



Année universitaire : 2018/2019

Licence Géoresources et environnement

Mémoire de Fin D'études

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Titre : Etude structuro-minièrre du gisement de Bouismass Est :
district minier de Bou Azzer (Anti-Atlas Central , Maroc)**

Présenté par : Ammor Abderrahmane

Encadré par :

Pr. HINAJE Saïd, FST FES

M. ILMEN Saïd, CTT

Soutenu le 12 juin 2019 devant le jury composé de :

Pr. HINAJE Saïd, Encadrant FST-FES

Pr. CHARROUD Mohammed, Examineur

Pr. EL AZZAB Driss, Examineur

Pr. BOUKHIR Mohamed, Examineur

Stage effectué à : Compagnie Tifnout Tighanimine (CTT)



Résumé

Le secteur de Bouissmas est situé dans la partie centrale du district minier de Bou Azzer –El Graâra à environ 16 Km à l'Est du centre minier Bou Azzer. Dans ce secteur affleure un socle protérozoïque inférieur (gneiss, leucogranites éburnéens) et protérozoïque supérieur (serpentinites et diorites quartzites et les dacites qui sont recouverts en discordance par des faciès d'âge néoprotérozoïque terminal (PIII) : les laves du PIII. En plus de ces formations, on note l'affleurement des structures quartzo-carbonatées et quartzieuses siège de la minéralisation. Structuralement, la zone d'étude révèle une tectonique cassante et une tectonique ductile qui sont liées aux phases orogéniques panafricaines ; B1 : caractérisées par la schistosité de flux au niveau des serpentinites, B2 : marquée par la schistosité de fracture, et enfin la phase tardi-panafricaine responsable, probablement, de la mise en place de la structure quartzo-carbonatée orientée N00 à N15, N'oublions pas les phases hercyniennes qui peuvent être responsables de la mise en place d'une partie des minéralisations. Les phases tectoniques sont responsables des décalages des structures minéralisées.

Notre travail consiste à :

- la réalisation d'une carte géologique de la surface dans le chantier de Bouissmas Est à une échelle 1/500, représentant les faciès lithologique et les structures minéralisées ;
- une étude structurale dans la zone de Bouissmas Est basée sur l'analyse des structures cassantes minéralisées et non minéralisées (stériles) ;
- la réalisation d'une coupe transversale (E-W) traversant la zone d'étude
- l'échantillonnage des structures minéralisées ;
- la réalisation de deux levés de la taille au niveau -350m et au niveau -430 ;

Résultats du travail :

- identification de quelques structures minéralisées à de leurs teneurs représentatives, à travers une étude structuro-minière détaillée ;
- détermination de la zone de contact entre les serpentinites et les laves du PIII, tout le long de la zone d'étude ;
- identification des différents faciès lithologique .

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, je tiens tout d'abord à remercier Monsieur le Directeur de la Compagnie Tifnout Tighanimine qui, par son avis favorable a permis ce stage d'avoir lieu.

Tous mes remerciements et ma gratitude vont à mes encadrants le Professeur-Géologue Pr. **HINAJE Saïd** de la FST de Fès et Mr. **ILMEN Saïd**. Je leur remercie de m'avoir accordé leur confiance, et de m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce projet. Je leur remercie également de m'avoir encadré avec patience et gentillesse et aussi pour leurs explications et précieux conseils tout au long de ce stage.

Je remercie également tous les enseignants faisant équipe pédagogique de la licence GRE «Géorressources Et Environnement».

Mes remerciements s'adressent également à toute l'équipe du service géologique pour leur aide, leurs conseils et leur soutien permanent.

Je tiens à remercier tous les employés de la mine, en particulier à, Mr. Younes MOUNDI, Mr. Abdelatif EL HASSANI, Mr.Lhou ZHAR, Mr. Saïd ILMEN, Mr. KECHA.L, Mr. EZGHOUDI, **Mr. BENFSSAHL.A**, Mr.FATHI.Y, Mr. H.LACHGUER Mr. Z.DAOUD, Mr M.IMLOUI, Mr. BAJADIA, Mr. AOURARH.H. Géologues à la CTT, pour la sympathie qu'il m'a adressée.

Je remercie également Pr. CHARROUD Mohammed et Pr. EL AZZAB Driss, même Pr. BOUKHIR Mohamed jury de ma soutenance.

Sans oublier de remercier ma mère qui m'a facilité beaucoup de taches au cours de ce travail.

Mes remerciements s'adressent enfin à toute ma famille et mes collègues étudiants de la FST de Fès surtout Mr. YAAGOUB Driss et Hamadi.

Sommaire

Résumé	2
Remerciement	3
Sommaire	4
Introduction général.....	7
I) Introduction générale sur MANAGEM.....	9
1) MANAGEM.....	9
2) Présentation de la Compagnie de Tifnout Tighanimine (CTT).....	9
II) Introduction à la géologie du Maroc.....	10
1) Domaine rifain.....	10
2) Domaine atlasique et mésétien.....	10
3) Domaine anti atlasique et saharien.....	11
III) Anti-Atlas : Contextes géologique, géodynamique et minier et structural.....	12
1) Introduction.....	12
2) Localisation Géographique.....	12
3) Contexte géodynamique.....	12
4) Contexte géologique.....	13
a-1) Le socle.....	14
a-2) La couverture.....	14
5) Contexte Structural.....	15
6) Contexte minier.....	16
a- Introduction.....	16
b- Description des principaux mines de l'Anti Atlas central.....	16

IV)	Boutonnière de Bou Azzer-El Graâra : Contextes géologique, géographique et structural, métallogénique.....	18
1)	Historique du district minier de Bou Azzer.....	18
2)	Localisation géographique.....	18
3)	Cadre géologique.....	19
4)	Contexte structural.....	23
5)	Minéralisation.....	24
a)	Historique.....	24
b)	Etat naturel.....	24
c)	Morphologie de la minéralisation.....	25
d)	Genèse de la minéralisation.....	25
e)	Les minerais.....	27
f)	La Gangue.....	27
g)	Domaine d'utilisation.....	27
6)	Méthodes d'exploitation.....	28
V)	Etude géologique du gisement de Bouissmas.....	29
1)	Localisation géographique.....	29
2)	Cadre géologique.....	29
3)	Cadre structural.....	31
4)	Cartographie géologique.....	31
4-1)	Cartographie géologique réalisée au 1/500.....	32
a)	Méthodologie.....	32
b)	La carte réalisée.....	34
c)	Présentation de la carte réalisée.....	35

d) Etude macroscopiques des faciès lithologiques de la zone étudié.....	38
e) Etude structurale de la zone cartographiée.....	43
5) Echantillonnage.....	47
a) Principe d'échantillonnage.....	47
b) Les résultats d'échantillonnages.....	47
6) Levés géologiques dans les travaux miniers du secteur Bouissmas.....	49
7) Présentation de la coupe réalisée.....	51
a) Coupe réalisée.....	51
8) Conclusion.....	52
Liste des figures.....	53
Liste des Photos.....	55
Liste des tableaux.....	56
Références bibliographiques.....	57

Introduction Général

La présente étude s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'études de Licence Géoresources et Environnement du département de géologie de la Faculté des Sciences et Techniques de FES, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah.

Vu la conjoncture actuelle favorable avec la hausse des prix du cobalt ; ce travail s'insère dans le cadre des travaux d'exploration entamés par la Compagnie Tifnout Tiranimine (CTT) de Bou Azzer filiale de MANAGEM, dans le secteur de Bouissmas Est qui est un secteur encore vierge et sous exploré.

Le présent travail a pour objectif d'élaborer une cartographie géologique et une étude tectono-minière du secteur de Bouissmas Est.

Cette étude nous offre l'opportunité pour une prise de contact avec les techniques d'exploration minière appliquées par la CTT afin de localiser la minéralisation.

a. Problématique.

Dans le cadre de l'exploration minière de nouveaux corps minéralisés dans toute la région de Bou Azzer, une étude nous a été confiée sur le secteur de Bouissmas Est, durant la période du stage du 01/04/2019 au 31/05/2019. Elle a pour objectif principal d'apporter des données cartographiques, gîtologiques et géochimiques qui constitueront des données de base nécessaire à la mise en œuvre d'un projet futur dans le secteur.

Ainsi, plusieurs travaux ont été effectués :

- d'abord, une étude bibliographique des travaux antérieurs réalisés dans le secteur.
- une reconnaissance géologique et identification des faciès du secteur Bouissmas.
- une cartographie géologique détaillée au 1/500 du secteur d'étude.
- des coupes géologiques au 1/500.
- une étude structurale afin de comprendre le régime tectonique de la région. .
- un traitement de données recueillies grâce à plusieurs logiciels : Google Earth, AutoCAD, Global Mapper, ArcGis, Surfer, QGis, Adobe Illustrator...

A l'issue de l'ensemble de ces études, les résultats obtenus seront d'un grand intérêt pour orienter la recherche et déboucher sur une phase d'exploration détaillé pour déterminer les réserves des minéralisations dans le but de confirmer ou infirmer la mise en exploitation de ces minéralisations dans le futur.

b. Méthodologie de travail.

Afin d'atteindre les objectifs fixés, plusieurs travaux ont été réalisés. Ils sont subdivisés en deux phases :

- **Une phase de synthèse bibliographique** : elle a pour objectif d'analyser les données bibliographiques existantes sur la région, afin de mieux connaître le secteur.

Cette étape a été accompagnée par des visites de plusieurs chantiers faisant partie du district de Bou Azzer, ainsi que des sorties de terrain afin de se familiariser avec le terrain.

- **Une phase de terrain** : elle a duré 54 jours de travaux de géologie de terrain répartis sur; une cartographie géologique au 1/500 tenant compte de la lithologie des roches, complétée par des mesures dans le cadre de l'étude structurale, ainsi que des levés géologiques détaillés au 1/500. Ces divers travaux de terrain sont accompagnés d'un échantillonnage systématique des différents faciès formant la zone d'étude notamment les minéralisations et ses roches encaissantes.

c. Le plan.

Ce mémoire s'articule en trois parties chacune d'elles éclairant une problématique et un aspect particulier de l'étude du secteur Bouissmas Est:

Après l'introduction générale, la première partie est consacrée à la présentation de l'organisme d'accueil et à la synthèse bibliographique concernant le cadre géologique régional de l'Anti-Atlas, le cadre géologique locale de la boutonnière de Bou Azzer et complété par un aperçu général sur le district minier de Bou Azzer.

La deuxième partie consiste à présenter le volet cartographie. Elle précise l'environnement géologique de la zone étudiée en s'appuyant sur les observations macroscopiques des différents faciès, et les levés structuraux. Le résultat est la réalisation d'une carte géologique et de coupes géologiques de la zone Bouissmas.

Quant à la troisième partie, elle s'attache à l'interprétation des levées géologiques des différents niveaux.

Une Conclusion générale, récapitulera les principales contributions mise à jour au cours de ce travail.

II. Introduction à la géologie du Maroc.

Le Maroc se situe au coin nord-ouest de la plateforme saharienne, il est entouré par les plaques mobiles de la mer méditerranée au Nord et l'océan atlantique à l'Ouest.

En effet, au cours de sa longue histoire géologique conditionnée par cette position de charnière, entre les continents africains, européen et américain...plusieurs cycles orogéniques se sont succédés, contribuant chacun, par son contexte géodynamique et son ampleur, à façonner les grands domaines structuraux du Maroc.

C'est ainsi que l'on en distingue trois, définis en fonction de la localisation et de l'importance des effets des orogénèses les plus récentes. Du Sud au Nord, le domaine anti-atlasique et son prolongement saharien, le domaine atlasique et mésétien et le domaine rifain séparés les uns des autres, par l'accident sud-atlasique d'une part et la limite des charriages tertiaires venus du Nord, d'autre part. Les deux derniers domaines sont caractérisés par l'empreinte prédominante laissée par les orogénèses varisque et alpine tandis que le premier domaine a été essentiellement façonné par les orogénèses précambriennes et varisque. (fdim.net)

1. Domaine rifain.

Il est constitué de la zone interne, la zone des flyschs et la zone externe.

Les zones internes sont représentées dans deux régions sur la côte méditerranéenne : entre Sebta et Jabha et dans les Bokkoya. Par leur origine, ces zones internes sont liées à la plaque d'Alboran, individualisée au Mésozoïque entre l'Afrique et l'Europe et se composent de plusieurs unités cristallines et sédimentaires.

Le domaine des nappes des flyschs est constitué d'unités formées de séries sédimentaires détritiques déposées dans un bassin profond, à la marge de la plaque d'Alboran. Les zones externes correspondent à l'ancien sillon externe, établi sur la marge nord-africaine, comblé par d'épaisses séries mésozoïques et cénozoïques. Parmi les unités qui constituent ces zones, certaines sont enracinées et d'autres sont sous forme de nappes. (fdim.net).

2. Domaine atlasique et mésétien.

Situé entre l'accident sud atlasique et la limite sud du Pré rif, ce domaine est constitué par :

- Un socle paléozoïque (les mesetas) d'âge allant du Cambrien jusqu'au Carbonifère et constitué essentiellement par des terrains sédimentaires avec une intense activité volcanique bimodale au Viséen. Ce socle a été structuré par
- Une zone à couverture plissée comprenant le Haut et le l'orogénèse hercynienne responsable aussi de la mise en place de nombreuses intrusions de granitoïdes.
- Une couverture, formée de terrains essentiellement carbonatés, mésozoïques et cénozoïques comportant deux unités structurales :
- Moyen Atlas, ayant subi une tectonique alpine précoce.
- Une zone à couverture tabulaire comprenant le causse moyen atlasique, les hauts plateaux et le pays du horst dans le Maroc oriental. (fdim.net).

3. Domaine anti atlasique et saharien.

Intimement lié au bouclier ouest africain au Sud et limité par l'accident sud-atlasique au Nord, ce domaine est formé par un socle protérozoïque constitué par les ensembles suivants :

- La partie nord de la dorsale archéenne des Reguibat, datée à 2800 Millions d'années, la plus ancienne du pays et qui est affectée par l'orogénèse éburnéenne à 2200 Millions d'années. Au Nord de ce socle éburnéen, se trouve la partie mobile de la chaîne panafricaine d'âge protérozoïque supérieur, constituée au sud par une plateforme elle-même relayée au nord par un bassin océanique matérialisé par la paléosuture ophiolitique de Bou-Azzer.
- Au Nord-Est de cette suture et dans un contexte de subduction panafricaine, s'est développé un arc volcanique avec un cortège de vulcanites et d'intrusions plutoniques calco-alcalines caractéristiques. Ces ensembles ont été structurés par l'orogénèse panafricaine. Ces formations protérozoïques sont recouvertes en discordance par des séries transgressives allant de l'Infracambrien au Carbonifère et qui sont déformées, comme celles qu'elles recouvrent, par l'orogénèse hercynienne. Celle-ci est notamment mieux exprimée dans la partie occidentale de l'Anti-Atlas. (fdim.net)

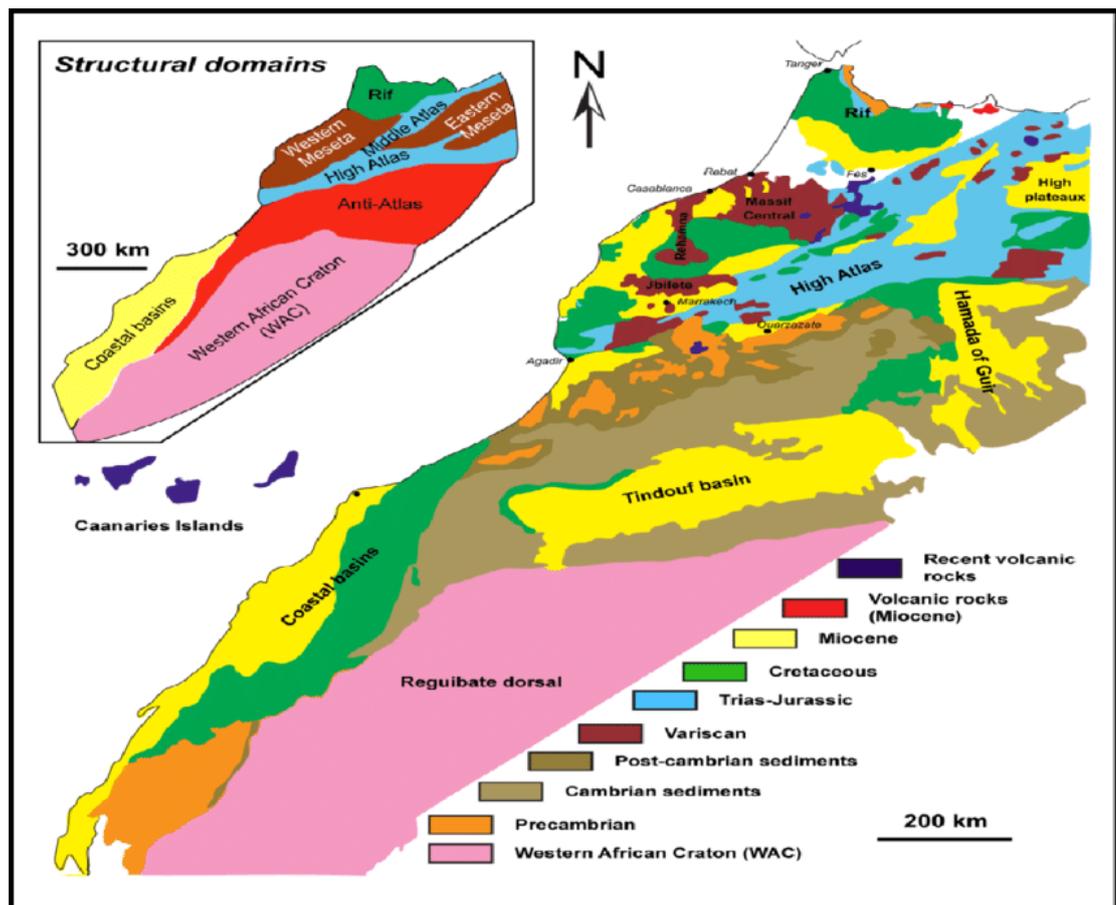


Figure 2 : Subdivision des domaines structuraux Marocain. (Google 1)

III. Anti-Atlas : Contextes géologique, géodynamique et minier et structural.

1) Introduction.

L'Anti Atlas est une chaîne montagneuse orientée WSW-ENE qui s'allonge sur plus de 500 km de la côte Atlantique (Sidi-Ifni) au Tafilalet, C'est le relief le plus méridional de l'Atlas marocain au contact avec le Sahara; Il est limité au Nord par l'accident sud atlasique et au Sud par les alignements structuraux des Bani, Rich, Ouarkiz ainsi que les plaines des Hamada, les Bassins de Tarfaya et de Laayoune.

2) Localisation Géographique.

L'Anti -Atlas est une chaîne montagneuse allongée au Sud de Haut Atlas sur plus de 800 km de largeur, orientée WSW-ENE, Elle est limitée par l'océan atlantique à l'Ouest et par la région de Tafilalt à l'Est.

C'est un vaste massif intensément érodé, limité au Nord par l'accident Sud Atlasique qui le sépare des chaînes de Haute Atlas. Au Sud, sa limite est moins précise, il forme la continuité de Craton Ouest Africain.

