

Licence « **GÉOLOGIE APPLIQUÉES AUX RESSOURCES MINIERES (GARM)** »

Projet de fin des études

Titre :

**Le complexe alcalin d'El Gloa, Anti-Atlas : étude pétrographique
et classification**

Réalisé par :

Meriem SAGHIR

Encadre par :

Prof. Muhammad OUABID, *Geology & Sustainable
Mining Institute (GSMI), Université Mohammed 6
Polytechnique (UM6P), Benguerir*

Prof. Ahmid HAFID, *Faculté des Sciences et
Techniques (FST), Marrakech*

Prof. Otmane RAJI, *Geology & Sustainable Mining
Institute (GSMI), Université Mohammed 6 Polytechnique
(UM6P), Benguerir*

Examineur :

Prof. Abdellatif SAIDI, *Faculté des
Sciences et Techniques (FST), Marrakech*

Année universitaire 2022-2023

REMERCIEMENTS

Au terme de mon projet de fin d'études, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation. Je commence par remercier Mr. Ahmid HAFID, Mr. Muhammad OUABID et Mr. Otmane RAJI, mes encadrants de projet, pour leur persévérance, leur sérieux et leur détermination dans le suivi et la correction de mon travail. Grâce à leur aide, j'ai pu parcourir mot à mot ce manuscrit et je suis reconnaissant envers leur générosité et leur aimable gentillesse. Je souhaite également remercier Dr. Youness BELMAMOUNI et le Prof. Otmane RAJI, les responsables du laboratoire GeoAnalyticalLab (GSMI/UM6P), qui m'a offert l'opportunité de réaliser mon stage au sein du laboratoire de géologie et d'exploitation minière durable dans les meilleures conditions.

Mes remerciements vont également à Mr. Mohammed ERRAGUERAGUI, le responsable du licence « Géologie Appliquées Aux Ressources Minières (GARM) » et tous mes professeurs du département de géologie de la FST, pour leur formation qui a permis de préparer des licenciés compétents en mesure d'accomplir leurs fonctions dans des conditions optimales.

Enfin, à mes amis, je veux exprimer ma gratitude pour leur amour et leur soutien indéfectible tout au long de ces années d'études. Ce travail est également un hommage à eux, que je remercie de tout cœur.

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Le microscope standard Leica DM2700P couplée d'une caméra de haute résolution utilisé dans cette étude.....	7
Figure 2. Schéma explicatif de la déférence d'aspect (Google).	11
Figure 3. (a) Position du Maroc au nord-ouest du craton ouest-africain (Peucat et al., 2005). (b) Carte structurale simplifiée montrant les principaux domaines structuraux du Maroc (d'après Piqué, 1989, 1994).	14
Figure 4. Carte géologique simplifiée de l'Anti-Atlas (Gasquet et al., 2008).....	18
Figure 5. Synthèse lithostratigraphique concernant la période Précambrien à Cambrien inférieur pour la ceinture de l'Anti-Atlas marocain.....	19
Figure 6. Carte géologique simplifiée de la boutonnière de Bou Azzer-El Graara montrant les principales unités litho-tectoniques et la situation géologique de la zone d'étude.	22
Figure 7. Image Google Earth montrant localisation de la zone d'étude.....	23
Figure 8. Carte géologique réalisée de la zone de Al Gloa.	25
Figure 9. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL03 et la lame EL05 : A, scanne de la lame EL03 et la lame EL05 en LPNA ; B, scanne de la lame EL03 et lame ELO5 en LPA ; C et E, des observations microscopique B, scanne de la lame EL03 et lame ELO5 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques LPA ; Ap, l'apatite.	27
Figure 10. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL12 : A, scanne de la lame EL12 en LPNA ; B, scanne de la lame EL12 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA ; Pl, plagioclase.	28
Figure 11. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL01 : A, scanne de la lame EL01 en LPNA ; B, scanne de la lame EL01 en LPA ; C et E, des observations microscopiques LPNA ; D et F, des observations microscopiques el LPA.	29
Figure 12. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL02 : A, scanne de la lame EL02 en LPNA ; B, scanne de la lame	

EL02 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA. 31

Figure 13. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL11 : A, scanne de la lame EL11 en LPNA ; B, scanne de la lame EL11 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA. 32

Figure 14. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL23 : A, scanne de la lame EL23 en LPNA ; B, scanne de la lame EL23 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA. 33

Figure 15. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL07 : A, scanne de la lame EL07 dans la lumière naturelle (LP OU LPNA) ; B, scanne de la lame EL07 dans la lumière polarisée analysé (LPA) ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques LPA ; Ca, la calcite ; Ep, l'épidote ; Fd K, le feldspath potassique ; Ox, Oxydes de fer..... 34

Figure 16. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL21 : A, scanne de la lame EL21 en LPNA ; B, scanne de la lame EL21 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA. 35

SOMMAIRE

.....	1
REMERCIEMENTS	2
SOMMAIRE	5
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERAL	6
CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE	7
CHAPITRE 2 : CADRE GEOLOGIQUE GENERAL DU MAROC.....	13
I. INTRODUCTION.....	13
Domaine saharien.....	14
Domaine anti-atlasique	14
Domaine mesétien.....	15
Domaine atlasique.....	15
Domaine Rifian	15
II. L'ANTI-ATLAS	16
<i>Le socle paléoprotérozoïque</i>	<i>17</i>
<i>La couverture</i>	<i>20</i>
III. LA BOUTONIERE DE BOU AZZER-EL GRAARA	21
CHAPITRE 4 : RESULTATS.....	23
I. Situation géographique du complexe alcalin d'El Glo'a	23
II. Cartographie.....	24
1. La digitalisation ou numérotation d'une carte sur ArcGIS.....	24
2. Interprétation de la carte géologique d'El Gloa.....	26
III. Pétrographie des échantillons du complexe alcalin d'El Gloa	26
CHAPITRE 6 : CONCLUSIONS	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERAL

Localisée dans le sud-est du Maroc, la chaîne anti-atlasique marque la bordure nord-ouest du craton ouest africain. Elle résulte de la superposition de plusieurs événements orogéniques précambriens et post-précambriens. Leur disposition structurale est caractérisée par la présence d'une couverture faiblement déformée, d'âge Protérozoïque terminal à Paléozoïque et d'un socle protérozoïque à déformation complexe. Ce dernier affleure sous forme de multiples boutonnières antifformes constituées de plusieurs unités d'âge Précambrien.

La boutonnière de Bou-Azzer El Graâra est l'une des plus remarquables de ces boutonnières. Elle est située dans l'Anti-Atlas central et tient une place clé dans l'histoire des connaissances géologiques et géodynamiques dans l'Anti-Atlas. Cette boutonnière est caractérisée par des terrains à qualité d'affleurement exceptionnelle et une grande diversité lithologique et structurale. C'est dans ce contexte que nous a été confié le présent travail, qui s'articule autour d'une étude pétrographique d'une zone située à l'Sud-Est de la boutonnière de Bou-Azzer El Graâra. La zone d'étude est précisément le complexe alcalin d'El Gloa.

Cette démarche se répercute sur l'organisation du présent rapport, ainsi :

- La présentation à la synthèse bibliographique concernant le cadre géologique régional de l'Anti-Atlas et complétée par un aperçu général sur le cadre géologique local de la boutonnière de Bou-Azzer.
- La présentation de la géologie de la zone d'étude.
- L'étude pétrographique des échantillons secteur.

- Une conclusion générale récapitulera les principales contributions mise en évidence au cours de ce travail.

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE

L'objectif du stage est l'étude d'une série d'échantillons collectés dans le complexe Alcalin d'El Gloa (Boutonnière de Bou-Azzer, Anti-Atlas). Au cours de ce stage, il est prévu une étude pétrographique détaillée macroscopique et au microscope optique de lames minces préparées dans les échantillons récoltés par l'équipe d'exploration géologique de l'Institut Géologie et des Mines Durables (Geology and Sustainable Mining Institute : GSMI), Université Mohammed VI Polytechnique (UM6P, Benguerir). Pour les observations pétrographiques, nous avons utilisé le microscope standard Leica DM2700P (Figure 1) du Laboratoire Géo-Analytique (GAL) de GSMI (UM6P).



Figure 1. Le microscope standard Leica DM2700P couplée d'une caméra de haute résolution utilisé dans cette étude.

Afin de réaliser les objectifs définis, différentes tâches ont été entreprises en deux phases distinctes :

La première phase a consisté en une synthèse bibliographique visant à examiner les informations existantes sur la région pour mieux comprendre le secteur.

La seconde phase, qui s'est déroulée au laboratoire, comportait l'étude macroscopique et microscopique des échantillons.

Avant de réaliser une étude microscopique d'une roche, il est essentiel de préparer une lame mince. Pour ce faire, plusieurs étapes sont nécessaires, comme montent le tableau ci-dessous :

<p>Tronçonnage</p>		
<p>Dressage</p>		

<p>Rodage</p>	 <p>Rodeuse. Rodage de l'échantillon et le lame porte-objets</p>
<p>Collage</p>	 <p>Stand de collage. Fixer précisément l'échantillon sur la lame porte-objets.</p>
<p>Rectification/ Arasement</p>	 <p>Tronçonneuse d'arasement, pour rectifier l'échantillon jusqu'au de 100 µm d'épaisseur.</p>
<p>Polissage</p>	 <p>Polisseuse. Polir les lames minces (30 à 35 µm d'épaisseur) pour les rendre parfaitement lisses.</p>



Contrôle de l'épaisseur et la qualité de la lame par un microscope.

Une fois les lames minces préparées, on peut procéder à l'étude microscopique en utilisant un microscope polarisant.

Une fois les lames minces prêtes, il est possible d'entreprendre une étude microscopique en utilisant un microscope polarisant (Figure 1). Ce type de microscope optique est capable de déterminer les différents éléments constituant une roche (minéraux) ainsi que leur distribution dans l'espace. Il utilise un système de deux filtres qui polarisent la lumière en la laissant vibrer dans un seul plan (contrairement à la lumière émise par une source lumineuse qui vibre dans toutes les directions) : le polariseur et l'analyseur.

- Mettre en place le microscope.
- Choisir un filtre carré et le poser sur la lampe intégrée (ou sur la platine si microscope à miroir) : c'est le polariseur
- Remplacer l'oculaire par un oculaire P (un filtre a été intégré) : c'est l'analyseur. Celui peut être tourné au cours de l'observation.

