الجمهـــوريـــــة الجزائـــريـــــة الديمقـــراطيـــــة الشـعبيـــة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التـــعلـــيـــــم العـــــالـــــــي والبـــحـــــــث العـــلمـــــي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Géodynamique de la Lithosphère

Caractérisation minéralogique et géochimique des gisements argileux de la wilaya d'Ain Temouchent (Bouzedjar)

Présenté par :

Mlle. Megdad Roufaida

Mlle. Oussalem Maroua

Soutenu publiquement le : 29/06/2026

Devant le jury composé de :

Mme. Lagraa. K	M.C.A	Université d'Oran 2	Présidente
Mme. Sebane	Professeure	Université d'Oran 2	Encadrante
M. M. MAHMOUDI	M.A.A	Université d'Oran 2	Examinateur

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier le Bon Dieu de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté d'aller jusqu'au bout et de mener ce présent travail à son terme.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, nous adressons nos vifs remerciements à notre encadrante, Mme Sebane, pour nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail. Nous tenons à lui témoigner notre profonde reconnaissance et notre sincère gratitude pour son soutien, ses nombreux conseils et son sérieux encadrement tout au long de ce mémoire. Nous remercions également Mr Sebane pour son aide précieuse et son soutien constant.

Nos sincères remerciements vont également à Mme Lagraa Karima, qui nous fait l'honneur de présider le jury, ainsi qu'à Mr Mahmoudi Mohamed, qui a accepté de juger ce travail et de nous faire part de ses observations.

Nous adressons nos vifs remerciements à Mr Bettahar Noureddine et Mr Kermaoui Mohamed de l'USTO pour la réalisation des analyses DRX

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde reconnaissance envers Mr Sassi Mohamed Mme Miloudi Hafida, Mme Kabou Soumia, et Mme Hamacha-Benhamou Rachida, enseignants(es) au Département de Chimie de l'Université d'Oran 1, pour leurs précieux conseils, leur disponibilité et leur apport considérable à ce travail.

Nous tenons également à remercier M. Hocine Bouza, ingénieur au laboratoire des lames minces au Département des Sciences de la Terre de l'Université d'Oran 2, qui nous a beaucoup aidé dans la confection des lames minces.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les enseignants du Département de Géologie qui nous ont guidées et soutenues tout au long de notre formation.

Enfin, nous remercions nos familles, nos proches et nos camarades de promotion pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce parcours.

Megdad Roufaida.

Oussalem Maroua.

Dédicaces

À la mémoire de mon très cher père

Puisse le tout puissant l'accueille en son vaste paradis

À ma chère mère, pour son amour et son soutien

À mes sœurs Ikram et Manel, et mon frère Youcef

À mon encadrante madame Sebane pour ses précieux conseils

À mon amie Sara, pour sa présence et son soutien

À mon binôme Maroua.

Megdad Roufaida

Dédicaces

En hommage à mon grand-père Ahmed, dont le plus grand souhait était de me voir en ce lieu aujourd'hui.

À mes piliers, mes parents et mes grands-parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect et mon amour. Merci d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir donné les moyens d'aller au bout de mes rêves.

À mon frère Brahim et mes sœurs Fatma Fazia et Tasnime, pour leur soutien et leur complicité.

A mes tantes, mes oncles et mes cousins.

À la personne qui partage ma vie Ishaq, pour sa patience, son soutien précieux et ses encouragements

À mes amis fidèles, qui ont su trouver les mots justes pour m'encourager
Roufaida Rajaa, Khouloud et Hadjer.
À mes enseignants, qui m'ont transmis le savoir et la passion de la recherche.

Oussalem Maroua

Sommaire

Abréviations 8

Liste des figures 9

Liste des tableaux : 11

Liste des planches 12

Résumé 13

Abstract 14

ملخص 15

INTRODUCTION GENERALE 16

I. Contexte général : 16

II. Problématique et hypothèse de travail : 16

III. Objectifs du travail : 16

IV. Méthodologie : 16

V. Plan du mémoire : 16

CHAPITRE 1 : GENERALITES 18

I INTRODUCTION 18

II CADRE GEOGRAPHIQUE 18

III MORPHOLOGIE ET RELIEF 19

IV CADRE GEOLOGIQUE : 19

IV_1 La zone atlasique : 19

IV_2 La zone tellienne : 20

L'autochtone et para-autochtone : 20

V CADRE GEODYNAMIQUE : 21

VI -LE VOLCANISME 22

VII LOCALISATION DU SECTEUR D'ETUDE (..... 24

VIII DESCRIPTION DE LA COUPE 25

CHAPITRE 2 ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE. 29
I. Introduction 29
II. Méthodologie 29
III. Etude microscopique : 31
CHAPITRE 3 : GEOCHIMIE DES ARGILES DIFFRACTOMETRE RX 52
I-GENERALITES 52
II-DEFINITION 52
III-LES MINERAUX ARGILEUX 53
IV-STRUCTURE DES ARGILES 53
IV-1. Unité structurale tétraédrique 53
IV-2. Unité structurale octaédrique 54
V-PRINCIPALES ARGILES 54
V-1. Kaolinite 54
V-2. Smectite 55
V-3. Illite 56
V –4. Chlorite : 57
VI- PROPRIETES DES ARGILES 57
VII-CLASSIFICATION DES ARGILES 58
VII 1-Les minéraux de type 1.1 : 59
VII 2-Les minéraux de type 2.1 : 59
VII 3-Les minéraux de type 2.1.1 59
VII 4-Minéraux inter stratifiés 59
VIII UTILISATION DES ARGILES : 60
IX ALTERATION CHIMIQUE DES MINERAUX SILICATES 61
X-METHODOLOGIE : DIFFRACTOMETRIE AUX RAYONS X (DRX) 64
X-1. Le principe fondamental 64

X-2. Le processus de diffraction des rayons X : se déroule généralement en trois étapes principales : 64

X-3- Interprétation des phases cristallines et amorphes 67

XI /Utilisation des logiciels d'analyse des diffractogrammes 68

XII Protocole adopté pour la préparation et l'étude de notre matériel 69

RESULTATS 73

CONCLUSION GENERALE 84

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 86

Abréviations

LPNA	Lumière polarisée non analysée.
LPA	Lumière polarisée analysée.
Pla	Plagioclase
Mus	Muscovite
Sani	Sanidine
OPX	Orthopyroxène
Bio	Biotite.
Bio Alt	Biotite altérée.
MEB	Microscopie électronique à Balayage.
DRX	Diffractométrie aux rayons x.

Liste des figures

Figure. 1 : Localisation du secteur d'étude (google maps) 18
Les communes de la wilaya d'Aïn Temouchent (Témouchent, 19 février 2011) 18
Figure 2 : Contexte Géologique de l'Oranie nord occidentale (Bendoukha, 2008) 21
Figure 3: Scénario géodynamique actuel simplifié de la région Méditerranée centrale et occidentale superposé à la topographie et à la bathymétrie. GL : Linéament de Giudicarie ; IL : Ligne Insubrienne. (Carminati, Lustrino, & Doglioni, 2012) 22
Figure 4 Distribution du magmatisme tertiaire dans la région de la Méditerranée centrale et occidentale. (Carminati, Lustrino, & Doglioni, 2012) 23
Figure 5 : Les Massifs volcaniques du littoral Oranais (Megartsi, 1985) 24
Figure. 6 : Vue satellitaire du secteur d'étude. (google maps) 25
Vue aérienne du port de pêche de Bouzedjar (Algerie360, 2017) 25
Figure 7 : log montrant la mise en place des dépôts pyroclastiques : les cinérites ainsi que les « microbrèches » dacitiques de la série volcano-sédimentaire de Bouzedjar 27
Figure 8 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 1. Grossissement : ×5 31
Figure 9 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 2. Grossissement : ×5 32
Figure 10 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 4 Grossissement : ×5 33
Figure 11 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 5. Grossissement : ×5 34
Figure 12 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 14. Grossissement : ×5 35
Figure 13 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 10. Grossissement : ×5 36
Figure14 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 15 Grossissement : ×5 37
Figure 15 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 17. Grossissement : ×5 38
Figure16 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 18. Grossissement : ×5 39
Figure17 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 19. Grossissement : ×5 40
Figure 18 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 21. Grossissement : ×5 41
Figure 19 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) d'échantillon 22 Grossissement : ×5. . 42
Figure 20 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 24 Grossissement : ×5 43
Figure 21 : Couches tétraédriques (HARRAT, 2007) 53
Figure 22 : Couches octaédriques (HARRAT, 2007) 54
Figure 23 : Kaolinite (MEB) in (Zourgui, 2022) 55
Figure 24 : Smectite (MEB) in (Zourgui, 2022) 56
Figure 25 : Illites (MEB) in (Zourgui, 2022) 57
Figure 26 : Chlorite (MEB) in (Zourgui, 2022) 57

Figure 27 : classification générale des minéraux argileux (Caillère, Hénin, & Rautureau, 1982) 58
Figure 28 : L'altération chimique des minéraux silicaté (HAUTEVELLE, 2008)..... 63
Figure 29 : Schéma du principe du diffractomètre RX (Zourgui, 2022) 64
Figure 30 : Traitement par Chauffage (Benzerara, s.d)..... 66
Figure 31 : Traitements à l'éthylène glycol (Benzerara, s.d) 67
Figure 32 : Traitements pour identifier un mélange d'argiles par diffraction des rayons X. (Benzerara, s.d) 68
Figure 33 : tableau récapitulatif pour identifier un mélange d'argiles par diffraction des rayons X. (Benzerara, s.d)..... 68
Figure 34 : Préparation des lames 69
Figure 35: conservation de la lame 70
Figure 36 : Rigaku MiniFlex Diffractogramme (Rigaku, 2024)..... 71
Figure 37 : spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ1..... 73
Figure 38 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ1 73
Figure 39: Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ2..... 74
Figure 40 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ2 74
Figure 41 : Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ10..... 75
Figure 42 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ10 75
Figure 43 : Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ14..... 76
Figure 44 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ14 76
Figure 45 : Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ15..... 77
Figure 46 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ15 77
Figure 47 : spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ17..... 78
Figure 48 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ17 78
Figure 49 : spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ18..... 79
Figure 50 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ18 79
Figure 51 : spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ19..... 80
Figure 52 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ19 80
Figure 53 : Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ22..... 81
Figure 54 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ22 81

Liste des tableaux :

Tableau I : Inventaire des minéraux présents dans les roches du secteur d'étude..... 44
Tableau II. La classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs espèces d'après (JASMUND & LAGHAL, 1992) 60
Tableau IV : les paramètres instrumentaux utilisés..... 70

Liste des planches

Chapitre II

Planche I : microphotographie 1à 6…….45

Planche II : microphotographie 7 à 12…….47

Planche III : microphotographie 13 à 18……49

Résumé

La présente étude tend à la caractérisation minéralogique et géochimique des gisements argileux du site de Bouzedjar, situé dans la wilaya d'Aïn Témouchent en Oranie Nord-Occidentale (Algérie), constituant un témoin majeur de l'évolution volcano-sédimentaire Miocène liée au contexte géodynamique de la marge active méditerranéenne. Ce travail tend à reconstituer, dans la mesure du possible, l'histoire géologique locale en termes de magmatisme, d'altération hydrothermale et de tectonique cassante, à travers une approche intégrée combinant étude pétrographique et analyse par Diffraction des Rayons X.

La méthodologie repose sur deux approches complémentaires : l'étude pétrographique de 14 lames minces faites sur des roches prélevées sur le terrain et l'analyse par Diffraction des Rayons X (DRX) de 9 échantillons sélectionnés pour leur représentativité minéralogique.

Les résultats mettent en évidence trois grands groupes minéralogiques :

Les minéraux non argileux, hérités de la roche mère, dominés par les plagioclases (bytownite, albite, anorthite), le quartz, les feldspaths potassiques (orthose, microcline, sanidine), les pyroxènes et la biotite, permettant de confirmer le caractère andésitique à dacitique de la série volcano-sédimentaire,

Les minéraux argileux, résultant principalement des processus d'altération hydrothermale et de diagenèse, dominés par la kaolinite, l'illite, la montmorillonite, la smectite, la chlorite et les interstratifiés, témoignant d'une hydrolyse modérée à notable des minéraux primaires,

La confrontation de ces résultats, bien que nécessitant des investigations géochimiques complémentaires pour être pleinement confirmés, sont compatibles avec un système géologique complexe associant un magmatisme calco-alcalin, une tectonique cassante et un hydrothermalisme, en accord avec le contexte régional de l'Oranie au Miocène inférieur et supérieur.

Mots-clés : Bouzedjar, minéraux argileux, altération hydrothermale, géodynamisme, magmatisme, Miocène, Oranie, DRX.

Abstract

The present study aims at the mineralogical and geochemical characterization of clay deposits in the Bouzedjar area, located in the wilaya of Aïn Temouchent in North-Western Oranie (Algeria), representing a major witness of the Miocene volcano-sedimentary evolution linked to the geodynamic context of the active Mediterranean margin. This work aims to reconstruct, as far as possible, the local geological history in terms of magmatism, hydrothermal alteration and brittle tectonics, through an integrated approach combining petrographic study and X-Ray Diffraction analysis.

The methodology is based on two complementary approaches: the petrographic study of 14 thin sections made from field-collected rocks, and X-Ray Diffraction (XRD) analysis of 9 samples selected for their mineralogical representativeness.

The results highlight three major mineralogical groups:

— **non-clay minerals,** inherited from the parent rock, dominated by plagioclases (bytownite, albite, anorthite), quartz, potassic feldspars (orthoclase, microcline, sanidine), pyroxenes and biotite, confirming the andesitic to dacitic character of the volcano-sedimentary series,

— **clay minerals,** resulting mainly from hydrothermal alteration and diagenesis processes, dominated by kaolinite, illite, montmorillonite, smectite, chlorite and interstratified minerals, reflecting moderate to notable hydrolysis of primary minerals,

— **and accessory minerals,** among which arsenopyrite was identified, associated with quartz, suggesting the existence of an active silico-sulfide vein system in this sector.

The confrontation of these results, although requiring additional geochemical investigations to be fully confirmed, are compatible with a complex geological system combining calc-alkaline magmatism, brittle tectonics and hydrothermal activity, in agreement with the regional context of Oranie during the lower and upper Miocene.

Keywords: *Bouzedjar, clay minerals, hydrothermal alteration, geodynamics, magmatism, Miocene, Oranie, XRD.*

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى التوصيف المعدني والجيوكيميائي للرواسب الطينية في منطقة بوزجار، الواقعة في

عين تموشنت بشمال غرب وهران (الجزائر)، والتي تُعدّ شاهداً رئيسياً على التطور البركاني الرسوبي النيوجيني المرتبط بالسياق الجيوديناميكي لهامش البحر الأبيض المتوسط النشط. يسعى هذا العمل إلى إعادة بناء التاريخ الجيولوجي المحلي قدر الإمكان من حيث النشاط الصهاري والتغيّر الحراري المائي والتكتونيك الكسري، من خلال نهج متكامل يجمع بين .الدراسة البتروغرافية وتحليل حيود الأشعة السينية

تعتمد المنهجية على نهجين تكميليين: الدراسة البتروغرافية ل 14شريحة رقيقة مُعدَّة من صخور مُجمَّعة من الميدان، وتحليل 9عينات بتقنية حيود الأشعة السينية مختارة لتمثيليتها المعدني

: وقد كشفت النتائج عن ثلاث مجموعات معدنية كبرى

،المعادن غير الطينية :الموروثة من الصخر الأصل، تهيمن عليها الفلسبارات اللوحية (البيتاونيت، الألبيت، الأنورثيت)

والكوارتز، والفلسبارات البوتاسية (الأرثوكلاز، المكروكلين، الساندين)، والبيروكسينات والبيوتيت، مما يؤكد الطابع ،الأندزيتي إلى الداسيتي للسلسلة البركانية الرسوبية

المعادن الطينية :الناتجة أساساً عن عمليات التغيّر الحراري المائي والدياجينيز، تهيمن عليها الكاولينيت والإيليت والمونتموريلونيت والسمكتيت والكلوريت والمعادن المتناوبة الطبقات، مما يشهد على تحلل مائي معتدل إلى ملحوظ ،للمعادن الأولية

المعادن الملحقة : التي تم من خلالها تحديد معدن الأرسينوبيريت المرتبط بالكوارتز، مما يشير إلى وجود نظام عروق سيليسية كبريتيدية نشط في هذا القطاع

إن مقارنة هذه النتائج، وإن كانت تستلزم إجراء تحقيقات جيوكيميائية تكميلية للتأكيد الكامل، فإنها تتوافق مع نظام جيولوجي معقد يجمع بين نشاط صهاري كالكو-قلوي وتكتونيك كسري ونشاط حراري مائي، وذلك في انسجام مع السياق الإقليمي .لمنطقة وهران خلال عصر الميوسين

،الكلمات المفتاحية : بوزجار، المعادن الطينية، التغيّر الحراري المائي، الجيوديناميكية، النشاط الصهاري، الميوسين وهران DRX

INTRODUCTION GENERALE

I. Contexte général :

Le secteur de notre étude est situé près du port de Bouzedjar, dans la wilaya d'Aïn Temouchent (Nord-Ouest algérien), il fait partie de la chaîne alpine des Maghrébides. Il est caractérisé par la présence de formations volcano-sédimentaires du Miocène, où les cinérites et les tufs volcaniques affleurent.

II. Problématique et hypothèse de travail :

L'altération hydrothermale des roches volcaniques et la tectonique cassante régionale sont à l'origine de la composition des minéraux de ces alternances. Ces dépôts d'âge miocène nécessite une attention spécifique, l'étude se basera sur deux méthodes complémentaires, la pétrographie et la géochimie des minéraux contenus dans les roches.

III. Objectifs du travail :

Le but de ce travail est de confronter les résultats des observations obtenus à partir de deux approches pluridisciplinaires. Ce sont :

- L'Identification des minéraux à partir de la microscopie optique (M.O) de la série volcano-sédimentaire.
- La Détermination et la quantification des phases minérales argileuses et non argileuses par diffractométrie aux rayons X (DRX).

IV. Méthodologie :

La démarche adoptée s'articule sur deux volets : une étude pétrographique par microscopie optique (LPNA et LPA) et des analyses par diffractométrie X (DRX) sur roche totale, réalisées par un diffractomètre Rigaku MiniFlex et interprétées à l'aide du logiciel Match ! 2.

V. Plan du mémoire :

Ce travail est organisé en trois chapitres.

Le premier chapitre présente le cadre géographique, de la morphologie, de la géologique, de la géodynamique de la région, du volcanisme et de la localisation du secteur d'étude. Le deuxième est consacré à l'étude pétrographique des lames minces pour l'identification des minéraux. Le troisième traite de la géochimie et de la caractérisation des minéraux argileux à partir de la DRX. Une conclusion générale synthétise les résultats obtenus et pour terminer des propositions pour les perspectives à venir destinés aux travaux de la recherche dans le domaine industriel.

Chapitre 1

CHAPITRE 1 : GENERALITES

I INTRODUCTION

Le secteur de Bouzedjar, situé au cœur du sahel oranais (Nord –Ouest algérien), occupe une position stratégique à la fois touristique, agricole et environnementale au sein de la wilaya d'Ain Temouchent. Cette région littorale occidentale est particulièrement reconnue pour ses vastes superficies agricoles, ses potentialités hydrothermales et ses sources naturelles, mais elle est également exposée à de multiples aléas naturels : Risques sismiques modérés, érosion côtière accélérée, instabilités géotechniques liées aux formations argileuses gonflantes, ainsi qu'aux effets hérites des phases volcaniques et tectoniques du Miocène et du Plio-quaternaire.

II CADRE GEOGRAPHIQUE

Le secteur d'étude se situe à Bouzedjar, commune littorale de la wilaya d'Ain Temouchent (daïra d'El Amria), il est localisé à environ 58km à l'ouest-sud-ouest d'Oran et à 45km à l'Est de Beni saf. Sa proximité avec les repères maritimes majeurs, tels que le Cap Figalo et les iles Habibas, en fait un point stratégique du sahel oranais.

Le paysage présente un contraste marqué entre un relief accidenté (falaises maritimes, vestiges volcaniques) et des zones de replats constituées par des terrasses marines étagées. Au sud, le secteur s'ouvre sur la plaine continentale de la M'leta (HAMDAOUI, 2018)

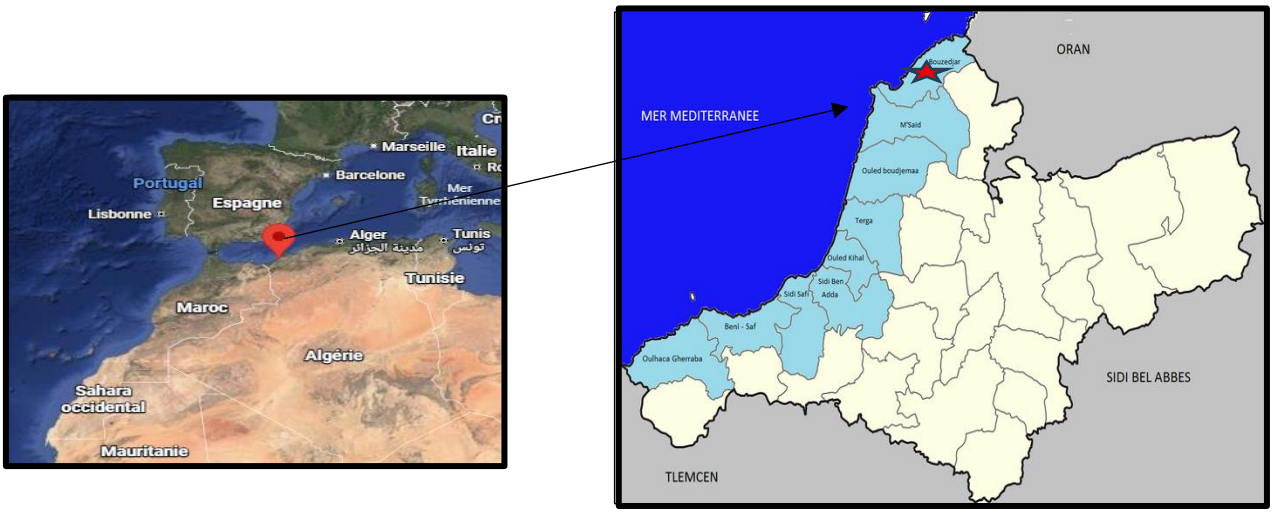


Figure. 1 : Localisation du secteur d'étude. ★ **(google maps)**

Les communes de la wilaya d'Aïn Temouchent **(Témouchent, 2011)**

III MORPHOLOGIE ET RELIEF

La région de Bouzedjar présente un relief caractéristique des zones de piémont tellien, avec une alternance de :

-Collines et ondulations d'altitude modérée, généralement compris entre 200 et 600 m.

-Vallées encaissées creusées par les oueds, orientées globalement vers le nord en direction de la mer méditerranée.

-Plaines alluviales locales, développées le long des principaux cours d'eau.

Le modèle du relief est fortement influencé par la nature lithologique des formations affleurantes (marnes tendres, argiles…) et par la tectonique active de la région. Les versants subissent une forte dégradation principalement en raison de la fragilité des formations marneuses locales. (HAMDAOUI, 2018)

IV CADRE GEOLOGIQUE :

La région de Bouzedjar, se situe dans le contexte géologique du nord de l'Algérie, comprise dans le domaine externe de la chaine alpine dans lequel on peut distinguer une zone atlasique et une zone tellienne. (DURAND-DELGA, 1969)

IV_1 La zone atlasique :

La zone atlasique est constituée de terrains autochtones, formant la chaine de Filaoucène et le massif des Traras. Elle est dans le plongement du Moyen atlas, lui-même se raccordant obliquement vers le sud au Haut Atlas. Il montre un substratum paléozoïque recouvert pas une série mésozoïque plus ou moins bien développée (GUARDIA, 1975)

Cette couverture est constituée de cinq groupes sédimentaires :

1. Le groupe permo-triasique, représenté par une série détritique pourprée, avec des éléments du socle paléozoïque et des granites hercyniens. C'est à ce niveau que l'on rencontre fréquemment des évaporites triasiques, dont le gypse et le soufre observés dans la région de Bouzedjar, témoignant de conditions de dépôts en milieu marin à fort évaporation.
2. Le groupe carbonaté inférieur (lias-dogger)
3. Le groupe pélitique médian (callovien-oxfordien inferieur)
4. Le groupe gréso-carbonaté supérieur (oxfordien supérieure-aptien)
5. Le groupe marno-calcaire du crétacé supérieur.

IV_2 La zone tellienne :

La zone tellienne s'étend de Tifraouine à la frontière marocaine, dans laquelle s'inscrit directement la région de Bouzedjar. Elle se divise en quatre ensembles géologiques principaux

L'autochtone et para-autochtone :

L'autochtone est visible auprès de certaines localités comme Ain Temouchent, Hammam Bouhadjar et au Douar Chentouf plus au Nord. Il est constitué essentiellement de formations marneuses et argileuses d'âge crétacé à Eocène, sur lesquelles reposent en discordance les unités allochtones charriées.

L'allochtone métamorphique

Les unités qui le composent apparaissent depuis la frontière algéro-marocaine jusqu'aux massifs de l'est d'Oran. Ce sont notamment les unités d'El Maleh et de Sidi Kacem, dans le plongement desquelles s'inscrit la région de Bouzedjar.