La chaîne anti atlasique est subdivisée en trois parties (d'après Choubert, 1956) :

=> L'Anti-Atlas centrale : massif de Sirwa, Znaga, Taghatin et Bou Azzer

=> L'Anti-Atlas oriental : massif de Saghro et d'Ougnat.

=> L'Anti -Atlas occidentale : Boutonnière de bas Draa, Ifni, Kerdous, Tagrara d'Akka, Tagrara de Tata et Ighrem.

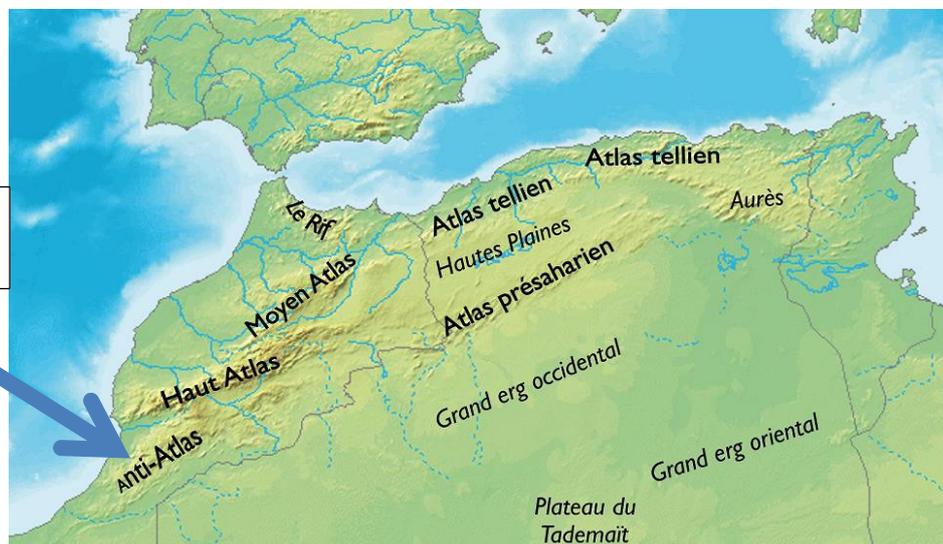


Figure 3 : Situation de l'Anti-Atlas. (Google 2)

3. Contexte géodynamique.

L'histoire de la formation de l'Anti-Atlas commence par la formation d'un ensemble ophiolitique lors d'une phase d'ouverture entre le craton ouest africain et un continent inconnu (figure 4.A) entre 890 et 760 Ma. Les ophiolites de Bou Azzer et du massif de Siroua sont les témoins de cette extension (Levresse, 2001). Puis, entre 760

et 700 Ma, dans un contexte compressif, s'amorcent plusieurs zones de subduction vers le nord (figure 4.B) (Gasquet & all, 2008) qui aboutissent à une phase d'obduction entre 680 et 650 Ma se traduisant par un métamorphisme et une première phase de déformation B1 (figure 4.C) (Leblanc, 1975). Ensuite, entre 630 et 610 Ma a lieu une phase de collision caractérisée par la mise en place de granodiorite synchrones de la déformation B2 (figure 4.D) (Levresse, 2001). Enfin une phase de magmatisme, intermédiaire à acide, post-orogénique clôture le Néoprotérozoïque entre 580 et 550 Ma (figure 4.F) (Levresse, 2001).

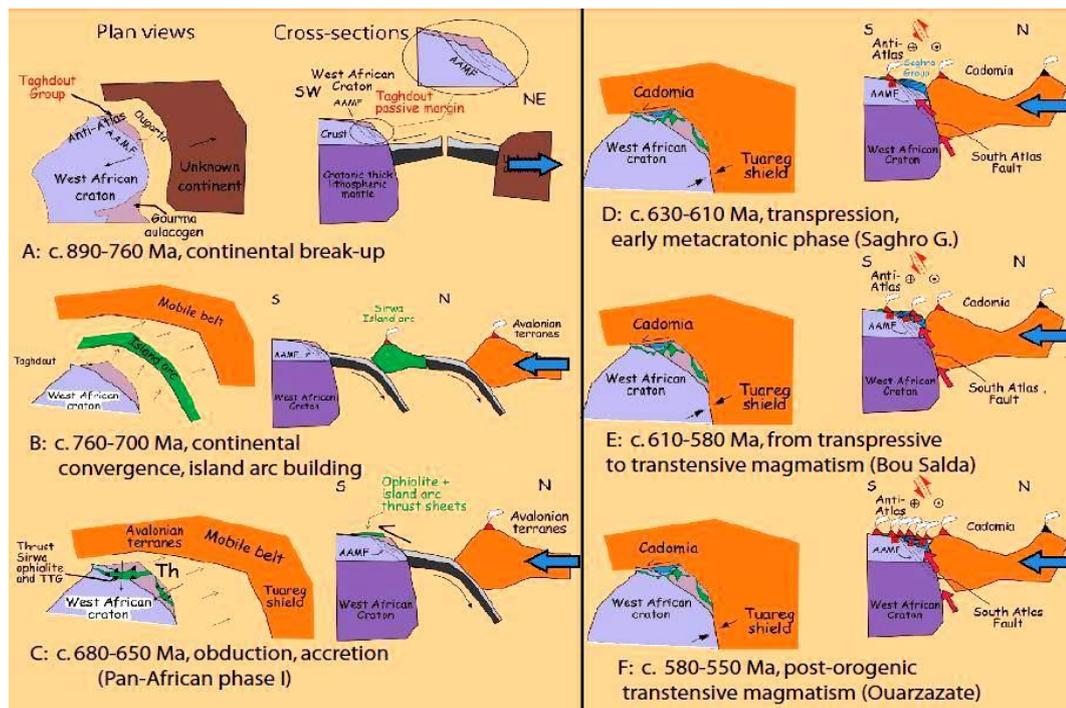


Figure 4 : Evolution géodynamique de l'Anti Atlas durant le Néoprotérozoïque (Liégeois & all 2006).

4. Contexte géologique.

La géologie de ces trois sous domaines est caractérisée par un socle Précambrien et une couverture Paléozoïque à post Paléozoïque.

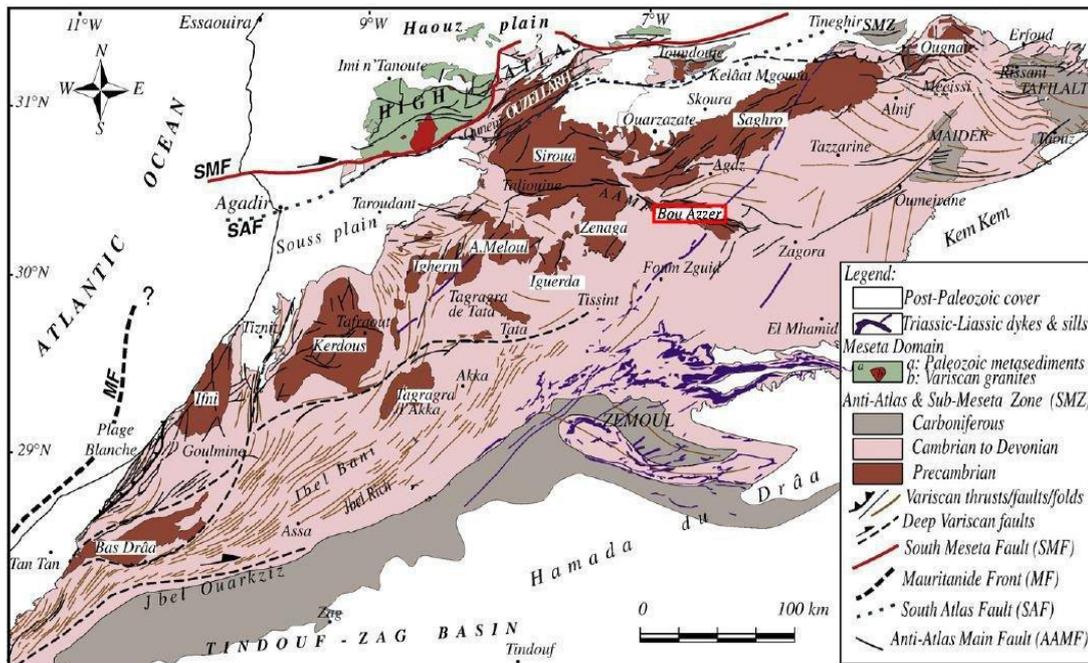


Figure 5 : Carte structurale de l'Anti Atlas (Michard&al 2010)

a-1) Le socle.

✓ Le socle Paléoprotérozoïque.

Il est localisé uniquement dans la partie occidentale de l'Anti-Atlas et appelé PI (Choubert & all, 1974). Il est composé de schistes, de gneiss oeillés, de dolérites, de migmatites et de granites (Levresse, 2001). Selon Leblanc et al (1980) cela traduirait une "crâtonisation" d'une croûte Paléoprotérozoïque durant l'orogénèse Eburnéenne.

✓ Le socle Néoprotérozoïque.

Il est divisé en deux grands ensembles lithologiques.

Le premier est composé de l'ophiolite de Bou Azzer daté à 697 ± 8 Ma (El Hadi et al. 2010) qui est interprété comme un fragment de croûte océanique jalonnant l'accident Majeur de l'Anti-Atlas (figure 5) mais également de la séquence volcano-sédimentaire de Bleida (PII) formé de quartzite, de calcaire à stromatolithes, de shales noirs, de méta-grauwackes et de turbidites distales (Levresse, 2001). Cet ensemble est plissé et schistosé par les phases de déformations Panafricaines B1 et B2 et recoupé par des intrusions syn à tardi-orogéniques (Leblanc, 1975).

Le second ensemble est appelé série de Tiddiline dans l'Anti Atlas central et oriental et série de Anezi dans la partie occidentale ou plus généralement PII-PIII. Ces séries comportent des faciès différents en fonction de leur occurrence dans la chaîne, mais sont toujours en discordance sur le PII. Cet ensemble est affecté uniquement par la seconde phase de déformation Panafricaine (B2) (Levresse, 2001).

a-2) La couverture.

Durant la transition Précambrien Cambrien, le socle Panafricain est affecté par des failles normales au pied desquelles s'accablent d'épais dépôts conglomératiques

recouverts par la suite, sans discontinuité, par des dépôts transgressifs Cambriens (Soulaimani, 2004). Ces roches constituent la couverture de ce socle.

✓ La couverture volcano-sédimentaire.

Elle est attribuée au Néoprotérozoïque terminal et appelée série d'Ouarzazate dans l'Anti-Atlas central et oriental et série de Tanalt dans la partie occidentale ou plus généralement PIII. La succession litho stratigraphique et l'épaisseur de cette série montrent de fortes variations latérales, cependant sa puissance maximale se situe dans l'Anti-Atlas central (2000 mètres).

La dominance calco-alcaline de ces faciès volcaniques est interprétée comme caractéristique d'une mise en place en bordure de marge continentale à la fin de la collision Panafricaine (Levresse, 2001).

✓ La formation infracambrienne (ou Adoudounienne).

Après la mise en place des dépôts volcano-sédimentaire du PIII, le domaine Anti-Atlasique Marocain a été le siège de la sédimentation cambrienne carbonato-détritique (Algouti, 2001). Ces sédiments se mettent en place lors d'une tectonique distensive. Une phase de rifting aurait débuté à la fin du Néoprotérozoïque (en même temps que le PIII) et aurait avorté au début du Cambrien moyen (Benssaou et al, 2003).

La base de cette série est composée de conglomérats qui reposent en légère discordance angulaire ou en concordance sur les formations du PIII (Levresse, 2001).

Puis par le groupe de Taroudant (ou Adoudounien) composé des « dolomies inférieures » qui sont attribuées au Cambrien inférieur et qui débutent par des dolomies blanchâtres et se terminent par des dolomies sombres (Benssaou et al, 2003).

Ces dolomies inférieures sont le début de la grande transgression marine en direction du Sud-Est qui s'effectue sur une paléogéographie variée composée de plates-formes subsidente et d'îles. Ensuite sur ces dolomies reposent les grès quartzitiques inférieures dans lesquels sont intercalés des schistes violacés (groupe de Tata) puis viennent les « dolomies du supérieur » qui sont composées de dolomies dans lesquelles s'intercalent des niveaux de siltites et des laves andésitiques. Ces dernières formations sont surmontées de niveaux de pélites puis des grès quartziques du supérieur.

Enfin les dépôts de la série Lie de Vin sont interprétés comme un épisode régressif suivi d'une nouvelle transgression marine vers le Sud-Est. Les calcaires supérieur sont les derniers termes de cette série et contiennent des faunes Cambriennes (trilobites et archaeocyathes) (Levresse, 2001).

5. Contexte Structural.

Sur le plan structural, deux domaines ont été distingués dans l'Anti-Atlas (Choubert, 1963).

- Un domaine sud occidental, correspondant au bord nord Craton Ouest Africain avec prédominance des terrains du précambrien I.
- Un domaine nord oriental, caractérisé par un large développement de terrain du précambrien II.

- Ces deux domaines sont séparés par l'accident majeur de l'Anti-Atlas (AMAA), interprétée comme une zone de suture, entre un domaine panafricain (domaine nord oriental) et un domaine éburnéen (domaine sud occidental) (Leblanc, 1975 ;Saguaque et al, 1989).Le sens du mouvement aujourd'hui admis est du SW vers le NE (Saguaque et al, 1989).

6. Contexte minier.

b) Introduction.

Le site « Portail du Maroc » (Anonyme, 2011) rappelle en ces termes comment l'exploitation minière s'est développée dans le Royaume et la place qu'elle occupe dans l'économie nationale :

- Le secteur des mines occupe une place de choix dans l'économie marocaine, il représente près de 21 % des recettes d'exportation et emploie 40 000 personnes environ.
- L'exploitation minière a été l'une des activités économiques les plus exercées par la population marocaine au cours des siècles. Les technologies minières marocaines comme le travail du cuivre et la fabrication de l'acier ont été transmises au-delà des frontières, à l'Europe notamment travers l'Espagne musulmane et le sud de la France.

b) Description des principaux mines de l'anti atlas central.

Concentrées dans l'espace restreint de l'Anti-Atlas central, on trouve une étonnante quantité de mines dont la plupart sont actives. La densité record est atteinte dans la boutonnière précambrienne de Bou Azzer-El Graara et à sa périphérie immédiate. Il est vrai que cette boutonnière comporte un beau développement d'ophiolites précambriennes, d'où les mines de cobalt et de chromite. Le cuivre est présent dans le Précambrien (Bleida) et surtout dans le Cambrien plisse (Jbel La'sal, J. N'Zourk). Le fer est présent dans des fractures du toit du socle, le manganèse dans des poches karstiques du Crétacé transgressif sur le précambrien (Imini). En dehors des gisements liés aux ophiolites dont l'âge Néoproterozoïque est avéré, l'âge de la minéralisation est plus ou moins discutable, et apparait souvent très éloigné de celui de la roche encaissante.



Figure 6 : Localisation des mines de l'Anti-Atlas central décrites dans cette section, reportées sur la Carte routière et administrative du Maroc.

-Mine d'Imini.

Gisement stratiforme de manganèse dans des sédiments carbonates et détritiques du Crétacé, transgressifs sur le socle précambrien de l'Anti-Atlas.

La minéralisation forme des lentilles interstratifiées et imprègne les remplissages béchiques et détritiques d'un paleokarst. La source du manganèse est à relier au socle rhyolitique de l'Anti-Atlas, le dépôt étant en relation probable avec le système hydrologique à la marge de la mer crétacée. Le gisement d'Imini se situe à 40 km au NW de Ouarzazate. Les substances exploitables sont le plomb et le zinc, le manganèse. Ce gisement est en cours d'exploitation. (Main mines of Morocco, 2011)

-Le gisement de Zgounder.

Gisement d'argent épithermal, encaissé dans une série volcano-sédimentaire du Néoprotérozoïque tardi-panafricain. Filonnets et fissures minéralisés à remplissages de quartzalbite-chlorite et/ou sidérite-calcite. Minéralisation à argent natif, amalgame Ag-Hg, sulfures et sulfosels d'argent. Le gisement argentifère de Zgounder se situe à environ 200 km à l'est de Taroudant, sur le flanc occidental du massif du Siroua. Substances exploitées sont principalement l'argent. Ce gisement est en cours d'exploitation.

(Main mines of Morocco, 2011)

-La mine de Bleïda.

Gisement de cuivre situé au SE de la boutonnière précambrienne de Bou Azzer-El Graara, au sein de la série de plateaux du Néoprotérozoïque inférieur de Tachdamt-Bleïda. Deux types de minéralisations sont distingués, un type nord, stratiforme et antérieur à la phase panafricaine majeure, et un type sud, contrôlé par des accidents cassants tardi-panafricains.

La mine de cuivre de Bleïda est située au SE de la boutonnière de Bou Azzer-El Graara.

La société exploite le cuivre, alors que ce gisement est en cours d'exploitation. (Main mines of Morocco, 2011)

-Le district minier de Bou-Azzer El Graâra.

Gisements de cobalt, nickel et arsenic en veines de taille et composition variables, liées aux serpentinites précambriennes. La succession paragenétique montre le dépôt d'arséniures, sulfoarséniures, selenoarséniures, séléniures et sulfures dans une gangue quartzo-carbonatée. La genèse est attribuée à l'effet combiné de fluides endogènes, chargés de molybdène, sélénium, bismuth, or, et de fluides exogènes chargés en chlorures. Bou Azzer est situé à 120 km au SW d'Ouarzazate. La société exploite l'or, le cuivre, le chrome, le cobalt principalement, l'argent, le nickel... vu que ce gisement est en cours d'exploitation. (Main mines of Morocco, 2011)

IV. Boutonnière de Bou Azzer-El Graâra : Contextes géologique, géographique et structural et métallogénique.

1) Historique du district minier de Bou Azzer.

- 1928-1929 : Le découvert des premiers indices de cobalt, l'utilisation de l'érythrine comme raticide.
- 1933 : L'exploitation minière débute par la Société Minière de Bou-Azzer El Graara (SMAG).
- 1940 à 1943 : l'arrêt de l'exploitation minier.
- 1959 : La direction de l'Omnium Nord-Africain (ONA) reprend l'exploitation des mines de Bou-Azzer.
- 1971 – 1974 : La Compagnie de Tifnout Tiranimine CTT (filiale de l'ONA), qui a pris le relais de la prospection par sondages et géochimie intensive.
- En 1980- 1981 : Le gisement du Filon 61 à Ait-Ahmane a été découvert. Ensuite, le gisement de Bouismass.
- 1983 : L'exploitation de la mine de Bou-Azzer a été arrêtée.
- 1989 : L'exploitation a commencé dans les gisements du Filon II, Tizi et Bouismass.
- 1990 : A eu lieu la découverte du Filon 53 à Ait-Ahmane.
- 2002 et 2004 : A eu la découverte de la F7 et F9 à Agoudal.

2) Localisation géographique.

La boutonnière de Bou Azzer est bordée au nord par le synforme de Tasla et la partie sud du Jbel Saghro. La plaine d'Alougoum-Foum Zguid constitue sa bordure sud. Vers l'ouest, elle est limitée par la dépression de Zagora-Feïja. Cette boutonnière constitue une dépression allongée selon une direction WNW-ESE, entourée de falaises hautes dont les sommets culminent entre 1000 et 1700 m. Elle s'étend sur une longueur de 60 km et entre 6 et 15 km de largeur. Elle est jalonnée par (AMAA) l'accident majeur de l'anti atlas (Choubert, 1963-72, Leblanc, 1975). La boutonnière commence à l'Est par le district minier de Bleïda, et se termine à l'Ouest par le district minier de Mokhazine. Le climat de la région de Bou Azzer est de type continentale, tant que les températures moyennes varient entre +5°C en Hiver et +45°C en été.

