-	Minéralisation	25
3-1-	Types de substances recherchées	26
3-2-	Caractéristiques physico-chimique	26
3-3-	L'utilisation de la barytine	27
4-	Géomorphologie des gisements	27
4-1-	Gisements de l'Afrique	27
4-2-	Gisements de l'Ouarsenis	28
4-3-	Focus sur le gisement NORD	28
5-	Exploitation	28
5-1-	Les travaux d'exploitation	29
5-2-	Les mines souterraines	29

5-3-	Types de gisement	30
5-4-	Les ouvrages miniers (creusement)	30
5-5-	Estimation des réserves	31
5-6-	Mode d'exploitation	31
5-7-	Mode d'ouverture	32
5-8-	Méthodes d'exploitation	
6-	Traitement et processus	38
7-	Laboratoire et analyses	40
8-	Rejets miniers et son impact sur l'environnement proche	41
8-1-	Analyses des rejets miniers de Bou-Caid	41
8-2-	Discussion des résultats	43
8-3-	Gestion actuelle des rejets	44
8-4-	Evaluation et amélioration des méthodes de gestion des rejets	45
8-5-	Proposition d'une technique de gestion	49
9-	Conclusion	50

CHAPITRE 3 : EXPERTISE D'ETAT DE STABILITE DES TERRAINS ETUDIES

1-	Introduction	53
2-	Analyses des risques naturels géologiques et définition des notions	53
2-1	Définition des notions	53
2-2	Risques d'éboulement dans le secteur d'étude (Sra d'Abdelkader)	54
2-3	Exemple de risque de glissement de terrain dans l'Algérie (cas de Constantine)	55
3-	Risques anthropiques lié à l'impact des ouvrages miniers de Bou-Caid	55
3-1	Introduction	55
3-2	Risques d'effondrements des parois rocheux	55
3-3	Exemple d'effondrement (l'effondrement sur le versant occidental de Belkheiret)	57
3-4	Conclusion	58
4-	Analyses des risques naturels à l'échelle locale (gisement NORD)	58
4-1-	Approche géo-mécanique	58
4-2	Comparaison de résultat d'étude de la stabilité de la mine étudiée	61
4-3-	Hydrogéologie	62
4-4-	Analyses et essais de laboratoire	62
4-5-	Résultats des essais au laboratoire	62
	Conclusion et recommandations	65

LISTE DES FIGURES

- Fig.1** : les grands ensembles géographiques de la chaîne alpine en Méditerranée occidentale.
- Fig.2** : situation géographique de Bou-Caid/ par rapport aux structures annexes.
- Fig.3** : Localisation de la zone étudiée de l'Ouarsenis
- Fig.4** : Carte aérienne composée de 20 vues au 1/20 000 montrant les reliefs culminants de l'Ouarsenis.
- Fig.5** : coupe interprétative à travers l'Ouarsenis (Polvêche, 1960)
- Fig.6** : coupe à l'extrémité Est de Sra Abdelkader (d'après CALEMBERT, 1952)
- Fig.7** : Vue d'ensemble et représentation panoramique de la succession jurassique du Grand Pic.
- Fig.8** : Stéréogrammes de failles et d'articulations. Nombre de failles (nf) et de joints (nj) analysés et projetés sur une projection de surface égale, hémisphère inférieur (AIFA T et ZAAGANE M, 2014).
- Fig.9** : Des photographies de terrain montrant l'aspect des différentes structures
- Fig.10** : Carte sismo-tectonique du nord-ouest de l'Algérie.
- Fig.11** : Schéma de drainage des eaux souterraines (ZAAGANE, 2007)
- Fig.12** : Vue du massif de Grand Pic montre l'éboulement des blocs rocheux
- Fig.13** : Carte des principales sources géothermiques de la zone (Ouarsenis-Biban-Kabylie).
- Fig.14** : photo montre l'entrée de l'entreprise ENOF/Bou-Caid
- Fig.15** : Oranigramme de l'ENOF- unité Bou-Caid.
- Fig.16** : Minéralisation de la Fluorine du gisement Lakhdar/ Ouarsenis.
- Fig.17** : L'entrée d'une mine souterraine (gisement Nord).
- Fig.18** : schéma explicatif de la méthode chambre-magasin.
- Fig.19** : schéma explicatif de la méthode chambre et piliers
- Fig.20** : Schéma explicatif de la méthode sous niveaux abattus
- Fig.21** : Cheminée de passage.
- Fig.22** : Soutènement de type espace boisé.
- Fig.23** : Schéma technologique de traitement.
- Fig.24** : Aire de stockage
- Fig.25** : Espace de stockage.
- Fig.26** : Cycle de l'eau de traitement à Bou-Caid : alimentation et recyclage. (BENALIA K et KHARFALLAH N, 2016).
- Fig.27** : Évolution des trois substances rejetées conjointement (NO_x, SO_x et COV).

Fig.28 : Vue du tunnel de captage des poussières.

Fig.29 : Vue de la surface du stockage des stériles à Bou-Caid.

Fig.30 : Vue du dégagement des poussières avant et après l'arrêt du système de dépoussiérage (KHARFELLAH et SLIMANE, 2016).

Fig.31 : Panneau montre le risque d'éboulement dans les galeries.

Fig.32 : localisation des effondrements dus à une ancienne exploitation minière sur le massif de Belkheiret.

Fig.33 : Entrée du gisement Nord niveau 1116m.

Fig.34 : profil géologique simplifié du gisement Nord-Niveau 1200m.

Fig.35 : stéréogramme du Wulff de gisement de NORD.

LISTE DES TABLEAUX

TAB. 1 : la série synthétique de l'Ouarsenis (sans échelle).

TAB. 2 : Tableau récapitulant les réserves en barytes de Bou-Caid prélevé du (plan annuel 2021.)

TAB. 3 : Analyses chimiques d'eau potable (JENKINS, (1983).

TAB. 4 : Évolution de la quantité des rejets de la baryte de Bou-Caid

TAB. 5 : Résultats des teneurs en densité.

TAB. 6 : Résultats des teneurs en eaux.

TAB. 7 : Résultats des teneurs en CaCO_3 .

TAB. 8 : Résultats des % en CaCO_3 .

TAB. 9 : Résultats des teneurs en Sulfates.

TAB. 10 : Résultats des essais de la résistance à la compression simple RC.

RESUME

L'exploitation minière est considérée comme l'un des piliers économiques du pays, voir leur rendement et leur produit qui peuvent alimenter différents secteurs industriels, ainsi que les postes d'emplois qui peuvent être créés au profit des citoyens, suite à l'inauguration d'une carrière, centre de traitement, laboratoires etc... dans une région donnée.

En parallèle à ces acquis, naissent des problèmes de différentes catégories et à différentes échelles, empêchant l'avancement de cette ouvrage ; puisque on aura recours à la création de galeries moyennant des explosifs, des marteaux perforateurs...causant ainsi l'instabilité des terrains destinés à l'exploration de ces minerais.

De ce fait, il est indispensable de mener une expertise d'aléa approfondie des terrains avant d'entamer n'importe quel travail pareil.

Dans ce travail, il nous a été demandé d'expertiser la région de l'Ouarsenis et particulièrement la mine de Bou-Caid, ainsi que le développement des différentes opérations de traitement de barytine du début jusqu'à sa fin; à la fin de ce chapitre, on a axé sur les rejets causés par ce traitement, touchant de près ou de loin l'impact environnemental.

En fin, et sur la base de la formation approfondie, l'expérience de nos enseignants, acquises lors de master risques géologiques au niveau de l'université de Mohamed Ben Ahmed, ainsi la contribution efficace des encadreurs locaux de la société ENOF de Bou-Caid, nous a permis d'envisager une méthodologie de recherche en fonction de l'aléa encouru au voisinage du massif carbonaté connu par « Sra d'Abdelkader » et sur l'état de stabilité des zones vulnérables à l'exploitation des gites minéraux de l'Ouarsenis.

Mots clés : impacts, Aléa, rejets, technique de gestion, mine de Bou-Caid.

ABSTRACT

Mining is considered one of the economic pillars of the country, seeing their output and product that can fuel different industrial sectors, as well as the jobs that can be created for the benefit of citizens, following the inauguration a quarry, treatment center, laboratories etc... in a given region.

With these achievements, problems arise of different categories and at different scales, preventing the advancement of this work; since we will resort to the creation of galleries using explosives, hammer drills ... thus causing instability of the land intended for the exploration of these minerals.

Therefore, it is essential to conduct an in-depth hazard assessment of the terrain before starting any such work.

In this work, we were asked to assess the Ouarsenis region and particularly the Bou-Caid mine, as well as the development of the various barite processing operations from start to finish; At the end of this chapter, we have focused on the releases caused by this treatment, directly or indirectly affecting the environmental impact.

Finally, and on the basis of in-depth training, the experience of our teachers, acquired during a master's degree in geological risks at the level of the university of Mohamed Ben Ahmed, as well as the effective contribution of local supervisors from the ENOF company in Bou- Caid, allowed us to consider a research methodology based on the hazard encountered in the vicinity of the carbonate massif known by "Sra d'Abdelkader" and on the state of stability of areas vulnerable to the exploitation of mineral deposits of Ouarsenis.

Keywords: impacts, Hazard, releases, management technique, Bou-Caid min

INTRODUCTION GENERALE

Un projet minier devra être accompagné d'une part, d'une étude d'expertise d'aléa des terrains vulnérables aux risques anthropiques et une autre étude d'impacts environnementaux (EIE) d'autre part. De ce fait, la gestion d'étude de stabilité de ces ouvrages, prend en considération, la vie des mineurs dans les galeries (à l'échelle humains) et sur les paysages des montagnes (à l'échelle de la nature). Ainsi, les rejets (gazeux, liquides et solides) devront être pris en considération. Dans ces conditions, nous avons mené une expertise sur les techniques et les méthodes de gestion de tels problématiques, en commençant par les rejets de centre de traitement de ENOF / Bou-Caid, ainsi qu'au niveau de ses galeries.

À l'échelle mondiale, la barytine occupe une place primordiale parmi les minéraux industriels composants l'écorce terrestre. Grace à ses applications diverses, ses réserves importantes et son exploitation intensive, contribue largement au développement économique et industriel de notre pays. Le domaine d'utilisation de ce minéral est polyvalent, il s'englobe principalement dans le forage pétrolier. La demande en barytine augmente d'une façon exponentielle.

Malgré la productivité de l'usine qui augmente de jour à l'autre, on remarque que l'extraction de la substance utile est irrationnelle, car 50% du tout-venant sont rejetés comme des déchets de traitement, occupant une surface importante du territoire de Bou-Caid. Ces déchets présentent un problème crucial pour l'environnement et l'habitat.

Plus la surface occupée par le gisement est importante, et plus l'occupation de la population est massive, l'enjeu des risques devient intolérable et mérite une expertise de premier ordre pour définir les conditions limites et les volumes potentiels liées aux l'exploitation rationnelle. Le risque anthropique constitue une variation importante qui s'additionne à l'aléa d'instabilité des sites à exploiter

PREMIER CHAPITRE

CONSIDERATION

GENERALE

1- Introduction

Ce chapitre a pour objectif de mettre en évidence l'aspect géologique de la région, il va nous donner une idée sur la surface de la région étudié et permis de comprendre la complexité des structures géologiques, et les différents accidents géologiques qui ont subi la région, on va citer les données géographiques et les unités géomorphologiques, ainsi que l'historique des faciès superposés qui caractérisent la litho-stratigraphie de l'Ouarsenis de la partie de Bou-Caid / Wilaya de Tissemsilt.

1-1- Généralités

L'Algérie du Nord considéré comme un pays montagneux, caractérisé par une morphologie d'un relief escarpé entretenues par des facteurs géodynamiques internes et externes. Cette partie géographique du pays regroupe plus de 80% d'une population croissante, par conséquent l'importance des investissements en matière d'habitat, routes et infrastructures diverses. C'est dans ces conditions naturelles et socioéconomiques contraignantes qu'un bon nombre d'investissement, malheureusement, sollicitent des formations géologiques en pente. Leur instabilité est conditionnée par les facteurs paléogéographiques et climatiques qui les contrôlent.

En effet, que ce soit dans le domaine d'habitat ou celui des infrastructures routiers et autoroutiers, les éboulements constituent l'un des risques à encourir dans les zones montagneuses dont la géomorphologie et la nature des formations sus-jacentes imposent plus de prudence dans le domaine de planification d'aménagement du territoire ou l'extension des zones urbaines (ZAAGANE, 2007).

Actuellement, ce sont les premières préoccupations de la "Géologie moderne" vis-à-vis ces types de risques, l'orientation des études revêt une importance capitale à de telles conditions géomorphologiques notamment lors de lancement des projets humains que soit étatique ou particulier telle que l'exploitation minière, ces sociétés doivent viser et s'assurer en premier lieu, la recherche de la stabilité des versants.

A un stade avancé de la projection des carrières, la société responsable de cette carrière doit faire une démarche qui consiste, dès les premières phases d'étude à entreprendre une

reconnaissance géologique détaillée des sites. Cette exigence est illustrée notamment par un lever de carte géologique à grande échelle de toutes les formations géologiques, qui constituent des terrains susceptibles d'être le siège d'un inquiétant problème pouvant exposer tous les travailleurs de la mine et les habitations de la région à des risques majeurs. De là, la recherche géostatistique avec ses applications trouve sa place pour entamer les premières phases d'études prospectives d'investigations de ces zones.

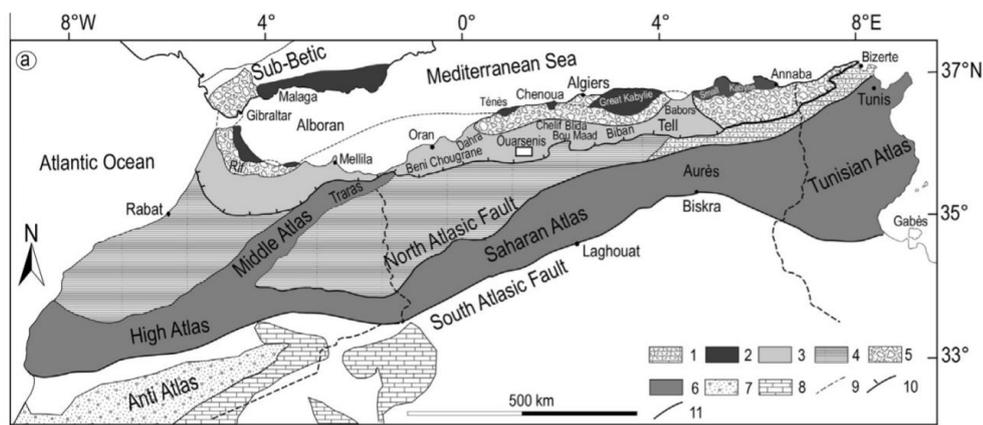
1-2- Les grands ensembles structuraux de l'Algérie du nord

L'Avant-pays de la chaîne Maghrébine est complexe et comporte : des bassins d'avant-chaîne, des zones peu déformées (Hauts-Plateaux) et un autre édifice orogénique qui comprend au Nord le système atlasique (Atlas saharien, Aurès) et au Sud, la plate-forme saharienne stable. En passant du Nord au Sud, la chaîne elle-même est constituée de trois ensembles principaux:

1- un domaine interne qui comporte :

1-1 Formations des massifs de socle métamorphique panafricain et hercynien,

1-2 Terrains cambriens à carbonifère modérément métamorphisés et leur couverture mésozoïque et tertiaire formant la dorsale calcaire. A l'Est, les massifs de Grande et Petite Kabylie sont les plus développées de cette zone interne.



1 : Post Miocène et synchro-piles, 2 : domaine intérieur, 3 : domaine extérieur, 4 : hauts plateaux, 5 : Turbidites maghrébines, 6 : Système Atlasique, 7 : Anti Atlas, 8 : Ougarta, 9 : Frontières des Etats, 10 : Front interne du domaine, 11 : Failles nord et sud de l'Atlas.

Fig. 1 : les grands ensembles géographiques de la chaîne alpine en Méditerranée occidentale.

A l'Ouest, le massif du Chenoua et le Cap Ténès en sont des témoins, réduits aux unités de la dorsale calcaire. Les zones internes chevauchent le domaine des flyschs et le domaine tellien. En petite Kabylie, les chevauchements sont très plats et des formations mésozoïques et éocènes métamorphisées, appartenant aux unités telliennes et aux flyschs, apparaissent en fenêtre sous le socle kabyle à plusieurs dizaines de kilomètres en arrière du front de chevauchement.

2- Des nappes pelliculaires de flyschs crétacés-paléogènes, largement chevauchantes sur les unités telliennes. Le substratum stratigraphique de ces dépôts profonds n'affleure que très localement et comporte des roches basiques et ultrabasiques paléozoïques et jurassiques. Ces flyschs se sont donc déposés dans un bassin de nature au moins partiellement océanique. C'est un bassin maghrébin, qui se liait vraisemblablement au bassin ligure de la Téthys.

3- un domaine externe, ou domaine tellien, constitué par un ensemble de nappes à vergence sud, découpées dans des terrains sédimentaires surtout marneux et calcaires, principalement crétacés et paléogènes. En Algérie, ce sont les unités telliennes au sens strict. Au sein de ce domaine apparaissent localement des massifs formés de terrains métamorphisés à l'alpin. Ces unités dérivent d'une ancienne marge africaine de la Téthys.

2- Cadre géographique

2-1- De la région : l'Ouarsenis fait partie intégrante de l'Atlas tellien encadré nettement entre le parallèle (35° - $36^{\circ},30$) et le méridien ($1 - 2^{\circ}$ E). Il contient les altitudes les plus importants au Algérie de l'ouest et s'agit d'une chaîne très soulevée et enserrée de longueur de 200km environ, et de 100km de largeur. Sauf à l'Est, où elle ne dépasse pas 60km à la hauteur du méridien de Derrag. La chaîne est subdivisée en un Ouarsenis occidental et un autre oriental à la faveur de l'existence du massif de « grand pic » qui culmine à la plus grande altitude estimée à 1985 mètres.