L'allochtone non métamorphique :

Trois unités ont été distinguées : l'Unité des Chouala, l'Unité cénomanienne et l'Unité Oligo-Miocène, développée dans la région d'Ain Temouchent

Les terrains quaternaires :

Ils sont représentés par les terrains quaternaires récentes (travertins, éboulis et dépôts de terrasse des oueds actuels) et anciens (dépôts de calcaires lacustres et terrains du Plio-Quaternaires). (GUARDIA, 1975)

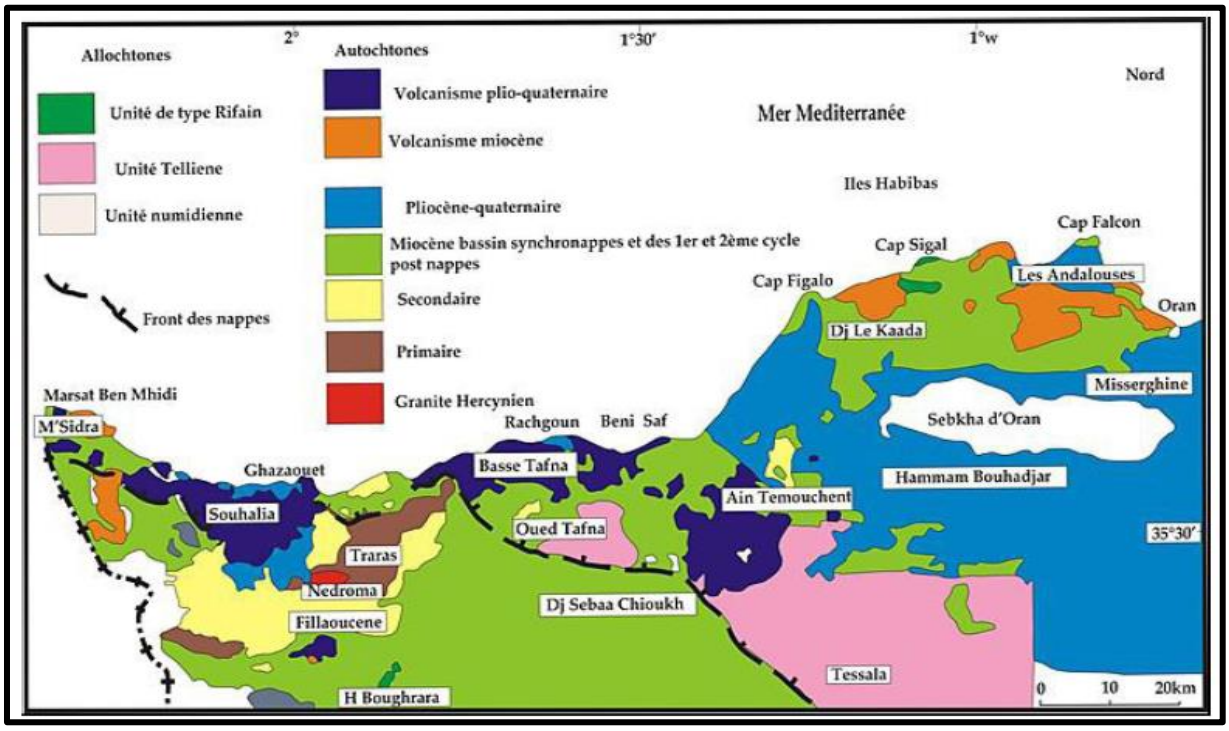


Figure 2 : Contexte Géologique de l'Oranie nord occidentale **(Bendoukha, 2008)**

V CADRE GEODYNAMIQUE :

La région de Bouzedjar s'inscrit dans le domaine de l'Atlas Tellien du Nord-Ouest algérien, une chaîne de montagne d'âge alpin résultant de la convergence des plaques Africaine et Eurasiatique (Dewey, Helman, Turco, Hutton, & Knott, 1989); (Rosenbaum, Lister, & Piaget, 2002)

Cette convergence, active depuis le Crétacé supérieur, a engendré la subduction de la lithosphère océanique téthysienne sous la marge européenne, aboutissant à la collision continentale et à la mise en place des nappes de charriage telliennes au cours du Miocène inférieur (MEGHRAOUI, 1988).

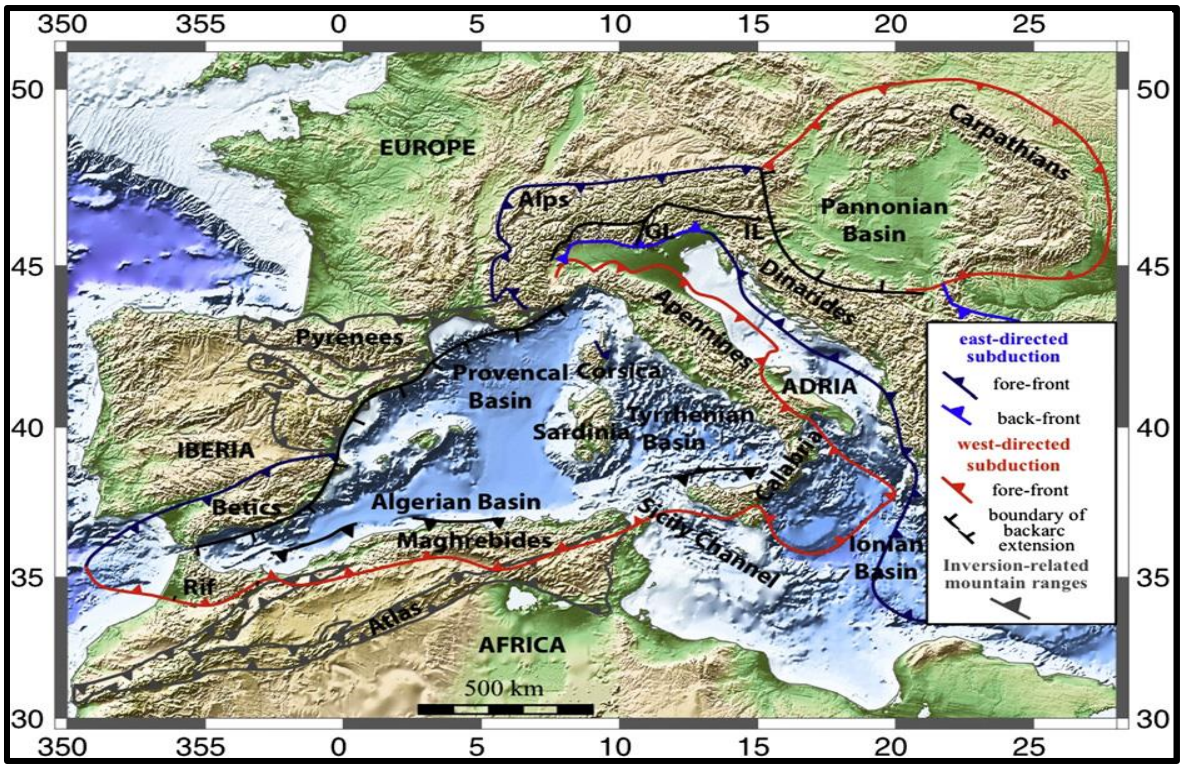


Figure 3: Scénario géodynamique actuel simplifié de la région Méditerranée centrale et occidentale superposé à la topographie et à la bathymétrie. GL : Linéament de Giudicarie ; IL : Ligne Insubrienne**. (Carminati, Lustrino, & Doglioni, 2012)**

Elle se traduit aujourd'hui par un régime tectonique compressif dominant, responsable du développement de structures cassantes et plicatives orientées NE-SW, caractéristiques du Nord de l'Algérie. (Thomas.G, 1985)

Dans ce contexte, la zone d'étude de Bouzedjar occupe une position littorale particulière, marquée par la présence d'unités volcano-sédimentaires néogènes, témoins de l'activité magmatique associée à cet épisode de subduction. (René C. Maury, 2000)

La persistance de cette compression se manifeste également par une sismicité régionale notable (Nadji, 2010)

VI -LE VOLCANISME

Ce secteur est marqué par la présence d'un volcanisme néogène à quaternaire, lié à la géodynamique post-collision de la méditerranée occidentale. (Fig. 4)

Ce volcanisme bien représenté dans l'ensemble de la wilaya d'Ain Temouchent, se manifeste dans la région de Bouzedjar par la présence d'andésites.

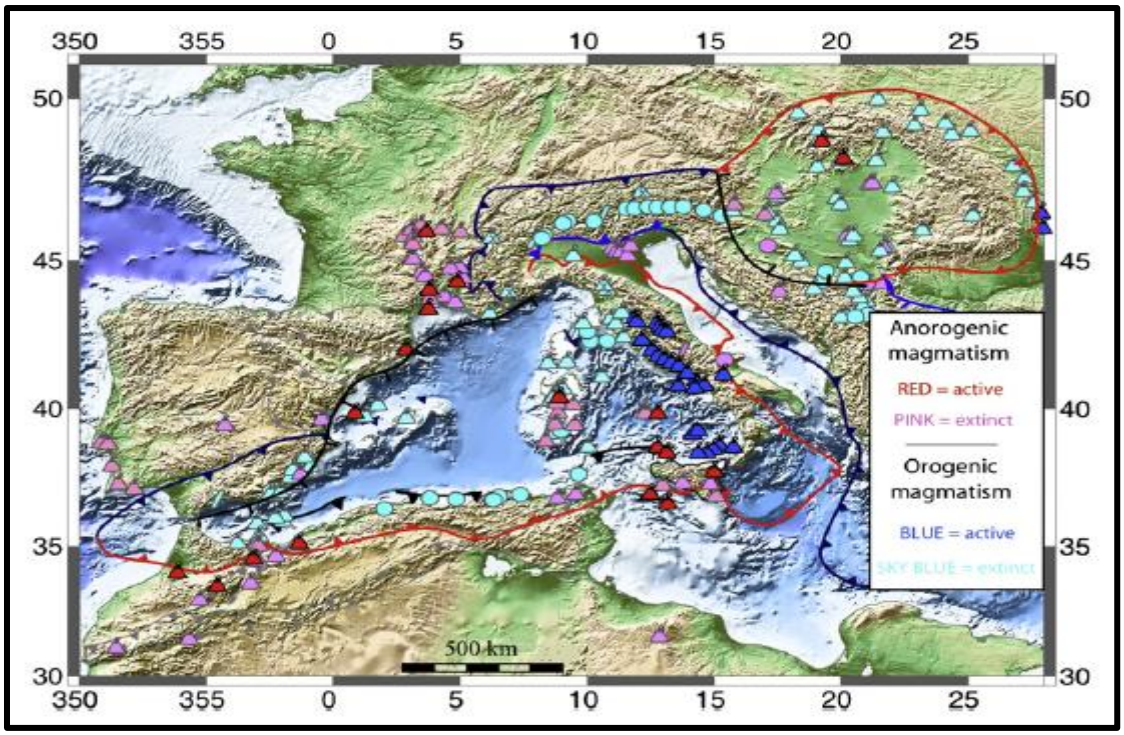


Figure 4 Distribution du magmatisme tertiaire dans la région de la Méditerranée centrale et occidentale. Triangles : roches volcaniques et pyroclastiques ; Triangles avec croix : volcaniclastites ; Cercles : plutons ; Tirets : dykes. Symboles rouges : roches magmatiques

« Anorogéniques » actives ; Symboles roses : roches magmatiques « anorogéniques » éteintes ; Symboles bleus : roches magmatiques actives « liées à la subduction » ; Symboles bleu ciel : roches magmatiques fossiles « liées à la subduction ». **(Carminati, Lustrino, & Doglioni, 2012)**

Le volcanisme de Bouzedjar constitue l'une des manifestations pionnières du cycle magmatique néogène de l'Algérie occidentale. S'inscrivant dans le contexte géodynamique strictement post-nappe, sa mise en place succède aux mouvements tangentiels paroxysmaux ayant structuré la chaine des Maghrébides, il est caractérisé par un magmatisme de type calco-alcalin d'âge Miocène supérieur (Messinien), représenté par une série différenciée d'andésites, de dacites et de rhyolites *(Carminati, Lustrino, & Doglioni, 2012)*

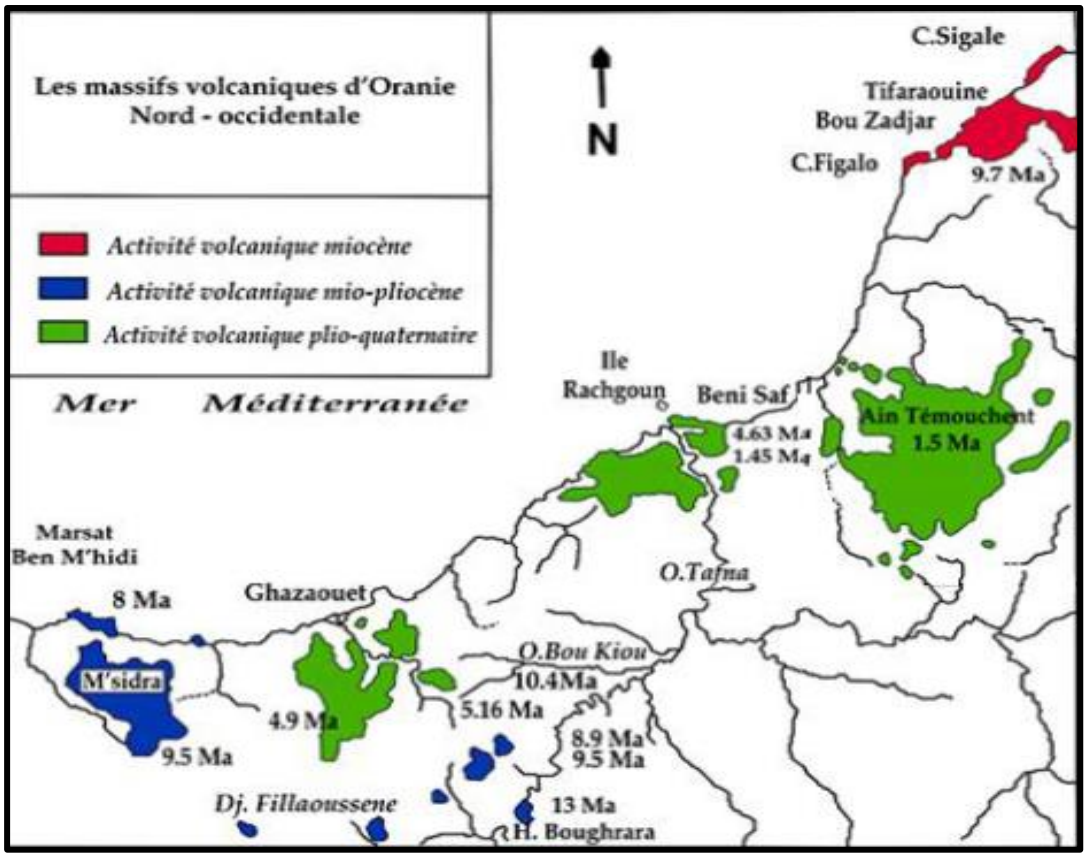


Figure 5 : Les Massifs volcaniques du littoral Oranais **(Megartsi, 1985)**

VII LOCALISATION DU SECTEUR D'ETUDE (Fig. 6)

Le secteur qui fait l'objet de notre étude se situe sur la plage adjacente au port de pêche de Bouzedjar, (commune de Bouzedjar) Wilaya d'Ain Temouchent au Nord- Ouest de l'Algérie.



Figure. 6 : Vue satellitaire du secteur d'étude. **(google maps)**

Vue aérienne du port de pêche de Bouzedjar **(Algerie360, 2017)**

VIII DESCRIPTION DE LA COUPE

La formation débute par un affleurement sur un substratum très induré. Les premiers bancs sont caractérisés par des marnes grisâtres tendres présentant des taches jaunâtres (soufre probable) et une forte teneur en biotite, marquant ainsi le déclenchement de l'activité volcanique.

Les niveaux 5 et 6 sont constitués de tufs volcaniques clairs (lapillis) grossiers. Ils présentent à leur base un mince horizon brunâtre (oxydes de fer) et sont couronnés par des cendres volcaniques sombres, de granulométrie fine et bien litées.

Les bancs 7, 8 et 9 forment un ensemble gris clair plus ou moins induré à quartz, feldspaths et mica. Ils se distinguent par une alternance de niveaux gris et clairs de granulométrie variable. Cette dynamique se poursuit des bancs 10 à 24, caractérisés par une alternance rythmique entre

des niveaux clairs grossiers et des niveaux sombres fine, niveau 25 composé d'éléments grossiers, présente des structures slumpées, signes d'une instabilité sédimentaire sur les versants. La séquence se termine au niveau 26 par l'apparition des marnes bleues sédimentaires du Miocène supérieure

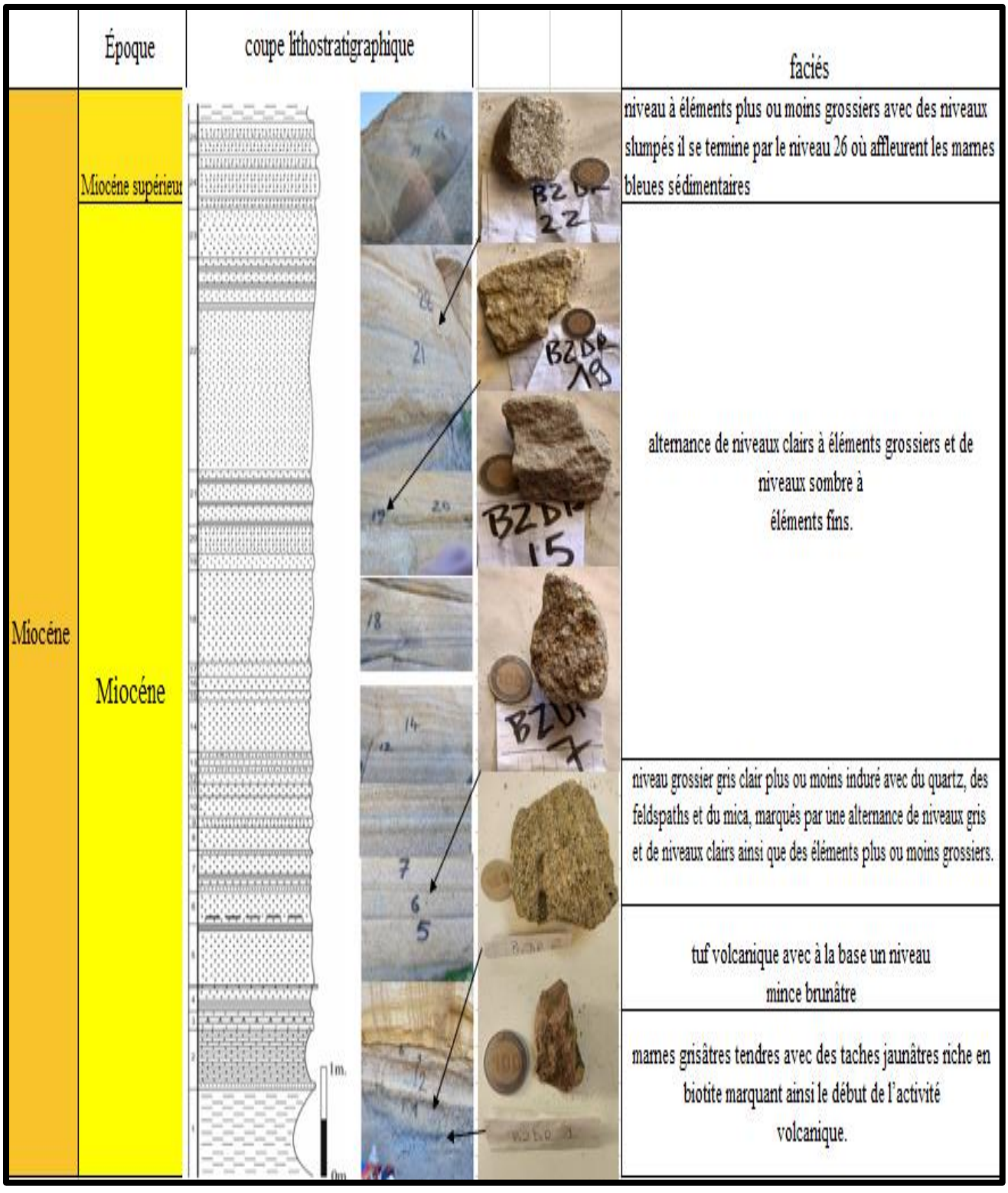


Figure 7 : Log montrant la mise en place des dépôts pyroclastiques : les cinérites ainsi que les « microbrèches » dacitiques de la série volcano-sédimentaire de Bouzedjar

Chapitre 2

CHAPITRE 2 ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE.

I. Introduction

Au cours de cette étude, nous avons jugé utile de commencer notre travail de recherche sur des observations faites à partir d'une étude microscopique sur lames minces.

Cette étude est essentiellement basée sur les propriétés physiques et optiques des minéraux. Elle permet d'identifier les éléments qui constituent la roche pour sa nomenclature et définir ainsi sa nature pour remonter à son origine.

Dans ce travail, nous nous contentons de faire un inventaire des différents composants des échantillons récoltés sur le terrain

II. Méthodologie

Après la récolte des échantillons sur le terrain et leurs descriptions à l'œil nu à l'aide d'outil de terrain, (loupe marteau, acide chlorhydrique etc…), étape très importante pour l'étude macroscopique de l'échantillon, elle passe par la reconnaissance des minéraux qui sont les principaux constituants des roches et se base surtout sur les propriétés physiques de ces éléments comme la dureté, la couleur, la forme externe, etc. in (Hébart, 1998)

L'étape suivante repose sur la confection des lames minces sur roches meubles (friables), elle nécessite :

l-le séchage de l'échantillon qui doit être parfaitement sec avant toute manipulation.

2-l'imprégnation (Crucial) de la roche par de la résine. Idéalement, cette opération se fait sous vide pour garantir que la résine pénètre au cœur de l'échantillon et fixe les grains.

3-le durcissement, la résine est polymérisée (chauffage à 80°C pendant environ une heure.

4-le sciage et le collage : Un "sucre" (échantillon consolidé) est scié, poli, puis collé sur une lame de verre.

5-l'amincissement (Rodage) : La roche est usée progressivement sur une rectifieuse, puis à la main avec du carbure de silicium pour obtenir l'épaisseur finale. . in (Hébart, 1998)

Ce travail de laboratoire passe ensuite par plusieurs étapes d'observation de l'échantillon qui sont les suivantes : (AGUIAR M, 2020)

II-1- La couleur

En regardant la couleur, nous pouvons avoir une idée approximative de la composition chimique et minéral de l'échantillon, par exemple, une roche magmatique de couleur sombre a une composition chimique dite ultrabasique ou basique et est riche en minéraux ferromagnésiens, et à l'inverse une roche magmatique très claire a une composition dite acide et est riche en quartz et feldspath portant dépourvue de minéraux ferromagnésiens.

II-2-La taille du grain

Cette méthode est variable d'un groupe de roches à l'autre, elle s'applique pour nommer les roches sédimentaires. Pour les roches magmatiques, on utilise comme indicateur des conditions physico-chimiques de cristallisation (refroidissement) des magmas éventuellement dans la classification de ces roches (volcaniques et plutoniques), et pour les roches métamorphiques la taille du grain est symptomatique de condition de pression.

II-3-La minéralogie :

Elle consiste à identifier les constituants : cristaux, débris de roches, de fossiles etc…) ou encore de vacuoles (bulles de gaz), certains minéraux sont reconnaissables à l'œil nu, rayables à l'ongle, ils sont effervescents à l'acide chlorhydrique, collant à la langue, ils peuvent dégager une odeur lorsqu'on les casse et d'autres présentent un goût salé.

II-4- Forme des grains, de cristaux :

La forme des constituants des roches fournit des informations sur le transport pour les roches sédimentaires dont on distingue (éléments anguleux, sub-anguleux, subarrondi, arrondi) et sur les conditions d'ordre de cristallisation pour les roches magmatiques, et métamorphiques on parle de formes (automorphe, sub-automorphe et xénomorphe).

II-5-Les relations intergranulaires, texture :

Dans cette étape, nous observons si les grains sont en contact ou séparés par une matrice (« pate » ou « ciment ») cristalline et/ou vitreuse, aussi on observe si les grains sont de tailles identiques, si la roche est homogène.

Plusieurs autres critères sont indispensables pour identifier une roche, telle que les enclaves et litages dans les roches magmatiques et métamorphiques qui peuvent révéler des détails majeurs pour éclairer la genèse de ces roches. Bien important aussi l'orientation préférentielle des minéraux qui renseignent sur les conditions de déformation et cristallisation des minéraux.

III. Etude microscopique :

Les lames minces des échantillons ont été élaborées à partir de roche très friable. Volontairement l'étude macroscopique n'a pas été faite. par ailleurs nous insistons sur le fait que nous somme sur les dacites a Bouzedjar et que le log stratigraphique commence par des dépôts de verres volcaniques dans les premiers bancs sur lesquelles reposent des tufs.

Au fil de nos observations nous employons pour la détermination des minéraux, lame mince au lieu de nom de la roche

La description des lames minces est faite à partir d'observations au microscope optique en lumière naturelle et polarisée. Les résultats des minéraux décrits sont volontairement résumés dans un contexte global pour un essai d'interprétation des conditions des milieux de dépôts.

III-1-LAME N°1 :

Cette roche se caractérise par une texture nettement litée, marquée par une alternance géométrique de bandes claires et sombres orientées diagonalement. Les lits sombres, de granulométrie très fine, sont particulièrement riches en matériel argileux, en oxydes de fer et en débris de verre volcanique dévitrifié, tandis que les lits clairs correspondent à des zones de recristallisation microcristalline secondaire, probablement siliceuse elle pourrait être des mares volcano sédimentaire. (Figure 8, LPNA a, LPA b).

