

**Universite Kasdi Merbah Ouargla**  
**Faculté Des Hydrocarbures, Des Énergies Renouvelables Et Des**  
**Sciences De La Terre Et De L'univers**  
**Departement Des Sciences De La Terre Et De L'universon**



**Mémoire de Master Académique**  
**Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers**  
**Filière : Géologie**  
**Spécialité : Géologie des bassins sédimentaires**

**Présenté par : Boumaza Amina**

## **THÈME**

**CARACTERISTIQUES PHYSICOCHEMISTIQUES ET  
MINERALOGIQUES DES SOLES DIRIVES DE DES TERRAINS  
SOCLE METAMORPHIQUE DE CAP BOUGAROUN (REGION  
DE COLLO) NE ALGERIEN**

Soutenu publiquement

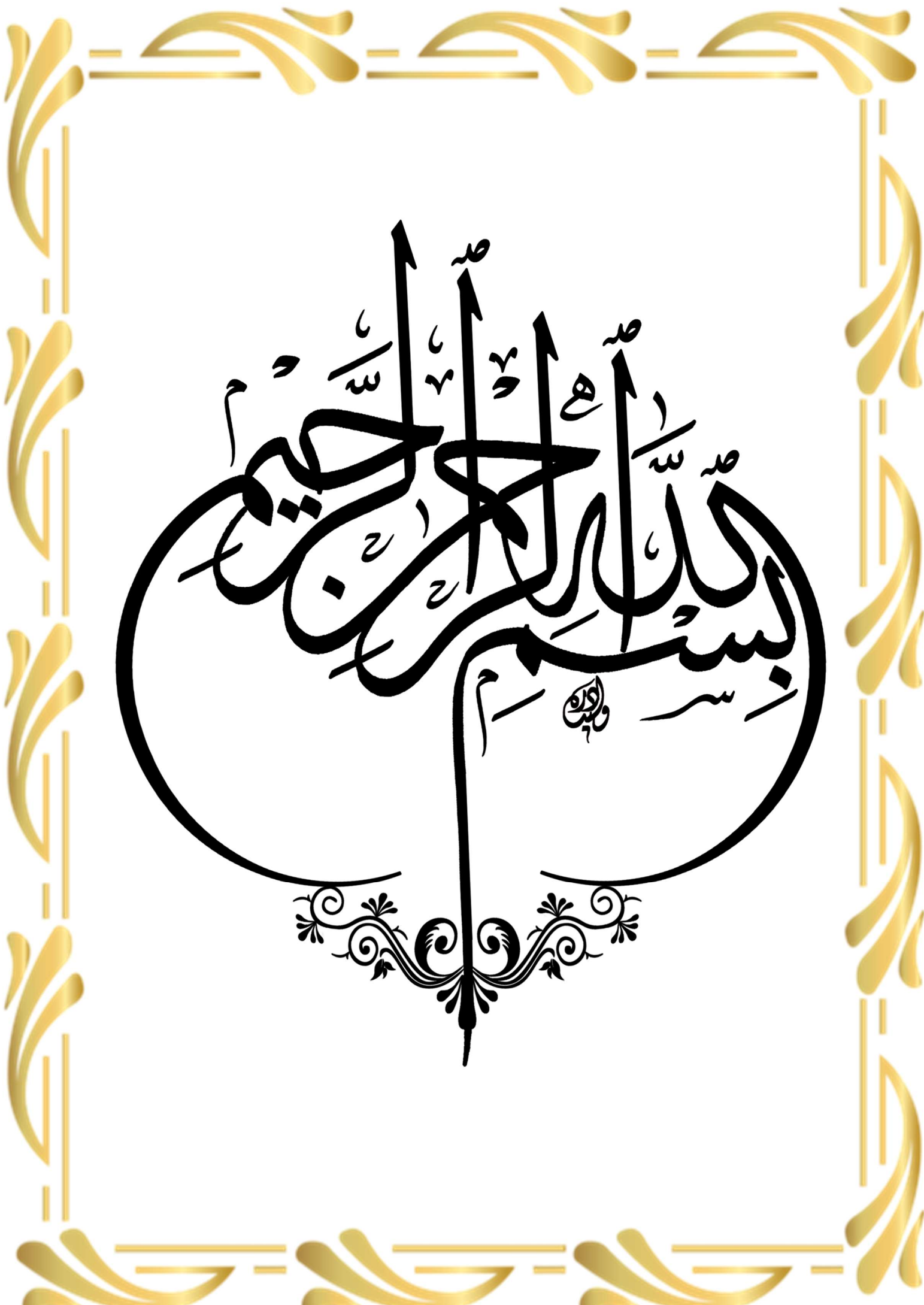

Le : 17 /06/2025

Devant le jury :

M. Bousalsal Boualem	Président	MCA	UKM Ouargla
M. Satouh Adel	Encadrant	MCA	UKM Ouargla
Mme. Chemam Asma	Examinatrice	MCB	UKM Ouargla

**Année universitaire : 2024/2025**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





## Remerciements

**Louange à Dieu par la grâce duquel les bonnes choses s’accomplissent. C’est avec Sa bénédiction que j’ai pu achever ce mémoire, après un parcours rempli d’efforts, de persévérance et de patience.**

**J’adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à mon encadrant, Monsieur SATOUGH Adel, pour son précieux soutien, ses orientations judicieuses et sa patience tout au long de l’élaboration de ce travail.**

**Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à l’ensemble des enseignants du Département de Géologie pour les connaissances et les compétences qu’ils nous ont transmises durant toutes ces années d’étude.**

**À toutes les personnes qui m’ont aidé, ne serait-ce que par un mot ou un conseil, je dis :**

**Que Dieu vous récompense et vous bénisse.**





## **Dédicace**

**À celle qui a semé en moi l'amour du savoir et de la connaissance...**

**À celle qui fut la lumière de mon chemin et le refuge dans mes moments d'épreuve...**

**À mes chers parents,**

**Merci pour votre force, votre patience, et vos prières qui m'ont soutenu à chaque**

**instant.**

**Vous êtes la lumière qui a illuminé mon chemin. Aucune parole de gratitude ne saurait**

**exprimer ce que vous m'avez offert.**

**À mes frères et à ma sœur, à mon pilier et mon repère inébranlable.**

**À mes camarades et compagnons de route, à tous ceux qui m'ont soutenu par un mot, un**

**sourire, ou même par un silence que seul le cœur peut comprendre...**

**À tous ceux qui ont laissé une empreinte dans mon parcours scientifique et humain...**

**Je dédie le fruit de cet humble travail, en signe de reconnaissance et de fidélité.**

## Résume:

La nature, les propriétés physico-chimiques ainsi que le degré de développement des sols issus de l'altération du socle métamorphique du Cap Bougaroun (région de Collo) sont contrôlés par plusieurs facteurs, notamment les conditions hydro climatiques, la géomorphologie, et la diversité des faciès lithologiques composant ce socle cristallin et cristallophyllien, constitué principalement de roches métamorphiques ainsi que de roches magmatiques ultramafiques et felsiques.

L'étude montre que les sols sont bien développés au pied des montagnes, où ils se présentent sous forme de colluvions et d'alluvions, tandis qu'au niveau des sommets, les sols restent peu évolués.

Les analyses granulométriques et minéralogiques indiquent que ces sols présentent une texture argileuse.

Par ailleurs, l'analyse géochimique des sels solubles révèle que les sols issus du substrat cristallin sont Globalement pauvres.

**Mots-clés :** le sol, Cap Bougaroun (Collo), les caractéristiques physico-chimiques et minérales, altération, pédologie.

## ملخص :

تتحكم عدة عوامل في طبيعة وخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية، وكذلك في درجة تطورها، الناتجة عن تجوية صخور القاعدة المتحولة في رأس بوقرون (منطقة القل)، ومن بين هذه العوامل: الظروف المناخية المائية، الطوبوغرافيا، وتنوع الوجوه الصخرية المكونة لهذا الأساس البلوري والمتحول، الذي يتكون أساساً من صخور متحولة وصخور نارية فوق مافية وحمضية.

تُظهر الدراسة أن التربة في منطقة البحث متطورة بشكل جيد عند سفوح الجبال، حيث تتواجد على شكل رواسب منجرفة (كولوفيون) ورواسب نهريّة (ألوفيون)، بينما تبقى التربة أقل تطوراً على قمم الجبال.

كما تكشف التحاليل الحبيبية والمعدنية عن أن هذه التربة ذات طبيعة طينية.

أما التحليل الجيوكيميائي للأملح الذائبة، فيوضح أن التربة، المشتقة من قاعدة صخرية بلورية، فقيرة إجمالاً بالكربونات

**الكلمات المفتاحية :** التربة، راس بوقرون (القل) ، الخصائص الفيزيو كيميائية و المعدنية ، تجوية ، البيدولوجيا.

## Abstract:

The nature, physico-chemical properties, and the degree of development of soils derived from the alteration of the metamorphic basement of Cap Bougaroun (Collo region) are controlled by several factors, including hydro climatic conditions, geomorphology, and the diversity of lithological facies forming this crystalline and cristallophyllian basement, composed mainly of metamorphic rocks as well as ultramafic and felsic magmatic rocks.

The study shows that soils are well developed at the foot of the mountains, appearing as colluvial and alluvial deposits, whereas soils located at the summits remain poorly developed.

Granulometric and mineralogical analyses reveal that these soils.

**Keywords:** soil, Cap Bougaroun (collo), physico-chemical and mineralogical properties, weathering, pedology.



## Table des matières

Remerciements .....	I
Dédicace .....	II
Résumé:.....	III
Table des matières.....	V
Liste des figures .....	VII
Liste des tableaux .....	IX
Introduction générale : .....	X

### Chapitre 1 : Cadre général et géologique de la zone d'étude

I. Cadre général de l'étude .....	4
I.1. Situation géographique.....	4
I.1.1. Délimitation administrative.....	4
I.1.2 Limites géographiques de la région de Collo .....	4
I.1.3 Importance géographique de la région de Collo :.....	5
I.2. Caractéristiques topographiques et géomorphologiques:.....	6
I.2.1. Couverture végétale et usage écologique : .....	6
I.2.2. Hydrologie : .....	6
I.2.3. Le Relief : .....	7
I.2.4 . L'hydrographie : .....	9
I.2.5. Hydro-climatologie :.....	10
II. Cadre géologie de la zone.....	12
II.1. LITHOLOGIE DE LA REGION DE COLLO ET CAP BOUGAROUN :.....	12
II.1.1. Les Roches Métamorphiques : .....	12
II.1.2. Les Roches Sédimentaires :.....	13
II.1.3. Les Roches Magmatiques : .....	13
II.2 Interet, Methodes D'étude et Classification des Sols .....	14
II.2.1. Définition du sol.....	14
II.2.2. Les Composantes d'un sol.....	14
II.2.3 Processus de formation d'un sol (pédogenèse) .....	16
II.3. Conséquences de l'altération dans le contexte géologique régional .....	17
II.4.Fonctions écologiques du sole .....	18
II.5. Les types de sols montagnards et leurs caractéristiques .....	18
Conclusion.....	19

### Chapitre 2 : Matériel et Méthode

I. Echantillonnage Description des affleurements et.....	21
II. Méthodes d'étude des caractéristiques physicochimiques du sol du secteur étudié.....	24
II.1. La mesure du PH du sol :.....	24

II.2. La conductivité Electrique (CE) : .....	24
I.3. L'analyse granulométrique : .....	29
III.1. Analyse minéralogique à l'aide du microscope binoculaire de la fraction grossière de la sole étudié .....	32
III.2. L'étude de la fraction argileuse des sols du périmètre étudié.....	33
III.2.1. Méthode de séparation de la fraction argileuse.....	34
III.2.2. Détection des minéraux argileux par diffraction des rayons X (XRD) en utilisant une pâte saturée.....	35

### **Chapitre 3 : Résultats et interprétations**

I. Résultats et interprétations d'étude des caractéristiques physicochimiques du sol du secteur étudié .....	38
I.1. Les mesures du PH et de la conductivité Electrique (CE) du sol étudié.....	38
I.2. Les teneurs des éléments de bases échangeables dans les soles étudiées .....	42
I.2.2. Résultats et interprétations de l'Analyse granulométrique des soles de la zone de l'étude .....	44
I.2. Résultats de l'analyse minéralogique à l'aide du microscope binoculaire de la fraction grossière du sol étudié .....	47
I.3.2. Résultats et interprétations de de l'étude de la fraction fine du sol étudié .....	48
CONCLUSION .....	38
bibliography .....	55

## Liste des figures

### Chapitre 1 : Cadre général et géologique de la zone d'étude

Figure I.01: Carte de la situation de la zone d'étude (Collo).....	5
Figure I.02: hydrogéologie de la zone de Collo .....	7
Figure I.03: cadre des reliefs de la zone de Collo .....	8
Figure I.04: Histogramme montre la variation de changement de température moyen.....	11
Figure I.05: Histogramme montre la variation de changement de la ville Collo (climat - data.Org).....	12
Figure I.06: (a) Les grands ensembles géologiques de la chaîne des Maghrébides ; (b) Les ensembles géologiques de la petite Kabylie d'après (Mahjoub, 1991). UB : Unité Bougaroun ; UBF : Unité des Beni Ferguene ; USK : Unité de Socle Sens. Strict ; UIK : Unités infra Kabyles ; (a) complexe de roches vertes volcano-detritiques de Texana (Sendouah Tabellout) ; (b) Unités mauritaniennes ; GN : Nappes numidiennes ; OMK : Oligo-Miocène-Kabyle ; $\delta m$ : Granites miocènes .....	14
Figure II.07: Profil d'altération typique dans les terrains cristallins et cristallophylliens. (A) sur roche schisto-gréseuse et (B) sur roche granitique (Thomas, 1999).....	17

### Chapitre 2 : Matériel et Méthode

Figure I.08: Carte géologique simplifiée présentant les affleurements des terrains du secteur de l'étude et les points de l'échantillonnage des sols de cette étude.....	21
Figure I.09: Profil d'altération des affleurements des terrains cristallins et cristallophylliens du secteur de l'étude. (A) Développement du sol au niveau du socle cristallin micro granitique. (B) Développement du sol au niveau des terrains Ultramafiques. ....	22
Figure II.10: Photos illustrant les étapes et le matériel utilisé l'ordre de la préparation de l'extrait du sol pour la mesure Ph et CE du sol du secteur étudié.....	25
Figure II.11: Schéma du protocole expérimental de la pâte saturée .....	27
Figure II.12: Photo montrant Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY) utilisé dans les analyses des cations des échantillons de sol de la zone étudiée,.....	29
Figure II.13: photo des Appareils utilisés dans le traitement granulométrique des échantillons de sol prélevés du secteur étudié. (A) opération de quartage et homogénéisation. (B) le lavage à l'aide de l'ultrason. (C) opération de séchage à l'aide de l'étuve. (D) Matériel de granulométrie.....	30
Figure III.14: photo de la loupe binoculaire.....	33
Figure III.15: Photo montrant Le matériel ainsi que les étapes à suivre pour l'étude de la fraction argileuse. (A) dispersion des particules du sol. (B) l'étape de la décantation. (C) photo montrant le diffractogramme utilisé (laboratoire de géologie de Sahara université Ouargla). 36	

### Chapitre 3 : Résultats et interprétations

Figure I.16: Graphe des résultats d'analyses statistiques par GRADISTAT des différentes fractions granulométriques de la zone de l'étude.....	46
---	----

Figure I.17: Graphe des résultats d'analyses statistique par GRADISTAT des différentes fractions granulométriques de la zone de l'étude.....	47
Figure I.18: photo montre les minéraux constituant le sol prélevé de la région de l'étude. ....	48
Figure I.19: Diffractogramme montre les minéraux argileux constituant le sol prélevé de la région de l'étude.....	49
Figure I.20: Diffractogramme montre les minéraux argileux constituant le sol prélevé de la région de l'étude.....	50

## Liste des tableaux

### Chapitre 1 : Cadre général et géologique de la zone d'étude

Tableau I.01: Tableau montre les températures minimales et maximales moyennes de la ville de Collo. ....	11
Tableau I.02: Tableau montrant les moyennes mensuelles des précipitations.....	12
Tableau II.03: Minéraux argileux d'un sol brun forestier sur granite.....	16
Tableau II.04: montre les types de sols montagnards et leurs caractéristiques.....	18

### Chapitre 2 : Matériel et Méthode

Tableau I.05: Tableau des caractéristiques des échantillons de sole prélevés du secteur de l'étude.....	23
Tableau II.06: Tableau des cations échangeables et leurs principales origines et leurs effets sur le sole.....	25

### Chapitre 3 : Résultats et interprétations

Tableau I.07: Tableau représentant les valeurs des mesures de la PH et de la conductivité électrique des échantillons de sole du secteur de l'étude. ....	39
Tableau I.08: Tableau représentant les valeurs des mesures de la PH et de la conductivité électrique des échantillons de sole granitique. Parkhomenko, E.I. (1967) .....	39
Tableau I.09: Valeurs typiques de la conductivité électrique et de l'état hydrique de matériaux dérivés des roches ultrabasiqes. ....	40
Tableau I.10: Tableau des valeurs typiques du PH des sol ultramafiques .....	40
Tableau I.11: Tableau des résultats d'analyses des bases échangeables de la zone de l'étude.	42
Tableau I.12: Tableau des résultats d'analyses granulométrique de la zone de l'étude.....	44
Tableau I.13: Tableau des résultats d'analyses statistique par GRADISTAT des différentes fractions granulométriques de la zone de l'étude.....	45
Tableau I.14: Tableau des caractéristiques cristallographiques de montmorillonite. ....	48
Tableau I.15: Tableau des caractéristiques cristallographiques de la sponites. ....	49

## **Introduction générale :**

## **Introduction générale :**

L'étude des sols constitue un aspect fondamental des sciences de la Terre, car elle fournit des informations précieuses sur l'évolution de la couverture pédologique et sa relation avec la roche mère, ainsi que sur les transformations physiques et chimiques résultant des processus d'altération. Ces recherches prennent une importance particulière dans les régions montagneuses à structure géologique complexe, comme la région de Collo (Cap Bougaroun), située dans la chaîne des petites Kabylie (wilaya de Skikda), qui représente un modèle pertinent pour l'étude de l'évolution des sols sous l'influence de facteurs géologiques et climatiques variés.

