

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Gestion et Protection du littoral

Thème :

**Etude géologique de l'altération des roches magmatiques
au milieu littoral de la plage d'El Hamdania
(Wilayas de Tipaza)**

Présenté par :

Khebbou Abdelaziz

Soutenu le 18/07/2023 devant le jury suivant :

Présidente Mme Mahdid Sonia

ENSSMAL

Encadrant Mme Chaa Halima

ENSSMAL

Examineur Mr Mezoua Khoudir

ENSSMAL

2022-2023

Remerciements

« Je remercie d'abord le bon Dieu, le tout puissant pour l'éclairage du cheminement des ténèbres par des étoiles dans les nuits les plus obscures, où surgissent les vérités profondes, suscitant toute spéculation... »

Je tiens à remercier chaleureusement ma promotrice Mme Chaa Halima enseignante à l'ENSSMAL, d'accepter de m'orienter et de suivre en permanence l'évolution de cet humble travail et l'aide qu'elle m'a donné pour élaborer ce mémoire. Mes remerciements vont également aux membres du jury qui feront l'honneur du jury de mon travail.

Je tiens également à remercier le personnel de l'Office National de Recherches Géologiques et Minières (ORGM) de Boumerdes, et le Centre d'Etudes et de Prestations Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction (CETIM) de Boumerdes pour me permettre d'effectuer des analyses d'échantillon de roche magmatique.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à tous mes professeurs de l'ENSSMAL, qui m'ont permis d'acquérir le niveau et les connaissances nécessaires pour faire la recherche,

Je tiens également à remercier tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Je ne peux terminer sans exprimer mes remerciements à tous mes membres de la famille pour leur soutien tout au long de cette année, en particulier mes très chers Parents.

Je dédie cet humble travail :

A la personne devant qui tous les mots de l'univers sont impuissants à exprimer mon amour et mon affection pour elle, pour ma douce mère, pour ma chère, honorable et bonne mère : tu es pour moi un symbole La gentillesse par excellence, source de tendresse et exemple de sincérité ininterrompue

Encouragez-moi et priez pour moi. Vos prières et vos bénédictions m'ont beaucoup aidé pour terminer mes études. La dévotion ne peut pas être assez éloquente pour l'exprimer Ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu as faits pour moi depuis ma naissance, Pendant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère ne pouvait faire. Que Dieu tout puissant vous protège et vous bénisse Santé, longue vie et bonheur.

A mon cher père aucune dévotion ne peut exprimer l'amour, le respect, la dévotion et le respect que j'ai toujours eu pour toi.

A tous mes frères Pour leur soutien dans mes études

A toute la famille Khebbou, ainsi qu'à tous mes oncles et tantes.

Je voudrais dédier cet humble travail à nos chers amis. Ainsi qu'à tous les aménagistes de la promotion 2022/2023 et pleine

D'autre encore à qui on souhaite bonheur et réussite

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| Résumé | 1 |
| Abstract | 2 |
| Introduction générale..... | 3 |
| 1) Introduction :..... | 4 |
| 2) Problématique : | 4 |
| 3) Objectif : | 4 |
| 4) Situation géographique de la région d'étude : | 5 |
| CHAPITRE I : Etude bibliographique | 6 |
| 1) Introduction :..... | 7 |
| 2) Généralité sur les roches volcaniques :..... | 7 |
| 2.1) Définition : | 7 |
| 2.2) Principaux minéraux des roches volcaniques : | 7 |
| 2.3) Principales roches volcaniques : | 7 |
| 2.4) Les roches volcaniques altérées : | 10 |
| 2.5) Utilisations des roches volcaniques : | 11 |
| CHAPITRE II : | 13 |
| Contexte géologique | 13 |
| 1) Introduction :..... | 14 |
| 2.1) Structure générale de la chaîne des maghrébides : | 14 |
| 2.2) Evolution tectonique des Maghrébines :..... | 14 |
| 2.3) Nature et Répartition spatio-temporelle du magmatisme tertiaire périméditerranéen : | 15 |
| 3) Géologie locale (Tipaza, Cherchell) : | 18 |
| 3.1) Introduction :..... | 18 |
| 3.2). Aperçu géologique : | 18 |
| 3.3) Type des roches volcaniques de Cherchell : | 18 |
| CHAPITRE III : CONTEXTE MARIN ET METEOROLOGIQUE | 21 |
| 1) Introduction :..... | 22 |

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 2) La Température :..... | 22 |
| 3) Précipitations :..... | 22 |
| 4) Vitesse de vent :..... | 23 |
| 5) La température, la vitesse du vent, et la précipitation à Tipaza pendant l'année 2022..... | 24 |
| 6) Salinité : | 25 |
| 7) La température de la surface de la mer | 25 |
| 8) Les vagues..... | 26 |
| CHAPITRE IV: | 27 |
| ETUDE DES ROCHES D'EI HAMDANIA..... | 27 |
| 1) Introduction :..... | 28 |
| 2 .1) Méthodologie de travail : | 28 |
| 2.1: Etude par Microscope Optique polarisant :..... | 28 |
| 2.2. Concassage et Broyage : | 29 |
| 2.3. Caractérisation par DRX | 30 |
| 2.4. Caractérisation par XRF :..... | 31 |
| 3) Etude de terrain d'étude : | 31 |
| 4) Caractérisation des roches volcaniques avant altération (Echantillon01le monzogranite) : | 37 |
| 4.1) Etude macroscopique :..... | 37 |
| 4.2) Etude par microscope polarisant :..... | 37 |
| 4.3) Caractérisation par DRX :..... | 38 |
| 4.4) Caractérisation par XRF : | 39 |
| 5) Caractérisation des roches volcanique (après altération) :..... | 40 |
| 5.1) Etude macroscopique des roches altérées : pour bien confirmer l'altération, deux échantillons ont été étudiés : | 40 |
| 5.2) Etude par microscope optique :..... | 40 |
| 5.3) Caractérisation par DRX :..... | 41 |
| 5.4) Caractérisation par XRF | 42 |

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 6) Etude par microscope de l'échantillon 03 : | 43 |
| 6.1) Etude macroscopique : | 43 |
| 6.2) Etude par microscope optique : | 43 |
| 6.3) Caractérisation par DRX : | 44 |
| 6.4) Caractérisation par XRF : | 44 |
| 7) Etude de l'échantillon 04 des tufs volcaniques : | 45 |
| 7.1) Etude macroscopique : | 45 |
| 7.2) Etude microscopique : | 45 |
| 7.3) Caractérisation par DRX des tufs volcaniques (échantillon n4°) : | 46 |
| 7.4) Caractérisation par XRF (04) : | 46 |
| 8) Etude de la géochimie de la roche par la perte eu feu : | 47 |
| 9) Conclusion : | 48 |
| CHAPITRE V : | 49 |
| Résultats et discussion..... | 49 |
| 1) Introduction : | 50 |
| 2) Comparaison macroscopique de la roche avant et après l'altération : | 50 |
| 3) Comparaison chimique de la roche avant et après l'altération : | 50 |
| 4) Comparaison minéralogique de la roche avant et après l'altération : | 50 |
| 5) L'impact de l'environnement marin sur ces roches : | 51 |
| 6) Comparaison de l'altération avec des roches similaires loin de la mer | 51 |
| Comparaison entre la composition chimique moyenne de la Bentonite de Mostaganem et Cherchell et Wyoming du sud USA | 52 |
| 7) Obstacles et défis de la présence de bentonite dans cette zone de construction : | 53 |
| Conclusion générale : | 55 |
| Recommandation : | 56 |
| Annexe | 57 |
| Principe de fonctionnement du microscope optique polarisant : | 57 |
| Principe de fonctionnement de l'appareil de diffraction X (DRX) : | 58 |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| Principe de fonctionnement de l'appareil de XRF : | 58 |
| Liste des références : | 58 |

Liste des figures

Figure 1 Carte géographique d'EL HAMDANIA (Zone des études), (Google map, 2023)..... 5

Figure 2 : photo montrant la rhyolite 8

Figure 3 : photo montrant la monzogranite 9

Figure 4 photo montrant les tufs volcaniques 9

Figure 5 : photo montrant la bentonite 10

Figure 6 : Carte structurale schématique de la chaîne Maghrébidie montrant la distribution des zones externes et internes (Durand-Delga, 1980). 14

Figure 7 Mouvement africain par rapport à l'Eurasie fixe tel que calculé par Dewey et al. 1989. 15

Figure 8 Carte de l'évolution des séries magmatiques tertiaire et quaternaires de la méditerranée Occidentale (d'après Bellon et Brousse., 1977). 16

Figure 9 : Carte géologique de Tipaza (ASGA.2016)..... 20

Figure 10 : Une courbe graphique représente l'évolution annuelle de température en degré Celsius (C°) entre les années 1979 et 2021 dans la wilaya de Tipaza. (Meteoblue .2023.)..... 22

Figure 11 Une courbe graphique représente l'évolution annuelle de la précipitation en (mm/ans) entre les années 1979 et 2021 dans la wilaya de Tipaza. (Meteoblue .2023.) 23

Figure 12 Une courbe graphique représente l'évolution mensuelle de la vitesse du vent pendant les années 1979 et 2022 dans la wilaya de Tipaza (puertos, 2023). 23

Figure 13 : Des courbes graphiques représentant la variation de température et de vitesse du vent et précipitation pendant l'année 2022. (Meteoblue .2023)..... 24

Figure 14 Une courbe graphique représente l'évolution de la salinité..... 25

Figure 15 Une courbe graphique représente l'évolution de la température de la surface de la mer entre les années 1993 et 2021 de la côte Tipaza (Copernicus Marine, 2023). 26

Figure 16 Une courbe graphique représente l'évolution des vagues entre les années 1993 et 2021 à la côte de Tipaza (Copernicus Marine, 2023) 26

Figure 17 : lame mince réalisée 29

Figure 18. Microscope optique polarisant de Marque ZEISS de l'ENS –Kouba..... 29

Figure 19 Photos du mortier en céramique utilisé et des échantillons des roches avant et après broyage. 30

Figure 20 Appareille de diffraction X du laboratoire CETIM 31

Figure 21 Appareil de fluorescence X du laboratoire de CETIM. 31

Figure 22 : Photo montrant la caractérisation de zone d'études. (1) zone d'études. (2) trois îlots. (3) la plage d'El Hamdania. (4) route W109. (5) chemins de terre secondaires. (6) village d'El Hamdania. (Google earth, 2023) 32

Figure 23 Photo montrant la vitesse d'érosion et l'altération qui varie d'une roche à l'autre selon la dureté et la proximité des roches à la mer (Roches bleu-verdâtre : tufs volcaniques). 33

Figure 24 Photo montrant les vagues contrôlées par la vitesse du vent. 33

Figure 25 Photo montrant les faits des vagues et la houle sur les roches magmatiques donnant une forme de coussin. 34

Figure 26 Photo montrant les faits des vagues sur les roches de la zone d'étude. 34

Figure 27 Photo montrant l'oxydation et la présence des microorganismes de lichens sur les roches volcaniques dans la zone d'études. 35

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 28 Localisation des échantillons étudiés. Les échantillons : [Ech01 (monzogranite). Ech02 (monzogranite altéré). Ech03 (argile). Ech4 (tufs volcaniques)]..... | 36 |
| Figure 29 l'échantillon 01 du monzogranite | 37 |
| Figure 30 Microphotographie du monzogranite. Quartz (Q), Biotite (Bi), et Orthose (T). Plagioclase avec altération au centre (ZA). Calcite (CA). (Microscope polarisant (Gx10)) LPA | 38 |
| Figure 31 Quartz contournées par des auréoles d'altération (QC) lumière Natural (Gx10))... .. | 38 |
| Figure 32 Diffractogramme de l'échantillon 01 du monzogranite. | 39 |
| Figure 33. Echantillon 02 monzogranite altéré. | 40 |
| Figure 34 Microphotographie de l'échantillon 02. Orthose (OR), Quartz (Q), Biotite séricitisée (PF). Oxydation (OX). (Gx10), LN..... | 41 |
| Figure 35 auréoles d'altération des minéraux (lumière Naturelle (Gx10))..... | 41 |
| Figure 36 Diffractogramme du monzogranite altéré..... | 42 |
| Figure 37 : échantillon 03 argilitisé..... | 43 |
| Figure 38: Microphotographie de l'échantillon 03. Biotite séricitisée (BI). Oxydation (OX). Calcite (CA). ((Gx10), LN)..... | 44 |
| Figure 39 Diffractogramme de l'échantillon argilitisé..... | 44 |
| Figure 40 échantillon 04 des tufs volcaniques | 45 |
| Figure 41 Microphotographie dès l'échantillon très altéré et (04) Quartz (Q), Biotite (B). Oxydation (OX). Mésostase (M). ((Gx10)). | 45 |
| Figure 42 Diffractogramme du 4 ^è r échantillon..... | 46 |
| Figure 43 Diagramme perte au feu (%) en fonction de SiO ₂ (%). Échantillon 1 (en jaune est le monzogranite). Échantillon 2 (en rouge, monzogranite altéré). Échantillon 3 (en vert, la bentonite). Échantillon 4 (en noir, les tufs). | 47 |

Liste des tableaux :

| | |
|--|----|
| Tableau 1 Localisation, la nature et l'âge du magmatisme post-orogénique de littoral algérien(LAMRI Mourad.2017) | 17 |
| Tableau 2 Composition chimique de l'échantillon 01 selon l'analyse XRF | 39 |
| Tableau 3 Composition chimique de l'échantillon 02 selon l'analyse XRF | 42 |
| Tableau 4 Composition chimique de l'échantillon 03 | 44 |
| Tableau 5 Composition chimique de l'échantillon 04 selon l'analyse XRF | 46 |
| Tableau 6 Analyses des éléments majeurs et traces de la région de Hamdania effectuées au laboratoire de (ORGM) Boumerdes. | 47 |
| Tableau 7 comparaison entre la bentonite de Mostaganem et Cherchell et Wyoming (Sud USA) | 52 |

Résumé

Ce mémoire se concentre sur l'altération des roches magmatiques dans la région d'El Hamdania (Tipaza), un milieu littoral situé au Nord central de l'Algérie. Cette zone revêt une grande importance économique en raison de la construction d'un grand port. L'objectif principal de cette étude est d'analyser les roches magmatiques altérées à la fois à un niveau macroscopique et microscopique à l'aide de techniques d'observations polarisées et de confirmations par la diffraction des rayons X (DRX) et la spectrométrie de fluorescence X (XRF).

La première partie de la recherche porte sur l'identification et la description des roches magmatiques présentes dans la région d'El Hamdania. Les échantillons sont collectés le long du littoral, et des observations macroscopiques sont effectuées pour évaluer leur état d'altération. Ces observations fournissent une première indication de l'impact potentiel de l'altération sur les propriétés des roches et sur leur utilisation future.

Ensuite, des analyses microscopiques polarisées sont réalisées pour étudier les modifications structurelles et minéralogiques au niveau microscopique des roches altérées. Cela permet d'identifier les minéraux présents dans les échantillons et de déterminer les effets de l'altération sur leur composition chimique. Les observations microscopiques aident à mieux comprendre les mécanismes d'altérations et leurs conséquences sur les propriétés physiques des roches.

Pour confirmer les résultats obtenus par les observations macroscopiques et microscopiques, des techniques de pointe telles que la diffraction des rayons X (DRX) et la spectrométrie de fluorescence X (XRF) sont utilisées. La DRX permet d'analyser la structure cristalline des échantillons et d'identifier les phases minérales présentes, tandis que la XRF fournit des informations précises sur la composition chimique des roches.

Les résultats de ces analyses confirment l'existence d'une altération significative des roches magmatiques à El Hamdania. Les minéraux primaires sont altérés, et de nouveaux minéraux se forment à la suite des réactions chimiques qui se produisent. Ces altérations peuvent avoir un impact sur les propriétés mécaniques des roches et sur leur stabilité à long terme.

Cette étude met en évidence l'importance de comprendre l'altération des roches volcaniques dans la région d'El Hamdania, notamment en raison de l'impact économique lié à la construction d'un port. Les résultats obtenus par les analyses macroscopiques, microscopiques et analytiques permettent d'identifier les changements qui se produisent dans les roches altérées, cette étude revêt une importance capitale pour garantir la stabilité et la durabilité de l'infrastructure portuaire d'El Hamdania.

Abstract

This work focuses on the alteration of magmatic rocks in El Hamdania zone (Tipaza), it's part of Algerian coastal band. This area is one of important economic zone due to the construction of a imported port. The main objective of this study is to analyze weathered magmatic rocks at both of macroscopic and microscopic method using polarized observation techniques, as well, confirmed by X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence spectrometry (XRF).

The first part of the research focuses on the identification and description of the magmatic rocks present in the El Hamdania region. Samples are collected from the study area, and macroscopic observations are made to assess their state of alteration. These observations provide a first indication of the potential impact of weathering on rock properties and their future use.

Then, the polarized microscopic analyzes are carried out to study the structural and mineralogical modifications at the microscopic level of the weathered rocks. This method is using to identify the minerals present in the samples and to determine the effects of weathering on their chemical composition. Microscopic observations help to better understand weathering mechanisms and their consequences on the physical properties of rocks.

To confirm the results obtained by macroscopic and microscopic observations, X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence spectrometry (XRF) techniques are used. XRD analyze the crystal structure of samples and identify the mineral phases present, while XRF provides precise information on the chemical composition of rocks.

The results of these analyzes confirm the existence of a significant alteration of the volcanic rocks at El Hamdania area. The primary minerals are altered, and new minerals are formed as a result of the chemical reactions that occur. These alterations can have an impact on the mechanical properties of the rocks and on their stability in a long-rang.

This study highlights the importance of understanding the alteration of magmatic rocks in the El Hamdania region, particularly for the economic impact linked to the construction of a port. The results obtained from the macroscopic, microscopic and analytical analyzes allow the identification of the changes that occur in the weathered rocks, this study is of paramount importance to guarantee the stability and durability of infrastructure of El Hamdania.

Introduction générale

1) Introduction :

Le long du littoral algérien, se trouve des pointements de roches magmatiques de différentes natures, résultant des éruptions tertiaires (Glaçon.1971), Ces roches de différentes caractéristiques chimiques et physiques, de plus grande dureté à celle de plus tendre, peuvent subir un changement induisant de leur environnement de dépôt.

L'altération de ces roches est un processus naturel qui résulte de l'interaction au fil du temps entre les roches et les facteurs du milieu tels que l'exposition aux conditions climatiques, à l'humidité, aux mécanismes chimiques et aux forces physiques.

Dans la partie nord centrale de l'Algérie, dans la wilaya de Tipaza, commune de Cherchell, se trouve une zone côtière formée par des roches magmatiques, de différentes natures, ce qui nous a laissé penser à les étudier dans le cadre de la préparation d'un Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un Diplôme d'ingénieur en science de la mer. Spécialité gestion et protection littoral.

Le thème de ce mémoire est intitulé : Etude géologique de l'altération des roches magmatiques au milieu littoral de la plage d'El Hamdania (wilayas de Tipaza).

2) Problématique :

Beaucoup de travaux ont été réalisés pour étudier le contexte géologique des roches magmatiques d'El Hamdania, de leur mise en place ainsi que leur datation (Abbassene_Fatiha 2016, Belanteur ouardia, 2001, Glaçon.1971), cependant, aucun travail n'a été effectué pour étudier son contexte géologique avec les transformations qu'elles subissent du fait qu'elles se trouvent au littoral en contact avec la mer et tout ce qui en relation à cet environnement marin, Les roches magmatiques, sujet de ce travail, sont exposées aux nombreux facteurs qui entraînent leurs modifications.

Les roches altérées ainsi que leurs roches mère peuvent être utilisées dans de nombreux domaines (charge minérale, cosmétique, construction...). Quant au mauvais côté, c'est le changement d'état physique et chimique de ces roches après une grande altération, qui peut affecter les infrastructures réalisées dans cette région, notamment les constructions qui seront réalisées dans le cadre du méga projet du port d'El Hamdania, qui deviendra le plus grand en Algérie. Il y aura de nombreuses infrastructures qui accompagnent ce port, telles que des routes et des voies ferrées.

Donc, que deviennent ces roches magmatiques après l'altération et sont-ils un bon socle pour ses infrastructures ?