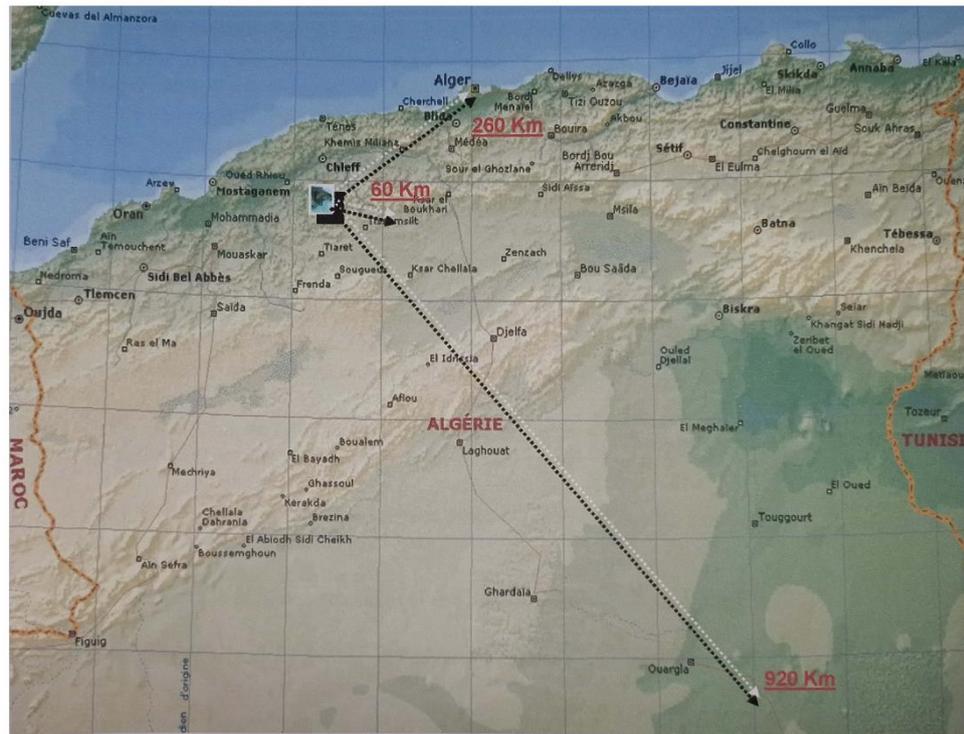


Fig.2 : situation géographique de Bou-Caid - par rapport aux structures annexes.

Les limites naturelles d'Ouarsenis sont :

- La vallée (plaine ou bassin) de Chélif au Nord.
- Le plateau de Sersou (Tiaret) au Sud.
- Les Monts de Béni Chougrane et les Monts de la Mina vers l'Ouest.
- Les Monts de Bibans (Médéa) et les massifs de Miliana à l'Est.

2-2- Cadre géographique local : l'Ouarsenis est situé à 260km de part et d'autre d'Alger et d'Oran, et à environ 50km au sud de Chleff. Le célèbre sommet du Kef Sid Amar (le grand pic) renferme un champ minier (ENOF) depuis l'époque romain à nos jours, offert des substances minéralogique utiles variées. L'unité de Bou-Caid est située à 70 Km au Nord Est du chef-lieu de la wilaya de Tissemsilt, à 250 Km au Sud-Ouest de la capitale d'Alger et 900 Km de Hassi Messaoud. Administrativement le massif occupe une bonne partie territoriale de la commune de Bou-Caid et partiellement, les communes de Bordj Bou Naama et de Sidi Slimane dans la wilaya de Tissemsilt.

3- Cadre géomorphologique

3-1- Définition : cette zone culminante comporte plusieurs pitons jurassiques calcaires bien marqués dans la topographie de la région et qui s'affleurent sous forme de crêtes étroites et des sommets rocheux très peu boisés par rapport aux pieds des montagnes entourées par des terrains schisteux, gréseux, et flysch d'âge Crétacé inférieur.

3-2- Les unités géomorphologiques du massif de l'Ouarsenis : le champ est très accidenté avec un dénivelé de 500 à 900 m, ce qui explique les conditions d'affleurements excellents, ce massif est constitué par les édifices suivants (voir Fig.4 et Fig.4bis) :

- Djebel Sidi Amar (ou le Grand Pic) ;
- Sra d'Abdelkader ;
- Djebel de Belkheiret ;
- Djebel de Rokba Aatba ;
- Djebel de Kef Nhal.

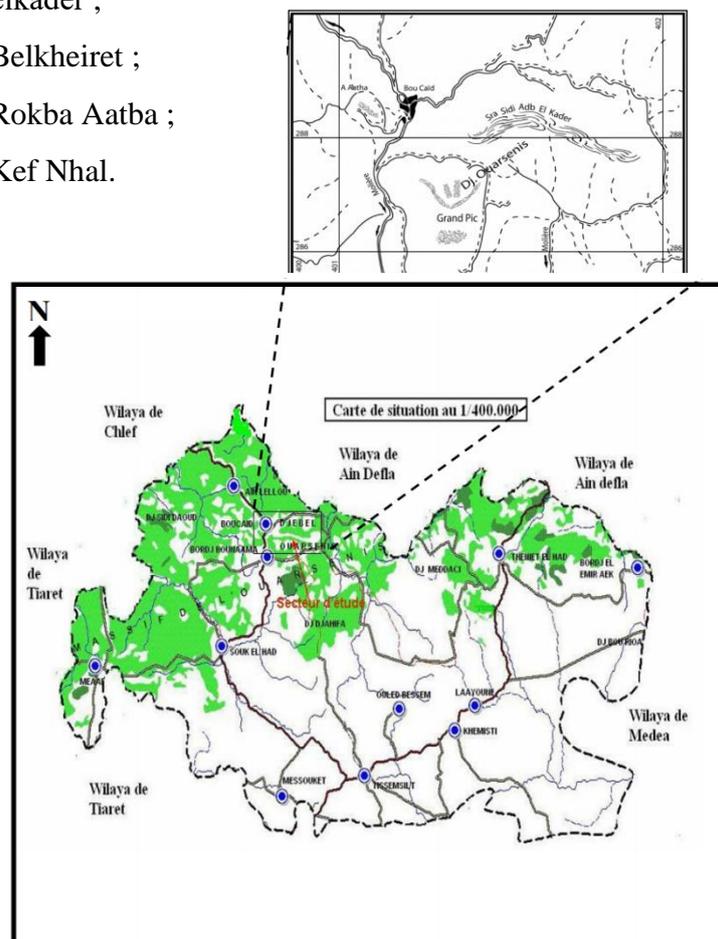


Fig.3 : Localisation de la zone étudiée de l'Ouarsenis.

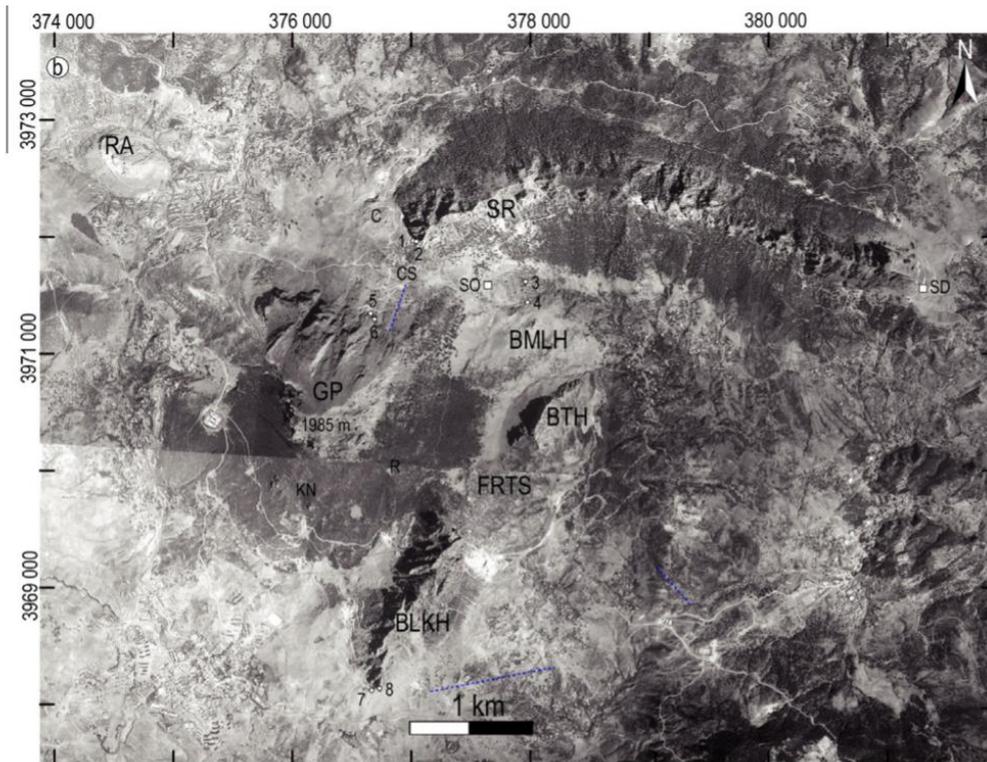


Fig. 4 : Carte aérienne composée de 20 vues au 1/20 000 montrant les reliefs culminants de l'Ouarsenis. SR : Sra Abdelkader, RA : Rokba Atba, BTH : Batha, FRTS : Fartas, GP : Grand Pic, BLKH : Belkheiret, BMLH : Bou Malah, SD : Sidi Djber, SO : Sidi Ouadhah, CS : Col du Senan (Col du Sénan), C : Chicots massif, KN : Kef Nhal.

4- Cadre géologique

L'Afrique du Nord est un bassin de dépôt unique sur le plateau nord du craton africain. Le bassin s'est généralement approfondi vers le nord où les dépôts et l'influence marine sont plus importants. Plusieurs cycles transgressifs-régressifs se sont produits tout au long du Paléozoïque; deux grandes périodes de crues, l'une au Silurien et l'autre au Dévonien supérieur, ont été responsables du dépôt de roches mères. Bon nombre des sables fluviaux, estuariens, deltaïques et marins peu profonds qui se sont déposés au cours de ces cycles sont devenus des réservoirs. Au début du Mésozoïque, les mouvements d'extension causés par l'ouverture des océans Téthys et Atlantique ont développé un bassin d'affaissement cratonique connu sous le nom de bassin triasique. Des sables fluviaux triasiques suivis d'une épaisse section d'évaporites triasiques à jurassiques se sont déposés dans le bassin d'affaissement. Ces grès sont devenus des réservoirs majeurs, tandis que les évaporites ont fourni un joint régional au-dessus des réservoirs fluviaux et paléozoïques.

4-1- Cadre litho-stratigraphique

Dans l'Ouarsenis, l'âge primaire soit assez rare, voir absents (tableau stratigraphique), par contre l'affleurement est bien défini à l'âge secondaire (du Trias au crétacé moyen) et bien aussi au troisième âge. La succession litho-stratigraphique s'établit comme suit :

1. Mésozoïque :

a) **Trias** : il est essentiellement formé de gypse, de dolomies, de calcaires et de marnes. Les importants dépôts de gypse affleurent aux environs des communes de Lardjem et Tamehlaht.

b) **Jurassique** : les roches du Jurassique supérieur recouvrent les carbonates péritidaux de la plate-forme callovienne (conglomérat transgressif, oolithes et calcaires contenant des oncoïdes et des foraminifères benthiques). (SADJI 2021). Les formations de cet âge affleurent uniquement sur le Grand Pic de l'Ouarsenis et ses alentours. Elles sont constituées de calcaires massifs, de calcaires à silex, de marnes et de marno-calcaires.

c) **Crétacé** : ces affleurements sont largement développés sur le territoire de la wilaya de Tissemsilt, excepté au Sud où ils disparaissent sous les dépôts tertiaires. Les formations sont représentées par des schistes argileux, des marnes, des marno-calcaires, des argilites et des grès quartzifères.

2. **Tertiaire** : il est représenté par :

a) **Paléogène** : est constitué essentiellement de marnes à intercalations carbonatées.

b) **Éocène** : est constitué de calcaires massifs localement dolomités, des argiles et de marnes affleurant au Sud de la région.

c) **Miocène** : est constitué d'argiles, marnes, grès et conglomérats. Il affleure à l'Est et à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya.

3. **Quaternaire** : est représenté par le Plio-quaternaire et est constitué de dépôts caillouteux et alluvionnaires : limons, limons sableux, grès, conglomérats, poudingues affleurant à l'Est de Khemisti.

Stratigraphie		Dépôts et faciès	Auteurs	
Quaternaire		Alluvions et cailloutis	Mattauer (1958), Polvèche (1960)	
C é n o z o ï q u e	Pliocène		Cailloutis et replats tufacés	
	Miocène	Sup	Gypse, grès, marnes, conglomérat (continental)	Belkébir et Bessedik (1992), Guardia (1975), Delteil (1974), Dalloni (1952)
		Inf.	Marnes, marno-calcaires, grès-calcaires, conglomérats	Bessedik et al. (2002), Polvèche (1960), Mattauer (1958), Cheylan et al. (1955)
	Oligocène		Boghari (Oranais), Numidien	Polvèche (1960), Mattauer (1958)
	Eocène		Mannes, Marno- calcaires Grès glauconieux, faciès phosphatés	Polvèche (1960), Mattauer (1958) Flandrin (1948) Dalloni (1936)
Paléocène		Marnes		
M é s o z o ï q u e	Crétacé	Sup	Marnes à boules calcaires, microbrèches, argiles (flysch), marno- calcaires, marnes, calcaires à niveaux siliceux	Mattauer (1958), Polvèche (1960)
		Inf.	Marno-calcaires Flysch Schistes à lit calcaires-grès, marno-calcaires Ammonotico-rosso	Tchoumatchenco et al. (1995) Benyoucef (2006) Chérif (2009), Tchoumatchenco et Krishev (1992a), Polvèche (1960), Mattauer (1958), Calembert (1952), Dalloni (1936).
	Jurassique	Malm	Ammonotico-rosso, calcaires-marno- calcaires, Gtès-grès calcaires, marno- calcaires Carbonates, dolomies	Atrops et al. (1991a et b), Benhamou (1996), Tchoumatchenco (1984- 1986a-1987), Kirèche (1977-1993), Farès- Khoudja (1968) ; Calembert (1937-1952), Caire, Glangeaud, Mattauer (1950, 1952), Géoffroy (1936), Gentil (1902-1904), Pomel (1875)
		Dogger		
		Lias		
Trias		Gypse, grès, argile versicolores, dolomies cargeules, bréchiqes, blocs primaires	Trumpy (1983), Mattauer (1958) Dalloni (1952), Fallot (1942a, b) Gentil (1902) Nicaise (1870)	
Pal éoz ïqu e			Conglomérats (Verrucano) Série volcano- sédimentaire Série schisto-gréseuse Socle cristallophyllien	Mattauer (1958), Caire, Glangeaud, Mattauer (1950, 1952), Glangeaud et Bétier (1935, 1937), Géoffrey (1933), Glangeaud (1932), Gentil (1904), Pomel (1856-1859)

TAB. 1 : la série synthétique de l’Ouarsenis (sans échelle).

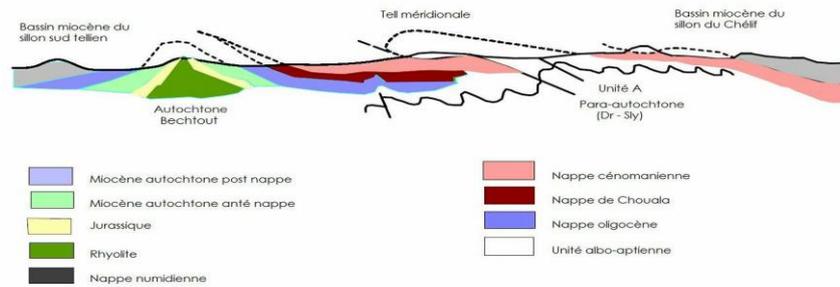


Fig.5 : coupe interprétative à travers l'Ouarsenis (POLVECHE, 1960).

4-2- Cadre structurale de la région

La toponymie actuelle du massif de l'Ouarsenis est liée tout simplement à l'altitude du sommet culminant de sidi Amar (1985 m). En effet en berbère, l'Ouarsenis transcription défectueuse de « Ouarchenis » ou « Ouarensis » qui signifie rien de plus haut (BASSET, 1895 ; p.448 et BROCKELMAN ,1932 ; p.246).

L'Ouarsenis est constitué de structuration extrêmement complexes (Mattauer 1958 ; Benhamou 1996), ces formations attirent et étonnent énormément les géologues. Elles peuvent être représentées essentiellement par des nappes d'écoulement juxtaposées et superposées sur des terrains autochtones, ces derniers sont composées généralement de terrains des flyschs et des marnes. Les mouvements post-nappes sont poursuivis et ont influencé rigoureusement la dissection du relief. Parmi les principales unités structurales qui entrent dans la structure de l'Ouarsenis, on peut citer : les terrains autochtones, le complexe A, la nappe B, et la nappe C (ou nappes numidiennes) et dépôts post nappes.

4-1-1- Cadre géologiques local (Sra d'Abdelkader)

Notre travail a été réalisé sur le massif de Sra d'Abdelkader (Fig. 4), Ce massif est l'une des unités les plus masse de l'Ouarsenis, il est courbé en grand arc concave vers le Sud.

D'après ZAAGANE (2007), Le Sra Abdelkader est constitué dans son axe par une formation calcaire compact de l'Infra-Lias suivie parallèlement par une autre puissante formation du Lias moyen à supérieur dont le faciès est toujours carbonaté constitué essentiellement par des calcaires blanchâtre à grisâtre et l'ensemble est très incliné.

De l'extrémité occidentale où les couches sont dirigées ENE/WSW et plongent de 70 à 85° vers le nord ; elles se courbent dans la partie orientale et inversant le sens de leur inclinaison pour redevenir EW avec un plongement de 80° vers le Sud.

