

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département des sciences Agronomie



Mémoire

De fin d'Etudes

**En vue de l'obtention du diplôme de
Master en Sciences Agronomique**

Option : Science du Sol

Thème

**Contribution à la connaissance des
caractéristiques physico-chimiques d'un sol
forestier, cas de la forêt de Darna, commune
d'Iboudrarène**

Réalisé par :

HACHEMI Yacine et TAIBI Aziz

Devant le Jury composé de :

Mr KADI S.A	Professeur à l'UMMTO	Président
Dr CHERFOUH R	MCB à l'UMTTO	Promoteur
Mr MERROUKI K	MCB à l'UMMTO	Examineur
Mr BENSIDHOUM M	MAA à l'UMMTO	Examineur

Année universitaire 2020 - 2021

Remerciements

Nous remercions notre Dieu qui nous a donné le courage et la volonté de poursuivre nos études et accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements et le plus grand respect à notre promoteur Monsieur CHERFOUH.R MCB à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour avoir accepté de nous encadrer ainsi que pour sa compréhension, sa disponibilité, ses conseils judicieux et toute l'aide qu'il nous a rapporté, qu'il trouve ici le témoignage de notre éternelle gratitude.

Nous remercions vivement Monsieur BENSIDHOUM.M, MAA à l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, de nous avoir accompagnés sur le terrain. Nous souhaitons qu'il trouve ici toutes nos reconnaissances pour ses encouragements, ses conseils, ses recommandations, le temps qu'il nous a consacré et sa bienveillance.

Ma reconnaissance et mes remerciements s'adressent également à Mr KADI Professeur à l'université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou, qui a bien voulu présider notre jury.

Mes remerciements vont aussi à Mr MERROUKI.K MCB à l'université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour son aide précieuse pour la réalisation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants du Département Agronomie qui tout au long des années d'études nous ont transmis leur savoir sans réserve.

Toutes nos gratitudes vont également aux personnes du laboratoire de Science du sol spécialement Mme LOUNAS, Mme KADI BENNANE, Mme TIBICHE, Mme BOURBIA, Mme BEDAD et Mme TABET, ainsi qu'à tous nos amis pour leurs soutiens et pour tous les bons moments passés ensemble.

Un grand merci pour AREZKI et MEZIANE pour leur aide et leur soutien.

Enfin, nous adressons des remerciements spéciaux pour « Miri » et « Tchoutchou », pour nous avoir aidés pour la réalisation de notre travail et de nous avoir soutenus tout le long de notre parcours.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réussite de ce travail.

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à ceux qui me sont chers :

A Mes très chers parents qui ont été toujours à mes côtés, mon grand amour et toute ma gratitude pour les sacrifices qu'ils ont fait pour ma réussite, ce travail est le fruit de leur sacrifice qu'ils ont consenti pour mon éducation. Que dieu puisse les garder et leur donner une longue vie ;

A mes chers frères YOUYOU, YACINE, HOUCINE ET SMAIL ainsi que mes sœurs KAHINA et SIHEM ;

A mon binôme Yacine pour sa contribution à l'aboutissement de ce travail ;

A mes amis MOKRANE, NOUREDDINE, NABIL, KACI HAMMOUCHE, MOHAMMED, MIRI et OUIZA ainsi qu'à tous mes amis proches.

Il y a un peu de chacun de vous dans ce mémoire. Merci à vous tous.

Aziz

Dédicaces

A Mes très chers parents et grands-parents, qui ont été toujours à mes côtés, mon grand amour et toute ma gratitude pour les sacrifices qu'ils ont faits pour ma réussite, ce travail est le fruit de leur sacrifice qu'ils ont consenti pour mon éducation. Que dieu puisse les garder et leur donner une longue vie ;

A mes chères sœurs YASMINE et FAYZA, mon petit frère LYES ;

A mon binôme AZIZ pour sa contribution à l'aboutissement de ce travail ;

A mes oncles BRAHIM et SOFIANE ;

A mes tantes SAMIRA et SAFIA ;

A mes amis SAID, OUIZA, MIRI, ainsi qu'à tous mes amis proches.

Ainsi qu'à toute ma famille, cousins paternels et maternels.

Il y a un peu de chacun de vous dans ce mémoire. Merci à vous tous.

YACINE

Résumé

L'objectif de notre travail est la caractérisation des sols forestiers de la région de DARNA commune Iboudrarène wilaya de Tizi-Ouzou.

La démarche suivie pour caractériser ces sols a consisté en une prospection pédologique, au prélèvement d'échantillons, à l'analyse et l'interprétation des résultats d'analyses physico-chimique du sol.

Les résultats d'analyses nous permettent de dire que la texture est limoneux-sableuse, homogène pour les différents profils étudiés. La mesure du pH montre que la réaction des échantillons demeure neutre à acide qui varie entre 4,89 et 7,52. La conductivité électrique enregistrée témoigne que le sol n'est pas salé, la CE varie entre 15 et 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les teneurs en MO enregistrées démontrent une légère pauvreté avec les horizons de profondeur 2 et 3, hors que l'horizon humifère est très élevé et la Da elle évolue de 0,83 à 1,66 g/cm^3 qui augmente des horizons superficiels vers les horizons de profondeurs.

L'ensemble de ces informations peuvent servir de base à la constitution d'un référentiel des sols de la région et doit permettre d'orienter les recherches futures sur leur condition de mise en valeur afin de compenser les pertes, maintenir la fertilité.

La connaissance des propriétés physiques et chimiques des sols permet de mieux développer le secteur agricole ; un domaine en plein essor dans notre pays aujourd'hui.

Tables des Matières

Liste f

Liste t

Introduction

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I. Caractéristiques générales du milieu	13
I.1. Situation géographique	13
I.2. Cadre géologique	14
I.3. Facteurs pédologiques	14
I.4. Facteurs hydrologiques	14
I.5. Climat	16
I.5.1. Températures	16
I.5.2. La pluviométrie.....	17
I.6. Les sols forestiers	18
I.6.1. Définition du sol	18
I.6.2. Morphologie des sols forestiers.....	19
I.6.3. Les constituants du sol	20
I.6.4. Diverses phases du sol	21
I.6.2. Propriétés du sol	23
I.7. Couvert végétal de la région d'étude	28
I.8. Activités Humaines	30
I. Identification de la zone d'étude	20
I.1. Choix des stations	20
a) Prélèvement des échantillons	20
b) Phases de prétraitement des échantillons	20
II. Paramètres analytiques	21

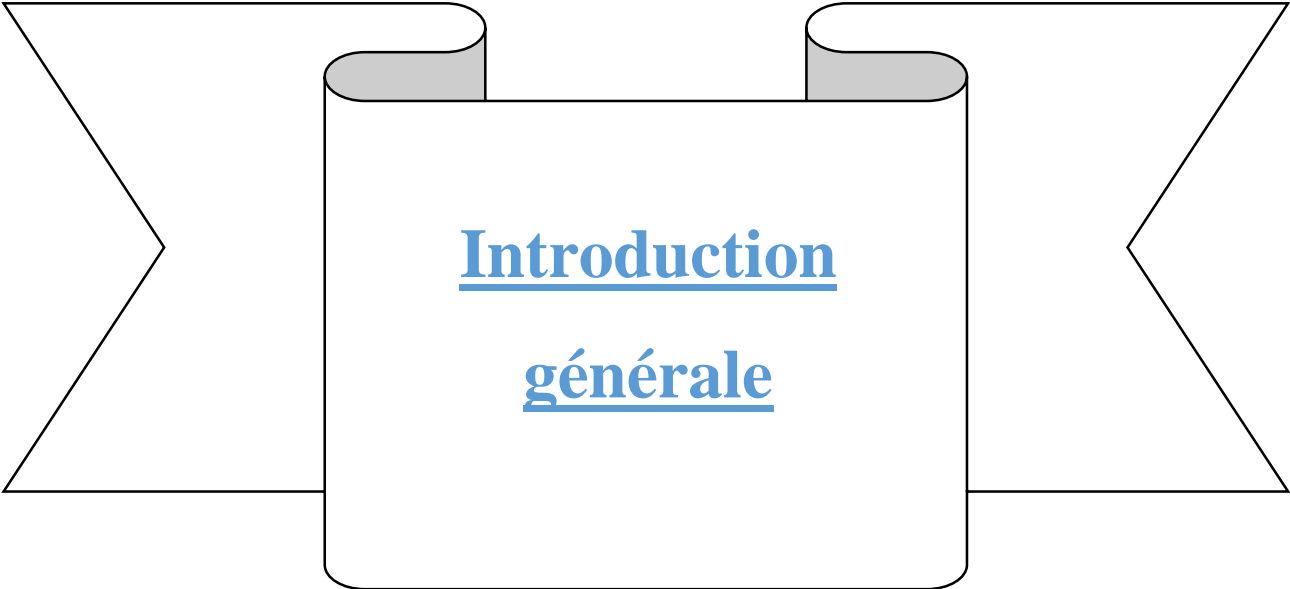
II.1. Densité apparente du sol.....	21
II.2. pH du sol.....	21
II.3. Conductivité électrique.....	23
II.4. Teneur en matière organique du sol	24
II.5. Analyse granulométrique	25
I. Description des profils pédologiques	27
I.1. Profil 1 (A).....	27
I.1. Profil 2. (B).....	28
I.1. Profil 3. (C).....	29
I.1. Profil 4 (D).....	30
I.1. Profil 5.(E).....	31
I.1. Profil 6 (F)	32
I.1. Profil 7 (E).....	33
II. Paramètres chimiques.....	34
II.1. Le pH.....	34
II.1.1. pH eau	34
II.1.2. pH-KCl	36
II. .2. Conductivité électrique (C.E).....	37
II. 3. Teneur en matière organique	38
III. Paramètres physiques.....	40
III.1. Densité apparente (Da)	40
III.2. La granulométrie	41

Liste Des Figures

Figure 01 : Situation géographique de la région d'étude (Google maps 2021).....	13
Figure 02 : Ripisylve dans la région d'étude (photo originale, 2021).	15
Figure 03 : Petit barrage (photo originale, 2021).	15
Figure 04 : Températures mensuelles moyennes de l'air en °C (maximales, minimales et moyennes) à Tizi-Ouzou (période 2012-2020, Source : O.N.M de Tizi-Ouzou).....	17
Figure 05 : Pluviométries mensuelles relevées pour la région d'Ait Ouabane (1999-2013)..	18
Figure 06 : Différents horizons d'un sol (Photo originale).	20
Figure 07 : les trois phases du sol.	23
Figure 08 : Structure du sol (photo originale).	24
Figure 09 : végétation de la région d'étude (photo originale, 2021).	29
Figure 10 : Mesure du pH de l'extrait aqueux de la solution du sol.....	22
Figure 11 : Méthode de mesure de la conductivité électrique.....	23
Figure 12 : Matériel de mesure de la matière organique : (a) creusets à l'intérieur de l'étuve et (b) à l'intérieur du Four.....	25
Figure 19 : Teneurs en matières organiques des échantillons de sols.	38
Figure 20 : Corrélation entre la densité apparente et la matière organique	40

Liste des Tableaux

- Tableau 01.** Températures moyennes mensuelles de l'air (en °C) (maximales, minimales et moyennes) enregistrées à Tizi-Ouzou (période 2012-2020, source O.N.M de Tizi-Ouzou)... 16
- Tableau 02.** Pluviométries mensuelles enregistrées en 1999- 2013 et durant l'année 2013 pour la région d'Ait Ouabane (MERABET, 2014)..... 17
- Tableau 03.** Densité apparente D_a (g/cm³) des échantillons de sols.**Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau 04.** Composition granulométriques des échantillons de sols.**Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau 05.** Composition granulométrique moyenne dans les profils.**Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau 06.** Valeurs de pH-eau et pH-KCl des échantillons de sol**Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau 07.** Valeurs de la conductivité électriques des échantillons de sols.**Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau 08.** Résultat de carbone et de la matière organique pour les sols de la zone d'étude 39



Introduction

générale

La forêt est considérée, ou doit être considérée, comme un écosystème ayant des rôles multiples qu'il convient de conserver ou de restaurer. C'est un conservatoire de biodiversité excellent parce qu'il existe plus d'espèces animales et végétales dans ce biotope que dans les milieux ouverts (DAJOZ, 2007).

Les forêts sont des éléments dynamiques. Connues déjà à l'état fossile, au milieu du dévonien, elles étaient très différentes de celles actuelles. Une caractéristique de ce changement est l'augmentation progressive de l'importance relative des végétaux ligneux par rapport aux herbacés, accompagnée en plus par une diversification des animaux, en particulier des insectes, ce qui montre l'importance du milieu forestier dans l'établissement de la diversité animale (RETALLACK, 1997).

La forêt de Darna, classée comme réserve naturelle au sein du Parc National du Djurdjura, est un milieu de richesse écologique remarquable. Forêt mixte de chêne vert, érable et autres feuillus rares à aspect tempéré. Elle est la seule forêt en Algérie, présentant des espèces reliques tant sur le plan de la flore que sur celui de la faune (KROUCHI, 2010 ; MEDDOUR, 2010). Cette forêt se caractérise par une hétérogénéité dans la distribution de la végétation. Le couvert végétal apparaît sous l'aspect mosaïque de petits peuplements de feuillus et de chêne vert sous divers aspects. Cependant malgré son intérêt scientifique certain, de nos jours peu d'études existent surtout du point de vue de la pédologie. L'intérêt de plusieurs chercheurs algériens c'est surtout focalisé sur les aspects sylvicoles (NEDJAH, 1988), écologique, phytosociologique (DJELLOULI, 2010) et génétique (KROUCHI, 2010).