3) Objectif :

L'objectif principal de ce travail est l'étude de l'effet de l'altération marine sur les roches magmatiques d'El Hamdania (région de Cherchell)

Le choix de ce sujet est motivé pour mieux connaître :

- Les facteurs naturels marins et hydrodynamiques qui affectent la nature initiale des roches magmatiques ;
- Les caractéristiques pétrographiques et chimiques de la roche initiale et son produit d'altération ;

4) Situation géographique de la région d'étude :

Le secteur d'étude fait partie du littoral algérien, il se trouve dans la Wilaya de Tipaza, commune de Cherchell, ville d'El Hamdania, il est limité au Nord par la méditerranée. Plus exactement, il se situe à 8Km à l'Est de la ville de Cherchell et à 1Km à l'ouest du village d'El Hamdania (figure.1). Il est positionné par une latitude de $36^{\circ}37'39''$ N et une longitude de $2^{\circ}15'49''$ E. L'accès au site se fait par une route qui traverse la ville El Hamdania (W109), puis par des chemins de terre secondaires.

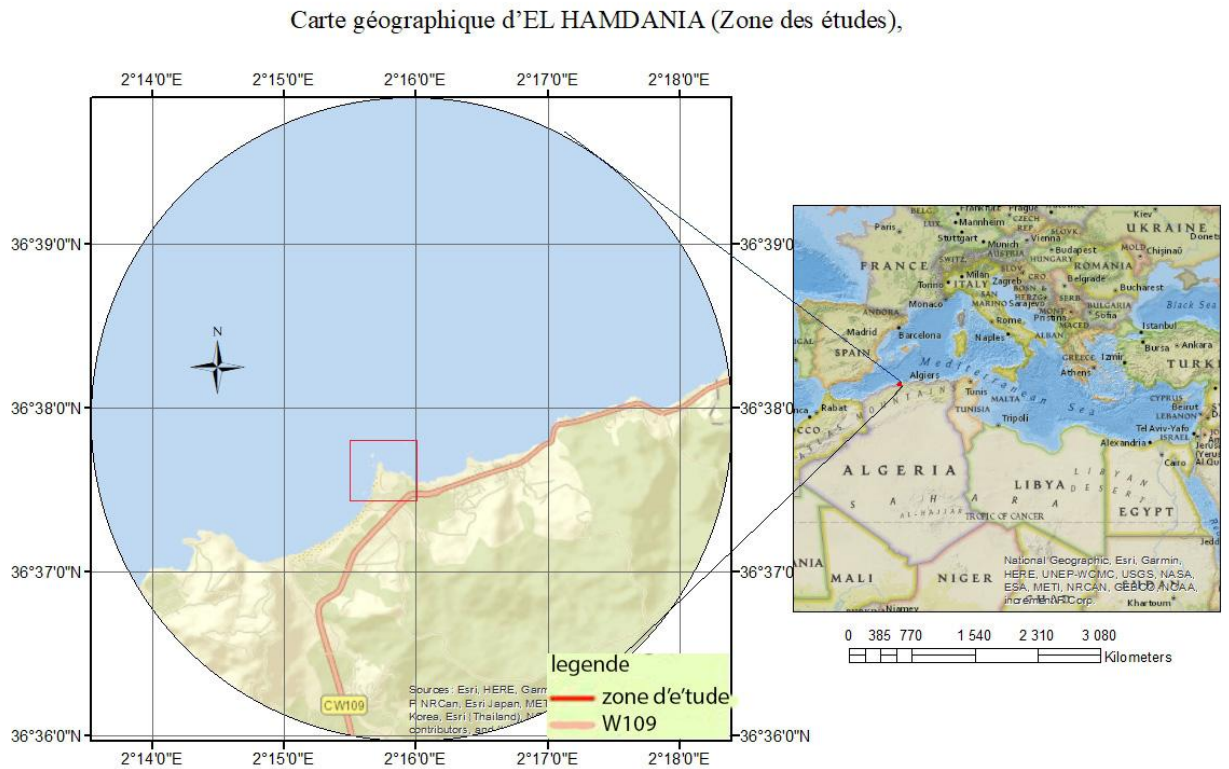


Figure 1 Carte géographique d'EL HAMDANIA (Zone d'études), (Google map, 2023)

**CHAPITRE I : Etude
bibliographique**

1) Introduction :

Les roches magmatiques sont des roches qui se forment à partir du magma. certains de ces roches se forment à partir de la solidification du magma en surface ou dans des fissures proches de la surface, ce sont les roches volcaniques ou extrusives, autres se forment en profondeur, ce sont les roches plutoniques ou intrusives .

2) Généralité sur les roches magmatiques :

2.1) Définition :

Les roches magmatiques peuvent varier considérablement en termes de composition minérale et de couleur, en fonction de la composition chimique du magma et des processus géologiques qui influencent leur formation. Les roches magmatiques felsiques, riches en silice, telles que la rhyolite, ont une teneur élevée en quartz et en feldspath. Les roches volcaniques mafiques, sont pauvres en silice, telles que le basalte, mais elles ont une teneur plus élevée en minéraux riches en fer et en magnésium(Richer-LaFlèche and Moorhead,2020.).

2.2) Principaux minéraux des roches magmatiques :

Les roches magmatiques peuvent contenir une variété de minéraux, ci-après les principaux minéraux que l'on trouve couramment dans ces roches (Richer-LaFlèche and Moorhead, 2020).

Quartz : Le quartz est l'un des minéraux les plus courants dans les roches magmatiques. Il se présente sous forme de cristaux transparents et est composé de dioxyde de silicium.

Feldspath : Les feldspaths sont un groupe de minéraux qui comprennent l'orthose, l'oligoclase, l'albite et le plagioclase. Ils sont essentiels dans la composition des roches magmatiques et peuvent varier en couleur et en composition chimique.

Mica : Les micas, tels que la biotite et la muscovite, sont des minéraux communs dans les roches magmatiques. Ils se présentent sous forme de fines feuillettes(Togola,2023).

Amphibole : Les amphiboles, comme la hornblende, sont des minéraux à base de silicate qui apparaissent dans de nombreuses roches magmatiques. Ils peuvent avoir une couleur foncée et une forme prismatique.

Pyroxène : Les pyroxènes, tels que l'augite et le diopside, sont des minéraux à base de silicate présents dans les roches magmatiques. Ils ont une couleur sombre et une structure cristalline en colonne.

Oxydes de fer : Les oxydes de fer, tels que l'hématite et la magnétite, peuvent être présents dans les roches magmatiques et ils donnent souvent une couleur rouge ou noire(Brousse, 1961).

2.3) Principales roches magmatiques :

Sur la surface de la terre, une multitude de roches magmatiques qui se manifestent avec différents aspects, formes et compositions tel que : les granites, les basaltes, les andésites, et les pyroclastites. Dans cette généralité, on donne les définitions et caractéristiques générales des roches rencontrées dans le secteur d'étude.


2.3.1) Rhyolite :

a) Définition :

La Rhyolite est une roche ignée extrusive qui se forme à partir de la solidification du magma à la surface de la Terre (Figure 2), elle est riche en silice. Elle est composée principalement de quartz, de feldspath, de mica et d'amphibole. La rhyolite a une texture fine-grulaire en raison de sa rapidité de refroidissement en surface, ce qui limite la croissance des cristaux (Toyoda et al., 1995).

La couleur de la rhyolite varie généralement du gris clair au rose, en passant par le brun et le vert, en fonction de la composition minérale (Le Bas, M. J. Streckeisen, A. L. 1991). Elle peut également présenter des taches et des veines de différentes couleurs en raison de l'inclusion de minéraux tels que l'oxyde de fer ou le feldspath alcalin. (Figure 2)

b) Fiche technique (Toyoda et al., 1995).


| | |
|---|---|
| <p>Classe : Roches volcaniques</p> <p>Couleur : claire</p> <p>Dureté : 6-7</p> <p>Résistance à la compression :</p> <p>140,00 N / mm²</p> |  |
| <p>Figure 2 : photo montrant la rhyolite</p> | |

2.3.2) Monzogranite :

a) Définition :

Les monzogranite sont des roches granitiques à biotite qui sont considérées comme le produit final de fractionnement du magma. Les monzogranite sont typiquement felsiques ($\text{SiO}_2 > 73\%$ et $\text{FeO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2 < 2,4$), faiblement peralumineux ($\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) = 0,98-1,11$), et contiennent de l'ilménite, sphène, apatite et zircon comme minéraux accessoires (Rémi Bornet.2023). Bien que la gamme de composition des monzogranite soit petite, elle définit une tendance à la différenciation qui est essentiellement contrôlée par le fractionnement de la biotite et du plagioclase (Figure 3). (Boiley, Miche, and Charles Gosselin. 2003)

b) Fiche technique. (Boiley, Miche, and Charles Gosselin. 2003)


| | |
|--|--|
| <p>Couleur : Noir, gris, Orange, Rose</p> <p>Classe : Roches ignées</p> <p>Dureté : 6-7</p> <p>Résistance à la compression : 310,00 N / mm²</p> |  |
| <p>Figure 3 : photo montrant la monzogranite</p> | |

2.3.3) Tufs volcaniques :

a) Définition :

Les sont des roches sédimentaires d'origine volcanique formées par l'accumulation de matériaux pyroclastiques. (Fisher, Richard.1984). Les tufs se forment lorsque des matériaux volcaniques, tels que des cendres volcaniques, des lapillis et des blocs de roche, sont éjectés par une éruption volcanique et retombent au sol (RAMDANI Khaled.2021) (Figure 4)

b) Fiche technique : (Fisher, Richard.1984)

| | |
|--|--|
| <p>Porosité : hautement Poreuse</p> <p>Résistance à la compression : 243,80 N / mm²</p> <p>Dureté : 4-6</p> <p>Densité : 1-1.8 g / cm³</p> |  |
| <p>Figure 4 : photo montrant les tufs volcaniques</p> | |

2.4) Les roches volcaniques altérées :


L'altération des roches magmatiques est un processus naturel qui se produit lorsque les roches magmatiques sont exposées à des conditions environnementales telles que l'eau, l'air, la température et les organismes vivants (Charles N., et al.2018.). Les roches magmatiques sont principalement composées de minéraux, qui sont tous vulnérables à l'altération. Ce processus peut avoir un impact significatif sur la composition et la structure des roches volcaniques, ce qui peut avoir des répercussions importantes sur leur utilisation en tant que matériaux de construction ou en tant que sources de minéraux (Richer-LaFlèche et al.,2000.). Les effets de l'altération des roches magmatiques peuvent être observés dans une variété de contextes, notamment dans les paysages volcaniques, les mines et les carrières, et même dans les monuments historiques.

2.4.1) La Bentonite :

a) Définition :

La bentonite est une argile composée principalement de montmorillonite, un minéral du groupe des smectites. Elle est nommée d'après la localité de Fort Benton dans le Wyoming, aux États-Unis, où elle a été découverte pour la première fois (Ahcène and Walid, 2010). La bentonite se forme à partir de la décomposition de cendres volcaniques et d'autres matériaux riches en silice, en présence d'eau (Eisenhour and Brown, 2009). (Figure 5). La bentonite est caractérisée par sa capacité d'absorption d'eau élevée et sa capacité à former des gels visqueux lorsqu'elle est hydratée (Ahcène and Walid, 2010). Ces propriétés uniques sont dues à sa structure en feuillets, qui permet l'intercalation de molécules d'eau entre les couches de minéraux.

b) Fiche technique : (Ahcène and Walid, 2010).

| | |
|--|--|
| Couleur : Poudre marron - beige |  |
| Gonflement moyen : 17 ml / g | |
| Poids spécifique : 2,5 g/Cm3. | |
| Teneur en eau : 8 à 14 % | |
| Dureté : 2 | |
| | Figure 5 : photo montrant la bentonite |

2.5) Utilisations des roches magmatiques :

2.5.1) Utilisations des rhyolites : Voici quelques-unes des utilisations courantes de la rhyolite :

Matériau de construction : En raison de sa résistance à la compression et de sa durabilité, la rhyolite est utilisée comme matériau de construction pour les routes, de trottoirs, de murs, de fondations et de revêtements extérieurs. Elle peut également être utilisée comme agrégat dans la fabrication de béton et d'asphalte. (Pierre Thomas.2020)

Pierres précieuses synthétiques : En raison de ses motifs et de ses couleurs attrayantes, la rhyolite est utilisée dans la fabrication de pierres précieuses synthétiques et de bijoux. Elle est souvent polie et coupée en cabochons ou en perles pour être utilisée dans des colliers, des bracelets et des boucles d'oreilles.

Sculpture et ornementation : La rhyolite est appréciée par les sculpteurs en raison de sa texture fine-grulaire, de sa dureté et de sa capacité à conserver les détails fins. Elle est utilisée pour créer des sculptures, des statues et des ornements architecturaux.

Objets décoratifs : En raison de ses motifs uniques et de ses couleurs variées, la rhyolite est utilisée dans la fabrication d'objets décoratifs tels que des vases, des coupes, des bols et des plaques (GEOLOGYSCIENCE, 2018).

Revêtements de sol : La rhyolite peut être utilisée comme matériau de revêtement de sol pour créer des surfaces esthétiquement attrayantes. Elle peut être taillée en dalles ou en carreaux pour être utilisée dans les halls d'entrée, les cuisines, les salles de bains et les espaces commerciaux.

2.5.3) Utilisation du Monzogranite : Voici quelques-unes des utilisations courantes du monzogranite :

Plans de travail et comptoirs de cuisine : En raison de sa dureté, de sa résistance à la chaleur et de sa durabilité, le monzogranite est utilisé pour fabriquer des plans de travail de cuisine et des comptoirs. Il est disponible dans une variété de couleurs et de motifs, ce qui en fait un choix populaire pour les cuisines modernes. (Cotterell, Brian ; Kamminga, Johan 1992).

Revêtements de sol et de mur : Le monzogranite est également utilisé comme matériau de revêtement pour les sols et les murs. Il peut être poli pour obtenir une surface lisse et brillante, ou texturé pour créer des effets visuels intéressants. Le monzogranite est souvent utilisé dans les halls d'entrée, les salles de bains et les espaces de vie pour ajouter une touche de sophistication. (Le Maitre R.W. 2002).

Monuments funéraires : En raison de sa durabilité et de sa résistance aux intempéries, le monzogranite est utilisé pour fabriquer des monuments funéraires. Il peut être gravé avec des noms, des dates et d'autres détails commémoratifs. (Michael Allaby.2008).

Revêtements extérieurs : Le monzogranite est utilisé comme matériau de revêtement pour les façades de bâtiments et les aménagements paysagers. Il est résistant aux intempéries et offre une esthétique attrayante, ce qui en fait un choix populaire pour les projets de construction résidentielle et commerciale. (Fiorentini Potenza M. 1959).

2.5.4) Utilisation de tufs : Voici quelques-unes des utilisations courantes des tufs :

L'agriculture : le tuf volcanique poreux est un support d'agrégats en phosphates d'intérêt agronomique. Les tufs sont utilisés pour le drainage, comme substrat pour l'amendement des sols (RAHMOUNI Hicham .2016).

L'industrie : les tufs volcaniques sont utilisés comme ajout dans la fabrication de ciment, de béton léger et les parpaings comme constituant secondaire (la structure alvéolaire confère une faible densité au béton pour une qualité mécanique donnée). Ils servent pour le sablage des routes verglacées. Ils sont utilisés comme couches de base pour itinéraires routiers hors gel (la porosité globale du tuf empêche la formation de lentilles de glaces et évite donc la mise en place de barrières de dégel (RAMDANI Khaled, 2021).

2.5.2) Utilisation de la Bentonite : Voici quelques-unes des utilisations courantes des tufs

Forage de puits : La bentonite est largement utilisée dans l'industrie du forage de puits. Elle est mélangée à de l'eau pour former une boue de forage qui joue plusieurs rôles essentiels. Elle lubrifie et refroidit le forage, maintient la pression du puits, empêche l'effondrement des parois du trou de forage, extrait les déblais et facilite l'extraction du noyau de forage (Ahcène and Walid, 2010.).

Génie civil et construction : La bentonite est utilisée dans des applications géotechniques, telles que la stabilisation des sols et l'étanchéité des barrages, des canaux, des étangs et des réservoirs. En raison de sa capacité à absorber et à retenir l'eau, elle est également utilisée dans les boues de forage horizontales et dans les murs de soutènement pour éviter les infiltrations d'eau (Bentonite Imerys, 2023).

Génie environnemental : La bentonite est utilisée dans les barrières d'étanchéité et les systèmes de confinement pour isoler les décharges de déchets, les sites d'enfouissement, les bassins d'évaporation et les zones contaminées. Elle forme une barrière étanche qui empêche les polluants de se propager dans l'environnement.

Fonderie et métallurgie : La bentonite est utilisée dans l'industrie de la fonderie comme agent liant pour le sable de moulage. Elle améliore la résistance mécanique du moule de sable et facilite le retrait du moule après la coulée du métal.

Génie chimique : La bentonite est utilisée dans la formulation de produits chimiques, tels que les agents de clarification et industrie du papier et les agents de floculation, pour le traitement de l'eau, des eaux usées et des effluents industriels. Elle agit comme un agent adsorbant, éliminant les impuretés et les particules en suspension.

**CHAPITRE II :
Contexte géologique**

CHAPITRE II : Contexte Géologique

1) Introduction :

Notre secteur d'étude fait partie de l'orogénèse périméditerranéenne de la chaîne des Maghrébides. À l'ouest, cette orogénèse forme une chaîne côtière s'étendant sur plus de 2000 kilomètres, du Rif au Maroc jusqu'au Tell en Algérie et en Tunisie. À l'est, il se prolonge jusqu'aux Apennins, formant l'arc calabro-sicilien (Durand-Delga, 1971). (Figure 6).

2.1) Structure générale de la chaîne des maghrébides :

Dans la chaîne des maghrébides, la partie septentrionale de l'Algérie, se traduit par les domaines de l'Atlas tellien, des zones internes et de Flyschs :

- Domaine Kabyle (ou interne) : Ce domaine est constitué par les massifs du socle métamorphique de forme amygdalaires d'âge précambrien – paléozoïque ainsi que leur couverture calcaire dénommée dorsale calcaire d'âge mésozoïque – cénozoïque.
- Domaine des Flyschs : C'est un domaine allochtone situé au sud immédiat de domaine précédent kabyle qui le chevauche, il montre deux types formés par des grès, marnes et parfois de carbonates : (1) le flysch massilien et (2) le flysch mauritanien, à ces deux types précédents rattache, la nappe numidienne (grès à dragées de quartz, épais de plusieurs centaines de mètre d'âge Oligocène Terminal à Aquitanien avec des argilites versicolores oligocènes)(SATOUH-ADEL.2007).
- Domaine Tellien (ou externe) : Ce domaine représente la marge téthysienne du continent africain, il est constitué de l'ensemble des nappes telliennes d'Afrique du nord. Le domaine tellien est largement charrié sur un para-autochtone représenté par les calcaires mésozoïques des massifs bibaniques (Figure 6).(Khelfaoui Asmaa,2019).

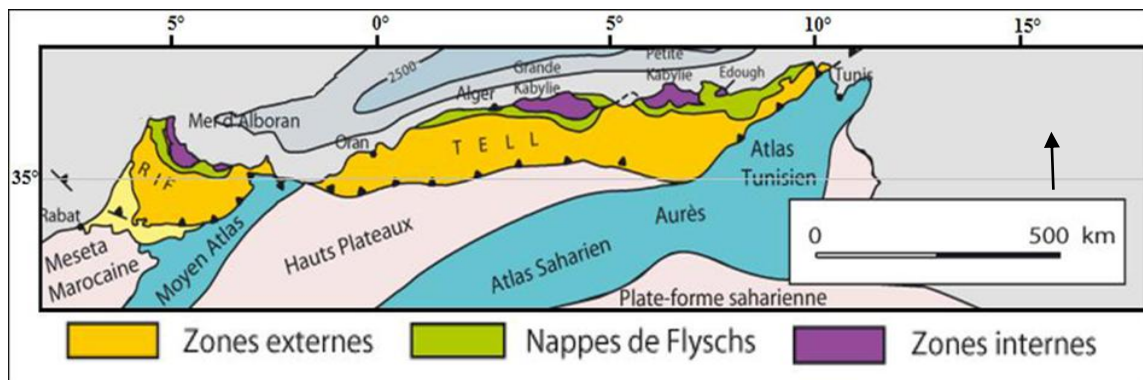


Figure 6 : Carte structurale schématique de la chaîne Maghrébide montrant la distribution des zones externes et internes (Durand-Delga, 1980).