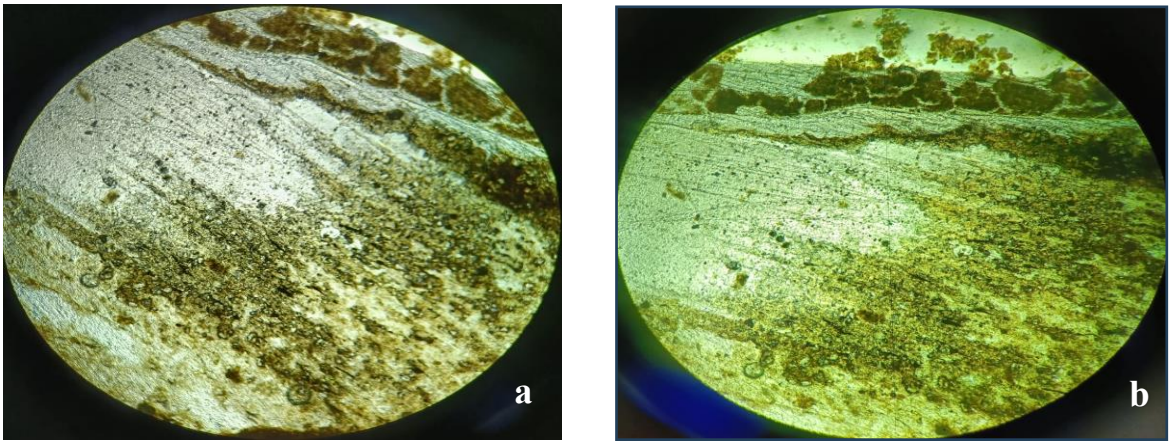


Figure 8 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 1. Grossissement : ×5

III-2-LAME N°2:

Cet échantillon montre une texture bréchique où les phénocristaux sont bien développés, affichant des formes automorphes à sub-automorphes. Les minéraux incolores majeurs (quartz et plagioclases) forment de grands individus cristallins. Ils sont accompagnés de minéraux

ferromagnésiens, principalement des biotites, reconnaissables à leur teinte miel à brun doré hautement pléochroïque elle pourrait être des cinérites (Figure O9, LPNA a, LPA b).

Quartz : : En LPNA, le quartz se présente sous une forme automorphe a sub-auto morphe la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage elle pourrait être des dacites . (PL. I fig. 1 et fig. 2)

En LPA, il se distingue par ses teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre (mais dans ce cas nous avons eu des difficultés lors de la confection de la lame mince) et son extinction roulante

Plagioclase zone : En LPNA, Ce plagioclase présente une variation continue de sa composition chimique (du cœur calcique vers la bordure sodique).

En LPA, cette zonation se traduit par une extinction concentrique ou en couronnes successives, où les différentes zones du cristal ne s'éteignent pas toutes au même angle, créant un effet d'anneaux emboîtés.

Biotite : En LPNA, sa couleur allant du brun au vert, de forme automorphe a sub-automorphe et à son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait.

En LPA, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite.

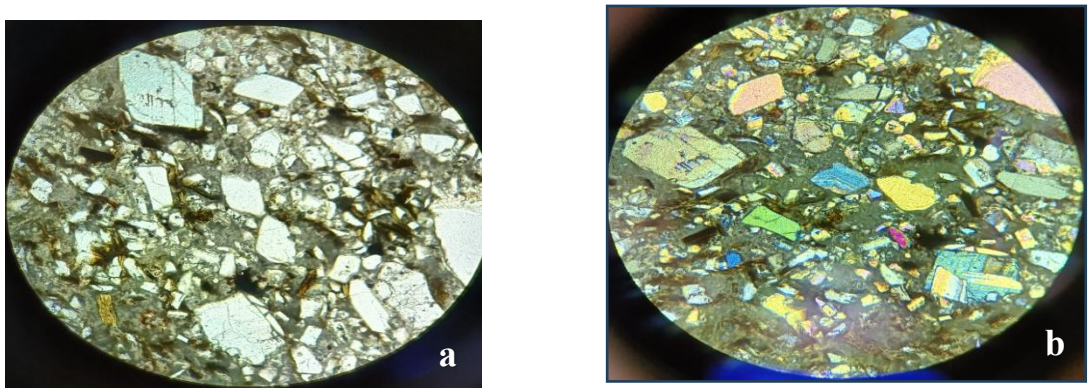


Figure 9 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 2. Grossissement : ×5

III-3-LAME N°4 :

La texture bréchique est marquée sur cette lame, On y observe de cristaux incolores et limpides aux contours anguleux à sub-arrondis, s'apparentant principalement à du quartz et des feldspaths plagioclases intensément fracturés. Ces minéraux sont baignent matrice fine de teinte verdâtre

à beige-brun, suggérant une altération (marquée en argiles ou en chlorite, elle pourrait être des dacites (Figure 10 LPNA a, LPA b), (PL. I, fig. 3 et fig. 4)

Plagioclase : incolore et limpide en LPNA avec un faible relief, le plagioclase est surtout identifiable en LPA grâce à son maclage polysynthétique caractéristique, qui forme une alternance de bandes noires et blanches

Quartz : En LPNA, le quartz se présente sous une forme automorphe a sub-auto morphe la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage. En LPA, il se distingue par ses teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre (mais dans ce cas nous avons eu des difficultés lors de la confection de la lame mince**) et** son extinction roulante

Biotite : En LPNA, sa couleur allant du brun au vert, de forme prismatique et à son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait, En LPA, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite.

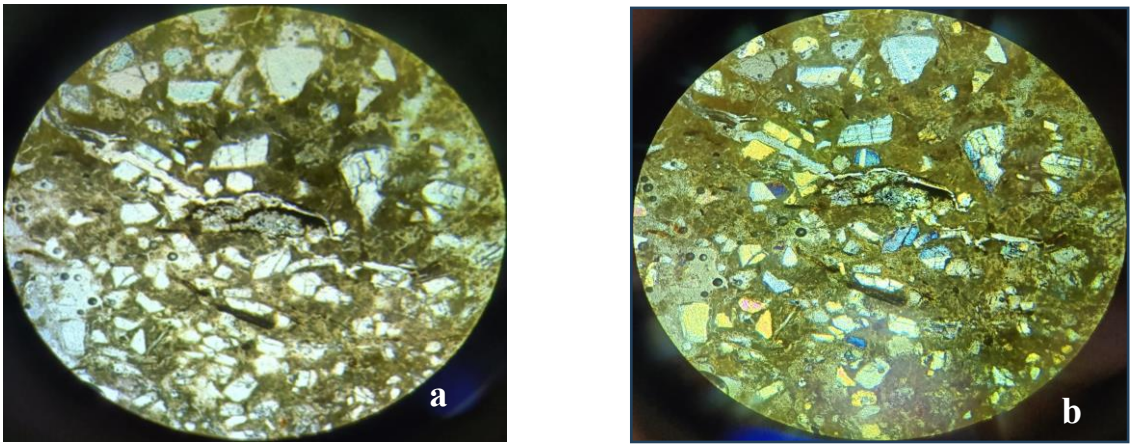


Figure 10 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 4 Grossissement : ×5.

III-4-LAME N°5

Cet échantillon montre une texture bréchique, où la lame est presque saturée par de très grands fragments de minéraux. Ces éléments majeurs sont incolores, limpides et présentent un relief faible à moyen. ; il s'agit très de débris de quartz de Opx et biotite. Entre ces grands cristaux. On remarque aussi quelques petites lamelles de biotite elle pourrait être des cinérites (Figure 11, LPNA a, LPA b), (PL I, fig. 5 et fig. 6, PL. II, fig 7 et fig.8).

Quartz : En LPNA, le quartz se présente sous une forme sub-automorphe la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage. En LPA, il se distingue par ses

teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre (mais dans ce cas nous avons eu des difficultés lors de la confection de la lame mince) et son extinction roulante

Orthopyroxène : En LPNA, présente un relief fort, deux directions de clivage à environ 90° et un pléochroïsme net (souvent rose à vert). En LPA, il se caractérise par une extinction strictement droite et des teintes d'interférence limitées au premier ordre (gris)

Biotite : En LPNA, sa couleur allant du brun au vert sa forme automorphe a sub-automorphe et son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait, en LPA, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite.

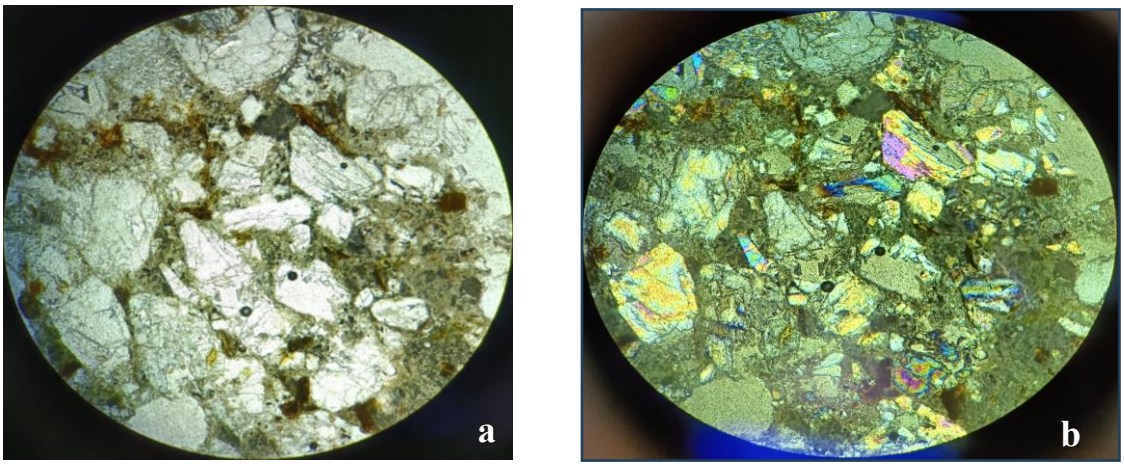


Figure 11 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 5. Grossissement : ×5

III-5-LAME N° 14

la texture des cet échantillon est bréchique, très hétérogène. La matrice, est fine et d'aspect grisâtre-poussiéreux avec une enveloppe des phénocristaux fragmentés, une présence d'un gros minéral d'un brun-orangé il présente un relief moyen à fort et des contours irréguliers, ce qui évoque une biotite fortement pléochroïque, on note également l'existence des feldspaths et du quartz ? elle pourrait être des tufs volcanique (Figure 12 LPNA a ; LPA b).

Quartz : En LPNA, le quartz se présente sous une forme sub-automorphe la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage. En LPA, il se distingue par ses teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre (mais dans ce cas nous avons eu des difficultés lors de la confection de la lame mince) et son extinction roulante

Biotite : En LPNA, sa couleur allant du brun au vert sa forme automorphe a sub-automorphe et son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait, en LPA, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite

Plagioclase : incolore et limpide en LPNA avec un faible relief, le plagioclase est surtout identifiable en LPA grâce à son maclage polysynthétique caractéristique, qui forme une alternance de bandes noires et blanches

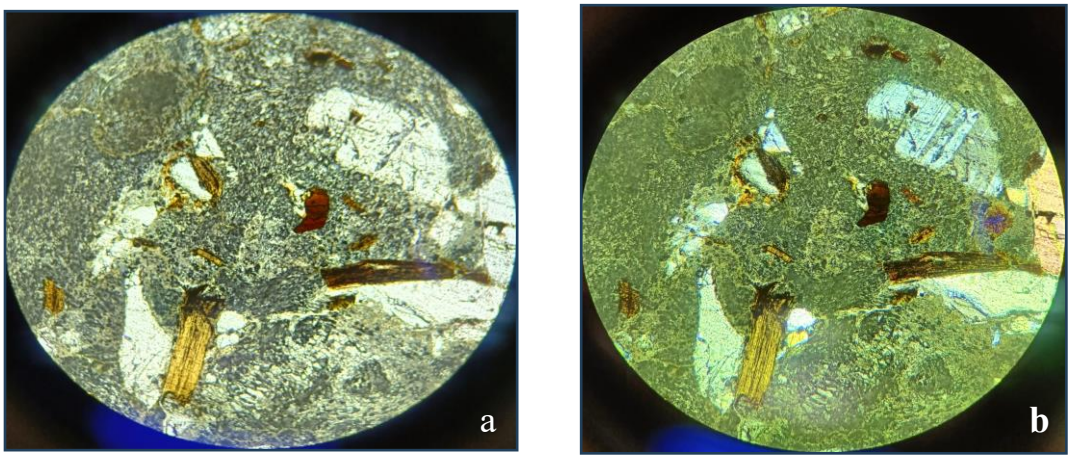


Figure 12 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 14. Grossissement : ×5

III-6-LAME N°10

Cette lame est caractérisée par une texture vitreuse, on observe plusieurs prismatique allongées de biotite altérée et d'oxydes secondaires de couleur brun-jaune à brun foncé, qui s'alignent le long de clivage, elle pourrait être des cinérites (Figure 13 LPNA a ; LPA b)

Biotite : En LPNA, sa couleur allant du brun au vert et à son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait, en LPA, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite

Quartz : En LPNA, le quartz se présente sous la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage. En LPA, il se distingue par ses teintes biréfringence gris-blanc du premier ordre et son extinction roulante.

Orthopyroxène : En LPNA, présente un relief fort, deux directions de clivage à environ 90° et un pléochroïsme net (souvent rose à vert). En LPA, il se caractérise par une extinction strictement droite et des teintes d'interférence limitées au premier ordre (gris)

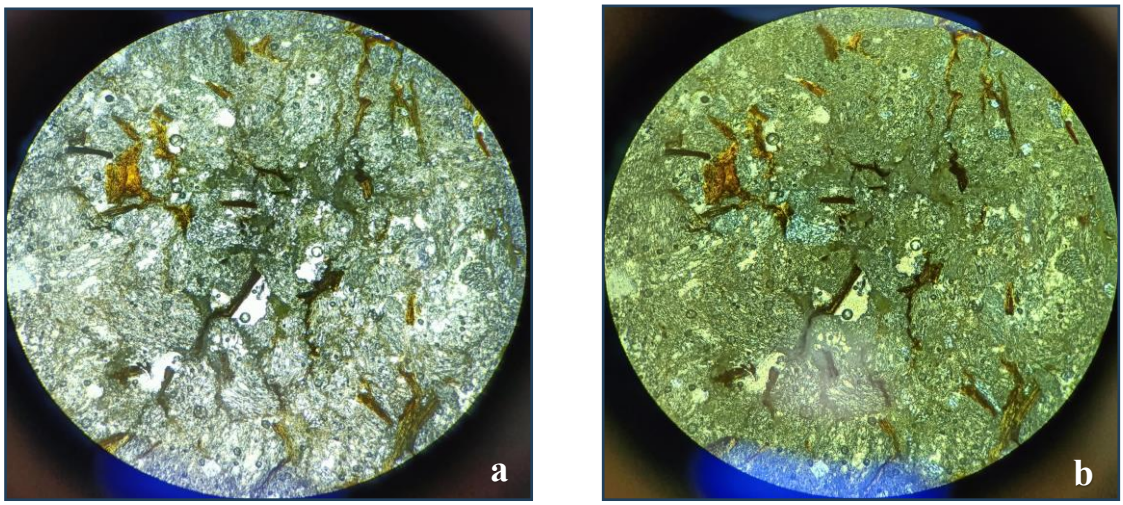


Figure 13 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 10. Grossissement : ×5

III-7-LAME N°15

La texture sur cette lame est microgrenue presque jointive. L'élément remarquable de cet échantillon est de la biotite, de quartz et orthopyroxène, correspondant à un amas d'oxydes ou d'hydroxydes de fer (comme de l'hématite ou de la limonite) issu de l'altération de minéraux ferromagnésiens antérieurs. De plus, un réseau dense de micro-fractures et de craquelures tapissées de produits d'altération bruns recoupe l'ensemble de la structure, confirmant une intense activité de fluides post-cristallisation ,elle pourrait être des tufs volcanique (**Figure 14,** LPNA a, LPA b)

Biotite : En LPNA, sa couleur allant du brun au vert et à son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait, en LPA, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite

Quartz : En LPNA, le quartz se présente sous la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage. En LPA, il se distingue par ses teintes biréfringence gris-blanc du premier ordre et son extinction roulante

Orthopyroxène : : En LPNA, présente un relief fort, deux directions de clivage à environ 90° et un pléochroïsme net (souvent rose à vert). En LPA, il se caractérise par une extinction strictement droite et des teintes d'interférence limitées au premier ordre (gris).

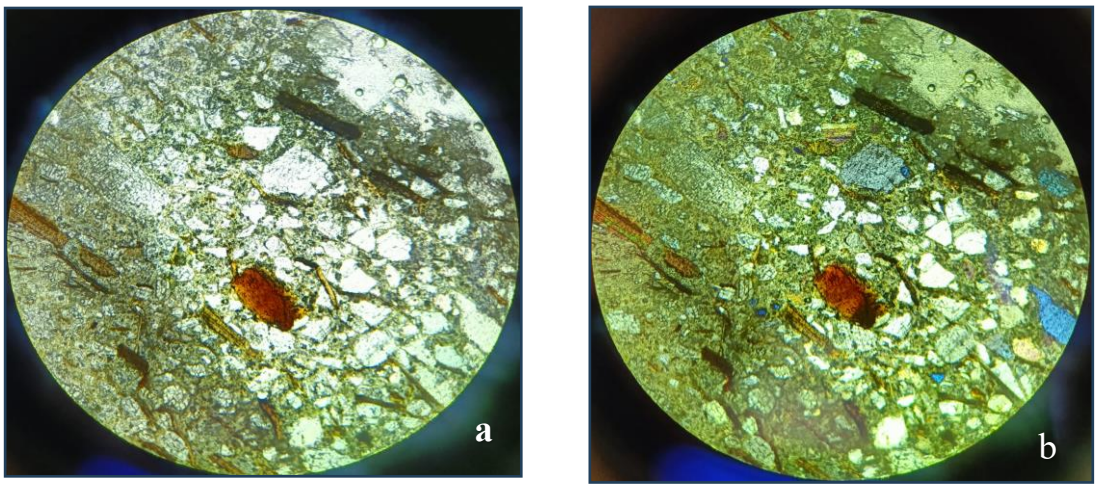


Figure14 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 15 Grossissement : ×5.

III-8-LAME N°17

La roche présente une texture microlitique bréchique. Dans la matrice, il y a accumulation de petites structures brunes et allongées ce sont des échardes de verre volcanique complètement dévitrifiées. On observe un grand phénocristal complètement incolore. Il est automorphe et net (quartz), des petits cristaux de la biotite et de muscovite, Au final, l'association entre ce cristal intact et la matrice riche en débris de verre montre bien qu'on est sur un dépôt de cendres volcaniques remaniées, elle pourrait être des cinérites (Figure 15, LPNA a, LPA b). (PL, II, fig. et fig.).

Quartz : En LPNA a, le quartz se présente sous la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage.

En LPA b, il se distingue par ses teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre et son extinction roulante

Biotite : En LPNA a, sa couleur allant du brun au vert et à son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait.

En LPA b, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite

Muscovite : Ce mica potassique apparaît incolore en LPNA a, avec un relief modéré et un clivage parfait selon une direction.

En LPA b, la muscovite développe une biréfringence très élevée aux couleurs vives et intenses (deuxième et troisième ordres), accompagnée d'une extinction quasi-droite par rapport aux lignes de clivage (des petits cristaux)

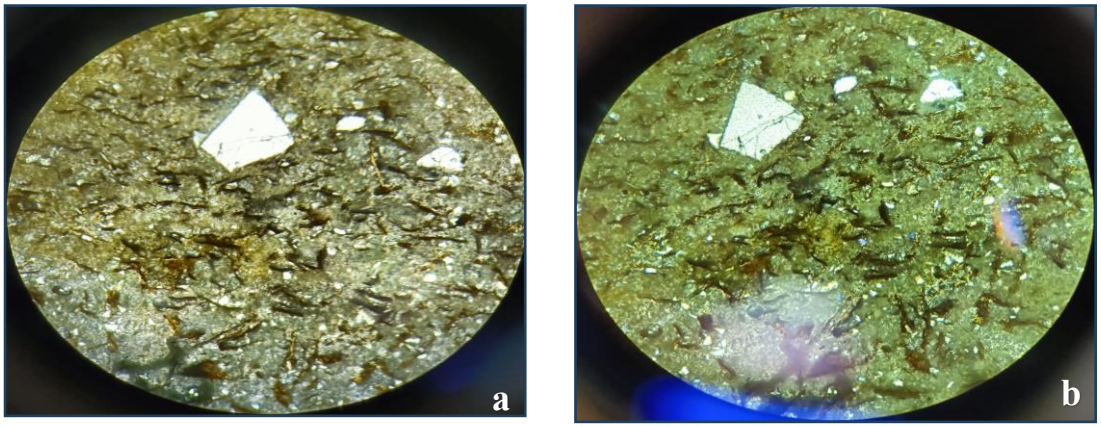


Figure 15 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 17. Grossissement : ×5

III-9-LAME N°18

Le faciès de cet échantillon est beaucoup plus hétérogène de texture béchique. La matrice globale présente un aspect gris-verdâtre. On note la présence de plusieurs « éléments » allongés de biotite de couleur brun-roux à jaune-brun, bien visibles au centre et en bas, qui montrent encore leur clivage et leur pléochroïsme malgré un début de chloritisation., les cristaux de quartz (les zones blanches et limpides) sont plus petits, plus nombreux et surtout beaucoup plus sub-anguleux , elle pourrait être des cinérites (Figure 16 LPNA a ; LPA b)

Quartz : En LPNA, le quartz se présente sous la forme de cristaux sub-automorphe, limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage.

En LPA, il se distingue par ses teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre et son extinction roulante

Biotite : En LPNA a, sa couleur allant du brun au vert et à son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait.

En LPA b, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite

Biotite alertée : LPNA a Lorsqu'elle subit une altération (hydrothermale ou de surface), la biotite perd progressivement son pléochroïsme brun intense pour devenir verdâtre ou décolorée.

Ce processus s'accompagne souvent d'une chloritisation (transformation en chlorite), d'une baisse de sa biréfringence.

En LPA b, et de l'exsolution de minuscules aiguilles de rutile ou de granules d'oxydes de fer (magnétite) qui se logent le long de ses plans de clivage

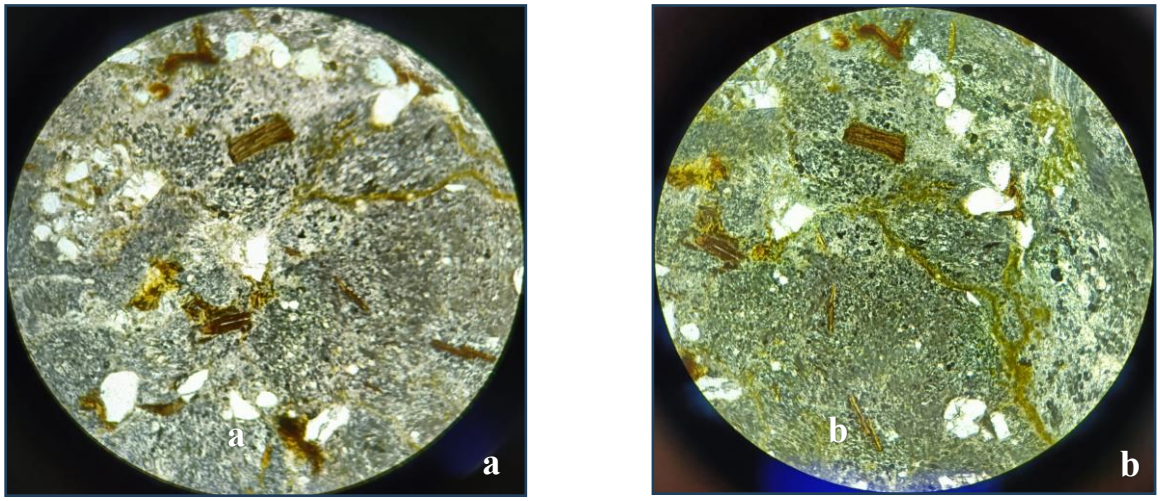


Figure16 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 18. Grossissement : ×5

III-10-LAME N° 19 :

Sur cette lame, le faciès change radicalement et montre une texture beaucoup plus homogène, fine et fortement orientée. La roche est presque entièrement constituée d'une matrice microcristalline de teinte dominante jaune-verdâtre, parsemée d'une multitude de microcristaux clairs et aciculaire (quartz et muscovite) . Cet échantillon correspond à un pôle beaucoup plus fin et dynamique de la série volcano-sédimentaire, de type cinérite fine feuilletée, tuf à poussière compacté ou niveau d'écoulement de verre volcanique (mésostase d'une lave) intensément dévitrifié et orienté elle pourrait être des cinérites (Figure17, LPNA a, LPA b)

Quartz : En LPNA a, le quartz se présente sous la forme de cristaux sub-automorphe limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage.

En LPA b, il se distingue par ses teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre et son extinction roulante.

Muscovite : Ce mica potassique apparaît incolore en LPNA a, avec un relief modéré et un clivage parfait selon une direction.