La Sra ou "sierra" est interrompue brusquement dans sa partie ouest par une haute paroi calcaire; elle correspond à la lèvre orientale d'une zone failleuse de direction N30W qui s'élargit vers le col de Senan.

Dans cet endroit, et avec une superposition concordante des dolomies du Lins inférieur et les bancs liasiques, ces formations ont une orientation N70'E avec une inclinaison vers le NW. Dans son extrémité orientale la "sierra" se termine aussi brutalement qu'à l'Ouest par une paroi rocheuse taillée à pic. Toute cette partie est masquée au plan méridional par un paquet des calcaires à silex ainsi que des marno-calcaires du Malm qui affleure en ordre normal et s'incurve vers le Nord Est. Cette constatation se confirme par le Néocomien à faciès marno-calcaire qui affleure au-delà de la piste de la mine de Sidi Belabès

De son côté CALEMBERT (1952), souligne un évènement qui attire notre intérêt, un paquet de roches puissante de plusieurs dizaines de mètres cubes renferment des calcaires à silex s'est détachés du massif de son extrémité orientale pour se trouver à une centaine de mètres en aval ; heureusement aucune victimes n'a été signalée.

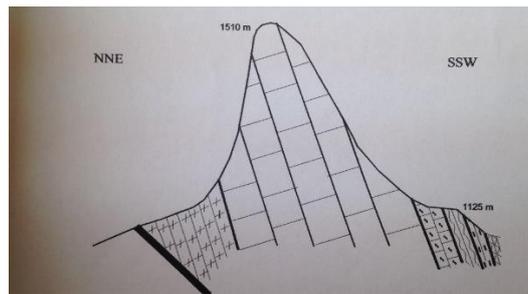


Fig.6 : coupe à l'extrémité Est de Sra Abdelkader (CALEMBERT, 1952).

4-1-2- Sédimentation pendant le jurassique

On se limite sur la série jurassique, étant donné que le massif étudié est constitué globalement par des dépôts de cette période, entourés par les flyschs crétacés avec présence de dépôts triasiques médiocres, occupant des contacts anormaux. Contrairement à ce que pensaient les premiers explorateurs de la région, que les terrains jurassiques étaient représentés seulement par deux étages (Lias et Oxfordien), alors que réellement, toute la série du jurassique est représentée dans ce site et exclusivement dans le Grand Pic (Kef Sidi Amar).

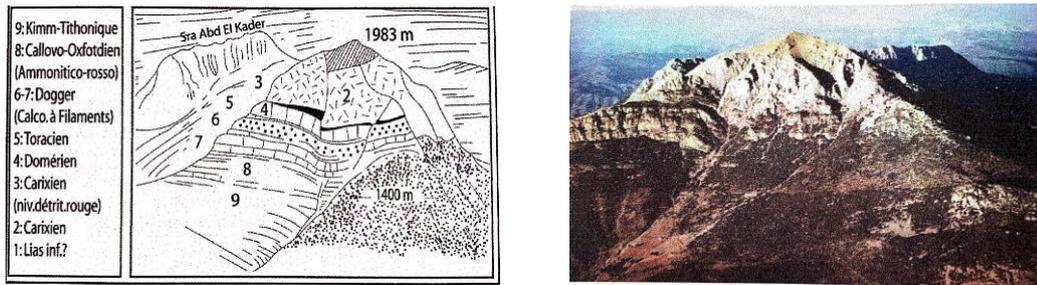


Fig. 7 : Vue d'ensemble et représentation panoramique de la succession jurassique du Grand Pic.

5- Conditions climatiques et occupation du sol

La sensibilité générale du milieu physique est aggravée par les oscillations thermiques et surtout pluviométriques. Généralement, le climat de la zone d'étude dans les galeries est humide qui constitue un facteur handicapé pour la sécurité des ouvriers lors de l'exploitation des mines, à savoir la fragilité des toits, qui peuvent générer des risques d'effondrement.

- 5-1- Paléoclimat :** Les analyses des isotopes stables de l'oxygène des coquillages fossiles semblent indiquer que le Jurassique était généralement caractérisé par un climat de serre chaud interrompu occasionnellement par des intervalles relativement plus froids (PRICE 1999; DROMART et Al, 2003; NUNN et Al, 2009; PRICE and ROGOV, 2009).
- 5-2- les températures extrêmes :** varient de 0°C à 10°C en hiver, et 30°C à 42°C en été. Cependant, des oscillations thermiques brusques avec des minima de -10°C au cours des longues saisons de l'hiver et des maxima qui peuvent atteindre les 20°C pendant la même saison. Elles exposent les affleurements rocheux aux effets de brusques écarts de températures.
- 5-3- Les précipitations :** Généralement, la pluviométrie enregistrée dans la commune de Bordj Bounaâma varie de 600 à 800 mm/an. Vue la nature des terrains sensibles, ces précipitations influent largement dans ce secteur ce qui conduit souvent à l'apparition des niches de glissement.
- 5-4- La couverture végétale :** dans l'ensemble, ces précipitations demeurent suffisantes pour entretenir un manteau forestier et pour assurer aussi la croissance des certaines espèces végétales telles que le cèdre.

- 5-5- Les vents :** Les vents dominants soufflent de directions Nord - Ouest et Nord avec une vitesse moyenne annuelle de 2,4 à 2,9 m/s. Les vents violents (Force 20) soufflent jusqu'à 9 jours par an à une vitesse maximale varie de 23 à 27 m/s. On note très rarement des jours de sirocco.
- 5-6- Inondations et boues :** les risques hydriques liées à l'inondation n'ont pas encore été clairement définis, on définit le mouvement de terrain comme des phénomènes caractérisés par un transport de matériaux sous forme plus ou moins fluides ; coulées boueuses sur les pentes, par dégénérescence de certain glissements avec afflux d'eau ; coulées torrentielles dans le lit de torrents au moment des crues, etc.

Pour le cas de notre étude, les risques d'inondations et de coulées de boues sont très faibles parce qu'il s'agit d'une zone assez élevée (1205m à 1480m), en tête de montagne et sans possibilité d'apport de boues et même si la pluviométrie y est relativement importante.

6- Tectonique

- 6-1- Généralités :** Il y a une conformité générale de la structure dans la majeure partie du Paléozoïque jusqu'à l'Hercynien, qui marque la collision entre Laurasia et Gondwana et qui a causé un soulèvement, un plissement et une érosion régionaux. Les bassins paléozoïques, délimités par des événements tectoniques antérieurs, ont été modifiés, entraînant le développement de plusieurs bassins d'affaissement et d'avant-pays intra-cratoniques.

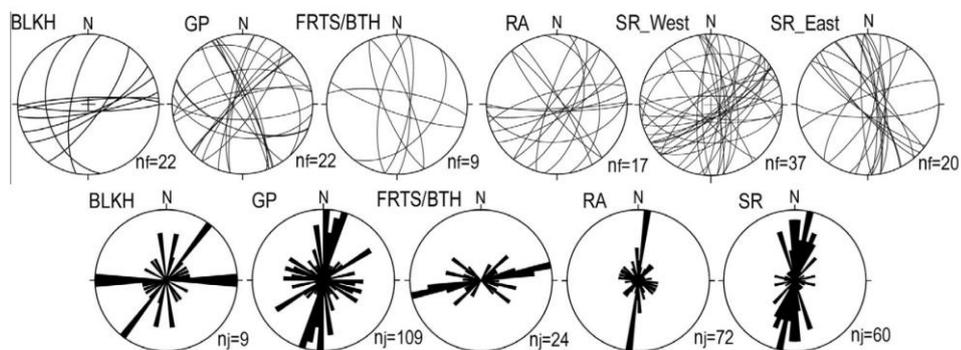


Fig. 8 : Stéréogrammes de failles et d'articulations. Nombre de failles (nf) et de joints (nj) analysés et projetés sur une projection de surface égale, hémisphère inférieur (AIFA T et ZAAGANE M, 2014).

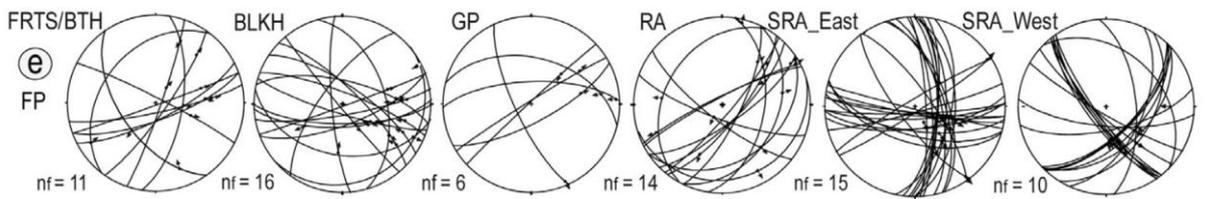
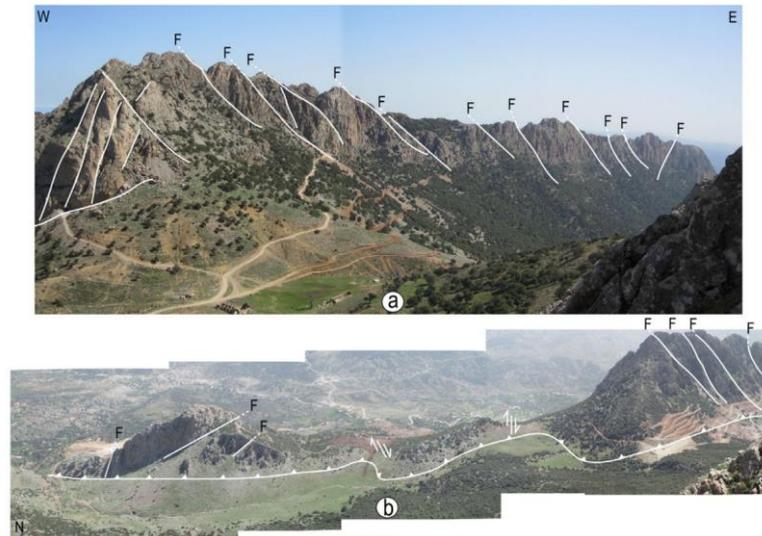


Fig. 9 : Des photographies de terrain montrant l'aspect des différentes structures caractéristiques de la zone culminante d'Ouarsenis. (a) Sra Abdelkader balisé par des failles transversales (F), (b) la zone la plus méridionale de Belkheiret affecté par le cisaillement dextre, (e) Résultats obtenus sur le traitement des failles (ALLMENDINGER et Al., 1994).

Les mouvements de compression au cours de la déformation du Crétacé supérieur et des Pyrénées ont fait basculer le bassin du Trias vers sa configuration actuelle, alors que les bassins existants sur lesquels se trouvent les montagnes actuelles de l'Atlas ont été inversés par ces événements (KLETT, USGS 2000).

6-2- Local : La tectonique ayant affecté intensément le massif de l'Ouarsenis est à l'origine synsédimentaire ou liée aux déplacements des nappes en multi phases orogéniques. Il en résulte un anticlinorium à ennoyage vers le Nord-est constituant ainsi l'ossature du massif montagneux, et un flanc inverse l'anticlinal couché au sud remplissant l'aire synclinale. Ceci ayant été à l'origine de nombreux accidents tectoniques affectent les différents masses calcaires beaucoup plus favorables à la cassure que les terrains plus souples du pays environnant, leurs donnant ainsi un aspect plus complexe et écaillé, caractérisant chacune des grandes masses calcaires. Le massif de l'Ouarsenis de roches jurassiques a été amené à la surface à la faveur d'une faille profonde, morcelé

en plusieurs blocs épiglybtiques et déplacés en direction du Sud-Est (massifs de Belkheiret et Rokba). Vers l'Est la tectonique devienne moins forte et le bloc suivant a été déversé sans déplacement considérable (massif Grand Pic).

COMPLEXE A : d'après MATTAUER, ce complexe est constitué de terrains relativement anciens antécénomaniens avec une tectonique compliquée offrant des structures allochtones ou parautochtones voir même les deux à la fois.

CALEMBERT de sa part distingue deux entités structurales au sein des lambeaux jurassiques (lambeaux extrusives et lambeaux charriés).

LES MASSIFS DE BOU-MAALAH, Ain seban, Roubia et Ain Sour : issus d'un anticlinant de direction NE-SW, à enfoncement prononcé vers le NE.

Djebel Belkheiret, Fartas et Batha : dessinant un anticlinant orienté NE-SW et dont l'enfoncement vers le NE (ZEGHARI, 2009).

Djebel Rokbat Aatba : qui correspond ainsi à un anticlinal de bombement par des mouvements compressifs faisant apparaître les lambeaux de Rokba Aatba au sein de sa couverture (flysch crétacés et dépôts miocènes), (ZEGHARI, 2013).

Lames de charriages sont représentées au niveau de Djebel Ain Hadjla et le Grand pic.

Le Grand pic : selon BERTRAND et CALAMBERT est formé par une série jurassique complètement renversée qui repose par l'intermédiaire d'une surface de contact subhorizontal sur une série crétacée en position normale. Ce massif est affecté par des failles listriques qui perturbent la sédimentation, et il est limité aussi par une faille circulaire faiblement inclinée vers le cœur du massif. Selon MATTAUER, le Grand pic serait une sorte de horst en éventail affectant une série complètement renversée.

7- Sismicité :

7-1- De la région : Dans cette étude nous voulons apporter une petite contribution pour essayer de comprendre et placer la zone étudiée dans un contexte géodynamique régional. d'abord à grande échelle, on se concentre sur les relations entre les différentes formations géologiques plus claires dans la région de tout le bassin de Chelif, et celles qui délimitent la zone, surtout la géométrie des failles en profondeur par rapport à un contexte tectonique général. La présente étude est une contribution à un grand projet comprenant des études géophysiques et géologiques dans la région de Chlef (projet de la Comité Mixte d'Evaluation et Prospective (CMEP)). (BOUKERBOUT et Al. 2018).

L'utilisation de la transformée en ondelettes continue permet d'établir une image 3D de la région, représentant ainsi un grand nombre de failles et de contacts profonds ou proches de la surface, restés inconnus jusqu'à présent. (ABTOUIT et *Al.*, 2014). La région présente un cadre géologique complexe et sa sismicité peu profonde est considérée comme diffuse car elle s'étend sur une zone large, au lieu d'indiquer une seule faille majeure (MEGHRAOUI et MOREL, 1996).

Elle est délimitée au Nord par la Méditerranée Mer et au Sud par les monts Ouarsenis qui sont constitués de formations allochtones du Jurassique inférieur et du Crétacé. Dans au milieu de la zone, le bassin intra-montagneux intra-montagneux E-W Mio-Plio-Quaternaire de Cheliff recouvre un socle anté-néogène constitué de séries mésozoïques. C'est une conséquence de la phase de distension qui s'est produite pendant le Miocène inférieur-moyen (ANDERSON, 1936 ; PERRODON, 1957). La forme E-W du bassin implique des mouvements de compression N-S à NNO-SSE (MEGHRAOUI ET CISTERNAS, 1986). La structure du bassin de Cheliff est le résultat de l'orogène alpin (Perrodon, 1957). Les études néotectoniques montrent que la déformation principale est une compression NNW-SSE qui est liée à des failles inverses chevauchantes et des décrochements (Groupe de Recherche néotectonique de l'arc de GIBRALTAR, 1977 ; PHILIPPE et THOMAS, 1977) ; ceci est confirmé par les études de mouvements de la plaque africaine (PHILIP et THOMAS, 1977 ; MINSTER et JORDAN, 1978 ; ANDERSON et JACKSON, 1987) et les mécanismes focaux de la sismique événements de 1954 et 1980 (OUYED et *Al.*, 1981).

Les principales phases tectoniques impliquant la formation du bassin sont : l'affaissement au Burdigalien supérieur suivi d'une extension phase au Tortonien inférieur avec développement des structures graben (MEGHRAOUI, 1982). Une importante phase de compression NNE-SSW a formé les formations du Miocène (MEGHRAOUI et CISTERNAS, 1986).

Au Quaternaire, une seconde phase de compression importante s'est produite, avec une direction de raccourcissement NNO-SSE à NW-SE et a affecté les dépôts quaternaires (MEGHRAOUI, 1982).

7-2- Du site étudié : le territoire national est dévisé en cinq zones de sismicité croissante

Zone 0 : sismicité négligable

Zone | : sismicité faible

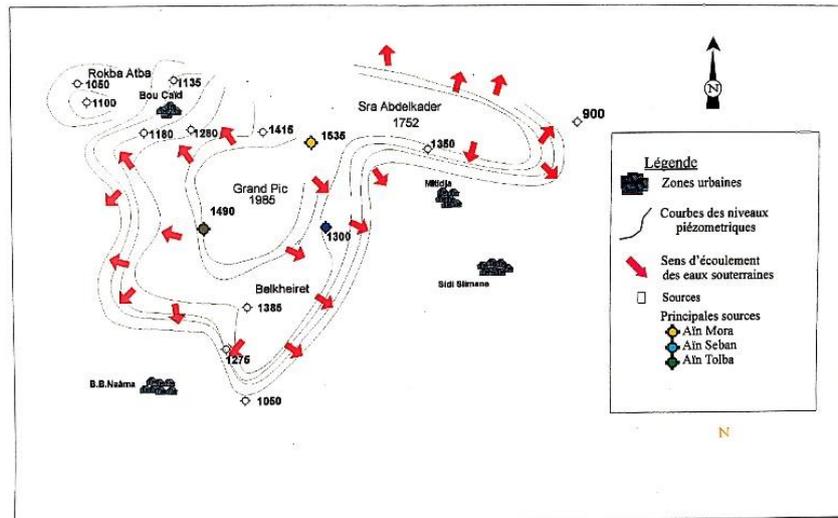


Fig. 11 : Schéma de drainage des eaux souterrains (ZAAGANE, 2007).

9- Conclusion

Dans ce chapitre, nous envisageons d'aborder en premier lieu une reconnaissance du site pour définir le dimensionnement et la nature des matériaux d'exploitation (minéral), en étudiant la géographie et la géologie en plusieurs filières de la région étudiée qui fait partie de l'Ouarsenis, afin d'expertiser les risques anthropiques, et les impacts liés à l'activité de la mine de Bou-Caid.