2.2) Evolution tectonique des Maghrébines :

Plusieurs reconstructions cinématiques ont été proposées pour la région méditerranéenne afin de définir la façon dont la plaque africaine converge avec l'Eurasie. Tous ces modèles conviennent fondamentalement que l'Afrique s'est déplacée lentement par rapport à l'Eurasie avec une rotation dans le sens antihoraire, se déplaçant vers le NE, puis vers le N-S et enfin vers le NNO(Figure 7)(Faccenna et al., 2001).

Ce mouvement a mis en place des produits volcaniques qui se manifestent à partir du miocène le long de la marge africaine (Glaçon.1971).

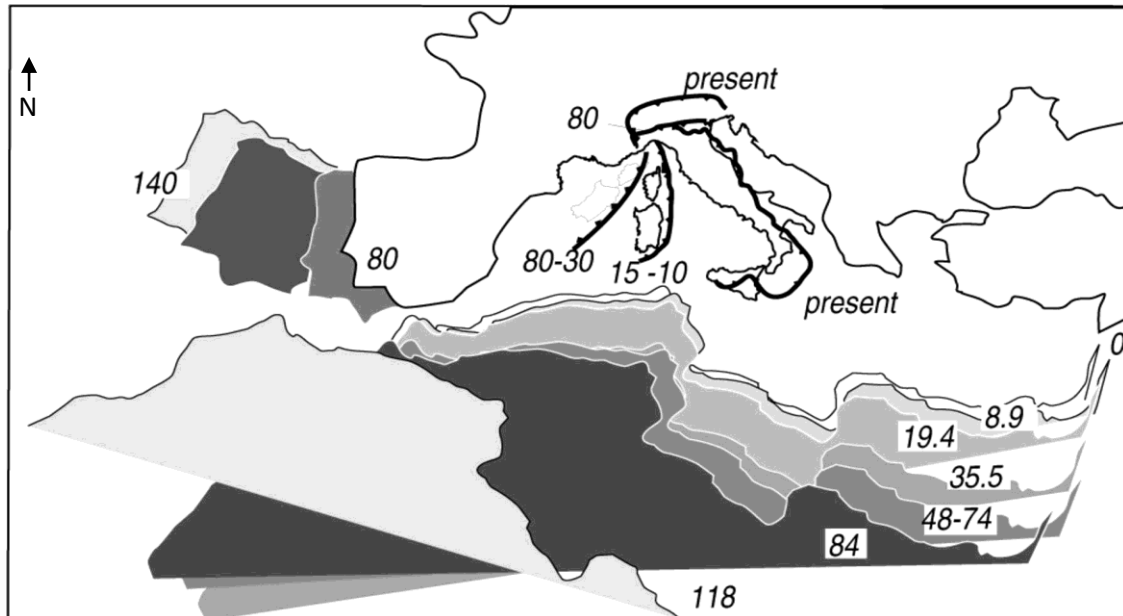


Figure 7 Mouvement africain par rapport à l'Eurasie fixe tel que calculé par Dewey et al. 1989.

2.3) Nature et Répartition spatio-temporelle du magmatisme tertiaire périméditerranéen :

En Algérie, une synthèse bibliographique a été réalisée par (Glaçon.1971) sur le plutonisme et le volcanisme du Néogène. Cette synthèse se concentre principalement sur les zones internes près des côtes.

2.3.1) Dans la partie occidentale de l'Algérie, Les éruptions volcaniques semblent s'être produites après les mouvements tectoniques des plaques. Elles ont commencé au cours du Miocène supérieur, à l'exception de quelques petits massifs ultrabasiques plus anciens qui pourraient avoir été déplacés par la tectonique néogène. L'évolution des formations rocheuses est la suivante :(Figure 8)

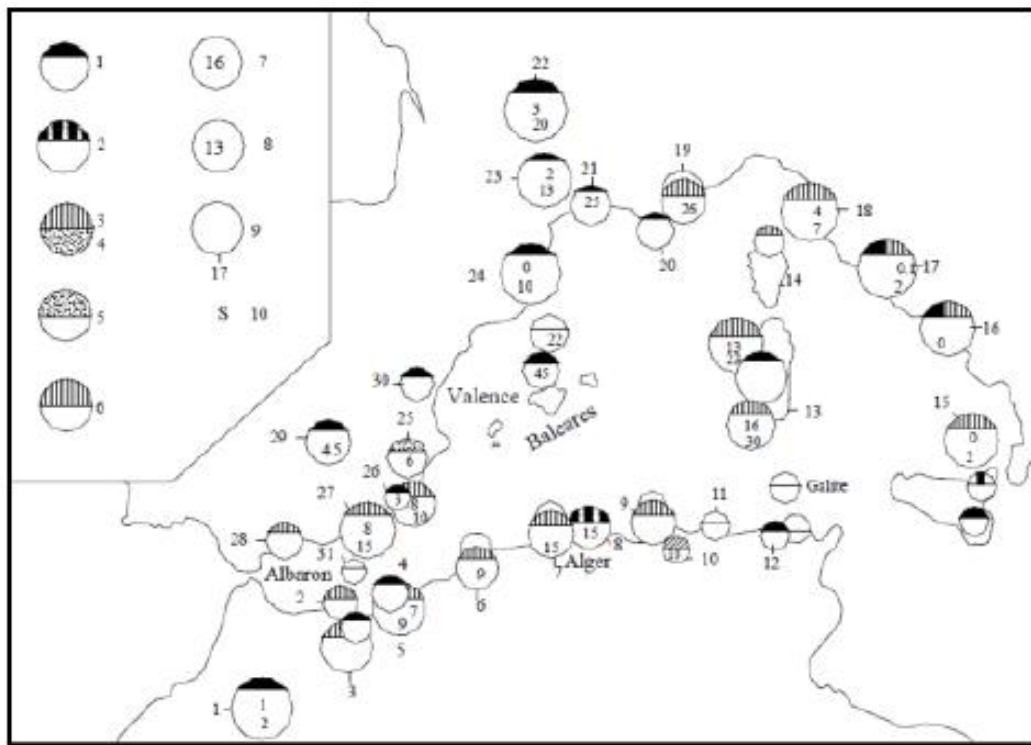
- Au Miocène supérieur, certains massifs se sont formés, comprenant principalement des basaltes anciens, mais aussi des laves andésitiques sous forme de brèches (région de MsidraFouaga), des basaltes anciens et des rhyolites (Moyenne Tafna), et des rhyolites, dacites et andésites associées à des tufs, des coulées, des pyroclastites, des cendres, des brèches, des projections, etc. (Sahel d'Oran "Tifraouin"),
- Au Paléocène et au Quaternaire inférieur, il y a eu des épanchements de basaltes et de labradorites. En dehors de ces massifs volcaniques, il convient de mentionner la présence d'autres intrusions, telles que de petits massifs de quelques centaines de mètres constitués de diorites, qui sont rarement exposés à la surface (Sadran, 1958).

2.3.2) Dans la partie centrale de l'Algérie : le magmatisme se manifeste à différents endroits de la zone côtière, entre Tenès et Cherchell, ainsi qu'à l'est d'Alger, au Cap Djinet. Dans cette région, le volcanisme est accompagné d'intrusions subvolcaniques et plutoniques. Cette activité débute vers 16,5 millions d'années jusqu'à 16 Ma, avec des produits volcaniques, puis de 13 à 9 Ma, avec des produits volcaniques accompagnés d'intrusions plutoniques. L'activité reprend vers 5 Ma près de Cherchell avec quelques filons de basalte alcalin. La

CHAPITRE II : Contexte Géologique

majeure partie de ce magmatisme est de type calco-alcalin, avec une tendance potassique à l'ouest d'Alger, tandis qu'il présente un caractère tholéiitique au Cap Djinet (Glangeaud, 1935 et 1952 ; Popov, 1969).

2.3.3 Dans l'est de l'Algérie (le Constantinois) : qui s'étend de Bejaia à Annaba. Dans cette région, les roches sub volcaniques et plutoniques sont plus abondantes que dans le reste de l'Algérie du Nord, et elles ont une composition principalement granitique et dioritique. Les roches volcaniques sont principalement rhyolitiques, dacitiques et andésitiques. Certaines roches ont subi des transformations telles que la silicification et la kaolinisation. Le tableau 1 résume les principaux corps magmatiques tertiaire, leurs âges radiométriques, les minéralisations, la morphologie des corps minéralisés, ainsi que les principaux indices ou gîte (Glangeaud, 1925 ; Bolfa 1948 ; Bolfa et al., 1952; Durand Delga, 1969). (Figure 9)



Légende :

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 : Volcanisme alcalin. | 2 : Volcanisme thoeilitique. |
| 3 : Volcanisme calcoalcalin. | 4 : Lamproïtes. |
| 5 : Plutonisme. | 6 : Magmatisme d'origine crustale. |
| 7 : Magmatisme actif à 16 Ma. | 8 : magmatisme actif entre 13 et 20 Ma |
| 9 et 10 : Localisation géographique. | |

Figure 8 : Carte de l'évolution des séries magmatiques tertiaires et quaternaires de la méditerranée Occidentale (d'après Bellon et Brousse., 1977).

CHAPITRE II : Contexte Géologique

| Région | | Faciès | Minéralisation | Age (Ma) |
|----------------------------|-------------------------------|--|--|--|
| Nord- Est Algérien | Cap de fer | Dacites, Rhyolites, Andésites, Microgranite, Microdiorite | Pb, Zn, Cu | Microgranite : 22- 16 Microdiorite : 15,7 |
| | Collo | Ignimbrites, Rhyolites, Filons de Rhyolites Protrusions Andésito-dacitiques, Microgranodiorite, Granites, microgranite, Quartz Monzonite. | Pb, Zn, Cu, Pyrite, Ba, (Ag, Au, Co, Bi, Cd, In, Ga, W, Sn). | Granite : 17-22 Microgranite : 16 Gabbros : 23-27 Sub-volcanites 10 ; 7- 15 |
| | El-Aouana | Tufs, Pyroclastites, Ignibrites, Laves, Andésitiques, Dacitiques, Rhyodacitiques, Laves Andésito-basaltiques. Granodiorites, Microgranites, Diorites, et Microdiorites | Pb, Zn, Cu, Ba, (Ag, Au). | Plutonisme : 14- 13 |
| | Oued Amizour | Tufs andésitiques, Pyroclastites, Coulées andésitiques et Rhyolitoïdes Microgranites, Diorites, Granodiorites Quartz-monzonites | Pyrite, Pb, Zn, Cu, Ba. | Plutons : 22-16 Andésites : 18-16 Rhyolitoïdes: 12 |
| | Ain Barbar | Filons rhyolitiques, Microgranites | Pb, Zn, Cu. | 16-15 |
| Centre Algérien | Thenia | Dyke liparite, dyke, Sill de diabase Laves et Pyroclastites, Andésitiques et Rhyo-dacitiques, Granodiorites | Cu, Zn, Sn, pyrite, (As, W, Mo, Bi, Cr, Au, Ag). | Granodiorite : 15 |
| | Tenès, Cherchell | Na – andésites et K – andésites Micromonzonites, Basaltes, Dacites Filons de Rhyolites, Filons de Kerantites | Cu, pyrite, Pb, Ba, (Sb, Hg, Zn, As, Ag) | Rhyolites : 15-16 Andésites : 12-13 Dacites : 9 Monzongranite : 11-9 Kerantite: 5 |
| Nord- Ouest Algérien | Beni-Saf, Oran, AinTemouchent | Laves andésitiques et Basaltiques Granite | Cu, Ni, pyrite, (Au, As, Co, Cr) | Andésites : 8-9 Basalte : 1-2 |

Tableau 1 : Localisation, la nature et l'âge du magmatisme post-orogénique de littoral algérien(in LAMRI Mourad.2017)

3) Géologie locale (Tipaza, Cherchell) :

3.1) Introduction :

La géologie de la région de Cherchell, est principalement composée de roches sédimentaires datant du Jurassique et du Crétacé supérieur. Ces formations géologiques sont principalement des calcaires et des marnes, ainsi que des argiles et des sables.

En plus des roches sédimentaires, la région de Cherchell comprend également des formations volcaniques et des intrusions magmatiques datant du tertiaire. Ces formations géologiques peuvent être vues dans les environs de Cherchell, y compris les collines de la région et les formations de relief plus élevées. (Figure 9)

3.2). Aperçu géologique :

La wilaya de Tipaza est située dans une région formée sur les domaines géologiques suivants : interne, externe et des complexes de roches éruptives.

3.2-1) Domaine interne :

Il est représenté par le massif cristallin affleurant au Nord. Ce massif appartient au domaine kabyle ancien. Il est essentiellement constitué de formations métamorphiques : schistes, marbres et quartzites. (in Hakim Ali .2017)

- Le Paléozoïque est composé de formations gréseuses et carbonatées, d'âge dévonien inférieur à carbonifères moyen. Il affleure sur le flanc nord du Chenoua.
- La Dorsale Kabyle, est constituée de formations calcaro-dolomitiques et marno-calcaires, d'âge mésozoïque à éocène.
- La dorsale externe, avec les calcaires et marnes d'âge triasique, affleure le long de la marge méridionale du Chenoua.

3.2-2) Domaine externe :

Il est essentiellement constitué de formations telliennes d'âge crétacé. Il se compose de 3 unités : inférieure formée de séries épi- métamorphiques, supérieure formée de séries greso-quartziques et marno-calcaires ; et les flyschs essentiellement constitués de schistes quartzeux, marno- calcaires et d'argilites.

Les formations néogènes post-nappes et les dépôts quaternaires sont largement développés dans la région et se présentent comme suit :

- Le Miocène essentiellement constitué d'argiles et de marnes avec des passées de grès et de calcaires. Il se localise dans la région de Hadjout et dans le bassin de Menaceur ;
- Le Pliocène est représenté par des marnes, des argiles bleues, avec cailloutis à la base et recouvert par le Quaternaire ;
- Le Quaternaire, largement développé à l'Est de Tipaza et formé de dépôts alluviaux.

3.2-3) Les roches éruptives

Elles sont représentées par des andésites, des basaltes, des dacites et des rhyolites, d'âge Burdigalien-tortonien et des granites qui recourent la série miocène. Ces roches affleurent à Menaceur et à Hadjeret-Enous. (in Hakim Ali .2017).

3.3) Type des roches volcaniques de Cherchell :

Les types de roches volcaniques qui peuvent être trouvées à Cherchell incluent :

CHAPITRE II : Contexte Géologique

Basaltes : Ce sont des roches ignées noires et denses formées à partir de lave fluide. Les basaltes sont souvent associés à des volcans à éruptions répétées et sont fréquemment utilisés comme matériaux de construction pour les routes et les revêtements de sol. (Figure 9) (Hakim Ali .2017)

Andésites : Ce sont des roches ignées grises à rouges formées par des éruptions volcaniques explosives. Les andésites sont souvent associées à des volcans Strat-volcaniques et peuvent contenir des minéraux tels que la plagioclase, l'orthoclase et la biotite((Figure 9).(LAMRI Mourad,2017)

Rhyolites : Ce sont des roches ignées claires formées par des éruptions volcaniques explosives. Les rhyolites sont souvent associées à des volcans contenant le quartz comme un minéral principal. (Figure 9).

Tufs : Ce sont des roches volcans-sédimentaires formées par l'accumulation de cendres volcaniques et de lave explosive. Les tufs peuvent être utilisés comme matériaux de construction, pour les revêtements de sol et les murs.

CHAPITRE II : Contexte Géologique

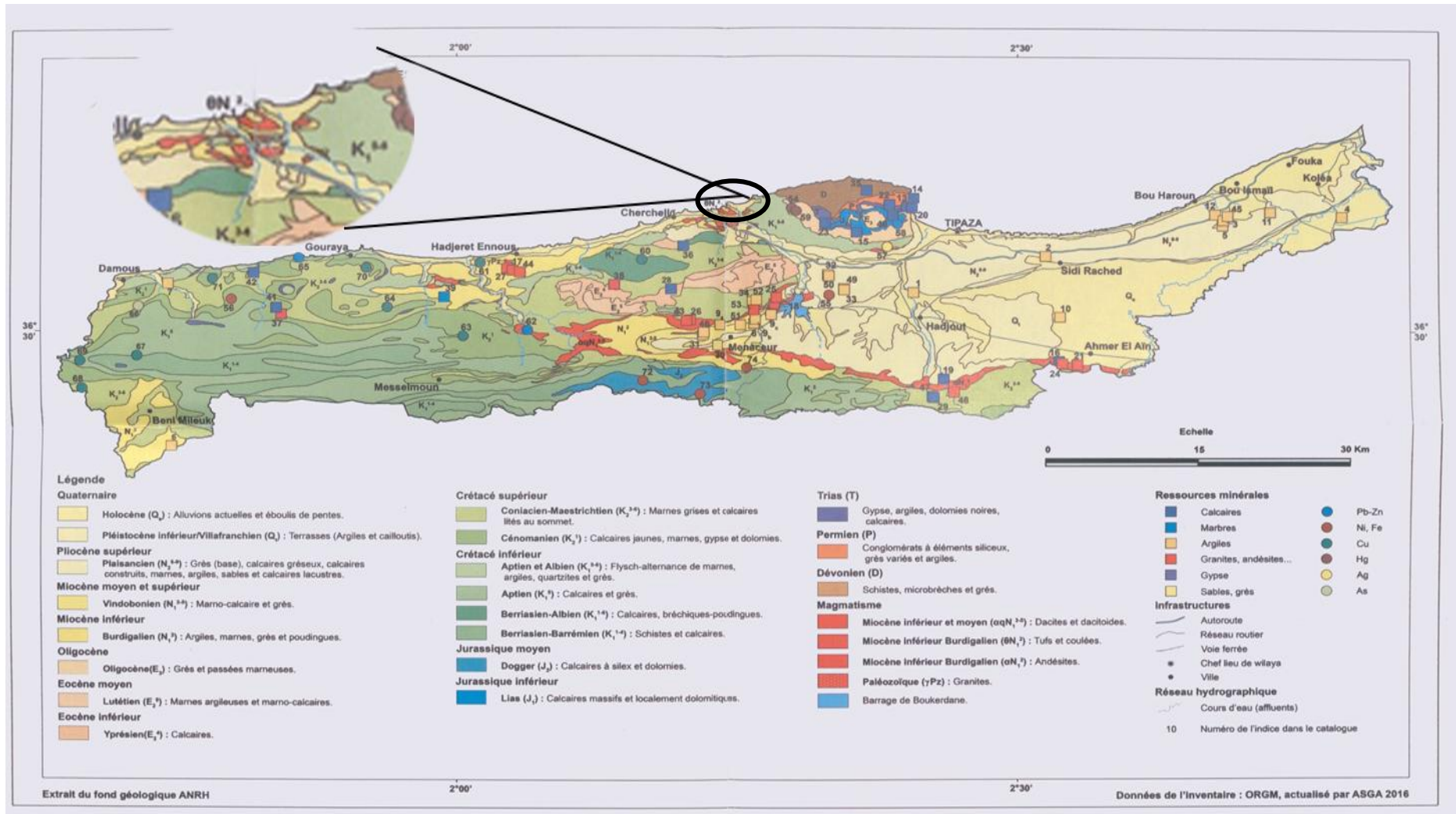


Figure9 : Carte géologique de Tipaza (ASGA.2016)

**CHAPITRE III : CONTEXTE MARIN ET
METEOROLOGIQUE**

1) Introduction :

Dans cette partie, nous nous pencherons sur l'importance des données climatiques et environnementales pour comprendre l'altération des roches magmatiques. Les facteurs climatiques, tels que la température, le vent, les précipitations et les variations saisonnières, ainsi que les caractéristiques de l'environnement marin, tels que l'activité des vagues et la température de la surface de la mer, qui jouent un rôle essentiel dans le processus d'altération des roches magmatiques.

2) La Température :

La wilaya de Tipaza bénéficie d'un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Les températures dans cette région varient en fonction de la saison. Les valeurs moyennes de température augmentent progressivement avec le temps (Figure 10). ces dernières décennies varient entre 16,5°C et 18°C, (Meteoblue .2023.).