L'observation s'effectue dans deux conditions différentes :

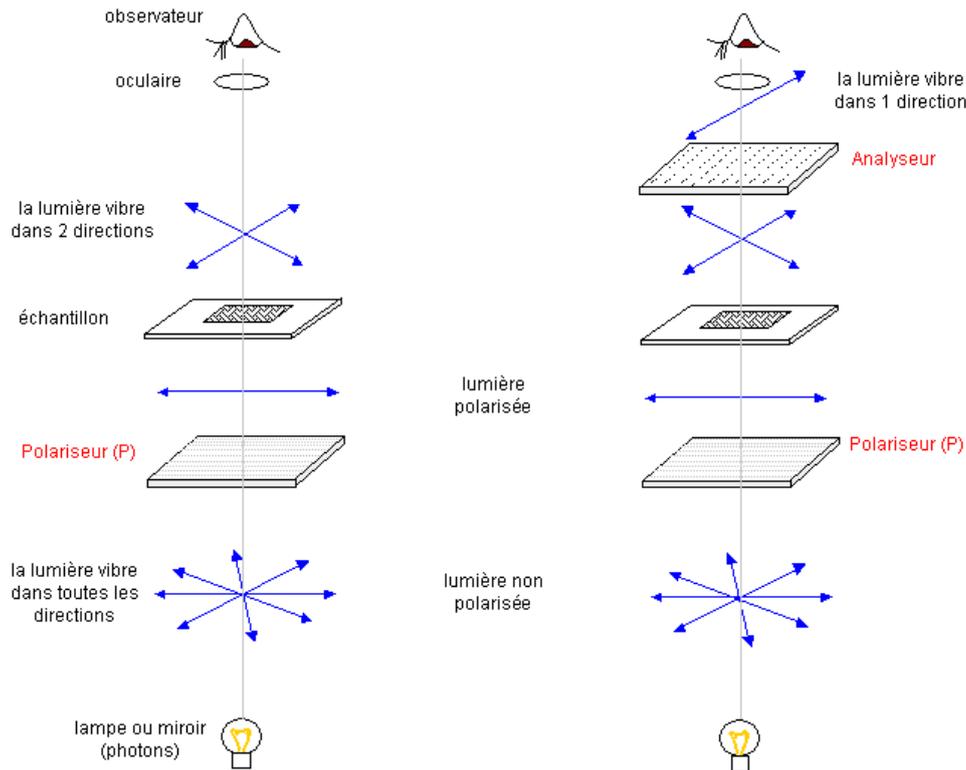


Figure 2. Schéma explicatif de la déférence d'aspect (Google).

- En lumière polarisée non analysée (figure 2) (notée LP ou LPNA), dite aussi en lumière naturelle : Pour vous placer dans ce mode, on utilise seulement un seul filtre dite polariseur (P, Figure 2) : la lame a son aspect le plus terne.
- En lumière polarisée et analysée (figure 5) (LPA) : les deux filtres (polariseur1 (P) + polariseur2 or analyseur) agissent sur la lumière car leur orientation l'un par rapport à l'autre est différente (perpendiculaire).

La plupart des roches sont formées de l'assemblage de minéraux chacun par une composition chimique donnée. Les minéraux présentent souvent une structure atomique ordonnée : ce sont alors des cristaux qui sont caractérisés, macroscopiquement, par des formes géométriques régulières s'il a pu se développer librement dans son milieu d'origine.

La structure est l'assemblage géométrique des minéraux. Elle s'apprécie d'abord à l'œil nu puis au microscope photonique.

- Entièrement cristallisée (minéraux jointifs et tous visibles à l'œil nu) : structure grenue (cas des roches magmatiques plutoniques).
- Contenant des cristaux microscopiques (les microlithes), du verre (matière non cristallisée), et souvent des phénocristaux (gros cristaux +/- visibles à l'œil nu): structure microlitique (cas des roches volcaniques).
- Possédant un sens d'orientation préférentiel des minéraux (cas des roches métamorphiques)

La détermination des minéraux par les caractéristique physiques et optiques :

- **Leur forme cristalline** : cubique, hexagonale, ...etc.
- **Leur couleur naturelle** : ex., Biotite : marron ; Glaucophane : bleue.
- **Leur relief** : si le minéral a l'air d'être au-dessus de la lame, on dit qu'il a un fort relief ; ex : grenat - s'il semble être au même niveau que les autres il a un faible relief ; ex : quartz.
- **Leur altération** : le quartz est inaltérable, il apparaît limpide ; d'autres minéraux sont altérés par les conditions de surface, ils apparaissent sales (feldspaths) ou craquelés (olivine).
- **Leurs clivages** : micro-fractures (les amphiboles ont 2 clivages à 120° , les pyroxènes ont 2 clivages à 90°).

- **Leurs macles** : juxtaposition au sein d'un même minéral de plages sombres et claires (ex : zébrures noire et blanche caractérisant les plagioclases)
- **Les teintes de polarisation** : en LPA, de nouvelles couleurs (ou teintes) apparaissent ; on ne détermine pas les minéraux d'après leur teinte de polarisation car le simple fait de tourner la platine change les couleurs, mais par leur ordre de polarisation : 1^{er} ordre (couleurs "pâles") ; 2^{ème} ordre (couleurs "vives")
- Certains minéraux sont isotropes c'est à dire qu'ils ne laissent pas passer la LPA et apparaissent toujours noirs (ex : toute structure non cristallisée comme le verre ; cubique comme le grenat).

CHAPITRE 2 : CADRE GEOLOGIQUE GENERAL DU MAROC

I. INTRODUCTION

Au cours de son histoire géologique, le Maroc a subi plusieurs cycles orogéniques : l'orogénèse éburnéenne, l'orogénèse panafricaine, l'orogénèse hercynienne, puis l'orogénèse alpine. Ces orogénèses sont responsables de sa configuration actuelle (Figure 3). Structuralement, le Maroc est subdivisé en cinq grands domaines, constitués chacun d'un matériel spécifique résultant d'une histoire géologique bien définie marquée par une ou plusieurs phases orogéniques et comportant du Sud au Nord : le Sahara, l'Anti-Atlas, la Meséta, l'Atlas et le Rif (Figure 3, Piqué, 1989, 1994 ; Michard, 1976).

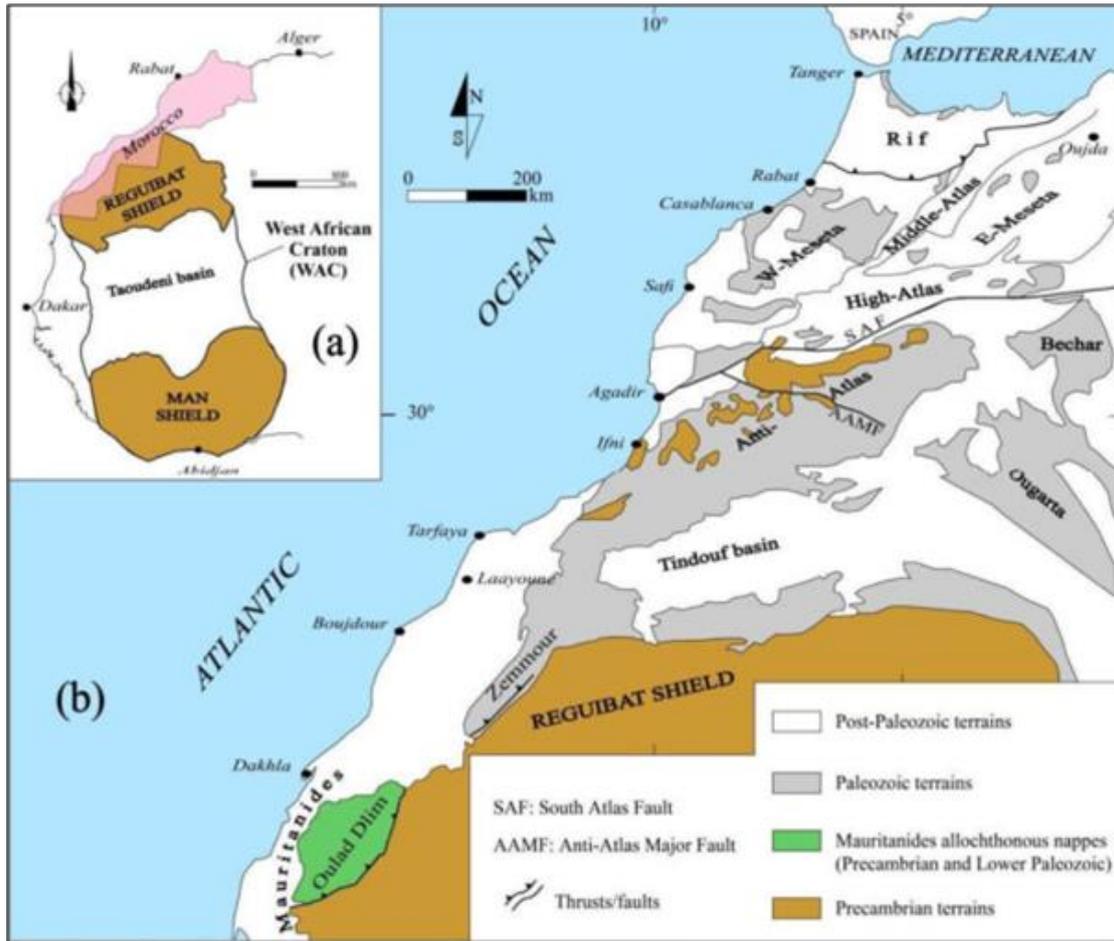


Figure 3. (a) Position du Maroc au nord-ouest du craton ouest-africain (Peucat et al., 2005). (b) Carte structurale simplifiée montrant les principaux domaines structuraux du Maroc (d'après Piqué, 1989, 1994).

Domaine saharien

Il expose les terrains les plus anciens du Maroc et représente par la dorsale Reguibate, correspondant la partie nord du craton ouest africain (WAC) (Figure 3) (Peucat et al., 2005). Il est constitué par des formations archéennes et protérozoïques, fortement plissées et métamorphisées par l'orogénèse éburnéenne (~ 2000 Ma) et surmontées par une couverture paléozoïque peu déformée (bassin de Tindouf).

Domaine anti-atlasique

L'Anti-Atlas est une chaîne de montagne qui s'étend sur environ de 750 km de longueur et de 250 km de largeur, suivant une direction NE-SW (Figure 3), depuis l'océan Atlantique à l'Ouest

jusqu'au l'Algérie à l'Est. Il est limité au Nord par l'accident sud-atlasique qui forme un linéament tectonique continu depuis Gabes en Tunisie à l'Est jusqu'à Agadir à l'Ouest et se prolonge en mer vers les Iles canaries (Gasquet, 1991). Sa limite sud est matérialisée par le bassin carbonifère de Tindouf constitué par la ceinture des grandes hamadas secondaires et tertiaires du Drâa, du Guir et du Kem-Kem.

Domaine mesétien

Le domaine mesétien est formé d'un socle paléozoïque/précambrien sous forme des boutonnières déformés, structurés et granitisés au cours de l'orogénèse hercynienne et recouverts de terrains post-paléozoïques (e.g., Hoepffner et al., 2005, 2006 ; Gasquet et al., 2008, 2010 ; Ouabid et al., 2017 ; Letsch et al., 2018). On distingue la Meseta occidentale et la Meseta orientale séparées par le Moyen Atlas (Figure 2).

Domaine atlasique

Il correspond à des chaînes intracontinentales de direction NE-SW (Moyen Atlas) et EW (Haut Atlas) (Figure 3). Leur forte surrection est liée à des mouvements verticaux le long de grandes cassures du socle. La couverture, puissante, est affectée par l'orogénie atlasique d'âge Alpin qui donnera des chaînes du Moyen- et du Haut-Atlas. Les montagnes du Haut- et Moyen-Atlas se sont structurées au Cénozoïque avec inversion des bassins riftés mésozoïques avec la convergence de l'Afrique et l'Eurasie (Piqué et al., 2002 ; Teixell et al., 2003).

Domaine Rifian

Il correspond à une chaîne de montagne formée au Tertiaire. Elle fait partie des chaînes alpines qui résultent de la collision Afrique-Eurasie et plus précisément de la chaîne rifo-tellienne d'Afrique du Nord. Cette chaîne est constituée d'unités allochtones charriées sur la marge de la

plaque Africain, résultant de la fermeture de l'océan Téthys (Chalouan et al., 2008 ; Benzaggagh et al., 2014).