DEUXIEME CHAPITRE

PRESENTATION DE

L'ENTREPRISE ENOF, ET

ESTIMATION DU RISQUE

POTENTIEL LIE A

L'IMPACT DES CARRIERE

1- Introduction

La wilaya de Tissemsilt, d'une superficie de 3151 km², compte 8 daïras et 22 communes, pour une population de près de 450 000 (soit de densité de 142,8 habitants/km²). L'industrie pétrolière occupe une place prédominante dans l'économie algérienne. Elle représente 60% des recettes du budget et 98% des recettes d'exportation, accordant ainsi à l'Algérie la place 16^{ème} producteur de pétrole au monde en 2019. Cette place, lui a été due grâce aux ressources pétrolières qu'elle dispose dont l'extraction se fait via des puits qui nécessitent une boue de forage. Cette dernière, empêche la pénétration des formations traversées par le fluide prélevé, vue sa densité élevée ainsi qu'un poids et une viscosité considérable due à la présence de la barytine dans sa composition. Ce qui nous mène, à l'entreprise ENOF SPA- unité de Bou-Caid (Entreprise Nationale des Produits Miniers non Ferreux et des Substances Utiles), où nous avons pu effectuer notre stage, une unité qui a su se convertir grâce aux ressources barytiques dont la région de Bou-Caid regorge et dont l'ENOF a fait de son exploitation et son traitement, son activité principale et des entreprises pétrolières, sa clientèle de prédilection. Dans ce qui suit, nous aborderons les différents aspects de la chaîne de production de la barytine dont l'unité de Bou-Caid se charge et dont nous avons pu découvrir lors d'un stage d'une durée de 10 jours, complété par des contacts téléphoniques avec l'encadreur local.

1-1- Objectifs de l'étude

Parmi les préoccupations primordiales de la géologie moderne, la prise en compte des problèmes des risques naturels, causés d'une part de leurs impacts directs sur la population menacée, et sur les infrastructures d'autre part. Le stage avait aussi pour but :

- Se familiariser avec le milieu professionnel et sortir du cadre étudiant.
- Projeter la théorie sur le terrain et avoir une vision concrète de toutes les aléas reliés aux problématiques naturelles (éboulements) ou anthropiques (travaux miniers).
- Avoir l'opportunité de se familiariser avec le traitement des rejets miniers et comment on peut dégrader ces déchets et diminuer son impact sur l'environnement.
- Découvrir la chaîne de production de la barytine par l'étude de prospection, l'exploration et exploitation jusqu'à sa commercialisation via sa valorisation, ainsi que les services de fonctionnement de ces mines et les services auxiliaires qui lui sont associés.
- Se mettre dans la peau d'un ingénieur et connaître les tâches qu'il effectue.

Les travaux antérieurs, ont abouti à une vue plus généralisée sur la géologie de la région tandis qu'en matière de risque, les études demeurent modestes non seulement au niveau local, mais à l'échelle régionale voire nationale.

Par cette étude, on a essayé de traiter le risque minier d'un côté, et prise quelques photos et arguments sur l'éboulement et l'effondrement des blocs rocheux de l'autre côté (à l'intérieur des mines et sur les zones rurales d'habitations) dans un contexte géologique limité et déterminé.

Les données lithologiques du secteur étudié, nous incitent à récolter plus de détails en matière de risques.

1-2- Choix de sujet

Les massifs de l'Ouarsenis ont pu, depuis longtemps, attiré l'attention des chercheurs par leurs particularités géologiques et structurales ainsi que des richesses minières que renferment ces massifs. A partir des sorties organisées pour la réalisation des mémoires de fin d'étude ainsi que des thèses d'état (BENHAMOU, 1996).

L'ensemble des chercheurs, ont pu constater que certains habitats éparpillés le long des venants du Grand Pic de l'Ouarsenis sont extrêmement exposés d'une part aux risques d'éboulements, qui constituent une menace perpétuelle pour cette population et d'autre part par le phénomène de glissement de terrain qui contraigne les gens à quitter leurs demeures récemment construits (ZAAGANE 2007).



Fig.12 : Vue du massif de Grand Pic montre l'éboulement des blocs rocheux.

1-3- L'impact économique

La Barytine de l'Ouarsenis créée lors de la combinaison des molécules de sulfates et de baryum en présence de l'oxygène, refroidie et cristallisée après le passage d'un réseau hydrothermale, qui remplit les failles et les grottes de ces montagnes et crée des minéraux et des substances utiles.

Trente et une (31) sources thermales ont été identifiées dans la carte ci-dessous, y compris la province d'Ouarsenis. La température des eaux chaudes variait entre 22 et 80 °C. Le pH a révélé que les eaux chaudes sont acides ; le débit varie de 0,8 à 30 L/s, et la puissance thermique de l'eau calculée pour l'ensemble des sites est comprise entre 40 et 5020 KW th. (AIT OUALI et AL., 2019).

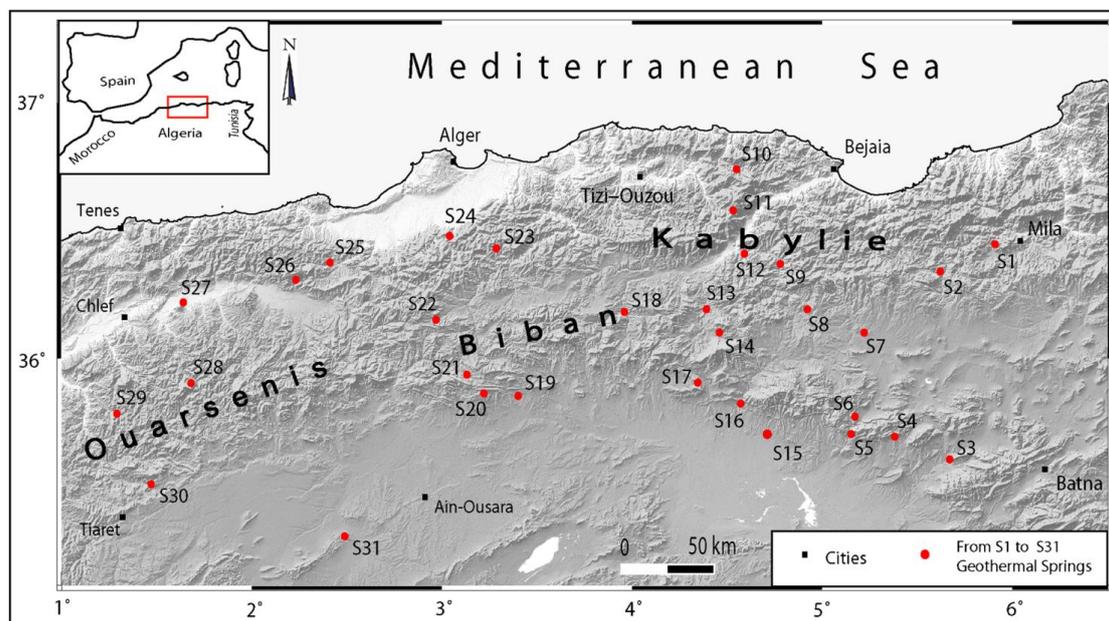


Fig.13 : Carte des principales sources géothermiques de la zone (Ouarsenis-Biban-Kabylie).
(AIT OUALI, 2019)

2- L'entreprise

2-1- Historique de la mine de Bou-Caid

L'ENOF a été créée le 16 juillet 1983, après la restructuration organique d'ex SONAREM spécialisé dans l'exploitation des mines souterraines et des mines à ciel ouvert, pour la production des minerais non ferreux et des substances utiles. L'ENOF a été restructuré en 2001-2002 avec la création des filiales SOMIBAR (pour la barytine), BENTAL (pour les bentonites), DIATAL (pour les diatomées), SOALKA (pour les kaolins), ALGRAN (pour les granulats) etc.

Le gisement de l'Ouarsenis connu depuis le Moyen-âge, la mise en exploitation du gisement de BOUCAID date de la fin du 19^{ème} siècle pour les poly-métaux (Pb Zn) qui a connu son apogée en 1940, suite aux études réalisées par le géologue français M. FOURMEL.

La deuxième période a démarré avec la nationalisation des mines en 1966, avec la continuité d'exploitation des poly-métaux, parallèlement, la SONAREM a entamé les travaux de prospection (1967), qui consistent à l'étude et la reconnaissance systématique du gisement. En 1975, lors de travaux de levée géologique 1/5000 du gîte de Sidi Belabès, il y a eu la découverte d'une puissante structure de 850m de longueur, cette dernière a fait l'objet de travaux de prospection et d'évaluation de 1977 à 1981. L'exploitation et le traitement de la baryte a commencé en 1976.

Parallèlement aux travaux d'évolution du gîte de Sidi Bel Abbas, la prospection a été lancée sur les sites de Sidi Ouaddah, sur les flancs orientaux et occidentaux du gîte NORD (massif d'Abdelkader), et sur le flanc occidental du Massif de Belkheiret. En 1976, les sites de l'Ain et le NORD, furent transmis à la mine de Bou-Caid, dont les réserves sont de 50 000 tonnes pour le premier, et 10 000 tonnes pour le second. Durant la période 1978 à 1982, quatre (4) sites ont été évolués et sont passés à l'exploitation à savoir : AMMAL, RASFA, GRAND PIC ET NORD, il est à noter que 90 % des travaux ont été réalisés sur le site de Sidi Bel Abbas. Pour les autres sites les travaux de recherches réalisés sont insignifiants.

2-2- Présentation de l'entreprise

L'ENOF a pour vocation : la production, la commercialisation et le développement des produits miniers, grâce à la diversité et la qualité de ses produits, l'ENOF est un partenaire de choix pour nombreux industries nationales et internationales.



Fig. 14 : photo montre l'entrée de l'entreprise ENOF/Bou-Caid

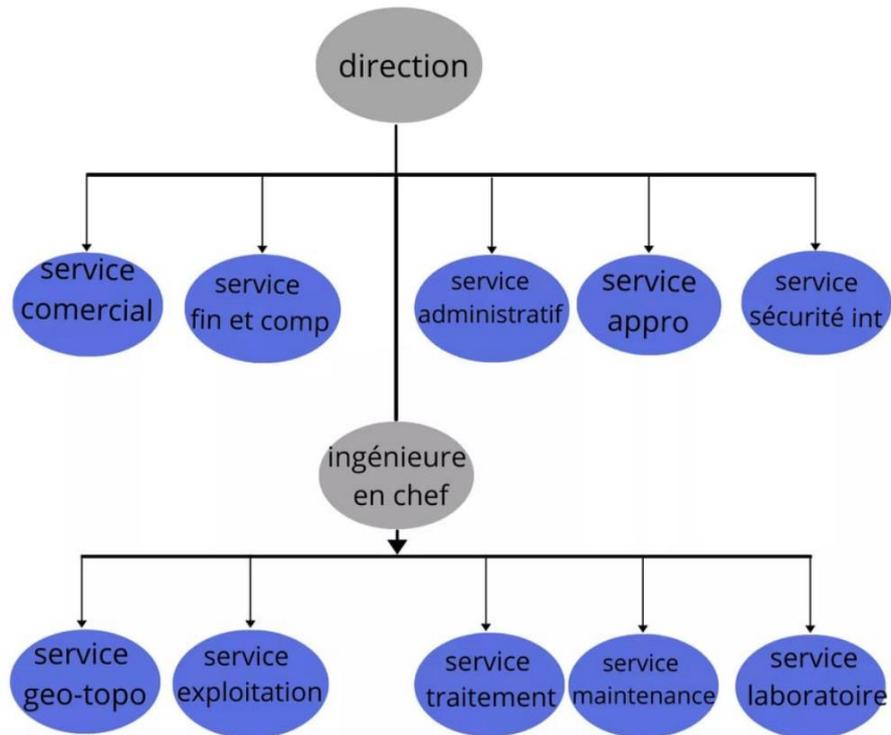


Fig.15 : Organigramme de l'ENOF- unité Bou-Caid.

L'ENOF exploite actuellement 19 mines et carrières, elle produit une variété de minerais dont : La baryte, la bentonite, la diatomite, feldspath, la dolomie, carbonate de calcium, le zinc, le kaolin, le plomb, le sable et les granulats. Dans le présent document, nous attarderons sur le massif de Sra Abdelkader parmi les cinq autres, car il comporte le gisement sur lequel on a effectué cette étude (gisement NORD).

3- Minéralisation

Les gites de l'Ouarsenis sont classés de type B.G.P (Barytine, Galène, Pyrite) en profondeur. La minéralisation du champ est de catégorie méso-thermale, vue de la présence de fluorine dans la gangue. (Fig. 16).



Fig.16 : Minéralisation de la Fluorine du gisement Lakhdar/ Ouarsenis.

3-1- Type de substance recherchée

La baryte reçoit son nom à cause de son poids très élevé, baryte vient du grec « βαρύς » (barys = lourd). Sa densité élevée est proche de celle de certains minerais de fer ou de plomb, tels l'hématite ou la galène, connue depuis le temps de premières exploitations minières, et se trouve en abondance dans les filons.

3-2- Caractéristiques physico-chimiques

La barytine ($BaSO_4$) constitue le principal minéral du Baryum, exploité et produit en grande quantité à l'échelle mondiale, pour ses propriétés particulières, et ses nombreuses applications industrielles, en tant que matière première et produits dérivés.

Les propriétés particulières de la barytine sont :

- Composition chimique : Sulfate de Baryum ($BaSO_4$) ;
- Densité : 4,48 (La baryte est remarquable par son poids exceptionnel et la perfection de ses cristaux) ;
- Dureté : 3 à 3,5 sur l'échelle de Mohs ;
- Clivage : Parfait dans une direction, faible dans les autres. La barytine grossière constitue divers agrégats, en général clivables ;
- Couleur : Elle est de couleur claire. Pure, elle est incolore ou blanche, safran, gris léger, brun pâle au brun foncé, mais aussi rouge, bleu, vert et noir ;

- Fluorescence : La baryte n'est pas ou très peu fluorescente, par contre, chauffée, elle devient luminescente ;
- Inertie chimique ;
- Indice de blancheur élevé.

3-3- L'utilisation de la barytine

Les produits de l'ENOF sont utilisés comme matière première dans divers secteurs de l'activité, environ 75-80% de la baryte extraite est utilisée pour rendre plus lourdes les boues de forages de profondeur, exécuté lors de l'exploitation de pétrole (Forage pétrolier et hydraulique), mais aussi, on utilise la barytine pour :

- Raffinage des huiles minérales et végétales ;
- Production du plastique et caoutchouc ;
- Production de la céramique (l'emploi pour les glaçures et les émaux) ;
- Industrie du verre ;
- Fabrication du ciment et de béton qui protègent contre les radiations radioactives ;
- Usage en médecine, surtout pour les radiographies du tube digestif sous forme de bouillie de baryte ;
- Production des sels volatils de baryum, employés pour colorer les flammes (feux de Bengale, fusées, feux d'artifice) ;
- Production de l'enduit, la fonderie, Aliments de bétail, et l'industrie (électrique, peinture, métallurgique, chimique...).

4- Géomorphologie des gisements

4-1- Gisements de l'Afrique

Quand les grands gisements minéraux d'Afrique ont été étudiés en relation avec la structure du continent, deux unités tectono-métallo-génies émergent, comme suit :

Orogenèse plus jeunes constitués de zones qui ont souffert d'orogénèse de temps en temps au cours du passé (1200 m.a), caractérisé par des gisements importants de Cu, Pb, Zn, Co, Sn, W, Be et Nb-Ta.

Cratons plus anciens avec des antécédents d'orogénèse plus ancienne mais qui sont restés stables tout au long des périodes plus jeunes de tectonisme - caractérisées par d'importantes gisements d'Au, Fe, Cr, amiante et diamant. (CLIFFORD, 1966).

4-2- Gisements de l'Ouarsenis

La morphologie du gisement de l'Ouarsenis est conditionnée par les accidents tectoniques, il se présente selon deux types possibles :

- Les filons.
- Les amas.

4-3- Focus sur le gisement NORD

L'unité de Bou-Caid est composée de plusieurs petits gisements ou quartiers d'exploitation souterraine de barytine, dans la zone proche environnante (LAKHDAR, NORD, COLONNE 2, BELKHEIRET, AMMAL, SIDI DJIAR et SIDI OUADAH) et d'une usine de traitement de baryte dans le chef-lieu de commune de Bou-Caid.

Pour notre cas, on a choisi la mine appelée « NORD », située à 6 km au Sud Est du village de Bou-Caid, dans la partie nord du massif d'Abdelkader. Ayant une superficie de 7 hectares, ce gisement est de structure filonienne mise en place dans un accident cassant (faille) de direction N70-15W. L'encaissant de ce gisement est des dolomies du Lias inférieur, au voisinage du contact avec les schistes argileux de l'Albo-Aptien. Il comporte trois niveaux : 1200m, 1150m et le niveau 1116m, avec une épaisseur : 0.4-0.6 à 9-10m, 1.5-1.6m en moyenne, caractérisé par une teneur de 70% et une densité de 4.01.

5- Exploitation

L'exploitation minière est une opération technique qui consiste à extraire une quantité du sol ou du sous-sol en vue de sa commercialisation.