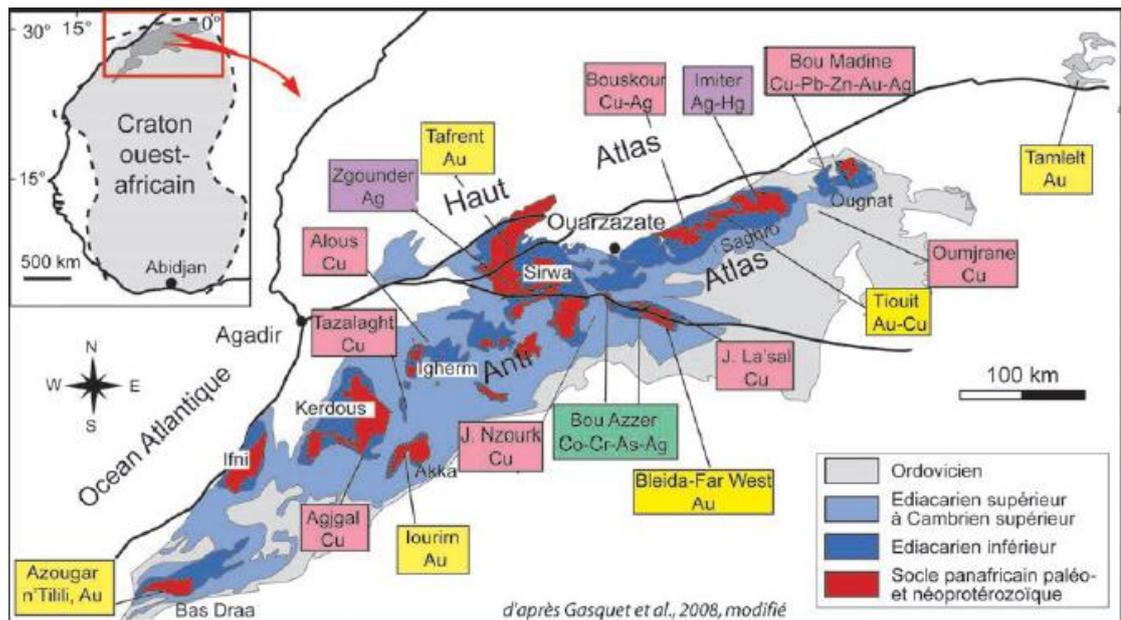


Figure 7: Localisation de la boutonnière de Bou-Azzer (Gasquet et al.2008) modifié.

3) Cadre géologique.

La boutonnière de Bou-Azzer El Graara est composée d'un socle d'âge protérozoïque, surplombé par une couverture infracambrienne.

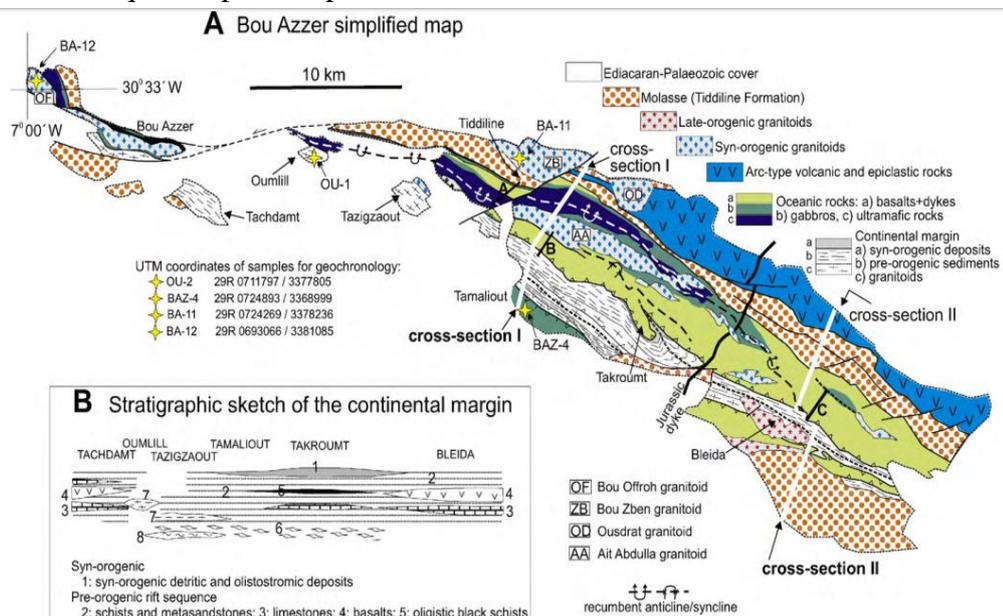
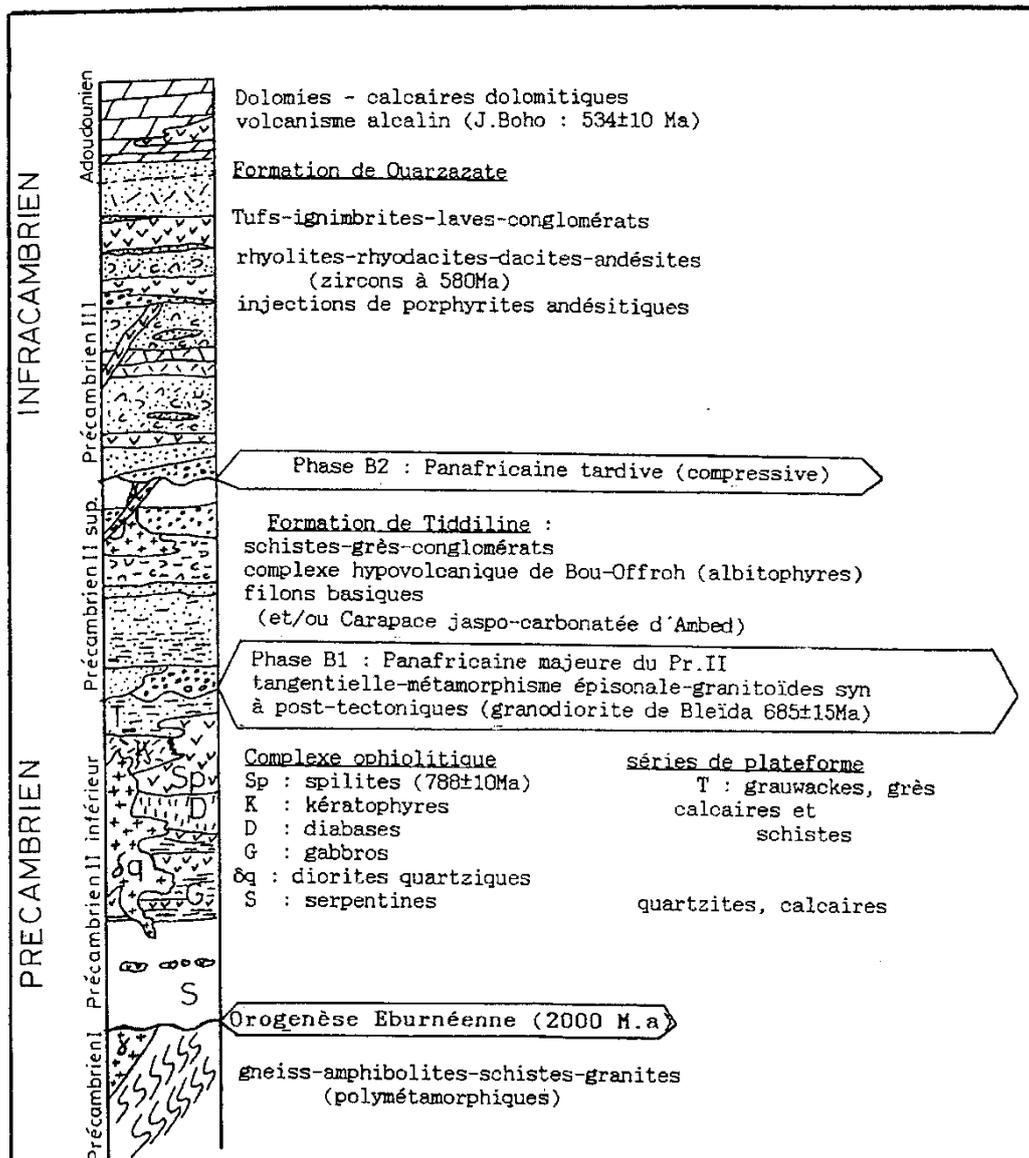


Figure 8 : Carte géologique de la boutonnière de Bou-Azzer- El Graara. (El hadi, 2010)

Sur le plan stratigraphique, Leblanc (1975) définit la subdivision suivante, avec du plus ancien au plus récent :



Les ensembles géologiques de la boutonnière de Bou Azzer – El Graâra (sans échelle) (d'après Hinaje, 1995)

Figure 9 : Les ensembles géologiques de la boutonnière de Bou Azzer- El Graâra (sans échelle) (d'après Hinaje, 1995)

- Le socle ancien (Pr I) forme des massifs qui affleurent dans quatre fenêtres principales. Il est constitué de roches magmatiques et métamorphiques déformées au cours de l'orogénèse éburnéenne (Choubert, 1963 ; Leblanc, 1975 ; Saquaque, 1991).
- Le gradient du métamorphisme évolue du faciès Schistes verts jusqu'au faciès amphibolite.
- Le Pr II inférieur est divisé en deux ensembles correspondant chacun à un environnement sédimentaire différent (Leblanc, 1975 ; Billaud, 1977 ; Saquaque, 1992).

-Au sud un ensemble de plate-forme où les dépôts sont ceux d'une marge continentale.

-Au nord, un ensemble à caractère océanique : Le complexe ophiolitique de Bou Azzer (Leblanc, 1975 ; Saquaque, 1992). Il est constitué de bas en haut de roche basiques et ultrabasiques serpentinisées, de diorites quartziques, de laves basiques et d'une série volcano-sédimentaire au sommet. Ces deux ensembles sont affectés par les deux phases panafricaines B₁ et B₂.

- Le Pr II supérieur constitué par deux formations :
 - La formation d'Ambed (Leblanc, 1975), correspond à une couverture d'altération météorique, recouvrant les massifs de serpentines et de roches vertes. Elle est constituée par des jaspes, des carbonates et des roches détritiques.
 - La formation de tiddiline discordante sur le PrII inférieur (Jouravsky, 1967) est constitué de bas en haut de : conglomérats, grauwackes, flyschs et des niveaux arkosique (Leblanc, 1975).
- Le PrIII (infracambrien inférieur) ou formation volcano-sédimentaire d'Ouarzazate (Choubert, 1963 ; Choubert et Faure Muret, 1970) constituée d'ignimbrites, d'andésites et de conglomérats ; est discordante sur les terrains de PrII affectés par les déformations panafricaines. Les volcanites du Pr III sont affectées par des failles normales cachetées de direction moyenne N60, témoignant d'un régime extensif NW-SE synchrone avec le volcanisme (Hinaje, 1995).
- L'Adoudounien (infracambrien supérieur) (Choubert, 1963) constitué de dépôts sédimentaire détritiques et carbonatés, avec des intercalations de coulées andésitiques rattachées au volcanisme alcalin du Jbel Boho (Ducrot et al, 1976 ; Leblanc et Lancelot, 1980). Le contact de l'adoudounien sur les PrIII est généralement ravinant avec des discordances angulaires locales. Les dépôts adoudouniens sont affectés par une tectonique extensive synsédimentaire NW-SE, héritée du Pr III (Hinaje, 1995).

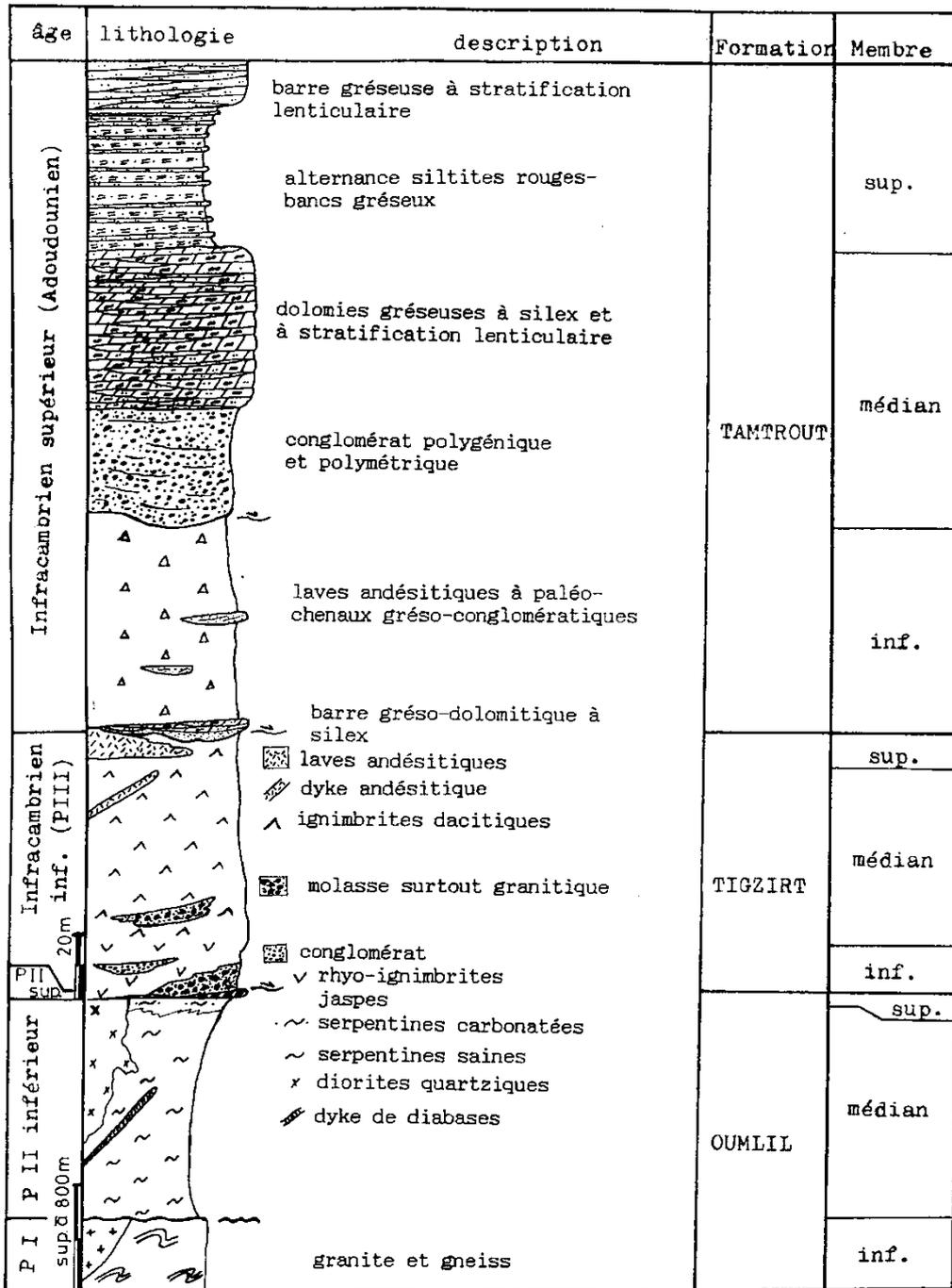


Figure 10 : Coupe lithostratigraphique synthétique au niveau du secteur Bouismas-Oumlil (d'après Hinaje, 1995)

MELTNER (1938)	JOURAYSTY (1952)	CHOUHRY (1968-1969)	Mission Soviétique TECHNODORT (1971)	LEBLANC (1970-1973)	LEBLANC (1975), JEANRETTÉ et TISSERANT (1977), LEBLANC LANCELLOT (1980), HASSENFORDE (1987) (in SAQUAQUE, 1992)	DUCHOT (1979), CLAVER (1976), BENOUCHEF (1980), HIRY et al. (1989), CISSÉ (1989), SAQUAQUE (1989-1992)	
Géol. G3	Géol. G3	Géol. G3 Adonouanien		Géol. G3 sup. schistes-calcaires dolomites supérieures L.C. sup. lie de vin (Adonouanien). Dolomites inférieures.	Cambrien inférieure Protérozoïque inférieur Lézardinal	formation schisto-gréseuse formation schisto-calcaire formation des calcaires supérieures formation "lie de vin" formation des calcaires inférieures 560	- granite de Tafraoute (530±13 M.a.) - granite de Jbel Bouh (534±10 M.a.) - granite lococroate d'Assaha (570 M.a.)
	Pr. III sup.	Pr. III sup.	Pr. III	L.C. inf. ou Faxi série d'Ouarzazate		570	- granite d'Idda ou Ioum (580±13 Ma) - diorite quartzique d'Ouadrat (600 M.a.) - granodiorite d'Ifrni (602±13 M.a.) - série de Bleida (602±13 M.a.) - Métamorphisme 623 --- 602± 10 M.a.
	Pr. III inf.	Herceonides 1000 Ma	Pr. II-III	Panafr. tard. B1 : 600 Ma	Protérozoïque supérieur	série de Tanelt 575	
	série de Tiddiline plagiogranite nord	Pr. II-III formation de Tiddiline plagiogranite nord	formation de Tiddiline formation d'Ambed formation de Bleida plagiogranite nord	Pr. III formation d'Ambed formation de Tiddiline plagiogranite nord		série du Strous Sagbro série de Tiddiline série d'Anzai 665	- granite de Skoura - granodiorite de Bleida (615±12 M.a., 800±15 M.a.) - granodiorite d'Iskaoun (675±10 M.a.) - diorite et gabbro de Bouakour (680 M.a.) - Métamorphisme épisonal (683 M.a.)
	Pr. II serpentines de Bou-Azzer gabbros et diorites du Graza. spilites et kératophyres d'Ouadrat calcschistes et oligistochiste de Skoura. calcaires et quartzites de Tachdant-Bleida.	Anti-Atlasides 1300 Ma Pr. II schistes, tufs et gneiss de Skoura gabbros et diorites du Graza. quartzites de Bleida Berberides 2500 Ma Pr. I granites blancs serpentines de Bou-Azzer spilites et kératophyres d'Ouadrat calcschistes, oligistochistes de Skoura	Pr. II gabbros et diorites du Graza serpentines de Bou-Azzer. calcschistes et quartzites de Bleida Tachdant. schistes, tufs et gneiss de Skoura spilites et kératophyres d'Ouadrat.	Panafr. maj. B1 : 640 Ma EII inférieur	Protérozoïque moyen	série des calcaires et quartzites EIII 1600	- série calcaire et quartzite (720 M.a.) - diorite quartzique de Bou-Azzer (720 M.a.) - granodiorite d'Igoudrane (754±16 M.a.) - roches basiques et ultrabasiques de Tachdant (728±9 M.a.) - granite d'Ouailkane (800 M.a.)
	Pr. I granites blancs gneiss d'Assellil	Zagorides 3000-3500 Ma Pr. I gneiss d'Assellil granites blancs et amphibolites	Pr. I gneiss d'Assellil granites blancs et amphibolites	Berberides 1700-2000 Ma Pr. I granite d'Azguezert gneiss d'Assellil	Protérozoïque inférieur	1600 2100	- granite de Tazenakht (1735 ± 11 M.a.) - granite d'Azguezert (1865 ± 2 M.a.) - granite de Tazeroualt (1908 ± 30 M.a.) - granite de Tahia (1820 ± 40 M.a.)