Les sols de cette région présentent une grande diversité de caractéristiques structurales et minéralogiques, en raison de la variété des formations rocheuses sous-jacentes, notamment des roches métamorphiques (métapélites, schistes), des roches magmatiques ultrabasiques ainsi que des roches sédimentaires, en plus de l'influence d'un climat méditerranéen humide. Ces conditions ont conduit à la formation de sols à niveaux de développement variables, allant des sols argileux riches jusqu'aux sols colluviaux et alluviaux formés par les dépôts des matériaux transportés.

Cette étude vise à déterminer les propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des sols de la région de Collo, à travers :

- L'évaluation de l'impact des facteurs climatiques et topographiques sur le
- développement et la distribution des sols dans la zone étudiée.
- Mesure des concentrations des éléments échangeables dans le sol étudié et établir la
- relation entre la lithologie des terrains étudiés et les Seles nutritifs dans la région.
- L'Etude granulométrique (détermine paramètre granulométrique).
- L'étude minéralogique à l'aide de (DRX, BINICULAIRE).

Ce travail représente une contribution scientifique visant à améliorer la compréhension des caractéristiques pédologiques et géologiques des sols de la région de Collo, tout en fournissant une base de données utile pour les domaines agricoles, la gestion des ressources naturelles, ainsi que pour les plans environnementaux et déterminer l'influence de différents facteurs géologiques comme la lithologiques sur la nature des soles de la région .

❖ **Plan de travail :**

- **Introduction générale**
- **Premier chapitre :** Cadre général et géologique de la zone d'étude
- **Deuxième chapitre :** Matériel et Méthode
- **Troisième chapitre :** Résultats et interprétations
- **Conclusion générale.**

# **Chapitre 1 : Cadre général et géologique de la zone d'étude**

## I. Cadre général de l'étude

### I.1. Situation géographique

#### I.1.1. Délimitation administrative

La région de Collo est située au nord-est de l'Algérie, dans la partie occidentale de la wilaya de Skikda. Elle fait partie intégrante de la Petite Kabylie, une zone montagneuse appartenant à l'Atlas tellien oriental. Elle s'étend approximativement entre la latitude 36°52' et 36°57' Nord, et la longitude 6°20' et 6°32' Est (Fig. 1). Elle s'ouvre au nord sur la mer Méditerranée, ce qui lui confère un caractère de transition entre les reliefs montagneux de l'intérieur et le littoral.

#### I.1.2 Limites géographiques de la région de Collo

Région de Collo est délimitée comme suit

- **Au nord** : la mer Méditerranée.
- **À l'est** : la commune de Tamalous.
- **Au sud** : les hauteurs de l'Atlas tellien et les chaînes montagneuses de la Petite Kabylie.
- **À l'ouest** : les limites administratives de la wilaya de Jijel (commune de Selma Ben Ziada).

Le relief y est contrasté, composé de côtes rocheuses, de collines de moyenne altitude et de massifs montagneux.

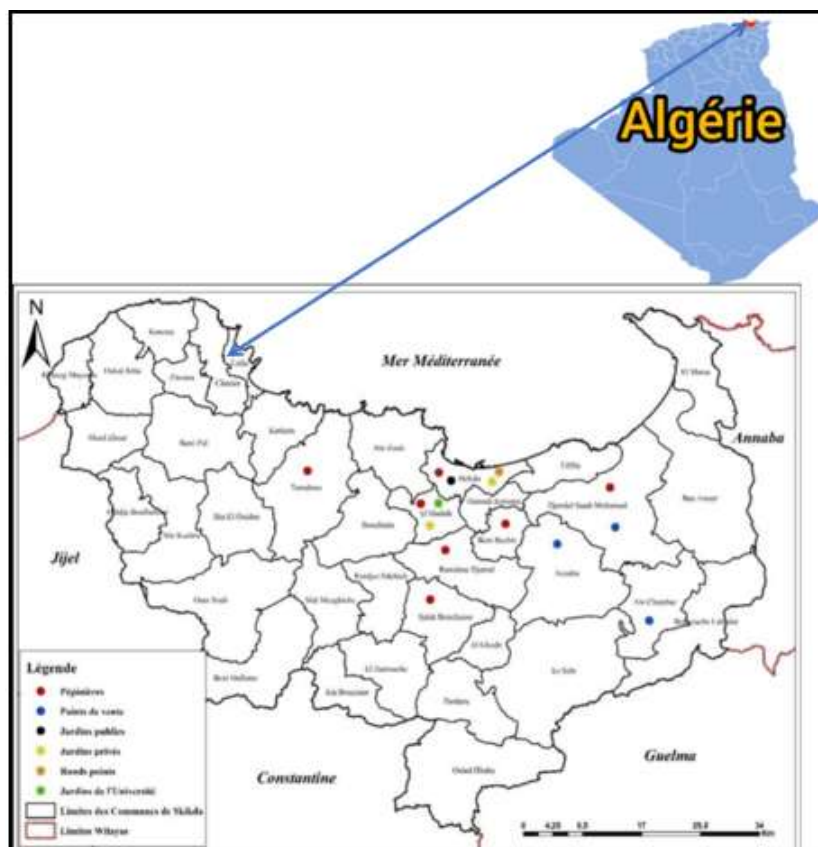


Figure I.01: Carte de la situation de la zone d'étude (Collo).

### I.1.3 Importance géographique de la région de Collo :

La région de Collo présente une importance géographique notable à plusieurs niveaux :

Du point de vue géologique, elle se situe à l'intersection de structures côtières et de nappes telliennes, ce qui explique la grande diversité lithologique et structurale, influençant directement la nature des sols.

Sur le plan pédologique, le relief montagneux et les fortes pentes favorisent une dynamique active de l'érosion et de l'altération, déterminant la formation de sols variés.

Du point de vue climatique, sa position littorale lui confère un climat méditerranéen humide à subhumide, propice à l'altération chimique et physique des roches. (Remini, B. (2010). L'érosion hydrique en Algérie. Revue des Sciences de l'Eau.)

La zone d'étude couvre une superficie d'environ 45 548 hectares, répartie entre quatre daïras principales relevant de la wilaya de Skikda :

- **Daïra de Collo (8 227 ha) :** comprenant les communes de Collo, Chéraïa, et Béni Zid.
- **Daïra de Zitouna (6 735,25 ha) :** incluant les communes de Zitouna et Kanoeu.

- **Daïra d'Ouled Attia (16 460,75 ha)** : regroupant Ouled Attia, Oued Z'hor, et Khenak Mayoune.
- **Daïra d'Aïn Kechra (14 168,25 ha)** : avec les communes d'Aïn Kechra et Ouldja Boulballout.

## **I.2. Caractéristiques topographiques et géomorphologiques:**

La région de Collo se caractérise par un relief montagneux de moyenne altitude, variant entre 900 et 980 mètres, avec des pentes marquées surtout dans les zones proches du littoral. Le relief présente un dégradé altimétrique du sud vers le nord, rendant la zone sensible aux phénomènes d'érosion, notamment pendant les saisons pluvieuses.

Les sols y sont généralement peu développés, reposant sur des substrats rocheux compacts, et subissent une influence directe des processus d'altération physique et chimique.

### **I.2.1. Couverture végétale et usage écologique :**

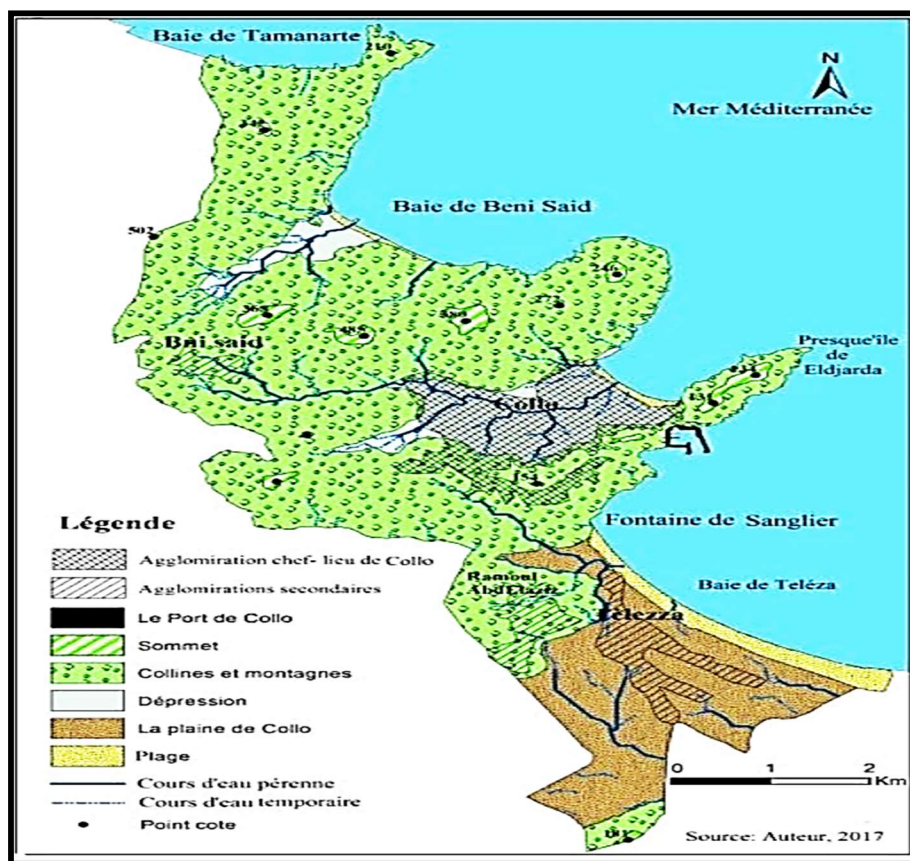
Le paysage est dominé par une couverture forestière dense, principalement composée de chêne-liège (*Quercus suber*), accompagnée de plantations de pin maritime (*Pinus pinastre*) issues de reboisements. Ces forêts représentent environ 30 % de la production nationale de liège, ce qui confère à la région une importance économique non négligeable (Fig. 2).

Cette couverture végétale contribue à la stabilisation des sols, bien qu'elle soit menacée chaque année par les incendies saisonniers, qui réduisent la biomasse et modifient l'équilibre écologique local.

### **I.2.2. Hydrologie :**

La région constitue un important bassin versant, source de plusieurs oueds majeurs, notamment

- **Oued Hummel el-Kebir.**
- **Oued Z'hor.**
- **Oued Saf-SAF Oued Collo, qui se jette directement dans la mer.**



**Figure I.02: Le territoire communal de Collo ;**

**une matrice des microsysteme(Agaguenia,S,Zegiche,A.(2018) la petite ville en milieu mongneux...)**

### I.2.3. Le Relief :

La région d'étude se distingue comme l'une des zones les plus accidentées du territoire national. Cette particularité s'explique par l'organisation du relief autour d'une chaîne montagneuse principale orientée Nord-Sud, qui prend naissance dans la région d'Aïn Kechra (362 m), s'élève rapidement à travers le Djebel Sidi Achour (717 m), pour culminer au Djebel El Goufi à une altitude de 1183 m, point ne culminant du secteur.

Au nord du Djebel El Goufi, la morphologie devient plus complexe en raison de l'interférence entre la dorsale principale et plusieurs lignes de crêtes secondaires à orientation Est-Ouest, engendrant la formation de petits plateaux étagés comme le plateau de Kanoua, et traduisant ainsi une dynamique géomorphologique riche et structurée.

Ce massif s'avance vers le nord en direction de la mer Méditerranée, formant un promontoire imposant, de forme grossièrement semi-circulaire (Fig. 3), connu sous le nom de Cap Bougaroun. Il est entaillé par de nombreux ravins profonds qui forment souvent des

gorges étroites parcourues par des oueds à écoulement permanent, ce qui accentue le caractère fortement disséqué et chaotique du relief local.

L'altitude moyenne est relativement élevée, avec des sommets proéminents situés à proximité immédiate du littoral, notamment sur les versants nord et ouest de la presqu'île du cap Bougaroun. On peut citer à titre d'exemples :

- **Koudiat Sidi Embarek (805 m), à seulement 2,5 km de la côte.**
- **Koudiat Mechoulda (740 m), à environ 2 km de la falaise occidentale.**

La pente moyenne est généralement très forte, favorisant les phénomènes d'érosion et d'instabilité des versants.

Les massifs entourant l'oued Tamanart présentent un relief typique jeune et en pleine évolution morpho dynamique, fortement influencé par un régime pluviométrique élevé, une topographie abrupte et une proximité immédiate entre les sources des oueds et leur débouché en mer, ce qui engendre des taux d'érosion très élevés et accélère les transformations géomorphologiques dans ce contexte montagnard.

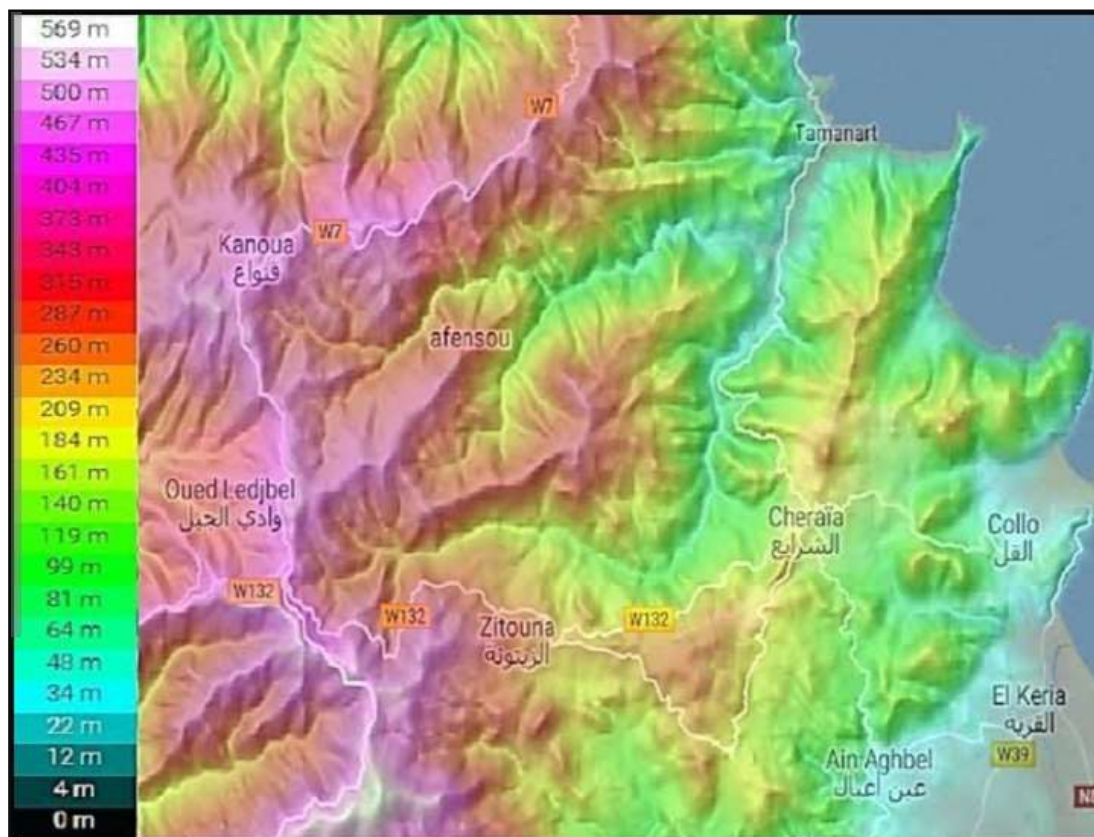


Figure I.03: Fig. 03: La Géomorphologie de la zone de l'étude (la région de la Collo)  
(topographic-map.com)