II.L'ANTI-ATLAS

L'Anti-Atlas est une chaîne orientée WSW-ENE, qui s'allonge sur environ 750 Km, depuis le sud de Ifni à l'ouest jusqu'à Tafilalet à l'Est (Figure 3). Il est limité au Nord par l'accident sud-atlasique et au Sud par les alignements structuraux du Bani, Ouarkiz et le bassin de Tindouf.

L'Anti-Atlas est subdivisé en trois ensembles :

- **Anti-Atlas occidental**, comprenant les boutonnières de Kerdous, Ifni, Igherm et Bas Draa.
- **Anti-Atlas central**, comprenant les boutonnières de Zenaga, Bou Azzer et Sirwa.
- **Anti-Atlas oriental**, comprenant les boutonnières de Saghro et Ougnat.

La chaîne de l'Anti-Atlas est affectée par deux grandes structures de faille. Il s'agit de la zone faillée limitant la chaîne au Nord, appelée la faille Sud atlasique (SAF) (Figures 3 et 4) avec une orientation globalement E-W, et l'Accident dit Majeur de l'Anti-Atlas (AAMF), d'orientation globalement WNW-ESE recoupant transversalement la chaîne (Figures 3 et 4). Il subdivise l'Anti-Atlas en deux domaines géologiques d'évolution distincts (Choubert 1947, 1963) :

- **Un domaine ancien sud occidental dit cratonique** : (appartenant au craton Ouest Africain), représenté par des terrains d'âge Paléoprotérozoïque et Néoprotérozoïque tectonisés durant l'orogénèse éburnéenne et panafricaine (Leblanc, 1975 ; Ennih et al., 2001). Ces terrains anciens affleurent au niveau des boutonnières du Bas Draa, Ifni, Kerdous, Ighrem-Iguerda, Tagragra d'Akka et Zenaga.

- **Un domaine récent nord oriental mobile** : représenté par des terrains d'âge Néoprotérozoïque, structurés lors de l'orogénèse panafricaine (Leblanc, 1977, 1981 ; Thomas et al., 2004). Ces terrains apparaissent au niveau des massifs de Saghro et d'Ougnat et une grande partie de la boutonnière de Bou Azzer-El Graara.

Le socle paléoprotérozoïque

L'Anti-Atlas est composé de terrains protérozoïques (2,5 Ga à 620 Ma) (Thomas et al., 2002), dont les terrains Paléoprotérozoïque (2,5 à 1,8 Ga) (Thomas et al., 2002), sont localisés dans l'Anti-Atlas occidental, formés de séries métamorphiques composées de schistes, de gneiss associés à des intrusions de granitoïdes. Ils sont attribués à l'orogénèse éburnéenne. D'après (Ikenne et al., 2017) le Groupe Lkest-Taghdout est appartient au Mesorotérozoïque. Les seules roches mésoprotérozoïques sont marquées par des dykes basiques datés à 1,3-1,4 Ga, témoignent d'un épisode de fracturation du craton ouest-africain (El Bahat et al., 2013).

Dans l'Anti-Atlas occidental (Figures 4 et 5), le Groupe de Lkest-Taghdout est composé de carbonates, quartzite et schistes, les plus anciennes roches sédimentaires recouvrant en discordance majeure le socle éburnéen.

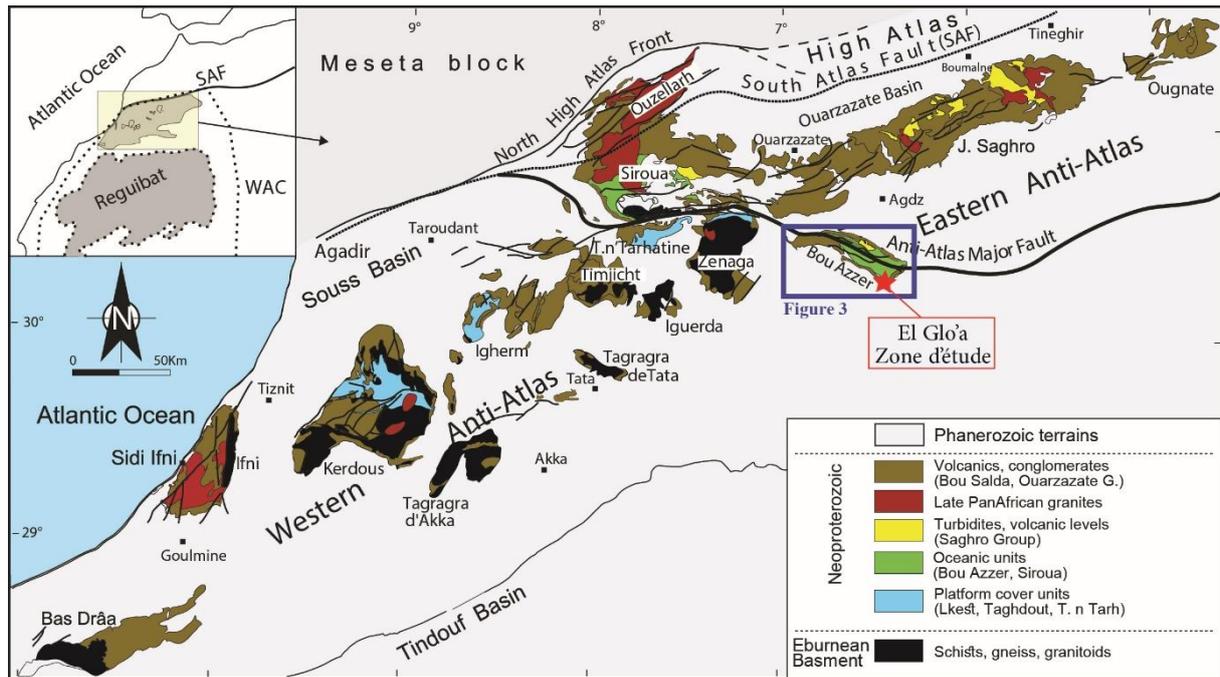


Figure 4. Carte géologique simplifiée de l'Anti-Atlas (Gasquet et al., 2008).

Les terrains néoprotérozoïques de l'Anti-Atlas sont constitués de la base au toit par deux unités :

- Unité de Tonien, composée de Groupe Bleïda-Tachdant (788 ± 10 Ma) et le Groupe Cryogénien de Bou-Azzer-Siroua-Iriri.
- Unité d'Édiacarien subdivisée en deux groupes : le Groupe Édiacarien inférieur de Saghro, Bou Salda, Anezi et Tiddiline, et le Groupe Édiacarien supérieur d'Ouarzazate.

Dans l'Anti-Atlas central (Figures 4 et 5), le Groupe de Bou Azzer affleure sous forme d'un complexe ophiolitique et d'un complexe d'arc au niveau de l'accident majeur de l'Anti-Atlas. Les roches composant ce groupe sont des méta-sédiments et méta-volcanites dont des méta-basaltes, des serpentinites et des orthogneiss (El Hadi et al., 2010 ; Walsh et al., 2012, Blein et al., 2014).

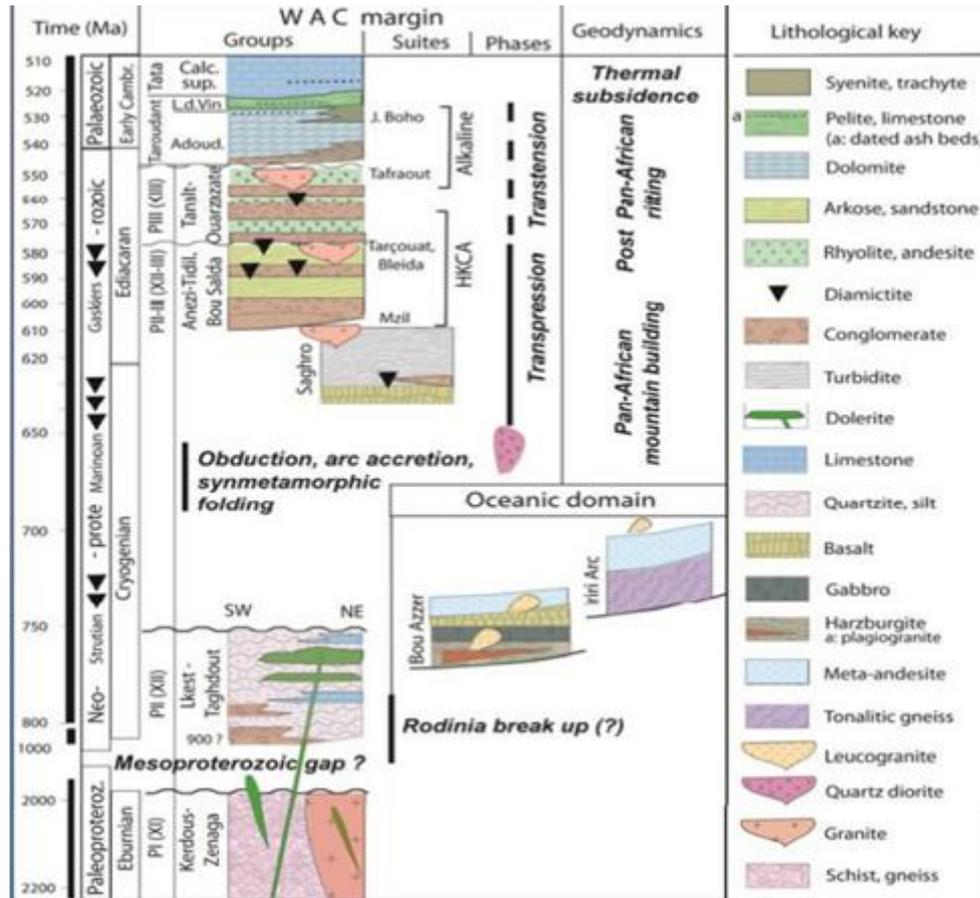


Figure 5. Synthèse lithostratigraphique concernant la période Précambrien à Cambrien inférieur pour la ceinture de l'Anti-Atlas marocain.

Le Groupe de Saghro affleure de la boutonnière du Siroua, et dans le massif de Saghro (Figures 4 et 5). Il est composé de métaturbidites et de roches méta-volcaniques mafiques à intermédiaires (Thomas et al., 2002). L'ensemble des roches méta-sédimentaires est attribué au Cryogénien (Fekkak et al., 2001 ; Thomas et al., 2004). Au sein de la boutonnière du Saghro, ces roches sont déformées et métamorphisées dans le faciès des schistes verts durant l'orogénèse panafricaine (Álvaro et al., 2014).

Les formations d'Anzi, de Bou Salda et de Tiddiline (Figures 4 et 5) sont formées de conglomérat, de grès, de shales et de roches volcaniques reposant en discordance sur le groupe du Saghro (Thomas et al., 2002). Il s'agit de dépôts de bassins intracratoniques de marge dans

lesquelles se déposent des molasses issues de l'érosion des groupes du Saghro et de Bou Azzer (Gasquet et al. 2008 ; Thomas et al., 2004 ; Walsh et al., 2012).