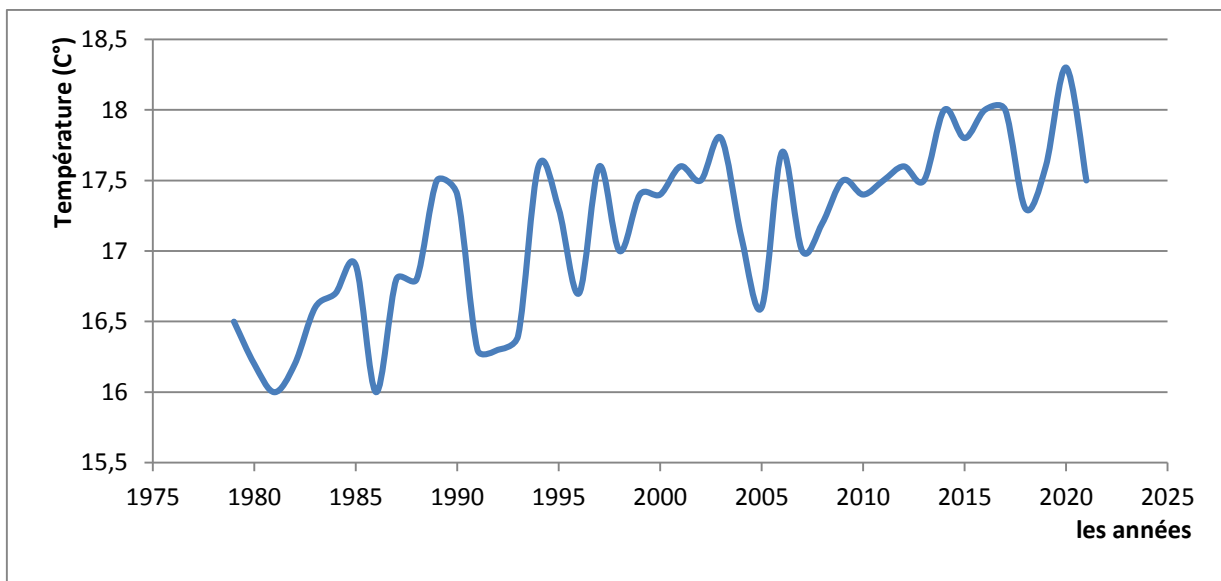


Figure 10 : Une courbe graphique représente l'évolution annuelle de température en degré Celsius (C°) entre les années 1979 et 2021 dans la wilaya de Tipaza. (Meteoblue .2023.)

3) Précipitations :

Par définition, elles désignent tous corps liquides ou solides qui tombent du ciel, (neige, pluie. Grêle, etc.). La wilaya de Tipaza est caractérisée par des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. Les précipitations dans cette région varient considérablement en fonction de la saison.

Les pluies au cours de la période 1979- 2021 sont souvent irrégulières d'une année à l'autre (Figure 11), elles se caractérisent par une moyenne annuelle de 550mm.(Meteoblue .2023.).

La précipitation influence considérablement sur le changement de l'état chimique de la roche et son altération.

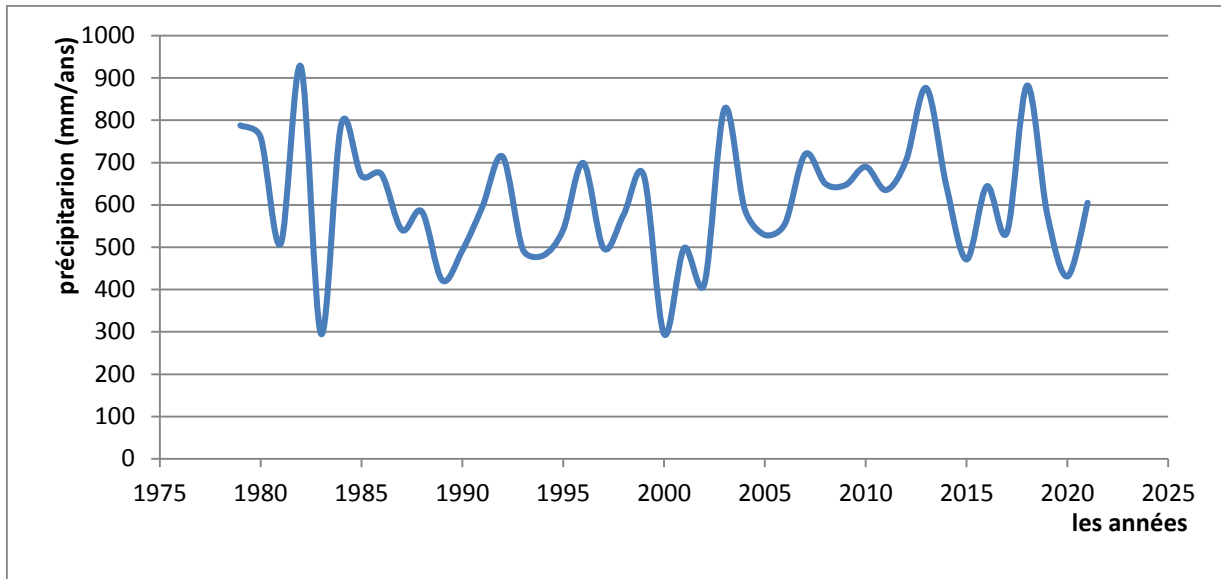


Figure 11 Une courbe graphique représente l'évolution annuelle de la précipitation en (mm/ans) entre la période (1979 et 2021) dans la wilaya de Tipaza. (Meteoblue .2023.)

4) La Vitesse de vent :

La vitesse du vent est influencée par plusieurs facteurs, notamment la topographie de la région, les différences de pression atmosphérique entre la mer et les terres, et la proximité du désert du Sahara.

En général, le vent dans la wilaya de Tipaza est modéré à fort, il est dominant en hiver dans le secteur nord-ouest, et en été dans le secteur Est. Les vents d'ouest peuvent également être présents à certaines périodes de l'année. On remarque une augmentation de la vitesse du vent au cours des 10 dernières années (Figure 12), elle oscille entre 5 et 10 Km par heure. (Puertos.es, 2023).

Le vent peut avoir un impact significatif sur l'altération des roches. Les effets sur les roches dépendent de la vitesse et de la direction du vent, ainsi que de la composition et de la structure des roches.

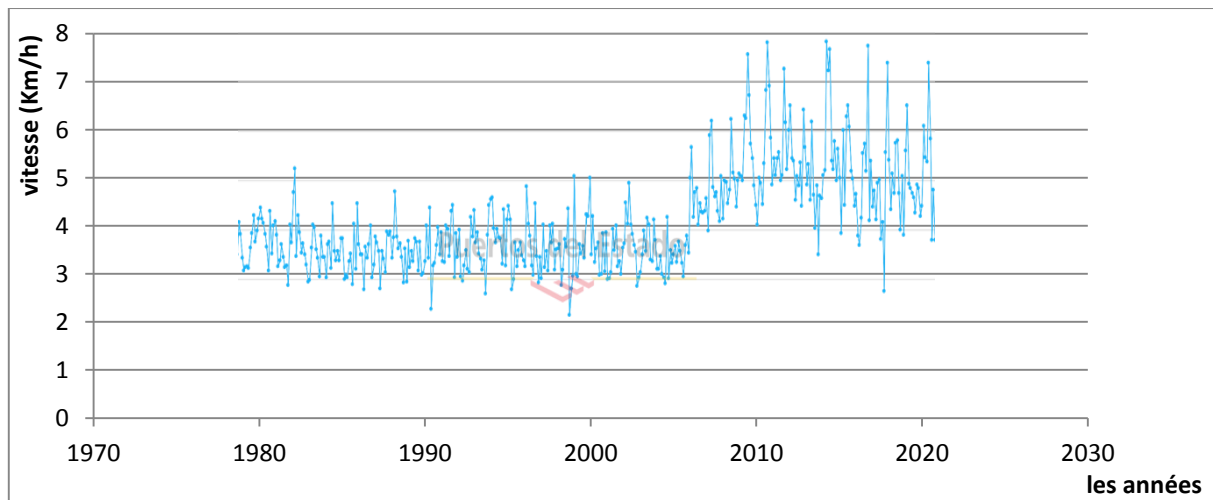


Figure 12 Une courbe graphique représente l'évolution mensuelle de la vitesse du vent pendant la période (1979 et 2022) dans la wilaya de Tipaza (puertos, 2023).

5) La température, la vitesse du vent, et la précipitation à Tipaza pendant l'année 2022

Les températures à Tipaza varient tout au long de l'année. Pendant les mois de Mai à septembre, les températures peuvent atteindre en moyenne 30 à 35 degrés Celsius, voire plus. Les nuits d'été sont généralement plus fraîches, avec des températures autour de 20 degrés Celsius. (Figure13).

Les mois d'hiver, de décembre à février, sont plus doux, avec des températures moyennes d'environ 15 à 20 degrés Celsius pendant la journée. Les nuits d'hiver sont plus fraîches, avec des températures avoisinant les 10 degrés Celsius.

La vitesse du vent, peut varier avec le changement des saisons elles peuvent atteindre en moyenne 10 à 15 km/h dans la saison de hiver, et plus faible dans les autres saisons. (Figure 13)

Tipaza reçoit généralement la majeure partie de ses précipitations pendant les mois d'hiver. Les précipitations peuvent varier considérablement d'une année à l'autre, mais en moyenne, Tipaza peut recevoir entre 50 et 70 millimètres pendant l'année sauf la saison d'été. ((Figure 13) (Meteoblue .2023.)

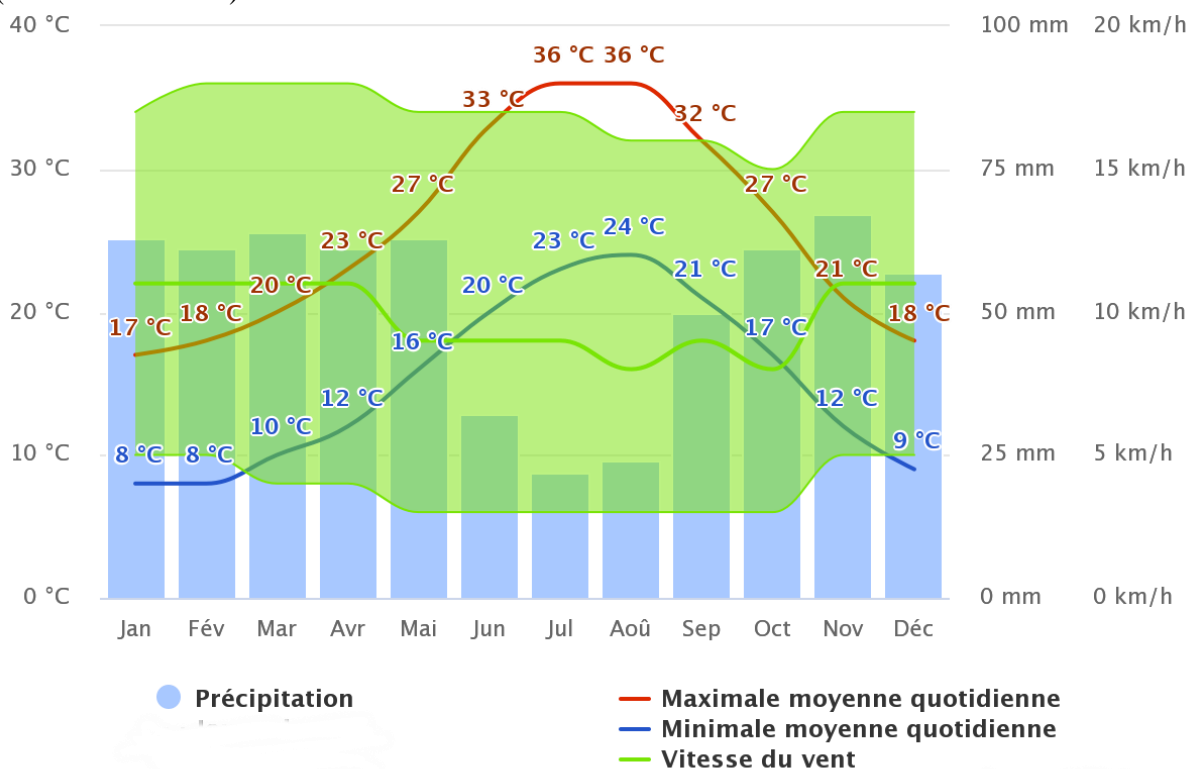


Figure 13 : Des courbes graphiques représentant la variation de température et de vitesse du vent et précipitation pendant l'année 2022. (Meteoblue .2023)

Les variations saisonnières de température à Tipaza peuvent jouer un rôle important dans le gel et le dégel des roches. Pendant l'hiver, les températures peuvent être suffisamment basses pour permettre le gel de l'eau présente dans les fissures et les pores des roches. Lorsque l'eau gèle, elle se dilate et exerce une pression sur les parois de la roche, ce qui peut contribuer à l'éclatement ou à la fragmentation de la roche. Les cycles répétés de gel et de dégel pendant l'hiver et le printemps peuvent aggraver ces effets.

6) Salinité :

La salinité de la mer Méditerranée varie en fonction de la profondeur et de la localisation géographique. En moyenne, la salinité de l'eau de surface dans la Méditerranée est d'environ 38 grammes de sel par litre d'eau (38%). (Figure 14) Cependant, cette salinité peut varier de manière significative avec des zones plus salines dans les bassins orientaux et plus faibles dans les zones proches des fleuves qui se jettent dans la Méditerranée.

Dans la côte de Tipaza, la moyenne annuelle de salinité varie entre 36.4 et 37g/l entre les années 1993 et 2021. (Copernicus Marine, 2023),

L'interaction de l'eau de mer chargée des éléments de chlorure, de carbonate et de sodium et autres ions peut modifier la composition chimique de la roche et participe à la corrosion de la roche.

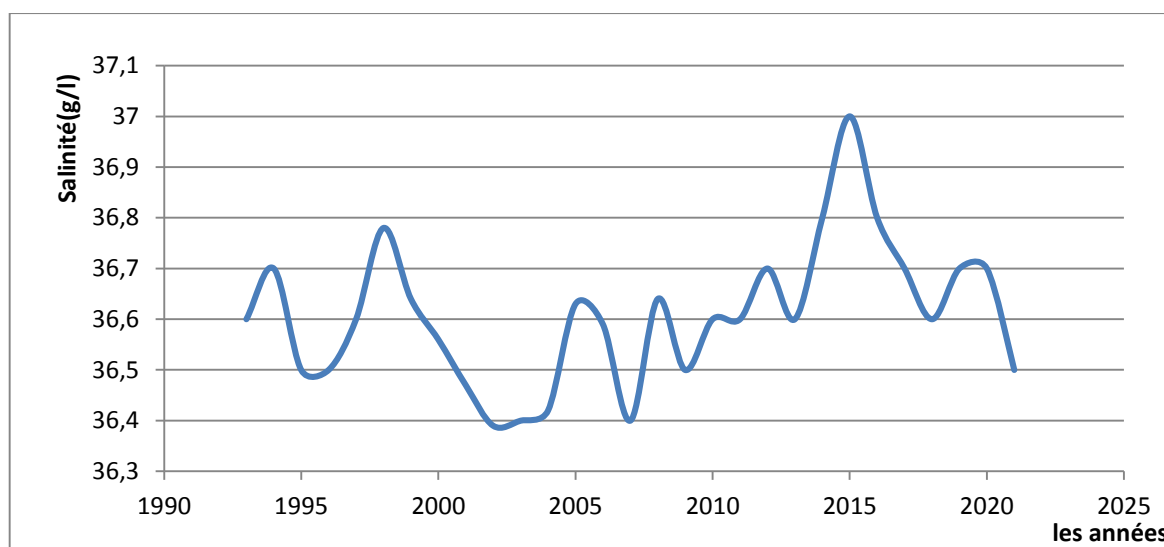


Figure 14 Une courbe graphique représente l'évolution de la salinité

entre les années (1993 et 2021) au niveau de la côte de Tipaza (Copernicus Marine, 2023)

7) La température de la surface de la mer

La température de la surface de la mer méditerranée peut varier en fonction des saisons et des endroits. En général, elle varie de 10°C à 29°C, avec des températures plus élevées en été dans les régions du sud de la Méditerranée.

Au niveau de la côte de Tipaza, la température moyenne annuelle de la surface de mer varie entre (15C° et 25C°) entre les années 1993 et 2021. (Copernicus Marine.2023).

L'interaction avec les roches se fait essentiellement par la surface de la mer pour les formations superficielles. (Figure 15)

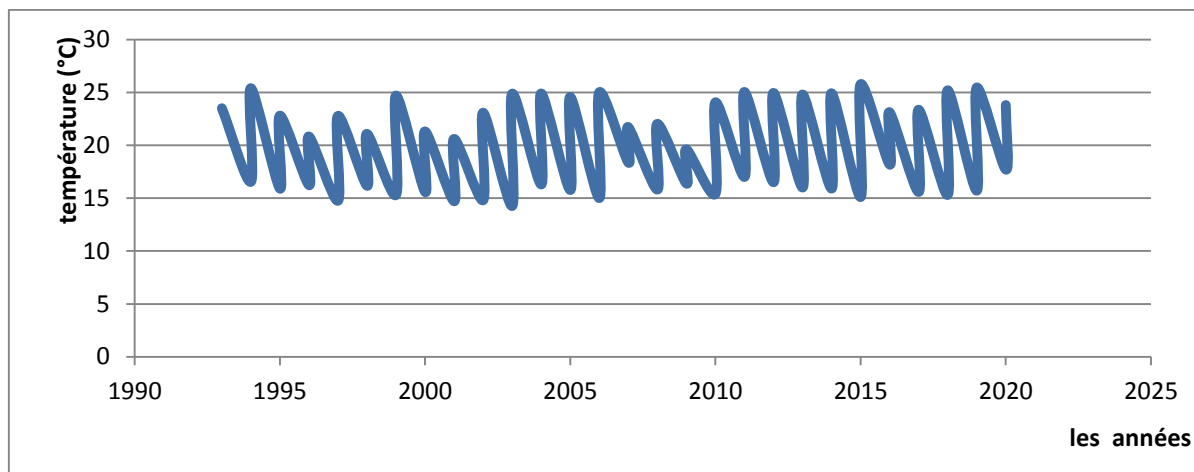


Figure 15 Une courbe graphique représente l'évolution de la température de la surface de la mer entre les années 1993 et 2021 de la côte Tipaza (Copernicus Marine, 2023)

8) Les vagues

Les vagues en méditerranée sont souvent plus petites que dans les océans, car la mer Méditerranée est relativement petite et entourée de terres. Cela signifie qu'elle est moins exposée aux vents et aux courants qui peuvent créer des grandes vagues. Cependant, les tempêtes et les vents forts peuvent encore causer des vagues dangereuses et imprévisibles. (Copernicus Marine, 2023).

Les hauteurs des vagues ont été prises au cours des années 1993 et 2021 à différents mois de l'année. (Figure 16), et parfois aucune mesure n'a été prise, mais on peut remarquer que la hauteur des vagues oscille entre 1 et 3 mètres.

L'activité des vagues peut être considérée comme un bon choc mécanique qui dégrade et érode les roches.