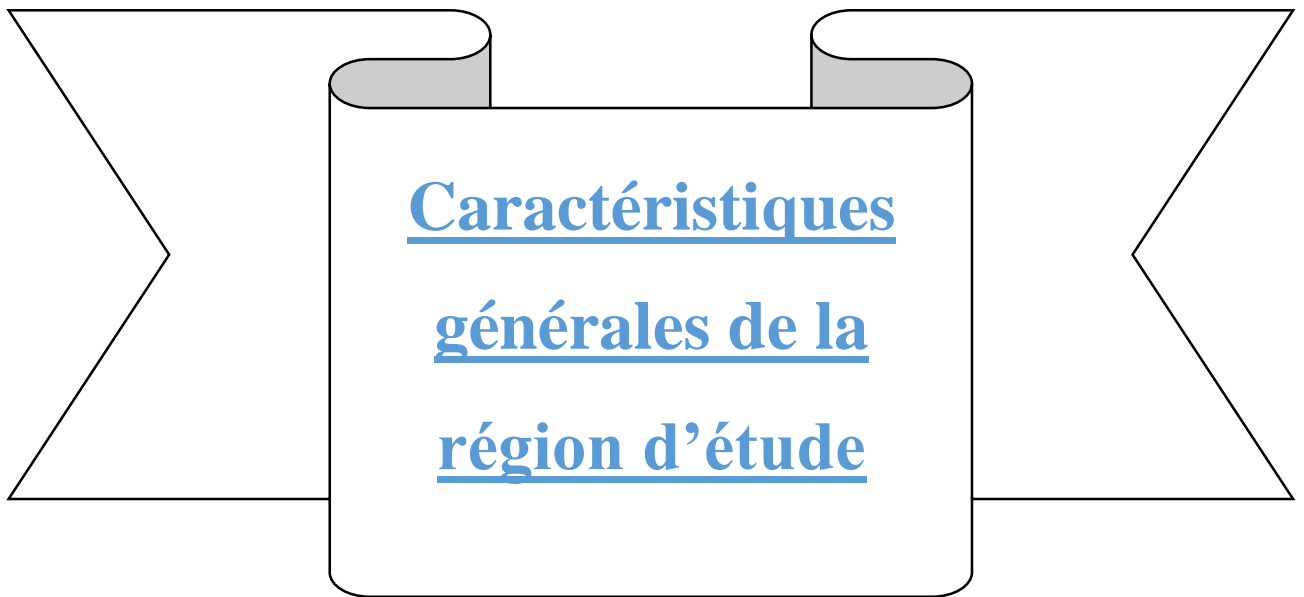
Dans le cadre de ce mémoire notre intérêt s'est porté spécialement sur cette région, d'abord pour nous appliquer et ensuite essayer de contribuer à une meilleure connaissance des sols sur les plans caractéristiques physiques et caractéristiques chimiques. Pour ce faire, une prospection de terrain a été entreprise, des profils ont été décrits et enfin des analyses de laboratoire sont faites pour l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques des sols forestiers.

L'ensemble de ce travail est structuré en chapitres :

- Le Chapitre I est dédié à une synthèse bibliographique qui constitue une description générale de la région d'étude ainsi que ses facteurs écologiques.
- Le Chapitre II décrit le travail réalisé sur le terrain, les paramètres analytiques ainsi que les méthodes de laboratoires utilisées pour la détermination des paramètres physiques et chimiques du sol.
 - Le chapitre III est consacré à la présentation et la discussion des résultats obtenus à partir de l'analyse des différents paramètres

Pour finir, une conclusion générale résumant l'ensemble des résultats obtenus.

Chapitre I



I. Caractéristiques générales du milieu

I.1. Situation géographique

La forêt de Darna est localisée au Sud-Est de la wilaya de Tizi- Ouzou, sur le plan administratif elle fait partie de la daïra d'Ath Yenni et la commune d'Iboudrarène. Elle est délimitée au Nord par le chemin de Wilaya N° 11 qui relie le village de Darna à celui de Thala N'Tazerth, au Sud par la route Nationale N°13 et une série d'escarpements rocheux importants, à l'Est par Assif El- Hammam et par les villages de Darna et de Thaghzarth et à l'Ouest par un maquis plus ou moins dense (figure 01).

Cette forêt s'étend sur une superficie de 450 ha, et s'étale de 768 m à 1319 m d'altitude. Les coordonnées angulaires sont pour l'ensemble de l'aire d'étude ($36^{\circ} 28' - 36^{\circ} 30'$) Latitude de Nord et $04^{\circ} 15' - 04^{\circ} 17'$ Longitude Est (BENSIDHOUM, 2010).

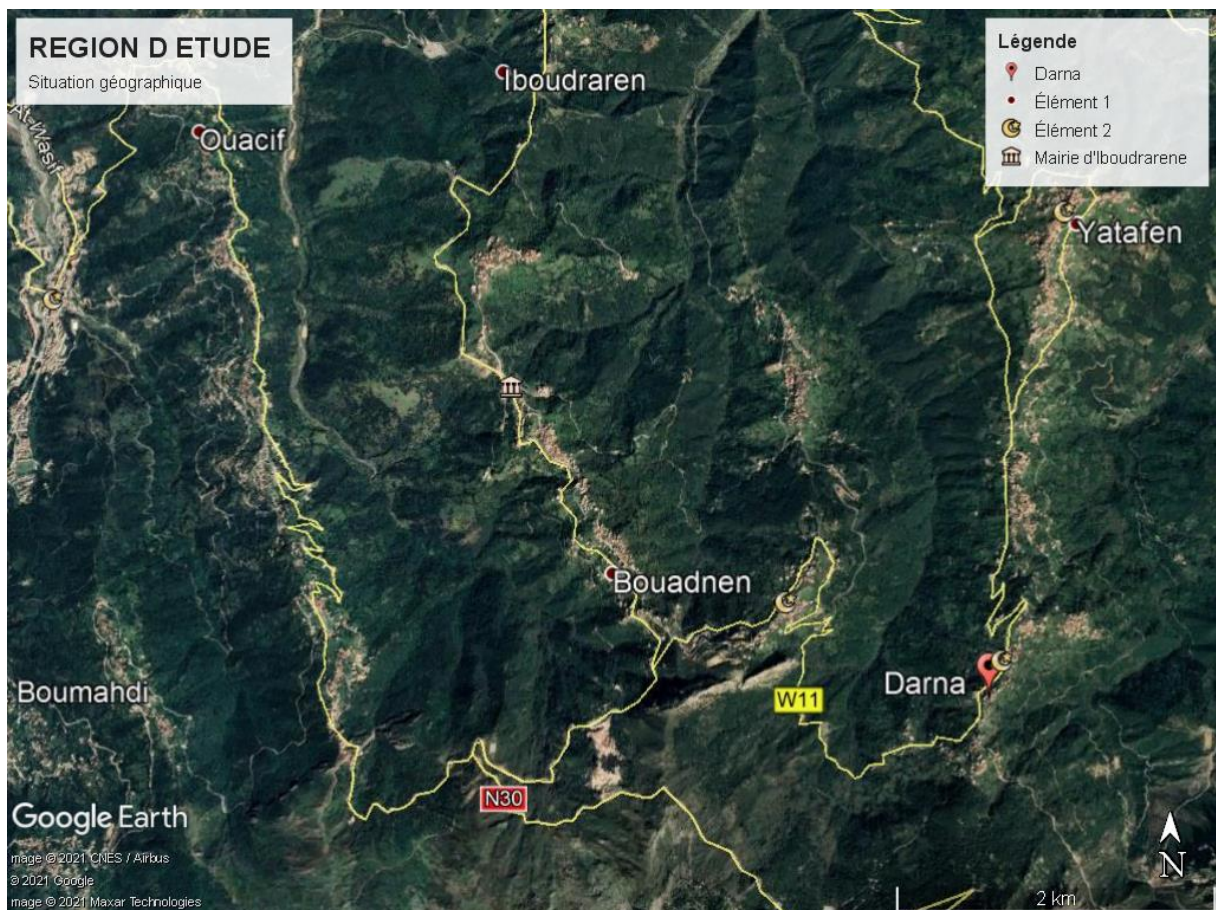


Figure 01 : Situation géographique de la région d'étude (Google maps 2021).

I.2. Cadre géologique

Le massif de Djurdjura a fait l'objet de nombreuses études géologiques, stratigraphiques, tectoniques et orogénèses (FLANDRIN, 1952 ; THIBAUT, 1952 ; RAYMAND, 1976 ; GELARD, 1979 ; ABDESSLAM, 1995) (in BENSIDHOUM).

La région d'étude fait partie intégrante de ce massif qui est très complexe sur le plan géologique. Il est constitué de terrains sédimentaires fortement plissés et fracturés. Le calcaire est l'un des principaux faciès qu'on retrouve dans le Djurdjura (FLANDRIN, 1952).

La région de Darna présente des dénivellations importantes. Elle comporte une zone de montagne délimitée et abritant l'essentiel des agglomérations villageoises et une zone de vallée correspondant à l'oued irriguant la commune Yatafen et Akbil en contre bas du village de Darna.

Trois crêtes rocheuses caractérisent la région d'étude :

- Adrar Ait Darna ;
- Lemdhla ;
- Tizi Oughilas.

I.3. Facteurs pédologiques

L'ossature du Djurdjura est de type calcaire, et les crêtes dolomitiques et les sédiments sont gréseux et marneux (FLANDRIN, 1952 ; GELARD, 1979).

Nos observations nous permettent d'avancer que la litière présente une épaisseur de 3 centimètres dans la plupart des stations étudiées.

I.4. Facteurs hydrologiques

La région de Darna est caractérisée par un réseau hydrologique important et varié, comportant de petits ruisseaux (Ighzer Lahouana, Ighzer Nassaka...) et des oueds (Assif El Hammam et Thassifh Boudrar), qui sont les principaux affluents de l'oued Aissi. Ces cours d'eau sont caractérisés par un régime très variable du fait du caractère irrégulier et de l'importance de l'évapotranspiration (GELARD, 1979 ; ABDESSLAM, 1995).



Figure 02 : Ripisylve dans la région d'étude (photo originale, 2021).

Par ailleurs, un petit barrage qui alimente par une galerie souterraine l'usine hydroélectrique d'Assif El Hammam est à signaler au Nord du site d'étude. La région possède de nombreuses sources dont le régime d'écoulement est irrégulier. Ces réseaux hydrographiques créent une hétérogénéité du relief et hébergent une végétation caractéristique (BENSIDHOUM, 2010 ; ABDESSLAM, 1995).

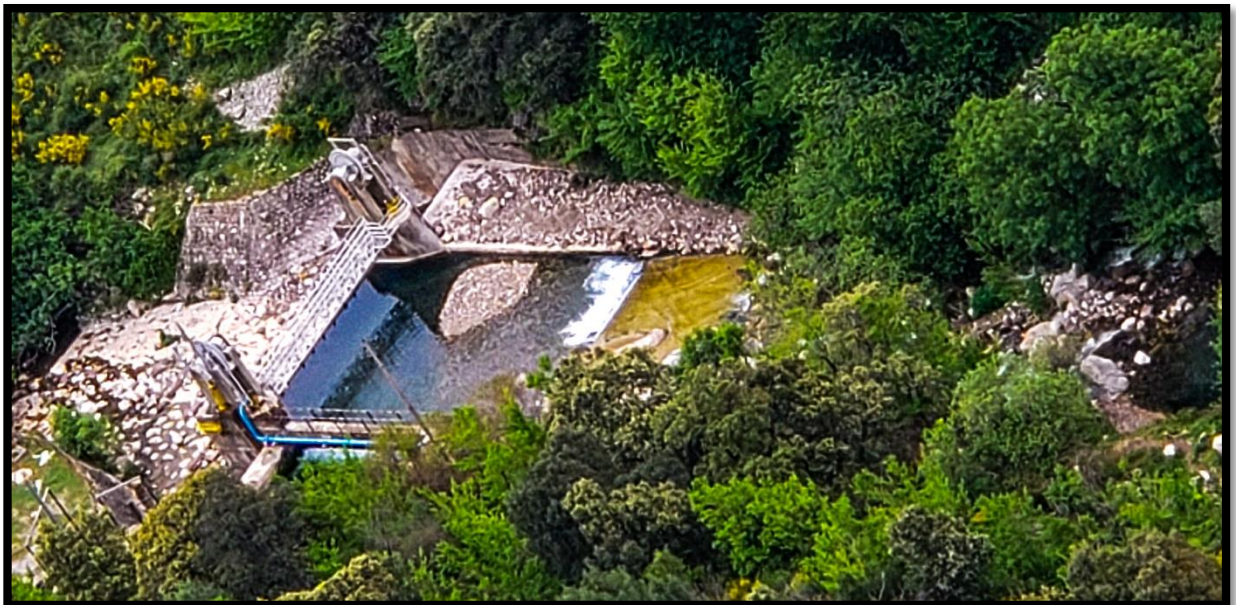


Figure 03 : Petit barrage (photo originale, 2021).

I.5. Climat

Le climat est un ensemble fluctuant de phénomènes météorologiques qui caractérisent principalement l'atmosphère d'un lieu donné et dont l'action complexe influence le comportement des êtres vivants (DOUCET, 1997). Les températures et les précipitations sont les deux éléments principaux du climat (DAJOZ, 2006), intervenant dans la distribution de la végétation et l'évolution des sols (OZENDA et QUEZEL 1956 ; DUCHAUFOR, 1997).

Globalement la Kabylie bénéficie de conditions climatiques méditerranéennes. En raison des massifs montagneux comme la chaîne littorale et celle du Djurdjura, il neige chaque année en hiver entre Décembre et Mars pour les hautes altitudes (700 mètres et plus). En été, la chaleur peut être suffocante car l'air marin se heurte au relief montagneux bordant le littoral.

I.5.1. Températures

Représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques (RAMADE, 2003). Dans le tableau 01, nous avons reporté les valeurs moyennes mensuelles, minimales et maximales des températures de l'air enregistrées à Tizi-Ouzou durant la période allant de 2012 à 2020 (Source : Office Nationale de la Météorologie de Tizi-Ouzou, O.N.M).

Tableau 01. Températures moyennes mensuelles de l'air (en °C) (maximales, minimales et moyennes) enregistrées à Tizi-Ouzou (période 2012-2020, source O.N.M de Tizi-Ouzou).

Mois	Sept	Oct	nov	Dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juill	aout
T° moy Max	31,47	27,64	19,80	17	16,05	16,38	19,12	22,63	27,09	31,79	36,08	35,11
T° moy min	19,2	15,61	12,36	8,18	6,72	6,72	9,08	11,45	14,01	17,66	21,31	22,25
T° moy	24,53	20,64	15,26	11,85	10,64	10,84	13,48	16,31	20,75	24,42	28,24	28,38

Les données du tableau 01, montrent que les mois de Décembre, Janvier et Février sont les plus froids, leurs températures moyennes sont respectivement : 11,85°C ; 10,64°C ; 10,84°C et leurs températures minimales sont : 8,18°C ; 6,72°C ; 6,72°C quant aux températures maximales sont évalués respectivement à 17°C, 16,05°C et 16,38°C.

Les mois de Juillet et Aout peuvent être considérés comme les plus chauds. Leur températures moyennes enregistrées sont respectivement : 28,24°C ; 28,38°C, avec des températures maximales de 36,08°C et 35,11°C et des minimas de 21,31°C et 22,25°C. Les moyennes annuelles des températures de l'air sont variables d'une année à une autre, la température moyenne interannuelle à Tizi-Ouzou entre 2012 et 2020 est de 18,77°C.