Le Super groupe d'Ouarzazate est présent dans tout l'Anti-Atlas Occidental à Oriental. Sa période de formation s'étend de 580 à 550 Ma (Gasquet et al, 2008 ; Thomas et al. 2004 ; Walsh et al., 2012). Cette formation présente des variations latérales et verticales de faciès, se traduisant par des changements brutaux du type de dépôt allant de fluviale, alluviale à subaérien (Soulaïmani et al. 2013). Le Super Groupe d'Ouarzazate peut être subdivisé en deux parties : l'une inférieure est composée de tufs rhyolitiques à andésitiques, de roches volcano-clastiques et de dolomies lacustres (Álvaro et al. 2014). Et une partie supérieure est composée de coulées rhyolitiques interstratifiées avec des grès volcano-clastiques, des shales, des brèches et conglomérats. Ainsi que ce Super Groupe d'Ouarzazate est caractérisé par un plutonisme calco-alcalin et par un volcanisme d'arc à un volcanisme continental (Gasquet et al. 2008 ; Thomas et al., 2002 ; Walsh et al., 2012).

La couverture

Dans L'Anti-Atlas, la transition précambrien-Cambrien est traduite par une sédimentation, allant du Néoprotérozoïque terminal (tardi-Néoprotérozoïque) jusqu'au Carbonifère (Figure 5).

- Le cycle néoprotérozoïque-terminal-Cambrien moyen

Après la mise en place des dépôts volcano-sédimentaires du Super groupe d'Ouarzazate, l'Anti-Atlas a été le siège d'une sédimentation détritique et carbonatée. Ces sédiments se mettent en place lors d'une tectonique distensive (Figure 5). Ce cycle est formé de deux groupes, les groupes de Taroudant et de Tata. Le Groupe de Taroudant rassemble la formation carbonatée d'Adoudou et la formation terrigène de Tikirt (série Lie de Vin). Le groupe de Tata est composé de formations d'Igoudine, Amouslek, Issafène et Tazleft. L'ensemble de la série du tardi-

Néoprotérozoïque -Cambrien possède une épaisseur de 800 m dans la région de Bou Azzer-El Graara jusqu'à une épaisseur de 2000 m dans l'Anti-Atlas occidental.

III.LA BOUTONNIERE DE BOU AZZER-EL GRAARA

La boutonnière de Bou Azzer-El Graara se situe géographiquement dans la partie centrale de l'Anti-Atlas à 320 Km à l'est d'agadir et à 270Km à SE du Marrakech, ou elle jalonne l'accident majeur de l'Anti-Atlas (Figure 4). Il s'agit d'une dépression orientée WNW-ESE bordée à la falaises infracambrienne, longue d'environ 60 Km et large de 5 à 10 km, avec des altitudes allant de 1300 à 1700 m.

Neuf principales unités lithologiques ont été identifiées dans la boutonnière de Bou Azzer-El Graara :

- ✓ Un socle gneissique composé de roches métamorphiques déformées méta-ignées et méta-sédimentaires, comprenant du gneiss à auges, du leucogranite (complexe de gneiss Assif n'Bougmmane) (Figures 4 et 5).
- ✓ Une séquence de plate-forme de quartzite et de calcaires stromatolithiques recouverte de laves mafiques et de roches volcanosédimentaires, interprétée comme une séquence de couverture de marge passive Tonienne et/ou Cryogénienne (Groupe de Tachdamt-Bleida) (Figures 4 et 5).
- ✓ Un complexe mafique-ultramafique Cryogénien, interprété comme un fragment d'ophiolite désarticulé (Groupe de Bou Azzer) (Figures 4 et 5).
- ✓ Une séquence métasédimentaire cryogénienne avec des unités volcaniques subordonnées (Groupe de Tichibanine) (Figures 4 et 5).

Les unités ci-dessus sont recouvertes ou intrusées de manière discordante par successivement

(Blein et al. 2014 ; Soulaïmani et al. 2018) :

- ✓ Des roches volcaniques mafiques (Groupe de Bou Lbarod) (Figures 4 et 5).
- ✓ Les sédiments terrigènes avec des roches pyroclastiques locales (Groupe de Tiddiline) (Figures 4 et 5).
- ✓ Des intrusions non déformées telles que la granodiorite de Bleïda (Suite de Bleïda) (Figures 4 et 5).
- ✓ Une séquence volcano-clastique du tardi-Ediacarien (Groupe d'Ouarzazate) (Figures 4 et 5).
- ✓ La série carbonatée et terrigène d'Adoudou accompagnée d'une activité magmatique alcaline (e.g. Thomas et al., 2002, 2004 ; Gasquet et al., 2008), dont le complexe alcalin d'El Gloa (sujet de cette étude) (Figures 4 et 5).

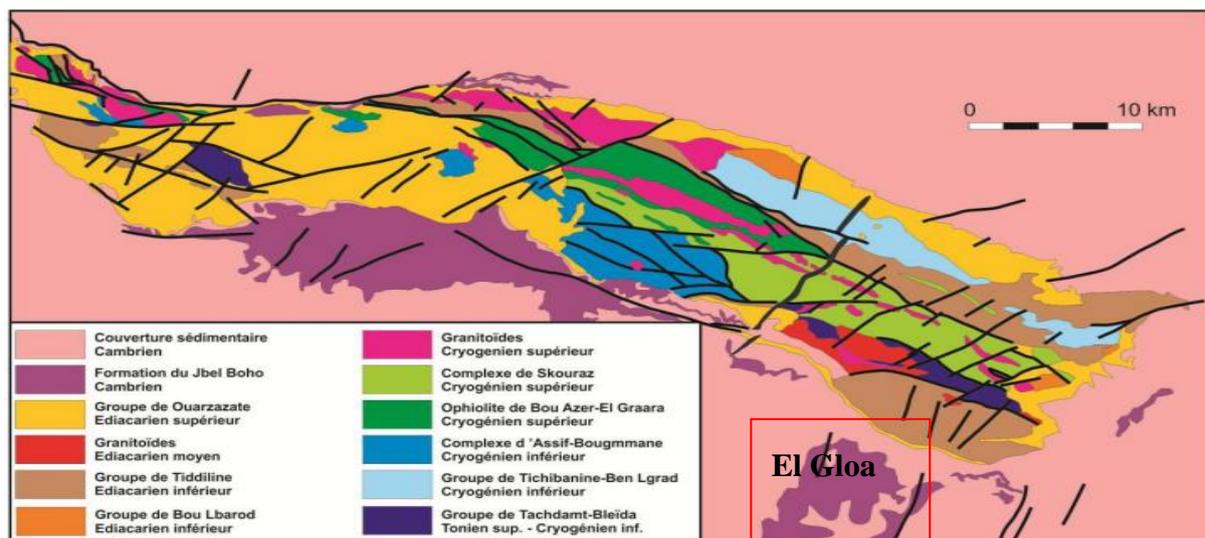


Figure 6. Carte géologique simplifiée de la boutonnière de Bou Azer-El Graara montrant les principales unités litho-tectoniques et la situation géologique de la zone d'étude.

CHAPITRE 4 : RESULTATS

I. Situation géographique du complexe alcalin d'El Glo'a

La zone d'étude El Glo'a appartient au domaine géographique de l'Anti-Atlas central marocain (Figures 4, 6). Elle est située dans un périmètre localisé à la terminaison sud orientale de la boutonnière de Bou-Azer-El Graara (Figures 4, 6), boutonnière qui longe l'accident majeur de l'Anti-Atlas dans sa partie centrale.



Figure 7. Image Google Earth montrant localisation de la zone d'étude.

II. Cartographie

1. La digitalisation ou numérotation d'une carte sur ArcGIS

La réalisation de la carte géologique de la zone d'étude a été conçue par plusieurs étapes qui consistent tout d'abord à déterminer l'objectif de la cartographie et qui à partir duquel se fait l'identification des différents faciès et les structures géologiques. Les données géologiques sont reportées sous format numérique vecteurs puis sont traitées sur ArcGIS.

Afin d'avoir une carte numérique il faut :

- Présenter les formations lithologiques et structurales ;
- Projection des courbes de niveaux et les réseaux hydriques ;
- Projection des courbes de niveaux et les réseaux hydriques (à partir une image MNT, source <https://earthexplorer.usgs.gov/>)
- Insérer une légende, une grille et une échelle (numérique et graphique) ;
- Titre et système de coordonnées (carte géologique réalisée).

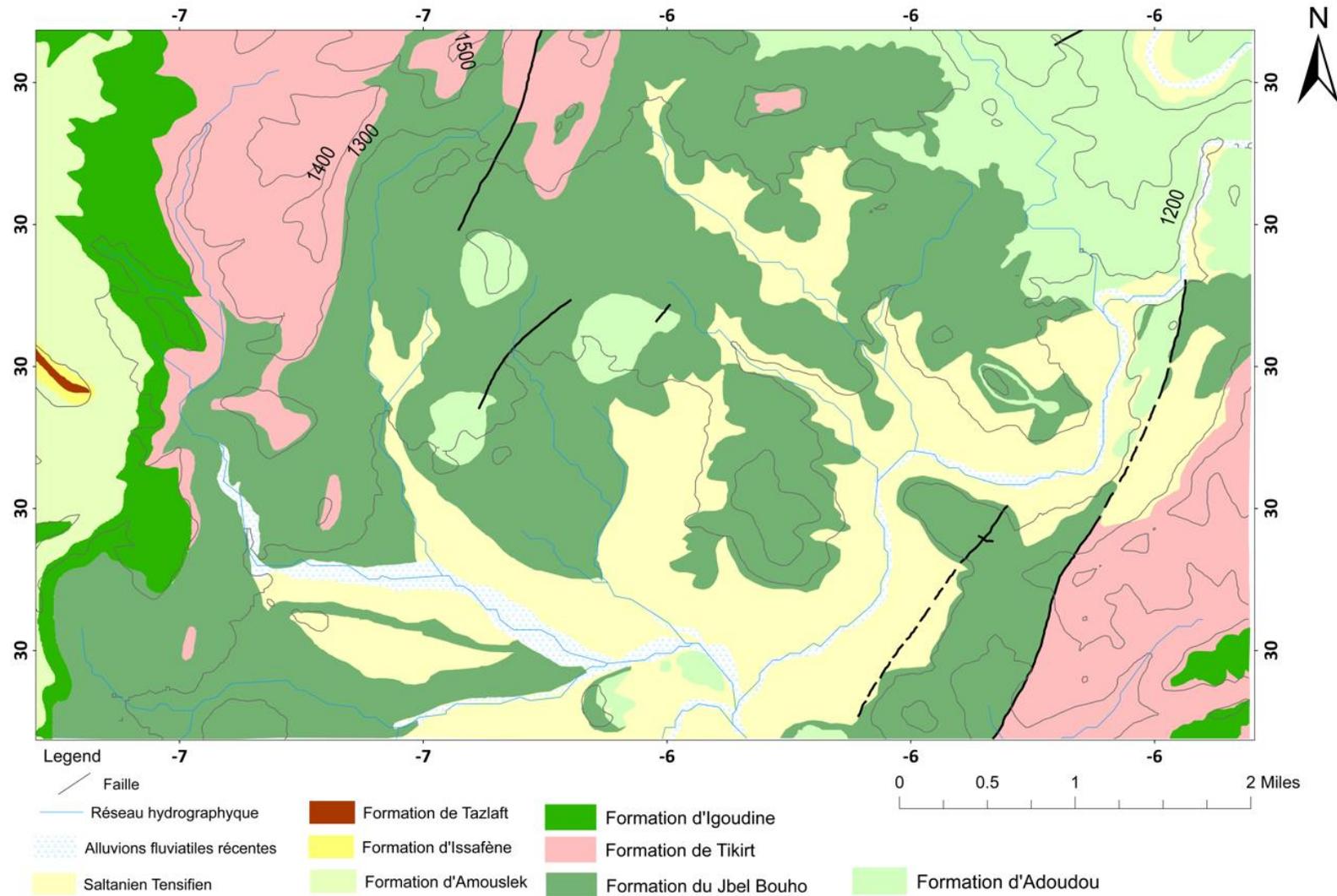


Figure 8. Carte géologique à l'échelle 1/15 000 réalisée de la zone de Al Gloa.