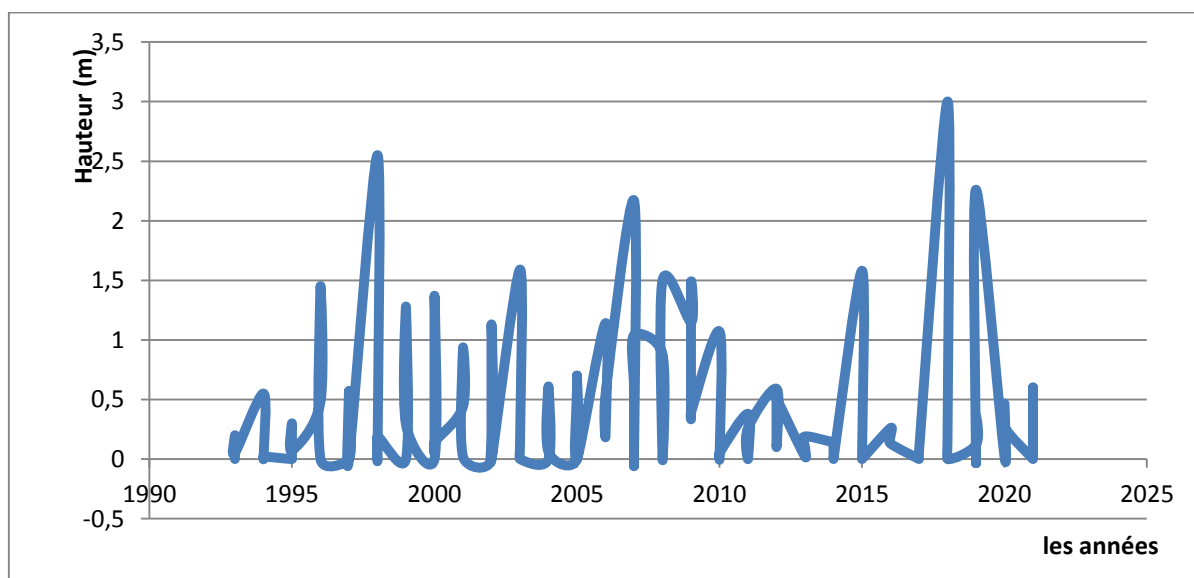


Figure 16 Une courbe graphique représente l'évolution des vagues entre les années 1993 et 2021 à la côte de Tipaza (Copernicus Marine, 2023)

CHAPITRE IV :
ETUDE DES ROCHES D'EI HAMDANIA

1) Introduction :

L'étude de terrain, des échantillons de roches et des minéraux est essentielle pour comprendre les processus géologiques et l'interaction de diverses forces naturelles.

Cette étude souligne l'importance de comprendre les processus d'altération géologique et les facteurs qui influencent les changements de roches. En identifiant leur mécanisme d'altération, nous pouvons mieux comprendre l'histoire géologique et l'impact de l'environnement sur les minéraux et les roches. Ces connaissances peuvent être précieuses dans divers domaines tels que l'exploration minière, et l'étude géotechnique.

L'objectif principal est de déterminer le mécanisme et le degré d'altération des roches étudiées. L'altération est un processus dans lequel les minéraux subissent des changements chimiques et physiques en réaction à leur environnement. Elle peut être contrôlée par des plusieurs facteurs tels que la composition chimique de l'échantillon, l'exposition aux conditions de surface et la proximité de sources d'eau.

2) Méthodologie des travail :

Notre logique de travail a commencé par une synthèse bibliographique et une sortie du terrain qui a été réalisée le 08/02/2023 pour faire une étude générale sur la géologie du secteur d'étude des roches magmatiques en place et voir leur mécanisme d'altération à grand échelle.

Une description détaillée a été réalisée pour des échantillons qui ont été collectés de terrain et déplacés au laboratoire LGA (ENSSMAL) pour des différentes études et caractérisations.

Au laboratoire, on a commencé par une étude pétrographique macroscopique des échantillons, nous avons classé les échantillons en fonction de leur degré d'altération. Des échantillons ont été prélevés pour montrer l'état initial de la roche avant l'altération, une autre catégorie des mêmes roches mais moyennement altérée et autres qui sont touchées intensément par l'altération.

Pour l'état initial des roches magmatiques non altérés, il devrait réaliser un sondage carottant pour aller en profondeur et échantillonner une roche intacte, malheureusement, ce n'était pas possible dans notre cas par défauts des moyens de forage.

Ensuite, nous avons examiné les mêmes échantillons à l'aide d'une combinaison de techniques microscopiques, ou on a utilisé le microscope polarisant pour l'étude pétrographique des roches. Après, pour confirmer nos observations préliminaires, nous avons utilisé la diffraction des rayons X (DRX) et la fluorescence des rayons X (XRF). Ces techniques nous ont permis d'analyser la phase cristalline et les minéraux argileux présents dans les échantillons ainsi de déterminer leur composition chimique. Ci-après la description des techniques adoptées :

2.1: Etude par Microscope Optique polarisant :

Le microscope polarisant, appelé aussi microscope polariseur analyseur, est un microscope optique muni de deux filtres polarisantes appelé polariseur et analyseur.

L'intérêt du microscope est l'observation et l'identification des minéraux dans les roches. Le principe de fonctionnement repose sur l'utilisation d'un faisceau de lumière polarisée.

L'échantillon des roches à observer est préparé afin d'obtenir une lame mince, c'est-à-dire que la roche est coupée en une couche très fine de 20 à 30 micromètres collée sur une lame de verre.

CHAPITRE IV : Etude Des Roches D'El Hamdania

La réalisation des cinq lames minces a été faite au niveau de l'ORGM (office de recherche géologique et minière, Boumerdes). (Figure 17)



Figure 17 : lame mince réalisée

L'étude microscopique sur les lames minces a pour objectif d'étudier la nature de l'altération dans les grains et la phase de liaison.

2.1.2 Appareillage

Dans cette étude, on a utilisé un microscope optique polarisant de Marque ZEISS, de l'école normale supérieure (ENS) –Kouba. (Figure 18) (voir le principe de fonctionnement dans l'annexe).



Figure 18 : Microscope optique polarisant de Marque ZEISS de l'ENS –Kouba

2.2. Concassage et Broyage :

Le broyage est une opération qui consiste à réduire un solide, afin d'augmenter sa surface spécifique (surface développée de la poudre par unité de masse) et donc sa réactivité. Le broyage se fait jusqu'à la maille de libération. La maille de libération d'un minéral est la taille au-dessous de laquelle une particule du minéral est parfaitement libérée, c'est-à-dire constituée uniquement de l'espèce minérale à valoriser.

Le concassage et le broyage manuel ont été faits au niveau du laboratoire de l'Enssmal (Dely Ibrahim) avec un marteau, un mortier et son pilon en céramique.

CHAPITRE IV : Etude Des Roches D'El Hamdania

Les roches ont été broyées de manière homogène afin d'obtenir une poudre fine et uniforme qui atteint la consistance souhaitée pour l'analyse DRX et XRF, un nettoyage soigneux du mortier et son pilon a été bien entrepris pour chaque opération pour éliminer toute contamination ou résidu de matériaux précédents. (Figure 19)

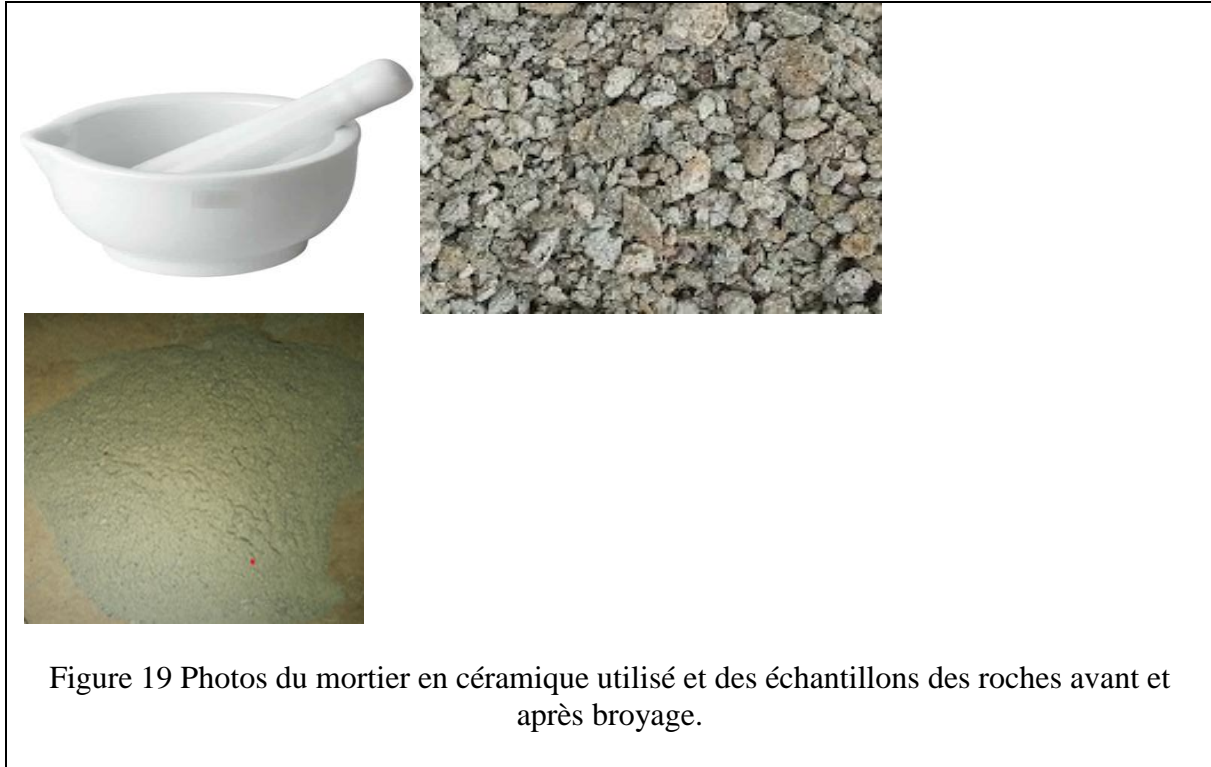


Figure 19 Photos du mortier en céramique utilisé et des échantillons des roches avant et après broyage.

2.3. Caractérisation par DRX

La diffraction des Rayons X (DRX) est une technique d'analyse qui permet de démontrer la nature cristalline ou amorphe d'un solide ou une poudre, ainsi qu'à en déterminer les différentes phases cristallines. Le principe de la DRX consiste à faire diffracter les rayons X sur un échantillon solide plat ou une poudre. La diffraction se fait suivant la loi de Bragg lorsqu'il existe une organisation des atomes dans le solide suivant des plans cristallins.

Dans notre travail, on a effectué quatre analyses de DRX, dans le but de démontrer les différentes phases minérales argileuses présentes dans les roches étudiées.

2.3.1. Appareillage

Les analyses de la diffraction des rayons X (DRX), ont été effectuées au niveau du centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de construction (CETIM) à Boumerdes, avec un appareil de marque PANalytical (Figure 20). (Voir le principe de Fonctionnement dans l'annexe).



Figure 20 Appareille de diffraction X du laboratoire CETIM

2.4. Caractérisation par XRF :

La fluorescence X (X ray fluorescence) est l'une des techniques les plus importants dans la détermination multi-éléments dans une grande variété de minéraux, et de roches.

Elle permet des analyses qualitatives et quantitatives ainsi que la détermination des éléments chimiques existant dans les roches. Les échantillons des roches volcaniques et son équivalent altéré ont été concassés, broyés et analysés par la fluorescence X, en utilisant un Spectromètre XRF, pour déterminer la teneur des alumines et autres éléments qui se présentent dans la roche. Dans notre travail, on a effectué 04 analyses XRF, dont l'objectif est de contrôler la teneur des éléments avant et après l'altération des roches.

2.4.1 Appareillage

Les analyses de Fluorescence X ont été effectués au niveau de CETIM à Boumerdes. (Figure 21) (Voir principe de fonctionnement dans l'annexe).



Figure 21 Appareil de fluorescence X du laboratoire de CETIM.

3) Etude de terrain d'étude :

CHAPITRE IV : Etude Des Roches D'El Hamdania

La zone d'étude est une zone côtière rocheuse, avec une petite plage sableuse, formant un cap avec une petite baie, trois petits îlots sont à proximité en quelques mètres de la côte étudiée, ils jouent un rôle notable comme des murs de protection et des amortisseurs des chocs et de la force des vagues sur les affleurements côtiers. (Figure 22). Cette région est caractérisée par un climat humide, une forte pluviométrie, une couverture végétale pas trop denses et un relief peu accidenté.



Figure 22 : Photo montrant la caractérisation de zone d'études. (1) zone d'études. (2) trois îlots. (3) la plage d'El Hamdania. (4) route W109. (5) chemins de terre secondaires. (6) village d'El Hamdania. (Google earth, 2023)

Nos observations en place révèlent que la zone d'étude est composée de roches magmatiques de monzogranite, des tufs volcaniques, des rhyolites avec ses formes d'altération en roches argileuses, elles dévoilent aussi que ces roches sont exposées à de nombreux facteurs qui produisent une modification de la nature physique et chimique des roches magmatiques.

- Nature et proximité :

Nous avons bien remarqué que la vitesse d'érosion et l'altération varie d'une roche à l'autre selon la dureté de roche et sa proximité avec la mer et le type de roche, elle est plus développée dans les tufs tendres et moindres dans les monzogranite et les rhyolites. (Figure 23)



Figure 23 : Photo montrant la vitesse d'érosion et l'altération qui varie d'une roche à l'autre selon la dureté et la proximité des roches à la mer (Roches bleu-verdâtre : tufs volcaniques).

- Vitesse de vents :

A l'exception de la zone protégée par les trois îlots, le vent soufflant du secteur nord, atteignait une vitesse excessive en raison de l'absence d'obstacles naturels, pour ralentir sa progression, notamment en raison de la présence de la mer. Cette situation a conduit à une augmentation de la taille des vagues. (Figure.24).



Figure 24 : Photo montrant les vagues contrôlées par la vitesse du vent.

CHAPITRE IV : Etude Des Roches D'El Hamdania

- Les Vagues et la houle :

Il y a activité intense des vagues et la houle dans la zone, elles attaquent les roches pour arracher les minéraux qu'elles contiennent de leur pâte. Les roches après leurs altérations laissent une forme typique de l'altération en forme de coussin, cela s'érode à cause des vagues, des vents et de l'eau de mer qui y est en contact direct.

L'altération se développe aussi au niveau des failles et des fissures mises en place par la tectonique, poussée par l'activité des vagues et de la mer. (Figure 25)



Figure 25 : Photo montrant les faits des vagues et la houle sur les roches magmatiques donnant une forme de coussin.

Le choc mécanique des vagues brise les rochers, il transmet de l'énergie cinétique qui peut provoquer des mouvements qui peuvent fragiliser les roches. Au fil du temps, les vibrations répétées peuvent contribuer à la désagrégation et à la fragmentation des roches. (Figure 26)



Figure 26 : Photo montrant les faits des vagues sur les roches de la zone d'étude.

CHAPITRE IV : Etude Des Roches D'El Hamdania

- L'Oxydation

L'oxydation des roches a été aussi observée à cause du contact de la roche avec l'air (oxygène) et l'eau de mer ce qui donne une patine rougeâtre et contribue aussi à la dégradation des roches par l'oxydation de ces minéraux.

- L'activité biologique

L'activité biologique est aussi observable par la présence des lichens sur les roches magmatiques qui constituent leurs socles de vie riche en éléments chimiques nourrissant ces microorganismes, une étude bio-géologique détaillée doit être réalisée pour voir l'impact de ces lichens pour la possibilité de dégrader la roche. (Figure 27).



Figure 27 : Photo montrant l'oxydation et la présence des microorganismes de lichens sur les roches volcaniques dans la zone d'études.

Au fur et en mesure de cette description de terrain, des échantillons ont été prélevés en respectant l'art de l'échantillonnage, le sac d'échantillonnage porte le numéro et les coordonnées géographiques de la roche, en mentionnant aussi ces données dans le carnet de terrain. (Figure 28)

CHAPITRE IV : Etude Des Roches D'El Hamdania

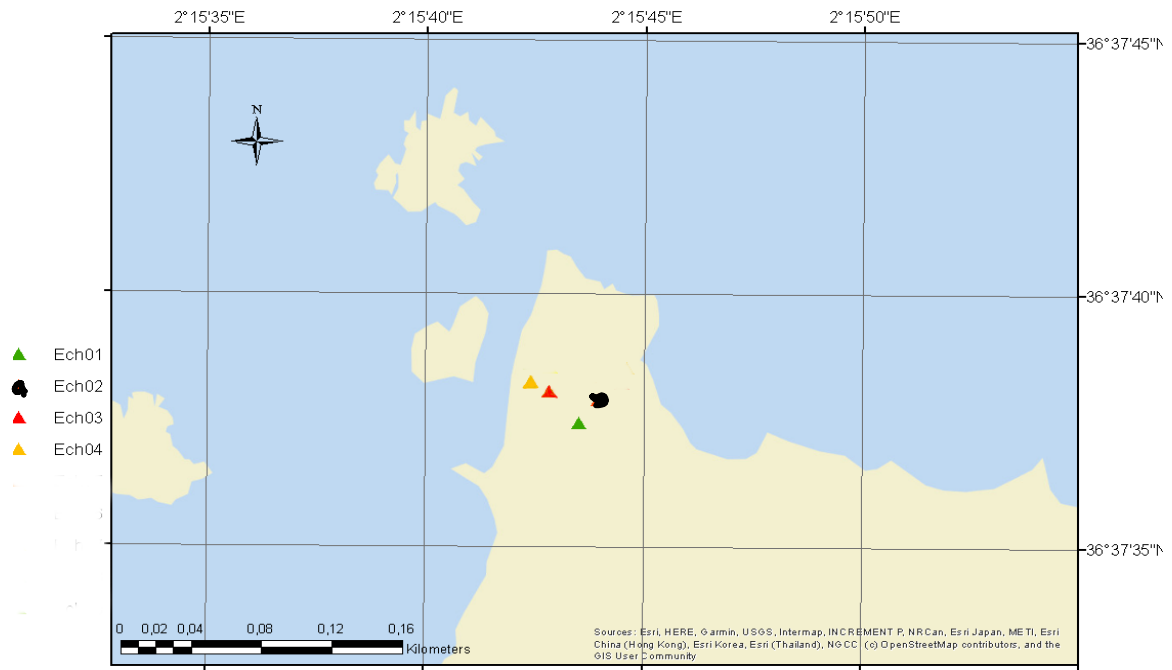


Figure 28 Localisation des échantillons étudiés. Les échantillons : [Ech01 (monzogranite). Ech02 (monzogranite altéré). Ech03 (argile). Ech4 (tufs volcaniques)]

4) Caractérisation des roches volcaniques avant altération (Echantillon 01e monzogranite) :

4.1) Etude macroscopique :

La roche est de couleur blanche. On peut y voir des minéraux de couleurs différentes, qui donnent une apparence tachetée ou marbrée. L'aspect de la roche est microgrenu, avec la présence des grands phénocristaux de la biotite, ce qui donne une texture porphroïdale de la roche, La surface de la roche est uniforme. (Figure 29)



Figure 29 l'échantillon 01 du monzogranite

4.2) Etude par microscope polarisant :

L'observation microscopique de l'échantillon 01 non ou faiblement altéré montre que cette roche présente une texture microgrenue avec la présence de phénocristaux dans une mésostase (matrice microcristalline) avec des tailles et des pourcentages variables.

Echantillon 01 est composé de la biotite, de quartz, des feldspaths type albite, de l'orthose peu altérée, de la calcite, des plagioclases avec une altération zonale (Figure 30).

L'étude microscopique a montré que les minéraux rencontrés dans cette roche ont les caractéristiques suivantes :

Le quartz

Il est abondant et il apparaît sous forme de phénocristaux sub-automorphes à xénomorphe. Les cristaux de quartz sont en majorité corrodés, entourés de couronnes réactionnelles et montrent parfois des cassures.

L'albite

Est un feldspath sodique, ce qui signifie qu'il contient une quantité significative de sodium dans sa composition chimique.

La biotite

Elle apparaît en phénocristaux soit sous forme de lamelles allongées avec une couleur jaune, verdâtres à brun rougeâtre (Figure 30).

Les opaques

Les opaques se présentent sous forme de minéraux noirs parfois automorphes (Figure 30).

Ils sont généralement de petite taille, ce sont les minéraux d'oxydes ou les minéraux métalliques.

Le plagioclase

Le plagioclase se présente sous forme de phénocristaux sub-automorphes. Il est parfois zoné avec des macles polysynthétiques.

L'étude microscopique a montré que le monzogranite étudié présente un aspect très peu altéré des minéraux, ce qui a nous mené à le prendre comme échantillon qui présente les caractéristiques initiales de cette roche peu modifiée.