Figure 11 : synthèse des travaux chronostratigraphique des terrains de l'Anti-Atlas. (Hinaje.S, 1995)

4) Contexte structural.

Tectoniquement, l'histoire de la boutonnière peut se résumer en trois principaux évènements :

❖ La phase Eburnéenne (2000Ma) :

Elle a affectée les formations du Paléoprotérozoïque. Cette orogénèse montre une déformation homogène et synschisteux (schistosité de flux et de foliation).

❖ L'orogénèse Panafricaine :

Les effets de cette orogénèse sont observables en général dans les terrains du Néoprotérozoïque inférieur et moyen. La phase panafricaine s'est caractérisée par la succession de deux phases qui sont d'après Leblanc (1976) :

✚ La phase panafricaine majeure B₁ (680Ma) :

Cette phase est responsable de l'obduction de l'ophiolite de Bou Azzer sur le craton Ouest africain (Leblanc et Lancelot, 1980). La subduction dans ce modèle est dirigé vers le nord.

Le métamorphisme qui a accompagné cette phase a aussi affecté le complexe ophiolitique et engendre la serpentinitisation des roches ultrabasiques.

✚ La phase panafricaine tardive B₂ (600Ma) :

C'est une phase moins importante que la phase B₁ car elle n'a pas été accompagnée d'un métamorphisme régional mais seulement de déformation modérée. Cette phase est caractérisée par des plis subverticaux avec une schistosité de fracture et des décrochement sénestre et dextres.

❖ L'orogénèse hercynienne :

Elle a aussi un effet sur les terrains anti-atlasique infracambriens et paléozoïque, avec la mise en places de structures disharmoniques dans les niveaux sédimentaires Géorgiens, et des structures cassantes dans le matériel volcanique compétant de la formation de Ouarzazate (Leblanc, 1972).

Les structures cassantes se superposent aux anciens accidents de la phase panafricaine tardive B₂. Plusieurs phases tectoniques tardi à Post-panafricaines ont été mises en évidences. Parmi lesquelles l'extension synvolcalique et synsédimentaire NW-SE d'âge PrIII-Adoudounien, la compression N70 Post-Adoudounien, les compressions hercyniennes et tardi-hercyniennes NW-SE et NNW-SSE qui ont un rôle très important dans la mise en place des minéralisations. (Hinaje, 1995 ; Azzizi, 1994)

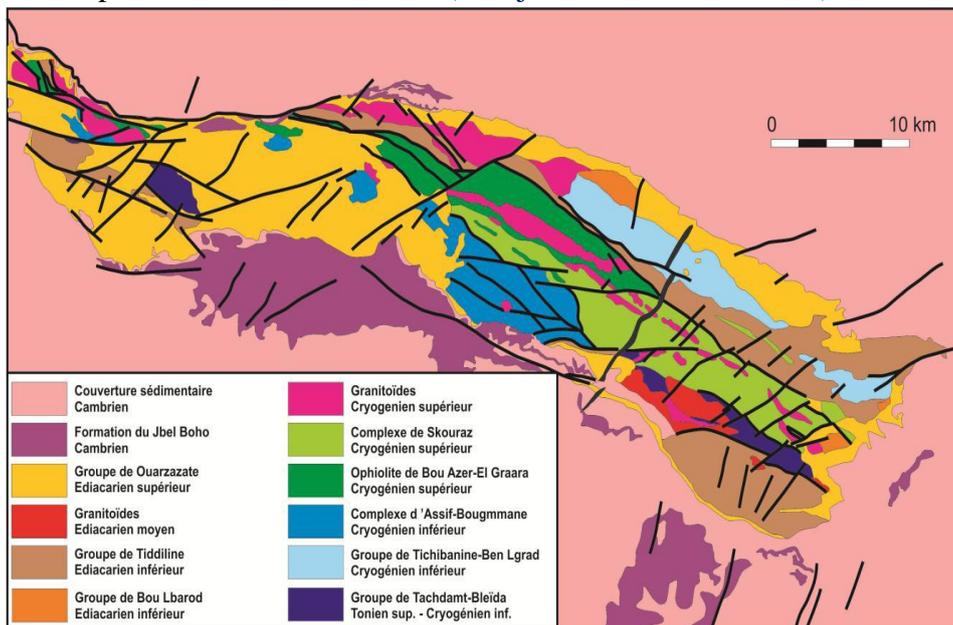


Figure 12: Schéma structural de la boutonnière de Bou Azer-El Graara. (Notice explicative de la feuille Bou Azzer, 2013)

5) Minéralisation.

a) Historique.

Le cobalt a été découvert et isolé en 1935 par le chimiste suédois George Brandt dans un minerai que les mineurs de Saxe ne savaient pas traiter le croyant ensorcelé, ils l'avaient appelé Cobalt signifiant « esprit mauvais ».

b) Etat naturel.

Le cobalt n'est pas un métal particulièrement rare, il représente environ 0,001 à 0,02% de la croûte terrestre. Il est le 30^{ème} élément le plus abondant dans la croûte terrestre.

Dans les minerais qui le contiennent, il peut être seul ou associé à d'autres métaux comme le nickel, l'argent, le plomb, le cuivre ou le fer.

c) Morphologie de la minéralisation.

Plusieurs gîtes sont reconnus dans la boutonnières de Bou-Azzer, les plus importants sont, d'ouest en est (avec leur distance approximative au centre minier): Méchoui (7km à l'ouest), Tarouni (1km ouest), 7/5 (au centre minier), Bou-Azzer Est (2km à l'est), Aghbar (12km à l'est), Oumlil (16km à l'est, du côté nord), Bouismass (16km à l'est du côté sud), Tamdrost (18km à l'est) et Agoudal (30km à l'est). Les autres petits gisements sont Tizi, Ambed, Filon II, Ighem, Khder, Lakhzine, ST2, Filons 53-61 d'Ait-Ahmane et Filon 59. Les gisements d'arséniures de cobalt de la boutonnière de Bou-Azzer sont le plus souvent en liaison étroite avec les serpentines qui en constituent le métallotecte principal.

La minéralisation est localisée soit :

- i) aux contacts serpentine/diorite quartzique du Précambrien II inférieur comme le cas de Filon 7/5, Bou-Azzer Est, Tarouni, Bouismass... ;
- ii) aux contacts serpentines/laves du Précambrien III, comme le cas des gisements d'Aghbar, Tamdrost, Oumlil ;
- iii) des minéralisations filoniennes intra laves du Précambrien III et intra-diorites.

La minéralisation de Bou-Azzer se présente sous plusieurs formes :

- principalement des filons, à pendage fort et à puissance variant entre 0.1 et 2m selon les gisements. Le filon le plus long à Bou-Azzer est le filon7.
- Des amas (d'extension réduite comparée à celle des filons) qui se concentrent au niveau du contact des serpentines avec les laves du Pr III (Tamdrost, Oumlil, Aghbar) associées à une carapace d'altération.
 - Des filons à pendage très faible, appelés plateures, dont la puissance varie entre 0.1 à 0.5m (Bou-Azzer Est).

d) Genèse de la minéralisation.

Le district de Bou Azzer (Co-Ni) est constitué de gisements répartis sur 60 Km le long de l'accident majeur de l'Anti Atlas (AMAA). Plusieurs modèles existent pour la genèse des minéralisations :

- Jourvsky 1952 et Goloubinov 1956 proposent un lessivage du Co et Ni à partir des serpentines par des fluides hydrothermaux lors de l'orogénèse hercynienne.

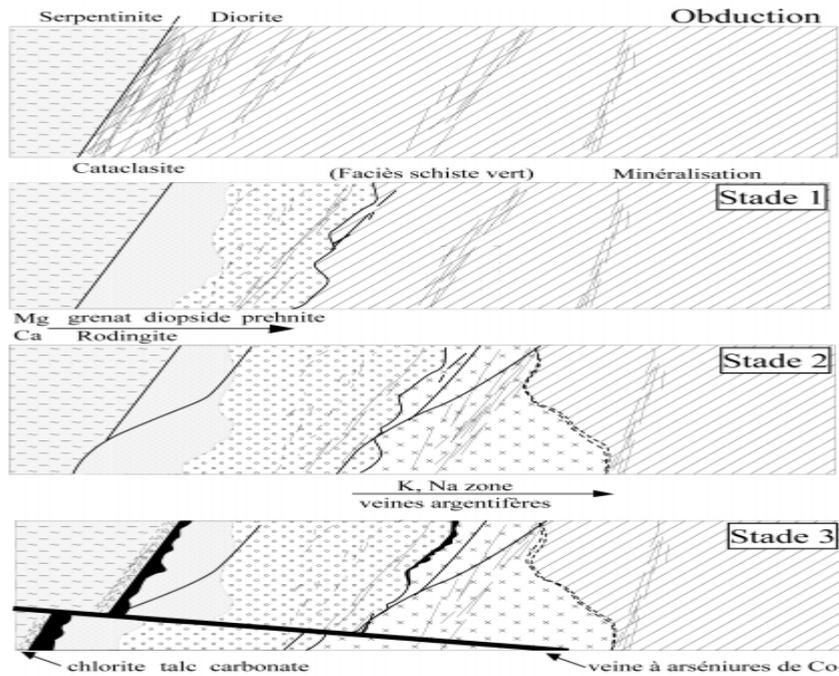


Figure 13: Modèle génétique de la minéralisation selon Leblanc et Lbouabi, (1988).

- Kroutov 1989 propose un modèle dans lequel les minéralisations sont associées au cycle de distension Adoudounien.

- Leblanc 1975 identifie trois stades de minéralisation :

1- serpentinisation avec pré-concentration de Co et As ;

2- altération météorique des serpentines à la fin du précambrien avec concentration de Fe Co As Mn et Ni dans la formation d'Ambed ;

3- bréchification et recristallisation de la carapace silico-carbonaté d'Ambed et piégeage de Co dans les accidents précambriens ou hercyniens.

Zouita (1986), Azizi Samir (1994) et Maacha et al. 1998 s'appuient sur des études structurales et géochimiques (inclusions fluides et isotopes stables) pour proposer un modèle de mélange de pluies exogènes marines et endogènes hydrothermaux.

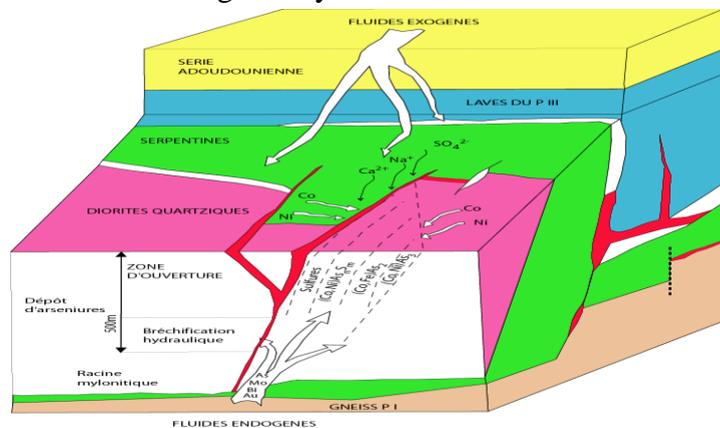


Figure 14: Bloc diagramme présentant la genèse de la minéralisation d'après Maacha (1995)

Ce dernier modèle est remis en cause par En-Naciri (1995), qui n'observe aucun signe de mélange de fluides différents et propose une genèse de la minéralisation par des fluides d'âges hercyniens qui auraient traversé des couches dolomitiques adoudouniennes.

e) Les minerais.

Les minerais du cobalt sont très nombreux et de natures différentes. On le trouve seul sous forme d'oxydes, de carbonates, de sulfures, d'arséniure de soufre ou associé au cuivre ou au nickel :

Les triarséniures :

- La skutterudite.

Les Diarséniures :

- La safflorite.
- La lollingite.

Les sulfoarséniures :

- La cobaltite.
- Arsénopyrite.

Les arséniates :

- La nickéline.
- L'érythrine.
- L'hétérogéinite

f) La Gangue.

Généralement la gangue est formée de quartz et de carbonates (calcite et dolomite) et qui sont associés à des silicates comme le chlorite et le talc.

g) Domaine d'utilisation.

- Dans les alliages, tels que :

- les super-alliages, pour certaines pièces dans les turbines à gaz ;
- les alliages résistants à la corrosion ;
- les carbures;
- les aciers rapides (pour la réalisation des outils de coup) ;
- alliage prothèse dentaire (couronne par exemple) ;
- les aimants et médias d'enregistrement magnétique ;
- comme catalyseur dans l'industrie chimique et pétrolière;
- comme agent séchant dans les peintures et les encres ;
- pour certaines électrodes de batterie d'accumulateur ;

- comme additif alimentaire pour les animaux d'élevage, principalement les ruminants (bovins, ovins et capins) et les lapins, pour permettre la production par leur flore digestive de vitamine B12 ;
- comme matière première pour la production par fermentation bactérienne et vitamine B12 destinée à servir d'additif alimentaire pour animaux d'élevage ou pour l'alimentation humaine. (El hachmi, 2016).

6) Méthodes d'exploitation.

Actuellement, l'exploitation à la mine de Bou Azzer est souterraine. Il se réalise par la méthode dite Tranches Montantes Remblayées (TMR).

La TMR est une méthode qui consiste à découper le gisement en étage d'environ de 25 mètres de hauteur.

Chaque étage sera par la suite de découper en tranches de 4 mètres de hauteur (5 à 6 tranches par étage).

L'exploitation des tranches s'effectue de façon successive de bas vers le haut selon des hauteurs de 4 mètres et de largeur varie de 2,7 à 3,7 mètres selon la nature et la stabilité du terrain en place.

On exploite par tranche de 4 mètres, appelées gradins l'avancement dans ce gradin se fait par bloc élémentaire appelé volée (3m de longueur). L'exploitation de chaque volée, appelée prise de volée (taille).

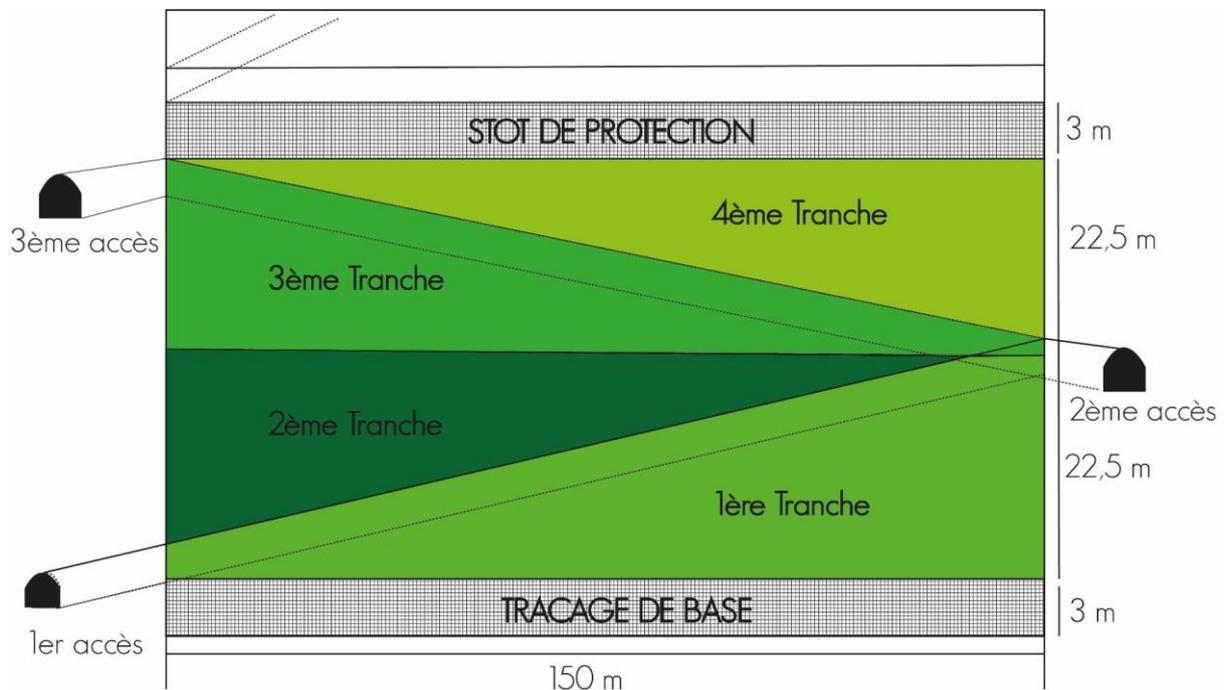


Figure 15 : Exploitation du panneau minéralisé par la méthode TMR.

V. Etude géologique du gisement de Bouissmas.

1) Localisation géographique.

La zone d'étude se situe dans la partie ouest du centre minier de Bou Azzer entre les sites miniers du gisement d'Aghbar et de Tamdrost.

Cette zone est limitée au Nord par les serpentinites du Précambrien II et les laves du Précambrien III vers le sud, à l'extrémité Ouest du gisement on rencontre les leucogranite, et aussi un affleurement des gneiss à proximité du puits principal. Les altitudes varient entre 1400 m et 1000 m. Avec l'absence de la couverture végétale.

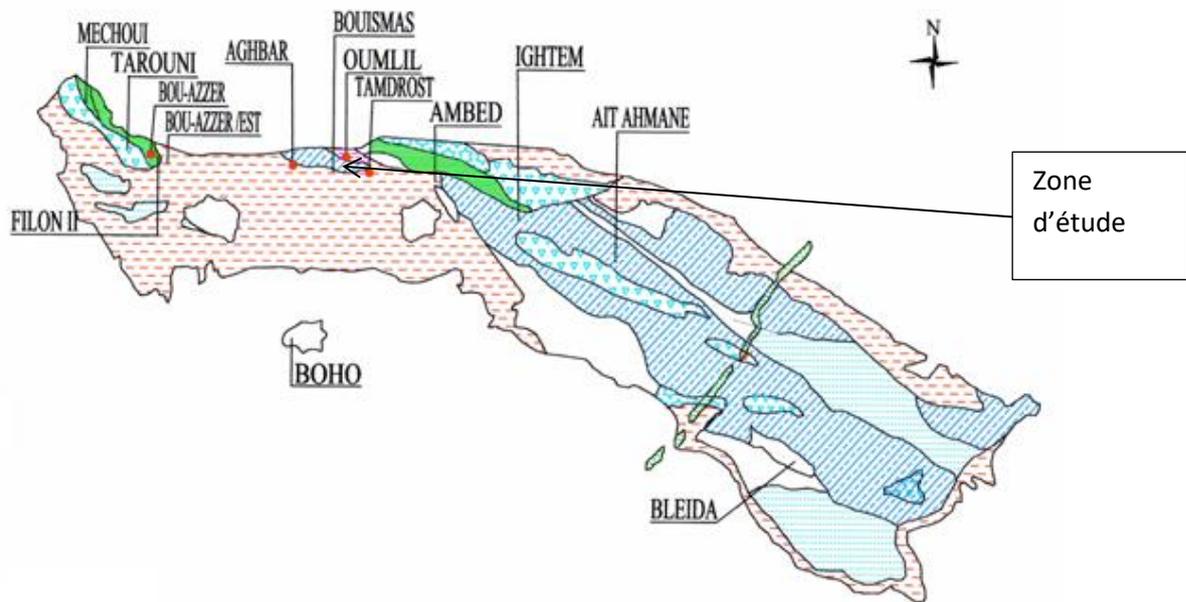


Figure 16 : Situation de la zone d'étude dans la boutonnière de Bou Azzer.