2. Interprétation de la carte géologique d'El Gloa

Sur le plan stratigraphique, les terrains présents dans la zone d'étude sont de l'âge Cambrien. Ils se composent de formations sédimentaires ainsi que volcaniques, notamment des basaltes, des tufs pyroclastiques et des brèches pyroclastiques faisant partie de la formation de Jbel Bouho. Sur le plan structural, des failles normales d'orientation NE-SW sont visibles dans la zone d'étude.

III. Pétrographie des échantillons du complexe alcalin d'El Gloa

Dans cette partie nous présentons, une description pétrographique et minéralogique des faciès de la zone d'étude. L'étude pétrographique est basée sur des observations macroscopiques et microscopiques des différents faciès dans la zone de Al Glo'a.

D'après l'étude macroscopique et microscopique des échantillons, plusieurs faciès ont été identifiés : trachyandésites, trachytes, microsyrénites et les carbonates.

1. Trachyandésites,

Ces roches grises présentent une texture trachytique fluidale avec une mésostase dominante constituant (60 à 70 vol.% de la roche) et referment principalement par des microlithes feldspathiques (probablement de feldspath potassique=K) de très petites tailles (allant de 10 à 100 μm). Les phénocristaux qui représentent 30 à 40 vol.% correspondent à des lattes de plagioclase et de feldspath K, mesurant entre 0,5 et 10 mm, souvent déstabilisés et séricitisés. Certains phénocristaux d'anciens ferromagnésiens ont une forme automorphe et des clivages de deux familles formant un angle d'environ 56° , sous forme de losanges parfaits (peut-être d'ancienne amphibole) (Figure 9), tandis que d'autres ont une forme allongée très altérée, avec extinction droite (peut-être des anciennes biotites) complètement transformés en oxydes de fer

atteignant une taille de 1 à 2 mm. Des cristaux de quartz (0,2 mm de taille) et d'apatite sont également observés.

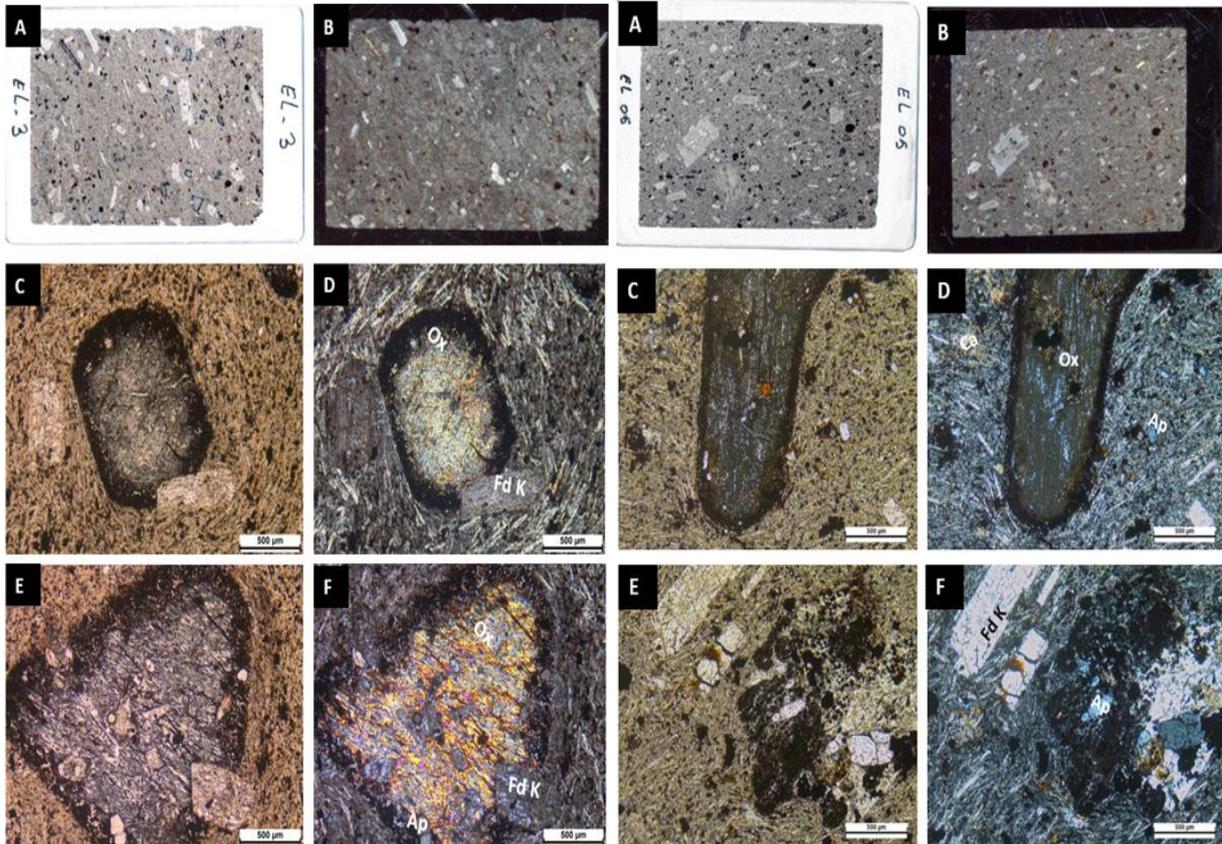


Figure 9. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL03 et la lame EL05 : A, scanne de la lame EL03 et la lame EL05 en LPNA ; B, scanne de la lame EL03 et lame EL05 en LPA ; C et E, des observations microscopique B, scanne de la lame EL03 et lame EL05 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques LPA ; Ap, l'apatite.

2. Trachyandésites vacuolaires

Ce faciès de grisâtre présente une texture microlitique fluidale, avec une mésostase (représentant 60 Vol.%) principalement composée de microlites de feldspath K (10 à 100 µm) (Figure 11). Les phénocristaux sont également présents (représentant 40 % du volume de la roche) sous forme de lattes de feldspath K. Le plagioclase d'une taille de 1 à 10 mm est également observé, présentant des macles polysynthétiques et une altération intense en séricite. On observe également des vacuoles de forme irrégulière remplie par des carbonates principalement de la calcite recristallisée présente une forme automorphe avec des irisations et

des grains de quartz d'une taille atteindre 10-20 mm. La roche est similaire au les trachyandésites ordinaires mais elle plus évolué avec l'absences des minéraux ferromagnésiens.

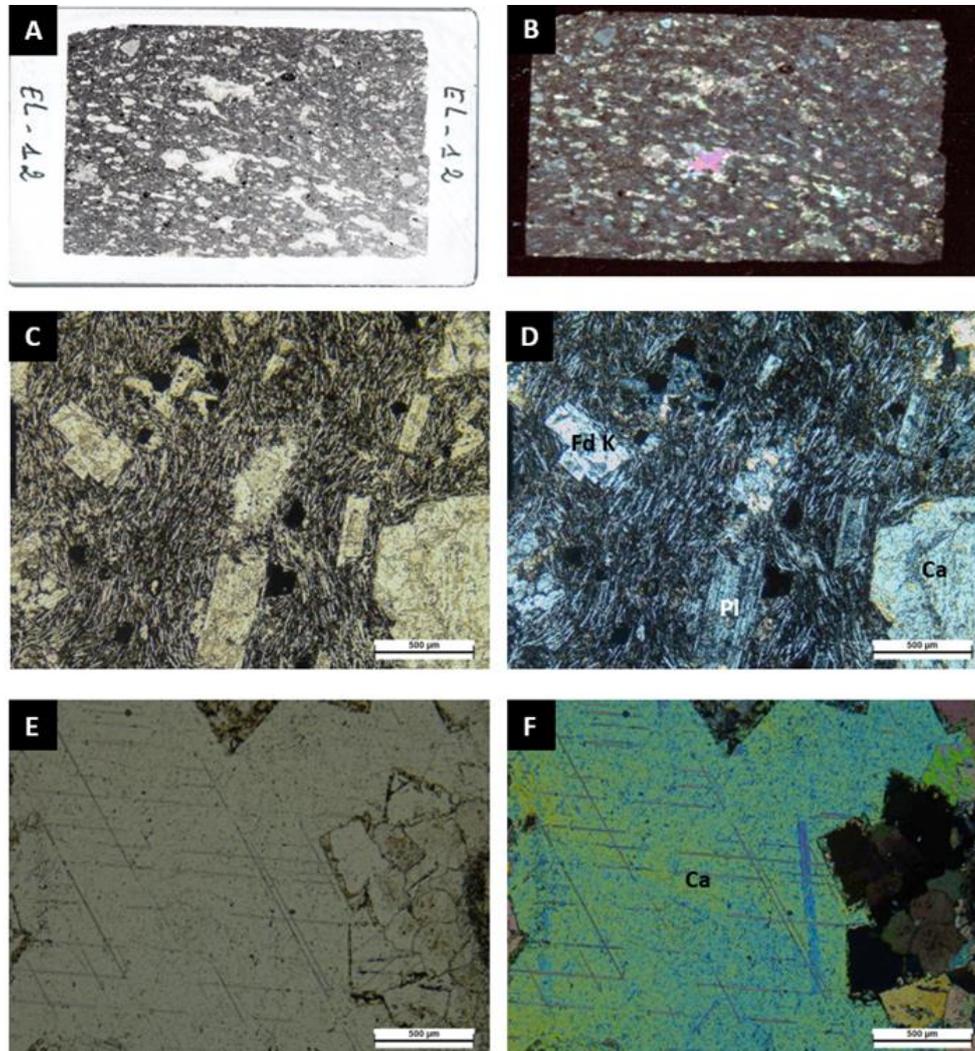


Figure 10. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL12 : A, scanne de la lame EL12 en LPNA ; B, scanne de la lame EL12 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA ; Pl, plagioclase.

3. Trachytes

Ce faciès de couleur rougeâtre exhibe une texture trachytique fluidale, avec une mésostase (> 95 vol.% de la roche) fine constituant principalement des microlites de feldspath K de très petite taille, allant de 10 à 30 µm (Figure 11). Occasionnellement, on peut observer des phénocristaux, sous forme des lattes de plagioclase de taille comprise entre 1 et 2 mm, dont la structure présente des macles polysynthétiques et une altération intense en séricite. Les oxydes sont xénomorphes et apparaissent tardivement par rapport aux feldspaths, remplissant les fractures. La phase interstitielle est réduite à de petites plages constituées de microcristaux indéterminables et de minéraux opaques. On retrouve également de petits amas brunâtres à tendance rectangulaire, évoquant d'anciens pyroxènes ou d'anciennes amphiboles.