#### I.2.4 . L'hydrographie :

La région de Collo se caractérise par un réseau hydrographique dense et complexe, façonné par l'interaction entre la structure géologique ancienne et la topographie accidentée. Ce réseau se divise en plusieurs bassins versants principaux :

- Le bassin versant de l'Oued Tamanart : situé au nord-ouest de la ville de Collo, il prend sa source au col de Taras, longe les contreforts de Zitouna, puis contourne par le sud-est le massif imposant du Djebel Ghorbah. Sur sa rive gauche, il reçoit deux affluents importants : l'Oued Bou N'ébat et surtout l'Oued Mekkarrat (également connu sous le nom d'Oued Affensou).
- Le bassin versant de l'Oued Guergoura : à l'est, l'Oued Guergoura, affluent de l'Oued Guebli, prend naissance près d'Aïn Kechra (Oued Elle Zeggar) et draine les eaux issues du versant oriental de la grande dorsale nord-sud, depuis Aïn Kechra jusqu'au Djebel Goufi. Parmi ses principaux affluents de la rive gauche figurent l'Oued El Ouara, l'Oued Béni Zid et l'Oued Zadra.
- Le bassin versant de l'Oued Siaba : localisé au sud-ouest, il constitue un affluent de l'Oued Kebir (Rhumel). Il prend naissance dans les hauteurs méridionales de la région. L'Oued Asfora, qui draine la partie occidentale de la dorsale dans la commune d'Aïn Kechra, est son principal affluent.
- Le bassin versant de l'Oued Z'hor : c'est le plus vaste bassin de la zone. Sa ligne de crête forme approximativement un rectangle délimité par le Djebel Di El Mezara et le Djebel Bou Bazil. L'Oued Z'hor, avec ses nombreux affluents, délimite plusieurs massifs importants, notamment deux ramifications secondaires de la grande dorsale méridienne : la montagne de Khenak El Laffeur et celle du Djebel Tamazouch.
- Le versant occidental du littoral : de l'embouchure de l'Oued Z'hor à celle de l'Oued Damous, aucun oued majeur ne draine exclusivement les pentes abruptes du massif granitique ou micashiste qui surplombe la mer de plus de 600 m (comme la Koudiat

Mechlouda à 740 m). Une série de petits oueds, pour la plupart anonymes, assurent cette fonction de drainage.

- Le bassin versant de l'Oued Damous : situé au nord-ouest, il est symétrique à celui de l'Oued Tamanart par rapport à la dorsale méridienne et constitue le plus petit bassin de la région. Il est caractérisé par une multitude de ravins qui convergent vers la gouttière centrale formée par l'Oued Damous, lequel se jette dans la mer à travers une gorge étroite.
- Le versant nord de la presqu'île du Cap Bougaroun : cette zone très pentue est enclavée entre la mer et une crête continue en forme d'arc, légèrement concave vers le nord, culminant au Djebel Aguilman (974 m). La zone d'étude ne couvre qu'une petite partie de ce versant, principalement représentée par le bassin versant de l'Oued El Kebir à l'ouest, près de Ras El Kmaken.

Toutes les vallées de la région sont d'origine tectonique et remontent au Pliocène. Leur régime d'écoulement est permanent, favorisé par un climat particulièrement humide en hiver. Ce régime joue un rôle crucial dans la recharge de la nappe alluviale et dans le maintien de l'équilibre hydrogéologique de la région.

### **I.2.5. Hydro-climatologie :**

La région de Collo bénéficie d'un climat méditerranéen. Elle est située dans une Région Classée parmi les zones les plus arrosées d'Algérie.

Les facteurs de première importance sont la température et la précipitation

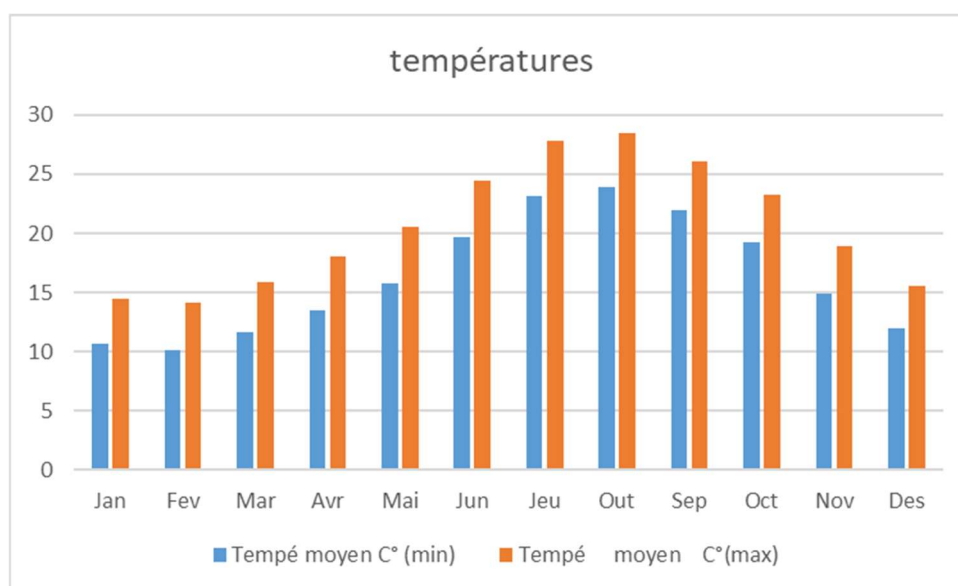
#### **a) La température :**

La température est facteur très important, car elle conditionne l'évaporation (Tableau .1)

Le tableau des températures de la ville de Collo et l'histogramme (Fig.4) montre que la moyenne la plus élevée de la température maximale est enregistrée en août, atteignant 28,5 degrés Celsius. En revanche, la ville connaît la moyenne la plus basse de la température minimale en février, avec 10,1 degrés Celsius

**Tableau I.01:** Tableau montre les températures minimales et maximales moyennes de la ville de Collo.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jeu	Out	Sep	Oct	Nov	Dec
Tempé moyen C° (min)	10,66	10,1	11,6	13,5	15,8	19,7	23,1	23,9	21,9	19,2	14,9	12,0
Tempé moyen C°(max)	14,5	14,2	15,9	18,0	20,5	24,4	27,8	28,5	26,1	23,3	18,9	15,6



**Figure I.04:** Histogramme montre la variation de changement de température moyen

**b) Les précipitations**

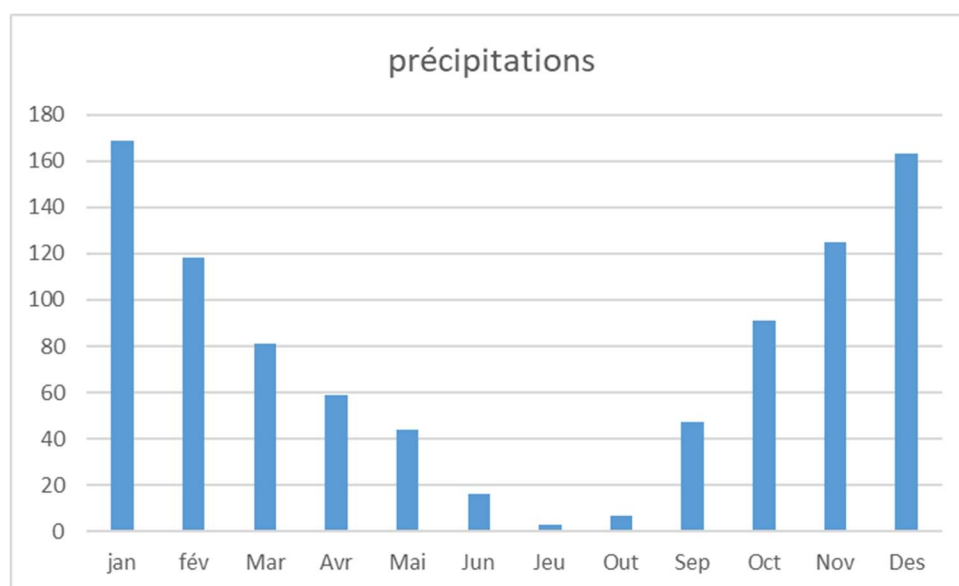
Généralement, nous englobons sous le terme de « précipitations », toutes les eaux (pluie, neige, grêle ...).

Les précipitations sont évidemment le facteur essentiel des régimes hydrologiques

Puisqu'elles constituent la matmois le plus sec est juillet (5 mm). La précipitation annuelle est d'ordre Tab.2 et Fig. 5).

**Tableau I.02:** Tableau montrant les moyennes mensuelles des précipitations

Mois	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Jun	Jeu	Out	Sep	Oct	Nov	Des
Précip (mm)	169	118	81	59	44	16	3	7	47	91	125	163



**Figure I.05:** Histogramme montre la variation de changement de la ville Collo (climat - data.Org)

## II. Cadre géologie de la zone

### II.1. LITHOLOGIE DE LA REGION DE COLLO ET CAP

#### BOUGAROUN :

La région de Collo et Cap Bougaroun, située dans la zone côtière de l'Atlas Tellien, présente une diversité géologique qui reflète une histoire tectonique complexe (Fig. 06°).

#### II.1.1. Les Roches Métamorphiques :

Les roches métamorphiques forment la base géologique de la région, incluant :

- **Le gneiss :** Ce sont des roches métamorphiques à texture foliacée, composées principalement de quartz, de feldspath et de mica.
- **Le micaschiste :** Ce sont des roches métamorphiques riches en mica, avec un feuilletage bien développé

- **L'amphibolite** : Ce sont des roches métamorphiques sombres, composées principalement d'amphibole et de feldspath.
- **La serpentinite** : Ce sont des roches métamorphiques résultant de la transformation de roches ultrabasiqes, caractérisées par une couleur verte et utilisées comme pierre décorative.

Les études montrent que la serpentinite de la région de Cap Bougaroun possède de la composition lithologique de la région de Collo et Cap Bougaroun

### II.1.2. Les Roches Sédimentaires :

Les roches sédimentaires recouvrent les roches métamorphiques et comprennent :

- **Le calcaire** : Ce sont des roches sédimentaires carbonatées composées principalement de carbonate de calcium, datant du Jurassique.
- **La dolomite** : Ce sont des roches sédimentaires carbonatées contenant du carbonate de calcium et du magnésium, datant également du Jurassique
- **La marne** : Ce sont des roches sédimentaires composées d'un mélange d'argile et de carbonate de calcium,
- **L'argile** : Ce sont des roches sédimentaires très fines, composées de minéraux argileux, datant du Crétacé.

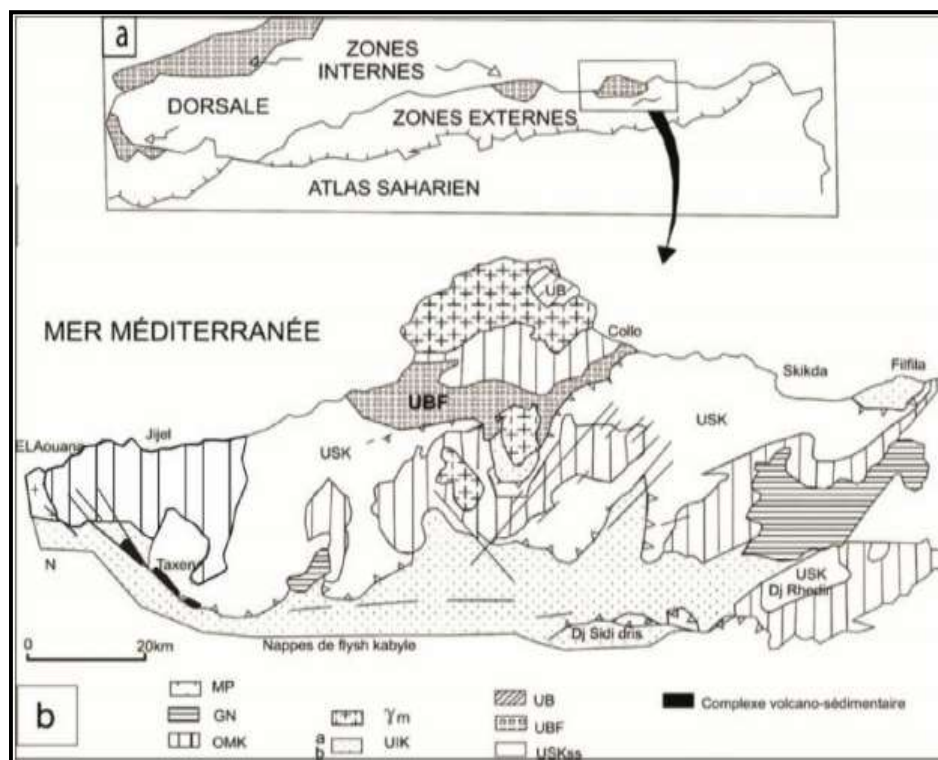
### II.1.3. Les Roches Magmatiques :

Les roches magmatiques sont présentes de manière limitée dans la région et comprennent:

- **Le basalte** : Ce sont des roches magmatiques volcaniques sombres, composées principalement de plagioclase et de pyroxène.
- **La diorite** : Ce sont des roches magmatiques plutoniques à composition intermédiaire, constituées principalement de plagioclase et d'hornblende.

Les études suggèrent que ces roches magmatiques témoignent d'une activité magmatique ancienne liée à la tectonique des plaques dans la région.

Cette diversité lithologique reflète une histoire géologique complexe dans la région de Collo et Cap Bougaroun, où les formations métamorphiques, sédimentaires et magmatiques se superposent, ce qui rend cette zone d'une grande importance géologique.



**Figure I.06:** (a) Les grands ensembles géologiques de la chaîne des Maghrébides ; (b) Les Ensembles géologiques de la petite Kabylie d'après (Mahjoub, 1991). UB : Unité Bougaroun ; UBF : Unité des Beni Ferguene ; USK : Unité de Socle Sens. Strict ; UIK : Unités infra ; Kabyles ; (a) complexe de roches vertes volcano-detritiques de Texana(Sendouah Tabellout) ; (b) Unités mauritaniennes ; GN : Nappes numidiennes ; OMK : Oligo-Miocène-Kabyle ; δm : Granites miocènes

## II.2 Interet, Methodes D'étude et Classification des Sols

### II.2.1. Définition du sol

Le sol est une fine couche superficielle de la croûte terrestre, résultant de la transformation des roches (altération physique, chimique et biologique) sous l'influence de facteurs climatiques, biologiques, topographiques et temporels. C'est un système complexe, dynamique et vivant, composé de matière minérale, matière organique, eau, air et organismes vivants. Il joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes, l'agriculture, le cycle de l'eau et le stockage du carbone.

### II.2.2. Les Composantes d'un sol

#### a) Phase minérale

- Sables, limons, argiles — issus de la désagrégation de la roche mère.

La destruction des roches se fait :

(1) par désagrégation mécanique qui donne des fragments et

(2) par altération chimique qui produit des ions solubles (cations, acide silicique...), des gels colloïdaux par hydratation et polymérisation des cations comme le fer et l'aluminium avec la matière organique et des argiles, constituants fondamentaux du sol.

L'ensemble constitue le complexe d'altération. L'altération demande de l'eau et une température suffisante ; elle est moyenne en climat tempéré, elle est maximale sous climat équatorial. Elle se fait par hydrolyse pour les roches silicatées (voir ci-dessus), par décarbonatation pour les roches calcaires (solubilisation du carbonate par le  $\text{CO}_2$  contenu dans l'eau). La désagrégation mécanique caractérise les climats froids ou désertiques.

Le complexe d'altération comprend la fraction argileuse héritée, transformée ou néoformée et d'autres constituants, cryptocristallins ou amorphes, comme les oxyhydroxydes de Fe, Al, Mn, Si, associés aux argiles et complexés avec l'humus.

Les minéraux argileux rencontrés dans un sol dépendent du type de sol et de la profondeur. L'illite est le minéral le plus abondant en climat tempéré (50 % environ), suivi du chlorite, des smectite et de la vermiculite ; la kaolinite est plus rare. Au cours de l'évolution du sol, l'illite et la chlorite, minéraux hérités de la roche, peuvent se transformer en vermiculite et smectite.

Les minéraux argileux peuvent fixer puis reléguer des cations métalliques : la Capacité d'Echange Cationique, ou C.E.C., dépend du type d'argile : elle est faible pour l'illite, le chlorite et la kaolinite mais importante pour la vermiculite et les smectite.