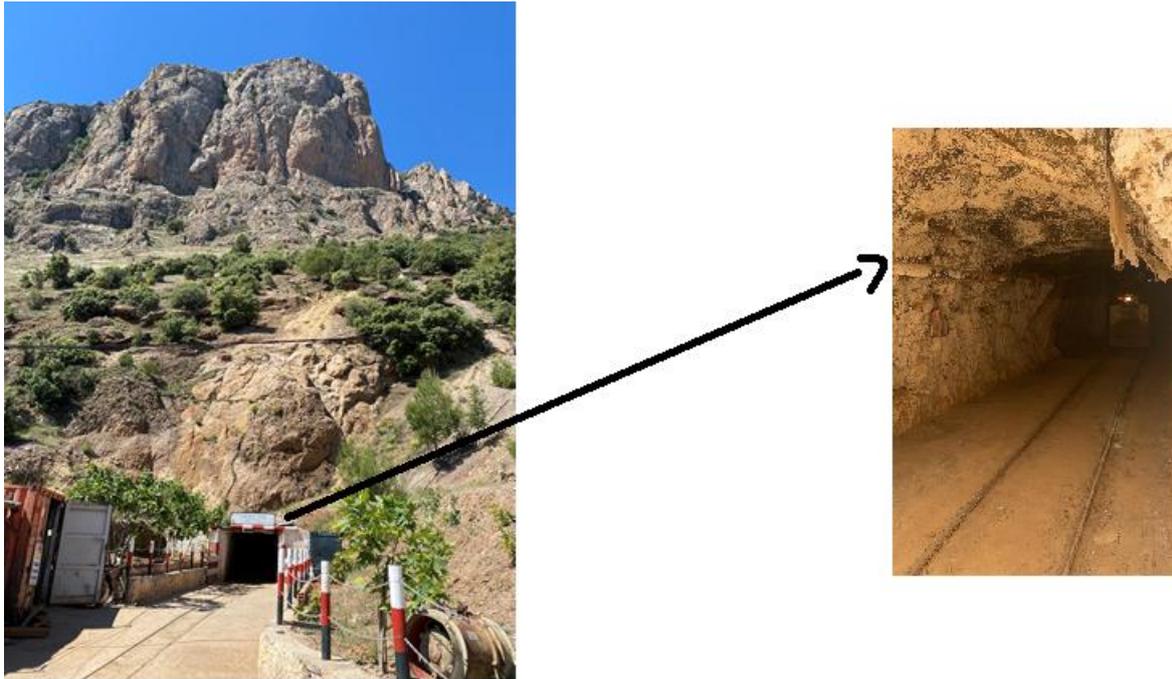


Fig.17 : L'entrée d'une mine souterraine (gisement Nord).

5-1- Les travaux d'exploitation

Les travaux d'exploitation qui engendrent des excavations minières souterraines sont de 3 groupes de type :

- Les travaux d'ouverture du gisement : sont les travaux d'accès au gisement à partir de la surface terrestre, par les pistes et les galeries.
- Les travaux de développement : sont des travaux qui précèdent l'abattage, appelés les travaux préparatoires, consistent à découper le gisement en panneaux puis en blocs. Pour faciliter l'ouverture des fronts de taille, ce sont les galeries de traçage, de roulage, d'aéragé.
- Les travaux d'abattage : permettent l'abattage et l'extraction du minerai.

5-2- Les mines souterraines

Une mine souterraine est un ensemble d'ouvrages miniers horizontaux et verticaux, communicant avec la surface et qui permettent d'atteindre le gisement minier. Toutes les excavations souterraines doivent être munies par des systèmes d'aération, d'alimentation en électricité, en eau et en air comprimée, de roulage et de communication.

5-3- Types de gisements

On distingue 3 types de gisement selon leur formation :

- Les amas : ce sont des gisements de forme irrégulière, souvent c'est le résultat de l'intersection de plusieurs filons.
- Les filons : les gisements constitués par le remplissage des failles causées par l'effet de tectonique ou autres.
- Les couches : les gisements dont la masse compacte et régulière, sont localisés entre deux plans parallèles, ces gisements sont en général d'origine sédimentaire.

5-4- Les ouvrages miniers (creusement)

Ces ouvrages sont représentés par les galeries, les recoups et ainsi par les cheminées. Les surfaces des sections transversales de ces ouvrages sont :

- Section d'une galerie : 5-7,5 m² ;
- Section d'une recoupe ou d'une sellette : 4m² ;
- Section d'une cheminée de passage ou de recherche ou bien d'aérage : 2,25m².

Le creusement des ouvrages miniers commence par la perforation des trous de mines à l'aide des marteaux perforateurs à l'air comprimée, ces trous forés ont des longueurs diverses selon la nature de l'ouvrage :

- De 0,8 à 1,2m pour les cheminées de passage et de recherche ;
- De 1,6 à 1,8m pour les galeries.

Tant dis que le diamètre des trous de mine est d'environ 39mm, celui de la cartouche de gélanite est de 30mm. L'espace libre entre la cartouche et les parois de trou permet d'éviter tout frottement qui peut provoquer l'explosion de la gélanite. Le nombre est déterminé selon la règle suivante : pour chaque section de 5m² on fore 15 trous. Il existe quatre de types de trous :

- Les trous de bouchons.
- Les trous d'abattage.
- Les trous de contour.
- Les trous de relevage.

L'opération de foration peut durer jusqu'à 3 heures de travail.

5-5- Estimation des Réserves

L'appréciation des réserves se fait suivant une répartition :

- Les réserves géologiques : ce sont l'ensemble des réserves élucidées.
- Les réserves exploitables : ce sont les réserves géologiques amputées d'une partie d'entre elle sous forme de perte du au projet, elles correspondent à 80% des réserves géologiques.
- Les réserves récupérables : correspondent de 80% des réserves exploitables due aux pertes de transport et chargement. Elles sont réparties en trois catégories :
 - Les réserves B : ce sont les réserves sûres estimées après l'exploitation.
 - Les réserves C1 : ce sont les réserves probables estimées après l'exploration.
 - Les réserves C2 : ce sont les réserves possibles estimées après la prospection.

Les réserves géologiques de Lakhdar, Nord et Ammal est estimé presque en total : 626 000 t ; et les réserves exploitables Lakhdar, Nord et Ammal sont : 550 000 t.

Gisement	Réserves Géologiques Clôturées au 31 /12/2020				Réserves Exploitables Clôturées au 31/12/2020				Récupérables
	B	C1	C2	Total	B	C1	C2	Total	
Gisement NORD	71234	138260	0	209494	40923	108911	0	149834	115247
Gisement LAKHDAR	74319	205348	0	279667	69745	153130	0	222875	173024
Gisement AMMAL	40000	100000	0	140000	34180	85000	0	119180	81917
Total Mine	185553	443608	0	629161	144848	347041	0	491889	370188

TAB.2 : Tableau récapitulatif des réserves en barytes de Bou-Caid prélevé du (plan annuel 2021.)

5-6- Mode d'exploitation

Le choix du mode d'exploitation dépend de la valeur du rapport de recouvrement qui doit être au maximum égal à 6% ; malheureusement, n'est pas le cas pour le gisement étudié, on constate

une épaisseur de couverture dépassant l'épaisseur du gisement en centaine de fois. Par conséquent, le mode adéquat est l'exploitation souterraine, le protocole conçu comme suit :

- A ciel ouvert- minerais solides, les argiles, les sables ;
- En souterrain – minerais solides polymétalliques en profondeur ;
- En sous-marin, aquatique lagunes ;
- Par Sous –tirage (pompage) pour les minerais solubles ou liquides ;
- Exploitation spéciale des GMU ;
- Par combinaisons.

5-7- Mode d'ouverture

L'accès au gisement se fait à travers des travaux de base. En tenant compte de la profondeur du gisement et de son inclinaison, on distingue plusieurs modes d'ouvertures

- Par puits vertical : ce mode d'ouverture est adapté aux gisements peu inclinés.
- Par galerie au jour : s'adapte au gisement à flanc de coteau ou sub-vertical, la galerie au jour est creusée jusqu'au minerai.
- Par plan incliné : s'adapte au gisement dressant, pendage entre 25° à 55°.

Dans le cas d'un relief à flanc de couteau, on emploie le mode d'ouverture par galerie au jour qui sert d'accès au gisement et l'évacuation du tout-venant. L'aération du chantier se fait d'une manière naturelle selon les principes de pression et de dépression. Les infiltrations d'eau de pluie souterraine ne posent pas de problème, l'évacuation se fait par drainage naturel.

Pour notre cas, on emploie le mode d'ouverture par galerie qui sont des routes schématisés, représentant un accès au gisement, et un chemin pour l'évacuation du minerai au même temps.

Les caractéristiques techniques de gisement NORD sont :

- Structure filonienne ;
- Puissance variant entre 0,9 et 3,5 m ;
- Encaissants : côté toit (schiste), côté mur (calcaires) ;
- angle de pendage de minerai 75 degrés ;
- densité moyen 3,65 ;
- coefficient de foisonnement du minerai : 1,5 à 1,7.

5-8- Méthode d'exploitation

La méthode d'exploitation consiste en une succession de réalisations des travaux de creusement essentiellement de découverte et d'extraction du minerai, dans un ordre bien déterminé. En souterrain, il existe plusieurs méthodes d'exploitation des minerais, ces dernières sont choisies selon différents paramètres, dont les principaux sont :

- La géométrie : la morphologie, pendage, dimensions et puissance du gisement.
- La géotechnique : les caractéristiques physico-mécaniques du minerai ainsi que la roche encaissante (toit et mur).
- Pertes et salissures minimum.
- Économie : Prix de revient des ouvrages préparatoires par 1000 tonnes (rentabilité et rendement).
- Sécurité des travailleurs et des matériels.

En tenant compte de ces paramètres, les gisements sont exploités par ces principales méthodes

- Chambre magasin.
- Chambre et pilier.
- Sous niveaux abattus.

Le gisement Nord est exploité par la méthode de chambres magasins.

5-8-1- Méthode de chambre magasin

A- Condition d'utilisation de la méthode chambre et magasin :

- filon sub-vertical ($> 60^\circ$) ce qui permet le soutirage par gravité ;
- Epontes saines (dures à moyennement dures) et le minerai doit être dur aussi ;
- Le minerai ne s'oxyde pas (non sulfurés), non combustible et non effondrable ;
- Forme du dépôt : Tabulaire, lenticulaire (ses limites doit être bien définies) ;
- Puissance faible : 1,2 à 3m ;
- Taille de dépôt : extension assez large ;
- Teneur du minerai assez élevée.

B- Explication de la méthode :

L'exploitation se fait par chambre du bas vers le haut, le minerai abattu est temporairement employé pour maintenir les plateformes, les matériaux abattus tombant directement dans des wagonnets sur rail via des trémies.

Dans l'exploitation par chambre magasin, le minerai est enlevé par tranches horizontales, la plus grande partie des matériaux abattus est temporairement laissée en place pour être utiliser comme plancher de travail pour la préparation de la volée suivante ou comme soutènement provisoire.

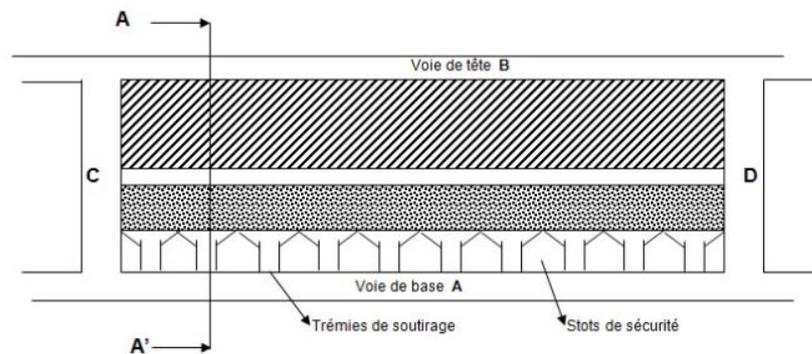


Fig. 18 : schéma explicatif de la méthode chambre-magasin.

C- Avantages de cette méthode

- chargement se passe par des engins ;
- mécanisation réduite ;
- Soutirage et retrait du minerai au besoin.

D- Inconvénients

- nécessite beaucoup de main d'œuvre ;
- conditions de travail relativement dangereuses (sur le minerai) ;
- le minerai s'abattu longtemps dans la chambre avant le soutirage → risque d'altération (problème ne se pose pas avec la baryte) ;
- méthode n'est plus utilisée comme avant → moyens de travaux et ses maintenances devenant rares et plus chères.

5-8-2- Méthode par chambre et piliers : concerne les gisements à formes tabulaires compris entre 15 et 30 degrés. Les méthodes d'exploitation traditionnelles reposent sur le travail

manuel, les mineurs forent les trous de mines avec un marteau perforateur, et les matériaux abattus sont déblayés par des scrapeurs. L'exportation commence par le traçage des chambres horizontales à partir d'une galerie servant à la fois d'accès et de roulage (galerie principale). Le premier étage horizontal suit le toit, l'étage suivant est tracé un peu plus bas dans la même direction et ainsi de suite en descendant de façon à obtenir un découpage en gradins. Des piliers de minerai sont laissés en place pour supporter le toit, après avoir tracé complètement deux ou trois chambres contiguës, on passe à l'étage inférieur en laissant un long pilier du minerai, des parties de ce minerai peuvent être récupérés ultérieurement en pratiquant des recoupes depuis le chantier situé au-dessous.

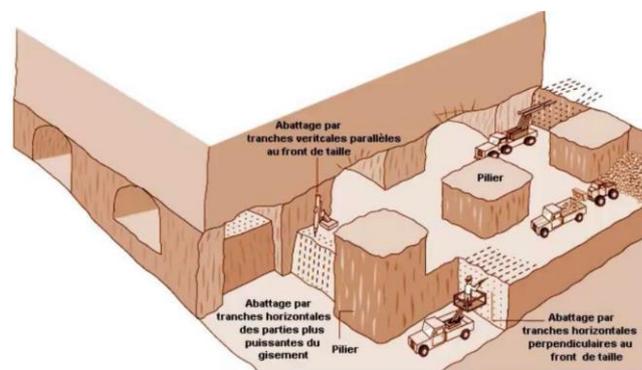


Fig. 19 : schéma explicatif de la méthode chambre et piliers.

5-8-3- Exploitation par sous niveaux abattus : pour les amas puissants où la barytine est allongée verticalement, la méthode des sous niveaux abattus nous semble être la méthode la plus indiquée. On extrait le minerai par tranches horizontales de 5 à 6 mètres d'épaisseur en descendant. À cet effet, l'amas de minerai à exploiter est découpé en étage et panneau de 30 à 40 m de haut et 40 à 50 m de long dans lesquels on aménage les voies de circulation : galerie de tête et de base pour la circulation du minerai du matériel et de leur cheminée d'accès aux sous niveaux aux extrémités pour établir la communication avec les galeries.

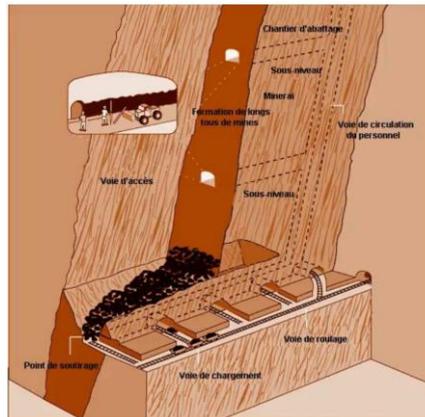


Fig.20 : Schéma explicatif de la méthode sous niveaux abattus.

Le passage entre les sous niveau se réalise par des cheminées de passage (Fig.)



Fig.21 : Cheminée de passage.

5-8-4- Les avantages du gisement NORD

- Stabilité de l'encaissant (calcaire) ;
- Minerai dense (densité et teneur élevée) ;
- Absence de nappes souterraines. (risque d'effondrement très faible)

Après la perforation des trous de la mine, le choix de l'explosif est fait selon la dureté de la roche, on utilise généralement la gélanite II avec des détonateurs électriques à retard, déclenchés par la même impulsion électriques (0,5 secondes). Le tir se fait dans la dernière heure du travail en termes de sécurité → éviter le gaz, chute de blocs...etc.

5-8-5- Caractéristiques de l'explosif de la gélanite II :

- Résistance élevée à l'humidité ;
- Puissante pour abattre la dureté du calcaire ;
- Moins dégagement de gaz par rapport à d'autres substances d'explosifs (pour le problème d'aéragé).

5-8-6- Soutènement : Les soutènements sont des ouvrages de protection essentiels pour la sécurité des travailleurs. Pour cela, plusieurs techniques sont mises en œuvre pour assurer la stabilité du toit et des parements des excavations. Les types de soutènement diffèrent selon le type de matériau utilisé (le bois, le fer rond, tubes ronds en fer), les propriétés des roches traversées par les ouvrages miniers, et qui sont :

- Soutènement espacé : par cadre et cintres métalliques dans les endroits moyennement stable.
- Soutènement jointif : par cadre et cintres métalliques dans les zones instables.



Fig.22 : Soutènement de type espacé boisé.

Pendant notre stage, nous avons pu explorer les niveaux 1458m et 1550m du gisement Lakhdar, ainsi que le niveau 1116m du gisement NORD.

En tenant compte de la formation géologique friable de la région et de la valeur du rapport de découverte qui est supérieure à 6%, ce qui implique que la masse du minerai dépasse la masse du stérile, donc le mode d'exploitation adéquat dans la région de Bou-caïd est souterrain. Et étant donné la morphologie sub-verticale des gisements le mode d'ouverture est par galerie au jour. La présence flagrante des failles et des fractures au niveau du massif de SRA Abdelkader, Le système d'aération dans le gisement NORD est naturel.

L'usine dispose d'une aire de stockage de produit fini pouvant aller jusqu'à 3000 tonnes.



Fig.24 : aire de stockage.

Le tout-venant est conservé dans une même aire de stockage pour assurer l'homogénéisation, elle est équipée d'une grille par laquelle les hors-gabarie seront éliminés. Le traitement de la matière première passe par trois stations : station de concassage (préparation mécanique), station d'enrichissement, station de pulvérisation et conditionnement (séchage).

Le concassage consiste à réduire le tout-venant jusqu'à une grosseur admise par la prochaine étape pour pouvoir l'enrichir. Le tout-venant avec une grosseur maximale de 500mm à l'alimentation subit trois opérations de réduction mécanique de grosseur :

- Réduction à 70mm à l'aide d'un concasseur primaire (à mâchoires).
- Criblage et réduction de grosseur à 14mm dans un groupe mobile broyeur crible.
- Réduction à 6mm dans un concasseur à cylindres lisse type BCR 60X80.