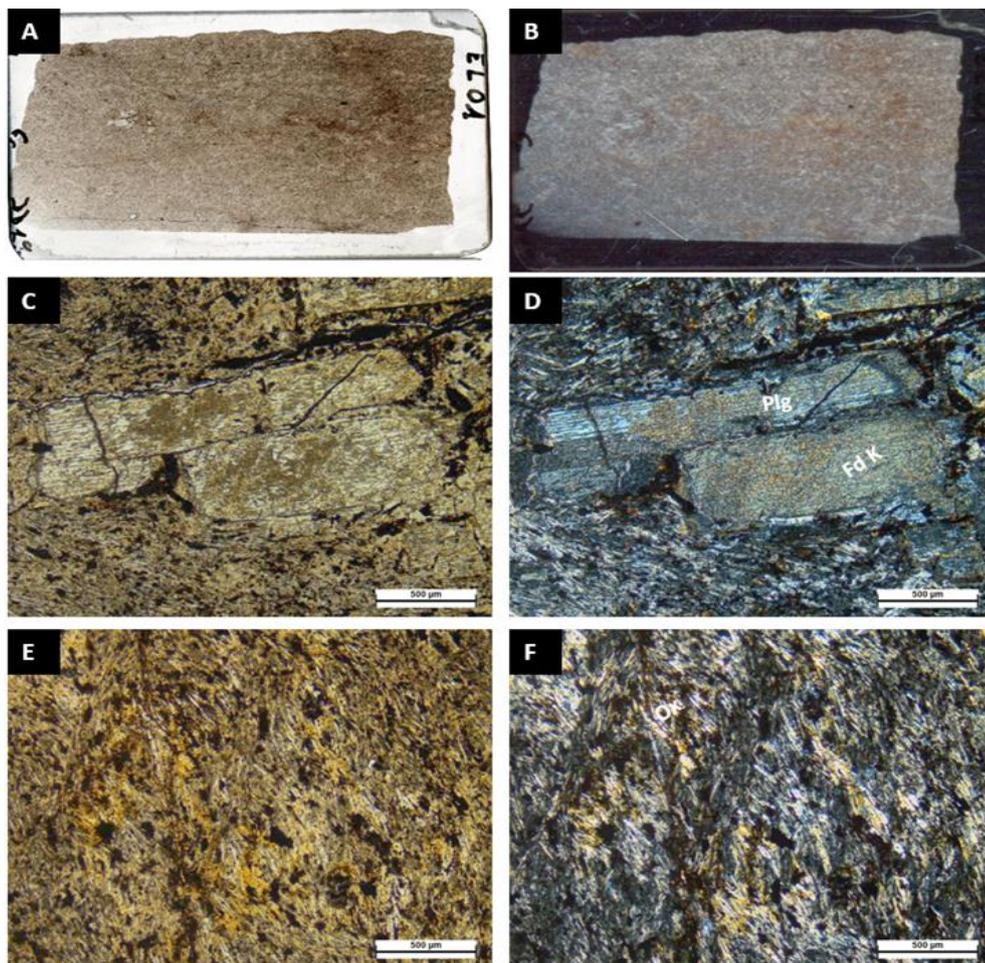


Figure 11. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL01 : A, scanne de la lame EL01 en LPNA ; B, scanne de la lame EL01 en LPA ; C et E, des observations microscopiques LPNA ; D et F, des observations microscopiques el LPA.

4. Trachytes bréchiques

Ces roches bréchiques généralement de couleur rouge grisâtre. Elles présentent une hétérogénéité marquée par des fragments et des brèches (forme variable) millimétrique à centimétrique d'origine magmatique initiale (Figure 12). Cette roche présente une texture trachytique fluidale, comme celle de trachyte EL01. La mésostase (70-80 vol.% de la roche) fine constituant principalement des microlites de feldspath K de très petite taille, allant de 10 à 200 μm . Cependant, les phénocristaux sont abondants (20-30 vol.%), sous forme des lattes de feldspath K et plagioclase de taille comprise entre 0.5 et 3 mm, souvent sont déstabilisé et séricitisé. Des phénocristaux d'anciens ferromagnésiens complètement transformés en oxydes de fer sont également observés (taille arrive à 0.5 mm). La roche est bréchique et trop fracturée par un fluide carbonaté (dominance de la calcite) formant le principal ciment pour les fragments de la roche. Dans la matrice carbonatée on trouve également quelques grains de quartz.

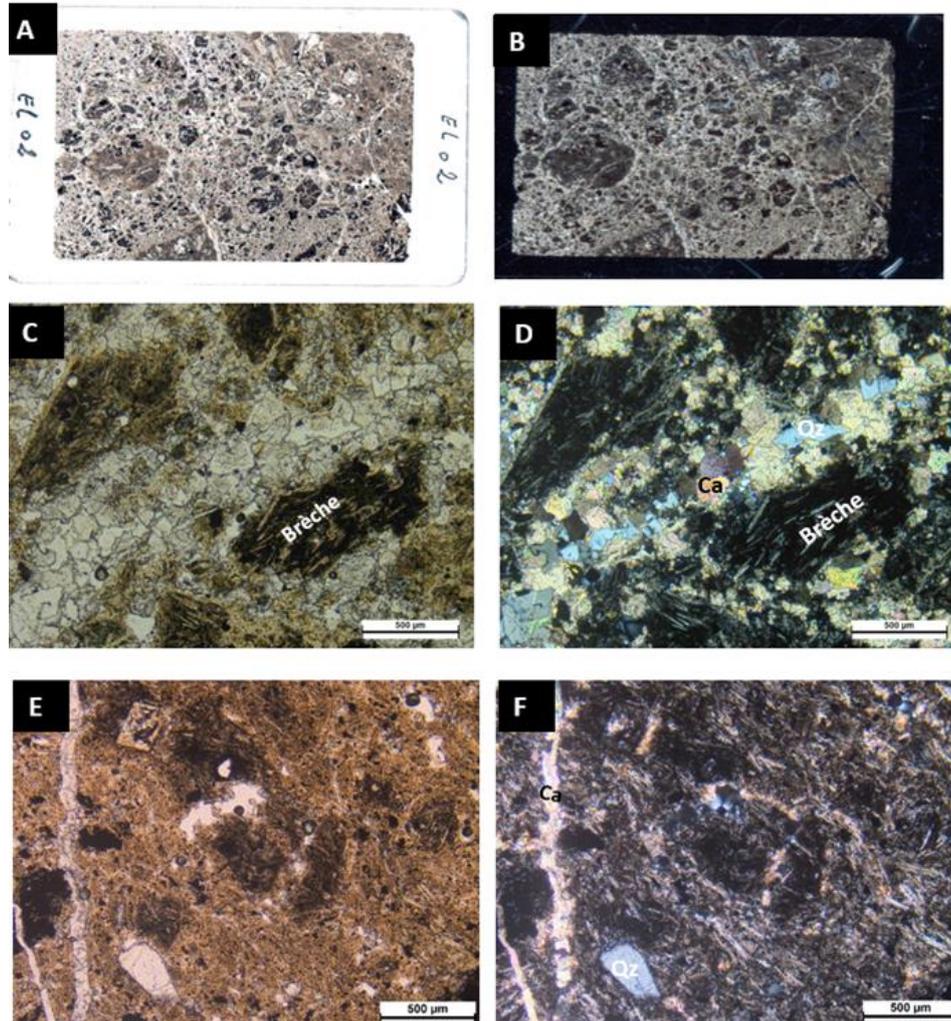


Figure 12. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL02 : A, scanne de la lame EL02 en LPNA ; B, scanne de la lame EL02 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA.

5. Trachytes ignimbrtiques

Cette roche présente une couleur gris-noirâtre et est majoritairement composée d'une matrice représentant environ 60 à 65% du volume total de la roche (Figure 13). Dans ce facies pyroclastique, on y trouve également dans la matrice des fragments de roches magmatiques de tailles et formes variées qui sont orientés selon le sens d'écoulement de la lave. Ces fragments ont une texture trachytique fluidale qui représente environ 80% du volume de la roche. Cette texture est constituée de phénocristaux (20 vol %) sous forme de feldspath K d'une taille d'environ 0,5 mm qui ont subi une altération en séricite, ainsi que

de cristaux de quartz xénomorphe d'une taille d'environ 0,4 mm. Les anciens ferromagnésiens présents ont une forme sub-automorphe transformée totalement en oxyde de fer. On note également la présence de calcite et d'épidote.

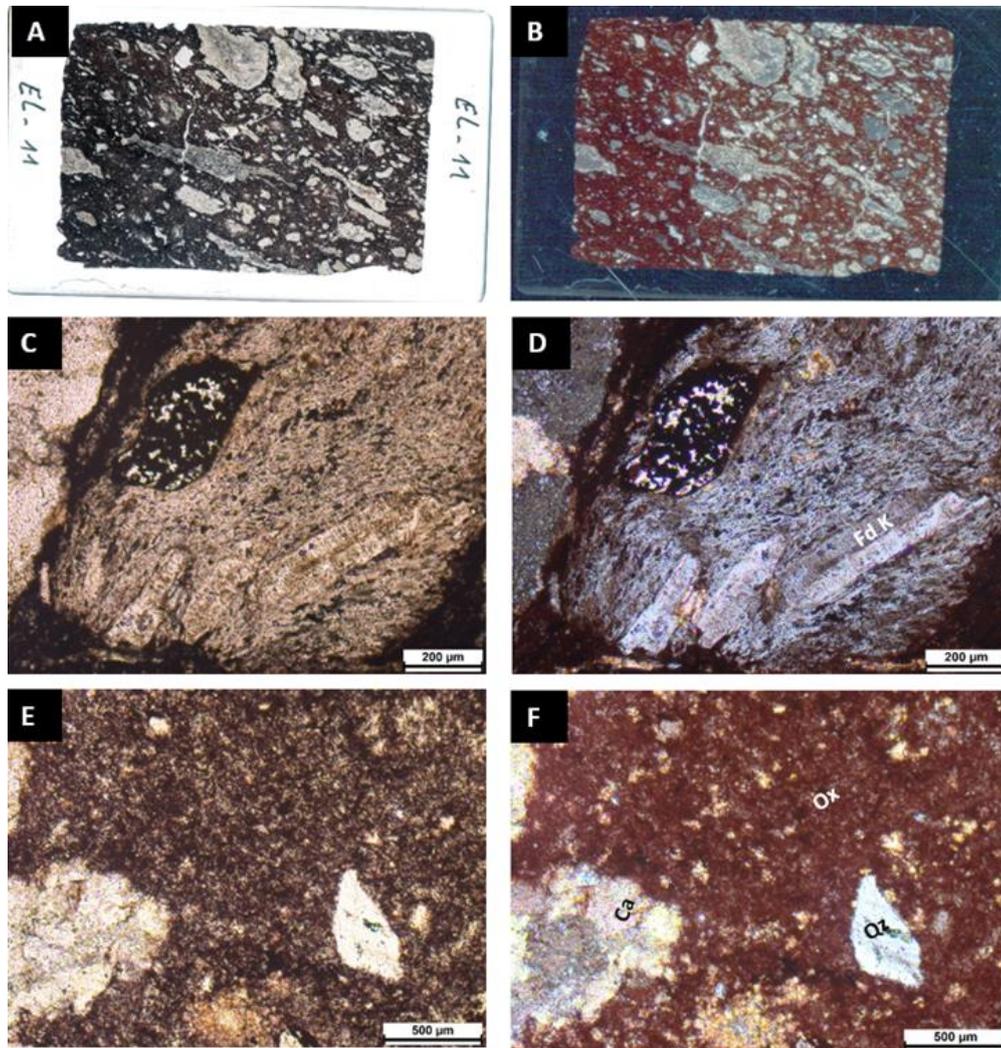


Figure 13. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL11 : A, scanne de la lame EL11 en LPNA ; B, scanne de la lame EL11 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA.