2) Cadre géologique.

Le secteur de Bouissmas montre l'existence de trois ensembles géologiques différents :

- Pr I à gneiss et granite.
- Pr II inférieur à diorite quartzique, Dacites et serpentinites.
- la carapace d'Ambed d'âge Pr II supérieur,
- Pr III composé d'une série volcanique et volcano-sédimentaire, en discordance majeure sur le Pr I et le Pr II.



Photo 1 : A: gneiss ocellée, B: leucogranites, C: serpentinites franches, D: rhyolite,
E : diorite quartzite

Ce secteur se caractérise comme toute la région à l'ouest de la faille d'Ighem par un chevauchement vers le nord du Pr I sur le Pr II .

Dans ce contexte géologique s'est développé des minéralisations filonniennes sécantes sur le contact serpentines et encaissées dans les diorites quartziques du Pr II ainsi que le Pr I,

tandis qu'il existe une minéralisation encaissée dans les serpentines fortement altérées (carbonatation- silicification) au contact avec les diorites. (Rapport inédit CTT, 1991).

Puits de Tamdrost

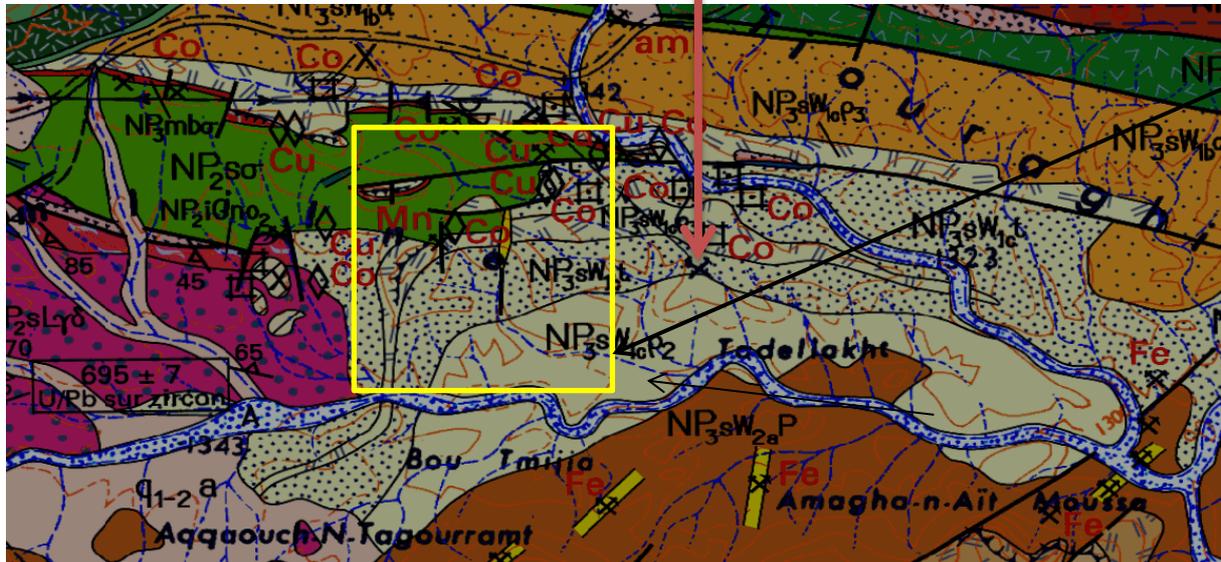


Figure 17 : Carte structurale et géologique de la zone d'étude dans la boutonnière de Bou Azzer. (Notice explicative de la feuille Bou Azzer, 2013)

3) Cadre structural.

Le gisement de Bouissmas correspond à un champs filonien caractérisé par deux direction majeures minéralisées, soit :

- N150-N160 : principale, dextre à pendage fort vert l'Est.
- N-S, N25 : secondaires, senestre à pendage généralement vers l'Ouest .

Le champ filonien percité semble correspondre à un système de failles conjuguées dont l'axe majeur à une direction N150-N160 sur lequel se greffe les axes secondaires (N-S, N25) à différentes côtes dans le gisement.

En dehors de ce champ filonien, d'autres failles décrochantes, senestres, failles plates inverses et normales participent à la structuration du gisement. (Rapport inédit CTT, 1991).

4) Cartographie géologique.

La cartographie géologique est un outil indispensable pour les travaux d'exploration minière. Elle est exécutée à différentes échelles selon l'état d'avancement des travaux et abouti à la réalisation des cartes géologiques indiquant la lithologie des affleurements et les structures tectoniques avec l'emplacement des minéralisations et des indices miniers. Le suivi géologique des compagnes de sondages et des travaux miniers permet de préciser l'enracinement et la géométrie des coprs minéralisés.

Dans le but de comprendre le contexte géologique et métallogénique des indices métalliques du secteur Bouissmas Est et afin d'orienter l'exploration, la carte est indispensable pour la société minière CTT filiale du MANAGEM.

4-1) Cartographie géologique réalisée au 1/500.

C'est une cartographie de détail qui a pour but la représentation sur un plan à l'échelle de 1/500 les différentes informations géologiques observées en surface, telles que les faciès, les structures géologiques (filons, veines...), et les phénomènes géologiques ayant affecté la région.

a) Méthodologie.

Pour effectuer cette cartographie détaillée, nous avons procédé par la meilleure méthode de cartographie : la cartographie par Karkourage. Cette méthode consiste, en un maillage du terrain par des profils de « karkours », reportés sur un papier millimétrique, tout en créant un maillage régulier de 25m², qui permet de reporter avec précision les différentes informations géologiques observées sur le terrain.

○ Réalisation de la grille.

Pour une bonne préservation et utilisation, une grille de Karkours à maille carré de 25m² a été réalisée suivant ces étapes :

- implantation des 4 points (X et Y) extrêmes de la zone à cartographier à l'aide d'un Tachéomètre et un jalonne (appareils de géométrie).
- choix d'un point arbitraire qui va faire l'objet du point de départ du Karkourage.
- réalisation de deux lignes de base orthogonales au Karkour de départ ; une orientée E-W et l'autre N-S, à l'aide d'une boussole et d'une chaîne de 25 m.
- réalisation de la grille à maille carré de 25 m², en se basant sur les deux lignes de base.
- peinture des Karkours par la chaux au fur et à mesure de leur placement.
- levé géométrique topo de la grille effectuée par un Tachéomètre Leica 509 (station totale), et un jalonne, pour avoir les coordonnées (X, Y, Z) : la longitude (Lambert), la latitude



Photo 2 : Levé géométrique des Karkours. A : Jalonne. B : Tachéomètre Leica 509 (station totale).

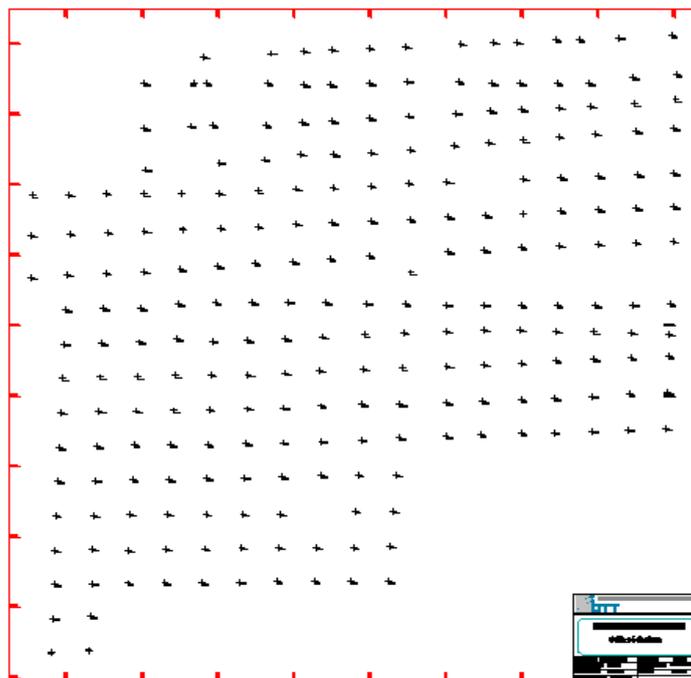


Figure 18 : Grille géologique de la zone Karkourer (Non confirmé)

○ La cartographie géologique (reporting).

Cette étape consiste à la localisation sur terrain et report sur papier millimétré à échelle 1/500, les différents objets et structures géologiques (formations, failles, pendages, ...), gîtologiques (indices, gites et minéralisation), et les travaux miniers (carrières, grattages, et sondages, ...).

Pour ce faire, il y a deux cas (Figure 19) :

→ Premier cas : le point est aligné avec deux Karkours : on mesure avec la chaîne la distance entre le point et l'un des Karkours le plus proche, puis on le reporte sur le papier millimétré en positionnant le Kutsh avec l'alignement des deux points équivalents au Karkours sur le terrain, ensuite on marque la distance à partir du point (équivalent au Karkour) tout en respectant l'échelle (la face 1/500 du Kutsh).

→ Deuxième cas : le point n'est pas aligné avec deux Karkours : on choisit l'un des quatre Karkours du carré ; toujours le plus proche, et on mesure la direction avec la boussole du point par rapport au Karkour le plus proche, puis on mesure la distance avec la chaîne entre le point désiré et le Karkour choisit. On reporte sur le plan la direction à l'aide d'un rapporteur à partir du point équivalent au Karkour dans le terrain et on marque la distance dans le sens de direction en respectant l'échelle 1/500 dans le Kutsh.

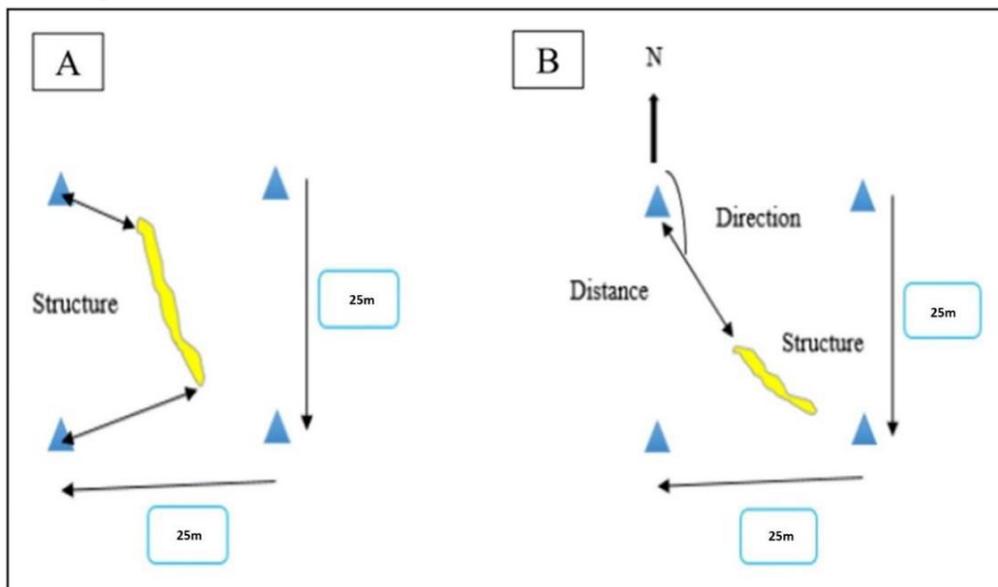


Figure 19 : Exemples de Reporting A : premier cas ; B : deuxième cas.

b) La carte réalisée.

Après le report de l'ensemble des informations et données collectées sur les papiers millimétrés, on superpose ces derniers, sur un plan propre de même grille corrigée par levé géométrique, à l'aide d'une table lumineuse qui permet cette superposition avec moins d'erreur. Puis, on colore à la main la carte géologique réalisée. Ensuite, on termine par la digitalisation de la carte à l'aide d'une combinaison entre un scanner et un logiciel AutoCAD. Et en fin, une carte géologique (Figure 20) est le fruit de ce travail.

d'une puissance variable, appelée carapace d'Ambed (Leblanc, 1975). Au niveau du contact, sud du massif de serpentinites, on observe la présence d'un corps très silicifiés et oxydés qui correspond aux jaspes (équivalent de la série d'Ambed).

- ❖ au-dessus, c'est la couverture des laves du précambrien III qui repose sur les serpentinites, alors que cette dernière est décalée par des failles à composantes senestres.
- ❖ les serpentines carbonatées sont observables presque sur toutes les bordures du massif de serpentinites rencontrées dans la zone d'étude.
- ❖ dans la partie occidentale, on trouve une faille orientée N-S avec un jeu senestre. Cette faille est minéralisée en surface et exploitée sous forme de filon cobaltifère dans les niveaux -200m et -250m, -300m, -350m, -390m, -430m, c'est la fameuse structure connue sous le nom AY.
- ❖ aux alentours de cet accident, on a pu observer une série de failles orientée N-S et E-W.
- ❖ dans la partie centrale, nous avons cartographié une structure à quartz orientée N-S, qui ressemble à une structure en queues de cheval avec une puissance allant jusqu'à 2m et avec une teneur de 0.7% de cobalt d'après un ancien sondage réalisé par les anciens travaux. Cette structure d'origine hydrothermale, est encaissée dans les laves du Pr III et affleure au niveau du contact des serpentinites et les laves du Pr III, sous forme de filon. A ce niveau, cette dernière est décalée par une faille décrochante à jeu senestre.
- ❖ du point de vue structural, la zone cartographiée est affectée par deux familles principales de failles :
 - des failles de direction N-S sont à composantes senestre et qui décale les failles E-W.
 - des failles E-W sont à composantes dextre.

Ces failles sont à jeux multiples et polyphasées, senestre, dextre, inverse et normale.

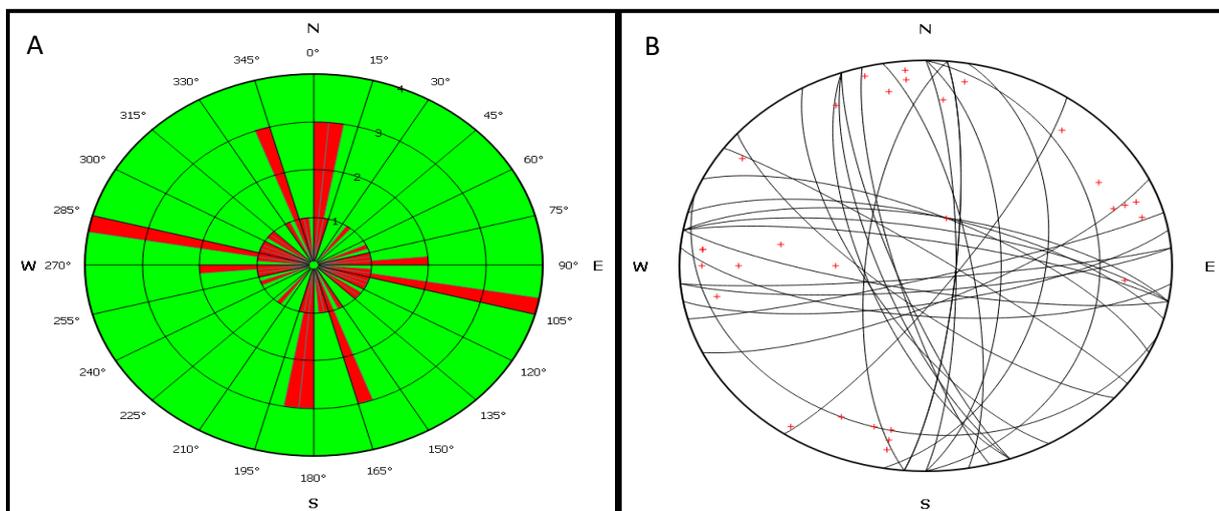


Figure 21 : Rosaces directionnelles des failles affectant la zone d'étude (A), représentation cyclographique et polaire de ces failles (B).

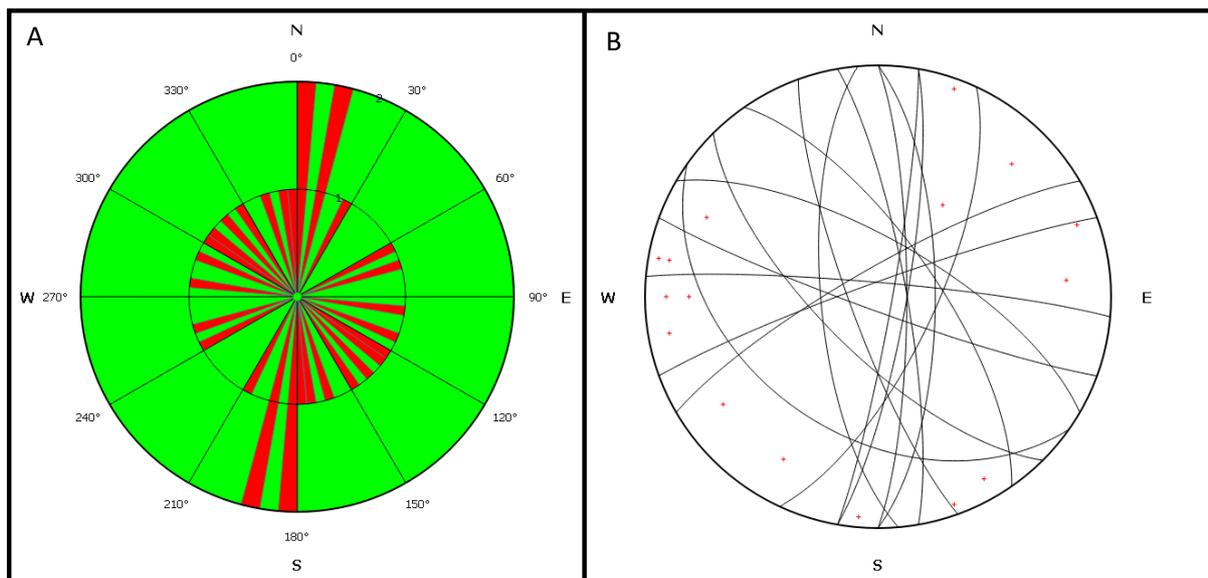


Figure 22 : Rosaces directionnelles des diaclases affectant la zone d'étude (A), représentation cyclographique et polaire de ces diaclases (B).

La zone est intensément fracturée par plusieurs familles de diaclases qui ont été mesurées et dont la direction principale est : N-S.

Age des déformations	direction des contraintes	structures tectoniques	minéralisations associées
8 Plio - Quaternaire ?			
7 Mésocène - Cénozoïque ?			quartz + oligiste
6 Permien			quartz + cobalt + carbonates + cuivre (rare)
5 Hercynien			cobalt + carbonates
4 post - Adoudounien			quartz gris-noir amas de cobalt + carbonates cobalt filonien
3 Adoudounien et PIII			
2 post-PII anté-PIII			quartz laiteux noirâtre + carbonates et cobalt (rares)

Figure 23 : tableau synthétique des états de contraintes retrouvées dans les différents gisements de Bou Azzer. (d'après Hinaje.S, 1995)

d) Etude macroscopique des faciès lithologiques de la zone étudiée.