En LPA b, la muscovite développe une biréfringence très élevée aux couleurs vives et intenses (deuxième et troisième ordres), accompagnée d'une extinction quasi-droite par rapport aux lignes de clivage (des petits cristaux)

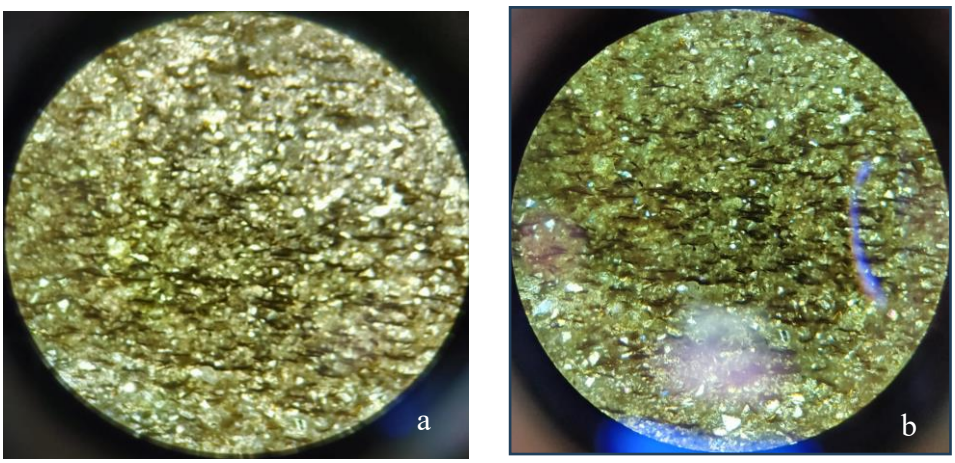


Figure17 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 19. Grossissement : ×5

III-11-LAME N° 21

La roche présente une texture typiquement pyroclastique et fragmentaire, La roche est constituée de nombreux minéraux brisés et anguleux de quartz, incolores et limpides, qui se détachent sur un fond microcristallin gris-verdâtre issu de la dévitrification de cendres volcaniques. Dispersées à travers cette matrice, on distingue également de multiples sections allongées de couleur brun-doré à verdâtre, correspondant à des micas (biotite) fortement altérés et oxydés elle pourrait etre des tufs volanique (Figure 18, LPNA a LPA b).

Quartz : En LPNA a, le quartz se présente sous la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage.

En LPA b, il se distingue par ses teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre et son extinction roulante

Biotite : En LPNA a, sa couleur allant du brun au vert et à son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait.

En LPA b, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite

Biotite altérée : LPNA a Lorsqu'elle subit une altération (hydrothermale ou de surface), la biotite perd progressivement son pléochroïsme brun intense pour devenir verdâtre ou décolorée. Ce processus s'accompagne souvent d'une chloritisation (transformation en chlorite), d'une baisse de sa biréfringence.

En LPA b, et de l'exsolution de minuscules aiguilles de rutile ou de granules d'oxydes de fer (magnétite) qui se logent le long de ses plans de clivage

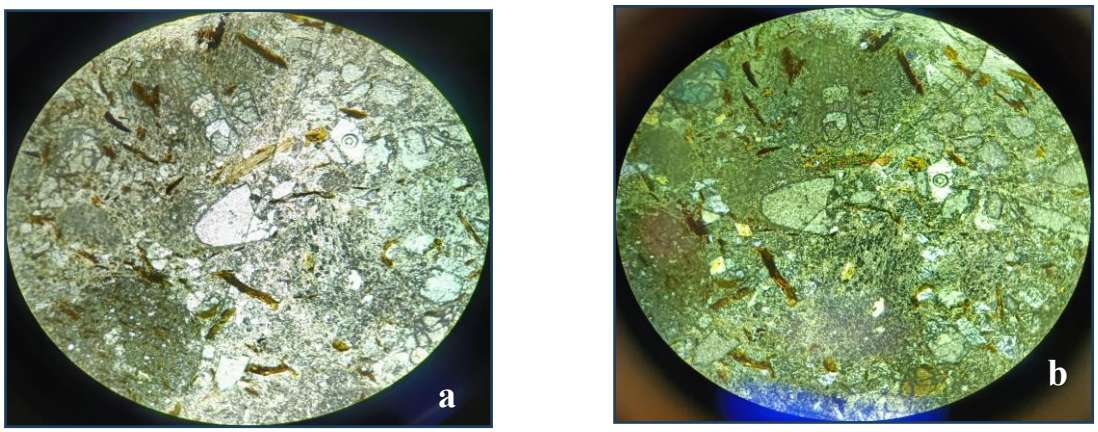


Figure 18 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 21. Grossissement : ×5

III-12-LAME N° 22

Le faciès de cet échantillon est beaucoup plus bréchique et grossier, typique d'une brèche volcano-sédimentaire. La matrice de fond reste cette pâte microcristalline gris-verdâtre et altérée, parsemée de gros éléments figurés. On remarque un énorme assemblage de cristaux blancs et incolores et limpide (quartz). Les micas présents : on a une section rectangulaire très sombre et opaque et une autre « structure » allongée et bien striée de teinte brun-jaunâtre de grosses plages rousses à orange-brun (biotite), Cette texture microlitique porphyrique montre un environnement plus dynamique et proche de la source éruptive, où les débris de cristaux magmatiques ont été piégés ensemble dans un ciment de cendre poreux, elle pourrait être des tufs volcanique (Figure19, LPNA a LPA b) (Planche III, microphotographie 15 et 16).

Quartz : En LPNA a, le quartz se présente sous la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage.

En LPA b, il se distingue par ses teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre et son extinction roulante

Biotite : En LPNA a, sa couleur allant du brun au vert et à son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait.

En LPA b, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite

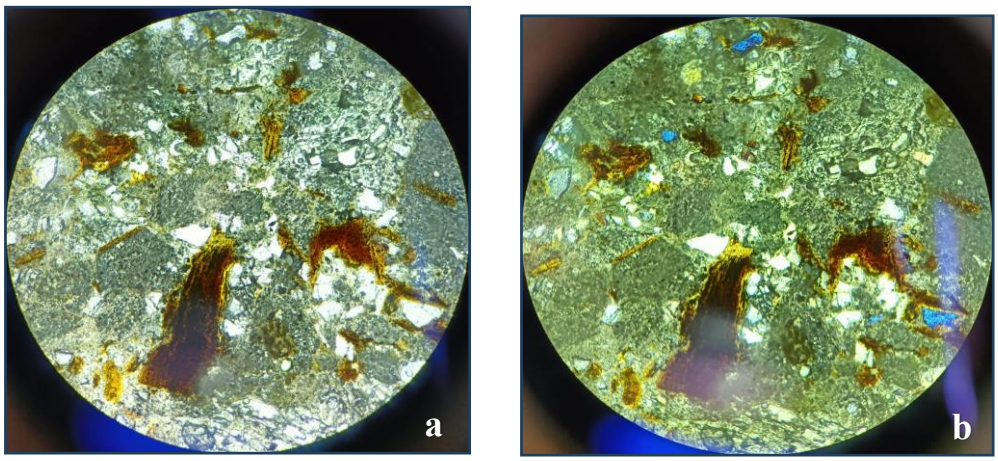


Figure 19 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) d'échantillon 22 Grossissement : ×5.

III-13-LAME N°24 :

La texture de cet échantillon est microlitique bréchique. La matrice est un mélange hétérogène de plages grisâtres, beiges et verdâtres, La présence de la biotite est intense parfois déformée, ce qui montre bien qu'elle a subi un transport dynamique. On remarque les grandes plages blanches de quartz ou de plagioclase, elle pourrait être des cinérites (Figure 20, LPNA a, LPA b).

Quartz : En LPNA a, le quartz se présente sous la forme de cristaux limpides, incolores et sans altération, dépourvus de clivage.

En LPA b, il se distingue par ses teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre et son extinction roulante

Biotite : En LPNA a, sa couleur allant du brun au vert et à son pléochroïsme intense. Elle possède un clivage parfait. (Planche III microphotographie 19)

En LPA b, elle montre des teintes d'interférence fortes, souvent masquées par sa couleur naturelle, ainsi qu'une extinction droite (Planche III microphotographie 20)

Plagioclase : incolore et limpide en LPNA a avec un faible relief, le plagioclase est surtout identifiable

En LPA b grâce à son maclage polysynthétique caractéristique, qui forme une alternance de bandes noires et blanches

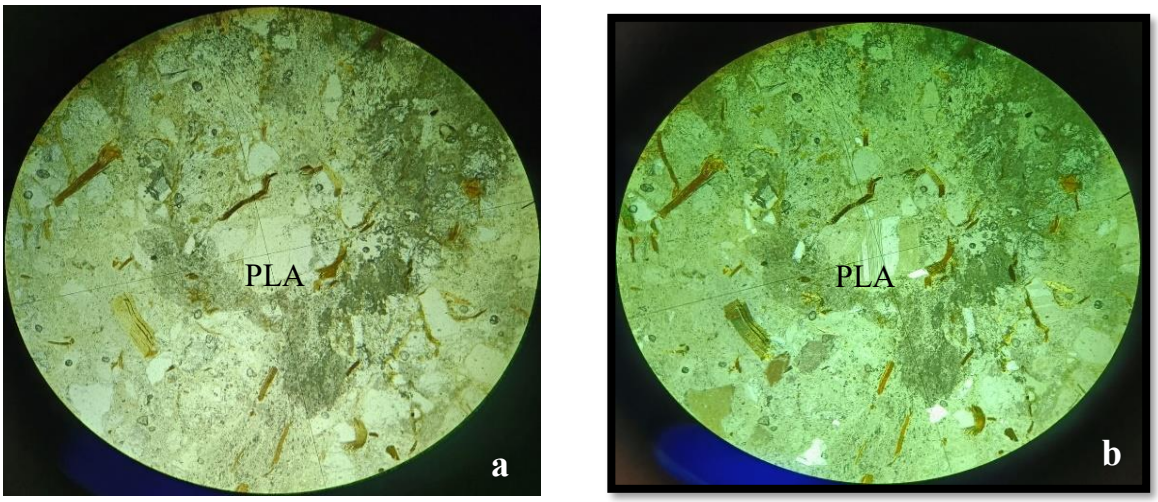


Figure 20 : Microphotographie en LPNA (a), LPA(b) échantillon 24 Grossissement : ×5.

IV.RECAPITULATIF DES RESULTATS

Le tableau n° I ci-dessous récapitule les minéraux existant dans chaque échantillon récolté. Certains minéraux bien identifiables, qui, souvent, pour certains, se répètent tout au long de la série volcano-sédimentaires ont été figurés dans les planches (de I à IV) qui suivent.

	Q	PLA	PLA Zoné	MUS	Sani	OPX	OXYDE DE FER	Minéral OPAQUE	Bio	BIO Alt
1	+								+	
2	+	+	+				+		+	
4		+	+			+		+	+	
5		+	+	+	+	+			+	
10	+					+			+	
14		+		+		+			+	
15	+	+		+		+			+	
17		+				+			+	+
18		+							+	+
19	+	+		+					+	
21	+					+			+	
22	+	+				+	+		+	
24	+								+	

Tableau I : Inventaire des minéraux présents dans les roches du secteur d'étude.

Planche I

Microphotographie 1 : Quartz en LPNA, (lame numéro 2), grossissement : ×5.

Microphotographie 2 : Quartz en LPA, (lame numéro 2), grossissement : ×5.

Microphotographie 3 : Les OXYDE OPAQUE en LPNA, (lame numéro 4),

Grossissement : ×5.

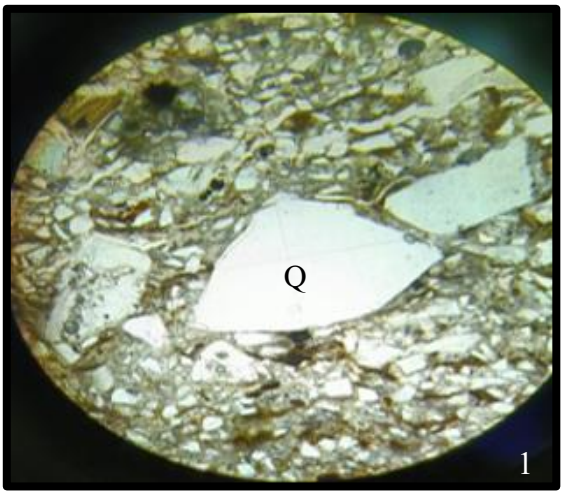
Microphotographie 4 : Les OXYDE OPAQUE en LPA, (lame numéro 4),

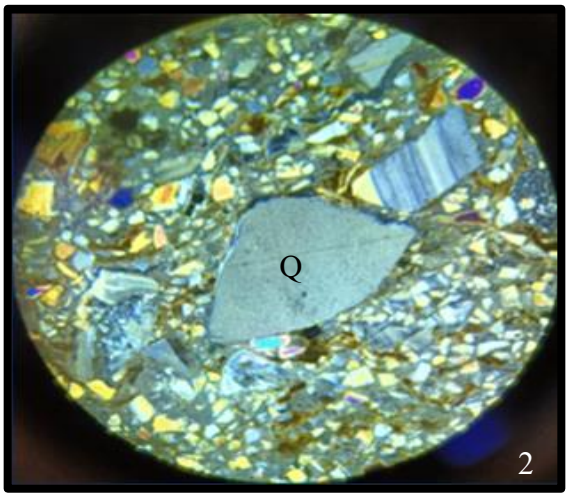
Grossissement : ×5.

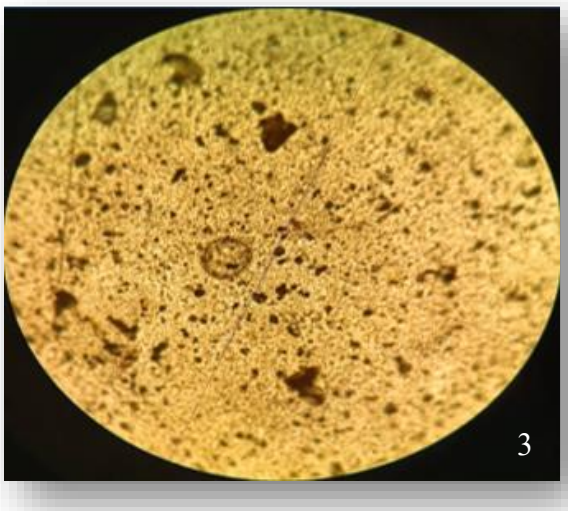
Microphotographie 5 : muscovite en LPNA, (lame numéro 5), grossissement : ×5.

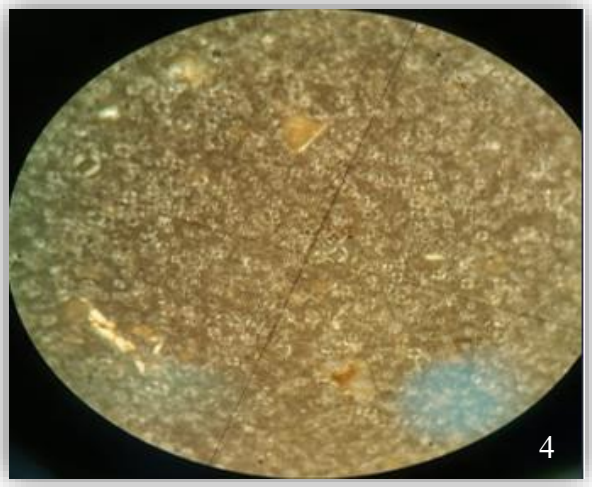
Microphotographie 6 : muscovite en LPNA, (lame numéro 5), grossissement : ×5.

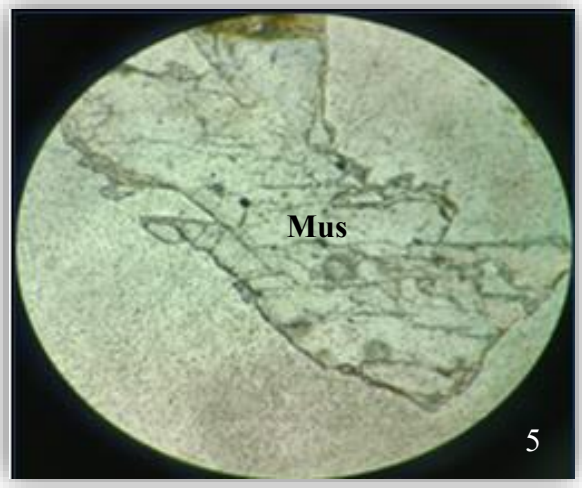
Planche I











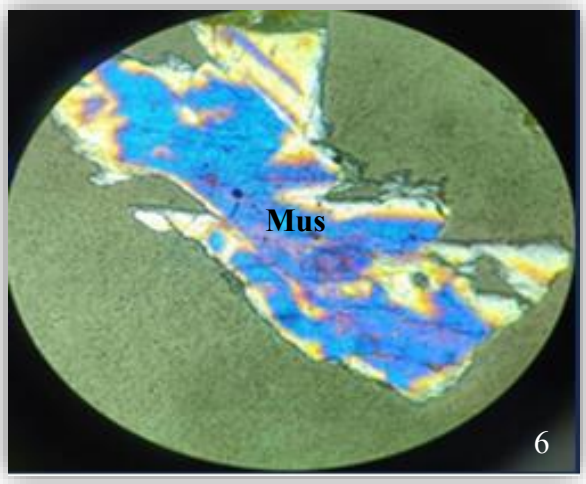


Planche II

Microphotographie 7 : Plagioclase zoné en LPNA, (lame numéro 5),

Grossissement : ×5.

Microphotographie 8: Plagioclase zoné en LPA, (lame numéro 5),

Grossissement : ×5.

Microphotographie9: Orthopyroxène en LPNA, (lame numéro 5), Grossissement : ×5.

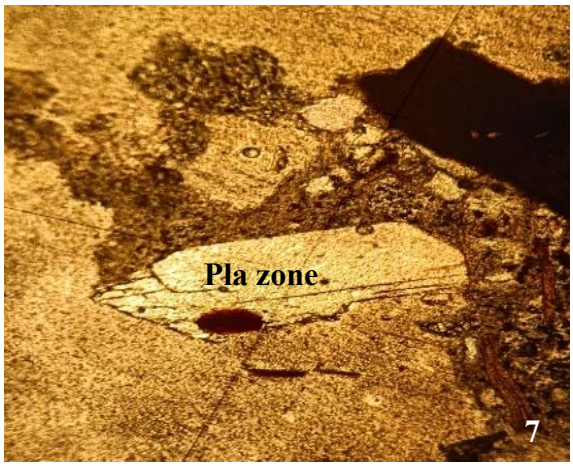
Microphotographie 10 : Orthopyroxène en LPA, (lame numéro 5), Grossissement : ×5

Microphotographie 11 : Biotite altérée en LPNA, (lame numéro 5),

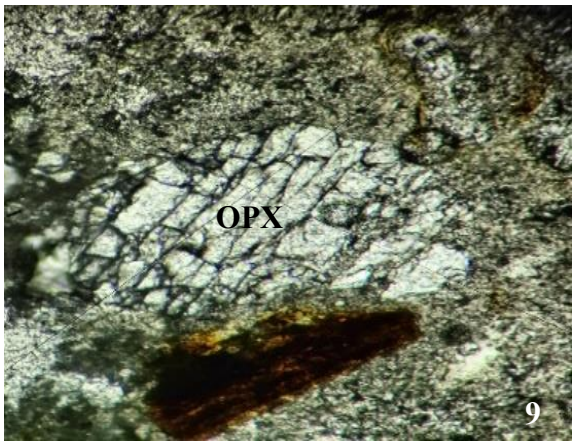
Grossissement ×5.

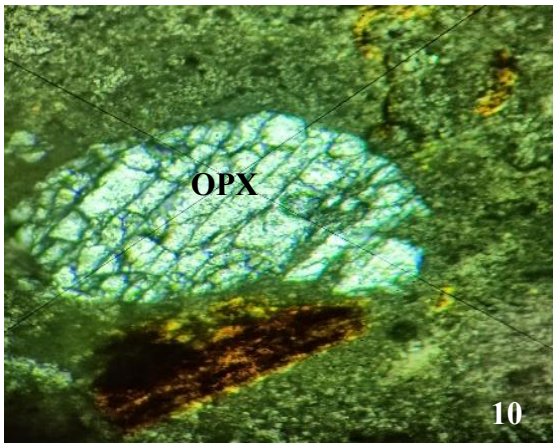
Microphotographie 12 : Biotite altérée en LPA, (lame numéro 5), Grossissement ×5.

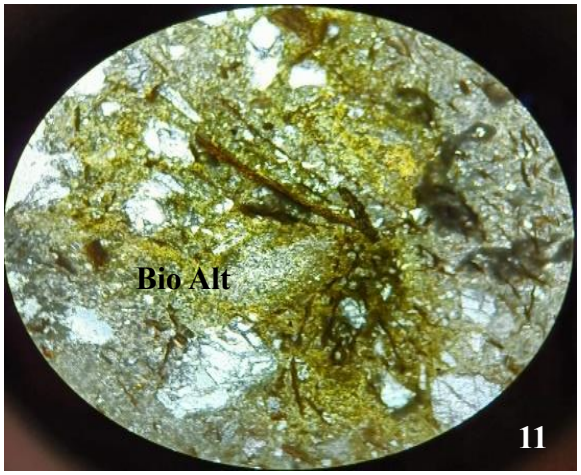
Planche II











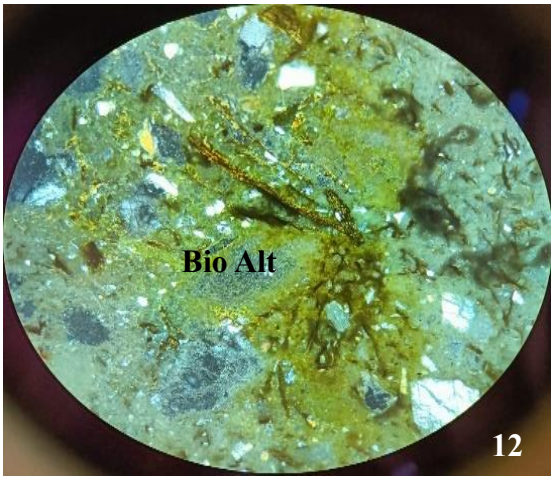


PLANCHE III

Microphotographie 13 : Sanidine en LPNA, (lame numéro 21),

Grossissement ×5.

Microphotographie 14 : Sanidine en LPA, (lame numéro 21), Grossissement ×5

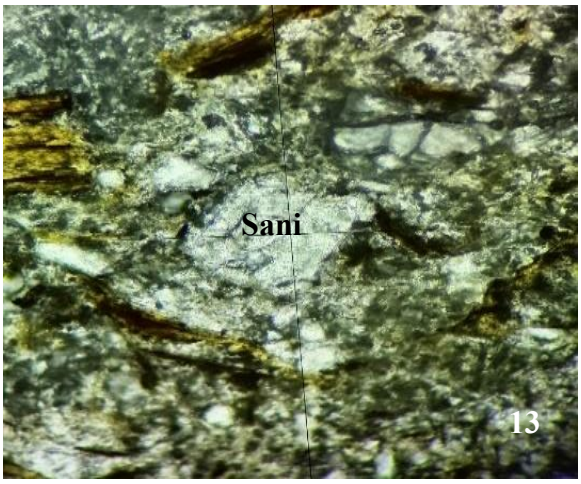
Microphotographie 15 : Orthopyroxène en LPNA, (lame numéro 22), Grossissement ×5

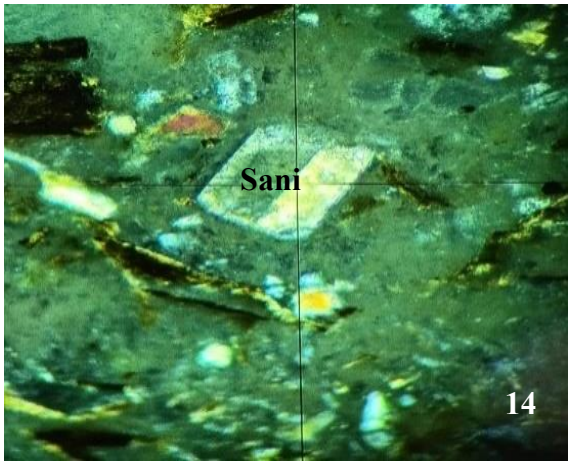
Microphotographie 16 : Orthopyroxène en LPA, (lame numéro 22), Grossissement ×5

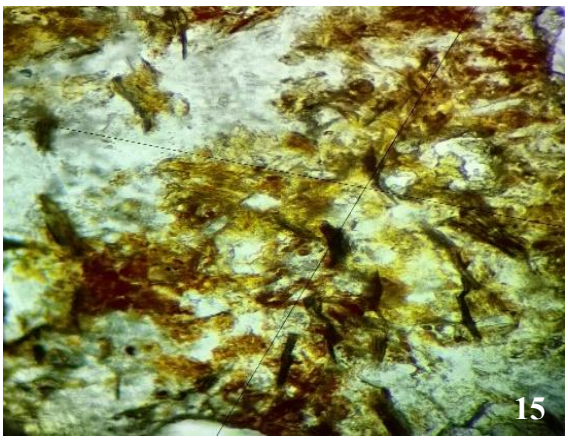
Microphotographie 17 : Biotite en LPNA, (lame numéro 24), Grossissement ×5

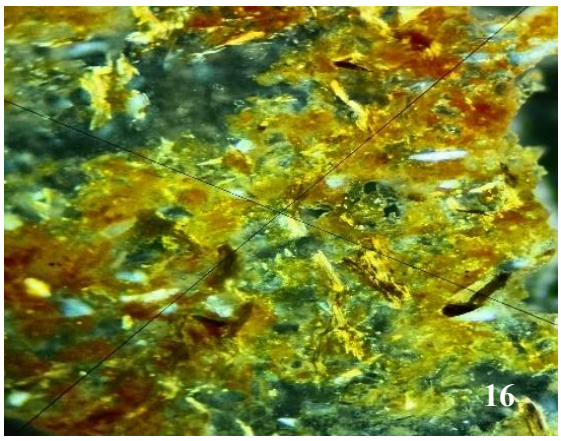
Microphotographie 18 : Biotite en LPA, (lame numéro 24), Grossissement ×5

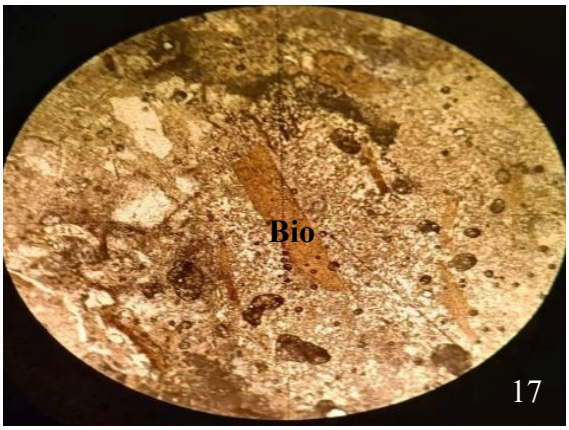
PLANCHE III

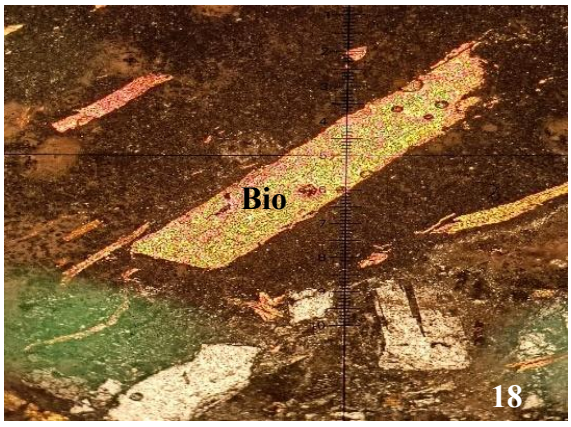












Chapitre 3

CHAPITRE 3 : GEOCHIMIE DES ARGILES DIFFRACTOMETRE RX

Ce chapitre est consacré à l'étude géochimique des minéraux argileux contenus dans la série géologique qui affleure dans notre secteur d'étude. L'approche analytique abordée dans ce chapitre porte sur la Diffractométrie X (DRX). Ce dernier mérite d'être détaillée, puisqu'au sein des laboratoires du département, les étudiants n'ont n'en pas fait usage jusque-là dans leurs différents thèmes de recherche.