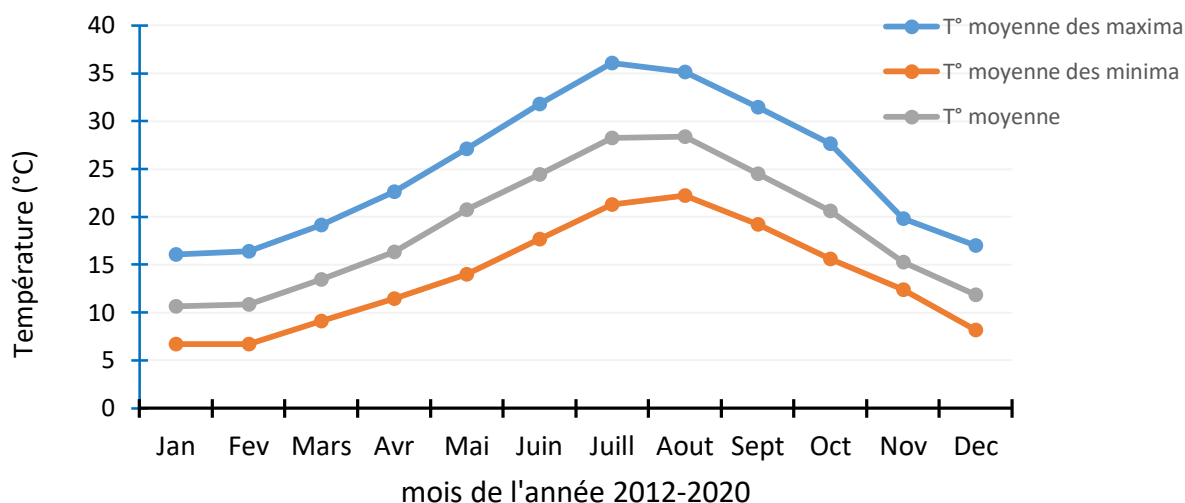


Figure 04 : Températures mensuelles moyennes de l'air en °C (maximales, minimales et moyennes) à Tizi-Ouzou (période 2012-2020, Source : O.N.M de Tizi-Ouzou).

I.5.2. La pluviométrie

On désigne sous le terme général de pluviométrie, la quantité totale de précipitations (pluie, grêle et neige) reçue par unité de surface et unité de temps (RAMADE, 2009). La répartition des pluies en Algérie subit diverses influences dont celle de l'altitude, des conditions topographiques, de la longitude, de la latitude et enfin l'éloignement de la mer (QUEZEL, 1957).

En Kabylie, les précipitations sont souvent fortes, elles tombent sous forme de neige en régions de hautes altitudes, de grêle et de pluies en régions de basses et moyennes altitudes.

Les données pluviométriques enregistrées dans la localité la plus proche de la région d'étude (Ait-Ouabane) sont portées sur le tableau 02.

Tableau 02. Pluviométries mensuelles enregistrées en 1999- 2013 et durant l'année 2013 pour la région d'Ait Ouabane (MERABET, 2014).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P(mm) 1999-2013	41,7	89,5	166,6	173,5	159	230,7	124,5	170,8	165,4	32,3	6,6	12,3
P(mm) 2013	12,9	138,3	114,1	99	88,8	285	159,8	225,1	60,7	0,7	1,6	40,8

Les données de pluviométrie enregistrées au tableau 2 indiquent que dans la zone d'étude proche d'Ait Ouabane, le mois le plus pluvieux est le mois de février avec 230,7 mm pour la période qui s'étale de 1999 à 2013. Le total des précipitations enregistré pour ces 22 années est de 1370,5 ce qui permet de dire que cette période est pluvieuse. Il est à remarquer qu'il existe une irrégularité au niveau des quantités d'eau tombées durant les différents mois dans cette région pour l'année 2013. Le maximum de précipitations de 285 mm est enregistré en février. Par contre le mois le plus sec est le mois de juin où à peine la pluie est tombée. Le total des précipitations est de 1226,8 mm en 2013, ce qui permet de dire que cette année est aussi pluvieuse.

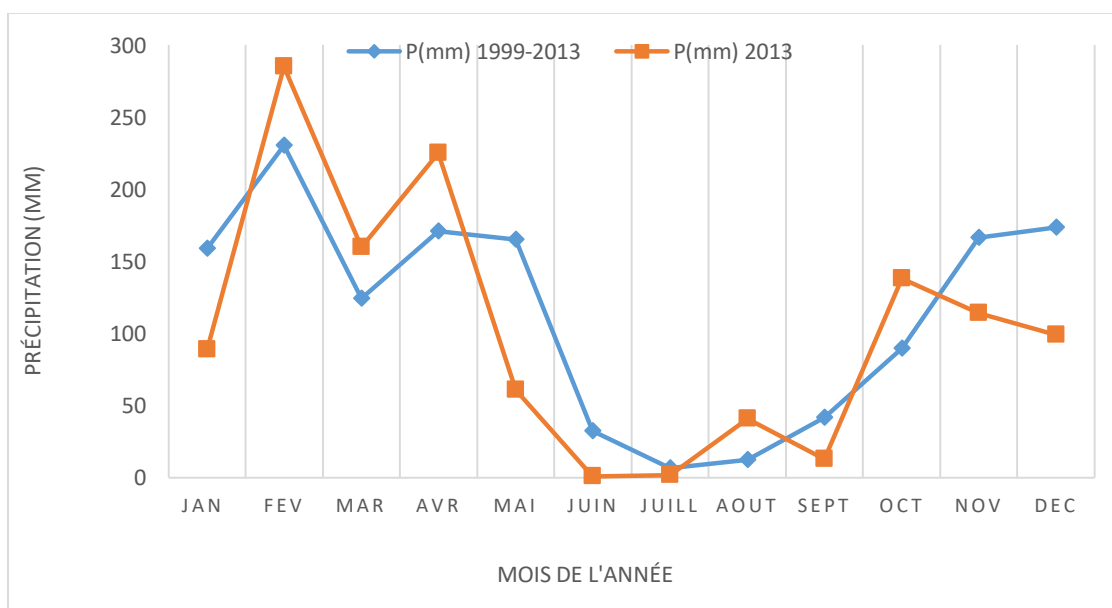


Figure 05 : Pluviométries mensuelles relevées pour la région d'Ait Ouabane (1999-2013).

I.6. Les sols forestiers

I.6.1. Définition du sol

Le sol est la couche la plus superficielle qui couvre les terrains géologiques. Elle est généralement meuble et d'épaisseur variable : de quelques centimètres à près d'un mètre sous nos climats, elle peut atteindre plusieurs mètres sous un climat tropical.

Le sol provient d'une altération de la roche géologique sous-jacente, appelée pour cette raison roche mère ou matériel parental. Une façon de mettre en évidence le lien génétique du sol actuel avec le matériel géologique sur lequel il a pris naissance.

Pour les pédologues (Dukochaev, 1900 ; Boulaïne (1989) ; Duchaufour, 1997) « le sol est le produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent ». Il s'est formé en quelques siècles ou quelques milliers d'années, sous l'influence de périodes climatiques et de végétations successives, et sous le contrôle du relief. C'est donc le résultat d'un héritage (CHARNET F ;2018).

I.6.2. Morphologie des sols forestiers

C'est la caractéristique la plus accessible d'un sol, facilement observable sur le terrain, d'après une tranchée ou un sondage. Le sol apparaît comme la superposition de couches à peu près parallèles à la surface, d'une épaisseur de quelques centimètres à quelques décimètres, qui se singularisent par leur aspect, leur couleur, leur consistance au toucher (CHARNET F ;2018). Ces couches sont dénommées les horizons.

I.6.2.1. Différents horizons d'un sol

Un sol est une pellicule d'altération recouvrant une roche, il est formé d'une fraction minérale et de matières organiques (l'humus). Les processus d'altération, d'humidification et de différenciation aboutissent à l'apparition de couches superposées plus ou moins distinctes et différentes selon la texture, la structure et la composition chimique.

Ces différentes couches correspondent aux horizons dont l'ensemble constitue le profil du sol.

Ces horizons peuvent être déclinés en différents sous horizons en fonction du type de sols rencontrés (figure 06). On distingue quatre horizons majeurs :

- **L'horizon A** est un horizon majeur occupant la partie supérieure du profil, dans le milieu forestier son épaisseur est souvent confondue avec celle de la litière fraîche. Cette dernière peut aller de quelque centimètre à une dizaine de centimètres. Il est présentant une quantité importante de matière organique et une faible quantité de matière minérale. Cette matière organique provient de la litière en phase de décomposition.

- **L'horizon B** est situé au-dessous de A, il est caractérisé par des teneurs en argile, fer et humus plus élevées que les autres horizons. Cet enrichissement peut être du soit à des transformations des minéraux préexistants, soit à des apports illuviaux. La matière organique présente dans cet horizon est plus âgée et provient de l'horizon supérieur (A). Elle est adsorbée sur les argiles et les oxydes de fer et d'aluminium et forme le complexe argilo-humique (CHARNET F ;2018).

• L'horizon C situé au-dessous de B (en dessous de 150 cm) est un horizon minéral représentant la roche mère en voie d'altération. C'est un horizon très important pour la végétation forestière car il permet un meilleur enracinement dans le milieu et sur des reliefs accidentés comme ceux de la forêt de Darna.

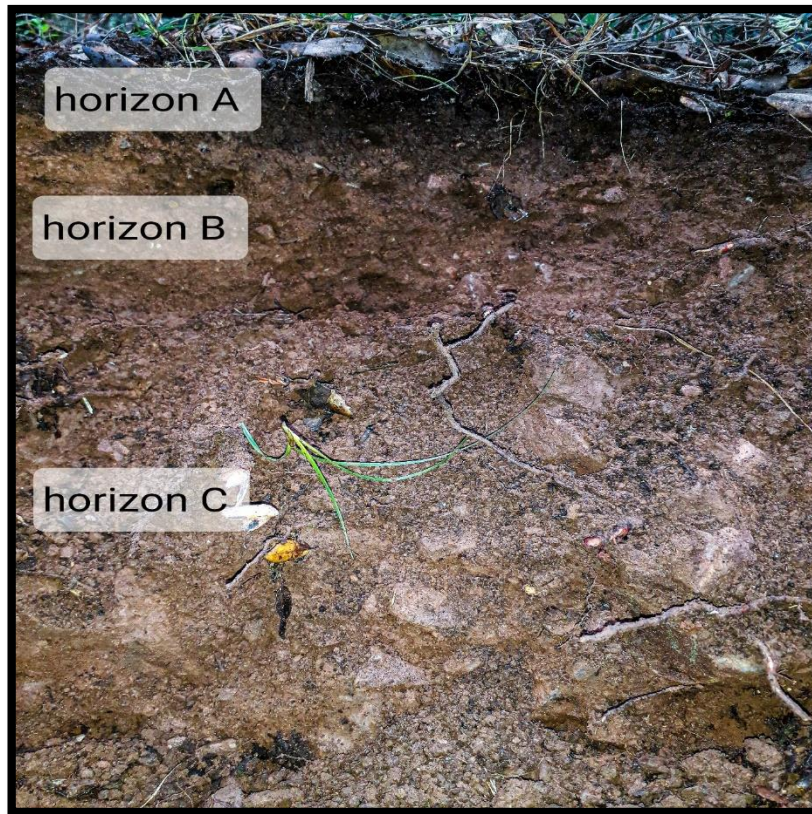


Figure 06 : Différents horizons d'un sol (Photo originale).

I.6.3. Les constituants du sol

Le sol en place sur le terrain est constitué de matière solide (assemblage de particules) et des vides, qui constituent la porosité. La phase solide est faite de particules minérales (les grains), majoritaires dans la plupart des horizons, et de matière organique (quelques pour cent, sauf dans les sols organiques ou tourbeux où elle domine).

Quant à la porosité, elle peut être occupée par deux phases, la phase gazeuse (l'atmosphère du sol) et la phase liquide. Les proportions relatives de l'eau et de l'air varient fortement selon les saisons et les périodes climatiques. Quand toute la porosité est occupée par l'eau, on dit que l'horizon du sol est saturé (CHARNET F ;2018). C'est la marque d'existence à ce niveau au moment de l'observation.

I.6.4. Diverses phases du sol

I.6.4.1. Phase liquide du sol

La phase liquide du sol est souvent désignée par le terme « solution du sol », occupe une partie plus ou moins importante de la porosité du sol, est constituée d'eau où se trouvent diverses substances organiques et minérales dissoutes et des particules en suspension (CHARNET F ;2018).

La composition de la solution du sol varie selon :

- Le climat,
- Les apports anthropiques (fertilisants, produits de traitement phytosanitaire...etc.).
- L'activité biologique du sol (exsudats racinaires, produits de synthèse et de dégradation microbienne ...etc.).

I.6.4.2. Phase gazeuse du sol

Dans un sol bien aéré, les gaz qui règnent dans l'atmosphère du sol sont :

- L'azote (78 à 80%) ;
- L'oxygène (18 à 20%) ;
- Le dioxyde de carbone (0,2 à 3%).

D'autres molécules gazeuses d'origine anthropique telles que les pesticides ou les HAP peuvent également être détectées dans l'atmosphère du sol. Ces gaz peuvent exister dans le sol :

- Soit à l'état libre ;
- Soit dissous dans la solution du sol.

Cependant, dans certaines conditions (d'hydro-morphie par exemple), la phase gazeuse peut être absente ; tout l'espace poral du sol est alors occupé par l'eau et le sol est dit saturé.

I.6.4.3. Phase solide du sol

La phase solide du sol est en général majoritairement minérale qui comprend :

A- Eléments grossiers

Ce sont les éléments > 2mm et on les classe par dimensions :

- 0,2 cm à 2 cm : graviers ;

- 2 à 5 cm : cailloux ;
- 5 à 20 cm : pierres ;
- > 20 cm : blocs.

Leur expression se fait en pourcentage, qu'on donne sur le terrain en fonction du volume et en laboratoire en fonction de la masse (sur un échantillon de sol, au laboratoire, on estime le pourcentage après passage au tamis de 2mm).

B- Terre fine

La terre fine est la fraction de terre qu'il reste lorsqu'on retire les éléments grossiers (donc < 2 mm, au tamis). On peut classer les éléments de la terre fine par dimensions :

- 2mm à 0,2 mm : sable grossiers ;
- 0,2 mm à 50 μ m : sable fins ;
- 50 μ m à 20 μ m : limons grossiers ;
- 20 μ à 2 μ : limons fins ;
- < 2 μ : argiles.

Elle comprend aussi une fraction organique dont le taux varie selon le type de sol et les conditions de pédogenèse. Les sols cultivés présentent des taux de matière organique compris dans une gamme allant de moins de 1% à 20% de la masse du sol (CHARNET F ;2018).