Le tout-venant réduit à une dimension inférieure à 6mm, subit une séparation gravimétrique humide dans un appareil appelé Remer-Jig. Le produit lourd soit barytine est récupéré du bas de l'appareil dans un classificateur spiral puis évacué vers des chambres pour l'égouttage. Le produit léger soit les rejets sont acheminés en surface avec l'eau vers une digue (Fig. : 29), pour décantation et stockage et recyclage de l'eau clarifiée. Le produit lourd représente le concentré est stocké dans une aire de stockage d'une capacité allant jusqu'à 9000 tonnes de capacité.

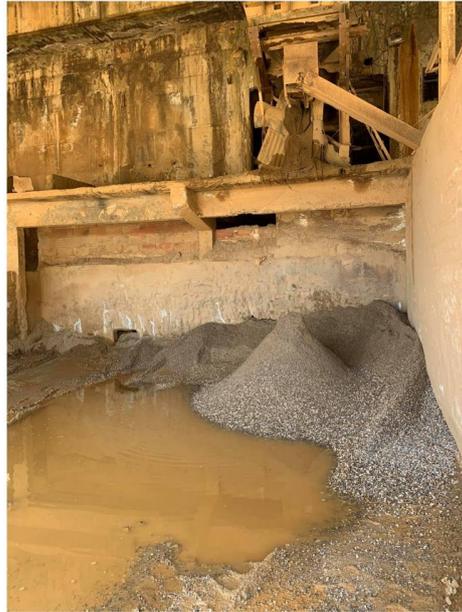


Fig.25 : Espace de stockage.

La pulvérisation et conditionnement permet de transformer le concentré en un produit fini marchant conforme aux normes. Le concentré avec une humidité maximale de 2 à 5 à l'entrée subit une opération de séchage dans un sécheur rotatif de 14 m de long et 2 m de diamètre où il est et les ramené à un taux inférieur à 0,1 % à la sortie du séchage. Le produit séché subit un broyage fin dans un broyeur pendulaire (BP16) à un rendement moyen de 14 tonnes/heure et une séparation en granulométrie dans un séparateur statique où les particules inférieur à 75 microns sont stockées dans une trémie de stockage de produits finis. Le produit est pesé dans une balance électronique, et conditionné dans des Big-Bag de 1,5 tonne, représente le produit fini de l'usine.

7- Laboratoire et analyse

Avant de passé à la commercialisation de notre produit fini de barytine, une dernière étape est nécessaire, ce dernier doit satisfaire toutes les exigences des clients à savoir les entreprises pétrolières en grande partie, en conséquence respecter les conditions imposées par la norme API. Cette norme exige la vérification de 4 paramètres :

- Densité. (>4.2)
- Taux de métaux alcalino-terreux.
- Taux de résidus supérieurs à 75 μm .
- Taux de particules inférieures à 6 μm .

La densité est effectuée sur les échantillons prélevés aux différentes étapes (recherche et évaluation géologique, roulage concassage du tout-venant, enrichissement et conditionnement).

Les métaux alcalino-terreux exprimés en calcium Ca^{++} consiste à mesurer le rapport de calcium en mg contenu dans (01 kg) de produit fini selon la méthode du titrage acido-basique, exigée par la norme API (250mg/kg).

8- Partie rejets et environnement

A ce stade, on va traiter les différents rejets issus du processus de traitement de la barytine de l'unité de Bou-Caid, ainsi que les rejets engendrés par l'extraction de minerai, et nous allons nous concentrer sur la méthode de la mise à terril, le stockage des rejets, et l'évolution de leur quantité pendant la dernière décennie, puis nous allons proposer un plan de stockage pour résoudre le problème d'accumulation des sables dans les plates-formes, qui occupent une grande surface agricole, cette dernière préoccupe les responsables de la société.

Tout d'abord, on fait une étude quantitative et qualitative des rejets de la barytine, en basant sur les analyses faites par BENALIA K et KHARFALLAH N, 2016.

8-1- Analyses des rejets miniers de Bou-Caid

Étant donné que Bou-Caid est une zone active en matière d'extraction et d'exploration du minerai de barytine, cela signifie que cette dernière souffre d'impact environnemental suite aux rejets de la mine sur les zones proches.

L'ensemble de ces rejets s'exprime tant sur la faune et la flore, ainsi que la santé humaine. Néanmoins nous avons tenté de présenter les rejets gazeux, liquides et solides quantitativement et qualitativement.

Les rejets liquides : les eaux de traitement interviennent en phases d'enrichissement du minerai de sulfates de baryum, cependant, des quantités importantes d'eau sont utilisées dans le processus de séparation entre le minerai et la gangue.

Qualité des rejets liquides : l'eau est recyclée pour qu'elle puisse être retravaillée, l'analyse et le traitement de cette dernière ne sont pas recommandés, par contre nous avons jugé important de citer que cette eau après usage est chargée de sulfates, issues de la composition de base du minerais, et que la couleur finale de cette dernière est plutôt rougeâtre suite à l'oxydation du fer contenu dans la gangue, dont la formule est Fe_2O_3 (risque de drainage minier acide).

et recouvrent les aires végétales qui se dégradent au fur et à mesure, le phénomène est connue sous le nom d'aéro-déposition.

Les poussières sont considérées comme étant rejets gazeux solides, leurs tailles et densités font d'eux des éléments très transportables par les vents et par les eaux, ils s'érodent, s'infiltrent et s'accumulent en surface, leurs impacts sont cependant redoutables.

Qualité des rejets gazeux : naturellement, et dans l'équilibre des conditions atmosphériques, l'air respirable est composée de 78% d'azote (N₂), 21% d'oxygène (O₂) et 1% d'autres (Oxydes d'azote, oxydes de soufre, vapeur d'eau, gaz, composés organiques volatiles (COV) et poussières en suspension issues des activités industrielles principalement minières). Conventionnellement, et selon les normes internationales de la qualité de l'air (ISO, AFNOR), l'équilibre atmosphérique est rompu tant que l'air est polluée.

Quantité des rejets gazeux : dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés à la teneur quinquennale de l'oxyde d'azote, l'oxyde de soufre et les composés organique volatiles.

8-2- Discussion des résultats

D'après les figures, on constate que la qualité de l'air n'a pas été affectée par les rejets gazeux :

- L'oxyde d'azote : les teneurs mesurées durant les cinq années d'observation restaient largement au-dessous des valeurs normalisées, néanmoins les années 2010 et 2012 dans les valeurs sont respectivement 116 et 99,42 marquent des pics hauts, suite à l'augmentation de la production annuelle durant ces années ;
- L'oxyde de soufre : durant les années 2010 et 2012, les valeurs normalisées sont respectivement 11 et 7 marquent des pics hauts,
- Composés organiques volatiles : de même, les valeurs normalisées sont respectivement 12 et 9 marquent des pics hauts,

Par conséquent une augmentation des rejets poussiéreux est signalée dans les trois cas.

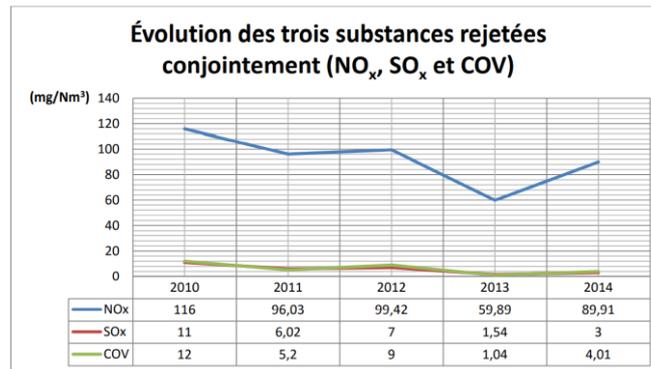


Fig. 27 : Évolution des trois substances rejetées conjointement (NO_x, SO_x et COV).

Interprétation : En matière de la pollution de l'air par les émissions de l'activité minière, les COV, NO_x et SO_x évoluent parallèlement et sont reliés de manière proportionnelle, l'augmentation de l'un conditionne celle des autres.

8-3- Gestion actuelle des rejets : Les poussières de la mine de Bou-Caid sont traitées par une installation de dépoussiérage par arrosage dans un tunnel, l'eau est incorporée aux poussières par décantation gravitaire.

Le procédé utilisé vise à modifier l'aspect physique des particules, le principe consiste à incorporer une molécule d'eau à la fine particule de poussière, ce qui fera augmenter d'avantage le poids et la densité de cette dernière. Ainsi, la particule lourde et dense devient incapable de se soulever dans l'atmosphère.

Le dispositif utilisé consiste à faire passer les poussières dans un tunnel d'arrosage, collecter les eaux dans un bassin de sédimentation, transférer l'eau propre (Non chargée de boue) dans un autre bassin et finalement évacuer les boues par méthodes de diversement et de raclages.



Fig. 28 : Vue du tunnel de captage des poussières.

Les rejets solides : sont représentés principalement par les stériles générés, déposés et stockés dans les aires voisinant la zone d'activité. Les stériles dans leur ensemble sont des tas de roches, de cailloux et de fines particules de diamètres et de compositions différentes. Ces entrepôts restent exposés aux aléas climatiques, ce qui fait d'eux le siège d'activités et de dynamisme physico-chimique par excellence.

Qualité des rejets solides : Un dépôt solide est toujours agressé par les conditions climatiques, ainsi, ils modifient sa chimie jouant sur la solubilisation des éléments et leur départ. Toutes les substances entraînées regagnent les cours d'eaux par ruissellement ou plutôt s'infiltrent en profondeurs, ainsi les eaux seront complètement contaminées. La pollution en question sera fonction de la composition chimique des stériles. Dans le cadre de notre étude nous sommes intéressés aux analyses minéralogiques des stériles, pour pouvoir cerner la véritable menace vis-à-vis des eaux susceptibles d'être atteints. Les analyses ont été effectuées par CETIM (Centre d'Études et de services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de construction), les résultats révèlent une charge importante en matière de métaux lourds.

les rejets solides englobent aussi les boues issues des bassins de décantation pour le traitement des poussières, ils sont déposées dans les mêmes aires de stockage que les stériles.

Les résultats révèlent un haut risque de toxicité, en effet, il s'est avéré que les deux échantillons analysés présentent un taux considérable en matière de métaux lourds dont (Cr, Cu, Pb, Cd, Co, Ni, Mo), la présence de ces substances s'explique par le fait que la matière première est un polymétallique, issus d'une région géologiquement riche en ces substance, il est à signaler aussi, que les métaux lourds peuvent aussi provenir des rejets anciens (Pb-Zn).

Quantité des rejets solides : le traitement du tout-venant (TV) permet l'obtention de produit fini (PF) et le reste est considéré comme déchet (D) d'où la formule : $TV = PF + D$

Les quantités des rejets solides évoluent en fonction du tout-venant abattu, le tableau ci-dessous résume les quantités des rejets en fonction du tout-venant produit.

CHAPITRE 2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ENOF, ETESTIMATION DU RISQUE POTENTILE LIE A L'IMPACT DES CARRIERE

Année	TV (T)	PF (T)	D (T)	Année	TV (T)	PF (T)	D (T)
1983	28 356,25	22 685,00	05 671,25	1999	45 051,25	36 041,00	09 010,25
1984	05 850,00	04 680,00	01 170,00	2000	46 066,88	36 853,50	09 213,38
1985	35 660,00	28 528,00	07 132,00	2001	35 372,50	28 298,00	07 074,50
1986	37 565,00	30 052,00	07 513,00	2002	50 042,50	40 034,00	10 008,50
1987	32 191,25	25 753,00	06 438,25	2003	46 870,00	37 496,00	09 374,00
1988	37 991,25	30 393,00	07 598,25	2004	47 146,25	37 717,00	09 429,25
1989	37 705,00	30 164,00	07 541,00	2005	41 796,25	33 437,00	08 359,25
1990	45 720,63	36 576,50	09 144,13	2006	42 142,50	33 714,00	08 428,50
1991	39 730,00	31 784,00	07 946,00	2007	46 376,25	37 101,00	09 275,25
1992	46 210,00	36 968,00	09 242,00	2008	41 806,25	33 445,00	08 361,25
1993	40 171,25	32 137,00	08 034,25	2009	49 270,00	24 635,00	24 635,00
1994	12 740,00	10 192,00	02 548,00	2010	52 590,00	26 295,00	26 295,00
1995	20 117,50	16 094,00	04 023,50	2011	43 536,00	21 768,00	21 768,00
1996	15 665,00	12 532,00	03 133,00	2012	45 072,00	22 536,00	22 536,00
1997	27 381,25	21 905,00	05 476,25	2013	27 150,00	13 575,00	13 575,00
1998	30 951,25	24 761,00	06 190,25	2014	40 762,00	20 381,00	20 381,00

TAB.3 : Évolution de la quantité des rejets de la baryte de Bou-Caid.

L'évolution des déchets par rapports aux quantités de tout-venant abattu par année, permet d'estimer les périodes marquées par l'augmentation et de diminution de de cette dernière, il en ressort ce qui suit :

- 1983/1984: diminution de la quantité des déchets suite à la diminution du tout-venant, cette période est marquée par un manque de la demande du marché des hydrocarbures en baryte ;
- 1984/1985: augmentation remarquable en quantité de déchets, expliquée par une augmentation de la production ;
- 1985/1993: période stationnaire, les quantités des rejets annuels étaient presque les même, cela est due à la cadence de travail de l'unité qui était presque la même durant cette période ;
- 1993/1996: chute de la production engendrant une diminution remarquable en quantité de rejets, cela est due à la dégradation des équipements par conséquent la baisse de la production annuelle ;
- 1996/2005: stabilisation des quantités des rejets annuels, la production augmentait par rapport à la demande du marché en matière de baryte, le taux de récupération est cependant positif, cela explique une production évolutive ;
- 2005/2013: cette période est caractérisée par une divergence entre les quantités de rejet et celle du tout-venant produit, en effet c'est les années à partir desquelles le tout-venant devenait d'une qualité médiocre donnant ainsi 50% de produit fini et 50% de déchets ;

- 2013/2014: Augmentation en quantité du tout-venant, suite à la hausse de la demande du marché, par conséquent les quantités des rejets augmentaient considérablement ce qui saturait les aires de stockage.

Il s'est avéré que les rejets solides étaient étalés sur des aires de stockage à l'air libre, les espaces de stockage en réalité étaient des étendus voisinant la mine, sans digues ni délimitations propres.



Fig. 29 : Vue de la surface du stockage des stériles à Bou-Caid.

Les surfaces retenues servaient de déversoirs, dès qu'elles attestent une surcharge, les responsables de l'entreprise choisissaient de nouveaux espaces de stockage. Il est à signaler que zones de dépôts de ces rejets étaient à proximité d'un cours d'eau qui alimentaient des zones agricoles pas trop loin de la mine.

8-4- Evaluation et amélioration des méthodes de gestion des rejets

On a constaté que les méthodes et techniques utilisées dans la gestion des rejets, manquaient d'efficacité, elles perturbaient l'équilibre environnemental et créaient des nuisances vis-à-vis des eaux, des sols et de l'air. Dans ce qui suit, une modeste contribution dans l'évaluation des techniques de gestion actuelle et une tentative de proposition de méthodes meilleurs.

Le cycle de l'eau utilisée dans l'unité de Bou-Caid, passe par un système ayant deux entrées d'eau à savoir le Jig et le système de dépoussiérage, qui reçoivent une eau potable, tandis que la sortie est la même, ne représentait pas l'environnement en tant que milieu récepteur après un passage par un bassin de décantation.

Les eaux rejetées proviennent principalement de la phase d'enrichissement, après l'incorporation de l'eau au tout-venant concassé à l'intérieur du séparateur gravimétrique (Jig), Nous signalons aussi la présence d'un autre diversement d'eau provenant du système de

dépoussiérage, qui est rejetée directement dans la nature. Afin d'évaluer l'efficacité du système de gestion des eaux rejetée, nous avons eu recours à une comparaison entre les analyses des eaux avant et après usage.

Paramètres	Unités	Éch. 1	Éch. 2	Valeurs limites	Tolérance aux valeurs limites anciennes installations*	Normes d'analyses
Température	°C	13,7	45	30	30	Multi paramètres
pH	-	8,38	7,28	6,5-8,5	6,5-8,5	
DCO	mg/l	9,6	38,4	120	130	ISO : 6060 :1989
Cr	mg/l	<0,8	<0,76	0,5	0,75	ISO : 8288 : 1986
Cu	mg/l	<0,6	<0,55	0,5	1	
Pb	mg/l	2,5	2,7	0,5	0,75	
Cd	mg/l	<0,03	<0,03	0,2	0,25	
Co	mg/l	<0,2	<0,2			
Ni	mg/l	<0,59	<0,6	0,5	0,75	

TAB.4 : Analyses chimiques d'eau potable (JENKINS S, (1983).

Il demeure urgent d'agir dans le sens d'améliorer la gestion des effluents industriels rejetés, et ce en adoptons une stratégie protectrice vis-à-vis de l'environnement, nous proposons dans ce qui suit une démarche à suivre :

- Il est nécessaire d'effectuer des analyses à l'entrée des eaux, cela permettra d'obtenir la composition chimique de départ ;
- Déterminer les paramètres qui varient au cours du processus, pour fixer les conditions de travail optimale (température, pH...) ;
- Déterminer les quantités exactes des eaux utilisées durant toutes les étapes de traitement. Eau de sortie: Avant tout diversement les eaux nécessitent un traitement efficace, pour cela il faut :
- Effectuer des analyses a la sortie pour pouvoir déterminer la modification produite lors de son passage par la phase de traitement ;

Les poussières représentent la principale source de pollution gazeuse, pour éviter leur émission dans l'air, les poussières sont libérées dans un tunnel de dépoussiérage pour qu'elles puissent être arrosées et réduites en boue rejetable dans le milieu nature.

En effet, l'efficacité du nouveau système de dépoussiérage par arrosage est constatée à vue d'œil en fonction du fonctionnement et de l'arrêt de ce système.