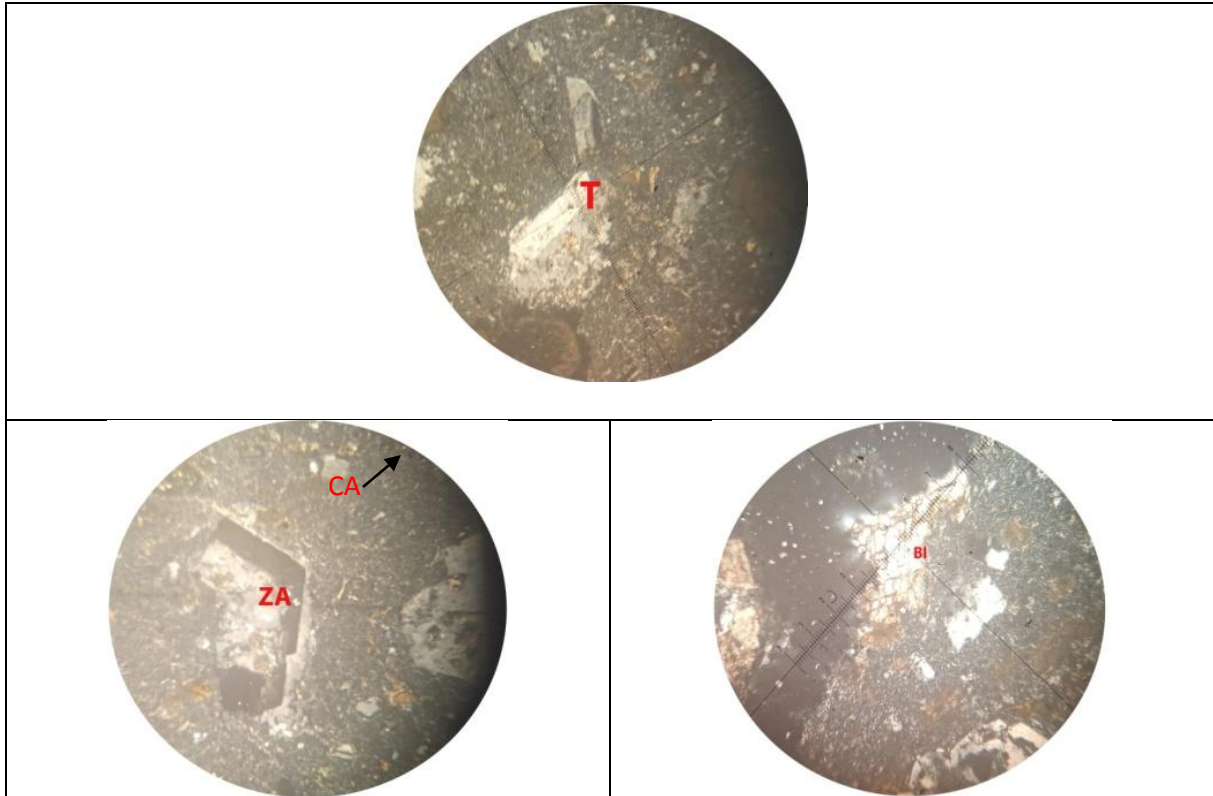


Figure 30 Microphotographie du monzogranite. Quartz (Q), Biotite (Bi), et Orthose (T). Plagioclase avec altération au centre (ZA). Calcite (CA). (Microscope polarisant (Gx10)) LPA

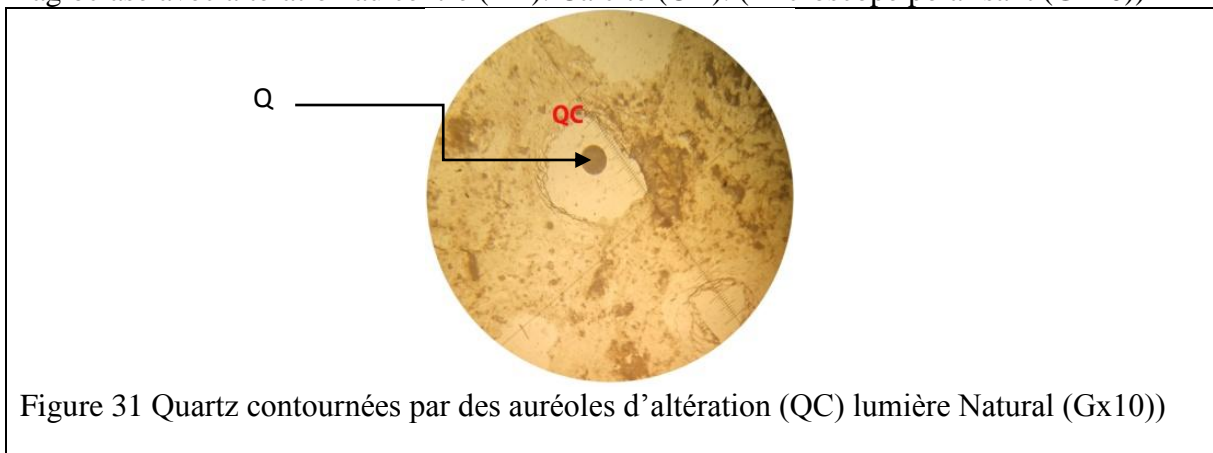


Figure 31 Quartz contournées par des auréoles d'altération (QC) lumière Natural (Gx10))

4.3) Caractérisation par DRX :

Les résultats de diffractométrie des rayons X montrent la présence du quartz, de l'albite et de la calcite avec la présence de l'illite comme un minéral argileux en association avec l'albite et l'orthoclase, ce qui été aussi observé en microscope (Figure 32).

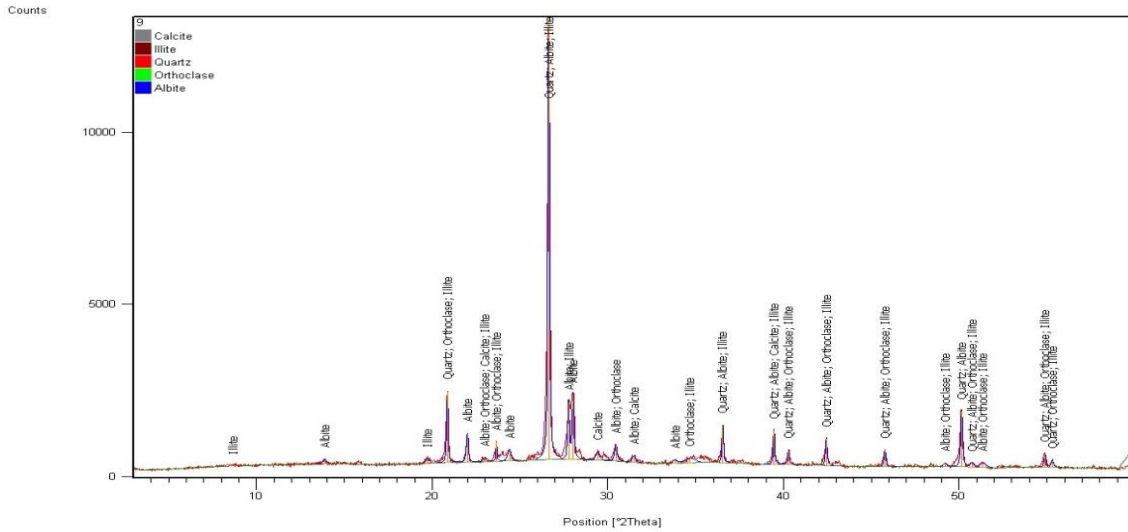


Figure 32 Diffractogramme de l'échantillon 01 du monzogranite.

4.4) Caractérisation par XRF :

| N° échantillon | Perte au feu (%) | SiO ₂ (%) | AL ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO ₃ (%) | K ₂ O (%) | Na ₂ O (%) | P ₂ O ₅ (%) | TiO ₂ (%) |
|----------------|------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| EH 01 | 3.94 | 70.92 | 15.40 | 1.14 | 2.42 | 0.54 | 0.01 | 1.98 | 3.35 | 0.04 | 0.28 |

Tableau 2 Composition chimique de l'échantillon 01 selon l'analyse XRF

Les résultats de la réflection fluorescence X (XRF) montrent la richesse du monzogranite par la silice avec la présence des éléments qui ont relation avec sa composition chimique, la présence d'oxyde d'alumine est relation avec ses minéraux tel que l'albite et l'orthoclase (Tableau 2)

5) Caractérisation des roches magmatiques (après altération) :

5.1) Etude macroscopique des roches altérées : pour bien confirmer l'altération, deux échantillons ont été étudiés :

Echantillon 02 : le monzogranite altéré :

La roche est principalement de couleur blanche, mais elle présente de l'oxydation sur sa surface, qui peut apparaître sous forme de teinte de couleurs rougeâtres. L'aspect de la roche est friable. La texture de la roche est microlitique, (Figure 33)



Figure 33. Echantillon 02 monzogranite altéré.

5.2) Etude par microscope optique :

L'observation microscopique d'échantillon 02 (monzogranite altéré) montre que ces roches contiennent des minéraux argileux avec la présence d'une texture fluidale.

Echantillon 02 est plus altéré par rapport à l'échantillon 01. Il est composé de la biotite qui est généralement altéré en séricite, et de quartz. Le tout est contenu dans une matrice qui représente au moyenne 40% de volume total des roches (Figure 34). Les minéraux essentiels sont caractérisés par :

1. Quartz : Il apparaît généralement sous forme de cristaux incolores.
2. Feldspaths : Les feldspaths constituent une part importante du monzogranite altéré. avec un feldspath potassique (orthose) et le feldspath plagioclase.
3. Biotite : elle se présente sous forme de cristaux lamellaires.
4. Oxydes de fer : En fonction du degré d'oxydation, des oxydes de fer tels que l'hématite ou la limonite peuvent se former.

CHAPITRE IV : Etude Des Roches D'El Hamdania

Une altération météorique (de surface) est facilement observable au niveau des roches magmatiques, elle est représentée par l'oxydation des minéraux ferromagnésiens (la biotite), le développement des oxydes s'observe au niveau des plans de clivages au sein de la biotite, cette altération se développe de la périphérie vers le centre du minéral, la séricite est un minéral d'altération, l'altération des plagioclases en séricite s'opère du centre vers la périphérie, ainsi que dans les plans de clivage. (Figure 34)



Figure 34 Microphotographie de l'échantillon 02. Orthose (OR), Quartz (Q), Biotite séricitisée (PF). Oxydation (OX). (Gx10), LN

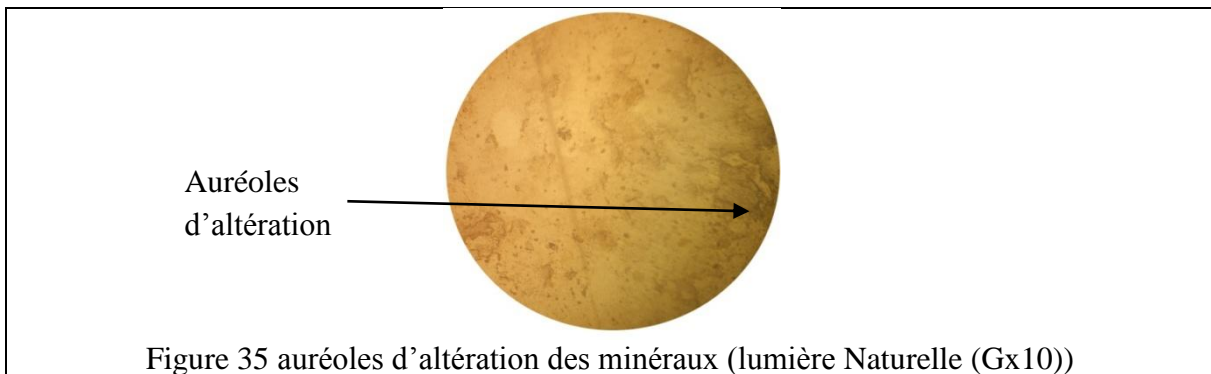


Figure 35 auréoles d'altération des minéraux (lumière Naturelle (Gx10))

5.3) Caractérisation par DRX :

Le DRX a montré la présence des minéraux argileux comme l'illite avec la présence du quartz, d'albite, et de la calcite, avec l'absence totale de l'orthoclase.

Les résultats de DRX confirment la présence des minéraux déjà observés dans l'étude pétrographique. La quantité de minéraux argileux est en présence significative par rapport à l'échantillon 01, cela signifie que l'échantillon a changé certains propriétés chimiques (Figure36).

CHAPITRE IV : Etude Des Roches D'El Hamdania

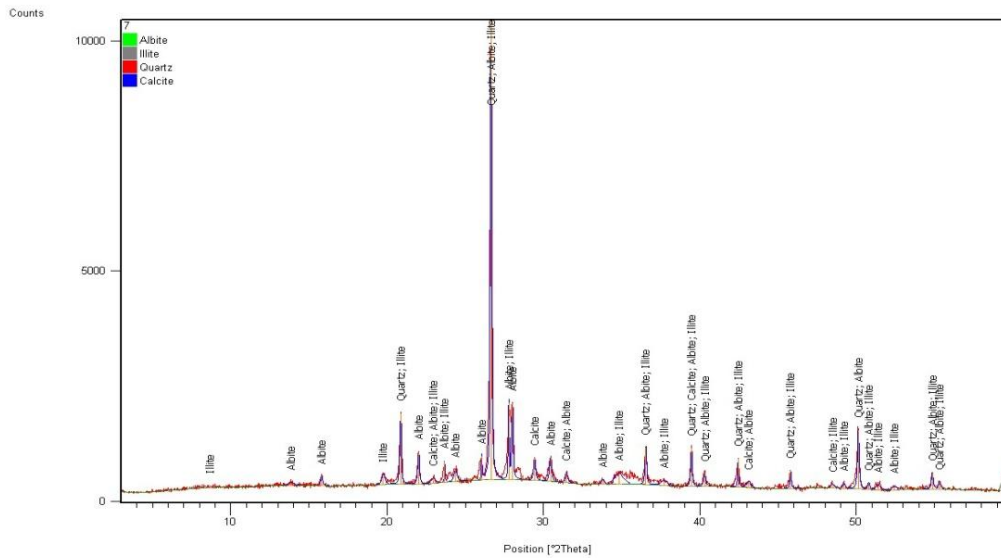


Figure 36 Diffractogramme du monzogranite altéré

5.4) Caractérisation par XRF

| N° échantillon | Perte au feu (%) | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO ₃ (%) | K ₂ O (%) | Na ₂ O (%) | P ₂ O ₅ (%) | TiO ₂ (%) |
|----------------|------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| EH 02 | 4.42 | 66.54 | 17.34 | 1.64 | 3.45 | 0.80 | 0.01 | 2.05 | 3.37 | 0.06 | 0.32 |

Tableau 3 Composition chimique de l'échantillon 02 selon l'analyse XRF

L'XRF a confirmé notre observation macroscopique ainsi que microscopique par la présence significative de l'oxyde d'alumine de la roche, déduisant l'aspect de l'altération par la présence des minéraux argileux (Tableau 3).

6) Etude macroscopique de l'échantillon 03 :

Pour bien mener cette étude, un autre échantillon a été étudié pour bien monter l'aspect de l'altération et confirmer les données précédentes.

6.1) Etude macroscopique :

La roche est de couleur jaune Clair, la roche est tendre non consolidée avec un aspect terreux ; La surface de la roche est uniforme, il y a des minéraux de différente taille. Cet échantillon présente même aspect de la bentonite, une analyse par infrarouge est indispensable pour confirmer cette roche (Figure 37).



Figure 37 : échantillon 03 argilitisé.

6.2) Etude par microscope :

L'observation microscopique d'échantillon 03 (Bentonite) montre que ces roches présentent des minéraux argileux. (Figure38)

Echantillon 03 généralement plus altérées par rapport à l'échantillon 02. Il est composé généralement de :

Quartz : Le quartz est un minéral courant dans ces roches.

Feldspaths : présents dans la bentonite. Ils apparaîtront comme des cristaux.

Biotite : présents en tant que minéraux accessoires.

Calcite : est l'un des minéraux qui forme la bentonite.

L'échantillon analysé après l'altération présente des changements significatifs. La texture fluidale observée dans l'échantillon suggère que des fluides ont circulé à travers les roches, contribuant à l'altération chimique et à la redistribution des minéraux. (Figure38)

L'altération de l'albite, de feldspath en argile (séricite), peut supposer une altération à des températures relativement basses.

La présence d'oxydation suggère une exposition à des conditions oxydantes, ce qui a pu contribuer à la transformation des minéraux.

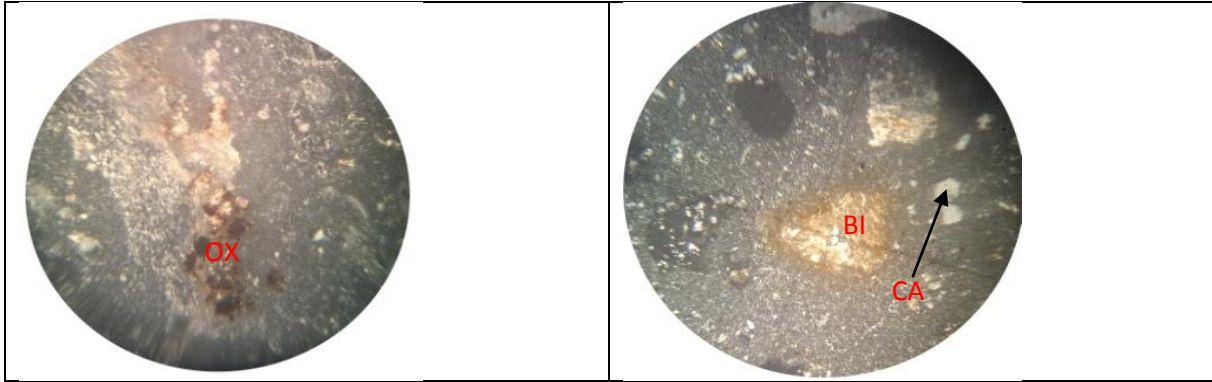


Figure 38: Microphotographie de l'échantillon 03. Biotite séricitisée (BI). Oxydation (OX). Calcite (CA). ((Gx10), LN)

6.3) Caractérisation par DRX :

Les résultats de DRX confirment la présence des minéraux déjà observés dans l'étude pétrographique. (Figure 39)

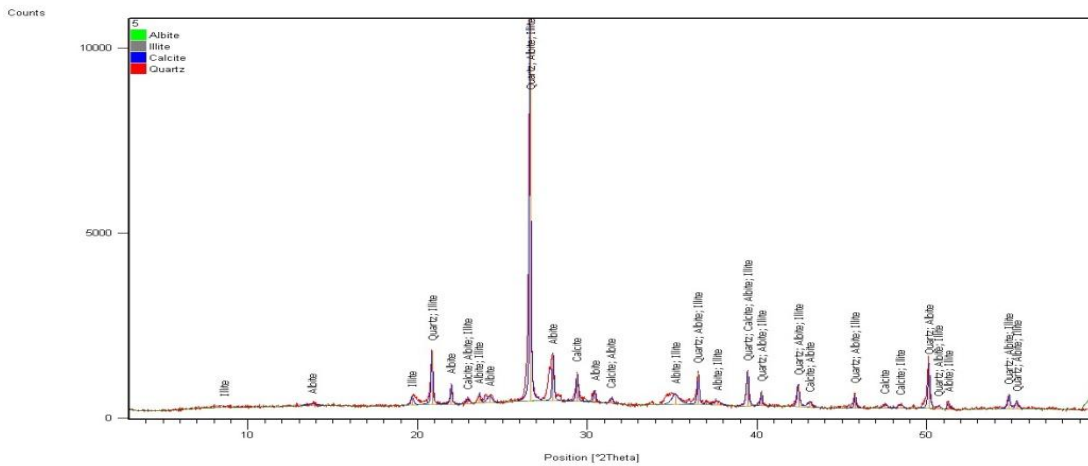


Figure 39 Diffractogramme de l'échantillon argilitisé.

6.4) Caractérisation par XRF :

Les résultats de XRF confirment l'argilisation de l'échantillon avec la présence considérable d'oxyde d'alumine. Tableau 4

| N° échantillon | Perte au feu (%) | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | So ₃ (%) | K ₂ O (%) | Na ₂ O (%) | P ₂ O ₅ (%) | TiO ₂ (%) |
|----------------|------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| ECH 03 | 5.70 | 66.4 | 16.24 | 1.37 | 3.89 | 0.82 | 0.01 | 2.57 | 2.31 | 0.05 | 0.30 |

Tableau 4 Composition chimique de l'échantillon 03

7) Etude de l'échantillon 04 des tufs volcaniques :

7.1) Etude macroscopique :

L'échantillon de tuf volcanique présente une couleur gris clair, composée de petits cristaux avec un aspect terreux. (Figure 40)



Figure 40 échantillon 04 des tufs volcaniques

7.2) Etude microscopique :

L'observation microscopique d'échantillons 04 montre que ses roches sont très altérées. On a remarqué une diminution de la quantité de quartz et augmentation de la quantité de la biotite altérée avec une texture fluidale et une oxydation (Figure 41).