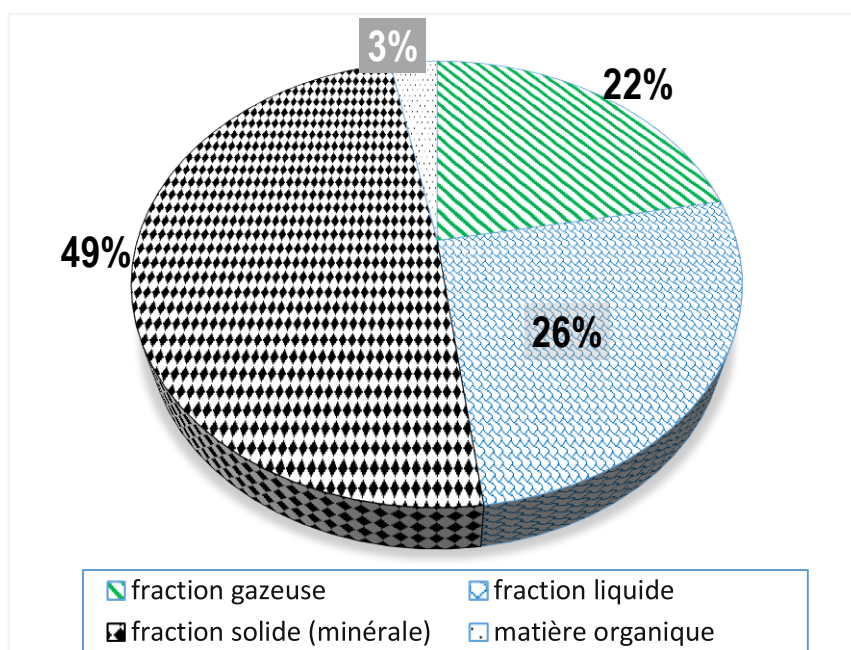


Figure 07 : les trois phases du sol.

I.6.2. Propriétés du sol

I.6.2.1. Propriétés physiques

A- La texture

La texture est une représentation simplifiée de la granulométrie qui peut s'estimer sur le terrain. Elle ne retient dans son appellation que les fractions majoritaires, en tenant compte de leur proportion, mais aussi de leur degré d'influence sur les propriétés du sol.

La texture du sol est à la base de toutes les autres propriétés, c'est la propriété du sol qui traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine, elle constitue un caractère fondamental du sol, car elle influe sur Perméabilité du sol à l'eau et à l'air :

Le critère retenu pour mesurer la perméabilité est la vitesse de percolation de l'eau exprimée en Cm³/h. Le taux élevé de la matière organique n'implique pas forcément une bonne perméabilité.

La rétention de l'eau sous forme de vapeur ou liquide, l'eau occupe environ un quart du volume d'un sol, quand ce dernier est saturé, l'eau qui percole à travers une tranche du sol le fait sous l'influence de la gravité. La teneur en air est complémentaire de la teneur en eau, puisque ces deux fluides se partagent l'espace poreux (CHARNET F ;2018).

Porosité total (% vol) = humidité (%) + teneur en air (%).

B- La granulométrie

La granulométrie décrit la proportion en poids des diverses tailles de particules minérales (argiles, limons fins et grossiers, sables fins et grossiers) exprimées en pourcent. Les éléments grossiers (familièrement les cailloux) ont été préalablement séparés par tamisage. La fraction organique est préalablement détruite. La granulométrie est évaluée en laboratoire en utilisant des protocoles normalisés. Sur le terrain, on détermine une propriété liée, la texture. L'influence des diverses fractions sur les propriétés du sol dépend d'autres caractéristiques. Ainsi pour les argiles, la nature minéralogique de ces particules fines détermine fortement leur influence sur les propriétés (CHARNET F ;2018).

C- La structure

La structure rend compte de l'arrangement des particules du sol en agrégats. Les particules agrégées constituent des unités de quelques millimètres, quelques centimètres, voire quelques

décimètres pour les plus gros : les agrégats. Il existe plusieurs types de structure selon la forme des agrégats.

La structure d'un sol est l'assemblage, à un moment donné, de ses constituants solides. La stabilité structurale dépend de la matière organique des sols.

Le complexe argilo-humique joue un rôle structural, ce rôle est plus ou moins important selon les teneurs en eau du sol et varie en fonction du type d'argile. La matière organique augmente la stabilité des agrégats. Une mauvaise structure peut donc empêcher l'écoulement des eaux dans le sol, les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Une bonne structure va assurer une grande facilité de circulation d'eau, donc laisse s'écouler l'excès, assure une bonne aération des racines, une bonne germination, une pénétration profonde des racines et une bonne exploration par les racines des ressources nutritives du sol (CHARNET F ;2018).

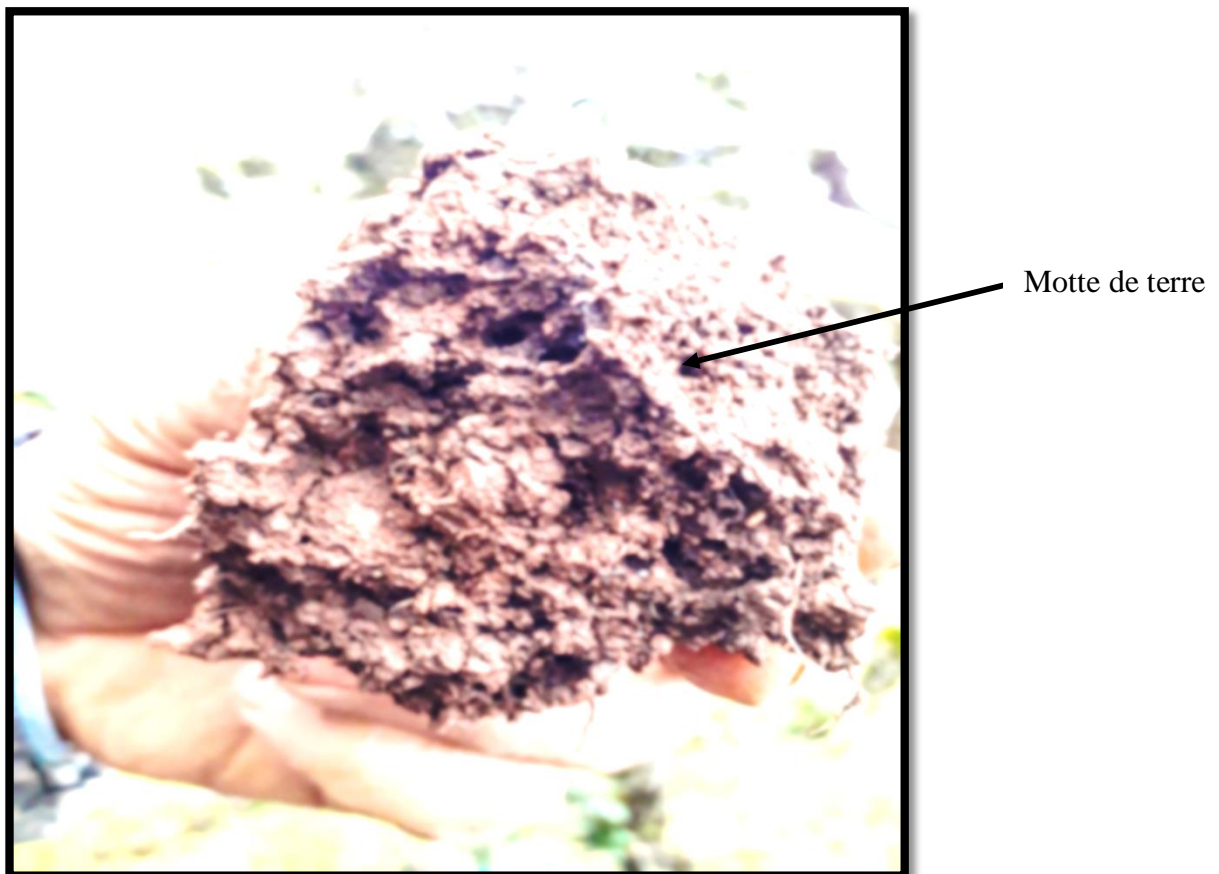


Figure 08 : Structure du sol (photo originale).

D- La densité apparente

La densité exprime la masse de la matière solide par volume, mesurée sur un échantillon de sol prélevé sur le terrain. Celle du sol pris globalement dans son état naturel sur le terrain (avec ses vides) s'appelle densité apparente : elle varie de 1 à 2, la valeur moyenne étant 1,5.

La densité apparente est la masse de sol présente dans un volume donné, généralement exprimée en g/cm³. La densité apparente est un indicateur du compactage du sol et est également nécessaire pour convertir la teneur en éléments (par exemple, la teneur en carbone organique du sol exprimé en g C / 100 g de sol) en stocks (par exemple, le stock de carbone organique du sol exprimé en tonnes C / hectare).

Les sols naturels peuvent avoir des densités apparentes très différentes, allant de 0,5 g/cm³ pour une couche supérieure organique à 2,2 g/cm³ pour une couche inférieure minérale massive. Un sol minéral bien structuré a généralement une masse volumique apparente d'environ 1,3 g/cm³. La densité apparente est déterminée en prélevant un volume connu de sol non remanié et en le pesant après séchage (CHARNET F ;2018).

I.6.2.2. Propriétés chimiques

A- Le pH, mesure de l'acidité

Cette caractéristique issue de la théorie chimique, rend compte de la concentration en ions H⁺ d'une suspension de terre dans l'eau. Il peut théoriquement varier de 0 à 14, mais dans les sols, l'amplitude courante de variation se situe plutôt de 3 (sol très acide), à 8 (sol basique), voire 10 sur les sols salés.

Le pH fait partie d'une des plus importantes caractéristiques physico-chimiques des sols, car la spéciation, et donc la mobilité et la biodisponibilité des éléments traces métalliques sont liées à sa valeur. Le pH est défini par la relation : $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$

Où : H⁺ -> l'activité des ions d'hydrogène en solution.

En solution diluée, l'activité peut être considérée égale à la concentration. Puisque le pH ne peut être mesuré qu'en solution, le pH du sol est en fait le pH d'une solution en équilibre avec son milieu. Ainsi, le principe de mesure du pH des sols est la mise en équilibre ionique entre la phase solide et la phase liquide. Selon les méthodes, les suspensions peuvent être réalisées avec de :

- L'eau distillée pour la détermination d'acidité réelle,

- Solutions salines telles que le chlorure de potassium ou le chlorure de calcium, détermination de l'acidité potentielle.

Le pH est une caractéristique globale qui est reliée à beaucoup d'autres propriétés du sol, ce qui lui confère un intérêt majeur.

B- Matière organique

En ce qui concerne la matière organique ou phase organique du sol, elle correspond à tout ce qui est constitué de carbone organique, qu'il soit vivant ou non vivant (insectes, plantes, humus, microorganismes...etc.).

L'humus est un terme qui regroupe l'ensemble de la matière organique non vivante du sol et qui peut être classé en deux catégories :

- **Substances non humiques :**

Correspondent à la fraction de matière organique dont les caractéristiques biophysicochimiques sont reconnaissables (exemple : les hydrates de carbone, les protéines, les acides aminés, les lipides...etc.).

- **Substances humiques :**

Sont issues de la transformation chimique ou biologique (altération, polymérisation...etc.) de la matière organique du sol (SAHNOUNE, 2014).

C- Conductivité électrique

La conductivité électrique est une mesure qui donne une approximation de la concentration des sels solubles présents dans l'échantillon. La conductivité d'un sol ou un sédiment est une mesure de la quantité d'ions présents et qui pourraient se dissoudre en présence d'eau.

I.6.2.3. Les fonctions de base d'un sol forestier

Les sols sont des milieux ouverts et dynamiques, échangeant de la matière et de l'énergie avec l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère. Ils accomplissent essentiellement cinq fonctions de base :

- Offrir un habitat physique, chimique et biologique pour les organismes vivants ;
- Réguler les flux d'eau, le stockage et le recyclage des cycles des nutriments et d'autres éléments ;

- Maintenir les activités et diversités biologiques pour subvenir à la croissance des plantes et la productivité des animaux ;
- Filtrer, tamponner, transformer et immobiliser les substances organiques et inorganiques ;
- Fournir un support mécanique aux organismes vivants et à leurs structures.

I.6.2.4 Les propriétés biologiques d'un sol

L'existence des sols nécessite la présence d'une activité biologique qui constitue un facteur majeur de leur évaluation et influe sur nombre de leurs propriétés des sols interagissent également sur les conditions de l'activité biologique qui s'y développe. Un équilibre s'instaure alors, pour les conditions énergétiques données (température, précipitation), entre les conditions des sols, qu'ils soient minéraux ou organique (biotope), et les organismes vivants qu'on y trouve (biocénose).

Ces organismes vivants, nombre et très divers, trouvent dans les sols une grande diversité de biotopes permettant leur développement, adaptés à leurs tailles et leur besoins (CALVET, 2013).

A- La faune du sol

La « Pédofaune » comprend un grand nombre d'organismes aux caractéristiques morphologiques très variées. Tous ces organismes vivent dans l'espace poral du sol, ou leur localisation dans les pores dépend de leur taille (CALVET, 2013).

- **Microfaune (taille <0,2 mm)**

Ces organismes sont présents en très nombre dans le sol. Ce sont principalement des protozoaires (amibes nues, thécamoebiens, ciliés, flagellés) et des nématodes. Ils vivent dans l'eau contenue dans les pores suffisamment grands pour les abriter.

- **Méso faune (0,2 à 4 mm)**

Elle comprend des microarthropodes : acariens, collemboles, diploures, protoures, petits myriapodes. A cela s'ajoutant des nématodes de grande taille et des enchytréides.

- **Macrofaune (4 à 80 mm)**

Elle est aussi constituée d'une très grande variété d'organismes tels que des vers, des insectes, des myriapodes, des mollusques et des araignées. Les vers de terre représentent probablement

la catégorie la plus importante, tant par leur biomasse que par leur rôle dans les processus de transport et de biotransformation se déroulant dans le sol.

De nombreuses espèces possédant des caractéristiques physiologiques très variées ont été inventoriées, décrites et réparties en trois groupes écologiques :

- Les espèces épigées : sont localisées près de la surface du sol ;
 - Les espèces endogées : vivent en profondeur ;
 - Les espèces anéciques : se déplacent dans tout le profil du sol (BOUCHE, 1972).
- **Mégafaune (taille >80 mm)**

Ce sont des animaux de grande taille (vertébrés, reptiles, amphibiens) qui utilisent le sol comme habitat.