Sous l'action de l'altération et de la percolation de l'eau, les sols se différencient en plusieurs horizons :

- ❖ **Horizon A** : riche en matière organique et en éléments nutritifs.
- ❖ **Horizon B** : accumulation de minéraux secondaires tels que kaolinite et chlorite.
- ❖ **Horizon C** : composé de fragments de roche partiellement altérée.

Tableau II.03: Minéraux argileux d'un sol brun forestier sur granite.

horizon	argiles%	illite (%)	Vermiculite (%)	Chlorite (%)	interstratifiés (%)
A	15,6	Traces	30	20	50
B	9,4	Traces	30	30	40
C	9,3	Traces	30	35	35

b) **Phase organique :**

- Matière organique d'origine végétale et animale, en décomposition (humus).

c) **Phase liquide :**

- Solution du sol contenant des éléments dissous (nutriments, sels, etc.).

d) **Phase gazeuse :**

- Air du sol riche en CO<sub>2</sub>, nécessaire à la respiration racinaire et microbienne.

e) **Biosphère édaphique :**

- Ensemble des organismes vivants : bactéries, champignons, vers de terre, arthropodes, etc.

**II.2.3 Processus de formation d'un sol (pédogenèse)**

La formation des sols est un processus lent, influencé par :

- **L'altération physique et chimique** des roches (gel/dégel, hydrolyse, oxydation...)

Elle implique la transformation chimique des minéraux au contact de l'eau et des gaz. Les principaux processus sont :

- Carbonatation (dissolution des roches carbonatées).
- Oxydation (coloration rouge/brune due au fer).
- Hydrolyse (formation de minéraux argileux).
- **L'activité biologique** (plantes, micro-organismes, faune du sol)
- **Le climat** (température, précipitations)
- **La topographie** (pente, exposition)
- **Le temps** : plusieurs siècles à millénaires pour former un sol mature

### II.3. Conséquences de l'altération dans le contexte géologique régional

Les effets de l'altération dans la région de Collo et Ras Bougaroun présentent une importance géomorphologique et écologique significative, contribuant à la transformation du relief, à la formation des sols et à la stabilité des versants.

- **Libération des éléments minéraux**

L'altération chimique libère des nutriments essentiels à la croissance des plantes, tels que le calcium, le potassium et le magnésium, provenant de la décomposition des minéraux primaires.

- **Modification de la couleur des roches et des sols**

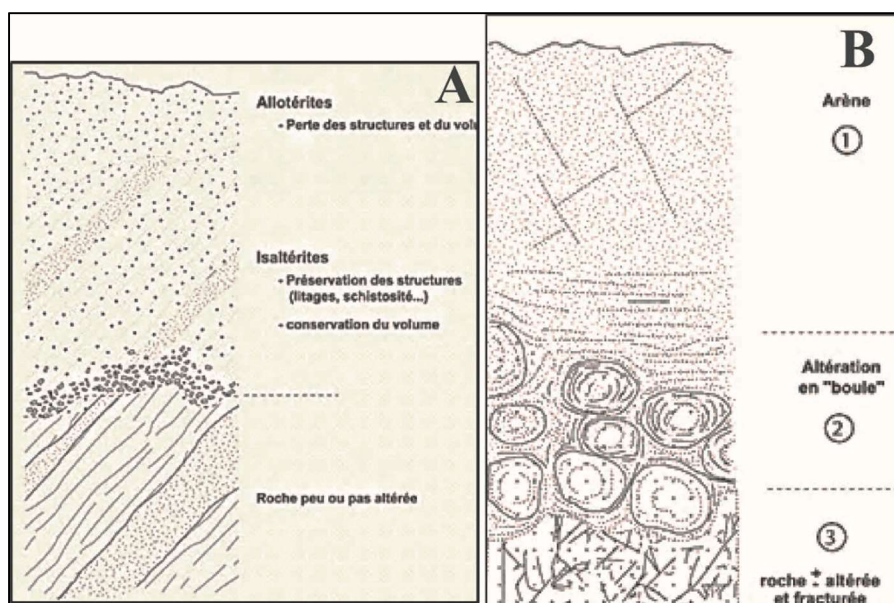
Sous l'effet de l'oxydation, les matériaux prennent des teintes rouges, brunes ou jaunes, indiquant le degré d'altération et d'évolution pédologique.

- **Perte de cohésion et sensibilité accrue à l'érosion**

Les roches altérées deviennent friables et vulnérables à l'érosion hydrique ou gravitaire, notamment sur les pentes exposées aux fortes précipitations.

- **Préparation du terrain aux processus d'érosion**

L'altération génère un matériau meuble (régolithe) susceptible d'être mobilisé par l'érosion, contribuant ainsi à la dynamique paysagère et à la sculpture du relief



**Figure II.07:** Profil d'altération typique dans les terrains cristallins et cristallophylliens. (A) sur roche schisto-gréseuse et (B) sur roche granitique (Thomas, 1999).

## II.4. Fonctions écologiques du sol

- **Support de la végétation** : ancrage des racines, fourniture d'eau et de nutriments.
- **Filtration et régulation de l'eau** : rôle de tampon dans le cycle hydrologique.
- **Réservoir de biodiversité** : les sols abritent environ **25 % de la biodiversité mondiale**.
- **Cycle des éléments** : dégradation de la matière organique, fixation d'azote, etc.
- **Stockage du carbone** : les sols contiennent environ **3 fois plus de carbone** que l'atmosphère.

## II.5. Les types de sols montagnards et leurs caractéristiques

Les sols évolués au niveau des montagnes sont influencés par des facteurs tels que l'altitude, la pente, la géologie, le climat et la végétation. Par exemple, les andosols se forment dans des environnements volcaniques, tandis que les rendosols se développent sur des substrats calcaires. La compréhension de ces sols est essentielle pour la gestion durable des écosystèmes montagnards.

**Tableau II.04:** montre les types de sols montagnards et leurs caractéristiques.

Type de sol	Andosols	Rendosols	Lithosols	Rankers	Néosols
<b>Origine</b>	volcaniques pyroclastiques	substrats calcaires ou dolomitiques	roches non altérées ou peu altérées	substrats siliceux, souvent granitiques	processus pédogénétiques récents
<b>Caractéristiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Horizon organique riche en matière organique.</li> <li>. Texture limoneuse ou sableuse.</li> <li>. pH variant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Peu profond</li> <li>. Horizon A calcaire riche en matière organique</li> <li>. PH basique (7,0 &lt; pH &lt; 8,7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Profil très mince</li> <li>. Présence de roche-mère à faible profondeur</li> <li>. Évolution pédologique lente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Sol acide, pauvre en bases.</li> <li>. Profil peu développé</li> <li>. Présence d'horizons illuviaux de fer.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Profil peu développé.</li> <li>. Présence de matériaux peu altérés.</li> <li>. Souvent associés à des milieux perturbés ou jeunes.</li> </ul>

## **Conclusion**

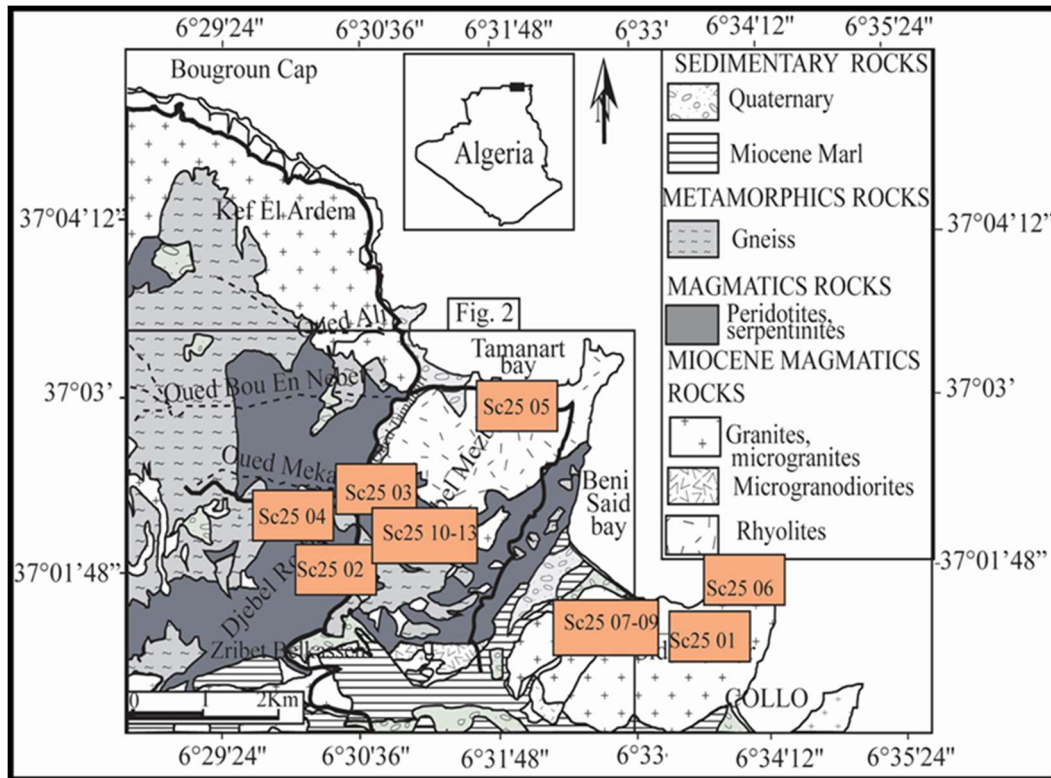
Le rôle fondamental de l'altération dans la formation et l'évolution des sols dans la région de Collo :

- Résultant d'interactions complexes entre les facteurs géologiques, climatiques et biologiques, les processus d'altération influencent profondément la structure.
- La composition minéralogique et la fertilité des sols.
- La diversité lithologique et le degré variable d'altération témoignent de l'histoire géologique et de la dynamique environnementale locale.
- L'altération apparaît non seulement comme un facteur de pédogenèse, mais également comme un indicateur précieux des transformations géomorphologiques et écologiques du territoire étudié

## **Chapitre 2 : Matériel et Méthode**

## I. Echantillonnage Description des affleurements et

Le secteur d'étude est situé à environ 3 km au Nord-ouest de la ville de COLLO et plus précisément à entre la latitude 37°01' et 37°04' Nord, et la longitude 6°29' et 6°34' Est (Figure 08). C'est une parcelle carrée de quelques centaines d'hectares appartenant aux domaines forestier du de la région du massif de COLLO.



**Figure I.08:** Carte géologique simplifiée présentant les affleurements des terrains du secteur de l'étude et les points de l'échantillonnage des sols de cette étude.

La cible principale de la campagne d'échantillonnage est les différents types de sols qui sont en relation génétique avec les terrains de socle.

Le choix d'un plan d'échantillonnage par contrôlés par un certain nombre de critères qui sont :

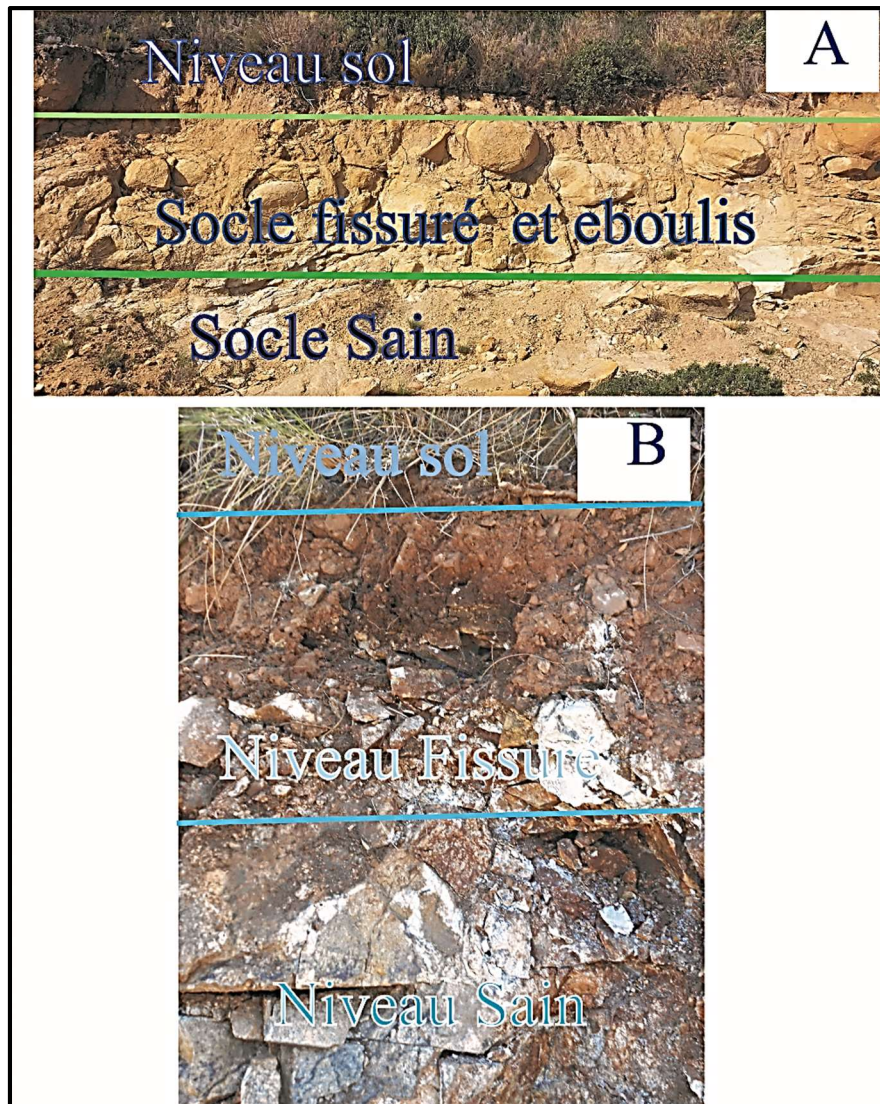
### - La lithologie

Les affleurements des différents facies lithologiques sont très variables et complexes

### - Le relief et Lieu d'échantillonnage

Elle joue un rôle très important dans le développement des sols du périmètre étudié. Une remarque très importante sur terrains, c'est que les sols localisées aux niveaux des zones hautes et les sommets des montagnes sont faiblement développés et ne dépassent pas les quelques centimètres d'épaisseurs. Les seules endroit où les sols sont bien développés et sont

localisés au pieds des montagnes sous forme de colluvions et des éboulis de pente au niveau des terrasses des chenaux et les Oueds comme celui de l'Oued Tamanart et au niveaux des terrains sédimentaires formées par les sédiments argileux du miocène qui sont en contact anormales avec les terrains du socle cristallins et cristallophylliens cible de cette étude (Figure 09).



**Figure I.09:** Profil d'altération des affleurements des terrains cristallins et cristallophylliens du secteur de l'étude. (A) Développement du sol au niveau du socle cristallin microgranitique. (B) Développement du sol au niveau des terrains Ultramafiques.

Au totale 13 échantillons représentatifs de soles dérivés des terrains de socle du secteur d'étude sont prélevés et font l'objet d'une multitude d'analyses physicochimiques et minéralogiques dont quatre échantillons de sole issue de l'altération météoriques des batholithe microgranitiques, un échantillon de la sole développée dans les rhyolites et une autre issue de l'altération hydrothermale des microgranites.

Sept autres échantillon développés dans les différents horizons du sole issue des terrains ultramafiques sont prélevés du site de l'étude.

La description lithologique ainsi que les observations macroscopiques de ces échantillons sont résumés sur le tableau suivant

**Tableau I.05:** Tableau des caractéristiques des échantillons de sole prélevés du secteur de l'étude.

<b>Echantillon Sole</b>	<b>Localisation du Terrain parent</b>	<b>Description macroscopique</b>
<b>Sc25 01</b>	Batholithe microgranitique situé sur une colline	Sole peu développé latéritique de couleur marron claire
<b>Sc25 02</b>	Pied de montage des terrains ultramafiques	Sole de 50 Cm d'épaisseur, noirâtre riche en matière organiques (horizon organique)
<b>Sc25 03</b>	Pied de montage des terrains ultramafiques près de l'oued TAMANART	Sole de 50 Cm d'épaisseur, verdâtre. A grains fins (horizon minéral)
<b>Sc25 04</b>	Terrains ultramafique	Peu développé de couleurs verdâtres à grains graveleux (horizon minéral)
<b>Sc25 05</b>	Sole développé sur terrains rhyolitique	Sole composé de sable argileux
<b>Sc25 06</b>	Sole développé sur terrains issue de l'altération hydrothermale des microgranites	Sole composé de sable argileux
<b>Sc25 07-08-09</b>	Sole développé au pied du batholithe microgranite	Sole de couleur noirâtre riche en matière organique (horizon O)
<b>Sc25 10-11-12-13</b>	Sole développé au d'une colline du massif ultramafiques	Déférents couleurs selon l'horizon échantillonné et le profil d'altération

## II. Méthodes d'étude des caractéristiques physicochimiques du sol du secteur étudié

### II.1. La mesure du PH du sol :

Ce paramètre est déterminé par la mesure de la concentration en des ions H<sup>+</sup> dans un extrait aqueux (terre/eau) (1/5) par un pH-mètre (Mathieu et al., 2003). Où à utiliser un pH-mètre, un Mélange de sol, une Balance digitale, un Agitateur rotatif et un bécchers.