La cartographie du secteur d'étude a montré une diversité lithologique et a permis d'identifier des formations à caractères cristallins, volcano-sédimentaires.

Le secteur est dominé essentiellement par l'affleurement des formations du groupe de Bou Azzer constituées des terrains d'âge précambrien II (les serpentinites), et d'âge précambrien III (les laves du Pr III).

Globalement, au Nord du secteur d'étude, affleure le massif de serpentinites, et limité vers le Sud par les laves PIII.

Le secteur est caractérisé aussi par la présence d'un système filonien si important, à savoir des filons de quartz, et de jaspes.

i. Les laves PIII.

Les laves Pr III sont des roches magmatiques volcaniques attribuées entièrement au Néoprotérozoïque terminal et appartiennent au complexe volcano-sédimentaire appelé groupe de Ouarzazate sur la carte géologique de Bou Azzer au 1/100 000 (Choubert, 1963 ; Leblanc, 1981). D'après Choubert (1963), le Néoprotérozoïque terminal est caractérisé par un volcanisme à prédominance rhyolitique avec une puissance très variable. Des mouvements tectoniques sont contemporains de ces dépôts volcaniques qui sont séparés par de légères discordances qui permettent de séparer le Groupe de Ouarzazate en deux sous-étages :

- Un étage moyen caractérisé par un magmatisme rhyolitique ;
- Un étage supérieur caractérisé par l'alternance de rhyolites d'andésites.

Les laves Pr III présentent le faciès le plus dominant dans le prospect de Bouissmas, elles occupent le sud et la partie centrale du domaine d'étude, elles sont généralement massives et montrent une diversité de faciès volcaniques dont certains sont difficiles à identifier sur le terrain à l'œil nu; on trouve essentiellement les tufs pyroclastiques rhyolitiques qui s'agit d'un tuf polygénique à fragments lithiques de taille infra-centimétrique, qui montre aussi des passées riches en cristaux de plagioclase et de quartz . Et les rhyoignimbrites, ce sont des roches massives, marron en cassure fraîche, présentent une patine orangée. Elles présentent une texture vitroclastique fiammée avec un faible pourcentage de phénocristaux (20 à 25%). Ce sont des plagioclases, des quartzs corrodés et des pyroxènes transformés en chlorite.

Alors qu'on trouve aussi les rhyolites qui ont une texture très fine, avec peu de clastes et de minéraux (feldspath alcalin, quartz) et sans xénolites de socle. Le fort écoulement laminaire de ces ignimbrites se traduit par une coalescence des fragments de verre fondu formant des masses de verre lenticulaires, les fiammes et des bulles de verre formant des lithophyses remplies de minéraux secondaires. Même que les rhyodacites qui sont une roche volcanique extrusive de roche dont la composition est intermédiaire entre la dacite et la rhyolite. Des phénocristes de sodium, riches en plagioclase, sanidine, quartz, et biotite. La rhyodacite se trouve souvent sous forme de dépôts volcaniques pyroclastiques explosifs.



Photo 3 : A : Les rhyolites ou rhyodacites, B : Les tufs porphyroclastiques rhyolitiques à éléments lithiques.

ii. Les serpentinites.

Les serpentinites sont des roches vert sombre à grains noirs et fins. Ces roches se forment par hydratation des roches ultrabasiques riches en olivine (péridotites, harzburgites, dunités...) à des températures relativement basses. Les minéraux primaires riches en Mg, olivine, Orthopyroxènes et Clinopyroxènes sont remplacés par : des phyllosilicates hydratés à Mg (les serpentines), magnétite, et dans quelques cas ; la brucite $[Mg(OH)_2]$. La combinaison typique de ces minéraux produits donne une roche vert sombre à noire grain fin traversée par des veines de chrysotile ou calcite dont la densité est significativement plus basse que celle des péridotites primaires et dont la susceptibilité magnétique est beaucoup plus élevée (Deer et al. (2009)).

Les serpentinites constituent la principale roche encaissante de la minéralisation cobaltifère et sont qualifiées de métallotecte lithologique à l'échelle du district. Elles représentent les terrains de PII inférieur. L'affleurement principal des serpentinites se localise dans la partie Nord de la zone d'étude qui correspond au bord sud du massif de serpentinites d'Oumlil. Elles sont en général massives franches ou sombres, et deviennent de plus en plus carbonatées lorsqu'on s'éloigne du centre vers la périphérie.

Sur le terrain on distingue assez facilement différents types de serpentinites en fonction de la couleur, du débit, des minéraux visibles macroscopiquement (amiante-chrysotile, fantômes ou filonnets de magnétite...). On a trouvé des serpentinites qui sont vertes ; sont les serpentinites franches de couleur verte de pistache, des serpentinites qui sont vertes jaunâtres, celles qui sont sombre verdâtres et celles qui sont un petit peu noirâtres tachetées, et en fin les serpentinites talcifiées et les serpentinites carbonatées.

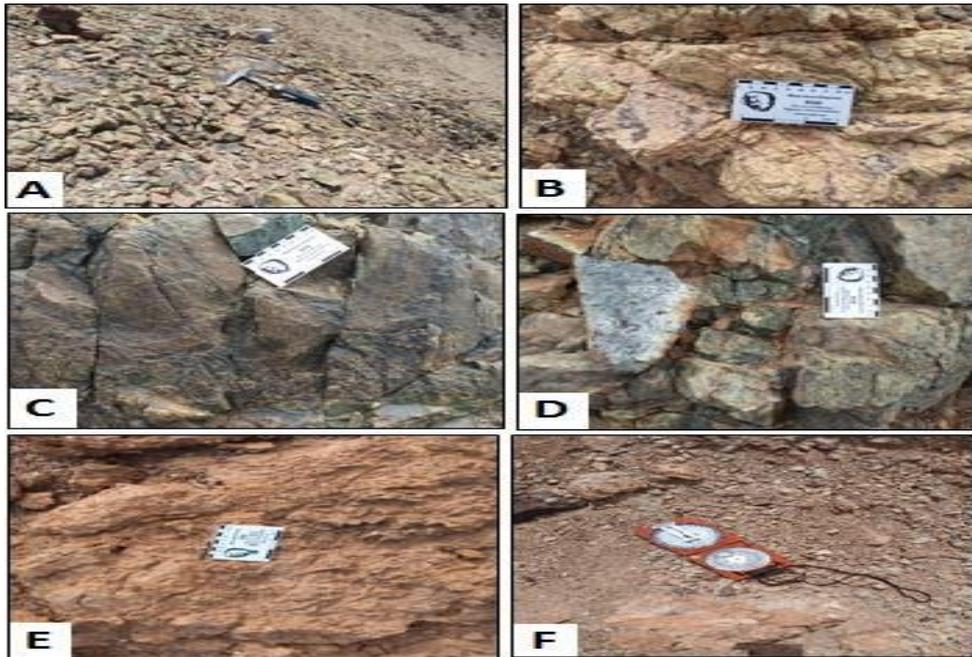


Photo 4 : différents types de serpentinites ; A : serpentinites franches, B : serpentinites vertes jaunâtres, C : serpentinites sombres verdâtres, D : serpentinites vertes noirâtres tachetées, E : serpentinites talcifiées, F : serpentinites carbonatées.

Dans ce qui suit, nous allons essayer de décrire les principales catégories de ces serpentinites, tout en se basant sur les critères décrits au-dessus :

➤ Les serpentinites franches.

Les serpentines franches sont de couleur verte de pistache, recoupés par des fibres de chrysotiles ($Mg_3 (Si_{2-x} O_5) (OH)_{4-4x}$) de taille centimétrique, poussant tantôt perpendiculairement et tantôt parallèlement aux épontes.(Photo 5)



Photo 5 : A : Cassure fraîche de serpentinites franches. B : Chrysotile de texture fibreuse dans les serpentinites franches.

➤ Les serpentinites vertes jaunâtres.

Les serpentinites vert jaunâtres étaient à l'origine de couleur vert sombre, elles ont acquis la couleur jaunâtre sous l'effet de l'altération.

➤ Les serpentinites sombres verdâtres.

Les serpentinites sombre verdâtres sont massives et dures, et composées d'une matrice vert sombre, dans laquelle sont disséminées des taches claires et autres noirâtres. Sur cassure fraîche, on observe des minéraux mauves, il s'agit de carbonates chromifères appelés « Stichtites » qui viennent de l'altération des chromites. Les chromites saines sont rares voir absentes. (Photo 6).



Photo 6: Serpentinite sombre verdâtre avec des taches noirâtres

➤ Les serpentinites carbonatées.

Ce sont des masses carbonatées associées aux serpentinites dont elles sont issues par une transformation hydrothermale ultime (présence des reliquats et de texture rubanée de serpentinites). Elles constituent un réceptacle favorable aux minéralisations cobaltifères. (Mâacha, 2013).

Dans le secteur de Bouissmas, ces serpentinites sont dures, même elles sont altérées. Elles occupent toutes les bordures de contact de la zone d'étude. (Photo 7).



Photo 7 : Serpentinite Carbonatée très altérée. B : serpentinite Carbonatée saine.

iii. Les structures quartzeuses.

Nous avons mis en évidence, également, un réseau de filons de quartz, de couleur blanchâtre, rencontré le plus souvent dans les laves Pr III. Ces structures quartzeuses présentent, en général, un fort pendage et une direction variable allant de N0 à N25, avec une puissance variable ; centimétrique (lentilles, veinules, fentes...) à métrique (filons). Par endroit le quartz se présente sous forme de cristaux bipyramidés incolores, et également, sous forme géodique translucide.



Photo 8 : Filon de quartz avec une puissance de 70 cm orienté N-S.

e) Etude structurale de la zone cartographiée.

L'objectif principal de cette étude est d'observer et de comprendre les différentes déformations et structures tectoniques rencontrées dans la zone d'étude. Elle a été basée sur la récolte de plusieurs mesures de structures sur terrain.

Afin de faire une interprétation qualitative des mesures des structures prises dans la zone d'étude, on a levé sur terrain plusieurs mesures de failles, filons, diaclases (direction et pendage). Ces mesures ont été traitées au moyen du logiciel, qui sert à valoriser les mesures effectuées, tout en les représentant, schématisant, et analysant leur système le plus abondant.

-Les failles.

Le traitement statistique des directions et pendages des différentes failles qui ont affecté le secteur de Bouissmas Est, a permis de distinguer une famille principale de direction générale N-S, comprise entre $N0^\circ$ et $N15^\circ$ et $N165^\circ$ et $N85^\circ$. Elle correspond essentiellement à la structure quartzo-carbonatée, et aussi la plupart des structures à remplissage quartzique. Elles peuvent être utilisées comme un guide de recherche lors de l'exploration. Une deuxième famille est aussi fréquente, mais moins dominante que la première, elle a une direction générale E-W.

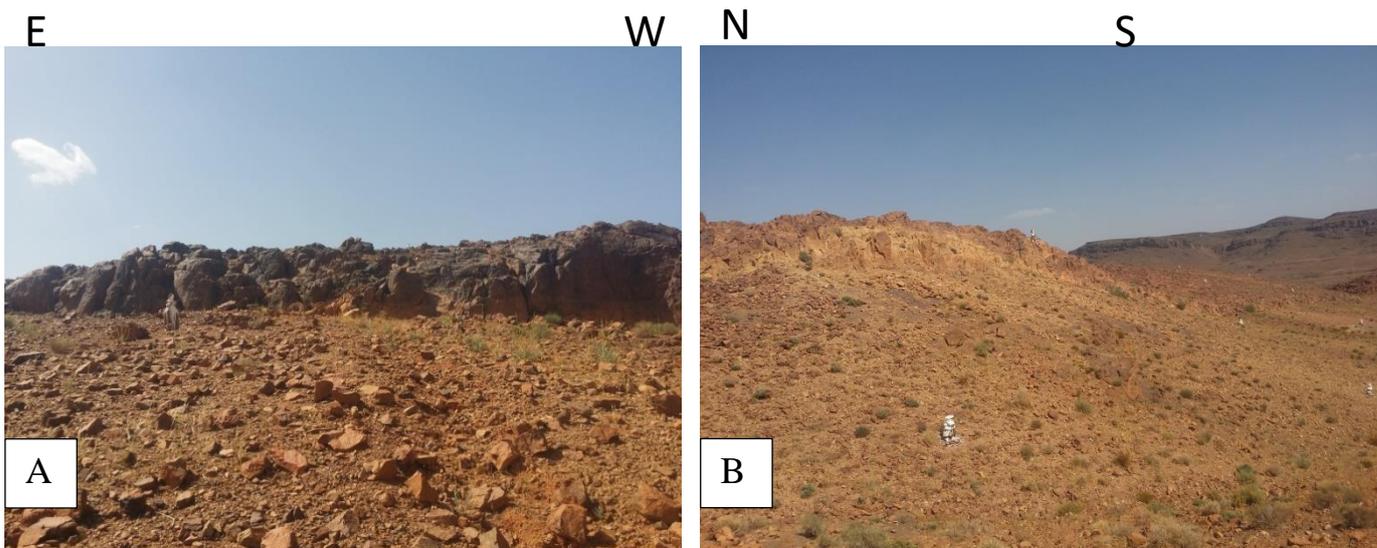


Photo 9 : A : faille orientée $N86$ avec un pendage de 85° vers le sud, B : faille orientée $N160$ avec un pendage de 80° vers l'ouest

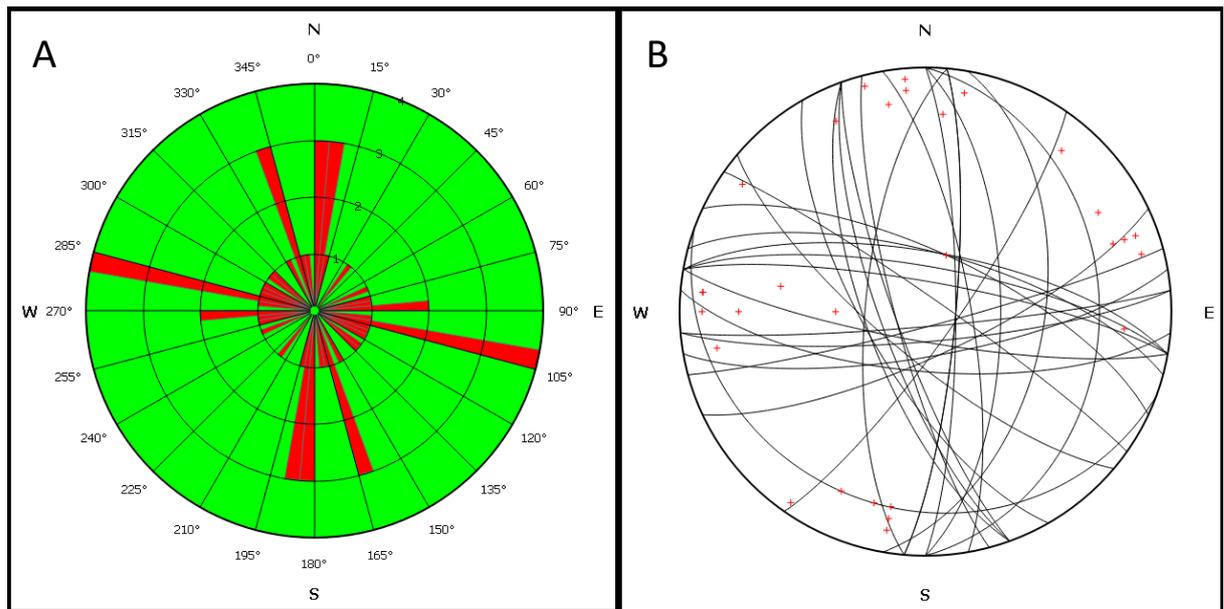


Figure 24 : Rosaces directionnelles des failles affectant la zone d'étude (A), représentation cyclographique et polaire de ces diaclases (B).

- les phases panafricaines B_1 et B_2 sont responsables de la direction WNW-ESE ;
- la direction subméridienne est probablement d'âge hercynien.

- Diaclases.

L'ensemble de faciès rencontrés dans notre zone d'étude sont affectés par des diaclases avec plusieurs familles de directions et pendages variés. Les mesures et les observations systématiques indiquent que :

- Les laves PIII : sont affectées par plusieurs diaclases multidirectionnelles, dont on distingue ; deux grandes familles ; $N05^\circ$, $N10^\circ$. Avec celles de direction N-S sont les plus dominantes. Ces fractures ne présentent aucun remplissage.

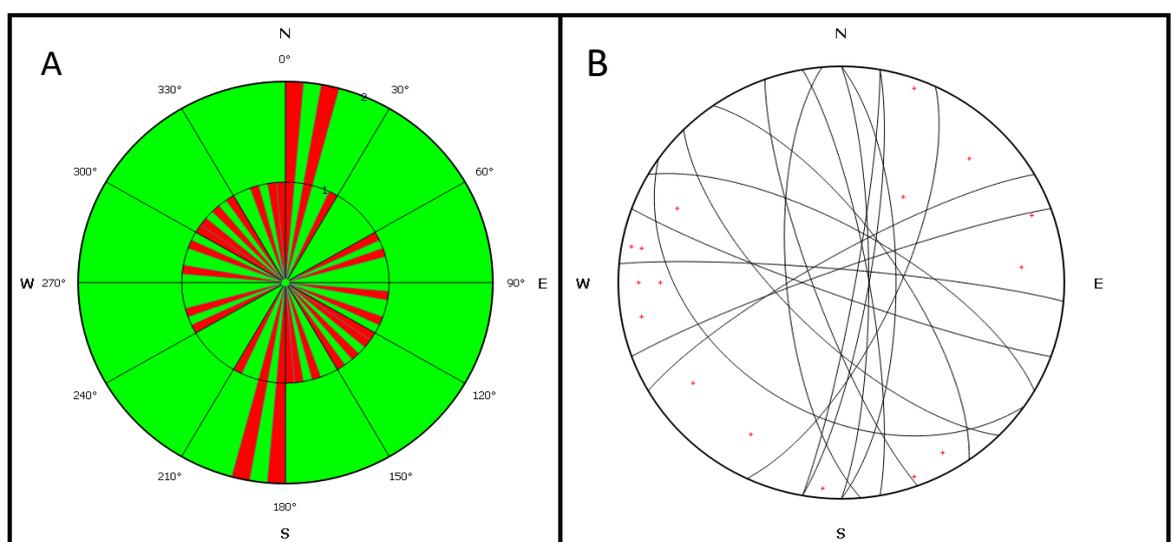


Figure 25 : Rosaces directionnelles des diaclases affectant la zone d'étude (A), représentation cyclographique et polaire de ces diaclases (B).

D'après les mesures collectées sur le terrain, on a pu établir une analyse microtectonique à l'aide d'un logiciel :

L'analyse microtectonique de la fracturation que nous avons effectuée dans notre zone d'étude nous a permis de mettre en évidence les phases tectoniques suivantes :

- Une phase compressive orientée NW-SE responsable du jeu décrochant dextre des failles orientées E-W. Le régime tectonique est compatible avec un état de contrainte tel que l'axe σ_1 est orienté N132° et l'axe σ_3 est orienté N31°.

Le rapport de forme $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) = 0,6 \rightarrow \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$.