I.7. Couvert végétal de la région d'étude

Comme le village de Darna est un endroit de très vieille occupation humaine, les formations végétales naturelles ont été depuis fort longtemps profondément modifiées par des pratiques diverses. L'agriculture vivrière et l'élevage étaient les activités quasi-essentiels de la population. Le besoin important en bois de chauffage et de cuisson, le pacage et les cultures notamment de figuiers, cerisiers et d'oliviers entraîne une forte exploitation du milieu par les riverains. En effet, c'est grâce à la structure organisationnelle ancestrale (Thadjemaith) du village que de vastes zones ont bénéficié d'une protection effective, faisant que les milieux forestiers ont été maintenus en l'état pendant des siècles jusqu'à ce jour (BENSIDHOUM, 2010).

L'essence principale de la forêt de Darna est le chêne vert (*Quercus ilex*) dont le taux de recouvrement peut atteindre 80%, avec une hauteur moyenne de 10 m. Cette espèce rentre en compétition à quelques endroits avec l'érable de Montpellier (*Acer monspessulatum*), l'orme (*Ulmus campestris*) et le merisier (*Prunus avium*). Nous citons également la présence de cèdre à l'état disséminé qui montre des hauteurs plus élevées et dépassent les houppiers du chêne vert. Le sous-bois variant de clair à très dense occupe généralement des surfaces très importantes. Les espèces les plus courantes sont la Bruyère arborescente (*Erica arborea*), le Lentisque (*Pistacea lentiscus*), l'aubépine (*Crataegus monogyna*), le Calycotum (*Calycotum spinosa*), des lianes et autres plantes grimpantes telles que le Chèvre feuille (*Lonicera etrusca*), le Climatis (*Climatis flannula*), l'Aristolochie (*Aristolochia longa*) et le Lierre (*Hedera canariensis*).

Nous retrouvons en moindre abondance l'Eglantier (*Rosa canina*), l'If commun (*Taxus baccata*), le Génévrier (*Juniperus oxycedrus*) et le Laurier des bois (*Daphne laureola*).

La strate herbacée est très variable et d'autant moins développée que le sous-bois. Cette strate est presque absente en hiver mais plus importante au printemps. Elle est représentée essentiellement par la Fougère mâle (*Dryopteris Filix-mas*), la Fougère royale (*Osmunda regalis*), et par de nombreuses graminées telle la Fétuque (*Festuca atlantica*), la Brize (*Briza maxima*) et la Poa (*Poa balbusa*).

La région de Darna se caractérise par de vastes plantations de Figuiers (*Ficus carica*) et plus particulièrement de cerisiers (*Prunus cerasus*) qui sont très développés. Malheureusement depuis quelques décennies ces vergers subissent une régression suite à leur destruction et dévastation par les populations de Singe magot (*Macaca sylvanus*).

La végétation rupicole est très riche et diversifiée. Nous citons entre autre le Frêne (*Fraxinus angustifolia*), l'Orme (*Ulmus campestris*), l'Aulne (*Alnus glutinosa*), la Ronce (*Robus ulmifolius*), les clématisses (*C. flammula*), les Aristoloches et les Asperges avec un taux de recouvrement important.

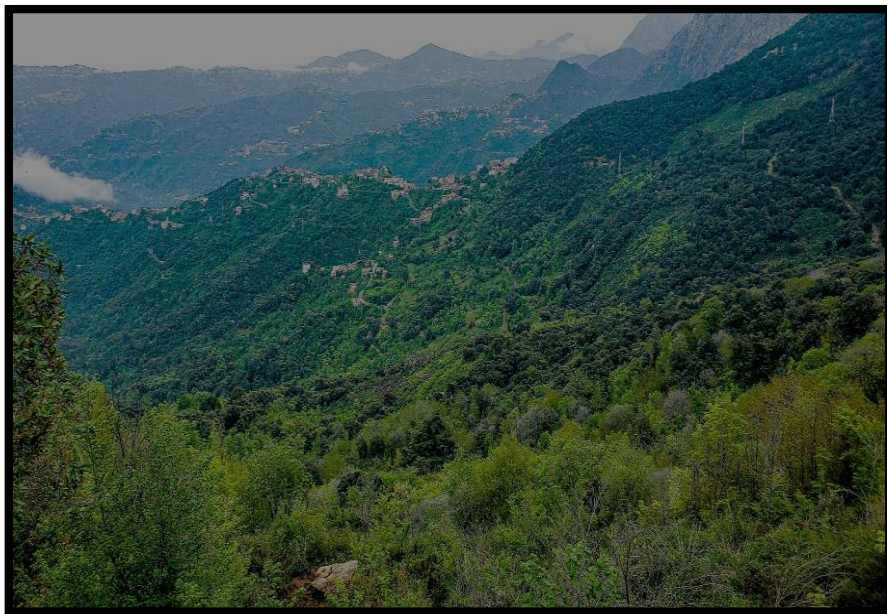


Figure 09 : végétation de la région d'étude (photo originale, 2021).

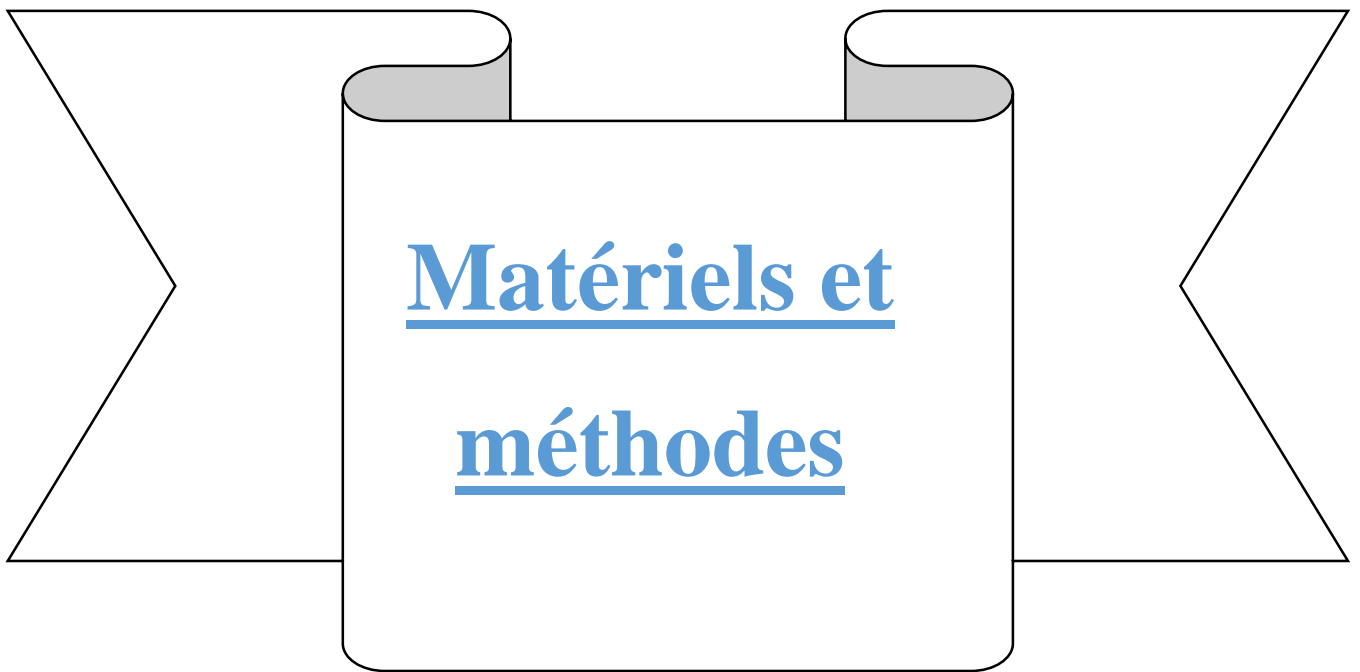
I.8. Activités Humaines

Une énorme pression est exercée sur le site d'étude. Ces dernières années plusieurs facteurs concourent à cet état de fait. De nombreuses actions sont remarquées : les coupes d'arbres pour l'usage domestique, le pâturage en forêt, le piétinement, la fréquentation des pistes et sentiers par les bergers, le déversement anarchique des ordures et des déchets, les feux de forêt, constituent des actes de destruction et de modifications de ces milieux naturels qui jusque-là subissaient un impact faible.

Le pâturage constitue un problème non négligeable du fait de sa pratique en semi- liberté notamment pour le cheptel bovin. Ainsi le pastoralisme engendre des phénomènes d'érosion, bloque le processus de régénération naturelle et de remontée biologiques, notamment ceux qui concernent les espèces rares et endémiques.

Les coupes de bois au sein des forêts pour le chauffage dégradent considérablement la structure naturelle de la végétation et rompent l'équilibre climacique de ces formations. A cela s'ajoute le défrichement de parcelles à des fins agricoles au détriment des milieux forestiers qui a pour conséquence la fragmentation des habitats et la régression des domaines vitaux de certains animaux sauvages.

Chapitre II



I. Identification de la zone d'étude**I.1. Choix des stations**

Dans le cadre de l'étude des sols, sept stations, représentatives de diverses parties de la forêt ont été choisies. Les points d'observation ont été choisis de façon à satisfaire l'hétérogénéité du milieu selon les facteurs physiques et la distribution de la végétation.

a) Prélèvement des échantillons

Le profil est creusé sur toute sa longueur jusqu'à atteindre le matériau d'origine (l'horizon c) où le profil est limité lorsque l'horizon inférieur ne présente plus de variation.

Ainsi, divers tests physiques et chimiques ont été faits sur le terrain :

- Description du profil selon la fiche
- Appréciation au toucher de la texture.
- Définition de la structure actuelle.
- Estimation de la couleur.
- Délimitation éventuelle des différents horizons morphologiquement décelables.
- Réaction à l'HCl, mettant en évidence la présence de calcaire dans le profil.
- Réaction à l'H₂O₂, mettant en évidence la présence de matière organique dans les horizons.

b) Phases de prétraitement des échantillons

Cette phase correspond au travail fait sur les échantillons au laboratoire. Ceci consiste à l'étalement des échantillons identifiés sur la paille, l'émiettement manuel des mottes et gros agrégats et leur séchage à l'air libre.

La seconde phase consiste à un passage au tamis de 2mm des échantillons séchés de façon à séparer la fraction fine (terre fine) de la fraction grossière dont le diamètre est supérieur à 2 mm.

II. Paramètres analytiques**II.1. Densité apparente du sol**

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol, elle est en effet, liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol (CHAWEL, 1977).

Elle permet en outre, de calculer la porosité et d'apprécier ainsi indirectement la perméabilité, la résistance à la pénétration des racines (MAERTENS, 1964). La cohésion des horizons (HENIN *et al*, 1969). La méthode d'échantillonnage appliqué est la méthode de cylindre elle est fondé sur la détermination du poids spécifique apparent d'un volume de sol prélevé.

La densité apparente sera calculée en appliquant la formule suivante :

$$Da = \frac{P \text{ sec } (105^{\circ}C)}{V (cm^3)}$$

Où : **P** ; poids sec de l'échantillon séché à 15 °C.

V ; le volume du cylindre.

II.2. pH du sol

Le pH du sol est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité des sols. Le pH de la solution du sol est considéré comme l'une des principales variables exprimant les propriétés chimiques des sols. Cette caractéristique contrôle de nombreux processus chimiques telle que la solubilité des éléments, par conséquent la nutrition minérale des plantes (SOLTNER, 2004). Ce potentiel hydrogène affecte spécifiquement la disponibilité des éléments nutritifs des plantes, en contrôlant les formes chimiques des nutriments (KABATA-PENDIAS, 2011).

La mesure du pH est faite à l'aide d'un pH-mètre selon le mode opératoire suivant :



Figure 10 : Mesure du pH de l'extrait aqueux de la solution du sol.

Mode opératoire pour la détermination du pH du sol

II.2.1. Pour le pH-eau

- Étalonnage du pH mètre avec les solutions tampon pH 4, pH 7 et pH 10 ;
- Peser 20g de sol (terre fine ≤ 2 mm) dans un bécher de 100ml ;
- Ajouter 50 ml d'eau distillé, selon le rapport solide/liquide de 1/2,5 ;
- Agiter de temps à autre durant une période de contact de 2h ;
- Effectuer la mesure après stabilisation de la valeur affichée.

II.2.2. Pour le pH-KCl

- **Préparation de la solution KCl (1mol/litre)**
 - Dans une fiole jaugée de 1000 ml, verser 800ml d'eau distillé, dissoudre 74,5g de chlorure de potassium ;
 - Ajuster avec de l'eau distillée à 1000ml ;
 - Agiter jusqu'à une dissolution parfaite des sels de chlorure de potassium ;
- Étalonnage du pH mètre avec les solutions tampon pH 4, pH 7 et pH 10 ;

- Peser 20g de sol (terre fine $\leq 2\text{mm}$) dans un bécher de 100ml et ajouter 50 ml de solution KCl à 1mol/litre, selon le rapport 1/2,5 ;
- Agiter de temps à autre durant une période de contact de 2h ;
- Effectuer la mesure après stabilisation de la valeur affichée.

II.3. Conductivité électrique

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. La conductivité d'une solution dépend de la concentration des ions présents et de leur vitesse de migration sous l'influence de la force électromotrice appliquée. Plus l'électrolyte est dilué, plus la conductivité diminue, car il y a moins d'ions par volume de solution pour assurer le transport du courant.

La conductivité d'une solution est définie comme l'inverse de la résistance. Sa mesure s'effectue par l'utilisation d'une cellule de conductivité couplée à un conductimètre, et la conductivité s'exprime en $\mu\text{S/cm}$, mS/cm ou dS/m .



Figure 11 : Méthode de mesure de la conductivité électrique.

La détermination de la conductivité électrique a été faite selon le mode opératoire suivant :

- Peser 10g de sol terre fine préalablement séché ;
- Ajouter 50ml d'eau distillé dans un bécher 100ml. Le rapport sol/eau à respecter est 1/5
- Agiter chaque 15minute pendant 2h ;
- Transvaser le liquide dans un bécher de 50 ml ;
- Faire la mesure de la CE.

II.4. Teneur en matière organique du sol

Pour doser la matière organique, nous avons utilisé le protocole de la perte au feu décrit par MATHIEU & PIELTAIN (2003). La méthode consiste à soumettre l'échantillon de sol à un niveau de températures de 200°C durant 16h pour éliminer le maximum d'eau inter-foliaire et l'eau des bordures des argiles, et à 450°C durant 4 heures pour la combustion du carbone organique.

Le mode opératoire a été adopté pour l'ensemble des échantillons :

- Le sol d'un poids de 5 g a été mis dans des creusets en céramique préalablement pesés à 0.001 g. le poids du creuset est noté M_0 ;
- Introduire les échantillons pour une durée de 16h dans l'étuve à 200°C, puis peser et noté le poids de l'échantillon déshydraté M_1 ;
- Placer le creuset et son contenu dans le four électrique et porter la température à $450 \pm 10^\circ\text{C}$, maintenir cette température pendant 4 heures, peser et noter le poids M_2 ;
- Recommencer l'opération de calcination jusqu'à ce que la différence de poids entre des pesées successives soit de moins de 0.01 g. Noter le poids du creuset plus l'échantillon calciné : M_2 .