I-GENERALITES

Les minéraux argileux sont utilisés par l'Homme depuis des millénaires, sans qu'ils aient vraiment été étudiés et donc identifiés jusqu'à récemment. En effet, depuis la Haute Antiquité, leurs propriétés spécifiques, physiques et chimiques ont été reconnues tant dans la fabrication puis l'industrie des céramiques et des colorants, qu'en géologie et en science du sol, en biologie et en pharmacologie...

L'absence de travaux scientifiques systématiques sur les minéraux argileux jusqu'au milieu des années 30 est en fait essentiellement due à leur petite taille, du micromètre au nanomètre, que les outils scientifiques disponibles ne permettaient pas de distinguer.

C'est la diffraction X qui est à l'origine de l'intérêt croissant pour ces minuscules particules considérées jusqu'au début des années 50 comme essentiellement amorphes.

(Kumari & Mohan, 2021)

II-DEFINITION

Les argiles sont des produits de décomposition des roches siliceuses, de la désagrégation physique et mécanique. En effet, il s'agit d'aluminosilicates hydratés issus principalement de l'altération chimique (hydrolyse) des minéraux silicatés préexistants dans les roches mères, tels que les feldspaths et les micas. Ce processus est accentué par l'eau, le climat et la végétation, transformant les roches en particules fines, soit sur place (altération), soit après transport sédimentaire.

L'argile brute contient habituellement des particules élémentaires dont le diamètre des grains est inférieur à deux micromètres (2µm) qui représentent les individus cristallins (phase minérale pure), appelés minéraux argileux responsables de ses propriétés telles que le gonflement, la plasticité, et les propriétés d'adsorption.

Les argiles sont classées selon leur type de structure, ont une grande affinité pour l'eau, et ont des propriétés de gonflement importantes et de grandes capacités d'échange. Ces deux dernières caractéristiques sont directement liées aux charges interfoliaires. (Kumari & Mohan, 2021)

III-LES MINERAUX ARGILEUX

Les minéraux argileux font partie de la famille des phyllosilicates. Ils se présentent sous forme de particules de petites dimensions. On distingue 4 niveaux d'organisation :

1- Les plans sont constitués par les atomes

2- Les couches sont des tétraédriques ou octaédriques et sont formées par une combinaison de plans.

3- Les feuillets correspondent à des combinaisons des couches.

4- Le cristal résulte de l'empilement de plusieurs couches (Kumari & Mohan, 2021)

IV-STRUCTURE DES ARGILES

Les particules d'argile sont formées d'un empilement de feuillets qui sont constitués par l'association de deux unités structurales de base, ces feuillets sont formés par la juxtaposition des couches structurales tétraédriques (silice) et octaédriques (aluminium)

(Kumari & Mohan, 2021) , (Khemakham, 2005)

IV-1. Unité structurale tétraédrique

L'unité structurale tétraédrique est formée d'un tétraèdre au sommet duquel quatre ions d'oxygène (O2-) enserrent un ion de silicium (Si4+), équidistant de chacun d'eux

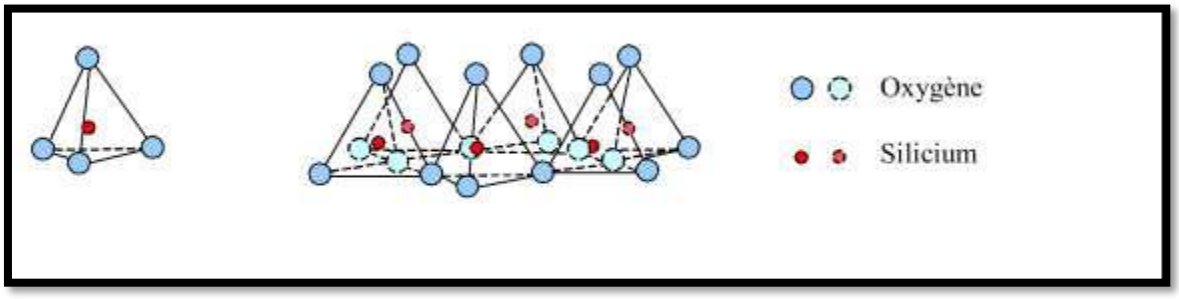


Figure 21 : Couches tétraédriques **(HARRAT, 2007)**

IV-2. Unité structurale octaédrique

L'unité structurale octaédrique est formée d'un octaèdre au centre duquel un ion d'aluminium (Al3+) ou de magnésium (Mg2+) est équidistant aux six hydroxydes (OH^-) aux sommet de l'octaèdre

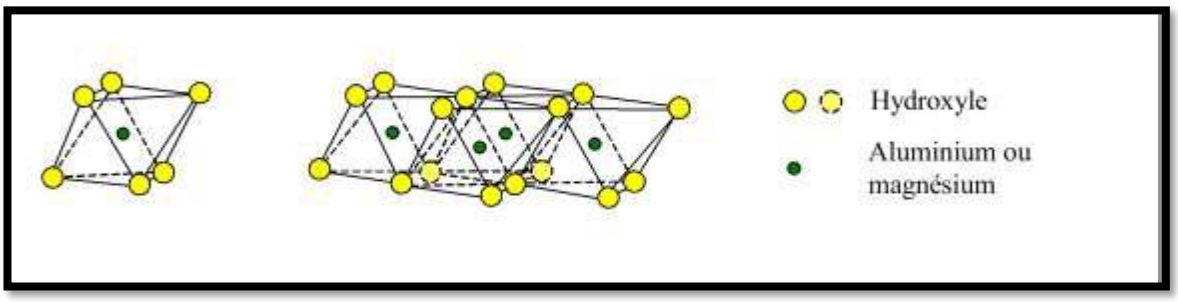


Figure 22 : Couches octaédriques **(HARRAT, 2007)**

V-PRINCIPALES ARGILES

V-1. Kaolinite : $2SiO_2.Al_2O3.2H_2O$

La kaolinite (de Kao Ling, lieu géographique de Chine), minéral à deux couches T-O. Le feuillet est neutre et l'espace inter foliaire est vide. L'unité structurelle a une épaisseur de7,2 angströms. Les feuillets sont liés par des liaisons hydrogène. La structure est stable : l'eau ne peut s'adsorber qu'autour des particules et cette argile n'est pas gonflante.

La kaolinite est fréquente dans les sédiments argileux provenant de l'altération de roches acides riches en feldspath (granites par exemple).
Elle présente une forte teneur en alumine (46 %) et montre des propriétés de plasticité, de faible retrait au séchage et à la cuisson. Elle demande des températures de cuisson élevées et elle est assez réfractaire après cuisson.
Des modifications mineures de structure donnent la Halloysite Nacrite, la Dickite. Dans la Serpentine, le Magnésium remplace l'aluminium. Les argiles kaoliniques sont de couleur gris-blanchâtre légèrement, jaunâtre. (Millot, 1964/1972)

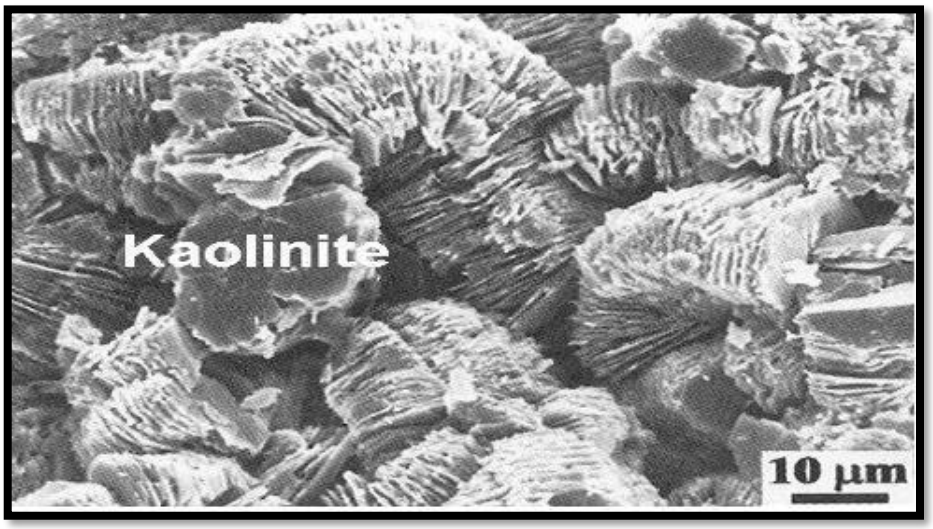


Figure 23 : Kaolinite (MEB) in **(Zourgui, 2022)**

V-2. Smectite $(OH)_4\ Si_8\ (Al_{10/3}, Mg_{2/3})\ O_{20}\ nH_2O$.

Les smectites (du grec « smektikos », qui nettoie) comme la montmorillonite (de Montmorillon en France), appelée aussi bentonite aux USA, (de Fort Benton). Dans les argiles naturelles à trois couches T-O-T, il peut y avoir différentes substitutions dans les couches, avec des teneurs variables en Na, Ca, Al, Fe, Mg. Cela produit différents niveaux de charge.

Dans les smectites, ce niveau de substitution est assez faible (0.2 à 0.6 charge par unité, en moyenne 0.33) et en compensation, il y a des adsorptions d'ions compensateurs plus ou moins liés. Dans la montmorillonite, un Al3+ sur huit des sites orthogonaux est remplacé par le Mg2+.

Les feuillets initiaux ne sont plus neutres et des compensations sont faites par des ions faiblement liés (Ca2+ dans la majorité des smectites, Na+ moins fréquemment).

Les smectites se caractérisent par l'interchangeabilité importante d'ions (Mg2, Fe3) et ainsi que leur capacité à fixer de l'eau dans l'espace inter foliaire. L'écart réticulaire est donc variable entre10 et 21 Å en fonction de la présence d'eau. Les cristaux sont généralement très fins. De cette structure et de cette capacité d'absorption d'eau dans l'espace inter foliaire, découlent leurs propriétés particulières de haute plasticité, de grande absorption d'eau, de retrait/gonflement important, de pouvoir liant, d'absorbant. Les Saponites, les Nontronites et les Beidellites sont des variétés de la smectite. (Millot, 1964/1972)

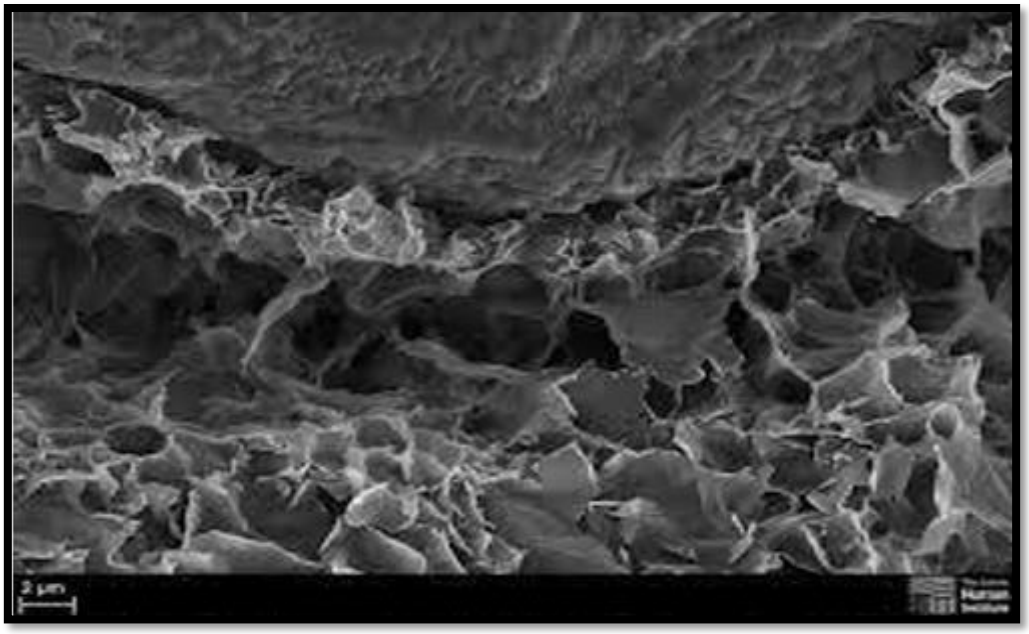


Figure 24 : Smectite (MEB) in **(Zourgui, 2022)**

V-3. Illite : $(K, H_2O)_2\ Si_8\ (Al, Fe, Mg)_{4.6}\ O_{20}\ (OH)_4$

Le minéral argileux le plus répandu appartient lui aussi au groupe à trois couches mica avec potassium et est appelé Illite (de l'état de l'Illinois). Les illites sont souvent des mélanges et ne sont sans doute pas un groupe distinct des micas.

La composition de l'Illite est variable en fonction des conditions de formation. Il a une capacité d'échange limitée et l'espace inter foliaire reste constant. Il contient un peu moins de potassium mais plus d'eau que la muscovite. On dit parfois que l'illite est un « hydro mica ». La présence de potassium qui joue le rôle de flux peut abaisser la température de début de fusion vers 1050°C. (Millot, 1964/1972)

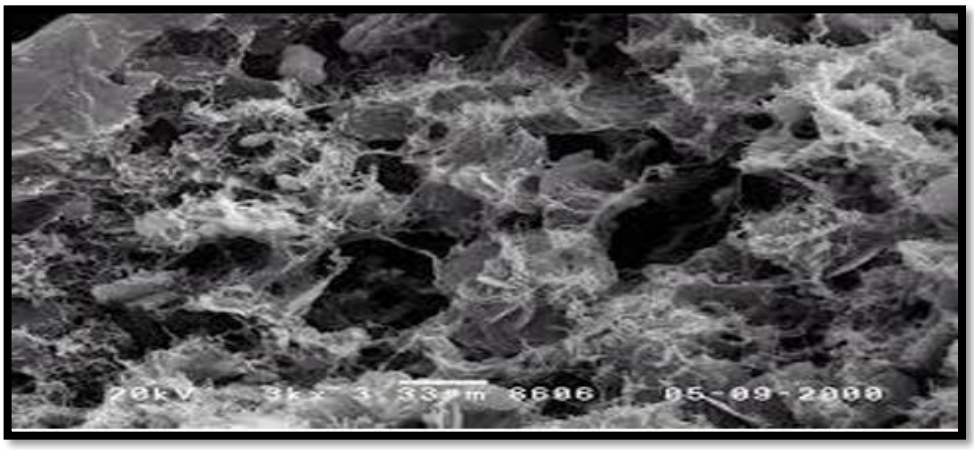


Figure 25 : Illites (MEB) in **(Zourgui, 2022)**

V –4. Chlorite :

Les chlorites (du grec « khlôros » vert) sont encore des composés à trois couches T-O-T. Ici, l'espace inter foliaire est garni par des composés de Mg et OH qui forment pratiquement une quatrième couche stable, proche de la brucite. (Millot, 1964/1972)

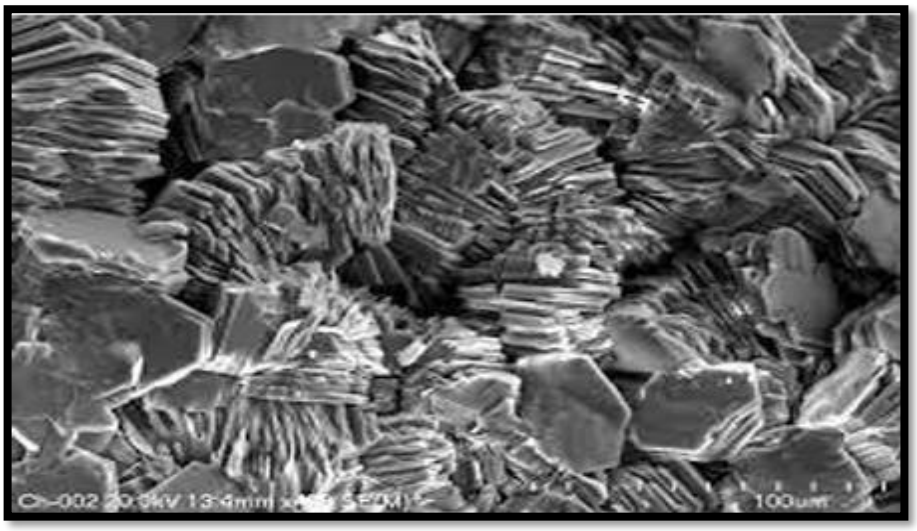


Figure 26 : Chlorite (MEB) in **(Zourgui, 2022)**

VI- PROPRIETES DES ARGILES

Les propriétés des argiles sont les suivantes : (Caillère, Hénin, & Rautureau, 1982)

- Les argiles avec leur faible taille confèrent une forte réactivité chimique et Physique ainsi une importante surface de contact.
- Les argiles sont des minéraux aluminosilicates appartenant à la famille des phyllo-silicates dont l'unité de base et le feuillet.

- La présence des sels minéraux rend l'argile fortement sensible aux molécules polaires d'eau. Cette sensibilité se traduit par le gonflement, le retrait et le changement des propriétés mécaniques.
- Les argiles ont des propriétés chimiques du fluide hydratant.

VII-CLASSIFICATION DES ARGILES

Les travaux de l'AIPEA (Association Internationale Pour l'Etude des Argiles) (1966-1972) et plus tard, selon d'autres auteurs, deux classifications ont été proposées, elles reposent sur l'utilisation des critères suivant la structure et l'épaisseur du feuillet. On distingue ainsi quatre (4) groupes : (Fig 27). (Caillère, Hénin, & Rautureau, 1982)

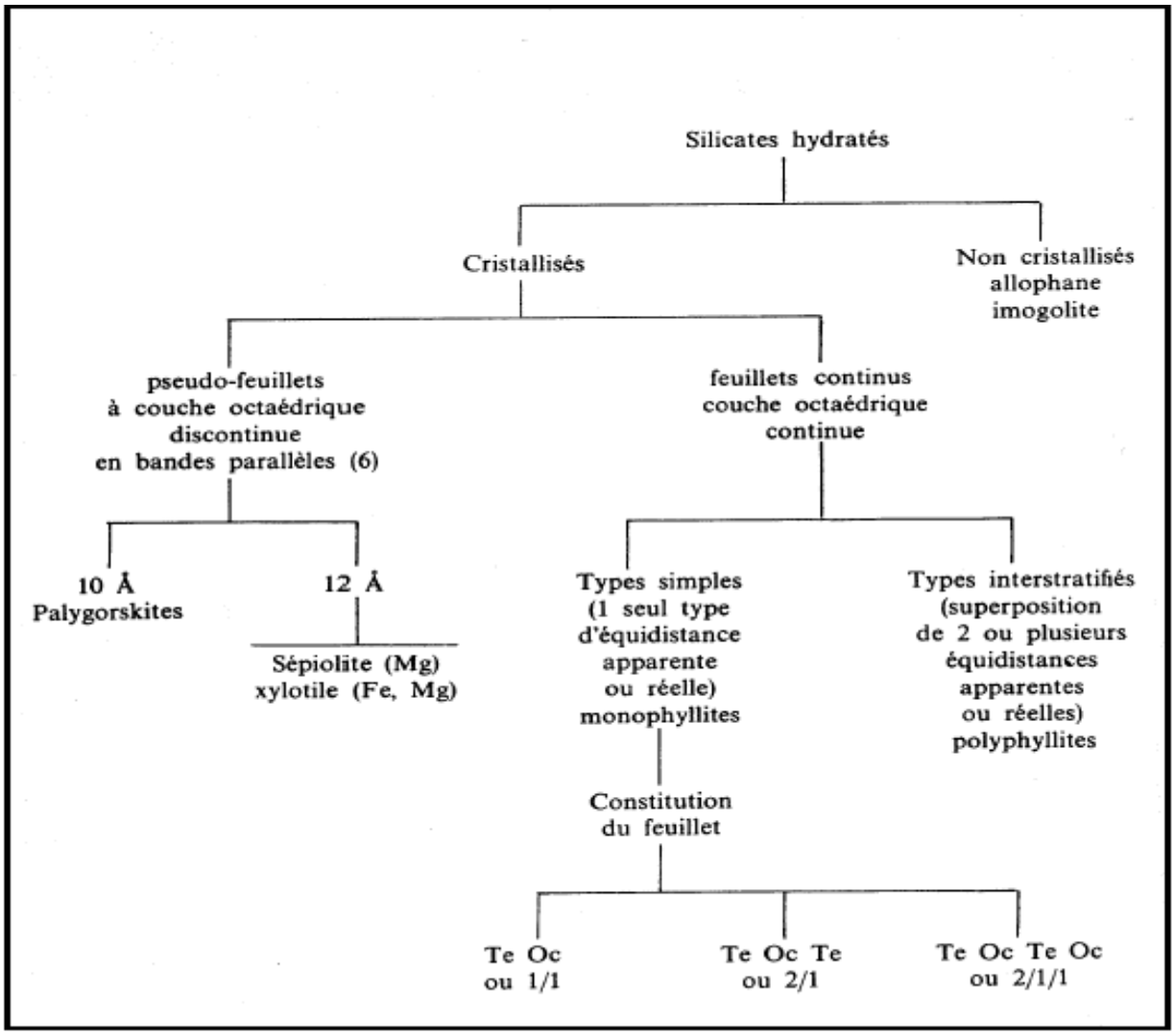


Figure 27 : classification générale des minéraux argileux **(Caillère, Hénin, & Rautureau, 1982)**

VII 1-Les minéraux de type 1.1 : (feuillet à deux couches ou série Te. Oc)

Appelés aussi série à 7 Å, correspondent au groupe de la kaolinite.

VII 2-Les minéraux de type 2.1 : (feuillet à trois couches ou série Te. Oc. Te) :

Les feuillets comportent une couche octaédrique (alumineuse) et deux couches tétraédriques (siliceuses) ; l'épaisseur du feuillet varie de 9.3 à 15 Å. Cette série se divise en deux groupes :

a) Groupe avec un espace inter foliaire constant, cas des micas d = 10 Å avec des cations K + dans l'espace inter foliaire.

b) Groupe avec un espace inter foliaire qui varie, cas des smectites et des vermiculites avec : d = 15 Å.

VII 3-Les minéraux de type 2.1.1 (feuillet à quatre couches ou série Te. Oc. Te. Oc) : ce type comprend une couche d'octaèdre encadrée par deux couches tétraédriques avec un espace inter foliaire constitué par une couche octaédrique et correspondent au groupe du chlorite d= 14 Å. (Caillère, Hénin, & Rautureau, 1982)

VII 4-Minéraux inter stratifiés : Un minéral inter stratifié régulier est formé de l'empilement régulier de différents types de feuillets de minéraux argileux simples, l'empilement se fait selon des séquences répétitives. Un minéral inter stratifié est considéré comme irrégulier si l'empilement des feuillets est aléatoire in (Zourgui, 2022).