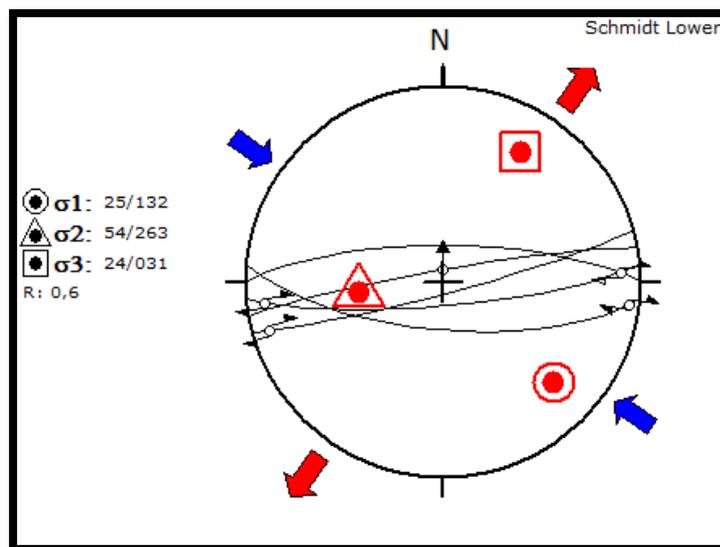


Figure 26 : Analyse de la fracturation et détermination des axes de contraintes lors de la compression NW-SE.

- Une phase compressive orientée E-W responsable du jeu décrochant senestre des failles orientées NW-SE et du jeu inverse des failles orientées N-S. Le régime tectonique est compatible avec un état de contrainte tel que l'axe σ_1 est orienté N90° et l'axe σ_3 est orienté N00°.

Le rapport de forme $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ varie entre 0,4 et 0,6 $\rightarrow \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$.

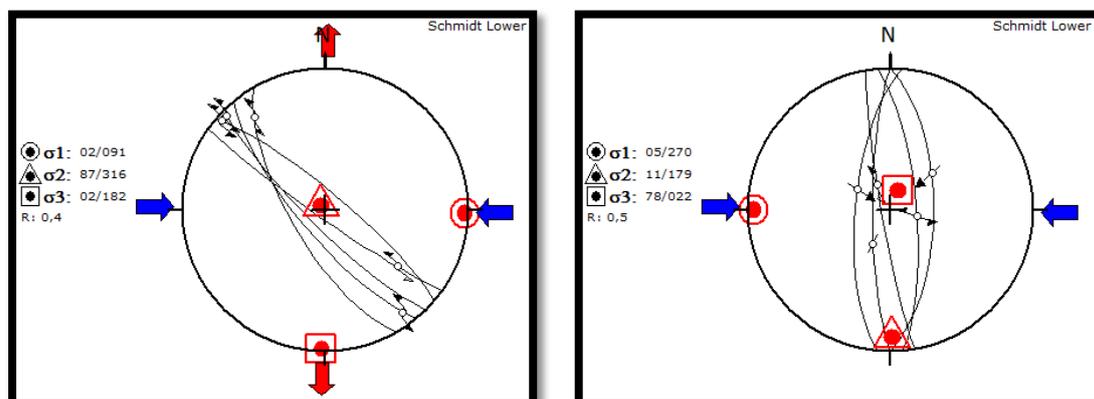


Figure 17 : Analyse de la fracturation et détermination des axes de contraintes lors de la compression E-W.

- Une phase extensive tardive orientée E-W responsable du jeu normal des failles orientées N-S. Le régime tectonique est compatible avec un état de contrainte tel que l'axe σ_1 est sub-verticale et orienté N22° et l'axe σ_3 est horizontal et orienté N90°.

Le rapport de forme $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) = 0,6 \rightarrow \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$.

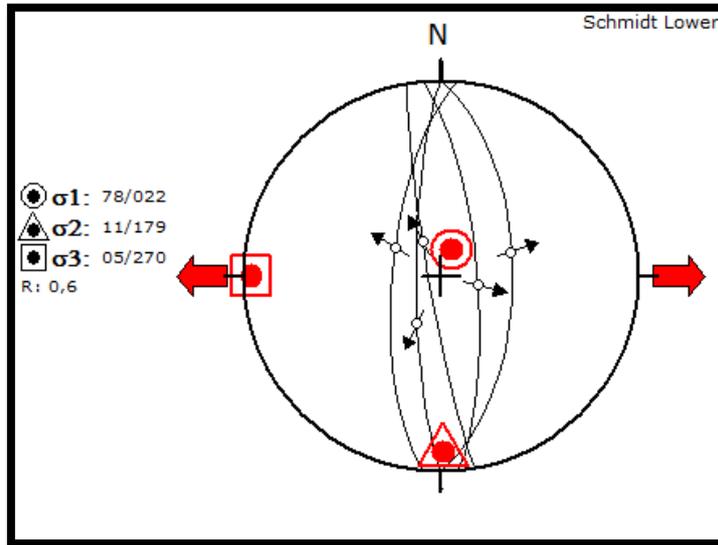


Figure 28: Analyse de la fracturation et détermination des axes de contraintes lors de la phase extensive orientée E-W.

Régime tectonique	Structures associées

Tableau 1: Tableau récapitulatif des paléo-contraintes mises en évidence lors du présent travail.

5) Echantillonnage.

a) Principe d'échantillonnage.

La méthode adoptée est celle d'écaillage; elle consiste à échantillonner le long de chaque structure en mélangeant tous les prélèvements en un seul échantillon. Si la structure présente après des résultats positifs on recommence l'échantillonnage, mais cette fois on échantillonne la structure par saignées, c'est à dire prélever le long de la puissance de la structure avec une maille bien déterminée.

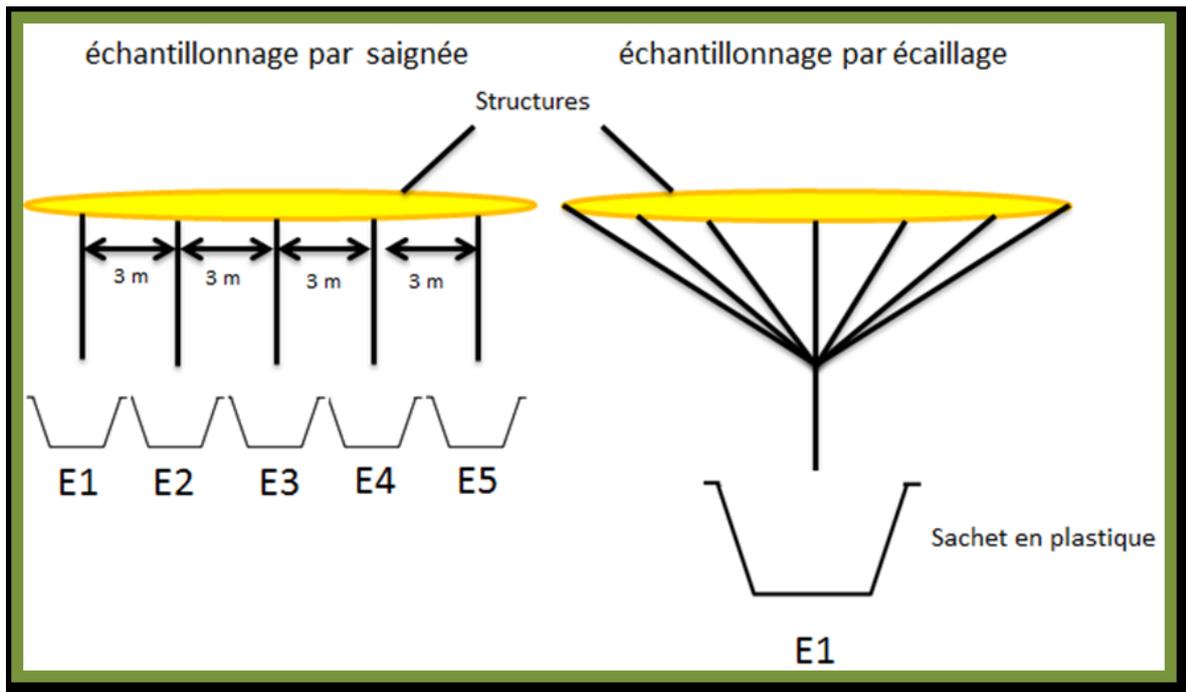


Figure 29 : Schéma illustrant la méthode d'échantillonnage.

L'échantillon est prélevé à l'aide d'un marteau, puis référencé sur les structures qui sont elles-mêmes numérotées. Son numéro est ensuite reporté sur la carte géologique contenant les structures. Ensuite l'échantillon est mis dans un sachet en plastique étiqueté pour éviter toute sorte de contamination.

Les échantillons prélevés au terrain sont envoyés à l'atelier de la préparation mécanique, où ils subissent un séchage, puis un broyage et un concassage à fin d'obtenir une granulométrie fine. Ils sont ensuite transmis au laboratoire d'analyses de Bou-Azzer.

b) Les résultats d'échantillonnages.

Date		26/05/2019						
Chantier		Bouismas						
Désignation	Réf.labo	les elements demandes						
		Co T%	Fe%	AS%	Ni%	Cu%	Ag g/t	Au g/t
E1 TV	AS 25982	0.010	0.15	0.044	0.0024	0.0030	0	0.00
E2 TV	AS 25983	0.0028	0.16	0.020	0.0019	0.0030	0	0.00
E3 TV	AS 25984	0.0011	0.12	0.012	0.0011	0.0028	0	0.00
E4 TV	AS 25985	0.0011	0.15	0.0090	0.0012	0.0030	0	0.00
E5 TV	AS 25986	0.0017	0.28	0.011	0.0018	0.0033	0	0.00
E6 TV	AS 25987	0.0043	0.15	0.018	0.0019	0.0032	0	0.00
E7 TV	AS 25988	0.0025	0.83	0.020	0.0026	0.0034	0	0.00
E8 TV	AS 25989	0.0014	0.19	0.010	0.0013	0.0028	0	0.00
E9 TV	AS 25990	0.0073	0.54	0.018	0.0051	0.0073	0	0.00
F1 TV	AS 25993	0.0028	0.41	0.034	0.0020	0.0038	1	0.00
F2 TV	AS 25994	0.0024	0.26	0.027	0.0018	0.0034	0	0.00
F3 TV	AS 25995	0.0014	0.15	0.024	0.0057	0.0031	0	0.00
F6TV	AS29368	0.0030	0.14	0.0270	0.0016	0.0044	0	0.00
F4 TV	AS 25996	0.0053	0.12	0.068	0.0063	0.0037	0	0.00
Re11 TV	AS 25449	1.27	6.44	6.88	0.32	0.0061	1860	0.58
Re12 TV	AS 25451	6.41	5.74	35.46	1.94	0.036	23	1.80
Re13 TV	AS 25453	7.06	2.96	43.31	2.85	0.019	27	5.88
Re14 TV	AS 25455	3.10	11.13	31.01	0.13	0.0085	10	0.23
Re15 TV	AS 25457	3.94	10.93	34.71	0.34	0.013	10	0.68
Re1 TV	AS 25461	0.97	11.44	23.72	0.089	0.016	91	0.00
Re2 TV	AS 25463	0.22	7.04	9.24	0.036	0.0081	11	0.00
Re3 TV	AS 25465	0.057	4.49	2.61	0.021	0.0050	3	0.00
Re5 TV	AS 25467	1.28	4.70	11.04	0.15	0.010	9	0.20
Re6 TV	AS 25469	1.78	10.18	23.16	0.63	0.014	111	0.58
Re7 TV	AS 25471	4.60	7.35	29.46	2.38	0.047	36	2.75
Re8 TV	AS 25473	3.29	9.08	31.37	1.03	0.013	15	1.73
Re9 TV	AS 25475	3.62	5.83	22.87	1.23	0.015	16	3.05
T1 TV	AS29365	0.0042	0.42	0.0290	0.017	0.0053	0	0.53
T2 TV	AS29366	0.0170	0.9	0.0200	0.015	0.0100	0	0.15
T3 TV	AS29367	0.0074	0.53	0.2000	0.011	0.2000	1	0.00

Tableau 2 : résultats d'échantillonnage

6) Levés géologiques dans les travaux miniers du secteur Bouissmas.

✓ Niveau -350 m.

Les levés géologiques dans le niveau -350 m, montre que la minéralisation est sécante sur le contact serpentinites et diorites quartziques avec un faible pendage vers le sud orienté NE-SW, alors qu'on trouve aussi la minéralisation encaissée dans les serpentinites d'âge PII inférieur.

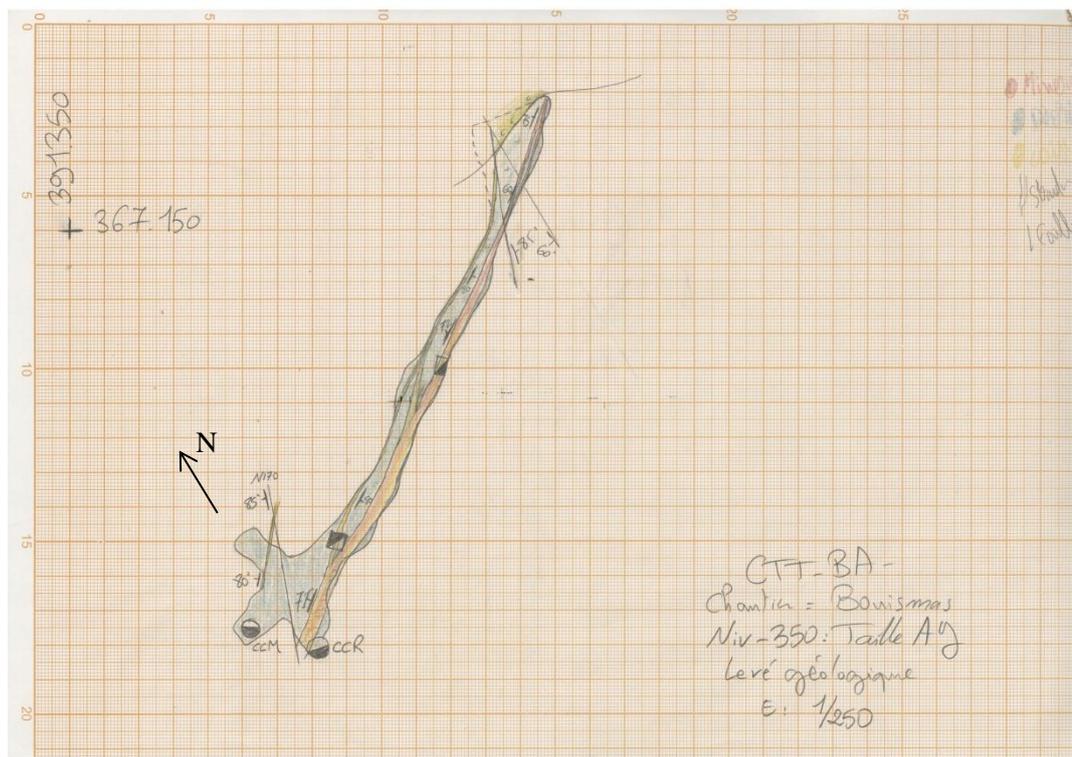
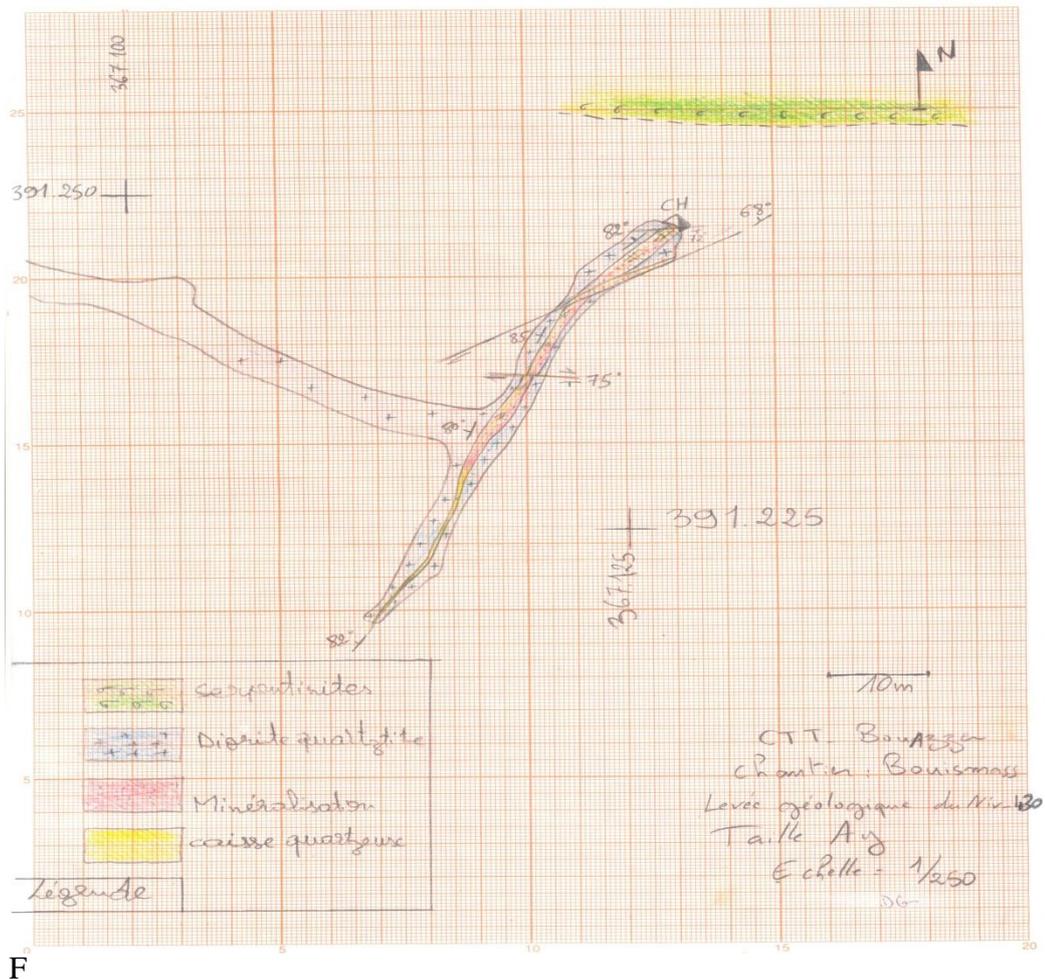


Figure 30 : Levé géologique de la taille AY du niveau -350 m.

Les corps minéralisés se représentent sous forme de structures sécantes au contact entre les serpentinites et les diorites quartziques, de direction moyenne NE-SW et de puissance généralement faible (1m au maximum). D'autres structures encaissées dans les diorites quartziques, présentent une direction E-W d'une puissance de 20cm.

✓ Niveaux -430 m.



F

Figure 31 : Levé géologique de la taille AY du niveau -430 m.

Les levés géologiques dans le niveau -430 m, montre que la minéralisation est orientée vers le contact serpentinites et diorites quartziques, alors qu'on trouve aussi la minéralisation encaissée dans les diorites quartzites d'âge PII inférieur.

Les corps minéralisés se représentent sous forme de filon orienté NE-SW, alors que ce dernier est traversé par deux failles à composantes dextre, vu que la minéralisation est déposée en amas, vers le SW, on remarque l'absence de la minéralisation et la présence de la caisse quartzo carbonatée.

7) Présentation de la coupe réalisée.

Une coupe géologique est une représentation, selon une section verticale, des terrains cachés en profondeur dont on ne connaît que la partie affleurante.

Une coupe géologique est généralement prise perpendiculairement à la direction des structures géologiques.