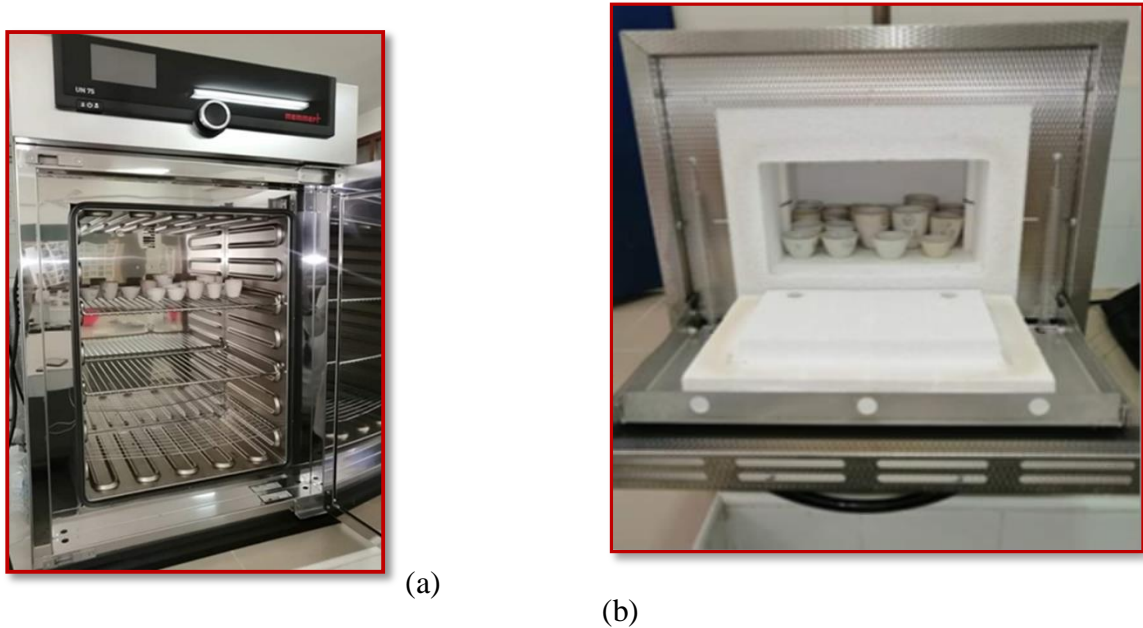


Figure 12 : Matériel de mesure de la matière organique : (a) creusets à l'intérieur de l'étuve et (b) à l'intérieur du Four.

• **Calculs :**

La perte au feu exprimée en pourcentage de la masse de l'échantillon déshydraté (après chauffage à 220°C) est donnée par l'expression :

$$\text{Perte au feu} = \text{Carbone Organique (\%)} = \frac{M1 - M2}{M1 - M0} \times 100$$

$$\text{Matière Organique (\%)} = 1,724 \times C (\%)$$

II.5. Analyse granulométrique

L'objet de cette analyse est de déterminer la texture, en classant par catégorie de diamètre, les particules minérales du sol.

Le prélèvement est réalisé à la pipette de robinson après destruction préalable de la matière organique à l'eau oxygénée. La destruction des agrégats par dispersion des colloïdes floculés, après agitation mécanique dans une solution d'hexameta-phosphate de Na.

Ensuite, des prélèvements sont réalisés au cours de la sédimentation à une profondeur et à des moments précis pour isoler les éléments non tamisés (argiles et limons fins), en tenant compte de la température du liquide et de la vitesse de sédimentation des fractions fines. Une séparation à l'aide de tamis ; des sables grossiers et des sables fins. La détermination des limons grossiers est déduite suite après.

Le mode opératoire a été adopté pour l'ensemble des échantillons :

- Introduire 10 g de terre fine sécher à l'air libre et tamiser au travers de mailles carrées de 2 mm de côté dans une creusée ;
- Peser la creusée avec la terre fine ;
- Mettre les creusées et la terre fine au four a moufle à 450°C pendant 4 heures pour la destruction de la matière organique ;
- Verser 900 ml d'eau distillé dans une colonne de 1000 ml, puis ajouter 15ml d'hexaméta-phosphate de sodium et les 10 g de terre fine après destruction de la M.O ;
- Jauger la colonne à 1000 ml avec l'eau distillé ;
- Agitation mécanique de la colonne ;
- Prélèvement des argiles + limons fin+ l'hexaméta-phosphate après un temps de sédimentation à une profondeur précise par rapport à la température de la solution ;
- Après avoir agité violemment et par retournement, poser le flacon à proximité de la pipette de robinson ;
- Laisser sédimenter durant 8 heures, en maintenant constante la température du liquide ;
- Au bout de 8 heures, on peut effectuer le prélèvement de 20 ml à une profondeur qui dépend de la température, de la suspension et du temps de sédimentation ;
- Procéder ensuite comme précédemment, et déterminer le poids du sédiment argile + hexaméta-phosphate contenue dans 20 ml de suspension.

Chapitre III



I. Description des profils pédologiques

I.1. Profil 1 (A)

Ce profil a été ouvert le 14/02/2021, sous chaîne vert à la limite de la coiffe de l'arbre à 1170m d'altitude. Dont on a observé une transition irrégulière entre les horizons.

	<p><u>0 - 7 cm :</u></p> <p>Litière de racines d'herbacées et de feuilles mortes de l'année et d'autres végétaux représentant la strate herbacée.</p> <p><u>7 - 14 cm :</u></p> <p>Horizon de couleur brun foncé à structure grumeleuse, dont la charte Munsell nous donne 7,5yR/ valeur 3/ chroma 2. Une très faible réaction au HCl. Présence de gravier de manière irrégulière sur l'ensemble de l'horizon de 2 à 15%. une diminution de MO au sein du profil vers le bas. Une bonne porosité avec une présence de cavité ≥ 2mm. Une faible humidité au sein du profil, est une bonne activité biologique.</p> <p><u>14-28 cm :</u></p> <p>Horizon de couleur brun claire à structure grumeleuse, dans la charte Munsell est de 2,5YR/ valeur 3/ chroma 3. Une faible humidité due à un bon drainage interne du sol. Une très faible réaction au HCl et à H₂O₂ ce qui signifie une faible teneur en calcaire et en MO. Une présence de gravier de manière irrégulière sur l'ensemble de l'horizon de 15 à 30% une consistance assez bonne et une résistance à la pénétration au couteau pédologique. Présence de racines mais faibles comparativement à l'horizon précédent.</p>
--	--

I.1. Profil 2. (B)

Ce profil a été ouvert le 14/02/2021, sous chaine vert à une altitude de 1175m. D'une pente de 25 à 30%. Dans la transition entre horizons et irrégulière. Le profil est sur le versant nord.

	<p><u>0 -3 cm</u> :</p> <p>Horizon humifié de litière, de racines d'herbacées et de feuilles mortes de l'année et d'autres végétaux.</p> <p><u>3 – 27 cm</u> :</p> <p>Horizon de couleur brun foncé, dont la charte Munsell et de 2,5YR/ valeur 3/ chroma3. Une réaction faible à l'HCl due aux cailloux riches en oxyde de fer. La réaction à l'H₂O₂ diminue avec la profondeur en raison de la matière organique qui diminue. Une bonne structure grumeleuse. Présence de galerie due aux racines et à la faune du sol.</p> <p>La disposition des cailloux sous forme angulaire est irrégulière sur l'horizon qui est de l'ordre de 10%.</p> <p><u>27- 51 cm</u> :</p> <p>Horizon de couleur brun claire à structure grumeleuse dans la charte munsell est de 5YR/valeur3/chroma4. Une très faible réaction au HCl et H₂O₂ ce qui signifie une faible teneur en calcaire et en MO. Présence de gravier de forme angulaire et de différents diamètres disposés irrégulièrement sur l'ensemble de l'horizon de 15 à 30%.</p> <p>Une consistance compacte, difficultés de pénétration au couteau pédologie.</p>
--	---

I.1. Profil 3. (C)

Ce profil a été ouvert le 14/02/2021, sous chêne vert à une altitude de 1191m, une pente de 30% avec une végétation moins dense, dont on à observer une transition irrégulière entre les profils.

	<p><u>0 – 5 cm</u> :</p> <p>Litière de racines d’herbacées et de feuilles mortes de l’année et d’autres végétaux. C’est un horizon humifié, dont la charte munsell 2,5YR/value 5/chroma 2.</p> <p><u>5 – 24 cm</u> :</p> <p>Horizon de couleur brun foncé, dans la charte munsell indique une couleur de 5 YR/value 3/chroma 3. Abondance de cailloux d’un taux de 15 à 30% de forme angulaire. Réaction faible à HCl et H₂O₂ qui inclue une faible teneur en calcaire et en MO. L’humidité est faible due à un bon drainage ce qui permet d’avoir une bonne porosité. Présence de cavité due à l’activité biologique et aux racines.</p>
--	---

I.1. Profil 4 (D)

Ce profil a été ouvert le 11/04/2021, sous chaîne vert à une altitude de 1180m. D'une pente de 20 à 25%. Dans la transition entre horizons et irrégulière. Le profil est version nord, avec une faible luminosité due au couvert végétale.

	<p><u>0 – 6 cm :</u> C'est un horizon de litière de l'année, une MO peut épaisse par rapport aux feuilles des arbres qui sont persistantes.</p> <p><u>6 – 24 cm :</u> C'est un horizon de couleur brun foncé dont la charte munsell nous donne la couleur 7,5YR/value 5/ chroma 4. Le taux de gravier est de 15% disposé de manière irrégulière sur l'ensemble du profil. Une faible réaction à l'HCl due à une très faible teneur en calcaire, une bonne effervescence à l'H₂O₂ ce qui explique une teneur en MO. Une humidité faible due à un bon drainage par rapport à la présence de cavités qui ont été faites par l'activité biologique le système racinaire.</p> <p><u>24- 60 cm :</u> C'est un horizon de couleur plus claire que l'horizon de surface dont la charte munsell nous donne 7,5YR/value 5/ chroma 4. Une présence de gravier qui est de 20%. Une faible réaction à l'HCl et l'H₂O₂ qui représente une faible teneur en calcaire et MO. Une structure compacte due à l'activité biologique et le nombre de racines inférieur à l'horizon de surface.</p>
--	--

I.1. Profil 5.(E)

Ce profil a été ouvert le 11/04/2021, sous chêne vert à une altitude de 1195m, dont la pente est de 20% avec une végétation moins dense, dont on à observer une transition irrégulière entre les profils.

	<p><u>0 – 3 cm :</u></p> <p>C'est un horizon humifié d'une épaisseur faible par rapport aux feuilles des arbres qui sont persistantes.</p> <p><u>3 – 26 cm :</u></p> <p>C'est un horizon de couleur brun foncé dont la charte Munsell nous donne la couleur 7,5YR/value 5/ chroma 4. Le taux de gravier est de disposé de manière irrégulière sur l'ensemble du profil. Une très faible réaction à l'HCl due à une très faible teneur en calcaire, une bonne effervescence à l'H₂O₂ ce qui explique une teneur importante en humus. Une humidité très faible due à un bon drainage par rapport</p> <p>.</p> <p><u>26- 56 cm :</u></p> <p>C'est un horizon de couleur brun claire que l'horizon de surface dont la charte Munsell nous donne 7,5YR/value 6/ chroma 4. Une présence de gravier qui est de 25%. Une très faible réaction à l'HCl et l'H₂O₂ qui représente une faible teneur en calcaire et MO.</p> <p>Une structure compacte due à une faible activité biologique et le nombre de racines inférieur.</p>
--	--

I.1. Profil 6 (F)

Ce profile a été ouvert le 26/04/2021, sous chêne vert à une altitude de 1200m, dont la pente est de 20% avec une végétation dense, dont on a observé une transition irrégulière entre les profils.

	<p><u>0 – 4 cm</u> :</p> <p>C'est un horizon humifié d'une épaisseur faible par rapport aux feuilles des arbres qui sont persistantes.</p> <p><u>3 – 26 cm</u> :</p> <p>C'est un horizon de couleur brun foncé dont la charte munsell nous donne la couleur 7,5YR/value 3/ chroma 3. Le taux de gravier est de 25% répartie de manière irrégulière sur l'ensemble de l'horizon. Une forte effervescence à l'HCl ce qui explique les taches blanches observées sur l'horizon qui inclue le phénomène d'hydromorphie, une bonne</p> <p>.</p>
<p>Une humidité très faible due à un bon drainage par rapport à la présence de cavités qui ont été faites par l'activité biologique et les racines de végétaux.</p> <p><u>26- 56 cm</u> :</p> <p>C'est un horizon de couleur brun claire dont la charte munsell nous donne 7,5YR/value 5/ chroma 4.</p> <p>.</p>	

I.1. Profil 7 (E)

Ce profile a été ouvert le 26/04/2021, sous chêne vert à une altitude de 1195m, dont la pente est de 20% avec une végétation moins dense, dont on a observé une transition irrégulière entre les profils.

	<p><u>0 – 3 cm</u> :</p> <p>C'est un horizon humifié, faible en épaisseur par rapport aux feuilles des arbres qui sont persistantes.</p> <p><u>3 – 24 cm</u> :</p> <p>C'est un horizon de couleur brun foncé dont la charte Munsell nous donne la couleur</p> <p>disposé de manière irrégulière sur l'ensemble de l'horizon. Une réaction moyenne à l'HCl due à une teneur en calcaire, une effervescence à l'H₂O₂ qui diminue en fonction de l'horizon ce qui explique une teneur en MO. Une humidité moyenne due à un bon drainage par rapport à la présence de cavités qui ont été faites par les microorganismes et racines.</p> <p><u>24- 52 cm</u> :</p> <p>C'est un horizon de couleur brun claire sur la charte Munsell nous donne</p> <p>Une présence de gravier qui est de 15%. Une réaction moyenne à l'HCl due à la présence de calcaire, et une très faible effervescence à l'H₂O₂ qui signifie une faible teneur en MO. Une structure compacte. Une faible activité biologique,.</p>
--	---

II. Paramètres chimiques

II.1. Le pH

II.1.1. pH eau

Les résultats d'analyse du paramètre pH-eau montrent que les valeurs varient de 4,89 à 7,52 (tableau 3). Cette variation serait induite par la position topographique des échantillons et la différence des positions des points de prélèvements et des profils par rapport aux systèmes racinaire des arbres.