Fig. 30 : Vue du dégagement des poussières avant et après l'arrêt du système de dépoussiérage (KHARFELLAH et SLIMANE, 2016).

Les rejets solide des mine de Bou-Caid sont gérer de manière aléatoire, leur diversement dans la nature affectent dangereusement l'environnement, en effet des relevés topographique ont révélé une augmentation de la masse de manière terrifiante. Les dépôts sont entreposé anarchiquement, sans construction de digue ni de haldes de stockage.

8-5- Proposition d'une technique de gestion

Pour les rejets solides Le plan de gestion doit être élaboré et appliqué de sorte que les impacts des rejets soient minimisés. La production de rejets miniers est relativement grande, quoique les impacts demeurent considérables en cas de mauvaise gestion. Nous consignons de suivre la démarche suivante :

- Valoriser les rejets solide dans un domaine approprié et chercher des clients potentiels par exemple dans la construction, le revêtement des routes et les remblais pour la restauration et la remise en états ;
- Construire des haldes de stockage et utiliser des géo-membrane protectrice.
- Quantifier annuellement les quantités rejetées ;
- Analyser les composantes chimiques des rejets, puis évaluer la solubilisation, la dissolution et la lixiviation des éléments chimique à partir ;

- Installation d'aspirateur industriels ;
- Utilisation des filtres industriels.

9- Conclusion

Dans ce chapitre, dans le cadre d'expertiser les risques liés aux rejets de la société d'ENOF, nous avons présenté l'entreprise en premier lieu et son organigramme de travail, on a fini par essais d'estimation les quantités des différents rejets issus de la phase extractive et le traitement du minerai, en identifient les différentes qualités des rejets (liquides, gazeux et solides) ainsi que les techniques de gestions actuelles de chaque type de rejets.

TROISIEME CHAPITRE
EXPERTISE DE STABILITE
DES TERRAINS ETUDIE

1- Introduction

Après avoir vu et défini toutes l'effet des rejets miniers au niveau de centre de traitement de Bou-Caid et son reflet sur l'environnement, on va maintenant étudier les risques anthropiques liées aux ouvrages miniers au niveau des carrières dans les montagnes de l'Ouarsenis. Mais avant tout, on va citer de façon générale la notion d'un risque, naturel ou anthropique, et quel est l'impact des ouvrages miniers sur la future exploitation de l'Ouarsenis, et sur la population proche.

2- Analyses des risques naturels géologiques et définition des notions

2-1- Définition des notions

Aléa : constitue la variante essentielle d'un risque donné, elle représente la probabilité d'occurrence d'un phénomène cyclique dans un cadre spatio-temporel. L'aléa élaboré avec la vulnérabilité et l'enjeu pour former l'enveloppe de risque envisagé.

L'aléa est un terme qui désigne les phénomènes naturels, sous prétexte de leur caractère aléatoire, qui est estimée en pourcentage. L'évaluation de l'aléa a un caractère subjectif puisqu'elle passe de la reconnaissance et la recherche des facteurs favorables (climatiques, géologiques, structuraux et géomorphologiques...) à une évaluation approchée de l'intensité de l'aléa (faible, moyen, fort) sur un secteur donné.

Vulnérabilité : La notion de "vulnérabilité" est utilisée pour quantifier le degré des dommages que peut causer un événement dangereux aux infrastructures, habitations et aux hommes. Elle est définie en pourcentage de dommage de (0%) aucune perte à (100%) perte totale et cela en rapport de la valeur totale (INTERREG II C, 2001).

Risque : Il est défini comme la conjonction de la fréquence des manifestations naturelles (Aléa) et la vulnérabilité des installations humaines.

Les géologues définissent les mouvements de terrain comme étant des manifestations d'instabilité de la partie superficielle de la croûte terrestre sous l'effet de plusieurs facteurs naturels d'une part tels que : la pesanteur et les agents d'érosion d'une part et sous l'effet de l'intervention de l'homme d'autre part. Ces phénomènes représentent pour l'être humain des signes perceptibles de l'évolution géologique et la géodynamique externe. Ces mouvements présentent une grande diversité dans leur nature et leur comportement (éboulements, effondrements ...) et dans leur dimension. (ZAAGANE, 2007).

2-2- Risques d'éboulement dans le secteur d'étude (Sra d'Abdelkader)

Dans l'Ouarsenis, il y a trois paramètres qui peuvent aggraver la situation :

- La morphologie spécifique de la région (pentes abruptes et reliefs escarpés).
- La nature lithologique compacte des séries qui constituent les sommets de ce point culminant et leurs substrats fragiles, les terrains sur lesquels sont bâtis les maisons et qui pourront maintenir l'extension de la ville au futur, sont constitués essentiellement des terrains meubles qui au contact de l'eau deviennent instables.
- la proximité des agglomérations aux reliefs escarpés et la population sur ces zones à hauts risques.

Tous ces éléments se sont réunis pour constituer l'un des attraits majeurs à l'élaboration de telle étude dans le cadre de prévention.

Ce chaînon est d'autant plus long que les deux cités auparavant, seulement ces versants sont moins peuplés. Le village de Mitidja est bâti sur le versant méridional de ce massif à une altitude de 1225 m. Cependant, une forêt moins dense le sépare du massif rocheux. Cette forêt constitue un obstacle naturel devant les blocs qui sont tombés lors du séisme de l'Asnam 1980. La répartition des blocs se localise exceptionnellement sur la partie Nord-Ouest du village avec des blocs variés litho-logiquement (calcaires et parfois brèche de pente) et hétérométriques de quelques décimètres cubes à des blocs dont le volume dépasse les vingtaines de mètres cubes. Il est bien à noter que le village est exposé d'une façon irréversible au risque d'éboulement qui parvient de deux massifs différents, celui de Sra AEK et celui de Batha qui constitue la continuité méridionale du Dj Belkheiret. Sur l'extrémité orientale une population moins dense occupe une bonne partie du contre-bas du massif, quelques rares blocs se voient éparpillés en aval. (ZAAGANE, 2007).

A la verticale en haut, se trouve la mine NORD localisé au Sidi Djebeur qui utilise les explosifs d'une part et le déboisement de la forêt de l'Ain Antar d'autre part pour utiliser les troncs d'arbres pour maintenir les parois des galeries afin d'éviter tout écroulement.

2-3- Exemple de risque de glissement de terrain (cas de Constantine)

Le glissement de terrain de Constantine présente un beau exemple (CHIKHI et HOUARI, 2004), Ce phénomène complexe, menace sérieusement une bonne partie de Constantine et affecte plus de la moitié de la ville de Constantine, soit 120 ha de sa superficie, et menacent 15 000 habitations abritées 100 000 personnes et pouvant mobiliser des volumes de matériaux atteignant plusieurs millions de mètres cubes (BELOUAR et Al. 2004).

La consultation de la banque de données des mouvements de terrain nous suggère à dire que l'Algérie n'est guère à l'abri de ces risques à cause de la complexité géologique et géomorphologiques des reliefs d'une part et la nature lithologique des terrains d'autre part. (ZAAGANE, 2007).

Notre secteur d'étude présente un livre ouvert et perceptible des manifestations de la nature qui constitue une menace perpétuelle pour la population. Parmi lesquels on note : les glissements de terrain, les effondrements et les éboulements qui sont réagi naturellement ou à l'intervient des travaux humains (anthropiques). Ces risques prennent une grande part d'intérêt dans la présente étude.

3- Risques anthropiques lié à l'impact des ouvrages miniers de Bou-Caid

3-1- Introduction

Dès 1895, Gentil a consacré une étude détaillée sur les minerais de l'Ouarsenis ; il signale de son côté la présence de calamine, smithsonite, hydro-zincite, blende, galène (argentifère) calcite, pyrite, limonite et barytine ; depuis ce temps, cette zone a été le siège d'une intense exploitation minière. Pour atteindre les gites métallifères, les mineurs ont adoptés plusieurs systèmes d'exploitation parfois à l'air libre et le plus souvent par le biais des galeries souterraines.

3-2- Risques d'effondrements des parois rocheux

Quoique les phénomènes des effondrements soient d'origine naturelle ; ils sont étroitement liés à des carrières et des mines souterraines abandonnées (EVRARD, 1987). Dans le cas de notre région d'étude, et même si la majorité de ces carrières sont localisées sur le massif rocheux et loin des agglomérations ; ces phénomènes sont imperceptibles à la population, mais les mineurs et les carriéristes sont en position de les connaître (comm. orale

des mineurs). Leur effondrement peut contribuer localement à la provocation d'autres risques: des éboulements (SOUDEE, 1985).

Actuellement, ces galeries se comptent par des dizaines réparties sur les reliefs de l'Ouarsenis. Elles ont été dressées d'une façon à atteindre les amas et filons qui se localisent à l'intérieur des massifs créant ainsi des vides souterrains qui présentent des dangers pour la population limitrophe, et qui nécessite à la fin de faite une étude géostatistiques immédiate expertisé par les experts d'exploitation pour estimer les réserves géologiques par rapport aux réserves exploitées



Fig. 31 : Panneau montre le risque d'éboulement dans les galeries

Les secteurs minéralisés de l'Ouarsenis: Les secteurs minéralisés qui ont fait l'objet d'une exploitation minière se répartissent presque sur toutes les unités structurales de l'Ouarsenis. D'après le géologue minier (CALEMBERT, 1952), les principaux gites métallifères sont plombo-zincifères et se prolongent en profondeur par des gites de types B.G.P c'est à dire (barytine, galène et pyrite). Le même auteur les range dans la catégorie méso-thermale sous prétexte que la majorité de ces minerais referment de la fluorine (**Fig. 16**). L'extraction des niveaux minéralisés a été faite dans deux niveaux bien distincts selon le type de minéralisation.

Les gites métallifères de cette région sont bien connus par deux types de minerais:

- 1- Une souche primaire sulfurée enfermant aussitôt de la calcite barytine qui fait l'objet d'une exploitation récente et de la blende. Ces minerais se rencontrent dans les

formations liasiques (calcaires) sous forme soit des filons ou bien des épanouissements et des amas de dimensions considérables.

- 2- Des minerais secondaires qui sont en relation étroite avec les dépôts primaires dont la smithsonite résultent de l'altération des formations primaires

Actuellement l'exploitation se poursuit au niveau de Sra Abdelkader et du Grand Pic par l'extraction de la barytine qui constitue l'artère économique du village minier de Bou-Caid. Cependant, il est bien de rappeler que les galeries qui ont été le siège d'une exploitation intense au passé demeurent sans surveillance et sans être rebouchées ou renforcées (fig. 32).

3-3- Exemple d'effondrement (l'effondrement sur le versant occidental de Belkheiret)

Un désordre remarquable perturbe la tranquillité des assises du calcaire liasique. Lorsque nous sommes rapprochés de cet endroit, on a remarqué qu'il y a eu un grand effondrement qui a affecté des terrains sur des altitudes. Dans la partie sommitale apparaît clairement une carrière souterraine orientée SW- NE creusée témérairement dans le roc à une dizaine de mètres de dénivelé réapparaît une autre de direction cette fois-ci W-E. On pense que le mouvement a suivi le tunnel qui relie les deux étages d'exploitation. -Que s'est-il vraiment passé à Belkheiret en 1982 ? Les premiers éléments recueillis à partir de l'enquête réalisée auprès des anciens miniers qui travaillaient à cette époque-là, dans ce secteur nous ont révélé les constatations En premier temps, une forte pluie s'est tombée sur cette région, en provoquant brutalement l'effondrement du toit calcaireux (en 2 temps) sur les miniers qui étaient en pleine action de travail dans le tunnel. (ZAAGANE 2007).

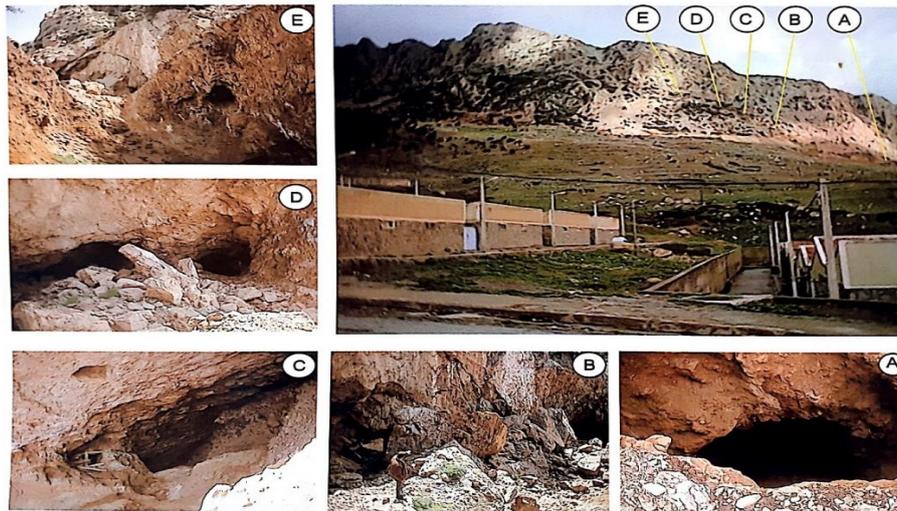


Fig. 32 : localisation des effondrements dus à une ancienne exploitation minière sur le massif de Belkheiret (ZAAGANE, 2007).

3-4- Conclusion

Ces éléments nous conduisent à penser qu'il y a eu un double mouvement c'est à dire

- 1) la disposition des assises calcaires dans cette partie du massif rocheux est orientée NS avec un pendage d'environ 60° vers le Sud. La galerie a été conçue sur le même alignement, cela signifie qu'il a été creusée sur la même disposition des assises ce qui a permis en premier lieu un glissement du placage du calcaire liasique à cause d'une vide souterrain (semi-superficiel) suivant lequel se dresse l'exploitation de l'étage 1400 à l'étage 1330,
- 2) le toit n'a pas maintenu la mise en jeu du grand poids de la masse rocheuse ce qui s'est traduit par un effondrement totale et brutal de la galerie.

4- Analyses des risques naturels à l'échelle locale (gisement NORD)

4-1- Approche géo-mécanique

4-1-1- Données du site

L'étude a porté sur un gisement « Nord » en collaboration avec la société ENOF comme maitre de l'ouvrage, et BETGCM comme laboratoire des essais.

Cette mine située à l'extrémité Nord orientale du massif Sra Abdelkader précisément au niveau 1116m (entrée principale) et qui comporte après des plusieurs niveaux à l'intérieur.



Fig. 33 : Entrée du gisement Nord niveau 1116m.

Le gisement d'exploitation présente une topographie accentuée à reliefs élevés et pentue perçant les flyschs (Fig.34).

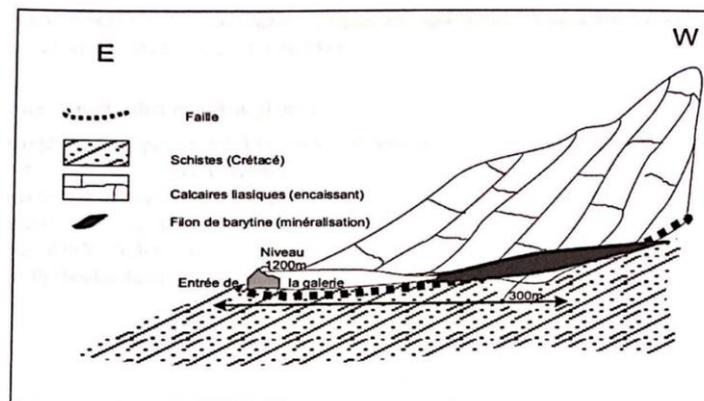


Fig. 34 : Profil géologique simplifié du gisement Nord-Niveau 1200m.

4-1-2- Calcul de facteur de sécurité

La nature géologique des terrains portent une signification géologique (Rhéologie) structurale et signification de la roche elle-même (densité, composition chimique. Etc). L'instabilité des terrains affectent souvent les terrains accidentés ayons les indices d'exposition et géométrique particulière pour présenter une tendance à glissement à se découper en prisme dièdre ou être basculer sous l'effet du leur poids et géométrie.

Pour estimer le facteur de sécurité d'instabilité des terrains, on détermine à priori les conditions limites qui matérialise certaines relations évidentes entre les paramètres des prismes basculé par rapport à leur état physique, la géométrie qui convient à un tel mouvement de terrain.

La **fig.** montre une faille tectonique d'orientation N70 ; 15 de nature tectonique.

La loi utilisée pour calculer l'état de stabilité (facteur de sécurité) de gisement NORD est :

$$F_s = \frac{\text{tng } \theta}{\text{tng } (\beta)}$$

Où :

θ : coefficient de frottement, il est estimée à 36.

β : Pendage de discontinuité, il est à 15°.

Si $F_s > 1$, le terrain est stable.

Si $F_s < 1$, le terrain est instable.

Si le $F_s = 1$, cela signifié que l'état de stabilité de terrain est critique.

4-1-3- Application et résultat

$$F_s = \frac{\text{tng } \theta}{\text{tng } (\beta)}$$

$$F_s = \frac{\text{tng } (36)}{\text{tng } (15)}$$

$$F_s = 2,71$$

4-1-4- Interprétations des résultats

La valeur de facteur de sécurité montre que le terrain étudié est stable (supérieur à 1) plus qu'il est critique.

Le stéréogramme ci-dessus réalisé sur le canevas de Wulff 1/2 sphère inférieur, confirme les résultats calculés

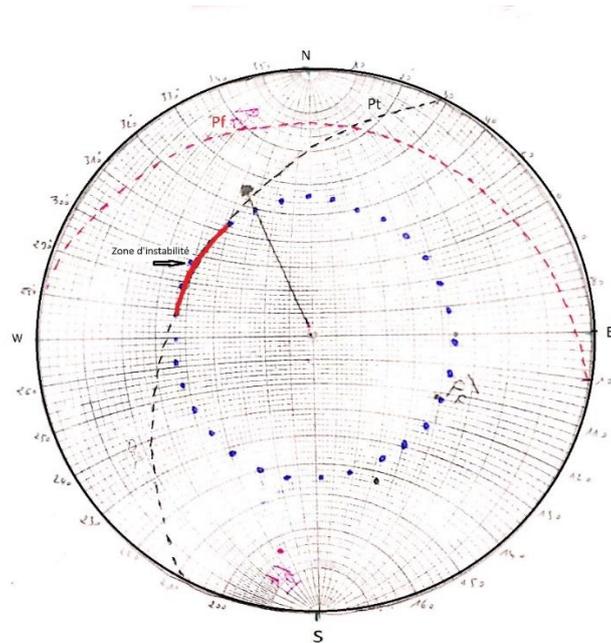


Fig. 35 : stéréogramme du Wulff de gisement de NORD.