Groupe de Minéraux Argileux	Espèce Minérale	Structure T = couche de tétraèdre O = couche d'octaèdre
Kaolinites	Kaolinite Halloysite Dickite	Minéraux à 2 couches T-O T-O
Smectites	Montmorillonite Saponite Beidellite Nontronite	Minéraux à 3 couches T-O-T T-O-T ↑ H_2O , cations
Illites Vermiculites Micas	Illite Vermiculite Muscovite Biotite	
Chlorites	Chlorite	Minéraux à 4 couches T-O-T-O T-O-T-O

Tableau II. La classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs espèces d'après (JASMUND & LAGHAL, 1992)

VIII UTILISATION DES ARGILES :

Les principales utilisations de l'argile avec les secteurs d'utilisation sont résumées dans le Tableau ci-dessous (Tabl. III) : (LAMOURI, 2017)

Domaine d'utilisation	Minéraux	Applications
Industrie chimique	Smectite, Talc	Cosmétiques (savons, shampoings, crèmes, dentifrices) ; masques faciaux ; dégraissage des textiles et traitement du cuir ; produits déshydratants (pipes, filtres)
	Kaolin, Attapulgite, Vermiculite	Papiers, emballages, caoutchoucs, matières plastiques ; réfractaires pour fours et cheminées ; isolants électriques ; granules absorbants ; matériaux à hautes propriétés thermiques
Industrie minière	Montmorillonite, Argiles mixtes	Fabrication d'explosifs ; boulage des minerais de fer ; polissage des métaux précieux
Industrie pétrolière / forage	Bentonite, Palygorskite, Halloysite, Kaolinite	Boues de forage (en milieu salé) ; support de catalyseurs pour le raffinage du pétrole
Industrie pharmaceutique & cosmétique	Kaolinite, Palygorskite, Talc, Montmorillonite	Pansements stomacaux et intestinaux ; consolidation des fractures ; bains de boues pour le rhumatisme ; traitement des blessures
Industrie agro-alimentaire	Montmorillonite calcique, Talc sodique	Clarification des boissons (eaux, cidres, bières) et huiles alimentaires ; amélioration du rendement en sucre des mélasses ; alimentation animale
Environnement	Montmorillonite, Vermiculite, Smectite	Rétention des éléments en traces ; piégeage des métaux lourds toxiques ; barrières imperméables pour le stockage des déchets radioactifs

Tableau III. Principaux minéraux argileux et leur utilisation : (LAMOURI, 2017)

IX ALTERATION CHIMIQUE DES MINERAUX SILICATES

Parmi les minéraux silicatés de la croûte terrestre, les feldspaths et les micas figurent parmi les plus abondants. Ce sont des minéraux dits primaires car ils constituent la roche initiale avant son altération.

Au fur et à mesure de leur altération chimique, ces feldspaths et micas vont se transformer en d'autres minéraux qui sont des minéraux secondaires.

Certains feldspaths riches en aluminium sont plus sensibles que d'autres vis-à-vis de l'altération chimique, notamment les Plagioclases et plus particulièrement les Plagioclases calciques.

L'altération chimique des aluminosilicates est une dégradation séquentielle dictée par la stabilité de la roche d'origine et l'agressivité des fluides, évoluant d'un mécanisme de transformation à une néoformation totale.

Lors d'une altération modérée (bisiallitisation), le lessivage sélectif du silicium réduit le rapport initial 3 Si 1 Al des feldspaths à un rapport 2Si Al caractéristique des minéraux secondaires transformés telles que l'illite, la vermiculite et la smectite), tandis que les micas se dégradent en chlorites ou smectites selon leur nature (biotite ou muscovite).

Si l'intensité de l'altération augmente (monosiallitisation), la perte continue de silice engendre la formation de kaolinite.

Enfin, sous des conditions tropicales ou équatoriales extrêmes (allitisation), la désilicification devient totale (0Si 1Al) ; la silice évacuée cède la place à la précipitation immédiate d'éléments insolubles sous forme de minéraux néoformés, donnant ainsi naissance à la gibbsite, constituant majeur de la bauxite. (HAUTEVELLE, 2008)

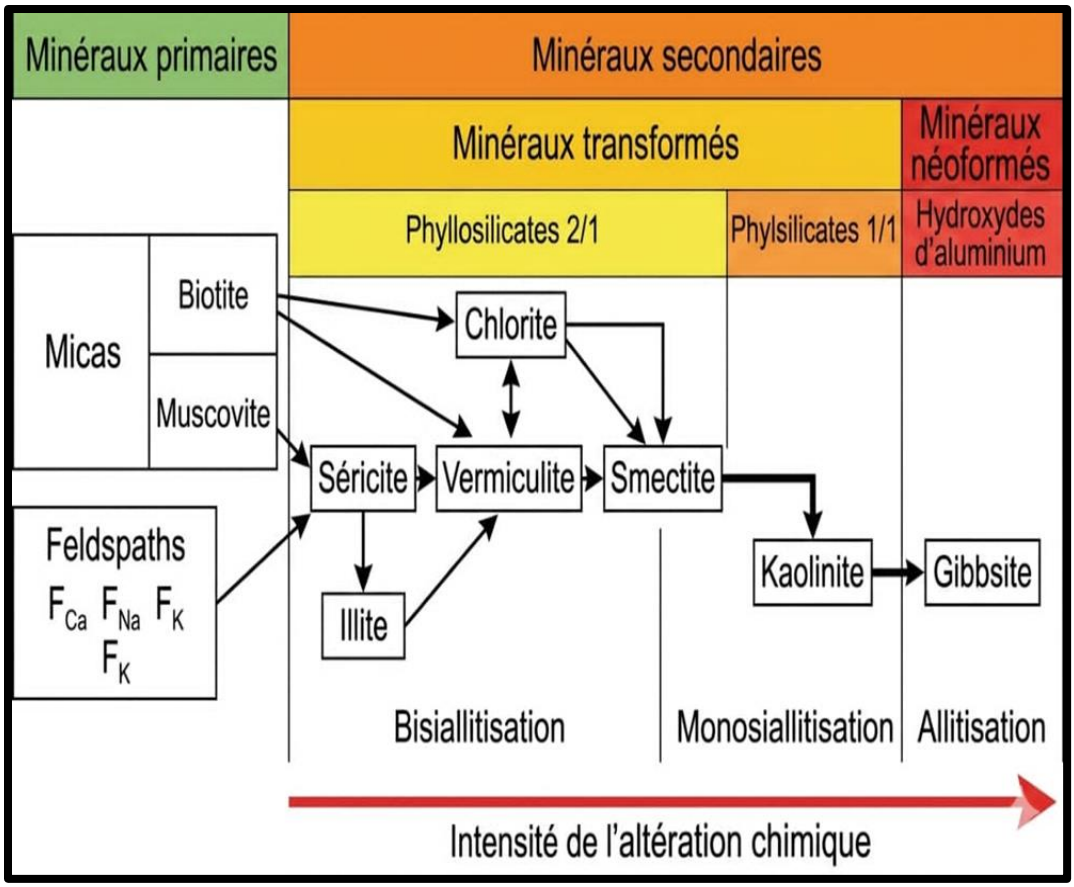


Figure 28 : L'altération chimique des minéraux silicaté **(HAUTEVELLE, 2008)**

X-METHODOLOGIE : DIFFRACTOMETRIE AUX RAYONS X (DRX)

La DRX est une méthode analytique non destructive qui consiste à exposer un matériau à des rayons X. Lorsqu'ils traversent un échantillon cristallisé, ces rayons sont diffractés, créant un motif caractéristique qui révèle la structure atomique du matériau. Ce processus est régi par la loi de Bragg, une équation fondamentale dans l'étude des cristaux, qui permet de relier l'angle de diffraction des rayons X à l'espacement des plans atomiques dans un cristal. Cette capacité à sonder la matière à l'échelle atomique en fait un outil précieux pour la caractérisation de la composition des matériaux.

X-1. Le principe fondamental de la DRX repose sur l'interaction des rayons X avec les électrons des atomes dans un cristal. Lorsque les rayons X frappent l'échantillon, ils sont dispersés dans différentes directions. Les rayons dispersés interfèrent alors entre eux, produisant des pics d'intensité sur un diffractogramme. Ce schéma d'interférence est unique à chaque type de cristal et permet d'identifier la nature exacte du matériau analysé. (Fig 29) (Zourgui, 2022)

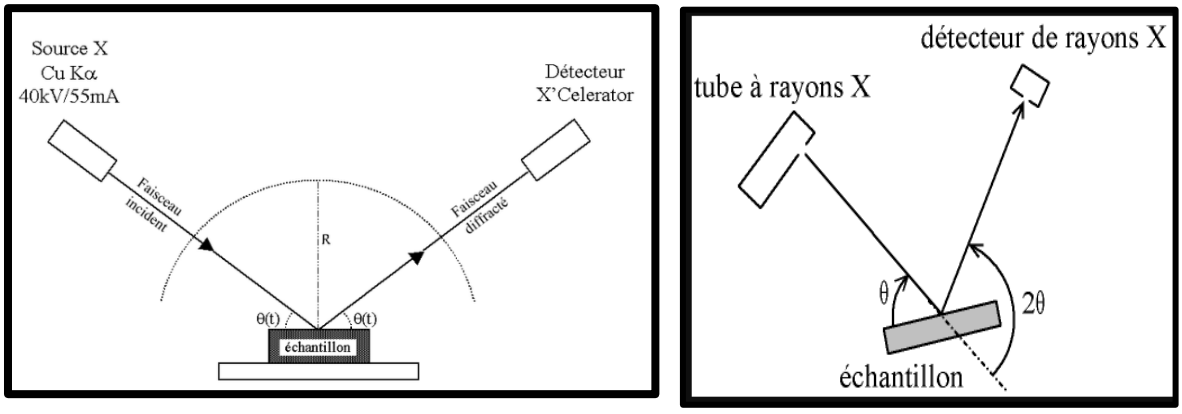


Figure 29 : Schéma du principe du diffractomètre RX **(Zourgui, 2022)**

X-2. Le processus de diffraction des rayons X : se déroule généralement en trois étapes principales :

-Emission de rayons X : Les rayons X sont dirigés vers l'échantillon cristallisé.

-Diffraction : Les rayons interagissent avec les atomes du cristal et sont diffractés selon des angles spécifiques.

-Collecte des données : Un détecteur capte les rayons diffractés et les informations sont transformées en diffractogramme, un graphique qui représente les angles et les intensités des rayons diffractés.

Le diffractogramme obtenu est ensuite analysé pour déterminer les propriétés cristallographiques du matériau. Chaque pic sur le graphique correspond à une orientation spécifique des plans atomiques dans le cristal, et la position des pics révèle la structure cristalline.

En général, la méthode de la Diffraction des rayons X, l'identification et l'analyse des minéraux argileux

Est celle proposé par (Moore D & Reynolds, 1989), elle suit les étapes suivantes :

1er .La préparation de l'échantillon : L'échantillon est broyé jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène.

2ème- Mesure par diffractomètre : L'échantillon est placé dans le diffractomètre, où il est exposé aux rayons X. Le diffractomètre enregistre l'angle et l'intensité des rayons diffractés.

3ème-Analyse des résultats : Les données recueillies sont converties en diffractogramme, qui présente les pics correspondant à différents plans atomiques du cristal. (Fig.32)

Dans ce travail les analyses ont été faites sur roche brute seulement (la fraction argileuse de la poudre est inférieure à 2 microgrammes).

Il existe plusieurs types de traitements physico-chimiques auxquels les phyllosilicates répondent différemment comme le chauffage pour le déshydrater ou l'imprégnation à l'éthylène glycol. (Fig.30 et Fig.31).

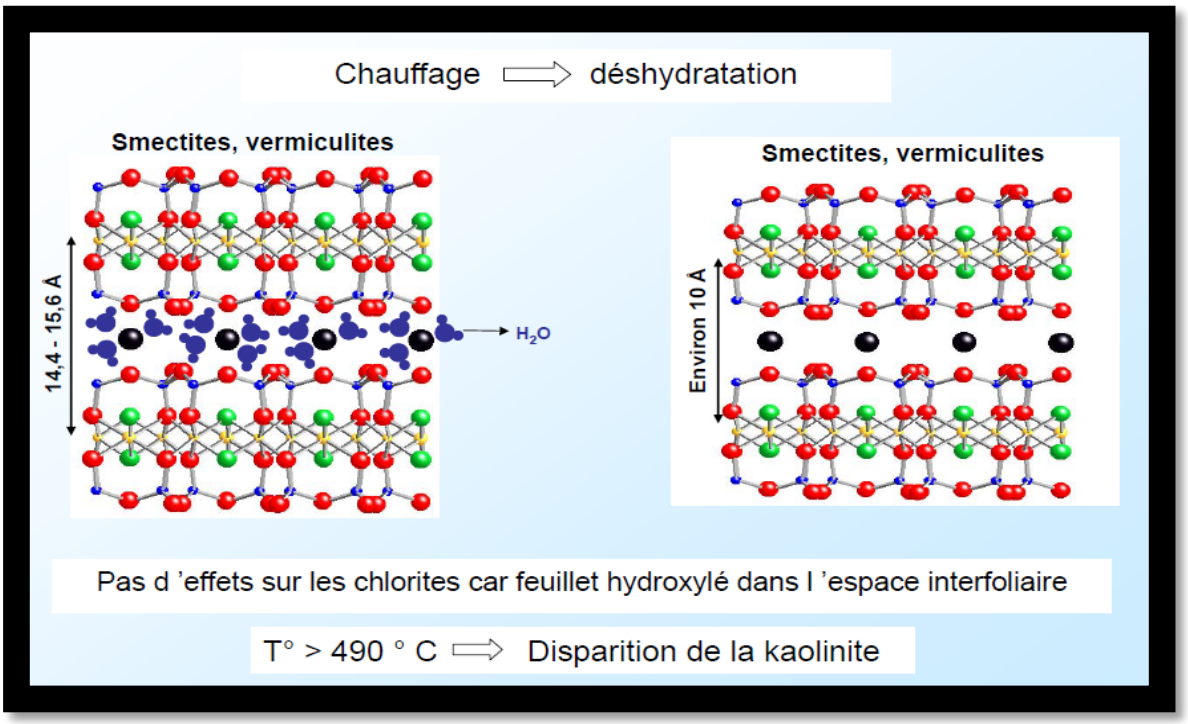


Figure 30 : Traitement par Chauffage **(Benzerara, s.d)**

Pour interpréter un diffractogramme, il est nécessaire de suivre plusieurs étapes :

Identification des pics majeurs : Les pics les plus marqués correspondent souvent aux plans atomiques les plus répétés dans la structure du cristal.

Comparaison avec une base de données : Chaque matériau a une « empreinte » spécifique en diffraction des rayons X. Les résultats obtenus peuvent être comparés à une base de données de phases cristallines pour identifier le matériau présent. (Moore D & Reynolds, 1989)

Quantification des phases : En utilisant la hauteur des pics et des algorithmes spécifiques, il est possible de déterminer les proportions relatives de chaque phase cristalline dans un échantillon donné.

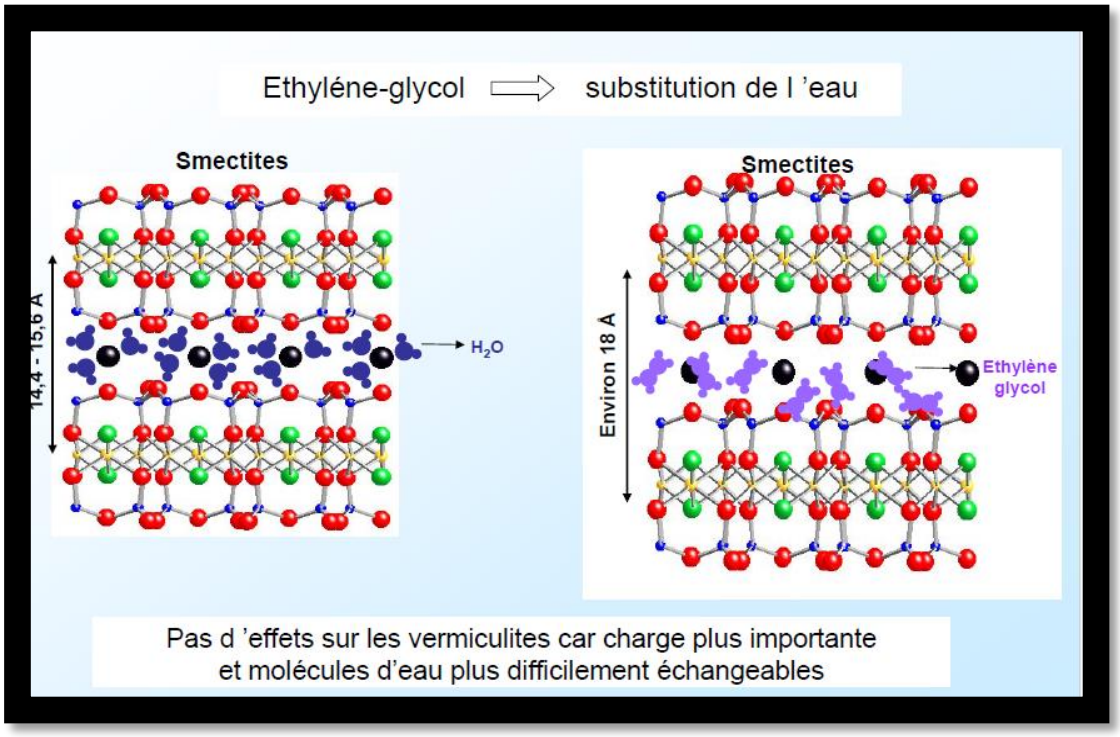


Figure 31 : Traitements à l'éthylène glycol **(Benzerara, s.d)**

X-3- Interprétation des phases cristallines et amorphes (Fig 33) .

Dans le cas d'un matériau cristallin, les pics apparaissent sous forme nette et distincte, indiquant une structure ordonnée à long terme. À l'inverse, un matériau amorphe produira une courbe plus diffuse, sans pics bien définis, signe d'un désordre dans la structure atomique.

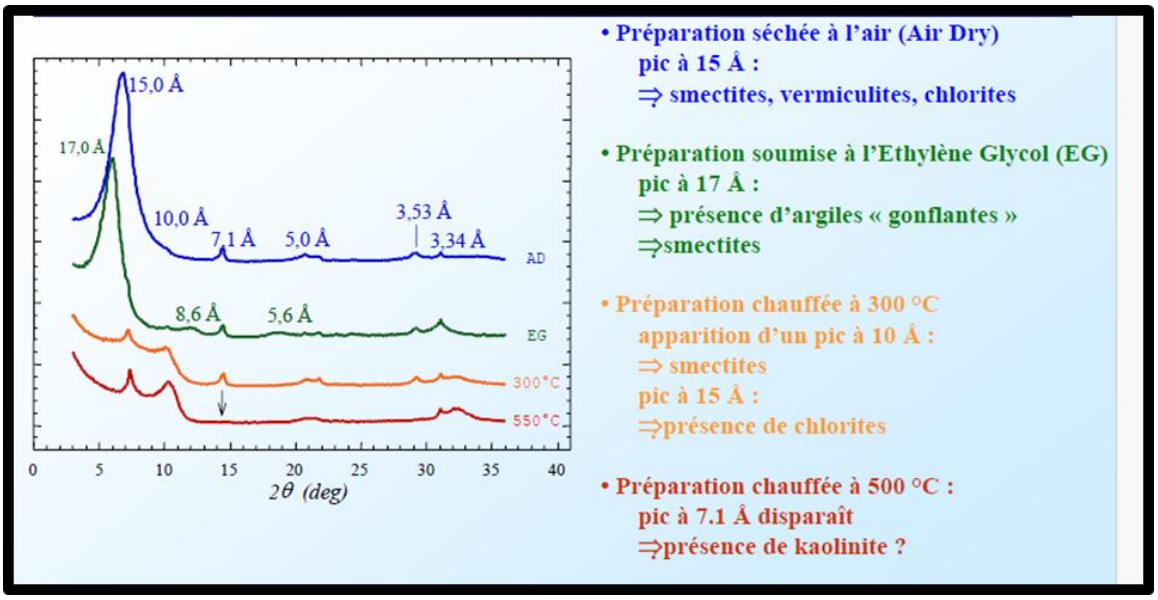


Figure 32 : Traitements pour identifier un mélange d'argiles par diffraction des rayons X. **(Benzerara, s.d)**

	Air	Ethylène-glycol	Chauffé
Kaolinite	7	7	7 (disparaît 490°C)
Illites / Micas	10	10	10
Smectites	14	18	10
Vermiculites	14	14	10
Chlorites	14	14	14

Figure 33 : tableau récapitulatif pour identifier un mélange d'argiles par diffraction des rayons X. **(Benzerara, s.d)**

XI /Utilisation des logiciels d'analyse des diffractogrammes :

L'interprétation manuelle des diffractogrammes peut être complexe, surtout pour des matériaux contenant plusieurs phases ou avec des structures cristallines compliquées. C'est pourquoi des logiciels spécialisés sont couramment utilisés dans les laboratoires pour faciliter cette tâche.

Ces logiciels comparent les données obtenues avec des modèles théoriques, identifient les pics et calculent des paramètres comme la taille des cristaux ou les contraintes résiduelles dans un matériau.

Ces outils rendent l'analyse plus rapide et plus précise, qui nous permettent d'obtenir des résultats détaillés avec une grande fiabilité.

XII Protocole adopté pour la préparation et l'étude de notre matériel

L'analyse minéralogique a été conduite sur une roche totale à l'état brut, cette approche permet d'obtenir une caractérisation minéralogique globale, intégrant l'ensemble des phases cristallines présentes. (Moore D & Reynolds, 1989)

XI1-1 Broyage: (Burke, JENKIS, & Smith.D.k, 1998)

Chaque échantillon a été broyé manuellement jusqu'à l'obtention d'une poudre fine et homogène de granulométrie estimé inférieur à 10 µm

XI1-2 dépôt sur la lame de verre

La préparation des lames pour analyse DRX a été réalisée selon la méthode de chargement frontal (top-loading), dont le protocole opératoire est le suivant :

- Une quantité suffisante de poudre est déposée sur une lame de verre de format standard, support plan et non diffractant dans la fenêtre angulaire d'analyse.

- La poudre est répartie uniformément sur la surface de manière à constituer un dépôt d'épaisseur homogène couvrant intégralement la zone d'analyse.

- La surface du dépôt est soigneusement arasée et lissée à l'aide d'une lame de verre auxiliaire, afin d'obtenir une surface parfaitement plane coïncidant avec le plan focal du diffractomètre. (Fig 34) (Burke, JENKIS, & Smith.D.k, 1998)



Figure 34 : Préparation des lames

XII-3 Conservation et transport des lames préparées

Après préparation, les lames ont été conditionnées dans des protections plastiques à bulles afin de préserver l'intégrité physique du dépôt lors du transport vers le diffractomètre, en le protégeant de toute perturbation mécanique susceptible de modifier la planéité de la surface. (Fig.35)

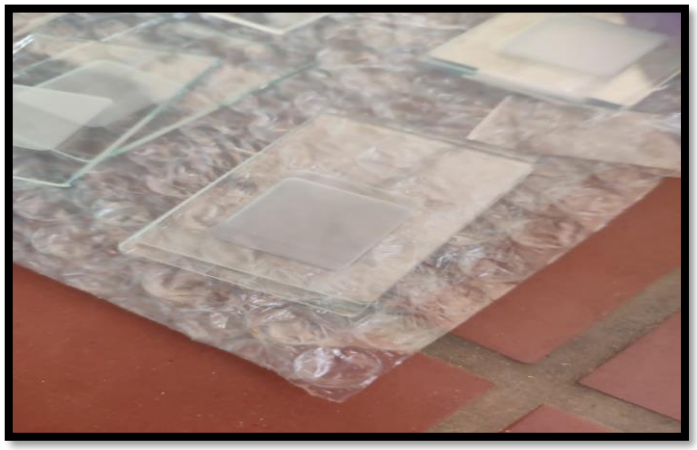


Figure 35: conservation de la lame

Les analyses DRX ont été réalisées sur un diffractomètre Rigaku MiniFlex (fig.36), instrument de géométrie Bragg-Brentano (θ/2θ) équipé d'un détecteur solide linéaire D/teX Ultra.

Le tableau suivant récapitule les paramètres instrumentaux utilisés (tabl IV) (Rigaku, 2024)

Paramètre instrumental	Valeur adoptée
Appareil	Rigaku MiniFlex
Géométrie	Bragg-Brentano (θ/2θ)
Radiation	CoKα (λ = 1.7890 Å)

Tableau IV : les paramètres instrumentaux utilisés



Figure 36 : Rigaku MiniFlex Diffractogramme **(Rigaku, 2024)**

XI1-4 Identification des phases minérales

A partir de fichiers numérisés, l'interprétation des diffractogrammes a été conduite selon deux méthodes complémentaires qui nous ont menés à l'identification des minéraux.

- **Loi de Bragg**

Le tableur Microsoft Excel a été utilisé initialement pour tracer le graphique de diffraction, permettant ainsi de centraliser les positions 2Θ de chaque pic observé. L'espacement réticulaire d a ensuite été calculé pour chaque réflexion par l'application de la loi de Bragg

$$\mathbf{d = n\lambda/(2sin\theta)}$$ avec λ=1,7902Å.

Les valeurs de d obtenues ont été comparées aux données de référence et d'indexer leurs plans cristallins (hkl) (Carroll, 1970)

- **Logiciel Match !2**

Les données exportées en format texte(.txt) ont été importées dans logiciel match ! version 2 (Crystal impact, Allemagne). L'identification des phases a été réalisée par comparaison visuelle des pics expérimentaux avec les fiches de la base de données COD (Crystallography Open Database).