L'examen de l'évolution du pH par rapport à la profondeur des horizons (figure 16) montre que le pH eau augmente au sein du profil A de 6,79 à 7,13. Une allure semblable est observée au sein du profil F où le pH passe de 7,02 à 7,52. Ces pH assez élevés confirment les observations sur le terrain d'une réaction d'effervescence considérée comme moyenne (voir description profil 1 et 7). Au sein du profil G, le pH-eau du sol varie peu d'un horizon à un autre. Les valeurs de pH sont comprises entre 7,21 et 7,11.

Tableau 3. Valeurs de pH-eau et pH-KCl des échantillons de sol

Echantillons	pH-kcl	Echantillons	pH-eau
A2	6,40	E2	4,89
A3		E3	4,90
B2	4,68	F1	7,02
B3	4,33	F2	7,27
C1	5,99	F3	7,52
C2	5,30	G1	7,21
D1	6,21	G2	7,23
D2	5,30	G3	7,12
D3	4,88		

Ceci implique que sur les trois profils considérés (A, F et G), le pH du sol de la forêt de Darna est voisin de la neutralité (figure 16), ce qui suppose que la source de cations calcique du complexe d'altération est assez importante et qu'elle contribue efficacement au maintien du pH et la saturation du complexe adsorbant. D'autres parts la position des profils sont assez épargnés par l'activité racinaire comme le montre bien les photos (voir description profil 1, 6 et 7).

La réaction chimique du sol est assez semblable dans les profils B, C et D. Globalement les valeurs de pH évoluent entre 6,26 et 6,47. Le minimum observé dans l'horizon 3 (profondeur allant de 27 à 51 cm) confirme la description de la faible réaction à l'HCl observé sur le terrain pour le sol et les cailloux. Nous avons aussi observé sur le terrain un développement racinaire assez important ceci expliquerait cette tendance du pH à diminué en fonction de la profondeur par une plus grande sécrétions d'acides organiques par les racines de chêne vert.

La tendance du pH à la réduction est plus importante au sein du profil E. La valeur du pH déterminée sur les 2 horizons échantillonnés est de 4,89. Cette forte acidité du pH confirme les observations de terrain à savoir : une faible effervescence à HCl, une forte effervescence à l'H₂O₂ (forte teneur en matière organiques) et une présence considération de racines de différentes tailles.

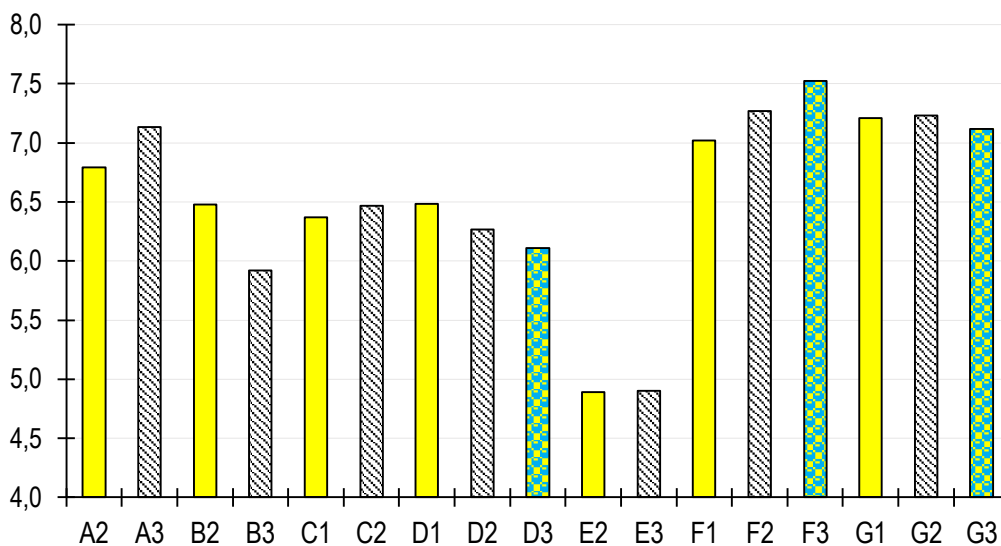


Figure 16 : Résultats de mesure des sols.

II.1.2. pH-KCl

Les valeurs de pH-KCl déterminées sur les échantillons de sols sont représentées sur la figure 17. La différence $\Delta \text{pH} = \text{pH eau} - \text{pH-KCl}$ est supérieure à l'unité dans les profils B, C, D, E. Ces résultats laissent penser à une désaturation du complexe adsorbant. Ou bien une acidité d'échange importante.

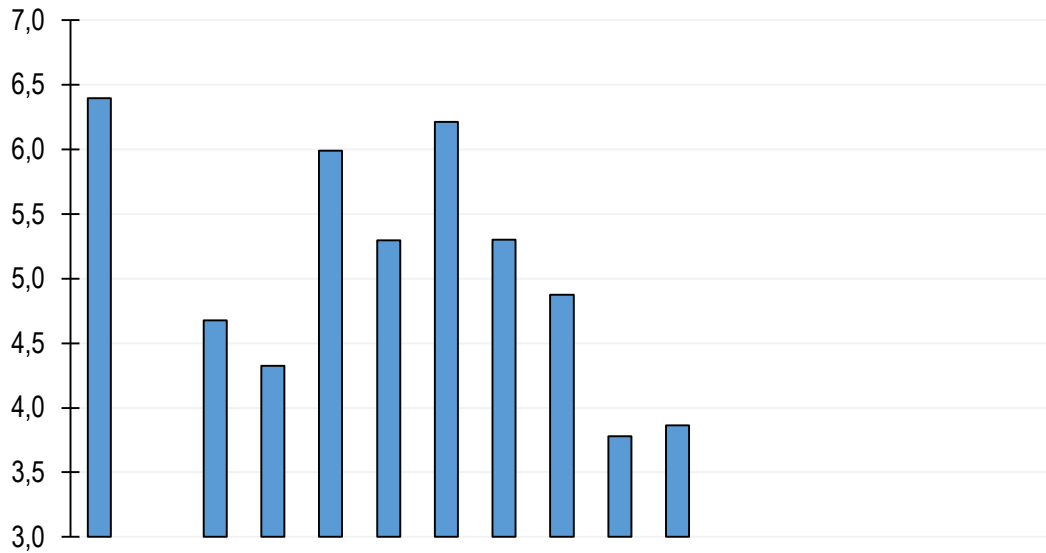


Figure 17 : Résultats de mesure des sols.

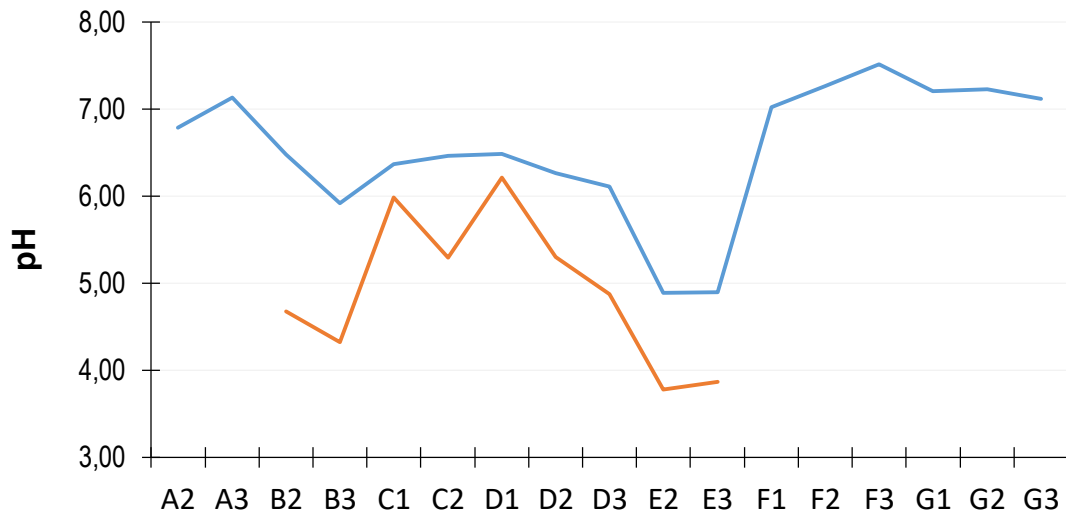


Figure 18 : variation de l'écart entre dans les échantillons de sol

II. .2. Conductivité électrique (C.E)

La conductivité électrique d'une solution est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol, elle exprime le degré de salinité par la concentration des solutés ionisables présents dans le sol.

Les résultats affichés au tableau 4, montrent que la conductivité électrique de l'extrait aqueux rapport 1/5 est comprise entre 15 et 250 $\mu\text{s/cm}$.

Pour les échantillons F1 ; G1 et de 230 $\mu\text{s/cm}$; 240 $\mu\text{s/cm}$ qui est inférieur à 250 $\mu\text{s/cm}$ donc les échantillons de notre sol sont considérés comme non salin (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).

Au sein de chaque profil, la CE diminue d'un horizon superficiel vers un horizon en profondeur (figure 19). Ces résultats montrent que le sol étudié est homogène et la distribution des sels solubles est assez identique. De point de vue agronomique le risque de salinité est négligeable.

Tableau 5. Valeurs de la conductivité électriques des échantillons de sols.

CE 1/5 Echantillons		CE 1/5 Echantillons
95,53	E2	27,80
84,50	E3	23,30
26,20	F1	123,20
15,60	F2	39,00
230	F3	148,40
152,90	G1	31,70
112,20	G2	26,60
240	G3	75,80
103,70		

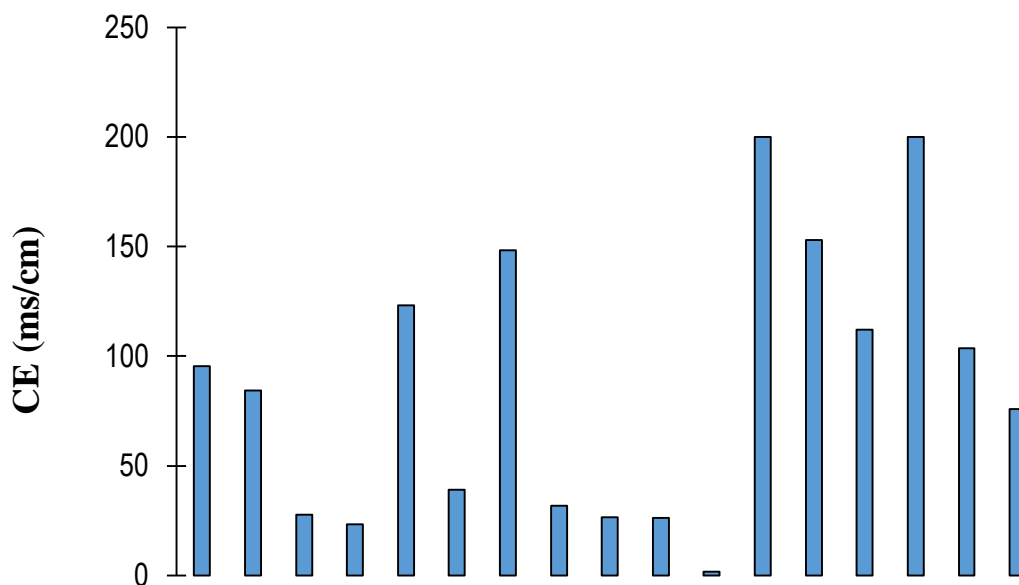


Figure 19 : évolution de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les échantillons de sol.

II. 3. Teneur en matière organique

La teneur en matière organique des sols est obtenue par la multiplication de la teneur en carbone organique par le facteur 1.724. les valeurs obtenues après analyse sont portées au tableau 8. Analyses obtenue pour ce paramètre peut donc être appliquée aussi à la MO du sol.

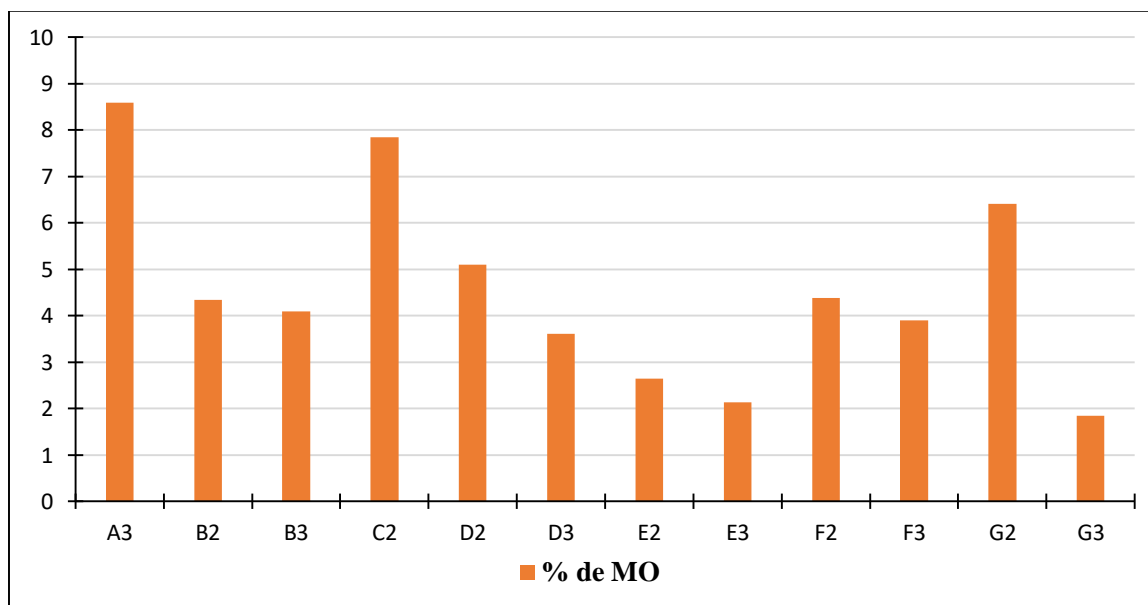


Figure 19 : Teneurs en matières organiques des échantillons de sols.

Sur l'ensemble des échantillons analysés, la détermination du carbone organique montre que les teneurs en matière organique du sol étudié évoluent entre 1,84 à 8,59% (tableau 8). Les échantillons disposant d'une forte teneur en MO sont en réalité des horizons humifères situés

juste sous la litière fraîche. La figure (19) montre bien que la matière organique est plus élevée sur les horizons A3 ; C2 ; G2, qui varie de 6,41% à 8,59 % ce taux élevé est due aux horizons superficiels riche en humus. En revanche pour les autres profondeurs la matière organique évolue entre 1,84 à 5,10%.