6. Trachytes vacuolaires

Cette roche présente une couleur grise et une texture trachytique fluidale avec une fine mésostase (> 90 Vol.% de la roche), principalement composée de microlites de feldspath K et de plagioclase de très petite taille, allant de 10 à 30 µm. Des poches ou vacuoles arrondis remplis

de calcite et de quartz sont présents dans la roche, tandis que les vacuoles sont entourées de bordures d'oxydes de fer qui sont tardives aux carbonatations. Des fractures dans la roche sont également remplies de carbonates.

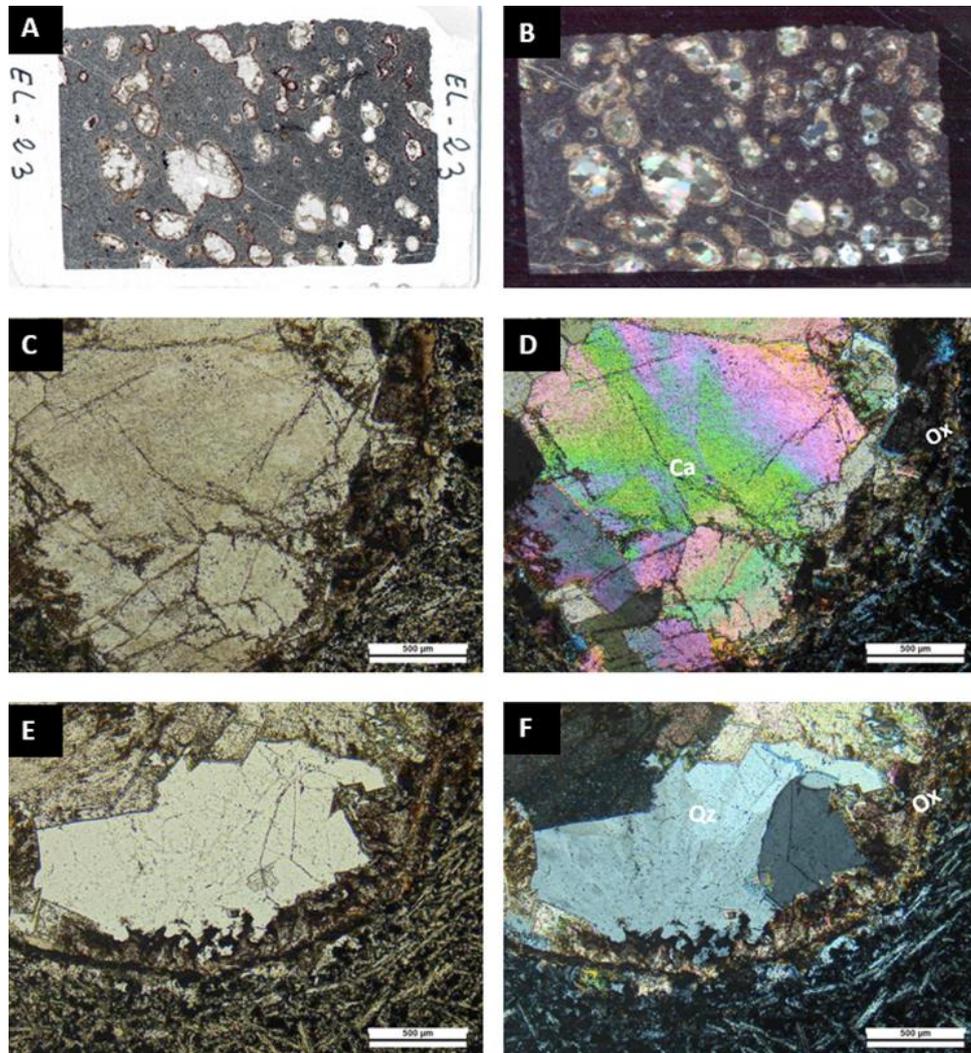


Figure 14. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL23 : A, scanne de la lame EL23 en LPNA ; B, scanne de la lame EL23 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA.

7. Microsyénites

Ces roches sont d'une couleur généralement grisâtre, les minéraux sont visibles mais d'une taille petite (Figure 15). La roche présente une texture microgrenue porphyrique avec une mésostase dominat (70-90 Vol %) constitué des lattes de feldspath K d'une taille

relativement grossier. Ce facies est caractérisé par des phénocristaux sous forme de plagioclase et feldspath K de taille variable atteindre jusqu'à 5 mm. En outre, on peut voir des phénocristaux des ferromagnésiens transformés complètement en oxyde de fer de taille 0,4-0,6mm. Les roches sont affectées par la carbonatation, qui fracture et bréchifie la roche grâce à l'action de fluides carbonatés (composés de calcite). On peut également observer des grains de quartz et d'épidote. Ce facies peut être l'équivalent sub-volcaniques des trachytes.

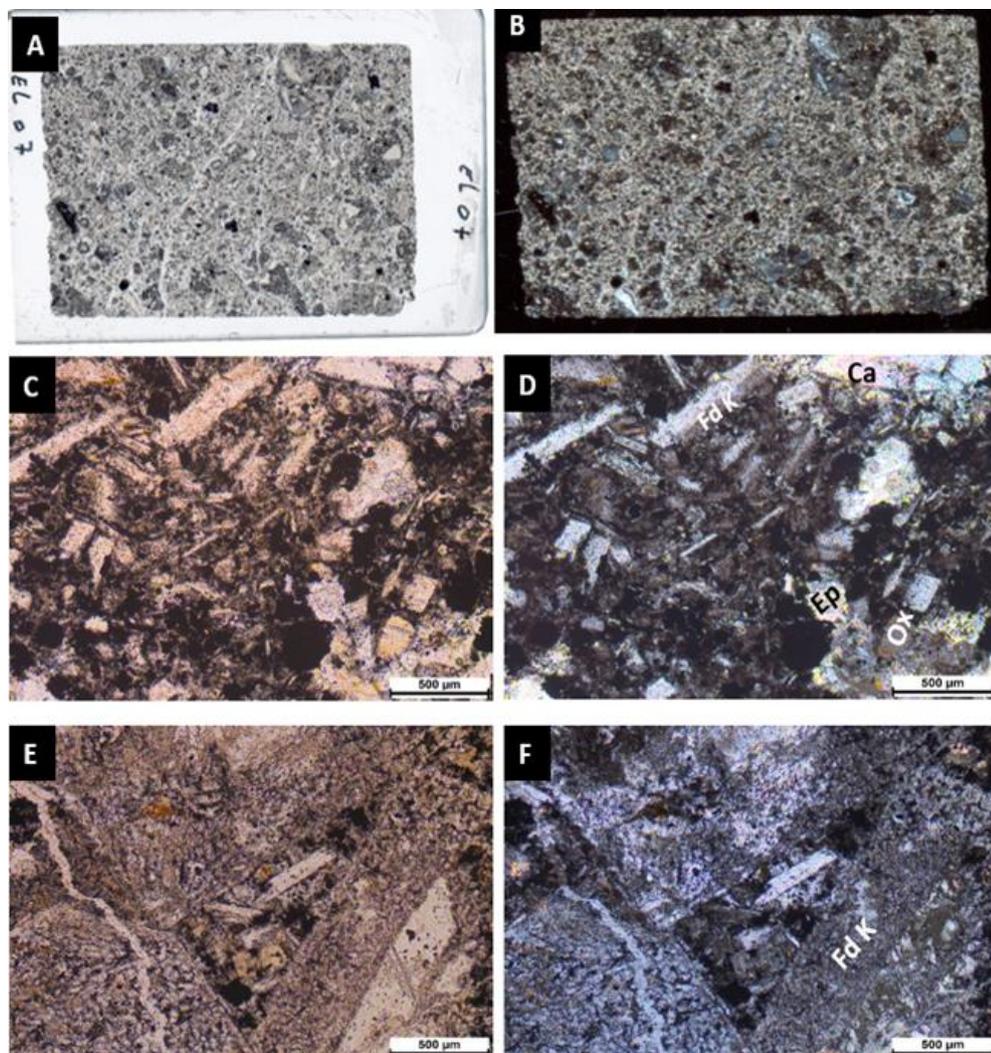


Figure 15. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL07 : A, scanne de la lame EL07 dans la lumière naturelle (LP OU LPNA) ; B, scanne de la lame EL07 dans la lumière polarisée analysé (LPA) ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques LPA ; Ca, la calcite ; Ep, l'épidote ; Fd K, le feldspath potassique ; Ox, Oxydes de fer.

8. Carbonates

Ces roches qui représentent l'encaissant de complexe alcalin d'El Gloa, sont généralement de couleur claire blanchâtre ou rougeâtre contenant des carbonates recristallisés, notamment de la dolomite (Figure 16). Les grains de dolomite sont millimétriques et présentent 99 vol.% de la roche.

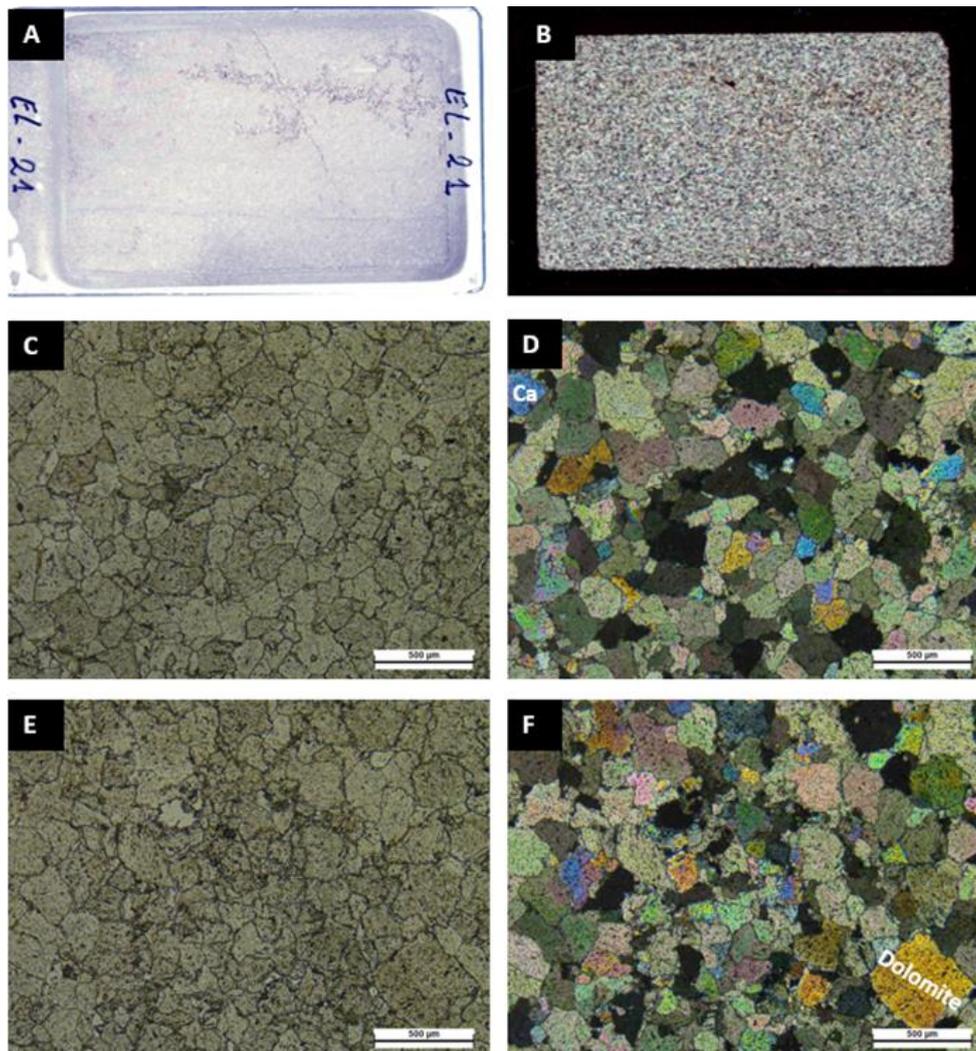


Figure 16. Planche photographique des observations macroscopique et microscopique effectuée sur la lame EL21 : A, scanne de la lame EL21 en LPNA ; B, scanne de la lame EL21 en LPA ; C et E, des observations microscopiques en LPNA ; D et F, des observations microscopiques en LPA.