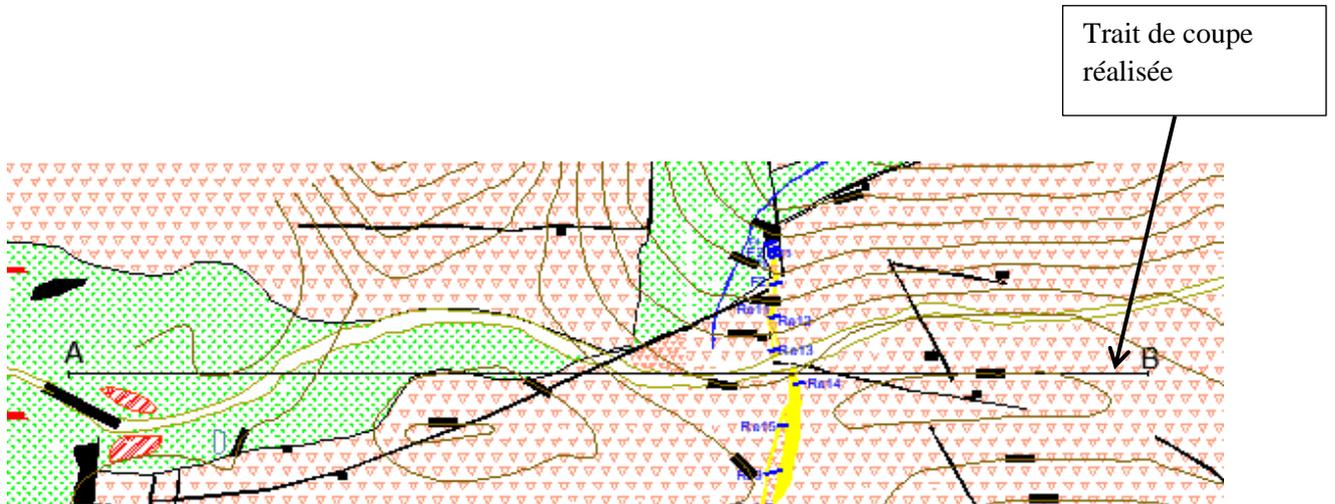


Figure 32 : Trait de la coupe réalisée

a) Coupe réalisée.

La coupe transversale orientée E-W a dévoilé que la zone d'étude est subdivisée en deux unités structurales :

- Une unité à l'Est constitué généralement par des laves du PIII.
- L'autre à l'Ouest présenté par des serpentines.
- La zone de contact est sous forme d'un contact faillé à pendage vers le SSE d'où les laves du PIII sont discordantes sur les serpentinites.
- La coupe montre ainsi un filon minéralisée avec un pendage vers l'Ouest.

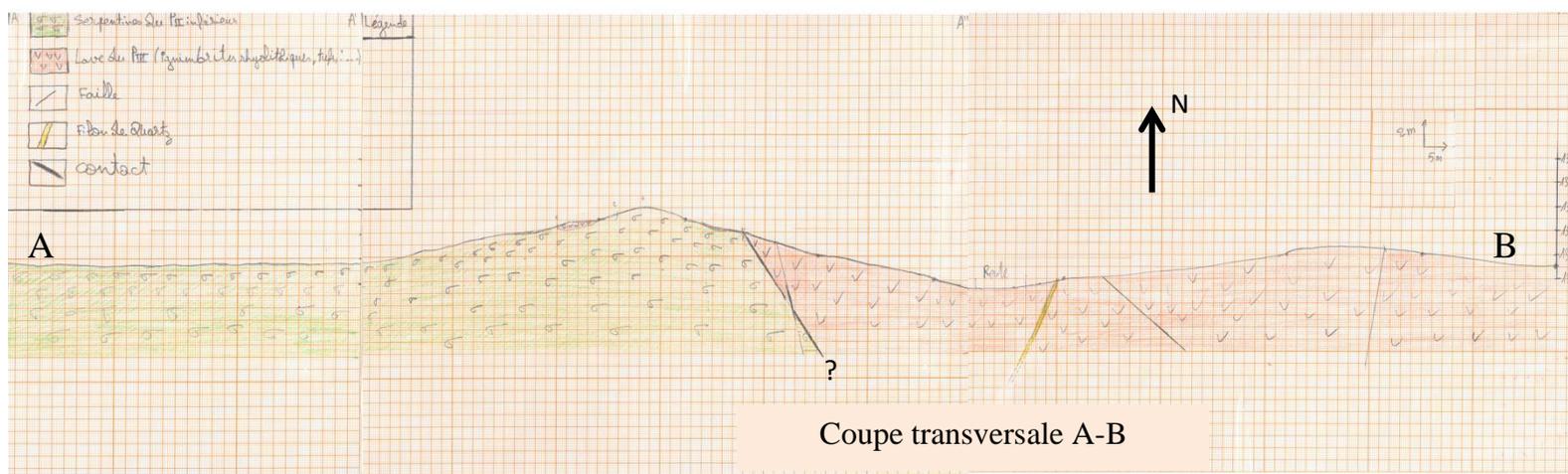


Figure 33: coupe transversale A-B.

8) Conclusion.

Ce travail de PFE Licence consiste à une étude poly-disciplinaire de géologie minière, effectuée dans le gisement de Bouissmas qui fait partie du district minier de Bou Azzer El Graara. Nous avons réalisé une cartographie détaillée à l'échelle de 1/500, en surface du gisement de Bouissmas Est. Cette cartographie est nécessaire pour l'exploration et l'exploitation minières.

Du point de vue pétrographique la zone est constituée par différents types de faciès qui sont ; les serpentinites du PII inférieur (serpentines franches et serpentines carbonatées), la carapace jaspo-carbonatée du PII supérieur recouvrant les serpentines, les laves du PIII essentiellement des rhyolites, ignimbrites rhyolitiques à éléments lithiques, les dacites et les andésites.

Les principales structures minéralisées ont une direction moyenne N-S, avec un pendage moyen de 75° vers l'Ouest. Ces structures correspondent à des failles à jeu polyphasé dont les remplissages minéralisés montrent également un polyphasage métallogénique. Ces minéralisations cobaltifères provenant des serpentines (péridotites altérée), se sont mises en place par le biais d'un hydrothermalisme minéralisateur divisé en plusieurs phases.

Le terrain est affecté par une tectonique cassante et très intense, qui arrête parfois les structures minéralisées et les décale. Cette tectonique se manifeste suivant deux familles de failles dont les directions moyennes sont N-S et E-W.

Les jeux multiples de ces failles sont dus à plusieurs phases et épisodes tectoniques qui appartiennent aux orogénèses panafricaines et/ou hercynienne et même atlasique.

Notre travail consiste à :

-la réalisation d'une carte géologique de la surface dans le chantier de Bouissmas Est à une échelle 1/500, représentant les faciès lithologique et les structures minéralisées ;

-une étude structurale dans la zone de Bouissmas Est basée sur l'analyse des structures cassantes minéralisées et non minéralisées (stériles) ;

-la réalisation d'une coupe transversale (E-W) traversant la zone d'étude

-l'échantillonnage des structures minéralisées ;

-la réalisation de deux levée de la taille au niveau -350m et au niveau -430.

Liste des figures

Figure 1 : Structure de MANAGEM GROUP

Figure 2 : Subdivision des domaines structuraux Marocain.

Figure 3 : Situation de l'Anti-Atlas. A : mosaïque de vue satellite. B : carte géologique simplifiée.

Figure 4 : Evolution géodynamique de l'Anti Atlas durant le Néoprotérozoïque.

Figure 5 : Carte structurale de l'Anti Atlas.

Figure 6 : Localisation des mines de l'Anti-Atlas central décrites dans cette section, reportées sur la Carte routière et administrative du Maroc.

Figure 7: Localisation de la boutonnière de Bou-Azzer.

Figure 8 : Carte géologique de la boutonnière de Bou-Azzer- El Graara

Figure 9 : Les ensembles géologiques de la boutonnière de Bou Azzer- El Graâra (sans échelle)

Figure 10 : Coupe lithostratigraphique synthétique au niveau du secteur Bouismas-Oumlil

Figure 11 : synthèse des travaux chronostratigraphique des terrains de l'Anti-Atlas.

Figure 12: Schéma structural de la boutonnière de Bou Azer-El Graara.

Figure 13: Modèle génétique de la minéralisation.

Figure 14: Bloc diagramme présentant la genèse de la minéralisation.

Figure 15 : Exploitation du panneau minéralisé par la méthode TMR.

Figure 16 : Situation de la zone d'étude dans la boutonnière de Bou Azzer.

Figure 17 : Carte structurale et géologique de la zone d'étude dans la boutonnière de Bou-Azzer.

Figure 18 : Grille géologique de la zone Karkourer.

Figure 19: Exemples de Reporting.

Figure 20 : La carte géologique du secteur Bouissmas Est.

Figure 21 : Rosaces directionnelles des failles affectant la zone d'étude (A), représentation cyclographique et polaire de ces failles (B).

Figure 22 : Rosaces directionnelles des diaclases affectant la zone d'étude (A), représentation cyclographique et polaire des diaclases (B).

Figure 23 : tableau synthétique des états de contraintes retrouvées dans les différents gisements de Bou Azzer.

Figure 24: Rosaces directionnelles des failles affectant la zone d'étude.

Figure 25 : Rosaces directionnelles des diaclases affectant la zone d'étude.

Figure 26 : Analyse de la fracturation et détermination des axes de contraintes lors de la compression NW-SE.

Figure 27 : Analyse de la fracturation et détermination des axes de contraintes lors de la compression E-W.

Figure 28: Analyse de la fracturation et détermination des axes de contraintes lors de la phase extensive orientée E-W.

Figure 29 : Schéma illustrant la méthode d'échantillonnage.

Figure 30: Levé géologique de la taille AY du niveau -350.

Figure 31 : Levé géologique de la taille AY du niveau -430 m.

Figure 32 : trait de coupe réalisée.

Figure 33: coupe transversale réalisée sur la carte.

Liste des photos

Photo 1 : A: gneiss ocellée, B: leucogranites, C: serpentinites franches, D: rhyolite, E : diorite quartzite.

Photo 2 : Levé géométrique des Karkours. A : Jalonne. B : Tachéomètre Leica 509.

Photo 3 : A : Les rhyolites, B : Les tufs porphyroclastiques rhyolitiques à éléments lithiques.

Photo 4 : différents types de serpentinites ; A : serpentinites franches, B : serpentinites vertes jaunâtres, C : serpentinites sombres verdâtres, D : serpentinites vertes noirâtres tachetées, E : serpentinites talcifiées, F : serpentinites carbonatées.

Photo 5 : A : Cassure fraîche de serpentinites franches. B : Chrysotile de texture fibreuse dans les serpentinites franches.

Photo 6 : A : Serpentinite sombre verdâtre avec des tâches noirâtres B : Stichtites (Sti) au niveau des serpentinites sombres verdâtres.

Photo 7 : Serpentinite Carbonatée très altérée. B : serpentinite Carbonatée saine.

Photo 8 : Filon de quartz avec une puissance de 70 cm orienté N-S.

Photo 9 : A : faille orientée N86 avec un pendage de 85° vers le sud, B : faille orientée N160 avec un pendage de 80° vers l'ouest.

Liste des tableaux

Tableau 1: Tableau récapitulatif des paléo-contraintes mises en évidence lors du présent travail.

Tableau 2 : résultats d'échantillonnage.

Référence bibliographique

Algouti, 2001. Sedimentation and syn-sedimentary volcanism of the infra-Cambrian Adoudounian Basal series interpreted from two areas in the Moroccan anti-atlas mountains.

Azizi Samir, 1994. Les minéralisations d'arséniure de cobalt et de nickel de BouAzzer. Modèle métallogénique hydrothermal filonien de mise en place paléozoïque (Anti-Atlas, Maroc). 2nd International Meeting du projet IGCP n° 351, Early Pleozoic Evolution in NW Gondwana, Rabat, p 72.

Benssaou et al, 2003. Le graben de l'Anti-Atlas occidental (Maroc): contrôle tectonique de la paléogéographie et des séquences au Cambrien inférieur. C. R. Geoscience, v. 335, p 297-305.

Billaud, 1977. Les structures tectoniques panafricaines du gisement de cuivre de Bleïda (Anti-Atlas, Maroc). Thèse 3° cycle, Montpellier, 60p.

Choubert, 1963. Histoire géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas. Notes et Mém. Service Géol. Maroc

Choubert et Faure Muret, 1970. Les corrélations du Précambrien. Anti-Atlas occidental et central: Colloque Inter. Notes Mém. Serv. Géol. Maroc, 229, 259p.

Choubert & all, 1974. Problème de l'âge des dolérites du Sud Marocain C.R.Acad. Sci. Paris, 278, série D, p.1677-1680.

Deer WA, Howie RA, Zussman J (2009). Rock-Forming Minerals, Volume 3B. Layered Silicates Excluding Micas and Clay Minerals. Geological Society, London, 314 pp.

Ducrot et al, 1976. Problème de la limite Précambrien-Cambrien : Etude radiochronologique par la méthode U/Pb sur Zircon du volcan Jbel Boho. Can.J.Earth Sc., 14, p.2771-2777.

El hachmi, 2016. Etude géologique et chimico-minéralogique des Minéralisations aurifères du gisement Filon 7 (Bou Azzer, Anti-Atlas central Maroc)

El Hadi et al. 2010. Structural and geochronological constraints on the evolution of the Bou Azzer Neoproterozoic Ophiolite (Anti-Atlas, Morocco). Precambrian Research, v.182, p1-14.

En-Naciri, 1995. Contribution à l'étude du district à Co. As (Ni, Au, Ag) de Bou Azzer. Anti-Atlas (Maroc), données minéralogiques et géochimiques. Thèse de l'Université d'Orléans.

fdim.net. <http://fdim.net.ma/carte-traits-structuraux-maroc/>

Gasquet & all, 2008. Chapter 2: The Pan-African Belt. In: S. Bhattacharji, H. J. Neugebauer, J. Reitner and K., Graz (Eds.) Continental Evolution: The Geology of Morocco: Structure, Stratigraphy, and Tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction. Springer, p 33-64.

Google1. https://www.google.co.ma/search?newwindow=1&client=opera&biw=1286&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=VnoPXcOsPOXjgweYoZWocw&q=principaux+domaine+structuraux+du+maroc&oq=principaux+domaine+structuraux+du+maroc&gs_l=img.3...23968.49717..50113...1.0..0.749.11950.0j13j10j10j4j1j2.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0j0i67j0i8i30j0i24.aYWwxwr1s5U#imgdii=9dj7sSUrnfi3uM:&imgcr=XF3MML8iFPo6tM

Google2. https://www.google.co.ma/search?newwindow=1&client=opera&biw=1286&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=Icb-XPb6JaqSlwT1-YH4CQ&q=+anti+atlas+&oq=+anti+atlas+&gs_l=img.3..35i3912j014j0i3013j0i5i30.542941.544950..545482...0.0..0.114.224.0j2.....0....1..gws-wizzimg.fAbgJROe8gE#imgcr=UcWcbjZ4ynYwpM

Hinaje, 1995. Apport de l'analyse de la tectonique cassante tardi et post panafricaine a la modélisation de la mise en place des minéralisations dans la boutonnière de Bou Azzer (Anti-Atlas, Maroc)

Jouravsky, 1967. Sur la présence d'un granite d'âge précambrien III dans la région de Bou-Azzer (Anti-Atlas, Maroc). CR. somm. Soc. Géol. Fr., Paris, 7, 322-323.

Kroutov, 1970 : Nickel-Cobalt ore deposits in the Bou-Azzer region (Morocco) (en russe). Geol. Rudnikh Mestorj, Moscou, t. 12, n° 4, pp. 27-40.

Leblanc, 1975. Ophiolites Précambriennes et gîtes arséniés de cobalt, Bou Azzer (Maroc). Thèse d'état, Université de Paris VI.

Leblanc, 1976. Proterozoic oceanic crust at Bou Azzer: Nature, v. 261, p. 34–35.

Leblanc et Lancelot, 1980. Interprétation géodynamique du domaine panafricain (Précambrien terminal) de l'Anti-Atlas (Maroc) à partir de données géologiques et géochronologiques. Can. J. Earth Sci., 17, p.142-155.

Leblanc et Lbouabi, 1988. Native silver mineralization along a rodingite tectonic contact between serpentinite and quartz diorite (Bou Azzer, Morocco). Economic Geology, 83.p.1379-1391.

Levresse, 2001. Contribution à l'établissement d'un modèle génétique des gisements d'Imiter (Ag-Hg), Bou Madine (Pb-Zn-Cu-Ag-Au), Bou Azzer (Co-Ni-As-Au-Ag) dans l'Anti-Atlas Marocain. *Thèse, INPL, Nancy*

Liégeois & all 2006. The Lower Ediacaran (630–610 Ma) Saghro group: an orogenic transpressive basin development during the early metacratonic evolution of the Anti-Atlas (Morocco). IGCP485 4th meeting, Algiers, Abstr. Vol. 57

Maacha, 1995. Etude géologique et métallogénique des gisements cobaltifères de Bou Azzer centre : Anti-Atlas, Maroc. Mémoire de CEA. Univ. Cad. Ayyad. Fac. De Sc. Semlalia Marrakech. 115 P.

Maacha et al, 1998. Gisements cobaltifères du district de Bou Azzer (Anti-Atlas) : structure, mineralogie et conditions de genese. Chron. Rech. Min, 531/532, 65-75.

Mâacha 2013. Place de la boutonnière de Bou Azzer dans les Systèmes Métallogéniques de l'Anti Atlas. Apport des Données Géophysiques.

Main mines of Morocco, 2011. Volume 9 (Notes & Mém. n° 564) : Les principales mines du Maroc / Main Mines of Morocco.

Michard&al 2010. The South-Western Branch of the Variscan Belt: Evidence from Morocco. Tectonophysics 492, p1-24.

NOTICE EXPLICATIVE DE LA FEUILLE BOU AZER, 2013. CHÈVREMONT Ph., BLEIN O., RAZIN Ph., BAUDIN T., BARBANSON L., GASQUET D., SOULAIMANI A., ADMOU H., YUBI N., BOUABDELLI M, ANZAR-Conseil (2013) – Notice explicative carte géol. Maroc (1/50 000), feuille Bou Azer, Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc, N°535 bis, MEM/BRGM. Carte géologique par BLEIN O., CHÈVREMONT Ph., RAZIN Ph., BAUDIN T., GASQUET D. (2013).

Rapport inédit CTT, 1991. Synthèse des données du secteur Bouissmas Ouest-Est et proposition de travaux de recherche.

Saquaque et al, 1989. Précambrien accretionary tectonics in the Bou Azzer El Graara region, Anti-Atlas. Morocco Geology.

Saquaque, 1992. Un exemple de suture-arc : le précambrien de l'anti-atlas centre oriental (Maroc). Thèse d'état es-science, Marrakech, 348p. + h. t.

Soulaimani, 2004. Les marqueurs structuraux et magmatiques de l'extension crustale au Protérozoïque terminal– Cambrien basal autour du massif de Kerdous (Anti-Atlas occidental, Maroc). C. R. Geoscience v 336, p 1433-144.

Zouita, 1986. Etude de la distribution des terres rares et autres éléments en trace dans les roches carbonatées du district minier de Bou Azzer-Bleïda (Anti-Atlas, Maroc), conséquences génétiques et variation à l'approche des minéralisations. Thèse doctorat Univ.Cadi Ayad 170.p