Résultats

RESULTATS

Méthode 02 :

L'utilisation de logiciel matche !02 (les interprétations sont faites sur la base des deux méthodes associées)

Echantillon BZ1

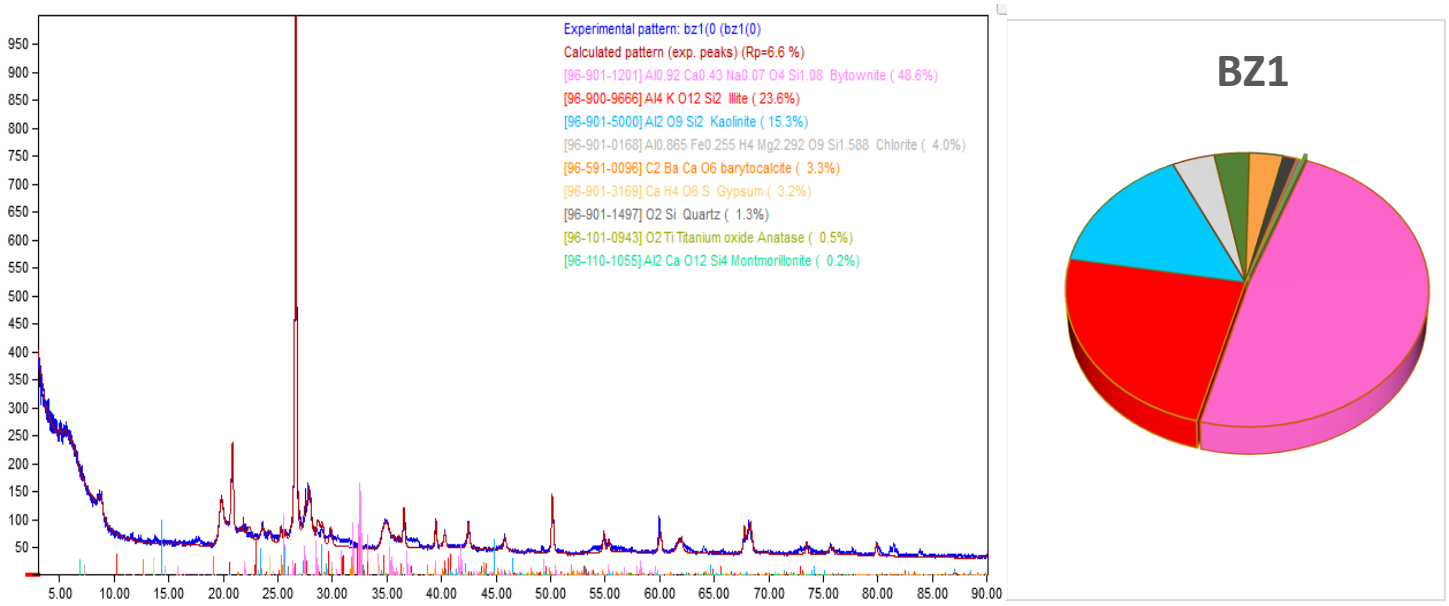


Figure 37 : spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ1

Minéraux non argileux : **49,9 %**, minéraux argileux : **43,1 %** minéraux rares : **7 %**

Interprétation :

Un mélange entre matériel volcanique et sédiment argileux. Les minéraux argileux sont très importants, ce qui traduit une altération hydrothermale notable.

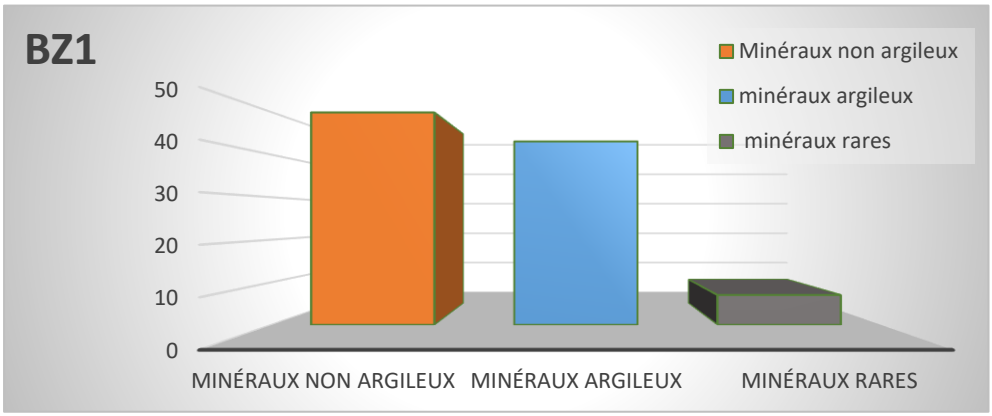


Figure 38 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ1

Echantillon BZ2

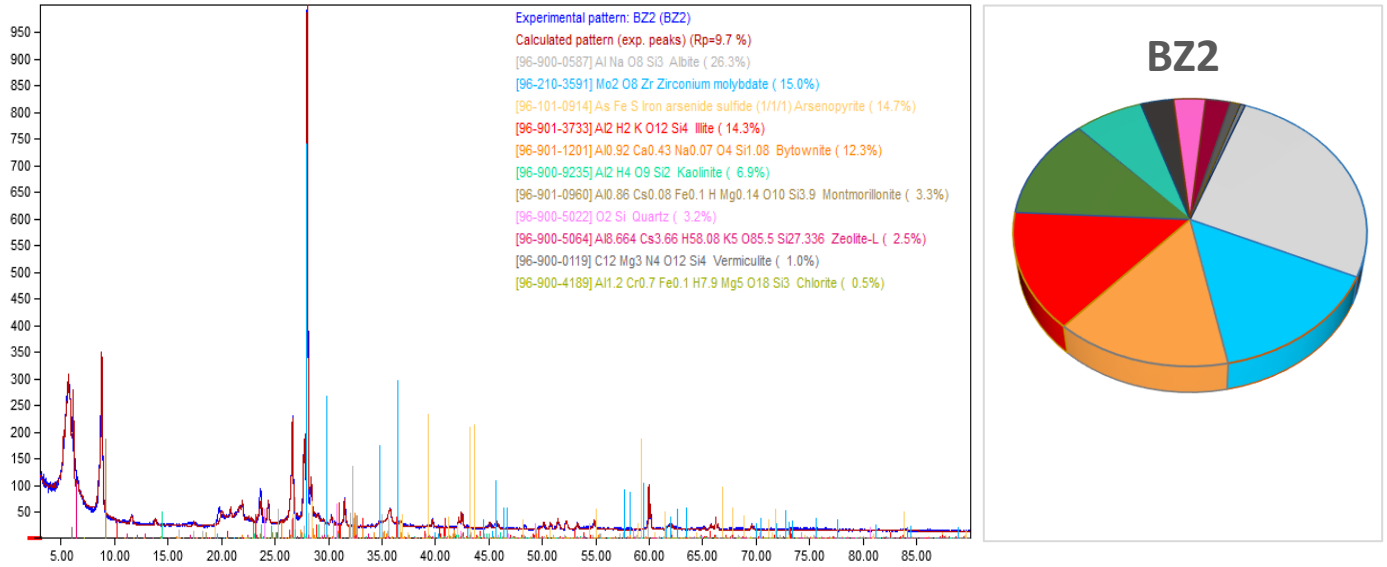


Figure 39: Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ2

Minéraux non argileux : 44,3 %, minéraux argileux : 24,5 %, minéraux rares : 29,7 %

Interprétation :

Une albitisation importante et une forte proportion de minéraux rares. Les minéraux argileux ont servi de piège géochimique.

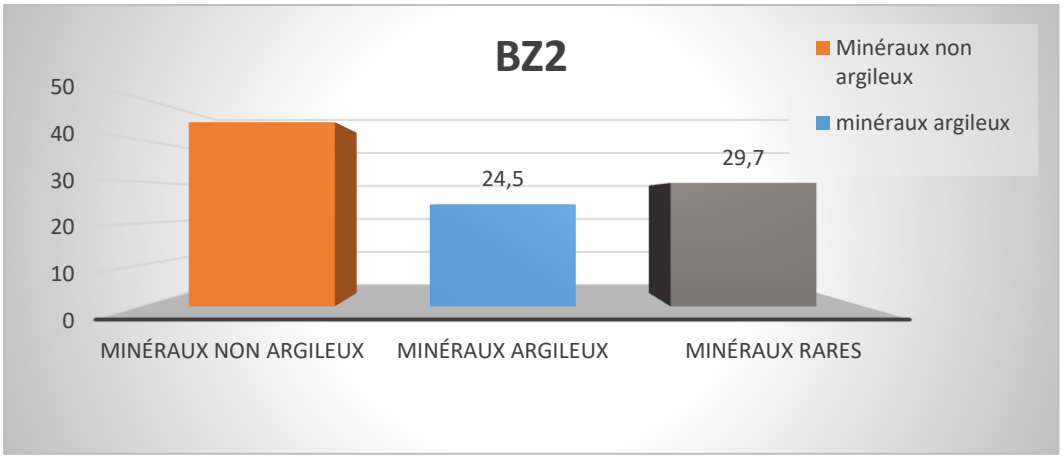


Figure 40 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ2

Echantillon BZ10

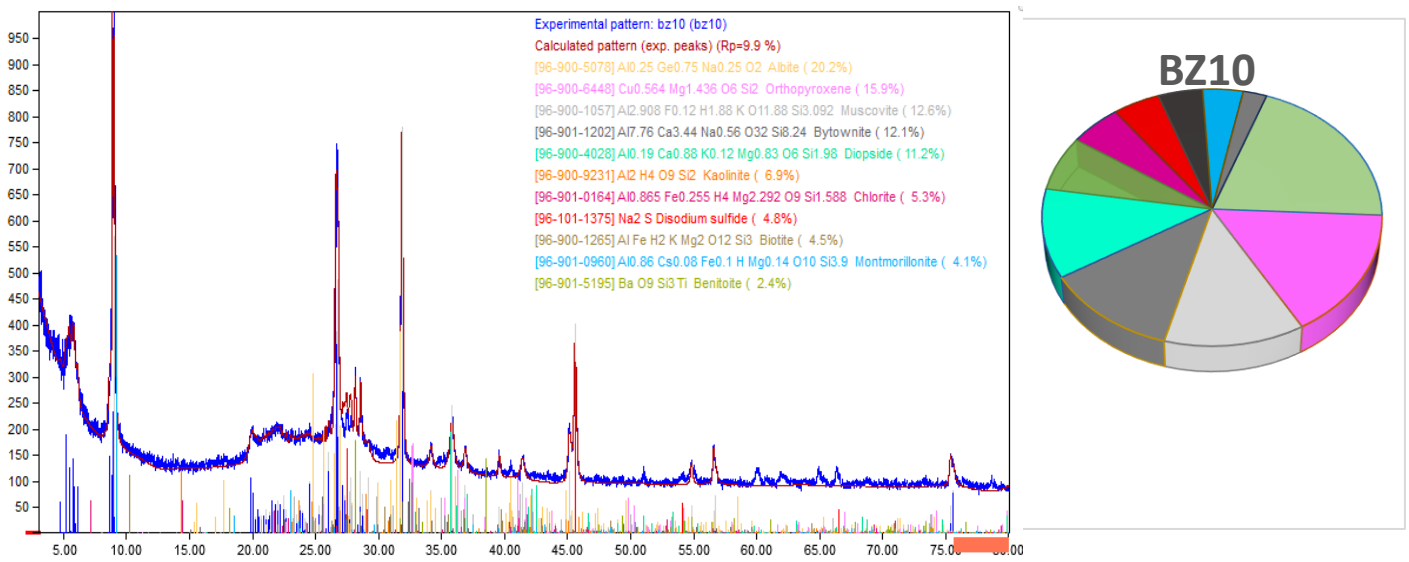


Figure 41 : Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ10

Minéraux non argileux : 76,5 %, minéraux argileux : 16,3 %, minéraux rares : 7,2 %

Interprétation :

Les minéraux non argileux dominent largement, ce qui reflète une bonne préservation des minéraux primaires. L'altération reste modérée

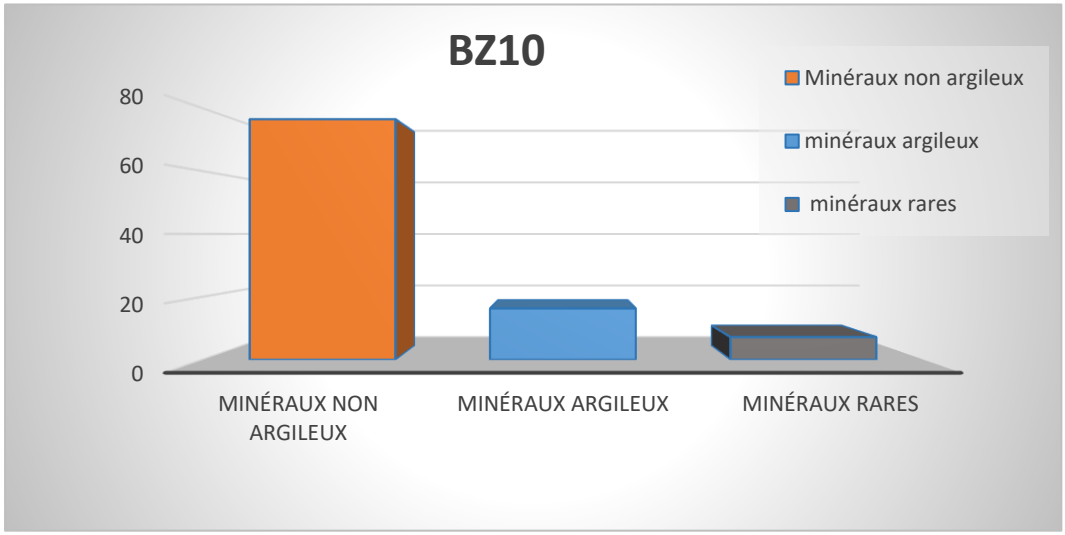


Figure 42 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ10

Echantillon BZ14

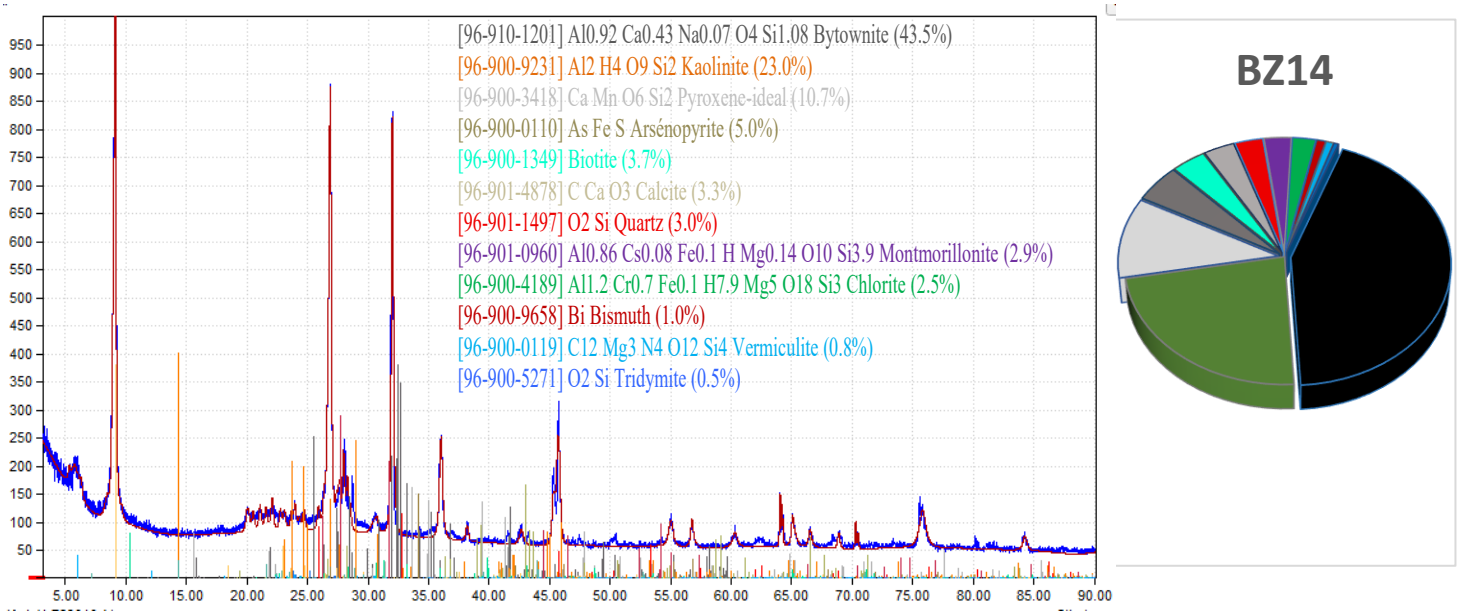


Figure 43 : Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ14

Minéraux non argileux : 64,7 %, Minéraux argileux : 29,2 %, Minéraux rares : 6 %

Interprétation :

Les minéraux non argileux dominent. Les minéraux argileux sont abondants, surtout la kaolinite.

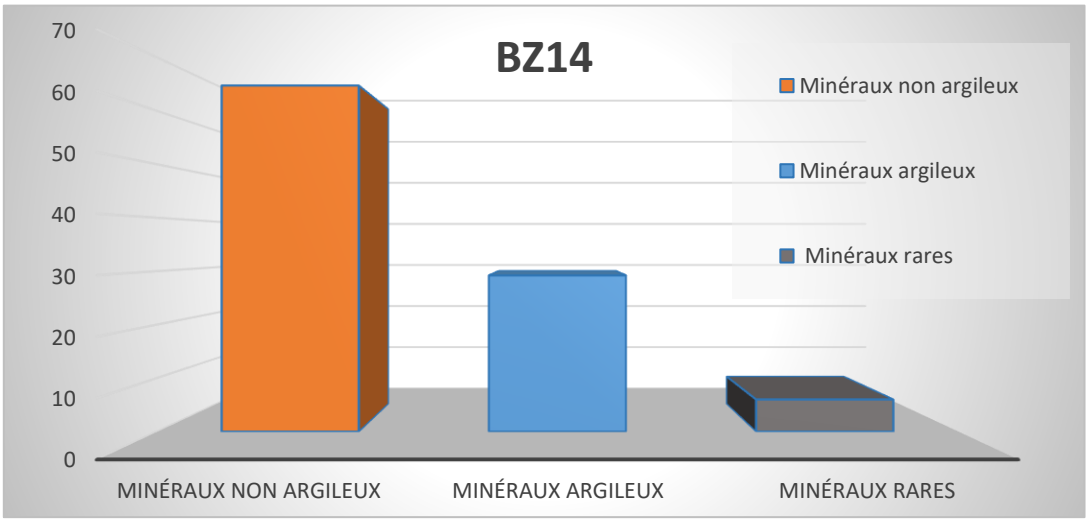


Figure 44 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ14

Échantillon BZ15

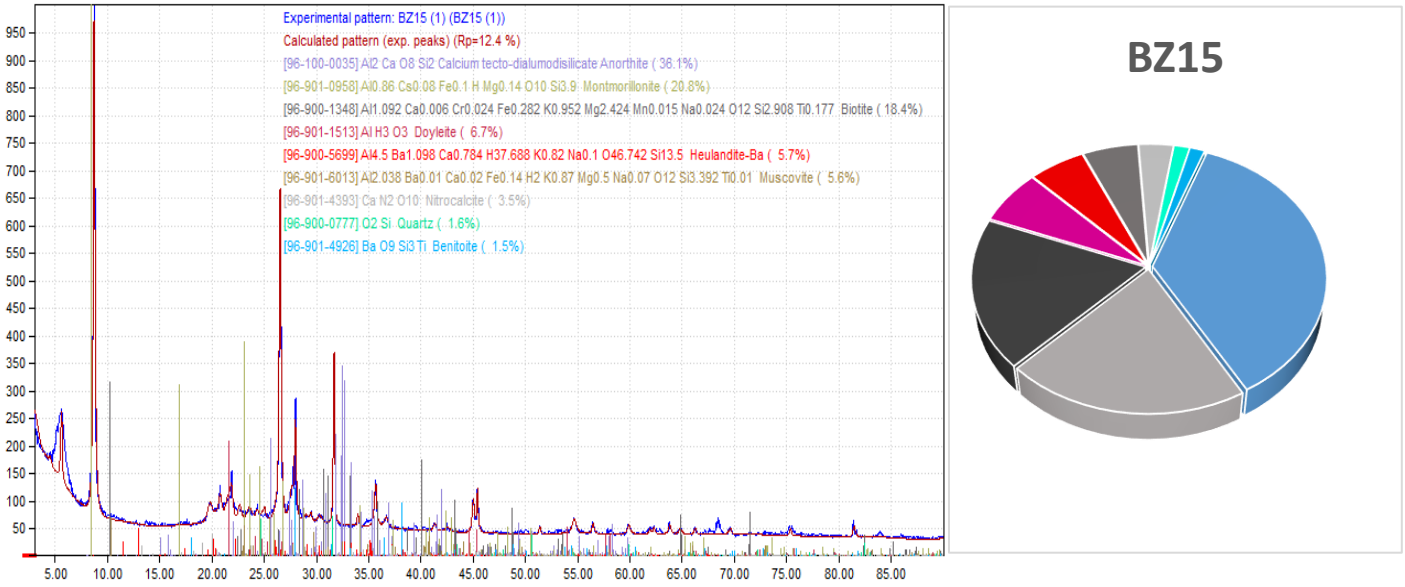


Figure 45 : Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ15

Minéraux non argileux : 61,7 %

, minéraux argileux : 21 %, minéraux rares : 17,4 %

Interprétation :

Les minéraux non argileux dominent, les minéraux argileux traduisent une altération hydrothermale.

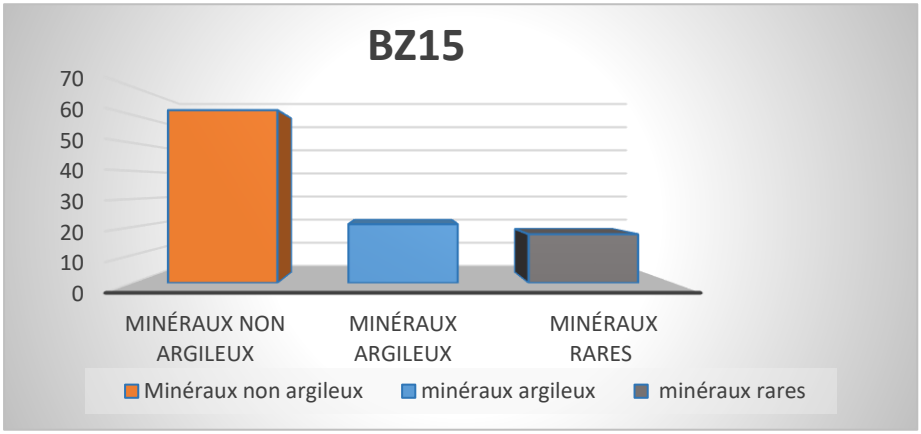


Figure 46 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ15

Echantillon BZ17 :

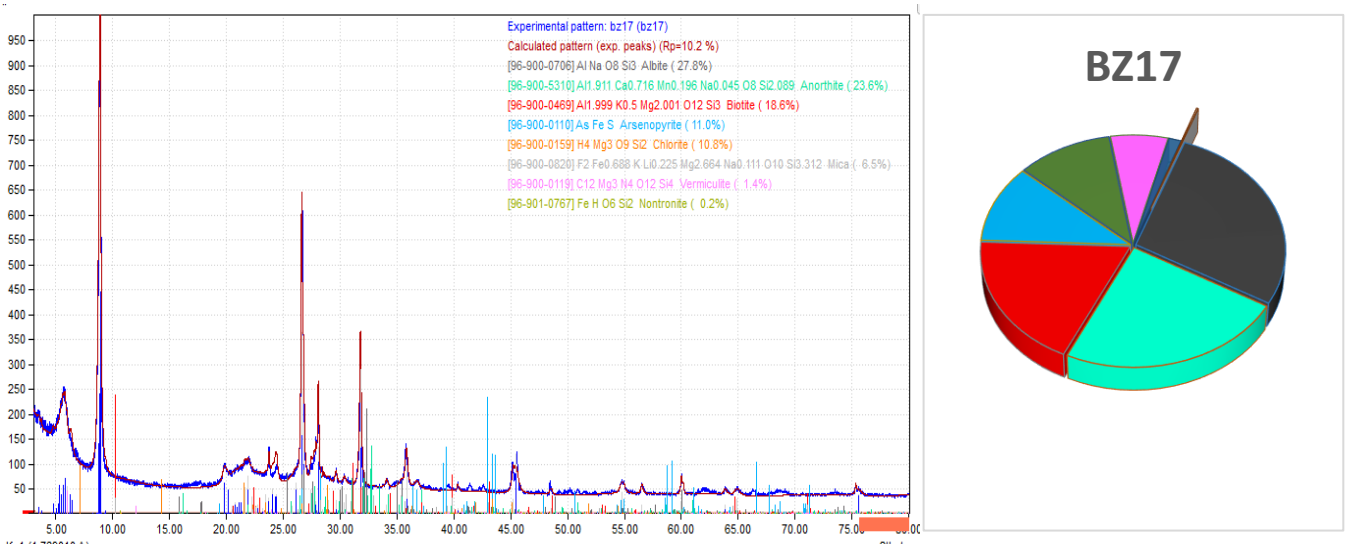


Figure 47 : spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ17

Minéraux non argileux :76,5 %, minéraux argileux : 12,4 %, minéraux rares :11%

Interprétation :

Les minéraux non argileux dominent, Les argiles et les micro-fractures ont favorisé le piégeage des fluides hydrothermaux.