CHAPITRE 6 : CONCLUSIONS

Notre étude bibliographique et pétrographique/minéralogique du complexe alcalin d'El Gloa, boutonnière de Bou-Azzer (Anti-Atlas) permet de tirer les conclusions suivantes :

Sur le plan stratigraphique, la zone d'étude est formée de terrains sédimentaires montrant un caractère essentiellement détritique. Ils sont représentés par des grés, pélites, argiles et dolomies. Un complexe volcanique de nature alcaline du forme ellipsoïde (superficie ~ 50 Km²) caractérisé par une série de roches alcalines, notamment des basaltes, tufs pyroclastiques, brèches pyroclastiques, des trachytes et des syénites. Les terrains d'E Gloa sont comparables aux terrains cambriens de Jbel Boho.

Pétrographiquement, les échantillons étudiés de complexe alcalin d'El Gloa ont été divisés en quatre groupes principaux : des trachyandésites, des trachytes, des microsyénites et des carbonates. Les trachyandésites est composé par des trachyandésites ordinaires et d'autre vacuolaires remplies avec des carbonates. Les trachytes aussi composés par des trachytes ordinaires d'autre vacuolaires, des trachytes ignimbritiques et des trachytes bréchiques.

Les observations microscopiques ont révélé que la plupart des échantillons étaient affectés par une altération intense (séricitisation, oxidation) et circulation des fluides carbonatés, suggérant que les carbonates (notamment le dolomie) encaissantes pourraient être à l'origine des carbonates envier les roches magmatiques étudiées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Álvaro, J.J., Benziane, F., Thomas, R., Walsh, G.J., Yazidi, A. (2014). Neoproterozoic Cambrian stratigraphic framework of the Anti-Atlas and Ouzellagh promontory (High Atlas). Morocco. *J. Afr. Earth Sci.* 98, 19–33.
- Beinlich, A., von Heydebrand, A., Klemm, R., Martin, L., Hicks, J., 2020, Desulphurisation, chromite alteration, and bulk rock PGE redistribution in massive chromitite due to hydrothermal overprint of the Pantan Intrusion, east Kimberley, Western Australia. *Ore Geology Reviews*, 118, 103288.
- Benzaggagh, M., Mokhtari, A., Rossi, P., Michard, A., El Maz, A., Chalouan, A., ... & Rjijmati, E. C. (2014). Oceanic units in the core of the External Rif (Morocco): Intramargin hiatus or South-Tethyan remnants? *Journal of Geodynamics*, 77, 4-21.
- Blein, O., Baudin, T., Soulimani, A., Cocherie, A., Chèvremont, P., Admou, H., 828 Ouanaimi, H., Hafid, A., Razin, P., Bouabdelli, M., Roger, J., 2014. New geochemical, 829 geochronological and structural constraints on the Ediacaran evolution of the south Sirwa, 830 Agadir-Melloul and Iguerda inliers, Anti-Atlas, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 831 98, 47-71.
- Chalouan, A., Michard, A., Kadiri, K., Negro, F., Lamotte, D., Soto, J. I., & Saddiqi, O. (2008). The Rif Belt. In *Continental evolution: the geology of Morocco* (pp. 203-302). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Choubert, G. (1947) L'accident majeur de l'Anti-Atlas. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 224 : 1172-1173
- Choubert, G. (1963). Histoire géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas. *Not. Mém. Serv. Géol. Maroc* 162, 1–352.
- Clauer, N., Leblanc, M. (1977) Implications stratigraphiques d'une étude géochronologique Rb-Sr sur métasédiments précambriens de Bou Azzer (Anti-Atlas, Maroc). *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc* 38 : 7-12
- El Bahat, A., Ikenne, M., Söderlund, U., Cousens, B., Youbi, N., Ernst, R., Soulimani, A., El Janati, M. & Hafid, A., 2013. U-Pb baddeleyite ages and geochemistry of dolerite dykes in the Bas Drâa Inlier of the Anti-Atlas of Morocco: newly identified 1380 Ma event in the West African Craton. *Lithos* 174: 85-98.
- El Hadi, H., Simancas, J.F., Martínez-Poyatos, D., Azor, A., Tahiri, A., Montero, P., Fanning, C.M., Bea, F., González-Lodeiro, F., 2010, Structural and geochronological constraints on the evolution of the Bou Azzer Neoproterozoic ophiolite (Anti-Atlas, Morocco). *Precambrian Research*, 182, 1–14.
- Ennih, N., Liègeois, J. P. (2001). The Moroccan Anti-Atlas: The West African Craton passive margin with limited Pan-African activity. Implications for the northern limit of the craton. *Precambrian Research* 112: 289-302.
- Fekkak, A., Pouclet, A., Ouguir, H., Ouazzani, H., Badra, L., Gasquet, D., 2001. Géochimie et signification géotectonique des volcanites du Cryogénien inférieur du Saghro (Anti-Atlas oriental, Maroc). *Geodinamica Acta* 13: 1-13.

- Gasquet D. (1991) Genèse d'un pluton composite tardi-hercynien, Le Massif du Tichka, Haut-Atlas occidental (Maroc), Thèse de doctorat soutenue à l'université de Nancy, France.
- Gasquet, D., Ennih, N., Liégeois, J.P., Soulaïmani, A., Michard, A., 2008. The Pan-African belt. *Lect. Notes Earth Sci.*, v. 116, p. 33–64.
- Hoepffner, C., Houari, M.R.b, Bouabdelli, M. (2006). Tectonics of the North African Variscides (Morocco, western Algeria): an outline. *C. R. Geosci.* 338, 25–40. Huvelin, P., Villand, J.C., 1978. Quelques filons barytiques du Haut Atlas. *Mines et Géologie Rabat.* 43, 73–89.
- Hoepffner, C., Soulaïmani, A., Piqué, A. (2005). The Moroccan Hercynides. *J. Afr. Earth Sci.* 43, 144–165.
- Ikenne, M., Söderlund, U., Ernst, R.E., Pin, C., Youbi, N., El Aouli, E.H. & Hafid, A., 2017. A c. 1710 Ma mafic sill emplaced into a quartzite and calcareous series from Ighrem, Anti-Atlas - Morocco: Evidence that the Taghdout passive margin sedimentary group is nearly 1 Ga older than previously thought. *J. Afr. Earth Sci.* 127: 62-76.
- Leblanc, M. (1975). Ophiolites précambriennes et gites arseniés de cobalt : Bou Azzer (Maroc). These Doctorat d'Etat, Faculte des Science Paris VI, Memoires Centre Geologique et Geophysique.
- Leblanc, M., 1981. The late Proterozoic ophiolites of Bou Azzer (Morocco): evidence 1040 for Panafrican plate tectonics. In: Kroöner, A. (Ed.), *Precambrian Plate Tectonics*. Elsevier, 1041 Amsterdam, pp. 435–451.
- Letsch, D., Houicha, M. E., von Quadt, A., & Winkler, W. (2018). A missing link in the peri-Gondwanan terrane collage: the Precambrian basement of the Moroccan Meseta and its lower Paleozoic cover. *Canadian Journal of earth sciences*, 55(1), 33-51.
- Michard, A. (1976). *Eléments de géologie marocaine*. Notes et Mém. Serv. géol. Maroc 252, 408p.
- Michard, A., Soulaïmani, A., Hoepffner, C., Ouanaimi, H., Baïdder, L., Rjijati, E.C., Saddiq, O. (2010). The South-Western Branch of the Variscan Belt: evidence from Morocco. *Tectonophysics* 492, 1–24
- Ouabid, M., Ouali, H., Garrido, C. J., Acosta-Vigil, A., Román-Alpiste, M. J., Dautria, J. M., ... & Hidas, K. (2017). Neoproterozoic granitoids in the basement of the Moroccan Central Meseta: correlation with the Anti-Atlas at the NW paleo-margin of Gondwana. *Precambrian Research*, 299, 34-57.
- Peucat, J. J., Capdevila, R., Drareni, A., Mahdjoub, Y., & Kahoui, M. (2005). The Eglab massif in the West African Craton (Algeria), an original segment of the Eburnean orogenic belt: petrology, geochemistry and geochronology. *Precambrian Research*, 136(3-4), 309-352.
- Piqué, A. (1989). Variscan terranes in Morocco. *Geological Society of America, Special Paper*, 230, 115-29.
- Piqué, A., (1994). *Géologie de Maroc : les domaines régionaux et leurs évolutions structurale PUMAG : Marrakech*. 284p.
- Piqué, A., Tricart, P., Guiraud, R., Laville, E., Bouaziz, S., Amrhar, M., Aït Ouali, R. (2002). The Mesozoic-Cenozoic Atlas belt (North Africa). *Geodin. Acta* 15, 159–208.

- Soulaimani, A., Ouanaimi, H., Saddiqi, O., Baidder, L., & Michard, A. (2018). The anti-atlas pan-african belt (Morocco): Overview and pending questions. *Comptes Rendus Geoscience*, 350(6), 279-288.
- Soulaimani A., Razin, P., Youbi, N., Barbanson, L., Admou, H., Blein, O., Gasquet. D., 1149 Bouabdelli. M., Anzar, C., 2013. Notice explicative de la Carte géologiques du Maroc (1/50 1150 000), feuille Al Gloa. Notes et Mémoires du service Géologique du Maroc, (532 bis), carte.
- Teixell, A., Arboleya, M.-L., Julivert, M., Charroud, M. (2003). Tectonic shortening and topography in the central High Atlas (Morocco). *Tectonics* 22 (5), 1051.
- Thomas R.J., Fekkak A., Ennih N., Errami E., Loughlin E.S., Gresse P.G., Chevallier 1192 L.P., Liegeois J.P., 2004. A new lithostratigraphic framework for the Anti-Atlas orogen, 1193 Morocco, *J. Afr. Earth Sci.* 39 217–226,
- Thomas, R.J., Chevallier, L.P., Gresse, P.G., Harmer, R.E., Eglington, B.M., Armstrong, R.A., de Beer, C.H., Martini, J.E.J., de Kock, G.S., Macey, P.H., and Ingram, B.A., 2002, Precambrian evolution of the Sirwa window, Anti–Atlas orogen, Morocco. *Precambrian Research*, 118, 1–57.
- Walsh, G.J., Benziane, F., Aleinikoff, J.N., Harrison, R.W., Yazidi, A., Burton, W.C., Quick, J.E., Saadane, A. (2012). Neoproterozoic tectonic evolution of the Jebel Saghro and Bou Azzer-El Graara inliers, eastern and central Anti-Atlas. Morocco. *Precambrian Res.* 216–219, 23–62