Lors de l'observation de tufs volcaniques à l'aide d'un microscope polarisant, on a pu rencontrer les minéraux suivants :

L'illite : Les tufs volcaniques altérés contiennent des minéraux argileux.

Quartz : Le quartz est un minéral courant dans les tufs volcaniques.

Feldspaths : Les feldspaths présents dans les tufs volcaniques altérés. Les types de feldspaths les plus courants sont le feldspath potassique (orthose).

Micas : Les micas, tels que la biotite ou la muscovite, présents dans les tufs volcaniques altérés.

Oxydes de fer : En raison des processus d'altération, des oxydes de fer tels que l'hématite ou la limonite sont présents.

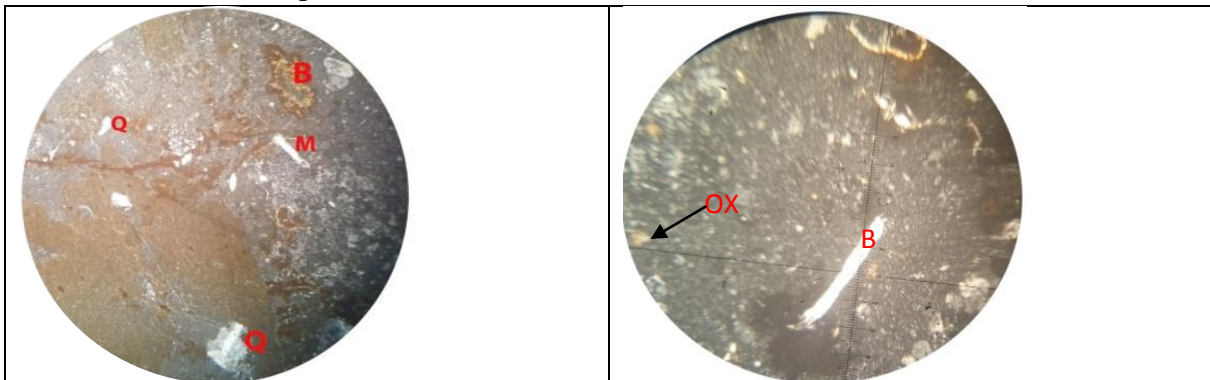


Figure 41 Microphotographie des l'échantillon très altéré et (04) Quartz (Q), Biotite (B). Oxydation (OX). Mésostase (M). ((Gx10)).

7.3) Caractérisation par DRX des tufs volcaniques (échantillon n4°) :

Les résultats de DRX confirment la présence des minéraux déjà observés dans l'étude pétrographique. Le quartz est un minéral résistant à l'altération, L'illite est une argile commune formée par l'altération de quelques minéraux des roches magmatiques, (Figure 42).

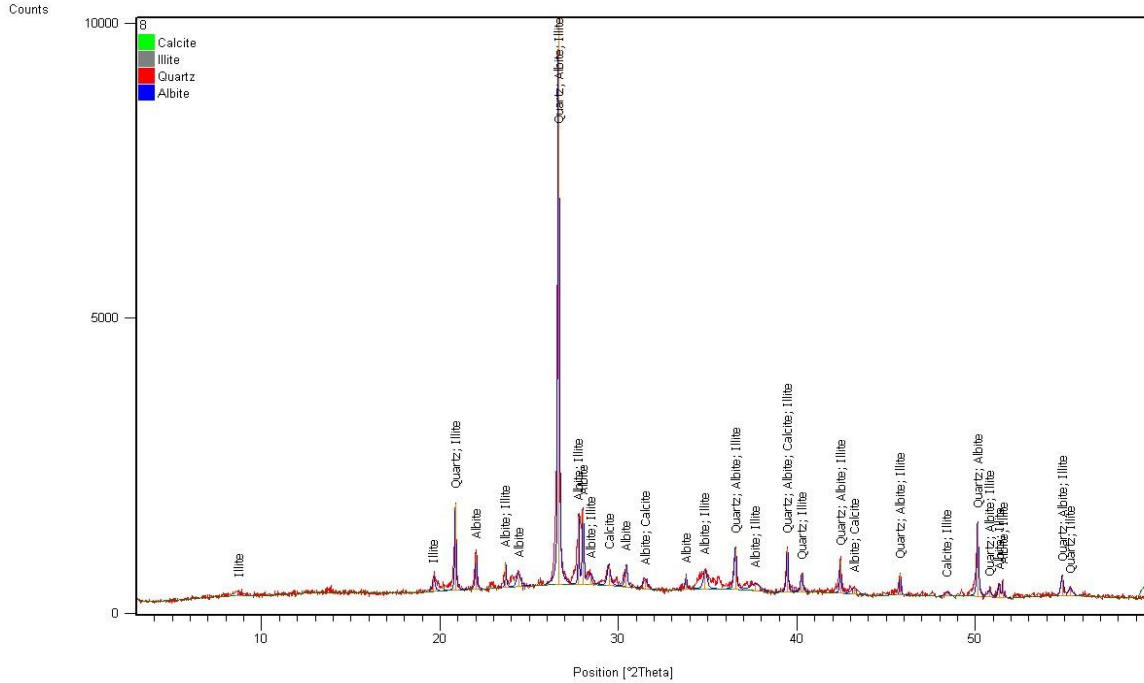


Figure 42 Diffractogramme du 4èr échantillon

7.4) Caractérisation par XRF (04) :

| N° d'échantillon | Perte au feu (%) | SiO ₂ (%) | AL ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | So ₃ (%) | K ₂ O (%) | Na ₂ O (%) | P ₂ O ₅ (%) | TiO ₂ (%) |
|------------------|------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 04 | 4.34 | 65.28 | 16.65 | 3.46 | 3.16 | 1.22 | 0.01 | 3.09 | 2.42 | 0.05 | 0.31 |

Tableau 5 Composition chimique de l'échantillon 04 selon l'analyse XRF

Les résultats de la réfraction fluorescence X (XRF) montrent la richesse des tufs volcaniques par la silice avec la présence des alumines. (Tableau 5)

8) Etude de la géochimie de la roche par la perte au feu :

| N° des Échantillons | Perte au feu (%) | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO ₃ (%) | K ₂ O (%) | Na ₂ O (%) | P ₂ O ₅ (%) | TiO ₂ (%) |
|---------------------|------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 01 | 3.94 | 70.92 | 15.40 | 1.14 | 2.42 | 0.54 | 0.01 | 1.98 | 3.35 | 0.04 | 0.28 |
| 02 | 4.42 | 66.54 | 17.34 | 1.64 | 3.45 | 0.80 | 0.01 | 2.05 | 3.37 | 0.06 | 0.32 |
| 03 | 5.70 | 66.4 | 16.24 | 1.37 | 3.89 | 0.82 | 0.01 | 2.57 | 2.31 | 0.05 | 0.30 |
| 04 | 4.34 | 65.28 | 16.65 | 3.46 | 3.16 | 1.22 | 0.01 | 3.09 | 2.42 | 0.05 | 0.31 |

Tableau 6 : Analyses des éléments majeurs et traces de la région de Hamdania, effectuées au laboratoire de (ORGM) Boumerdes.

Les roches magmatiques de la région d'El Hamdania sont touchées par une altération qui peut avoir une interprétation pétro-géochimique significative à partir de la perte au feu.

Le diagramme ci-après montre la teneur des pertes au feu en fonction des teneurs en SiO₂, il a pour but de définir le degré d'altération. En pratique, les échantillons qui ont des valeurs de perte au feu très élevées sont considérés comme altérés, on remarque que les teneurs de la perte au feu peuvent atteindre 5% ce qui confirme que ses roches soient relativement altérées. En rappelant que les valeurs élevées de la perte au feu traduisent l'altération des feldspaths (sérinitisation et kaolinitisation). Une corrélation négative entre la perte au feu et les teneurs en SiO₂ est observée, c'est à dire que la perte au feu diminue quand les teneurs en silice augmentent. Ceci peut être expliqué par la diminution des minéraux hydratés (tel que la biotite) en fonction de l'augmentation du quartz et feldspaths. (Figure 43).

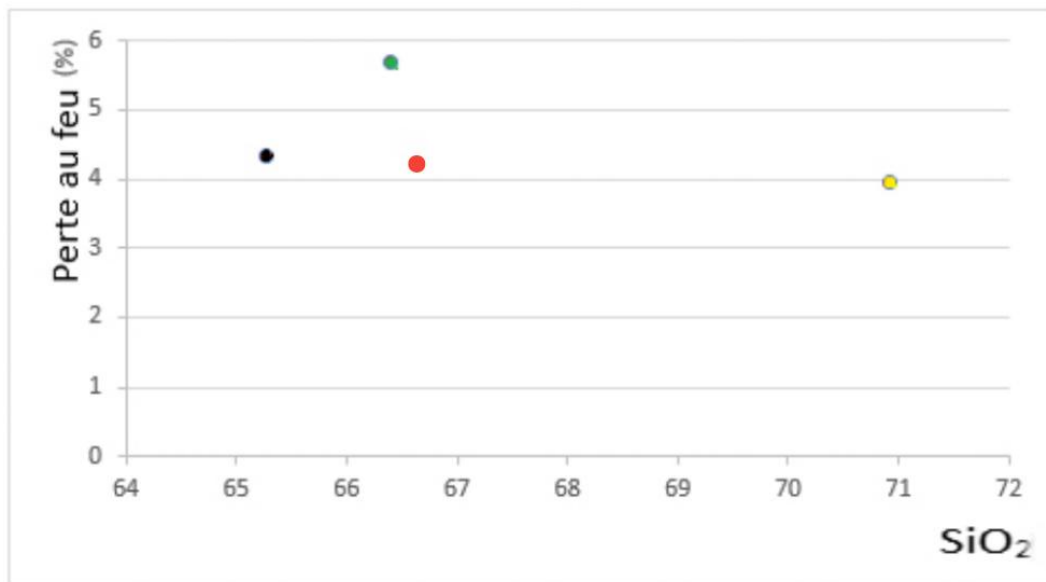


Figure 43 Diagramme perte au feu (%) en fonction de SiO₂ (%). Échantillon 1 (en jaune est le monzogranite). Échantillon 2 (en rouge, monzogranite altéré). Échantillon 3 (en vert, la bentonite). Échantillon 4 (en noir, les tufs).

9) Conclusion :

Les roches primaires du monzogranite peu altérés indiquent que les minéraux qu'il contenait étaient relativement préservés. Néanmoins ses équivalents altérés montrent des changements dans la composition minérale avec l'augmentation de la teneur d'alumine.

En effet, l'étude indique que les roches qui ont été exposés en surface à proximité avec la mer sont altérées mécaniquement et chimiquement.

L'eau de mer contient des sels dissous et d'autres éléments qui peuvent réagir avec les minéraux et provoquer leur altération. Les résultats obtenus par DRX et XRF ont confirmé nos observations avec une précision du degré d'altération des échantillons.

CHAPITRE V :
Résultats et discussion

1) Introduction :

Dans cette partie, nous discutons les différences entre des roches avant et après altération, ainsi que leur comparaison avec des roches similaires altérées. Et cela afin de comprendre les changements qui se produisent lors de l'altération des roches et qui est indispensable pour de nombreux domaines, notamment la géologie, l'ingénierie, l'environnement et la construction.

2) Comparaison macroscopique de la roche avant et après l'altération :

L'étude comparative de la roche avant et après l'altération permet de comprendre les effets de ces processus sur les propriétés et la structure de la roche. Dans l'analyse macroscopique, on a mis l'accent sur des aspects tels que la texture, la couleur, la composition minérale, la forme et le milieu de dépôts. Cette comparaison nous a aidé à évaluer l'ampleur de l'altération et à mieux appréhender les mécanismes impliqués dans la transformation de la roche au fil du temps.

Lorsque nous comparons l'échantillon 01 (roche non altérée), 02 (roche altérée) et 03 (roche altérée), 04 (tufs altéré) nous pouvons observer plusieurs différences macroscopiques dans la couleur, la texture et la présence de minéraux :

- Couleur : Les échantillons 02 et 03 décrivent comme étant de couleur jaune clair, tandis que l'échantillon 01 est de couleur blanche. Ces différences de couleur indiquent une variation dans la composition minérale des deux roches.
- Présence de minéraux : Alors que les échantillons 02, 03 et 04 affichent la présence de minéraux qui montrent leur départ avec l'altération de la roche, soit par effet mécanique ou chimique. En revanche, l'échantillon 01 indique la présence de minéraux de couleurs différentes, ce qui suggère une diversité minérale plus prononcée et une apparence marbrée.
- Surface : Les échantillons 02, 03 et 04 présentent une surface terreuse, et l'échantillon 01 présente un aspect cohérent de la surface.
- La dureté : Les échantillons 02, 03 et 04 sont plus friables et tendres par rapport à l'échantillon 01 ; qui est en relation avec l'imbibition des eaux ainsi que les chocs qu'elles subissent avec les vagues.

3) Comparaison chimique de la roche avant et après l'altération :

Echantillon 01 avant altération : Les roches volcaniques sont généralement riches en silice (SiO_2), avec des teneurs variables en oxydes de fer (FeO , Fe_2O_3), en magnésium (MgO), en calcium (CaO), en potassium (K_2O), en sodium (Na_2O), etc.

Echantillon 02, et 03 après altération : La bentonite est également riche en silice (SiO_2) et contient d'oxydes d'aluminium (Al_2O_3) élevé par rapport à la roche origine, de fer (Fe_2O_3), de magnésium (MgO), de calcium (CaO), de potassium (K_2O), de sodium (Na_2O), etc.

Dans un milieu marin, l'altération des roches peut conduire à des modifications significatives de leur composition chimique. Si nous comparons les échantillons 02 et 03 altérés à l'échantillon 01 non altéré dans un environnement marin, nous constatons une diminution de la teneur en SiO_2 (dioxyde de silicium) et en Na_2O (dioxyde de sodium) ainsi qu'une augmentation des teneurs en Al_2O_3 (trioxyde d'aluminium), Fe_2O_3 (trioxyde de fer), CaO (oxyde de calcium), MgO (oxyde de magnésium), K_2O (dioxyde de potassium) et Na_2O (dioxyde de sodium).

4) Comparaison minéralogique de la roche avant et après l'altération :

Echantillon 01 avant altération : il contient des minéraux tels que les silicates riches en fer et

CHAPITRE V : Résultats Et Discussion

en magnésium.

Echantillons 02, 03 et 04 (le monzogranite altéré et les tufs volcaniques) après altération : Elles sont principalement composées de minéraux argileux, tels que l'illite, séricite ou la kaolinite.

5) L'impact de l'environnement marin sur ces roches :

L'environnement marin a un impact significatif sur ces roches volcaniques lorsqu'elles sont exposées à l'eau de mer.

- Altération chimique : L'eau de mer contient divers composants chimiques tels que le chlorure, le sulfate et le carbonate, qui peuvent réagir avec les minéraux présents dans ces roches volcaniques. Ces réactions chimiques entraînent une altération des minéraux, ce qui peut modifier leur composition chimique et leur structure.
- Érosion physique : Les vagues, les courants et les marées dans l'environnement marin peuvent exercer une force mécanique sur ces roches volcaniques, provoquant leur érosion physique. Les particules transportées par l'eau peuvent frotter contre ces roches et les fragmenter progressivement, ce qui a produit une forme de coussin, typique aux roches volcaniques.
- Formation de nouveaux minéraux : Lorsque les roches magmatiques interagissent avec l'eau de mer, certains minéraux peuvent se dissoudre tandis que d'autres peuvent précipiter et se former. Par exemple, l'eau de mer peut favoriser la formation de minéraux argileux à partir de minéraux volcaniques tels que les feldspaths.
- Corrosion : L'eau de mer corrode les roches magmatiques, en particulier parce qu'elles contiennent des minéraux sensibles à la corrosion, comme les sulfures. Les processus de corrosion peuvent entraîner la dissolution et la dégradation des minéraux constituant les roches.
- Colonisation biologique : Les roches magmatiques immergées dans l'environnement marin peuvent devenir des substrats pour la colonisation de divers organismes marins, comme les lichens observés dans notre terrain. Ces organismes peuvent sécréter des substances chimiques qui peuvent également affecter la composition et la structure des roches.

6) Comparaison de l'altération avec des roches similaires loin de la mer

CHAPITRE V : Résultats Et Discussion

Comparaison entre la composition chimique moyenne de la Bentonite de Mostaganem et Cherchell et Wyoming du sud USA

| Composant | Mostaganem (%) | Cherchell (%) | Wyoming (%) |
|--------------------------------|----------------|---------------|-------------|
| SiO ₂ | 68.50 | 66.74 | 69.00 |
| Al ₂ O ₃ | 13.85 | 19.24 | 18.40 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.91 | 1.37 | 5.10 |
| CaO | 1.86 | 3.89 | 3.88 |
| MgO | 2.27 | 3.82 | 2.86 |
| SO ₃ | 0.02 | 0.5 | 0.1 |
| K ₂ O | 0.01 | 0.57 | 0.78 |
| Na ₂ O | 2.22 | 3.31 | 0.41 |
| P ₂ O ₅ | 0.06 | 0.05 | 1.1 |
| TiO ₂ | 0.27 | 0.30 | 1.3 |

Tableau 7 comparaison entre la bentonite de Cherchell, de Mostaganem et de Wyoming (Sud USA)

D'après les données fournies, nous avons les pourcentages de différents composants dans les échantillons de bentonite de Mostaganem, Cherchell et Wyoming. Nous pouvons comparer les valeurs entre l'échantillon de Cherchell, qui est près de la mer, et les autres échantillons.

En comparant les pourcentages, nous pouvons observer les variations suivantes : (Tableau 7)

- SiO₂ : L'échantillon de Cherchell a une teneur légèrement inférieure en SiO₂ par rapport à Mostaganem et Wyoming.
- Al₂O₃ : La teneur en Al₂O₃ de l'échantillon de Cherchell est plus élevée que celle de Mostaganem et Wyoming.
- Fe₂O₃ : L'échantillon de Cherchell a une teneur en Fe₂O₃ plus faible par rapport à Mostaganem, et de Wyoming.
- CaO : L'échantillon de Cherchell a une teneur en CaO plus élevée par rapport à Mostaganem et Wyoming.
- MgO : La teneur en MgO de l'échantillon de Cherchell est plus élevée que celle de Wyoming, mais plus faible que celle de Mostaganem.
- SO₃ : L'échantillon de Cherchell a une teneur en SO₃ plus élevée par rapport à Mostaganem et Wyoming.
- K₂O : La teneur en K₂O de l'échantillon de Cherchell est plus élevée que celle de Mostaganem et Wyoming.

CHAPITRE V : Résultats Et Discussion

- Na_2O : L'échantillon de Cherchell a une teneur en Na_2O plus élevée par rapport à Mostaganem et Wyoming.
- P_2O_5 : La teneur en P_2O_5 de l'échantillon de Cherchell est plus faible que celle de Mostaganem et légèrement inférieure à celle de Wyoming.
- TiO_2 : L'échantillon de Cherchell a une teneur en TiO_2 plus faible que celle de Mostaganem et Wyoming.

En ce qui concerne l'effet de la mer sur l'échantillon de Cherchell, nous pouvons noter que certains composants ont des variations significatives par rapport aux autres échantillons. Par exemple, la teneur en Na_2O est considérablement plus élevée dans l'échantillon de Cherchell, ce qui peut être attribué à l'influence de la mer. De même, la teneur en SO_3 et en CaO est également plus élevée dans l'échantillon de Cherchell, indiquant une possible influence de l'environnement côtier. (Tableau 7)

Il convient de noter que l'analyse de la bentonite et de ses variations en fonction de l'emplacement géographique est un sujet complexe, et d'autres facteurs peuvent également jouer un rôle dans les différences observées.