#### Mode opératoire (Figure10):

- Peser 40 g de terre (< 2 mm) séchée à 40 C° dans un béccher.
- Ajouter 1000ml de solution d'eau déminéralisée et Agiter durant 2 h par l'agitateur rotatif.
- Laisser reposer 2 h. plonger l'électrode dans le liquide surnageant et effectuer le messer.
- Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.

### II.2. La conductivité Electrique (CE) :

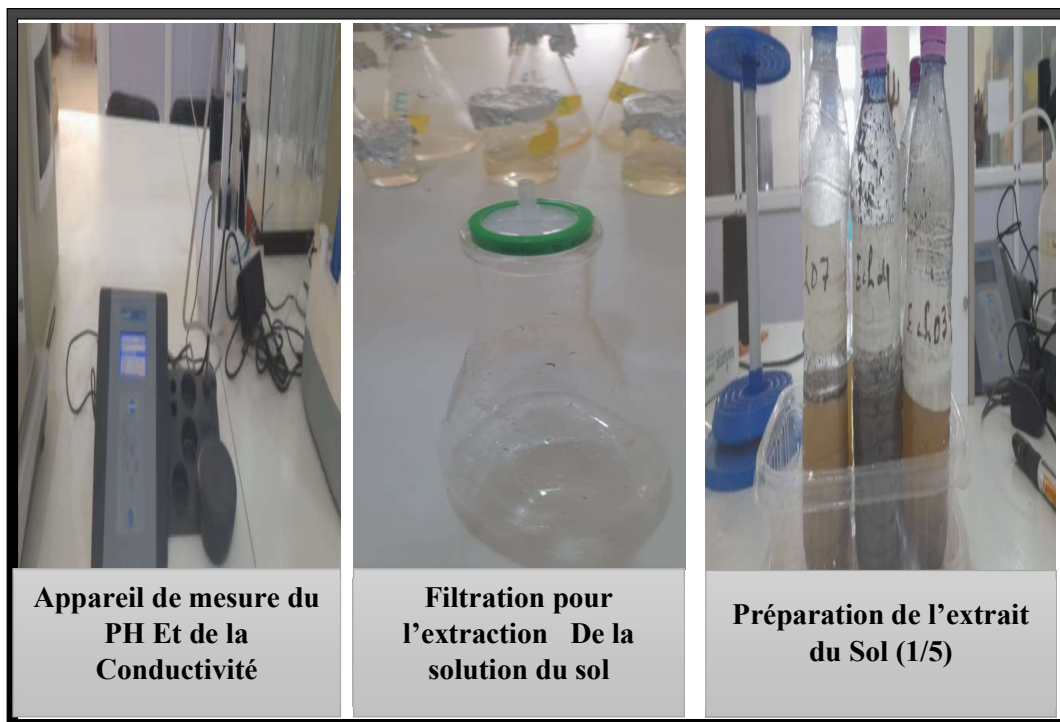
Pour la mesurer un conductimètre de type (JEBWAY

3540) a été utilisé dans un l'extrait aqueux (terre/eau) (1/5) (Mathieu et al., 2003).

Cet essai nécessite aussi une balance digitale, un flacon bouché, un agitateur rotatif et un bécchers (250 ml) (Figure 10).

#### -Mode opératoire : on a :

- En introduit 20 g de sol sec de diamètre inférieur à 2 mm dans un flacon bouché et en l'ajoute 100 ml d'eau déminéralisée ;
- En l'agiter durant 2h à l'aide d'un agitateur rotatif et en le laisse de décanter ;
- Transvaser le liquide surnageant dans un béccher de 250 ml ; • Et en fin, en introduit le Conductimètre pour lire la valeur de CE.



**Figure II.10:** Photos illustrant les étapes et le matériel utilisé l'ord de la préparation de l'extrait du sol pour la mesure Ph et CE du sole du secteur étudié.

#### Détermination des teneurs des éléments de bases échangeables dans les soles

Les cations solubles dans les sols sont des composés chimiques qui se dissolvent facilement dans l'eau du sol. (Tableau.06).

Les terrains cristallins, caractérisés par leur stabilité géologique et leur ancienneté, présentent des sols dont les propriétés chimiques et physiques sont largement influencées par les processus d'altération des roches mères. L'étude des teneurs en sels solubles dans ces sols est essentielle pour comprendre leur évolutivité, leur fertilité et leur aptitude à l'agriculture.

**Tableau II.06:** Tableau des cations échangeables et leurs principales origines et leurs effets sur le sole.

Cation	Symbole	Origine principale	Effets sur le sol
<b>Sodium</b>	Na <sup>+</sup>	Altération des feldspaths, eaux salines	Dispersion des argiles, sodicité élevée
<b>Calcium</b>	Ca <sup>2+</sup>	Gypse, calcite, dolomite	Améliore la structure, neutralise Na <sup>+</sup>
<b>Magnésium</b>	Mg <sup>2+</sup>	Dolomie, olivine, pyroxènes	Peut compacter le sol à fortes doses
<b>Potassium</b>	K <sup>+</sup>	Feldspaths potassiques, micas	Élément nutritif, généralement moins mobile



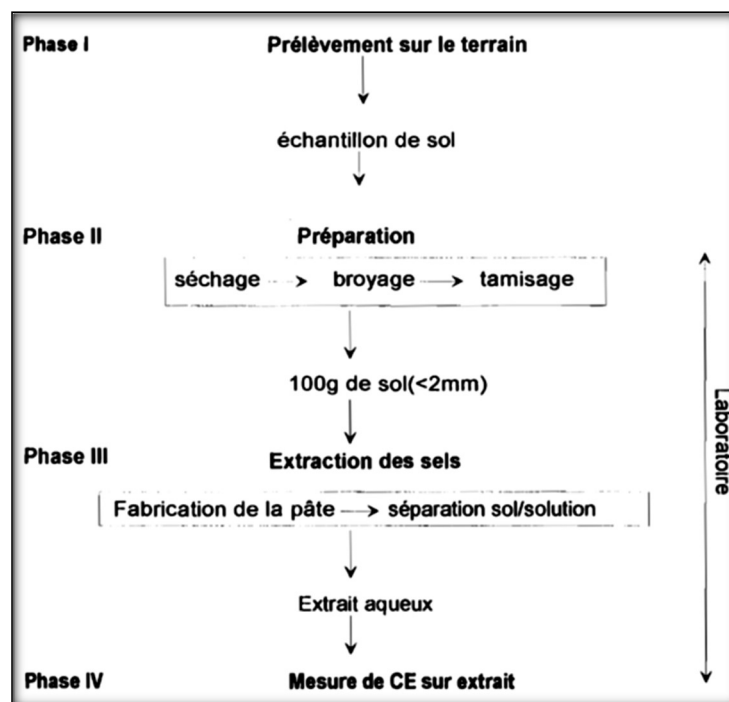
- **Mode opératoire Les extraits de pâte saturée**
- **Préparation des échantillons**

Cette méthode a été mise au point par les chercheurs de l'U.S. SALINITY LABORATORY. La pâte saturée correspond à la "limite de liquidité" d'Atterberg c'est-à-dire l'humidité à saturation.

Dans ce cas le volume d'eau apporté est variable car dépendant fortement de la texture du sol, donc de sa capacité de rétention. Cette façon de faire vise à se rapprocher au mieux de ce qui se passe dans le sol, tout en opérant en conditions standardisées. Elle permet notamment de se rapprocher d'une réalité agronomique, l'humidité étant, à proximité de la capacité de rétention, la plus efficace pour la plante (LE BRUSQ et al., 1982).

C'est une méthode de mesure sur extrait aqueux d'un échantillon de sol La quantité de sels est estimée dans un extrait à l'eau d'un échantillon de sol, par la mesure de la conductivité électrique et/ou le dosage des ions de cette solution (Figure 11).

La démarche consiste à prélever des échantillons de quelques centaines de grammes. Le sol après séchage, broyage, tamisage est mélangé avec de l'eau déminéralisée. Selon le volume d'eau apporté, on distingue.



**Figure II.11:** Schéma du protocole expérimental de la pâte saturée

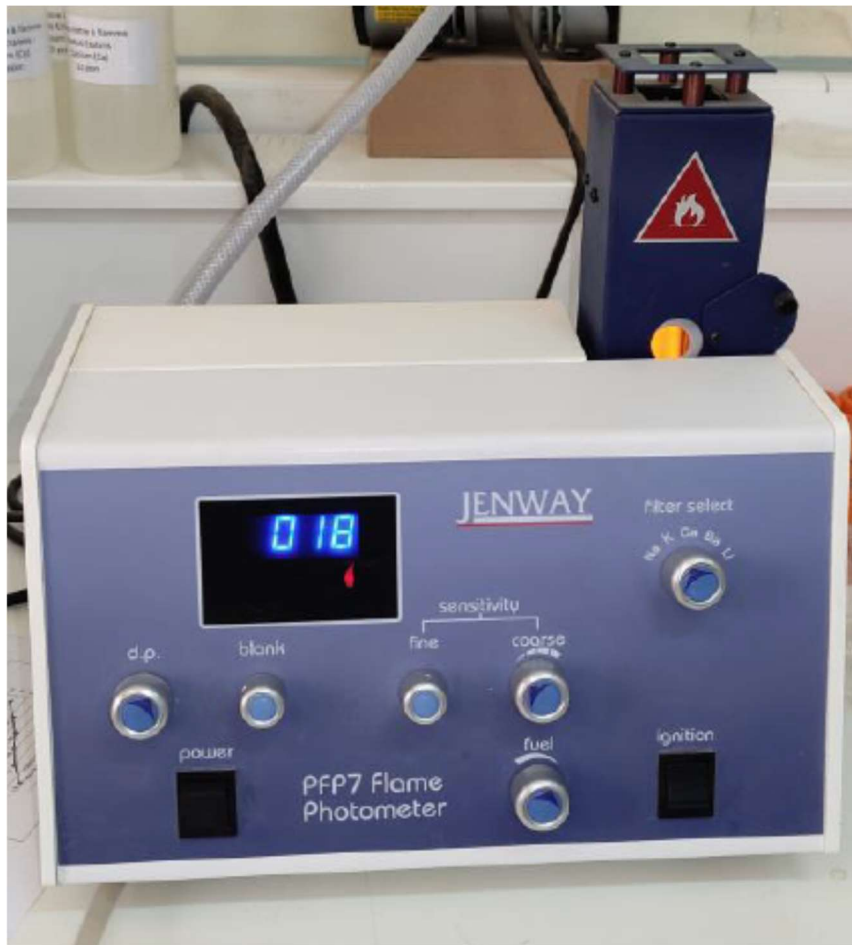
**a) Sodium et potassium :**

Le sodium et le potassium ont été dosés par photométrie à flamme. Appareil Dr LANGE (JENWAY). La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino - terreux. Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium etc...) sont généralement sous forme de sels.

**-Mode opératoire**

Pour l'appareil Dr LANGE (JENWAY) Il faut le suivre étape par étape (Figure 12) :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (Power).
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz.
- Allumer la flamme à l'aide du bouton noir "IGNITION" sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage "FLM" en rouge sur l'écran.
- Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton " fuel" jusqu'à ce que la couleur devienne bleue violacée.
- Optimiser à zéro à l'aide du bouton "Blank".
- Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
- Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de  $\text{Na}^+$  ou du  $\text{K}^+$  à 10 mg/l.
- Optimiser à 10 mg/l à l'aide du bouton "FINE"
- Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de " $\text{Na}^+$ " ou de " $\text{K}^+$ " à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
- Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de " $\text{Na}^+$ " ou de " $\text{K}^+$ " à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10).
- Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.
- A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon).



**Figure II.12:** Photo montrant Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY) utilisé dans les analyses des cations des échantillons de sol de la zoné étudiée,

### Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

### I.3. L'analyse granulométrique :

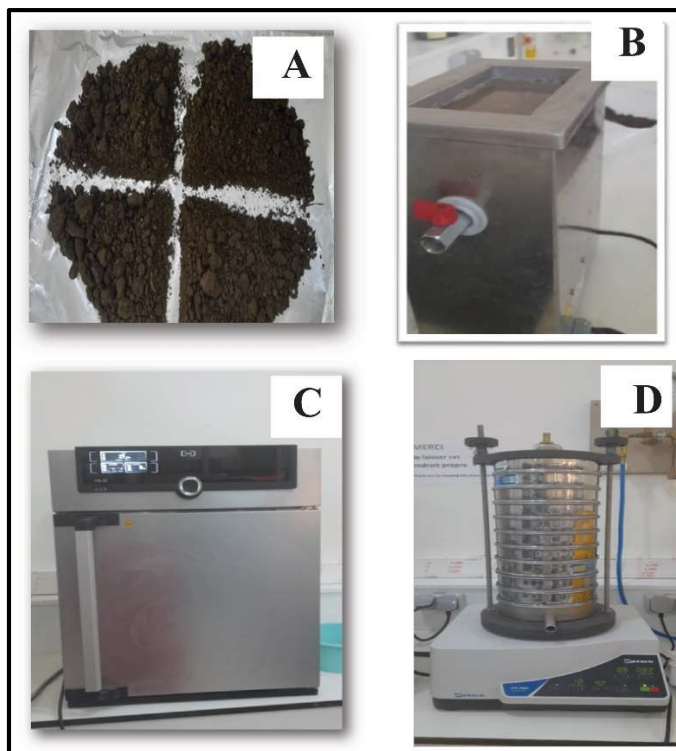
L'analyse granulométrique constitue une méthode d'étude de la distribution des tailles des grains composant un sédiment. Elle est utilisée pour reconstituer les conditions de transport et de dépôt auxquelles le sédiment a été soumis (Figure 13).

Elle est également définie comme une technique permettant de séparer un ensemble de particules selon leurs dimensions et d'en établir la fréquence statistique.

Les particules ainsi obtenues sont regroupées en fractions granulométriques, chaque fraction regroupant des grains dont les dimensions se situent dans un intervalle relativement étroit, décroissant d'une fraction à l'autre.

Cette méthode permet d'identifier les substances associées aux différentes fractions granulométriques, et de déterminer si elles se concentrent dans les fractions fines, moyennes ou grossières. Elle constitue ainsi un outil précieux dans l'interprétation des processus sédimentaires.

Dans le cadre de cette étude, nous avons adopté la classification suivante



**Figure II.13:** photo des Appareils utilisés dans le traitement granulométrique des échantillons de sole prélevés du secteur étudié. (A) opération de quartage et homogénéisation. (B) le lavage à l'aide de l'ultrason. (C) opération de séchage à l'aide de l'étuve. (D) Matérier du granulométriques

### I.3.1. Le quartage :

Avant d'entamer toute analyse sédimentologie en laboratoire, il est nécessaire de soumettre les échantillons à une opération de quartage, dont l'objectif principal est d'homogénéiser l'échantillon et d'assurer sa représentativité.

### I.3.2. Le lavage

L'échantillon est placé dans un appareil de lavage, auquel on ajoute de l'eau afin de permettre la séparation des composants par mise en suspension des particules.

L'échantillon est ensuite laissé au repos dans l'appareil pendant 24 heures, permettant ainsi la décantation et la stabilisation des particules les plus lourdes.

La figure suivante illustre les différentes étapes de cette opération.

### **I.3.3. Le séchage**

Après décantation, les échantillons de sol sont placés dans une étuve afin d'éliminer l'humidité résiduelle et de stabiliser leur composition avant l'étape de tamisage.

Le séchage est effectué à une température comprise entre 50°C et 60°C, pendant une durée variant de 24 à 48 heures, selon la quantité et la nature de l'échantillon.

Durant cette phase, il est recommandé de surveiller régulièrement le fonctionnement de l'étuve afin d'éviter toute variation thermique indésirable. Certains modèles sont équipés de dispositifs de sécurité permettant de maintenir la température dans les limites souhaitées.

### **I.3.4. Le tamisage :**

Cette étape a pour objectif de séparer les constituants de l'échantillon de sol en fonction de la taille des particules, à l'aide d'une série de tamis de dimensions normalisées.

La série de tamis utilisée dans cette étude comprend les ouvertures suivantes :

(2.5 - 2.0 - 1.0 - 0.80 - 0.63 - 0.50 - 0.40 - 0.063 - 0.050 - 0.040 mm).

L'échantillon sec est introduit dans la partie supérieure de la colonne de tamis, puis soumis à un tamiseur mécanique pendant une durée suffisante pour assurer une séparation efficace des particules.