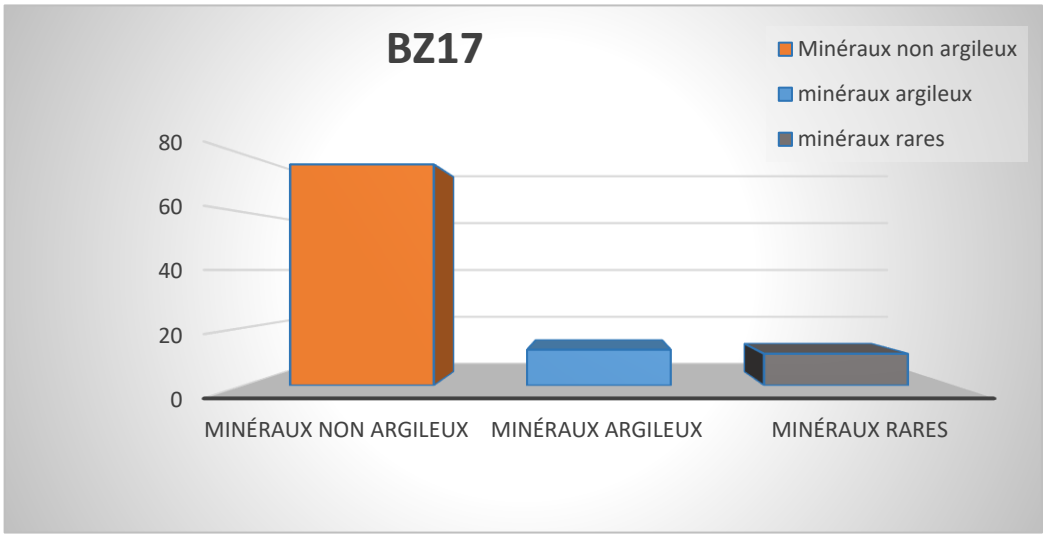


Figure 48 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ17

Échantillon BZ18 :

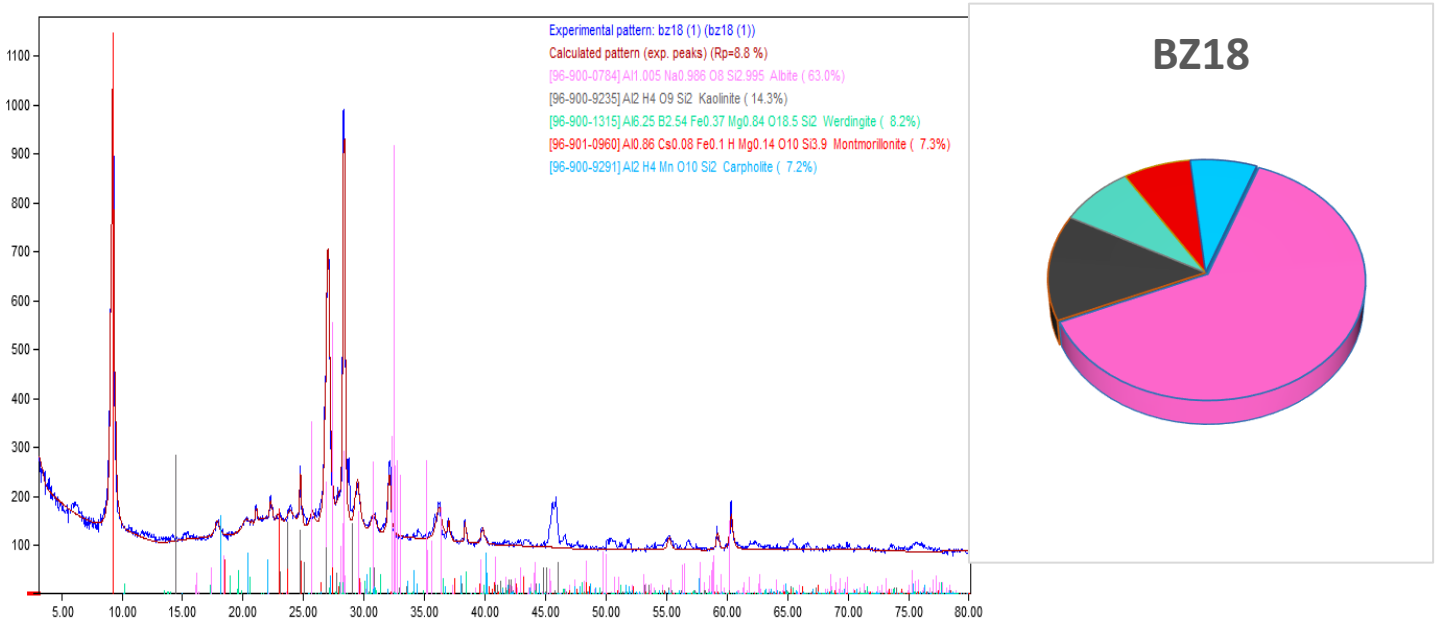


Figure 49 : spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ18

Minéraux non argileux : 63 %, minéraux argileux : 25 %, minéraux rares : 15,4 %

Interprétation :

Parmi les minéraux non argileux l'albite domine largement.

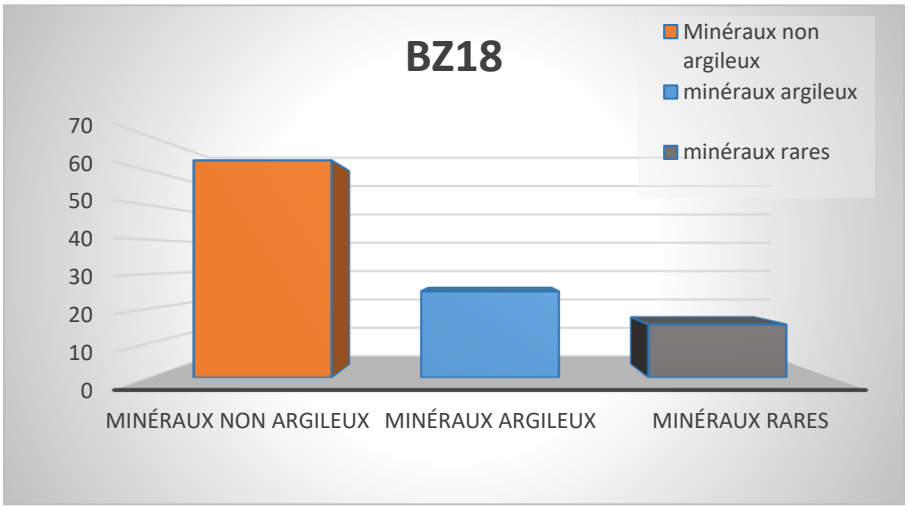


Figure 50 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ18

Échantillon BZ19 :

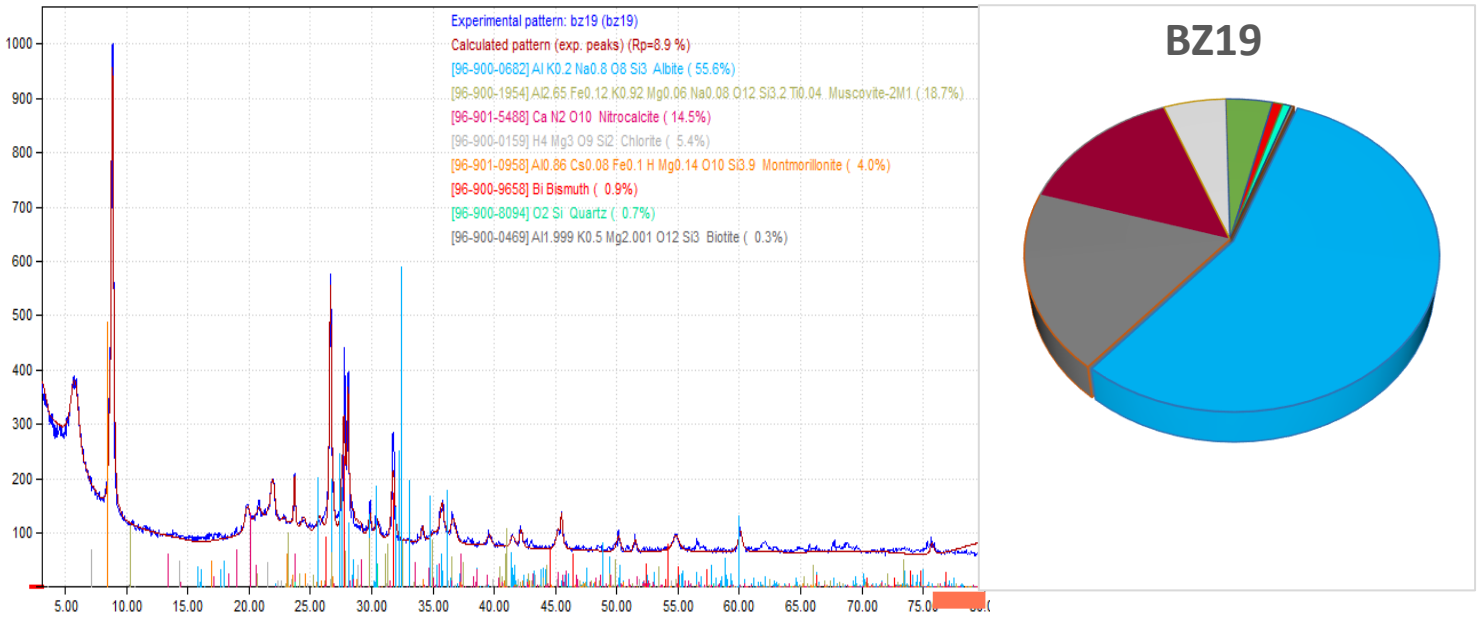


Figure 51 : spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ19

Minéraux non argileux : 56,6 %, minéraux argileux : 28,1 %, minéraux rares : 15,4 %

Interprétation :

L'albite domine. Les minéraux argileux sont abondants.

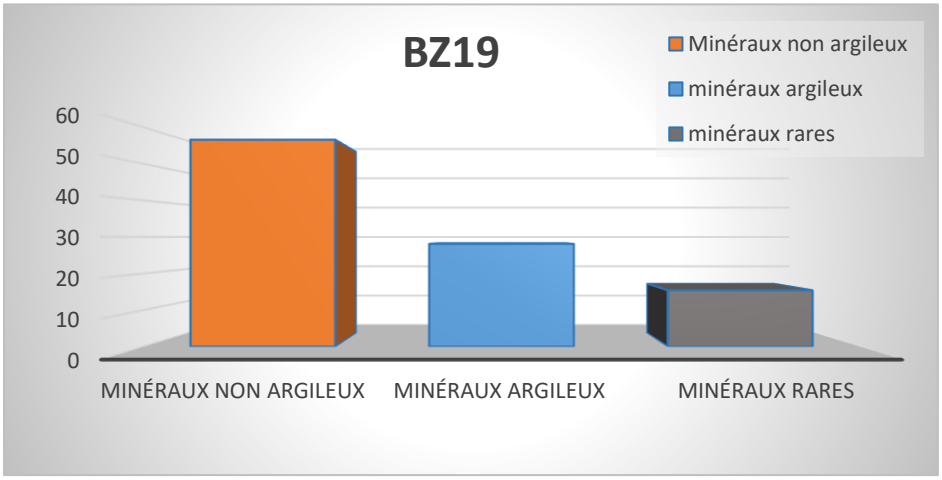


Figure 52 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ19

Échantillon BZ22 :

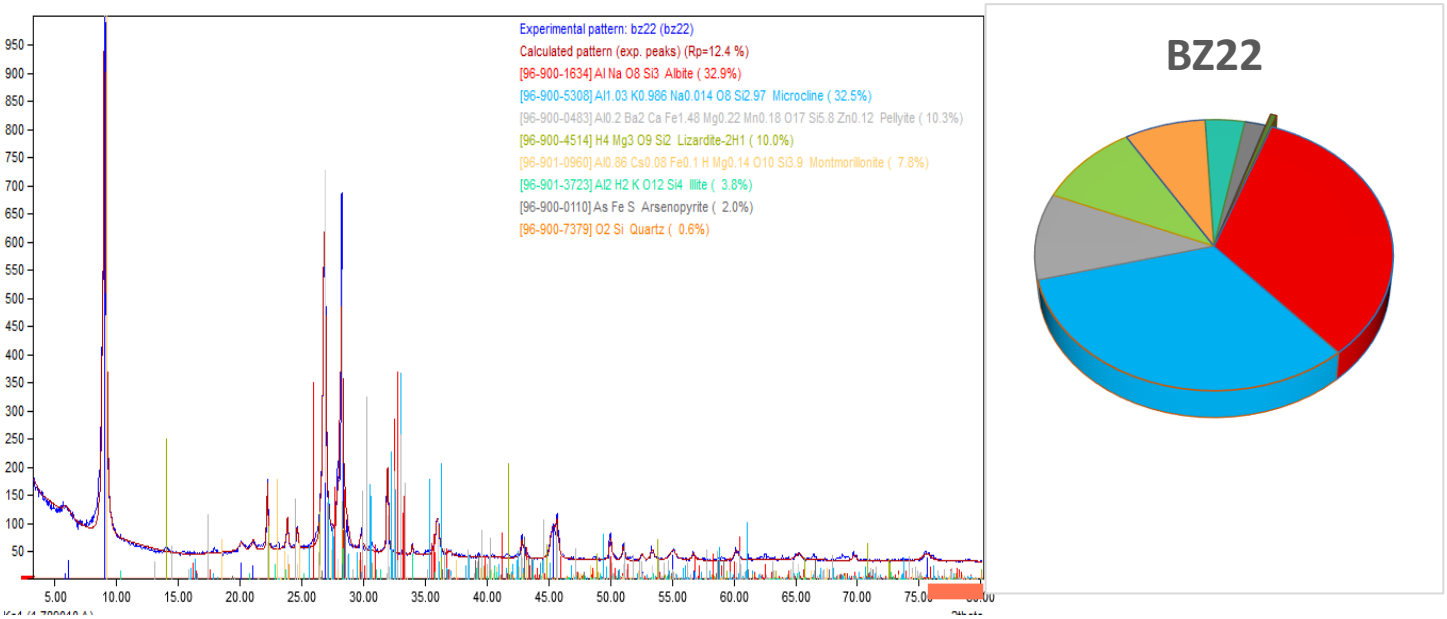


Figure 53 : Spectre de DRX et diagramme de quantification des minéraux de BZ22

Minéraux non argileux : 66 %, minéraux argileux : 22 %, minéraux rares : 12,3 %

Interprétation :

Les feldspaths alcalins dominent les minéraux non argileux. Les minéraux rares montrent le piégeage du baryum et des fluides tardifs lors de l'altération.

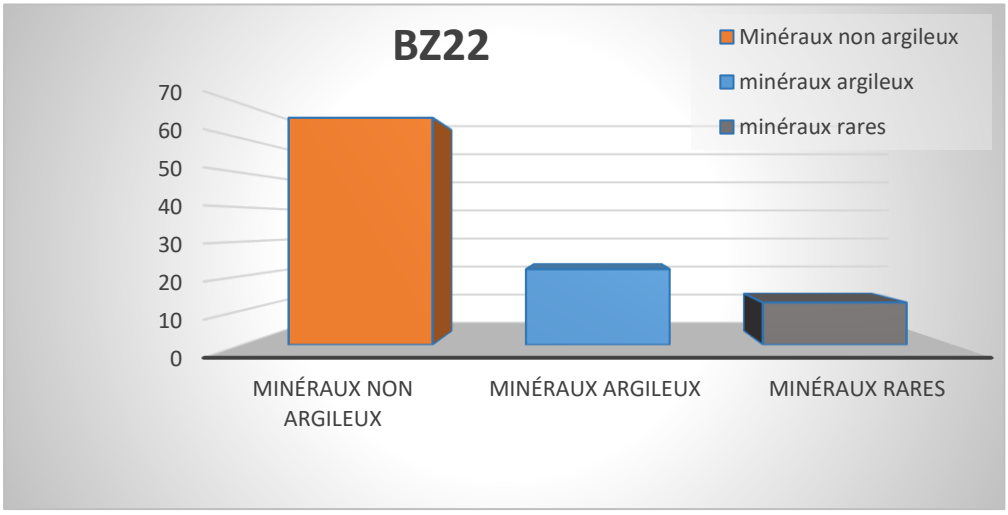


Figure 54 : Répartition globale des grands groupes minéralogiques de BZ22

DISCUSSION

Les résultats des analyses DRX de l'ensemble des échantillons de la série volcano-sédimentaire de Bouzedjar sont résumé comme suit :

- les Feldspaths sont très présents avec les trois pôles. Le pôle Na est largement représenté par l'Albite, les autres pôles sont également présents représenté par l'Anorthite pour le calcique (Ca), ainsi que par l'orthose et la microcline pour le pôle potassique (K).

Sont également présents les minéraux dont le pourcentage en feldspath Ca et Na varie, nous avons à titre d'exemple la Bytownite très présente aussi.

L'ensemble des minéraux non argileux représente plus que la moitié des constituants de la série.

-les minéraux argileux sont présents pour environ la moitié des représentants minéralogiques non argileux de la série.

-Comparativement aux minéraux argileux et non argileux les minéraux rares sont peu représentés dans certains niveaux.

-La détermination de certains minéraux demande d'autres investigations plus poussées.

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Le terrain d'étude « Bouzedjar » fait partie des formations volcano-sédimentaires miocènes de la wilaya d'Aïn Temouchent en Oranie Nord-Occidentale. Ce secteur s'inscrit dans la chaîne alpine, plus précisément dans la zone tellienne, structuré essentiellement par les évènements géologiques du Miocène liés à la convergence des plaques Africaine et Eurasiatique.

La compilation des résultats des analyses obtenues sur l'ensemble des échantillons à partir de deux méthodes multi approches :

Des analyses microscopiques : ont été montré à quasiment tous les niveaux. La forte présence de quartz et de biotite, suivis de plagioclase, d'orthopyroxène et muscovite

La DRX quant à elle a révélé plusieurs phases. Celles-ci peuvent être regroupées en trois grands ensembles les minéraux non argileux issus de la roche mère, les minéraux argileux et les minéraux accessoires. L'interprétation de ces minéraux permet de retracer une histoire géologique complexe marquée par du magmatisme, de la tectonique et une activité hydrothermale dans ce secteur de l'Oranie en Algérie Nord Occidentale.

1. Les minéraux non argileux (Roche mère) à forts pourcentages dans la série : Ce groupe reflète un magmatisme initial riche. Il est dominé par les plagioclases, dont la composition varie de la bytownite calcique à l'albite sodique. La présence de pyroxènes, de biotite et de muscovite indique des roches mères de composition basique à intermédiaire. Dans certains échantillons, on note également la présence de sanidine et de feldspathoïdes, ce qui traduit un enrichissement alcalin tardif typique des stades post-subduction régionaux.

2. Les minéraux argileux Ces minéraux résultent de l'altération hydrothermale. On y retrouve systématiquement la kaolinite, associée à l'illite, la smectite (la montmorillonite), la chlorite, la vermiculite.

L'ensemble de ces minéraux peu altérés, représentés surtout par la présence de l'illite, du chlorite témoigne d'un processus hydrolytique modéré par lequel l'érosion se fait directement du substrat cristallin, avec des conditions climatiques tempérées en période de tectonique active

La comparaison des rapports illite/montmorillonite montre probablement un enfouissement différentiel contrôlé par une tectonique cassante active

3. Les minéraux accessoires Ces phases sont particulièrement intéressantes car elles renseignent sur l'activité hydrothermale. La présence d'arsénopyrite, associée au quartz, il peut indiquer un système filonien silico-sulfuré.

Tous ces éléments s'inscrivent dans le contexte de la subduction miocène de la plaque africaine sous la plaque eurasiatique. Les grands accidents tectoniques (direction atlasique NE-SW et méditerranéenne NW-SE) ont servi de conduits aux fluides hydrothermaux profonds, tandis qu'un climat chaud et humide a favorisé l'altération en surface.

Cette étude montre donc un système (polyphasé) où magmatisme, tectonique cassante et hydrothermalisme sont étroitement liés, expliquant à la fois la morphologie actuelle du littoral et le potentiel minéral du secteur.

Il est en tout cas, certain que tous ces dépôts sont la résultante des interactions entre ces trois types d'influences.

Perspectives d'avenir :

Afin d'approfondir nos recherches et de mieux cerner les effets de la déstabilisation tectonique, de l'eustatisme et du climat sur la distribution argileuse de la colonne sédimentaire, d'autres approches analytiques sont souhaitables, notamment :

-des analyses à l'aide de la Spectrométrie de fluorescence X et du MEB EDX

-Application de télédétection.

Références bibliographiques

AGUIAR M, S. e. (2020). Etude pétrographique et géochimique des granites Chegga et séries Chegga(SW Algérien). Faculté des sciences de la terre et l'Univers, département des sciences de la terre, Université d'Oran 2.

BEN MEFTAH .H et BEDLAOUI .A. (2018). Volcanologie et chronologie relative des produits eruptifs du massif volcanique d'ain temouchent. oran.

BENDOUKHA. (2008). étude dynamique, pétrographique et géochimique du volcanisme alcalin plio-quaternaire de l'Oranie (Algérie nord-occidentale). Universiré des sciences de la technologie Houarie Boumediène(USTHB).

Benzerara, K. (s.d). Techniques Analytiques en sciences de la terre: Quelques techniques de la minéralogie [Diaporama]. Récupéré sur ResearchGate: Institut de minéralogie, physique des matériaux et cosmochimie; UNIVERSITE PARIS

BUHRKE. (1998).

Burke, E. V., JENKIS, R., & Smith.D.k. (1998). A Pratical Guide for the preparation of Specimens for X-ray Fluoresence and X-ray Diffraction Analysis. New York: Wiley-VCH.

CAILLERE, S., HENIN, S., & RAUTUREAU, M. (1982). Minéralogie des argiles, structure e tpropriétés physico-chimiques. Masson.

CARMINATI, E., LUSTRINO, M., & DOGLIONI, C. (2012). Geodynamic evolution of the central and western Mediterranean: Tectonics vs. igneous petrology constraints. Tectonophysics.

CARROLL, D. (1970). clay minerals:A guide to theire X-ray identification. Boulder: the geological society of america.

CoursGéologie. (s.d.). Les principaux minéraux constitutifs de l'écorce terrestre. Récupéré sur CoursGéologie: https://coursgeologie.com/les-principaux-mineraux-constitutifs-de-l-ecorce-terrestre-87/

DEWEY, J. F., HELMAN, M. L., TURCO, E., HUTTON, D. H., & KNOTT, S. D. (1989). Alpine Tectonics. London: Geological Society of London.

DURAND-DELGA, M. (1969). mise au point sur la structure de nord-est de la berbrie. bulletin de la société géologique de france, 1-41.

GUARDIA, P. (1975). Géodynamique de la marge alpine du contient africain d'aprés l'étude de l'oranie nord-occidentale. Université de Nice.

HAMDAOUI, M. (2018). ETUDE DE L'EFFET CO-SISMIQUE DE LA FRACTURATION TECTONIQUE DE LA REGION DE BOUZEDJAR WILAYA D'AIN TEMOUCHENT.

HARRAT, M. (2007). Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique de TOUGGOURT. (Doctoral dissertation, Université de Ouargla-Kasdi Merbah).

HAUTEVELLE, Y. (2008). cours et vidéo sur les argiles Ecole Nationale Supérieure Géologie. France.

HEBART, R. (1998). Guide de pétrologie descriptive : utilisation du microscope optique polarisant. Paris: Nathan.

JASMUND, & LAGHAL. (1992). «Ton-minerale und Tone. Structuren, Eigenschaften, An Wendung und Einsatz in Industrie und Umwelt»,. Steinkopff Verlag, Darmstadt. Ed.

KHEMAKHAM, S. (2005). Elaboration de membranes de microfiltration et d'ultrafiltration en céramique à base d'argile tunisienne . Université de Montpellier .

KUMARI, N., & MOHAN, C. (2021). clay and clay Minerals. IntechOpen.

LABDAOUI, B., BENALI, H., BOUGHACHA, A., & MOUSSAOUI, K. (2023). Mapping hydrothermal alterations and lineaments associated with epithermal and massive sulphides deposits of Tifraouine (northwest Algerian coast): Use of Landsat 8 OLI data and remote sensing. Revista de la Sociedad Geológica de España.

LAMOURI, B. (2017). Caractérisation géologique, minéralogique et géochimique des argiles des formations du versant sud du massif des Aurès.Conséquences paléogéographiques et intérêts commerciaux.

MEGARTSI, M. (1985). Le volcanisme mio-plio-quaternaire de l'Oranie nord-occidentale : géologie, pétrologie, géodynamique. Alger, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène (USTHB), Algérie.

MILLOT, G. (1964/1972). Géologie des Argiles: altérations, Sédimentologie, Géochimie.

MOORE D, M., ET REYNOLDS. (1989). X-ray Diffraction and the Identification and analysis of clay Minerals. . Oxford: Oxford University Press.

NADJI, A. M. (2010). Étude sismotectonique du littoral oranais : Contribution à l'aléa sismique. Oran, Université d'Oran, Algérie.

RENE C. MAURY, S. F.-H.-P. (2000). Post-collisional Neogene magmatism of the Mediterranean Maghreb margin: a consequence of slab breakoff. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science.

RIGAKU, C. (2024). MiniFlex-Benchop X-ray Diffractometer. Récupéré sur rigaku.comm: https://rigaku.com/products/X-ray-diffraction-and-scattering/xrd/miniflex

ROSENBAUM, G., LISTER, G., & PIAGET, C. (2002). Reconstruction of the tectonic evolution of the Western Mediterranean since the Oligocene. Journal of the Virtual Explorer.

THOMAS.G. (1985). Géodynamique d'un bassin intramontagne : le bassin du Bas-Chélif (Algérie) occidentale durant le Miocène supérieur et le Plio-Quatenaire. Université de Pau et des Pays de l'Adour, France.

WHITE, W. M. (1999). Géochimistry .

ZOURGUI, B. B. (2022). Adsorption du bleu de methylene par l'argile illitemontmorillonite de la region de Naima Tiaret Algerie chimiquement modifiee.

SITE WEB :

Algerie360. (2017). Son implantation est prévue au port de Bouzedjar : Un centre régional de formation maritime et de sécurité. Récupéré sur https://www.algerie360.com/wp-content/uploads/2017/02/d-un-centre-regional-de-formation-maritime-et-de-securite-68437.jpg

google maps .. https://www.google.com