7) Obstacles et défis de la présence de bentonite dans cette zone de construction :

Lors de la construction d'un port dans une zone où la roche magmatique se transforme en bentonite, comme notre cas, il est important de prendre en compte certains inconvénients liés à cette roche. Voici quelques aspects à considérer

- Gonflement et retrait : La bentonite a la particularité de gonfler en présence d'eau et de se rétracter en cas de sécheresse. Ce comportement peut entraîner des problèmes de stabilité des structures et des infrastructures construites dans cette zone. Il est essentiel de mettre en place des mesures d'atténuation pour gérer ces variations de volume, telles que la mise en œuvre de systèmes de drainage ou l'utilisation de techniques de compactage spécifiques.
- Perméabilité : Bien que la bentonite soit utilisée pour son pouvoir d'étanchéité, il est important de noter que sa perméabilité peut varier en fonction de sa composition et de sa densité. Certaines bentonites peuvent présenter une perméabilité relativement élevée, ce qui peut avoir un impact sur l'efficacité de l'étanchéité des structures construites dans la zone. Des études géotechniques approfondies devront être menées pour évaluer la perméabilité de la bentonite dans la zone spécifique du projet de construction.
- Réaction chimique : La bentonite peut réagir chimiquement avec certains matériaux, ce qui peut entraîner des problèmes de corrosion ou d'altération des structures en contact avec la roche. Il est important de prendre en compte ces réactions potentielles lors de la conception et de la sélection des matériaux de construction.
- Coût : La bentonite peut être plus coûteuse à exploiter et à utiliser par rapport à d'autres matériaux de construction. Les coûts d'extraction, de traitement et de transport de la bentonite peuvent influencer le budget global du projet de construction du port.
- Gestion des déblais : Lors de l'excavation des terrains contenant de la bentonite, la gestion des déblais peut poser des défis supplémentaires. Les déblais de bentonite peuvent avoir des propriétés spécifiques et nécessiter des méthodes de gestion spéciales, telles que l'utilisation de bassins de décantation ou de techniques de confinement appropriées, ou en proposant de leur valoriser par un échange avec une entreprise qui

CHAPITRE V : Résultats Et Discussion

traite cette matière, le seul organisme en l'Algérie, est l'ENOF, l'entreprise nationale des produits miniers non-ferreux qui est spécialisé dans ce domaine.

Il est recommandé de mener des études géotechniques approfondies et de consulter des experts en génie civil et en géotechnique pour évaluer ces inconvénients potentiels de ces roches à long termes dans le contexte spécifique de la construction du port pour assurer la stabilité et la durabilité des infrastructures dans la zone concernée.

Conclusion générale :

Pour étudier l'effet du milieu littoral sur les roches magmatiques, nous nous sommes penchés sur l'analyse de terrain et le prélèvement des échantillons de roches dans la région côtière d'El Hamdania à Tipaza. Nous avons effectué des analyses à la fois à l'échelle macroscopique et microscopique pour comprendre l'origine, la formation, l'évolution des propriétés physiques et chimiques de ces roches.

L'étude de terrain a montré une altération marine de ces roches, par la forme typique de coussin, cette altération supergène est aussi poussée par la tectonique dans les plans de failles et de fractures.

Après avoir étudié ces échantillons, nous avons conclu qu'il existe deux types de roches dans cette région : les roches magmatiques et les roches sédimentaire (argileuses). Les roches argileuses sont formées à partir de l'altération des roches magmatiques due aux facteurs naturels présents dans le milieu littoral. L'interaction avec l'eau de mer, l'activité des vagues ainsi que les conditions climatiques jouent un rôle mécanique et chimique pour la transformation des roches magmatiques. La principale différence entre les deux types de roches peut être observée à l'échelle macroscopique et microscopique :

À l'échelle macroscopique :

- Les roches magmatiques sont plus solides que les roches argileuses.
- L'altération se développe selon la dureté de la roche et son exposition aux éléments de l'environnement marins. L'altération et l'érosion sont plus poussées dans les tufs volcaniques que les monzogranite.

À l'échelle microscopique :

- Les roches magmatiques présentent des cristallinités plus détaillées, avec des minéraux identifiables tels que le feldspath, le quartz, la biotite et l'orthose.
- Les roches argileuses montrent la présence de minéraux argileux tels que l'illite, la biotite séricitisée, et la kaolinite, avec une texture fluidale.

A l'échelle chimique :

- Les roches magmatiques sont riches en silice.
- Les roches argileuses sont plus riches en alumine, de sodium, de sulfate et de carbonate.

L'utilisation des techniques d'analyse telles que la diffraction des rayons X (DRX) et la spectrométrie de fluorescence X (XRF) a confirmé nos observations pétrographiques et renforcé la validité des résultats, par la dominance des minéraux argileux dans les roches altérées et par ces compositions chimiques caractéristiques, ce qui nous a permis de mieux comprendre les processus géologiques ayant formé et transformé les roches.

Recommandations :

L'étude de l'altération des roches magmatiques dans le milieu littoral d'El Hamdania, Tipaza revêt une grande importance pour comprendre les dangers qui menacent ce milieu littoral surtout d'un point de vue économique, voici quelques-uns des dangers qui menacent cette région.

- Instabilité des structures portuaires : L'altération des roches volcaniques peut affaiblir les fondations des structures portuaires telles que les quais, les digues et les jetées, mettant en péril leur sécurité et leur stabilité.
- Érosion côtière accrue : Les roches volcaniques altérées peuvent être plus sujettes à l'érosion causée par les vagues et les courants marins. Cela peut entraîner un recul du littoral, menaçant ainsi les infrastructures côtières telles que les digues de protection, les routes et les bâtiments situés à proximité du rivage.
- Risques d'éboulement : L'altération des roches volcaniques peut rendre les pentes environnantes instables, augmentant ainsi les risques d'éboulement ou de chute de blocs rocheux sur les zones portuaires et les voies d'accès
- Impact sur la navigation : Si les roches volcaniques altérées se désintègrent dans l'eau, elles peuvent former des dépôts sédimentaires qui réduisent la profondeur du port. Cela peut entraîner des difficultés de navigation pour les navires à fort tirant d'eau, limitant ainsi les activités portuaires et commerciales.

Annexe

Principe de fonctionnement du microscope optique polarisant :

Le microscope optique métallographique polarisant de l'école normale supérieure (ENS) – Kouba, est de marque ZEISS.

Le microscope polarisant reste l'outil de travail essentiel des pétrographes. Son emploi permet de reconnaître les divers éléments constitutifs des roches et d'étudier leurs caractères, de définir leurs rapports mutuels (texture) et leur orientation (fabrique), et surtout de déterminer. Avec précision les minéraux, même de très petites dimensions. Les échantillons doivent être taillés en lames de 0,03 mm d'épaisseur, collées entre lame et lamelle de verre ; la plupart des minéraux deviennent alors transparents. Ces « lames minces » sont examinées au microscope polarisant, qui diffère du microscope ordinaire par : l'interposition d'un polariseur entre la source lumineuse et la préparation et d'un analyseur escamotable entre l'objectif et l'oculaire ; une platine graduée tournant autour de l'axe de l'appareil et sur laquelle on peut adapter une platine théodolite permettant d'orienter la lame dans une direction connue de l'espace. Le polarisateur transforme la lumière ordinaire en lumière polarisée, vibrant transversalement dans une seule direction (par exemple dans le plan de symétrie de l'appareil). En lumière simplement polarisée (dite parfois « naturelle »), on peut observer : les caractères cristallographiques des sections (formes, clivages, inclusions...), le « relief » (lié à l'indice de réfraction), la teinte, le pléochroïsme (variation de la teinte selon l'orientation du cristal par rapport à la direction des vibrations lumineuses). Si l'on introduit l'analyseur orienté à 90° (« nicols croisés »), des phénomènes chromatiques apparaissent généralement si le minéral n'est pas isotrope (auquel cas aucune lumière n'est transmise, le minéral restant « éteint » pour toute position). Les rayons incidents se dédoublent dans le cristal en deux rayons polarisés à angle droit, cheminant à des vitesses différentes ; l'analyseur n'accepte que les composantes situées dans son plan de vibration ; il y a donc interférences. Il en résulte des teintes de polarisation dépendant de la biréfringence du minéral, variable selon l'orientation de la section, mais présentant une valeur maximale caractéristique. Par ailleurs, l'intensité varie lorsqu'on fait tourner la platine : pour quatre positions à 90°, il y a extinction, et intensité maximale à 45° de celles-ci ; l'angle d'extinction, par rapport à des éléments cristallographiques, est caractéristique. Enfin, des « lames auxiliaires » permettent de définir le signe d'allongement : \pm dans la direction de plus faible vitesse (correspondant au plus grand indice), — dans le cas contraire. L'interposition d'un « condenseur », aux forts grossissements, fait apparaître des phénomènes nouveaux : croix noire ou branche d'hyperbole dans les sections perpendiculaires aux axes optiques. Cela permet de définir la nature et la position de l'ellipsoïde des indices, donc l'uniaxe ou la biaxe, et le signe optique, ainsi que l'angle des axes optiques. Dans une lame mince, chaque minéral apparaît ordinairement en plusieurs sections d'orientations diverses ; il faut rechercher des sections particulières dans lesquelles on peut observer et mesurer les caractères spécifiques de l'espèce permettant, grâce à des tables, une détermination précise.

Principe de fonctionnement de l'appareil de diffraction X (DRX) :

L'appareillage de diffraction X (DRX) du centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de construction (CETIM) de Boumerdes, est un appareil de marque PANalytical. Les faisceaux de Rayons X produits par le tube sont envoyés sur l'échantillon dans lequel ils sont déviés par les atomes. Ces faisceaux diffractés interfèrent entre eux, conduisant à la production d'un signal intense dans certaines zones précises de l'espace. C'est ce signal qui est collecté par le détecteur, et tracé sous forme d'une courbe (Diffractogramme) qui présente des pics à des angles bien spécifiques de diffraction. La position de ces pics est une véritable signature de l'arrangement des atomes à l'intérieur d'un cristal (distance entre atomes, entre plans intra cristallins). La relation empirique qui relie les angles auxquels sont observés les pics et les distances entre plans atomiques est la loi de Bragg. La diffraction des rayons X permet de distinguer des produits ayant la même composition chimique mais dont les arrangements atomiques diffèrent. Par exemple, les carbonates de calcium comme la calcite et l'aragonite, de même formule chimique (CaCO_3), ont des diagrammes de diffraction différents. En revanche, les phases de nature chimique différente mais dont les atomes sont organisés selon le même arrangement présentent de grandes similitudes, à savoir des pics de diffraction localisés aux mêmes positions angulaires. Dans un mélange, il est possible de déterminer la nature de chacune des phases cristallines en présence, sous réserve de connaître préalablement la signature de chacune de ces phases. La procédure d'identification se fait en deux étapes, la première consiste à comparer les pics obtenus avec ceux contenus dans une base de données qui comprend plusieurs centaines de milliers de fiches. Cette étape est suivie par une étape de validation au vu de la composition chimique. La validation est effectuée par l'utilisateur qui doit avoir une bonne connaissance de l'échantillon, afin de lever les ambiguïtés et les confusions.

Principe de fonctionnement de l'appareil de XRF :

La spectrométrie par fluorescence X ou XRF est une technique analytique permettant d'obtenir des analyses quantitatives élémentaires. L'échantillon est bombardé par des photons émis d'un tube à rayon X. Des électrons appartenant aux couches internes des atomes sont alors éjectés. Il s'agit de la phase d'absorption du rayonnement primaire. Les atomes de la matière ainsi ionisés par leur électron 'manquant' se trouvent en état instable. Les couches internes de ces atomes se réorganisent afin de tendre vers un état plus stable. Les électrons des couches plus externes supérieures comblent les couches internes insaturées, il s'agit de la phase d'émission (faisceau de rayon X secondaire émis). Cette relaxation électronique libère une énergie sous la forme d'un photon caractéristique pour chaque atome et pour chaque transition de chaque atome. Du flux de photons reçus, l'analyseur peut aussi déduire en temps réel la concentration correspondante. Lorsque les photons sont traités séquentiellement, il s'agit d'une analyse dispersive en énergie. La spectrométrie par fluorescence X est une technique analytique non destructive.

- **Ahcène, (2010).** Contrôle de la qualité de la bentonite à la production par méthode géostatistique cas du gisement de m'zila, mostaganem. Mémoire de master. génie minier. école nationale polytechnique.alger.pp11.70,
- **Brousse, r., (1961).** Minéralogie et pétrographie des roches volcaniques du massif du mont-dore (auvergne). Première partie: les minéraux. Deuxième partie: pétrographie systématique. Bulletin de minéralogie. (En ligne), (consulté le .10/.3/2023).disponible web <https://doi.org/10.3406/bulmi.1961.5464>
- **Boiley (2003)** "rare metal potential in the near north, Québec. « Géoscience exhibit. (En ligne), (consulté le .10/.3/2023).disponible sur web <https://web.archive.org/web/20040825142006/>
- **Bolfa, (1952).** Massifs cristallins du nord- constantinois. xixecongrède la géologie interne, Alger, monogramme régional. 1ère série, Algérie, no 23.P80.
- **Copernicus. (2023).**copernicus marine data store (En ligne), (consulté le .10/.3/2023)..disponible web https://data.marine.copernicus.eu/products?option=com_csw&task=results (accessed 5.5.23).
- **Cotterell, (1992).** Mechanics of pre-industrial technology: an introduction to the mechanics of ancient and traditional material culture. Cambridge UniversityPress. p. 127
- **Durand-delga m (1980)** la méditerranée occidentale : étapes de sa genèse et problèmes structuraux lies a celle-ci. Société géologique de France, no 10, livre jubilaire de la société géol. de France, pp:203–224
- **Durand-delga m (1980)** la méditerranée occidentale : étapes de sa genèse et problèmes structuraux lies a celle-ci. Société géologique de France, no 10, livre jubilaire de la société géol. de France, pp :203–224
- **Durant delga,(1971)** les unités mésozoïques métamorphiques d'el Milia à tesana (Algérie) et leur cadre structural, bull. soc. géol. France, pp. 328-377
- **Dewey, (1989).** kinematics of the western mediterranean, in alpine tectonics. France, p265–283.
- **Fatiha abbassene éps (2016).** Géosciences marines. Obtenir le titre de docteur université de bretagne occidentale. Pp20-100
- **Fisher, richard v. (1984).** pyroclastic rocks. berlin: springer-Verlag. pp. 89–90
- **Fiorentinipotenza (1959).** distribuzione delle principali facies petrografiche e dellaradioattivitànelplutone .it. v. 15, France .pp. 89-132
- **Glaçon, j., (1967).**Recherche sur la géologie et la et les gîtes métallifères du tell sétifien (Algérie). (Thèse Montpellier), bulletin du service de la carte géologique, Algérie, nouvelle série, no 8, 56, volume. pp751, 372.
- **Glaçon, j., (1971).**Le gisement de Cavallo (el Aouana, Algérie). Bulletin du bureau de recherches géologiques et minières (2), section France.pp 69 -78.
- **Glaçon, j., (1973).**Les gites minéraux liés au magmatisme tertiaire en Algérie du nord. - Collo. sc.int. ragiuin. ed. Maçon et Co. paris.pp.10-50
- **Glangeaud, l., (1952).**histoire géologique de la province d'Alger. XIXe congrès de la géologie interne, monogramme régional. 1ère série, alger .P100
- **Geologyscience, (2018).** Rhyolite rock | properties, composition, formation, uses. geology science. (En ligne), (consulté le .10/.3/2023). Disponible sur le

Bibliographique

- **Googleearth.(2023)**. Image satellitaire (En ligne), (consulté le .10/.3/2023).disponiblewebhttps://earth.google.com/static/9.190.0.0/app_minar.html ?
- **Khanlari, (2012)**. assessment of weathering processes effect on engineering properties of alvand granitic rocks (west of iran), based on weathering indices. environmental earth sciences 67. (En ligne), (consulté le .10/.3/2023)disponible sur le
- **Khelfaoui asmaa.(2018)**. etude géologique et impact sur l'environnement de la carrière d'agrégat de cap djinet. Mémoire de master. Spécialité génie minier. Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques. boumerdes.pp10.60
- **Hakim ali. (2017)**.ressources minérales de alérie wilaya de Tipaza. Bibliothèque - asga edition 2017 alge. pp09.10
- **Hernandez, (1979)**. Le volcanisme calcoalcalin miocene de la region d'alger (algerie); petrologie et signification geodynamique. Bulletin de la société géologique de france s7-xxi, 73–86. (En ligne), (consulté le .10/.3/2023) disponible sur le
- **jackson, (1986)**. geology and mineralization of the sidarah monzogranite, central hijaz region, kingdom of saudi arabia. journal of african earth sciences (1983), felsic plutonic rocks and associated mineralization of the kingdom of saudi arabia 4, 199–204. (En ligne), (consulté le .15/.3/2023).disponible sur le Web [https://doi.org/10.1016/s0899-5362\(86\)80081-1](https://doi.org/10.1016/s0899-5362(86)80081-1)
- **Lakhdar mostefaoui.(2014)**. Caractéristiques géologiques, minéralogiques, pétrographiques et sédimentologiques des sables côtiers des secteurs : oued zhour, oued el Kébir et oued ziam mansouria (wilaya de Jijel, Algérie. Diplôme de magister. Géologie et ressources minérales. Université Ferhat Abbas – sétif. pp15.40
- **Lamri mourad. (2017)**.Étudesminéralogique et géochimique des granitoïdes de la région de collo. memoire de magister. Ressources minérales. Université des frère mantouri Constantine.pp20.50
- **; Streckeisen, (1991)**. The IUGS systematics of igneous rocks. Journal of the GéologiqueSociety.pp: 825–833.
- **Meteoblue. (2023)**.changement climatique tipaza (En ligne), (consulté le .10/.3/2023).disponible web https://www.meteoblue.com/fr/climate-change/tipaza_alg%c3%a9rie_2476028 (accessed 5.5.23).
- **Maitrer.w. (2002)**. igneous rocks. a classification and glossary terms. 2nd edition-cambridgeuniversitypress. pp10-100
- **Michael allaby 2008-** a dictionary of earth sciences - third edition - oxford university press. P100
- **N'golo Togola. (2023)**.les min les minéraux industriels et leurs industriels et leur utilisation dans la vie utilisation dans la vie courante. québec mines québec. (En ligne), (consulté le .10/.3/2023).disponible web <https://mrnf.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/mineraux-industriels-courants-ngolo-togola.pdf>.P20
- **Richer-lafleche, (2000)**. Géochimie des roches volcaniques et des formations de fer du groupe de yasinski, sous-province de la grande. l bibliothèque nationale du québec © gouvernement du québec, pp 1-100

Bibliographique

- **Rosenbaum, (2002).** reconstruction of the tectonic evolution of the western mediterranean since the oligocene. (En ligne), (consulté le .10/.3/2023).disponible web <https://doi.org/10.3809/jvirtex.2002.00053>
- **Rahmouni hicham .(2016).** Caractérisation et étude des propriétés d’usage des tufs de remila. Mémoire de master. Valorisation des ressources minérales. Université Abderrahmane mira. Bejaia. pp30-70
- **Ramdani khaled.(2021).** Application de tuf volcanique dans le béton (cas de la carrière de tuf. Mémoire de master. Valorisation des ressources minérales. Université Abderrahmane mira. Bejaia. pp40-100
- **Ramdani khaled. (2021).**application de tuf volcanique dans le beton cas de la carrière de tuf. Thèse de master en génie minier. Université abderrahmane mira de bejaia.p 5.50
- **Richer-lafleche, (2020).** Géologie et géochimie des roches volcaniques du groupe de baby et des roches sédimentaires archéennes et protérozoïques des groupes de pontiac et de cobalt. Témiscamingue. pp100
- **Satouh-adel. (2007).**pétrogéochimie et minéralisations des roches magmatiques de la région de Collo (ne- algérien). Mémoire de magister. En géologie. Université Badji Mokhtar. Annaba. PP20-180
- **Sadran, g., (1958).**Les formations volcaniques tertiaires et quaternaires de tell oranais. Paris. Bulletin du service de la carte géologique de l’Algérie.P100
- **Tome. (1991).**Les pigments des grottes d'arcy-sur-cure (yonne). In : gallia préhistoire. (En ligne), (consulté le .10/.3/2023).disponible web https://www.persee.fr/docaspdf/galip_0016-4127_1991_num_33_1_2284.pdf
- **Togola, n.2023.** Les minéraux et les roches. Québec. p.1-5
- **Toyoda, (1995).** esr dating of quartz phenocrysts in the el cajete and battleship rock members of valles rhyolite, valles caldera, new mexico. journal of volcanology and geothermal research 67, 29–40. (En ligne), (consulté le .10/.3/2023).disponible web [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(94\)00093-v](https://doi.org/10.1016/0377-0273(94)00093-v)