Chaque refus retenu sur un tamis est soigneusement collecté et transféré dans une capsule propre pour être pesé.

Une attention particulière doit être portée lors de la récupération des fines particules, notamment en utilisant un pinceau adapté, sans jamais appuyer sur la maille ou forcer pour déloger un grain coincé.

En cas d'obstruction, le nettoyage peut être effectué à l'aide d'un dispositif à ultrasons, garantissant ainsi la propreté des tamis sans altérer leur précision.

Il est également important de ne pas utiliser, pour les analyses en laboratoire, des tamis ayant servi sur le terrain, afin de préserver l'exactitude des résultats granulométriques.

### **I.3.5. Le Pesage :**

Après l'étape de tamisage, chaque fraction granulométrique retenue sur les tamis est pesée à l'aide d'une balance électronique de haute précision. Celle-ci est placée sur une surface

parfaitement plane et stable, préalablement tarée et protégée contre les courants d'air ou toute vibration susceptible d'affecter la fiabilité des mesures.

Il est impératif que la balance soit régulièrement étalonnée par un organisme accrédité, conformément aux normes en vigueur, afin de garantir l'exactitude des résultats.

Les données de pesée sont d'abord notées manuellement sur une fiche dédiée, puis saisies dans un tableur électronique en vue d'un traitement statistique ultérieur.

Les fractions granulométriques sont ensuite conservées dans des sachets hermétiques, clairement étiquetés, pour archivage ou pour d'éventuelles analyses complémentaires.

### **III.1. Analyse minéralogique à l'aide du microscope binoculaire de la fraction grossière de la sole étudié**

L'étude Minéralogique du sol à l'aide du microscope binoculaire vise à permettre un examen précis et détaillé des composants minéraux du sol (Figure 14). Cet appareil offre un grossissement suffisant pour identifier les différents types de minéraux ainsi que la taille et la forme des particules du sol, ce qui contribue à évaluer les propriétés physiques et structurales du sol, à comprendre son impact sur les caractéristiques géotechniques et agricoles, et à déterminer son adéquation pour diverses utilisations

L'analyse minéralogique des échantillons de sol à l'aide du microscope binoculaire a été réalisée selon les étapes suivantes :

#### **A. Séchage de l'échantillon :**

L'échantillon de sol a été séché à basse température afin de préserver ses caractéristiques naturelles.

#### **B. Tamisage :**

L'échantillon sec a été soigneusement tamisé à l'aide d'un tamis ayant une ouverture de 0,5 mm, permettant d'isoler la fraction fine adaptée à l'observation microscopique.

#### **C. Préparation de l'échantillon pour l'observation :**

Une quantité représentative de la fraction fine a été déposée sur des lames transparentes.

#### **D. Observation au microscope binoculaire :**

Les lames ont été observées sous éclairage incident à l'aide du microscope binoculaire, permettant une vision stéréoscopique à faible grossissement.

#### **E. Identification des minéraux :**

L'observation a permis d'identifier plusieurs minéraux primaires et secondaires, notamment le quartz, les feldspaths, les micas, l'hématite et certains minéraux lourds.

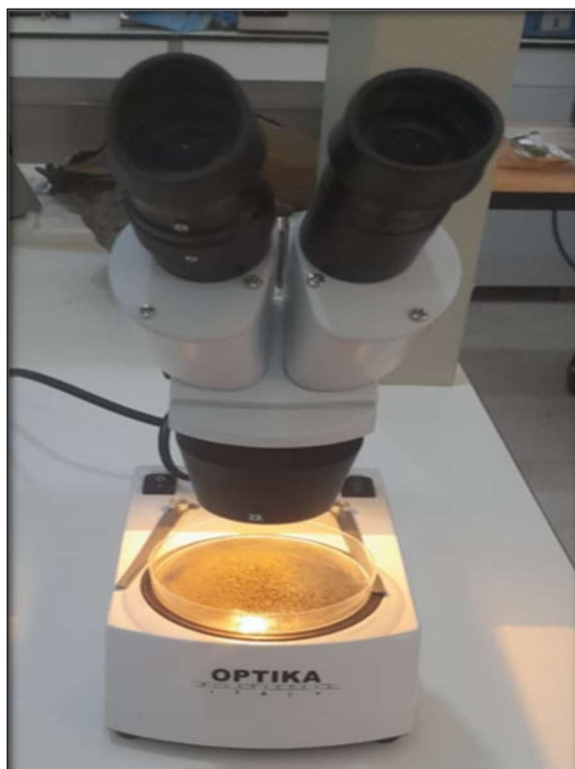


Figure III.14: photo de la loupe binoculaire

### III.2. L'étude de la fraction argileuse des sols du périmètre étudié

Le type d'argile influence significativement les propriétés du sol et sa genèse, en particulier sa capacité d'échange cationique, sa structure, sa rétention d'eau, et sa stabilité structurale. L'argile est un constituant essentiel du sol, résultant de l'altération des minéraux primaires et ayant un impact majeur sur les processus pédologiques. L'intérêt de l'étude de la fraction argileuse d'un sol peut être résumé on :

- La fraction argileuse, combinée aux fractions sableuses et limoneuses, permet de définir la **texture du sol** (USDA, FAO).
- La texture influence la capacité du sol à retenir l'eau, à aérer, et à supporter la croissance des plantes.
- **Rétention d'eau et capacité de rétention des nutriments** : L'argile a une surface spécifique très élevée, ce qui permet de retenir l'eau et les nutriments essentiels (N, P, K).
- **Structure du sol** : L'argile joue un rôle clé dans la formation des agrégats, donc dans la structure du sol qui conditionne l'aération et la résistance à l'érosion.

- **Plasticité et perméabilité** : Les sols riches en argile ont souvent une faible perméabilité et une forte plasticité, ce qui influence le travail du sol et la gestion de l'irrigation (Brady & Weil, 2010).
- **Capacité d'échange cationique (CEC)** : L'argile a une grande capacité à retenir des cations nutritifs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ), ce qui impacte la fertilité du sol (Sposito, 1989).
- **pH et réactions chimiques** : La nature des minéraux argileux influence les réactions chimiques dans le sol.

### III.2.1. Méthode de séparation de la fraction argileuse

#### a) Prélèvement et préparation de l'échantillon

- Prélever un échantillon de sol sec (souvent 50 g à 100 g).
- Tamiser à 2 mm pour éliminer les gros éléments (graviers, racines, etc.).

#### b) Dispersion

- Ajouter un dispersant chimique pour désagréger les agrégats du sol (ex. : hexamétophosphate de sodium ou calgon).
- Agiter mécaniquement ou à l'aide d'un agitateur à hélice ou agitateur orbital pendant un temps déterminé (15-30 minutes).
- L'objectif est de libérer les particules fines en éliminant les liaisons chimiques et physiques.

#### c) Décantation / Sédimentation

- Laisser reposer la suspension selon la **loi de Stokes**, qui permet de séparer les particules selon leur taille en fonction de leur vitesse de décantation.
- Après un certain temps (souvent 6 à 8 heures à température ambiante), les particules argileuses ( $< 2 \mu\text{m}$ ) restent en suspension, tandis que les particules plus grosses (limons et sables) décantent.

#### d) Prélever la fraction argileuse

- Prélever la phase surnageante (où se trouve l'argile) à l'aide d'une pipette à une profondeur précise (par ex. 10 cm).

- Le prélèvement se fait après un temps calculé pour que seules les particules d'argile restent en suspension.

### **III.2.2. Détection des minéraux argileux par diffraction des rayons X (XRD) en utilisant une pâte saturée**

Afin d'identifier avec précision la nature des minéraux argileux présents dans les échantillons, la technique de diffraction des rayons X (XRD) a été utilisée, étant l'outil principal pour analyser la structure cristalline des minéraux argileux.

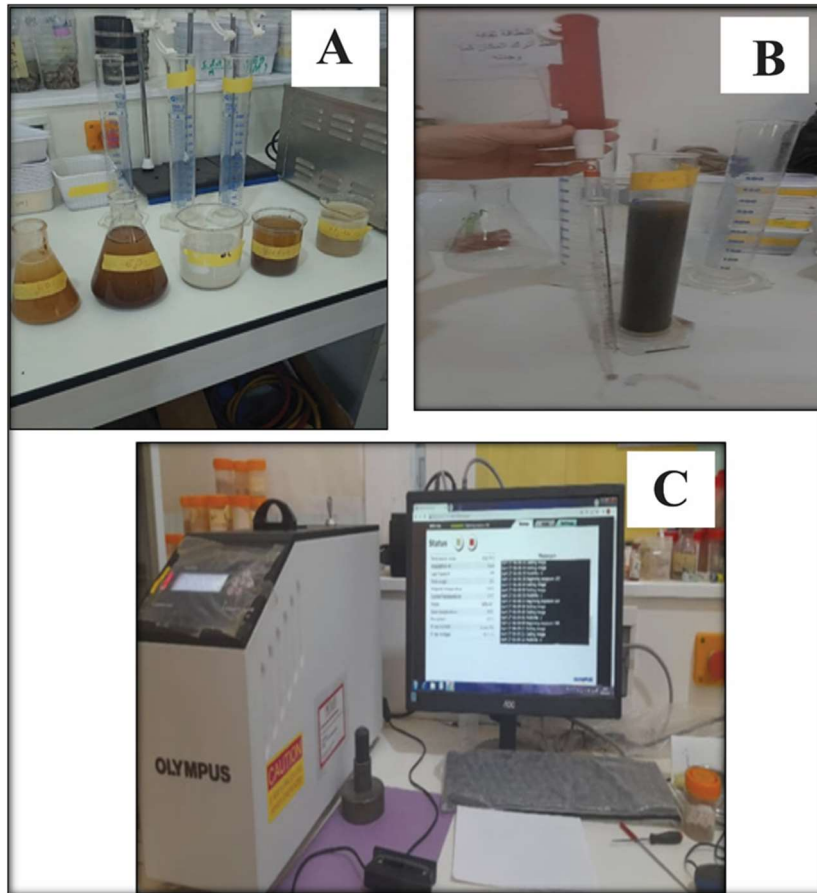
Pour assurer une représentation fidèle de la composition minéralogique du sol et éviter l'agglomération des particules fines durant l'analyse, les échantillons ont été préparés sous forme de pâte saturée.

La fraction fine du sol (moins de 2 micromètres) a été humidifiée avec de l'eau distillée jusqu'à obtenir une consistance pâteuse homogène et saturée, puis étalée en une fine couche régulière sur un porte-échantillon, et laissée sécher lentement à température ambiante.

Après séchage, l'échantillon a été analysé à l'aide de l'appareil de XRD.

Les diffractogrammes obtenus ont permis l'identification de principaux minéraux argileux tels que la kaolinite (Kaolinite), l'illite (Illite) et la smectite (Smectite), sur la base des pics caractéristiques enregistrés, notamment dans les faibles angles  $2\theta$ .

L'utilisation de la pâte saturée a contribué à assurer une bonne dispersion des particules fines, améliorant ainsi la qualité du signal de diffraction et la précision de l'interprétation structurale des minéraux.



**Figure III.15:** Photo montrant Le matériel ainssi que les étapes a suivre pour l'étude de la fraction argileuse. (A) dispersion des particule du sole. (B) l'étape de la décantation. (C) photo montrant le diffractogramme utilise (laboratoire de géologie de Sahara université Ouargla)

## **Chapitre 3 : Résultats et interprétations**

## I. Résultats et interprétations d'étude des caractéristiques physicochimiques du sol du secteur étudié

### I.1. Les mesures du PH et de la conductivité Electrique (CE) du sol étudié

Les résultats des mesures du PH du sol et la conductivité Electrique (CE) de la zone de l'étude sont rapportés sur le tableau 7.

Les échantillons de sole du la zone étudiée peuvent être divisés en quatre catégories, suivant les faciès lithologiques ou ils développés :

#### A) Les soles développées sur les terrains microgranitiques

##### a) Les résultats des mesures du pH (potentiel hydrogène)

- Tous les échantillons ont un pH **légèrement basique** (supérieur à 7).
- **Plage des valeurs** : de 7.19 (Sc25 07) à 7.47 (Sc25 09).
- Le sol est donc **neutre à faiblement basique**, ce qui peut être favorable à une bonne disponibilité des éléments nutritifs pour la majorité des plantes.

##### b) Interprétation des résultats

Le granite est une **roche magmatique plutonique acide**, riche en **quartz, feldspaths** (orthose, plagioclase) et **mica** (biotite, muscovite). Cette composition influence la nature chimique des sols qui en dérivent.

Les sols dérivés de granite, en raison de la composition minérale de la roche mère, présentent généralement un pH faible à modéré, souvent compris entre 4,5 et 6,5. Cette acidité est due à la faible teneur en bases échangeables (comme  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ ) et à l'altération des minéraux primaires tels que le quartz et les feldspaths. Les processus de lessivage, l'accumulation de matière organique acide et la libération d'ions  $\text{H}^+$  contribuent également à cette acidité.

- Ces minéraux sont **pauvres en bases échangeables** ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ).
- Lors de l'altération, le granite libère peu de cations basiques.
- Le sol formé tend donc à être **acide**, car il y a peu de tamponnement contre l'acidification.

Les valeurs de pH basique supérieurs à 7(Sept) peuvent être expliqués par la nature des roches qui sont migrogranites monzonitiques riches en plagioclases qui peuvent libérées les cations échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) accours de l'altération.

**Tableau I.07: Valeurs du pH et de la conductivité électrique des échantillons de sol de la zone d'étude.**

Echantillons	PH	CE (us /cm)	Type du sole
Sc25 01	7.29	822	Sole développé sur des microgranites
Sc25 07	7.19	475	
Sc25 08	7.29	380	
Sc25 09	7.47	416	
Sc25 05	4.78	977	Sole développé sur terrains rhyolitique
Sc25 06	<b>6.49</b>	<b>535</b>	Sole développé sur terrains issue de l'altération hydrothermale des microgranites
Sc25 02	7.48	366	Sole développé sur des terrains ultramafiques
Sc25 03	7.46	655	
Sc25 04	5.98	344	
Sc25 10	<b>6.37</b>	<b>467</b>	
Sc25 11	<b>5.93</b>	<b>324</b>	
Sc25 12	<b>7.75</b>	<b>250</b>	
25Sc13	<b>7.46</b>	<b>417</b>	

#### - Le CE (Conductivité Électrique) en $\mu\text{S}/\text{cm}$

La conductivité électrique d'un sol granitique dépend de nombreux facteurs, notamment

- La teneur en eau
- La porosité et la texture
- La température
- La salinité de l'eau interstitielle
- Le degré d'altération du granite
  
- Elle mesure la **salinité du sol** ou la concentration en ions dissous.
- **Valeurs observées :**
  - Plus haute : **822  $\mu\text{S}/\text{cm}$**  (Sc25 01)
  - Plus basse : **380  $\mu\text{S}/\text{cm}$**  (Sc25 08)
- Sc25 01 se distingue avec une **valeur plus élevée**, ce qui pourrait s'expliquer par son **origine (microgranites)**, indiquant peut-être forte altération (Figure-16).

**Tableau I.08: Tableau représentant les valeurs des mesures de la PH et de la conductivité électrique des échantillons de sole granitique. Parkhomenko, E.I. (1967)**

Matériaux	Conductivité électrique (S/cm)
Granite sec	$10^{-8}$ à $10^{-6}$
Sol granitique humide	$10^{-5}$ à $10^{-3}$
Argile humide	$10^{-3}$ à $10^{-2}$
Eau douce	$\sim 0,0001$
Eau salée	$\sim 0,05$

## B) Les soles développées sur les terrains microgranitiques

### - Le CE (Conductivité Électrique) en $\mu\text{S}/\text{cm}$

La conductivité électrique dépend de plusieurs paramètres (Tableau). La serpentinitisation (hydratation des olivines/pyroxènes  $\rightarrow$  serpentines + magnétite) augmente la conductivité (par l'eau piégée + magnétite conductrice).

La Conductivité est influencée par :

- Degré d'altération (plus altéré = plus conducteur)
- Présence de minéraux métalliques secondaires (magnétite, pyrite)
- Humidité et salinité de l'eau interstitielle

**Tableau I.09:** Valeurs typiques de la conductivité électrique et de l'état hydrique de matériaux dérivés des roches ultrabasiques.