4-2- Comparaison de résultat d'étude de la stabilité de la mine étudiée

Il est à noter que les résultats obtenus ci-dessus, convergent exactement avec ceux obtenus par une équipe de l'école polytechnique / Alger, qui ont mené la même étude. La procédure de cette équipe d'ingénieurs est établie sur la base d'un programme de reconnaissance géotechnique, par un principe des sondages carottés souterrains en vue de l'appréciation des couches traversées, des essais au laboratoire sur des échantillons carottés ont été effectués afin de déterminer les données de portance, de tassement et de lithologie.

Le sondage carotté a été réalisé en forage rotatif avec injection d'eau, les résultats du sondage carotté réalisé sont définis comme suit (niveau 1200 / gisement NORD) :

- De 0 à 1,5m : calcaire fissuré gris clair plus ou moins dur ;
- De 1,5 à 1,8m : brèche calcaire à traces de barytine ;
- De 1,8 à 5m : calcaire gris sombre, dur et fissuré ;
- De 5 à 6m : schistes (argilites) grisâtres à gris bleuâtre.

Les chercheurs ont noté qu'il y a une perte d'eau totale a été décelé, ainsi que le sondage montre un sol hétérogène constitué de calcaire grisâtre plus ou moins durs admettant un passage à brèche et fragments de barytine généralement suivie de schistes (argilites) plus ou moins altérée.

4-3- Hydrogéologie

Le rapport de sondage ne signale aucune venue d'eau dans la profondeur lors de la reconnaissance, aucune humidité sur les tiges n'a été décelée. Signifié l'absence d'aquifères et des nappes d'eaux, veux dire aussi que la contamination d'eau n'existe pas.

4-4- Analyses et essais de laboratoire

De par la nature géologique du faciès rencontré, les échantillons se prêtaient mal aux essais en laboratoire, ces essais ont été établis selon les normes suivantes :

- Teneur en eau (NF P 94 050)
- Détermination du poids volumique (N F P 94-053).
- Limites Atterberg – indice de plasticité (NF P 94-076).
- Analyse granulométrique – sédimenterie (NF P 94 056-57).
- Essai ultrason.
- Cisaillement direct UU (NF P 94-071-1).
- Teneur en sulfate et en carbonates (NA 16002)
- Résistance à la compression

4-5- Résultats des essais au laboratoire

4-5-1- Essais physiques

Site	Sondage	Profondeur (m)	Densité γ_s
Gisement Nord	Sc. 01	00,85 – 1,00	02,53
		01,50 – 1,65	02,57
		04,35 – 04,50	02,54

TAB. 5 : Résultats des teneurs en densité.

Les résultats obtenus marquant une densité moyenne à élever des échantillons prélevés, cela signifié que la roche en place est moyennement dense.

Site	Sondage	Profondeur (m)	Teneur en eau W%
Gisement Nord	Sc. 01	00,85 – 1,00	02,43
		01,50 – 1,65	03,84
		04,35 – 04,50	03,57

TAB. 6 : Résultats des teneurs en eaux.

Ce tableau marque une très faible quantité d'eau du fait que le sol en place correspond à des faciès rocheux. L'eau généralement fréquente dans les pores et les fissures détectés sur la roche, ceci atteste une faible porosité de la roche en place. On peut dire que cela signifie aussi que les calcaires (encaissants) ne sont pas dissouts ; non karstifiés.

4-5-2- Interprétation des essais physiques

Les faibles teneurs en l'eau sont justifiées par l'aspect d'imperméabilité qui est due à la présence des schistes en abondance (toit des galeries) suivies par les encaissantes (calcaires massifs) non poreux et non karstifiés.

4-5-3- Essais chimiques :

- a) **Teneur en CaCO₃** : l'essai consiste à mesurer le volume du gaz carbonique dégagé après l'attaque à l'acide de chlorhydrique d'une certaine quantité de matériaux secs. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Site	Sondage	Profondeur (m)	Teneur en CaCO ₃
Gisement Nord	Sc. 01	00,85 – 1,00	96,7
		01,50 – 1,65	97,2
		04,35 – 04,50	94,9

TAB. 7 : Résultats des teneurs en CaCO₃

L'essai s'effectue par le calcimètre de BERNARD, suivant le teneur en CaCO₃ on peut distinguer pour les sols fins :

Nature	% CaCO ₃
Argiles ou limons	0% à 10%
Argiles marneuses ou limons marneuses	10% à 30%
Marnes	30% à 70%
Calcaires marneuses	70% à 90%
Calcaires	90% à 100%

TAB. 8 : Résultats des % en CaCO₃

Compte tenue à cette classification, les résultats d'essai de la teneur en carbonates marquent un pourcentage très élevée ; dépassant les 90% ce qui révèle que le sol est de nature purement calcaire.

b) Teneur en sulfates : l'essai a pour but évalué le taux de sulfates afin de déterminer l'agressivité du sol, le tableau suivant montre les teneurs en sulfates :

Site	Sondage	Profondeur (m)	Teneur en Sulfates %
Gisement Nord	Sc. 01	00,85 – 1,00	0,017
		01,50 – 1,65	0,025
		04,35 – 04,50	0,029

TAB. 9 : Résultats des teneurs en Sulfates.

Les valeurs obtenues caractérisent généralement un très faible pourcentage en matière des sulfates dans les échantillons testés. Selon la norme algérienne NA 16002 relative à la classification des environnements agressifs, le sol en place peut être classé dans la classe XA1 marquant un sol non agressif ; correspondant à des mesures spécifiques à une protection durable.

4-5-4- Les essais mécaniques :

Les essais de la résistance à la compression simple RC : favorise la mesure de la résistance à la rupture en compression simple RC du sol.

Site	Sondage	Profondeur (m)	Rc (Mpa)
Gisement Nord	Sc. 01	00,85 – 1,00	109
		01,50 – 1,65	103
		04,35 – 04,50	121

TAB. 10 : Résultats des essais de la résistance à la compression simple RC.

Les résultats obtenus indiquent que l'ensemble des carottes examinées ont une dureté moyenne à élever. Les roches calcaires étudiées sont généralement durs dont la classification AFTE (1993) leur affecte vers la catégorie R2, des roches prospère à une résistance élevée à moyenne.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Durant ce modeste travail, nous avons tenté d'approuver l'intérêt de l'expertise de l'impact des travaux miniers sur l'environnement est important pour envisager l'aspect d'une gestion rationnel des produits miniers, ainsi que leur impact sur la pollution sur les zones rurales et sur la nature.

L'exercice pratique, in-situ, a prouvé que le site est stable malgré la présence d'un paysage accidenté. Les terrains exploités sont d'âge secondaire, avec une structure géologique inversée entre deux grandes unités distinctes où ; les carbonates chevauchent les schistes. Notant que la principale galerie affecte parallèlement le contact anormal des deux unités pour atteindre le minerai de la Barytine ; l'état de stabilité se proclame stable et bénéfique pour la société ENOF.

Notre remarque concernant les modalités d'exploitation du minerai restent traditionnels et simples. L'inconvénient pour une surexploitation des gisements au site étudié et surtout associé au risque anthropique qui se répercute mal sur la santé et l'expansion d'agglomérations de l'APC de Bou-Caid.

Quant aux recommandations à souscrire pour être respecter par les collectivités locales, avec une motivation sincère et respectueuse pour accomplir les missions suivantes :

- Envers la sécurisation des chantiers in-situ.
- Pour une exploitation rationnelle des minerais, ainsi qu'on doit tenir compte de la distribution spatiale des mines d'appartenance sectorielle.
- On recommande l'instauration d'un entrepreneariat polyvalent et efficace pour mieux gérée, à la fois, l'exploitation des gisements, et la sécurité de la communauté rurales.

Ce modeste travail, réalisé sous le bon soin de mes encadreurs et les opérateurs de l'ENOF, vient de contribué à l'instauration d'un plan de prévention de risque géologique envers une réglementation étatique des mines et carrières futures (PPRG).

Bibliographies

- ABTOUT A., BOUKERBOUT H., BOUYAHIAOUI B., GIBERT D. (2014) – Gravimetric evidences of active faults and underground structure of the Cheliff seismogenic basin (Algeria).
- AIFA T, ZAAGANE M. (2014) – Brittle tectonics within the Jurassic formations of the Ouarsenis culminating area, northwestern Algeria.
- AIT OUALI A, ISSADI A, MAIZI D, AYADI A, BOUHJAR A. (2019) – Geothermal potential in the Ouarsenis-Biban-Kabylie (North Central Algeria): hot spring catalogue.
- ALLMENDINGER, R.W., MARRETT, R.A., CLADOUHOS, T., 1994. FaultKin V. 4.3.5. A Program for Analyzing Fault-slip Data on a Macintosh Computer. Absoft Corp., 1988– 2004.
- ANDERSON, H., JACKSON, J., (1987) – Active tectonics of the Adriatic region. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 91, 937–983.
- ANDERSON, R.V., (1936) – Geology in the coastal atlas of western Algeria. *Memoir Geol. Soc. Am.* 4, 450.
- BASSET R. (1895) – Etude sur Zenatia de l’Ouarsenis et de Maghreb centrale. *Bull. Corresp. Africaine* 15. Paris: Leroux Pub Lg: French cat comparative linguistics, Zenatia, Ouarsenis, the central Maghreb historical linguistics, grammar, sample texts, glossary, Algeria, Morocco.
- BELOUAR A., BOULFOUL A. et SERIDI A. (2004) – Détermination des caractéristiques géotechniques des terrains argileux cas de Constantine. *Univ, Mentouri Constantine Sci & Tech B- N° 22- 2004*, pp 114- 121 11 fig.
- BENHAMOU M. & S. ELMIS.,(1992) – découverte de la faune *Tropidoceras* dans le Lias moyen de l’Oued Fodda (Algérie occidentale). Précisions sur la succession du Jurassique inférieur et moyen 9^{ème} Séminaire Nationale Tlemcen, Octobre (1992).
- BENHAMOU M. (1996) – Evolution tectono-eustatique d’un bassin de la TéthysMaghrébine : l’Ouarsenis (Algérie) pendant le Jurassique inférieur et moyen. Thèse, Doct, d’Etat, Univ, Oran, 434p. 139 fig, 27pl.
- BOUKERBOUT H., ABTOUT A., GIBERT D., HENRY B., BOUYAHIAOUI B., DERDER M.E.M. (2018) Identification of deep magnetized structures in the tectonically active Chlef area (Algeria) from aeromagnetic data analyzed with 2-D and 3-D imaging derived from the wavelet and ridgelet transforms.

- BROCKELMANN C. (1932) – Gibt es einen hamitschen Sprachtamm? *Anthropos* 27: 797 – 818 Publ German. Cat: historical linguistics.
- CALEMBERT I. (1955) – Massif culminant de l’Ouarsenis. XIX^{ème} Congr. Géol. Inter., Alger, 1,3.
- CECCA, F., 1999. Palaeobiogeography of Tethyan ammonites during the Tithonian (latest Jurassic). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 147, 1–37.
- CHIKHI N. et HOUARI H. (2004) – Caractérisation des formations argileuses cas de Constantine *Sci & Tech B- N° : 22. Univ. Mentouri Constantine Décembre 2004 pp 103-109 14 fig.*
- CLIFFORD G. (1966) – EARTH AND PLANETARY SCIENCE LETTERS (1966) NORTH-HOLLAND PUBL. COMP., AMSTERDAM TECTONO-METALLOGENIC UNITS AND METALLOGENIC PROVINCES OF AFRICA). Pp.421-434.
- DROMART, G., GARCIA, J.-P., PICARD, S., ATROPS, F., L’écuyer, C., Sheppard, S.M.F., (2003) – Ice age at the Middle-Late Jurassic transition? *Earth Planet. Sci. Lett.* 213, 205–220.
- EVARD H. (1987) – Risques liées aux carrières souterraines abandonnées de Normandie, bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. *Risques naturels* n° 150 et 151. 1987 pp 96-108 14 fig.
- GENTIL L. (1895) – Sur les gites calaminaires de l’Ouarsenis. *A.F.A.S Fraou*
- GIBRALTAR, (1977) – Groupe de Recherche néotectonique de l’arc - L’histoire tectonique récente (Tortonien à Quaternaire) de l’Arc de Gibraltar et des bordures de la mer d’Alboran. *Bull. Soc. Géol. France*, XIX 3, 575–614.
- HAMRIN H— LES MÉTHODES D’EXPLOITATION SOUTERRAINE.
- INTERREG II C, (2001) – Prévision des mouvements de versants et des instabilités de falaises Confrontation des méthodes d’étude des éboulements rocheux de l’Arc Alpin. *Programme INTERREG II C, Méditerranée occidentale Alpes latines.*
- JENKINS, S. H. Recueil de Normes Françaises. Eaux: Méthodes d'Essais: AFNOR, (1983), 342 pp.
- KLETT T.R. (2000) Total Petroleum Systems of the Illizi Province, Algeria and Libya—Tanezzuft-Illizi
- LALAFANDEFERANA, Z. RASETRAHARISON, M. T (2009).— Conception et réalisation de spirales pour l’exploitation artisanale de mines aurifères. Université d’anntananrivo 11 Mars
- MATTAUER M. (1958) – Etude géologique de l’Ouarsenis oriental (Algérie). *Publ. Serv. Carte. géol., Algérie, Nlle sér., Bull n°17,534p.*

MEGHRAOUI, M., (1982) – Etude néotectonique de la région nord-est d’El-Asnam: relation avec le séisme du 10 octobre 1980. 3th cycle thesis, Paris7 Univ., pp 210.

MEGHRAOUI, M., CISTERNAS, A., PHILIP, H., (1986) – Seismotectonics of the lower Chelif basin: structural background of the El-Asnam (Algeria) earthquake. *Tectonics* 5 (6), 809–836.

MEGHRAOUI, M., MOREL J.L., ANDRIEUX J., DAHMANI, M., 1996. Tectonique plioquaternaire de la chaîne tello-rifaine et de la mer d’Alboran. Une zone complexe de convergence continent-continent. *Bulletin de la Société Géologique de France* 167 (1), 141–157.

MINSTER, J.B., JORDAN, J.H., (1978) – Present-day plate motions. *J. Geophys. Res.* 83, 5331–5354.

NUNN, E.V., PRICE, G.D., HART, M.B., Page, K.N., Leng, M.J., (2009) – Isotopic signal from Callovian-Kimmeridgian (Middle-Upper Jurassic) belemnites and bulk organic carbon, Staffin Bay, Isle of Sky, Scotland. *J. Geol. Soc. Lond.* 166, 633–641.

OULED AICHA — Rapport de projet : les travaux d’exploration des indices barytique dans la partie sud de massif Sra Abdelkader.

OULED AICHA — Rapport géologique : quartier Abdelkader.

OULED AICHA 2007— Plan d’exploitation exercice produit Barytine.

Ouled Aicha 2009— Plan d’exploitation (V.2) produit baryte exercice 40 000 tonnes de produit fini.

OULED AICHA 2016— Plan d’exploitation Gisement de Baryte Nord, exercice.

Ouled Aicha 2021— Plan annuel ENOF Mine de Bou-caïd.

OULED AICHA 2021— Plan de développement et d’exploitation.

OUYED, M., MEGHRAOUI, M., CISTERNAS, A., DESCHAMP, A., Dorel, J., Frechet, F., Gaulon, R., Hatzfeld, D., Philip, H., (1981) – Seismotectonics of the El Asnam earthquake. *Nature* 292 (5818), 26–31.

PERRODON, A., (1957) – Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l’Algérie du Nord occidental. *Publications du service de la carte géologique de l’Algérie*, 12, 343.

PHILIP, H., THOMAS, G., (1977) – Détermination de la direction de raccourcissement de la phase de compression quaternaire en Oranie (Algérie). *Rev. Géogr. Phys. Géol. dyn.* 19 (4), 315–324.

POLVECHE J. (1960) – Contribution à l’étude géologique de l’Ouarsenis oranais. *Bull. Serv. Carte. Géol. Algérie*, n sér., n°24, t, | et ||, 577p.

PRICE, G.D., (1999) – The evidence and implications of polar ice during the Mesozoic. *Earth Sci. Rev.* 48, 183–210.

PRICE, G.D., Rogov, M.A., (2009) – Anisotropic appraisal of the Late Jurassic greenhouse phase in the Russian platform. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 273, 41–49.

SADJI, R., Munnecke A., Benhamou M., Alberti M., Belkhedim S., Ramdane N., (2021) – Late Jurassic temperatures for the southern Tethyan margin based on belemnites $\delta^{18}\text{O}$ from the Ouarsenis Mountains, northwestern Algeria

SLIMANE K. B. O. T., KHARFALLAH N. (2016) – Évaluation et critique de la stratégie de gestion des rejets miniers (Cas de la mine de Boucaïd – Tissemsilt). *Mém. Bejaia*.

SOUDEE Y., LEPELLEY L., CANOVILLE A. (1985) – Inventaire des effondrements de terrain au 1^{er} janvier, pays d’Auge Calvados, Doc. DDE Calvados.

ZAAGANE M. (2007) – Etude géostatistique des éboulements sur les versants de l’Ouarsenis occidental (Algérie du Nord) : risques sur la population limitrophe.

ZEGHARI A. (2013) étude des blocs diachrones resédimentés dans le « flysch albo-aptien » (grand pic de l’Ouarsenis) : cartographie et aspect sédimentologiques. *Mem. Magister, Univ Oran* 81p. 25 Fig. 1 carte.