Type de matériau	État hydrique	Conductivité électrique (S/cm)
Roche ultramafique fraîche (péridotite, serpentinite)	Sèche	$10^{-8}$ à $10^{-6}$
Sol dérivé de serpentinite/péridotite (sec)	sec à peu humide	$10^{-6}$ à $10^{-5}$
Sol serpentinitique humide (régolithe, altérite)	humide	$10^{-5}$ à $10^{-4}$

### - Le pH des sols ultramafiques

Les sols ultramafiques ont une chimie **particulière**, très différente des sols granitiques :

**Tableau I.10:** Tableau des valeurs typiques du PH des sol ultramafiques

Sol ultramafique	pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )
Jeune, peu altéré	7 à 8,5
Altéré, enrichi en matière organique (latérisation faible)	6 à 7,5
Fortement lessivé (climat humide)	5,5 à 6,5

Le ph des soles issues des roches ultrabasiques ont Ph élevé supérieur a sept ces valeurs sont dues a :

- La Présence de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$   $\rightarrow$  effet basifiant (pH élevé).
- Le Faible quantité de silice  $\rightarrow$  peu d'acidification par décomposition silicatée.
- Le Faible activité biologique  $\rightarrow$  peu d'humus acide.
- La présence de minéraux comme la Chromite, La magnétite, La brucite et la lizardite qui peuvent tamponner le pH vers la neutralité ou l'alcalinité.

### -Interprétation des résultats

Les roches ultramafiques (serpentinites, péridotites, harzburgites, etc.) sont riches en **Mg, Fe, Ni, Cr, Co**, et pauvres en **Ca, K, P**. Les sols qui en dérivent présentent souvent :

- Une **acidité variable** (selon l'altération et les apports biologiques).
- Une **faible capacité de rétention en nutriments**.
- Une **toxicité métallique potentielle** pour la végétation.
- Une **CE modérée à élevée**, liée à la présence d'ions métalliques dissous.

L'analyse de tableau 7 permet de déduire les interprétations suivantes :

Les soles qui ont un pH : varie entre **5.93 et 7.75** montrent une hétérogénéité des conditions d'altération.

- Les pH < 6 indiquent une **acidification**, probablement par lixiviation ou influence organique.
- Les pH proches de 7.5 suggèrent un **faible degré d'altération** ou des apports basiques ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ).
- **La conductivité électrique(CE):** varie entre **250 et 655  $\mu S/cm$** .
  - CE > 500  $\mu S/cm$  peut indiquer une **forte concentration en cations** métalliques typiques des terrains ultramafiques.
  - CE < 300  $\mu S/cm$  → **sols pauvres** en ions dissous.

De ce fait ont interprètes ces valeurs comme suite :

- Les Sols à **pH acide et CE faible** : altérés, lixiviés, avec perte de cations (ex. Sc25 11).
- Les Sols à **pH neutre ou basique et CE élevée** : riches en cations, moins altérés (ex. Sc25 03).
- Sols à **pH élevé et CE faible** : possible roche-mère proche, peu de lessivage (ex. Sc25 12).

Les échantillons des sols dérivés de l'altération hydrothermales montrent un ph acide et un conductivité électrique élevé qui se tradu it par le délogement des argiles a bases échangeables (Sc25 05 et Sc25 06)

## I.2. Les teneurs des éléments de bases échangeables dans les soles étudiées

Les résultats d'analyses chimiques des **bases échangeables** ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) sur extraits de pates saturées des de différents sols développés sur les différents terrains (microgranites, rhyolites, terrains ultramafiques) de la zone de l'étude ont été rapporté sur le tableau-11

**Tableau I.11:** Tableau des résultats d'analyses des bases échangeables de la zone de l'étude.

Echantillons	Na(mg/l)	K(mg/l)	Ca(meq/l)	Mg(meq/l)	Type du sole
Sc25 01	3,206	5,49	02	1,32	Sole développé sur des microgranites
Sc25 07	2,045	5,88	1,04	1,44	
Sc25 08	1,529	1,42	1,52	0,48	
Sc25 09	2,432	1,02	1,52	2,08	
Sc25 05	2,689	0,5	0,4	1,92	Sole développé sur terrains rhyolitique
Sc25 06	2,045	4,176	0,16	02	Sole développé sur terrains issue de l'altération hydrothermale des microgranites
Sc25 02	1,272	2,206	0,96	1,04	Sole développé sur des terrains ultramafiques
Sc25 03	2,174	5,75	2,24	0,16	
Sc25 04	1,014	3,125	1,6	2,4	
Sc25 10	1,401	1,943	1,04	1,76	
Sc25 11	1,014	2,732	1,2	3,44	
Sc25 12	0,885	1,155	0,8	0,88	
25Sc13	1,401	2,994	0,56	3,50	

### A) Sols sur microgranite

- **Échantillons :** Sc25 01, Sc25 07, Sc25 08, Sc25 09
- **Moyennes :**
  - $\text{Na}^+$  : 2,30 mg/L
  - $\text{K}^+$  : 3,45 mg/L
  - $\text{Ca}^{2+}$  : 1,27 meq/L
  - $\text{Mg}^{2+}$  : 1,33 meq/L

### B) Sols sur rhyolite

- **Échantillon :** Sc25 05
  - $\text{Na}^+$  : 2,689 mg/L
  - $\text{K}^+$  : 0,50 mg/L
  - $\text{Ca}^{2+}$  : 0,4 meq/L
  - $\text{Mg}^{2+}$  : 1,92 meq/L

**C) Sol sur substrat hydrothermalisé**

- **Échantillon : Sc25 06**
  - Na<sup>+</sup> : 2,045 mg/L
  - K<sup>+</sup> : 4,176 mg/L
  - Ca<sup>2+</sup> : 0,16 meq/L
  - Mg<sup>2+</sup> : 2,00 meq/L (valeur arrondie)

**D) Sols sur ultramafique**

- **Échantillon : Sc25 02**
  - Na<sup>+</sup> : 1,272 mg/L
  - K<sup>+</sup> : 2,206 mg/L
  - Ca<sup>2+</sup> : 0,96 meq/L
  - Mg<sup>2+</sup> : 1,04 meq/L

**I.2.1. Interprétation par base échangeable****Sodium (Na<sup>+</sup>)**

- Modérément présent dans tous les sols (1 à 3,2 mg/L).
- Plus élevé dans les sols sur microgranites et rhyolites → cohérent avec la décomposition du plagioclase sodique (albite).
- Faible dans les sols sur ultramafiques, cohérent avec leur pauvreté initiale en feldspaths sodiques.

**Potassium (K<sup>+</sup>)**

- Très variable (0,5 à 5,88 mg/L).
- Élevé dans les sols sur microgranites et altérations hydrothermales : cela peut refléter la décomposition des micas (muscovite, biotite) et la présence de feldspaths potassiques (orthose).
- Très faible dans les sols rhyolitiques (0,5 mg/L) → appauvrissement par lessivage ou altération avancée.

**Calcium (Ca<sup>2+</sup>)**

- Généralement faible à très faible.
- Très bas dans les sols hydrothermalisés et rhyolitiques ( $\leq 0,4$  meq/L) → lessivage important, absence probable de carbonates.
- Un peu plus élevé dans les sols sur microgranite et ultramafiques (1–2 meq/L), peut-être lié à la présence de plagioclases calciques ou à l'apport par lessivats latéraux.

**Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)**

- Elevé dans les sols ultramafiques (1,04 meq/L) → cohérent avec la richesse en olivine/pyr. (Mg-silicates).
- Très élevé dans les échantillons comme Sc25 11 et Sc25 13 (3,44–3,50 meq/L) → signature probable d'un substrat ultramafique ou serpentinisé, même si non indiqué dans le tableau.
- Relativement constant dans les autres types de sols, autour de 1,3–2,0 meq/L.

**I.2.2. Résultats et interprétations de l'Analyse granulométrique des soles de la zone de l'étude**

L'analyse granulométrique d'un sol est une méthode fondamentale en pédologie. Elle permet

- De déterminer la distribution des différentes tailles de particules (graviers, sables, limons, argiles) dans un échantillon de sol.
- La caractérisation du sol en Déterminant la texture du sol (sableux, limoneux, argileux) en fonction de la proportion relative des fractions granulométriques (Bouyoucos, G.J. (1936).

Les résultats des analyses granulométrique de la zone de l'étude sont rapportés sur le tableau 12

**Tableau I.12:** Tableau des résultats d'analyses granulométrique de la zone de l'étude

L'échantillonnage	Sc25 05	Sc25 06	Sc25 07	Sc25 08	Sc25 09	Sc25 10	Sc25 11	Sc25 13
<b>Poids initial (g)</b>	200,32	200,46	203,11	202,26	201,09	201,82	200,76	200,55
<b>2500</b>	45,76	146,14	35,97	61,24	86,30	73,83	69,90	123,57
<b>2000</b>	11,94	6,04	9,95	15,74	13,41	15,55	6,85	5,53
<b>1000</b>	46,04	12,82	31,21	45,02	40,02	38,33	20,22	29,58
<b>800</b>	18,91	2,45	24,57	17,49	15,73	11,05	13,05	9,29
<b>630</b>	10,62	3,46	15,09	7,93	10,35	7,49	12,60	6,29
<b>500</b>	08,91	3,24	10,66	8,73	9,60	6,30	11,08	06
<b>400</b>	18,83	20,93	25,22	4,82	6,95	6,48	13,21	3,39
<b>63</b>	38,31	3,32	44,81	26,19	14,03	34,96	40,36	14,80
<b>50</b>	0,98	2,03	3,84	10,08	2,43	3,81	0,93	0,70
<b>40</b>	0,02	0,03	0,98	5,02	2,27	4,02	1,56	1,40

### - Interprétation des résultats de la granulométrie

Le tableau ci-dessous donne, pour chaque échantillon T05...T13, le poids (en g) retenu sur une série de tamis (2500  $\mu\text{m}$ , 2000  $\mu\text{m}$ , ..., 40  $\mu\text{m}$ ). La somme de ces poids correspond au poids initial du prélèvement ( $\approx 200$  g), ce qui montre que tout le matériau a été comptabilisé. On calcule ainsi la proportion massique dans chaque classe de taille. Par exemple, l'échantillon T06 contient  $\sim 75,9\%$  de particules  $>2$  mm (gravillons) et seulement  $\sim 2,7\%$  de particules  $<0,063$  mm (limons/argiles). Dans tous les échantillons, la distribution est dominée par les fractions grossières (graviers et sables) et très pauvre en fines (limon/argile). La majorité des masses se situe entre 0,5 mm et 2,5 mm : on observe souvent 30–75 % de gravillons ( $>2$  mm) et 20–50 % de sable (0,063–2 mm), alors que les particules  $<0,063$  mm représentent typiquement  $<25\%$  (voire  $<10\%$  pour T06 ou T13). Ces résultats indiquent une texture très grossière.

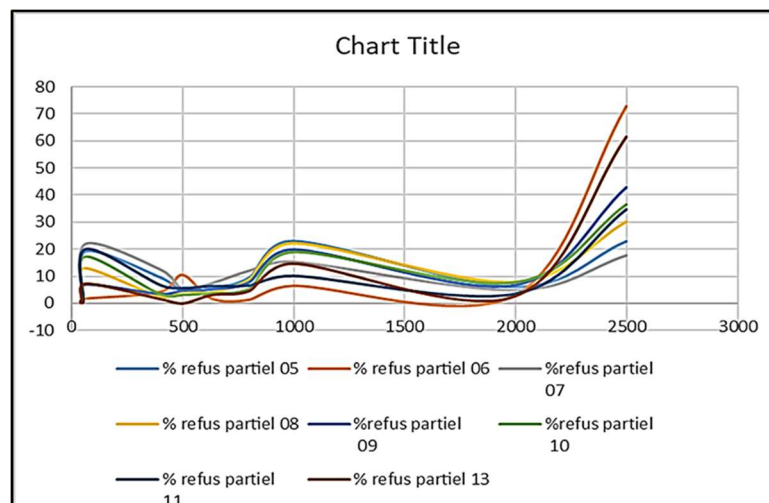
Le tableau des analyses statistique par le logiciel gradistat (tableau.-13), montre que la composition granulométrique du sol de la zone de l'étude sont des sables a sables graveleuse avec distribution bimodale a tri-modale.

**Tableau I.13:** Tableau des résultats d'analyses statistique par GRADISTAT des différentes fractions granulométriques de la zone de l'étude.

	Sc25 05	Sc25 06	Sc25 07	Sc2508	Sc25 09	Sc25 10	Sc25 11	Sc25 13
SAMPLE TYPE:	Bimodal	Bimodal,	Bimodal	Trimodal	Bimodal	Trimodal	Trimodal	Bimodal
TEXTURAL GROUP:	Gravelly Sand	Sandy Gravel	Gravelly Sand	Sandy Gravel	Sandy Gravel	Sandy Gravel	Sandy Gravel	Sandy Gravel
SEDIMENT NAME:	Very Fine Gravelly Very Coarse Sand	Sandy Very Fine Gravel	Very Fine Gravelly Coarse Sand	Sandy Very Fine Gravel	Sandy Very Fine Gravel	Sandy Very Fine Gravel	Sandy Very Fine Gravel	Sandy Very Fine Gravel
MEAN: ( $M_z$ ):	Coarse Sand	Very Coarse Sand	Coarse Sand	Coarse Sand	Very Coarse Sand	Coarse Sand	Coarse Sand	Very Coarse Sand
MODE 1 (mm):	900,0	565,0	450,0	450,0	900,0	2250,0	450,0	1500,0
MODE 2 (mm):	450,0	2250,0	900,0	900,0	2250,0	450,0	900,0	450,0
MODE 3 (mm):				2250,0		45,00	2250,0	
D <sub>10</sub> ( $\mu\text{m}$ ):	157,8	539,8	119,0	134,0	418,1	121,0	134,0	473,4
D <sub>50</sub> ( $\mu\text{m}$ ):	1055,4	1904,2	804,0	1074,3	1971,3	1623,6	1074,3	2057,6
D <sub>90</sub> ( $\mu\text{m}$ ):	3763,7	208393,4	3201,0	8399,0	8837,9	7926,5	8399,0	84797,8
% GRAVEL:	28,8%	74,1%	22,7%	40,4%	49,6%	44,3%	40,4%	66,3%

% SAND:	70,7%	25,0%	75,0%	58,3%	48,1%	51,9%	58,3%	32,6%
% V FINE GRAVEL:	28,8%	74,1%	22,7%	40,4%	49,6%	44,3%	40,4%	66,3%
% V COARSE SAND:	23,0%	6,2%	15,4%	10,7%	19,9%	19,0%	10,7%	15,2%
% COARSE SAND:	19,2%	13,1%	24,9%	19,4%	17,7%	12,3%	19,4%	8,0%
% MEDIUM SAND:	14,3%	4,4%	18,1%	12,4%	5,2%	7,6%	12,4%	3,7%
% FINE SAND:	7,2%	0,6%	8,3%	8,0%	2,6%	6,5%	8,0%	2,9%
% V FINE SAND:	7,1%	0,6%	8,3%	7,9%	2,6%	6,5%	7,9%	2,8%
% V COARSE SILT:	0,5%	1,0%	2,3%	1,3%	2,3%	3,8%	1,3%	1,1%

Suivant la figure 16 des courbes de la granulométrie relative et le tableau-13 , les fractions du sol comme est comme suite: gravier (>2 mm), sable grossier (0,5–2 mm), sable fin (0,05–0,5 mm), limon/argile (<0,05 mm). Les données montrent que la taille médiane des grains (D50) est de l'ordre du millimètre ou plus pour la plupart des échantillons, signe d'un matériau bien grossier.



**Figure I.16:** Graphe des résultats d'analyses statistiques par GRADISTAT des différentes fractions granulométriques de la zone de l'étude

### -Texture et classification

Selon la classification suivant la méthode de FULK WARD METHOD 1957 , (Figure 17) cette granulométrie grossière implique une texture de sole est « sableuse-graveleuse » plutôt qu'argileuse.

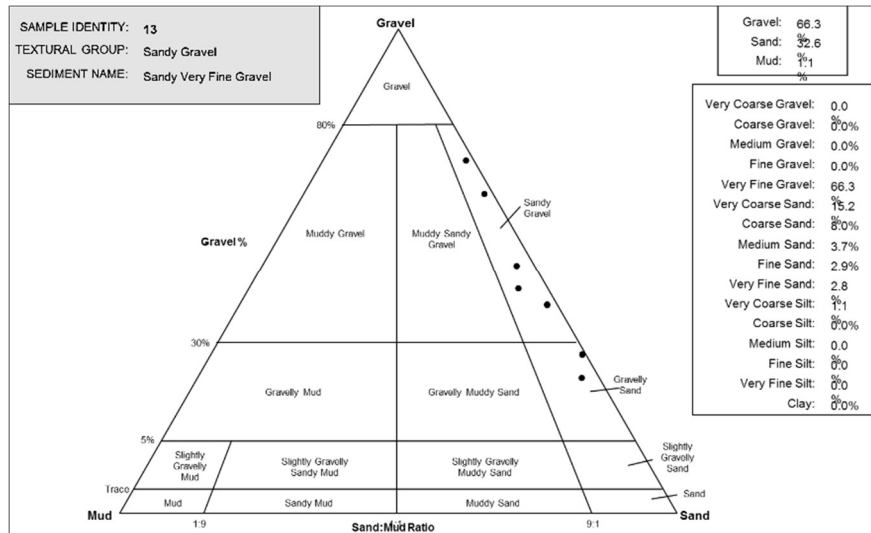


Figure I.17: Graphe des résultats d’analyses statistique par GRADISTAT des différentes fractions granulométriques de la zone de l’étude.

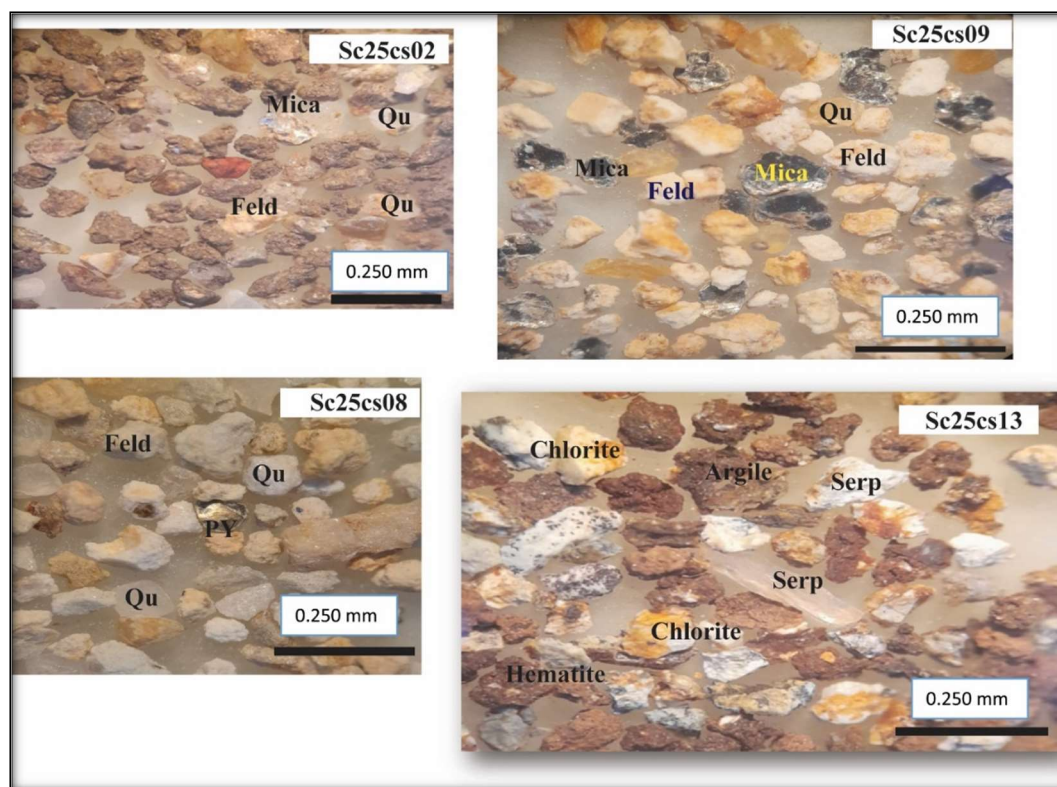
### I.2.Résultats de l’analyse minéralogique à l’aide du microscope binoculaire de la fraction grossière du sol étudié

A) l’examen au binoculaire du sol dérivé des roches magmatiques acides montrent que quels ont formé essentiellement de Feldspaths, du quartz et micas noirs (Figure18 (Sc09 et08)).

Les soles peu développée montrent plus richesse en minéraux primaires tandis que les soles plus développés situés au pied des collines et des montagnes sont moins riches en minéraux magmatiques primaires sauf le quartz et un peu de feldspaths qui sont résistants à l’altération.

Par contre on a remarqué la présence des minéraux argileux et les hydroxydes de fer qui sont bien observables et donnent la couleur marron à ce sol.

B) l’examen au binoculaire de la fraction grossière du sol dérivé des roches magmatiques ultramafiques sont pauvres en minéraux primaires de tel que l’olivine et les pyroxènes (Figure18 (Sc02 et 13)). Ce type de sol est riche en minéraux résultants de l’altération comme la serpentine, la chlorite et de l’hématite. Sur le sol de certains profils, les échantillons prélevés des zones où il y a des roches ultramafiques en remarque la présence des feldspaths et du quartz et peut être interprété par le caractère colluvion de ce type de sol.



**Figure I.18:** photo montre les minéraux constituant le sol prélevé de la région de l'étude.

### I.3.2. Résultats et interprétations de de l'étude de la fraction fine du sol étudié

La DRX est indispensable et la méthode la plus utilisée pour caractériser les minéraux argileux, surtout dans des environnements où plusieurs phases peuvent coexister. En combinant plusieurs traitements (glycol, chauffage), il est possible d'identifier de façon robuste les principales espèces argileuses présentes dans un sol ou une roche.

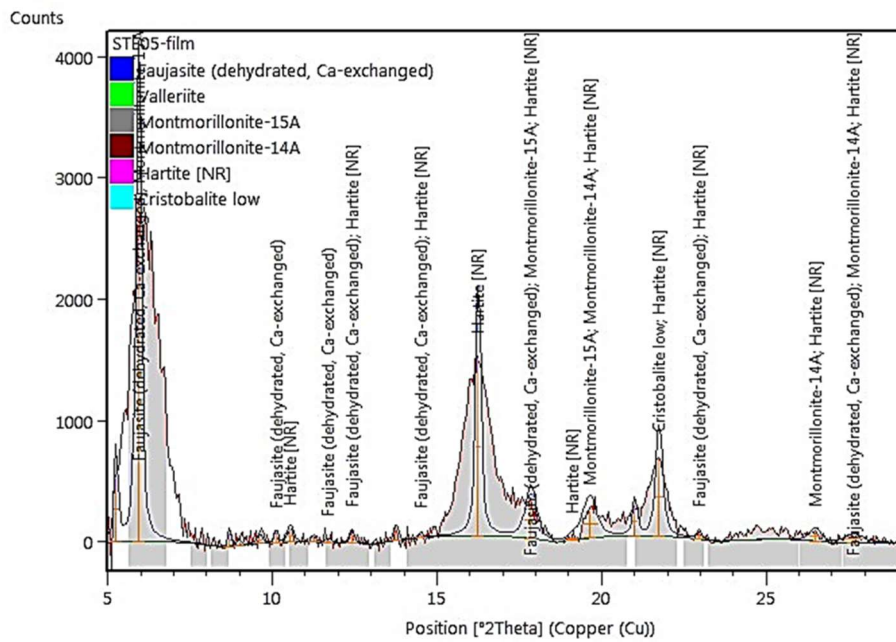
L'analyse par diffractométrie aux rayons x de la fraction fine des différents sols étudiés montre le développement deux types de d'argiles :

**-La montmorillonite** qui est une argile 2:1 (de type TOT) (Figure19) :

- 2 feuillets tétraédriques (T)
  - 1 feuillet octaédrique (O) central
- La couche TOT est séparée par un espace interfoliaire où se logent des molécules d'eau et des cations échangeables ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , etc.). (Tableau-14)

**Tableau I.14:** Tableau des caractéristiques cristallographiques de montmorillonite.

État du traitement	Espacement basal $d_{001}$ (Å)	Interprétation
À l'air (état naturel)	~12–13 Å	Montmorillonite partiellement hydratée
Après glycolation	~17 Å	Gonflement : diagnostic clé des smectites
Chauffage à 550 °C	Disparition du pic	Déstructuration thermique du minéral



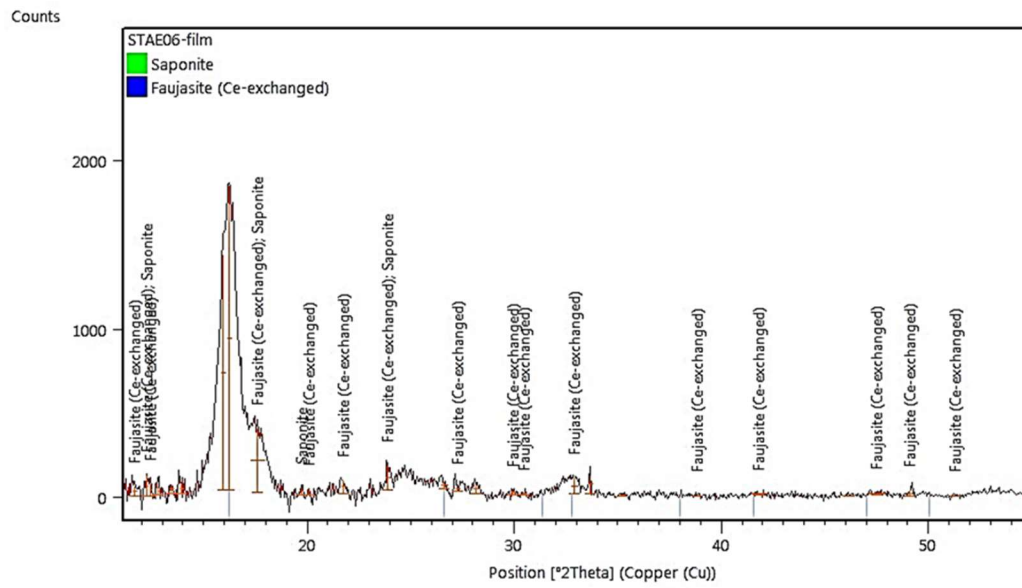
**Figure I.19:** Diffractogramme montre les minéraux argileux constituant le sol prélevé de la région de l'étude.

- La saponite qui est un minéral argileux du groupe des smectites (comme la montmorillonite), mais elle appartient plus spécifiquement au sous-groupe des trioctaédriques, contrairement à la montmorillonite qui est dioctaédrique (Figure19).

- La saponite est une argile **2:1** (TOT : tétraédrique-octaédrique-tétraédrique) comme les autres smectites.
- La couche octaédrique est **trioctaédrique**, c'est-à-dire entièrement occupée par des cations ( $Mg^{2+}$  principalement, parfois  $Fe^{2+}$ ).
- Substitution isomorphe fréquente de  $Si^{4+} \rightarrow Al^{3+}$  dans les tétraèdres, ce qui génère une charge négative compensée par des cations interfoliaires. (Tableau-15)

**Tableau I.15:** Tableau des caractéristiques cristallographiques de la saponites.

Traitement	Espacement basal $d_{001}$ {001} (Å)	Commentaire
État naturel	~14,4 – 15,1 Å	Espace interfoliaire avec eau
Après glycolation	~17,0 Å	Gonflement typique des smectites
Chauffage à 550°C	Pic effondré ou déplacé	Structure détruite, surtout si magnésienne



**Figure I.20:** Diffractogramme montre les minéraux argileux constituant le sol prélevé de la région de l'étude.

## **CONCLUSION**

## Conclusion

Le sol forestier dans la région de Collo est

- Résultat d'interactions complexes entre les facteurs géologiques, climatiques et biologiques, les processus d'altération influencent profondément la structure.
- L'altération apparaît comme facteur primordial de pédogenèse
- Les échantillons des sols dérivés de l'altération hydrothermales montrent un ph acide et un conductivité électrique élevé qui se traduit par le délogement des argiles a bases échangeables (Sc25 05 et Sc25 06).

L'étude des éléments de bases échangeables permet de conclure que

Substratum	interpretation
<b>Microgranite</b>	Sols issus d'altération des feldspaths (Na, K) → base échangeable modérée, Ca/Mg faibles, micas résiduels.
<b>Rhyolite</b>	Plus appauvris, K <sup>+</sup> très faible : probablement un sol très lessivé ou avec peu de micas.
<b>Hydrothermalisé</b>	Sol riche en K <sup>+</sup> et Mg <sup>2+</sup> → hydrothermalisme enrichissant en minéraux argileux (illite, smectite), ou altération de biotite/actinote.
<b>Ultramafique</b>	Signature claire : faible Na/K, enrichi en Mg <sup>2+</sup> , Ca modéré. Correspond bien à l'altération de péridotites ou pyroxénites.

- L'étude granulométrique permet de conclure que En tous les échantillons de sol sont composés principalement de graviers et de sables, avec des fractions limoneuses/argileuses négligeables.
- L'étude de la fraction argileuse de ces sols montre qu'ils sont composés de La **montmorillonite** qu'est un **minéral argileux** du **groupe des smectites**, très étudié en diffraction des rayons X (DRX) en raison de sa **structure gonflante** et de son **capacité d'échange cationique élevée (CEC)** et de la saponite.

# **BIBLIOGRAPHY**

## **bibliography**

- Bolfa, J., 1948. *Contribution à l'étude des gisements métallifères de la Kabylie de Collo et de la région de Bône*. Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie, 6, 216p.
- Bolfa, J., Hilly, J., Roublaut, M., 1952. *Massifs cristallins du Nord-Constantinois*. XIXe Congrès de Géologie Interne, Alger, Monogramme régional. 1ère série, Algérie, n° 23.
- Bouillin, J.-P., Kornprobst, J., 1974. *Associations ultrabasiques de la Petite Kabylie : péridotite de type alpin et complexe stratifié ; comparaison avec les zones internes bético-rifaines*. Bulletin de la Société Géologique de France, (7), XVI, 183–194, Paris.
- Bouillin, J.-P., 1977. *Géologie alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia*. Thèse, Paris-Toulouse, 511p.
- Durand-Delga, M., 1951. *L'âge du métamorphisme général du massif de la Petite Kabylie (Algérie)*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 236, 1371p, Paris.
- Durand-Delga, M., 1955. *Étude géologique de l'ouest de la chaîne numidique* (Thèse, Paris). Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie, (2), Stratigraphie, Descriptions régionales, n° 24, 533p.
- Durand-Delga, M., 1969. *Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie*. Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie, (nouvelle série), n° 39, 89–131.
- Durand-Delga, M., 1971. *Les unités à Mésozoïque métamorphique d'El Milia à Tèxana (Algérie) et leur cadre structural*. Bulletin de la Société Géologique de France, (7), XIII, 328–337, Paris.
- Moore, D.M., Reynolds, R.C., 1997. *Diffraction des rayons X et identification et analyse des minéraux argileux*, 2e éd., Oxford University Press.
- Środoń, J., 1984. *Identification des matériaux illitiques par diffraction des rayons X sur poudre*. Clays and Clay Minerals, 32(6), 337–349.
- Brindley, G.W., Brown, G., 1980. *Structures cristallines des minéraux argileux et leur identification par rayons X*. Mineralogical Society.
- Alacky, G.J., 1987. Dans *Méthodes électromagnétiques en géophysique appliquée*, Vol. 1.
- Alexander, E.B. et al., 2007. *Géoécologie de la serpentine de l'Amérique du Nord-Ouest*. Oxford University Press.
- Baize, D., 2000. *Guide des analyses en pédologie*. INRA.
- Bouyoucos, G.J., 1936. *Instructions pour les analyses mécaniques des sols par la méthode de l'hydromètre*. Soil Science.

## bibliography

- Evans, B.W., 2004. *Le multisystème de la serpentinite revisité : la chrysotile est métastable*. International Geology Review, 46(6), 479–506.
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. *Barre de la rivière Brazos : étude sur la signification des paramètres de taille des grains*. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3–26.
- Jenny, H., 1941. *Facteurs de formation des sols*. McGraw-Hill.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2011. *Éléments traces dans les sols et les plantes*, 4e édition. CRC Press.
- Lelong, F., 1962. *Altération des granites et formation des sols*. Revue Géographique des Pyrénées, 33, 5–38.
- Olhoeft, G.R., 1985. *Propriétés électriques des roches*. In : *Propriétés physiques des roches et minéraux*, CRC Press.
- Palacky, G.J., 1987. *Caractéristiques de résistivité des cibles géologiques*. In : Nabighian, M.N. (éd.), *Méthodes électromagnétiques en géophysique appliquée*, Vol. 1, SEG. Telford.
- Parkhomenko, E.I., 1967. *Propriétés électriques des roches*.
- Proctor, J., Woodell, S.R.J., 1975. *Écologie des sols serpentins*. Advances in Ecological Research, 9, 255–366.
- Rooks, R.R., 1987. *La serpentine et sa végétation : une approche multidisciplinaire*. Dioscorides Press.
- Thomas, E.M.M., 1999. *Évolution cénozoïque d'un domaine de socle : le Massif armoricain. Apport de la cartographie des formations superficielles*. Thèse Univ. Rennes, 148p.
- Velde, B., Meunier, A., 2008. *Origine des minéraux argileux dans les sols et les roches altérées*. Springer.
- W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990. *Géophysique appliquée*, 2e édition, Cambridge University Press.
- Walker, L.R., 1999. *Rôle du pH du sol dans l'écologie des plantes sur sols ultramafiques*. Plant and Soil, 209(1), 1–11.
- Wannamaker, P.E. et al., 1989. *Conductivité électrique de la serpentinite et teneur en fluides à des profondeurs intermédiaires de la croûte*. Journal of Geophysical Research, 94(B11), 14115–14126.