On note qu'au sein de chaque profil une diminution du carbone organique est observée avec la profondeur du sol, ceci confirme la cohérence pédologique concernant la matière organique du sol signalée par plusieurs auteurs (Duchaufour, 1997).

Tableau 8. Résultat de carbone et de la matière organique pour les sols de la zone d'étude

profils	profondeur	% de MO
A	3	8,59
B	2	4,34
	3	4,10
C	2	7,85
D	2	5,10
	3	3,61
E	2	2,65
	3	2,13
F	2	4,38
	3	3,90
G	2	6,41
	3	1,84

La matière organique est une source importante des éléments nutritifs pour les plantes à la croissance de sa teneur dans le sol renseigne sur sa potentialité fertilisante. Elle a également un rôle important dans la fabrication des agrégats, autrement dit dans l'élaboration de la structure du sol. Les valeurs de D_a des échantillons confirment ce rôle de la matière organique et ses effets sur la compaction du sol. C'est le cas de l'échantillon A3 où la $D_a = 0,9\text{g/cm}^3$ et le taux de MO = 8,59 % (tableau 8).

La figure 20, illustre la corrélation existant entre la D_a et la teneur en MO. La D_a est corrélée négativement à la teneur en MO selon l'équation $y = - 0,0899x + 1,7166$

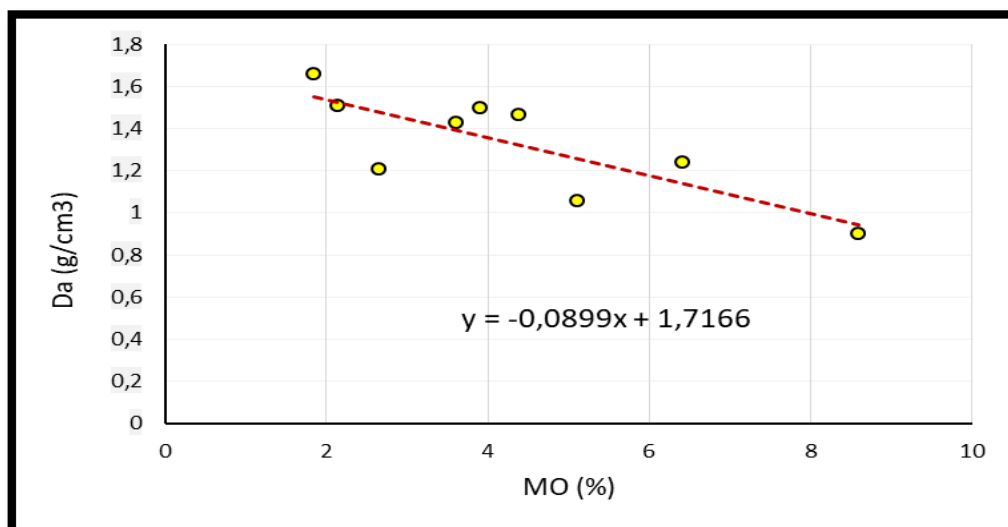


Figure 20 : Corrélation entre la densité apparente et la matière organique

III. Paramètres physiques

III.1. Densité apparente (Da)

La densité apparente est la masse d'une unité de volume du sol séché à 105°C. Ce volume comprend aussi bien les solides que les pores. Elle a été mesurée par la méthode des cylindres en utilisant les échantillons non perturbés et frais connaissant le poids sec constant des échantillons à 105 °C et le volume des cylindres des prélèvements utilisés (BLAKE & HARTAGE, 1986). La méthode de détermination consiste à prélever un volume connu de terre.

La détermination de la Da a été faite pour 10 échantillons sur 17 prélevés. En effet les échantillons B et C ont été éliminés de l'analyse en raison d'une présence importante de cailloux rendant l'introduction du cylindre très difficile. D'autres parts, nous avons limité la détermination de la Da aux horizons 2 et 3, car l'horizon 1 très humifère est d'une épaisseur inférieure à 5 cm.

Les résultats obtenus pour les échantillons retenus, montrent que cette dernière évolue de 0,83 à 1,66 g/cm³ (tableau (6)).

Tableau 6. Densité apparente Da (g/cm³) des échantillons de sols.

Echantillon	A hz2	A hz3	D hz2	D hz3	E hz2	E hz3	F hz2	F hz3	G hz2	G hz3
Da (g/cm³)	A hz2	A hz3	D hz2	D hz3	E hz2	E hz3	F hz2	F hz3	G hz2	G hz3

La figure (22) révèle que la densité apparente enregistrée dans les horizons 2 du sol est inférieure à celle des horizons 3. On déduit, que la D_a augmente au sein de chaque profil en allant des horizons superficiels vers les horizons de profondeur.

La comparaison des échantillons montre que la densité apparente du sol au niveau du point de prélèvement A est le plus faible comparée aux autres échantillons D ; E ; F ; G, sur les deux horizons.

En fonction de la profondeur l'horizon 2 évolue de 0,83 à 1,47 g/cm^3 , alors que l'horizon 3 de 0,90 à 1,66 g/cm^3 .

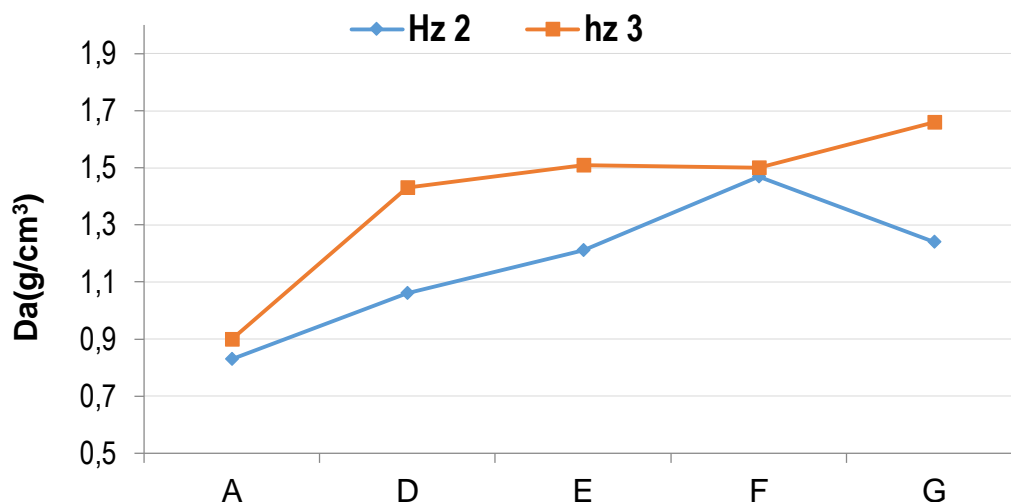


Figure 22 : Densité apparente du sol des différents profils

III.2. La granulométrie

La détermination de la composition granulométrique des échantillons de sols a été réalisée avec la méthode de la pipette de Robinson. Les résultats sont portés au tableau 7. Selon les résultats obtenus et leurs positions sur le triangle international des textures, nous constatons que les sols de la forêt de Darna sont sablo-limoneux à limoneux sableux et leurs proportions d'argiles est souvent inférieur à 20%.

Tableau 7. Composition granulométriques des échantillons de sols.

Echantillons	%A	%L	%S	Σ	Texture
A1		12,783		100	L S
A2		21,655		100	S L
B2		7,842		100	S L
B3		28,657		100	S L
C1		5,855		100	L S
C2		1,372		100	L A S à L S
D1		36,115		100	L S
D2		4,051		100	L S
D3		1,723		100	S L
E2		14,464		100	L S
E3		7,434		100	L S
F1		3,04		100	L S
F2		27,174		100	S L
F3		15,587		100	S L
G1		38,158		100	L S
G2		17,588		100	S L
G3				100	S L

La proportion des différentes fractions : argiles limons et sables est représentée sur la figure la figure (23). Les échantillons montrent un grand pourcentage en sable qui évolue de 53,14 à 88,63%, le pourcentage des argiles évolue de 6,50 à 20,20%, et pour les limons de 1,37 à 38,16%.

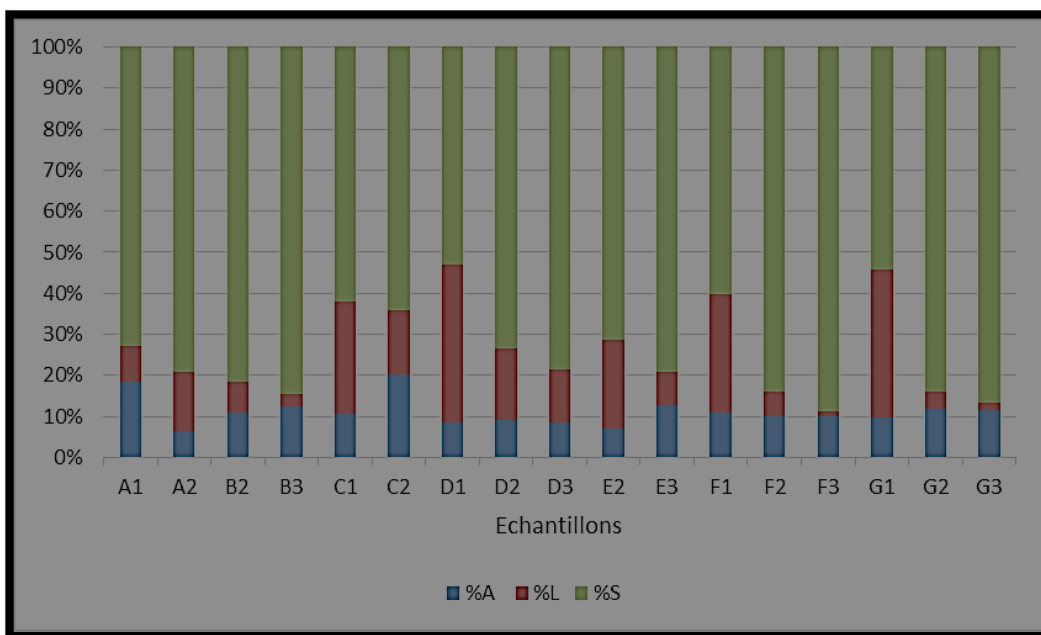


Figure 23 : proportion des différentes fractions granulométriques dans les échantillons des sols étudiés.

L'application sur le triangle internationale USDA indique la texture

- les échantillons A1 ; C1 ; D1 ; D2 ; E2 ; E3 ; F1 ; G1 ont une texture limoneux-sableuse
- les échantillons A2. B2. B3. D3 F2 F3 G2 G3 ont une texture sableux-limoneuse
- l'échantillon C2 sa texture est limoneux argileux.

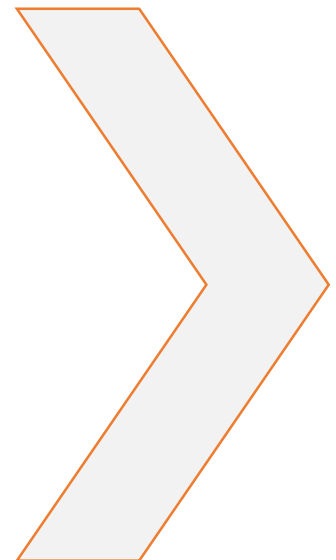
Tableau 8. Composition granulométrique moyenne dans les profils

profil	moyenne %A	moyenne %L	moyenne %S
profil A			12,48
profil B			11,68
profil C			15,50
profil D			8,78
profil E			9,93
profil F			10,37
profil G			11,10

CONCLUSION

GENERALE &

PESPECTIVES



Conclusion générale et perspectives

Les sols de la forêt de Darna à dominance de chêne vert, sont des sols peu profonds avec une présence importante de débris de roches issus du matériel parental. La réaction à l'HCl n'est pas toujours évidente ce qui témoigne d'une hétérogénéité du substrat géologique. L'analyse granulométrique des échantillons montrent que les sols étudiés sont de texture limoneux-sableux.

La densité apparente déterminée avec la méthode des cylindres calibrés, révèle que la compaction du sol est plus importante dans les horizons profonds. Les valeurs moyennes des $H_z 2$ et $H_z 3$ sont respectivement de $1,16 \text{ g/cm}^3$ et $1,40 \text{ g/cm}^3$.

Les analyses chimiques pour les échantillons des paramètres de pH, CE, MO, nous permettent de mettre en évidence les propriétés des sols de la forêt de Darna. Globalement, nous retenons les points suivants :

- Les valeurs déterminées de pH des sols varient de 4,89 à 7,52. Cette variation importante est globalement liée à la position des points de prélèvement, à la proximité et au développement du système racinaire du chêne vert.
- La conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 montre que le sol étudié ne présente pas d'accumulation de sels solubles et que la salinité ne constitue pas une contrainte.
- Les valeurs de la teneur en matières organiques évoluent entre 1,84 et 50,73 %. Les échantillons de sols horizons humifères à la limite de la litière fraîche. La variation du taux de matière organique diminue des profondeurs superficielles vers les horizons de profondeur, ce qui est une cohérence pédologique fréquente dans le milieu naturel.

A l'issue de ce modeste travail, nous pouvons signaler que des mesures d'autres paramètres sont nécessaires pour améliorer le degré de connaissance des sols de la forêt de Darna. Des sujets de recherches sont à préconiser dans l'évaluation des propriétés chimiques (bases échangeables, CEC, et les éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium)) et les propriétés biologiques. Ces données sont éventuellement nécessaires pour une caractérisation complète des processus de pédogénèse, la distinction des horizons pédologiques et la classification des sols.

Conclusion générale et perspectives

D'autres parts, la connaissance des sols permettrait d'engager des projets de conservation des sols et des ressources forestières ainsi que l'encadrement de l'activité anthropique. Ceci nous amène à préconiser des projets d'agroforesterie, constituant un ensemble de techniques culturales les plus prometteuses pour la lutte contre la dégradation des sols et la préservation des fonctions naturelles des sols.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES



- ABDESSLAM M., 1995-** Structure et fonctionnement d'un karst de montagne sous climat méditerranéen, exemple de Djurdjura occidental (grande Kabylie, Algérie). Thèse de Doctorat. Univ. Franche- Compté, 232 p
- BLAKE R.G. & HARTAGE K.H., 1986.** Bulk density. In : Kulte A., ed. Methods of soils analysis. Part1. 2nd ed. Madison, WI, USA : *American Society of Agronomy*, 363-375. DA
- BENSIDHOUM M., 2010.** Stratégies d'occupation de l'espace et écologie trophique de la Genette *Genetta genetta* Linne,1758 dans la forêt de Darna, Djurdjura oriental, Algérie. Thèse Magister UMMTO : 95p.
- BOUCHE A., 1972.** Interacton in soil, 671p.
- CALVET R., 2013.** Le sol. 678p.
- CHARNET F., 2018-** Les sols forestiers Editions IDF-CNPF, Paris, 160 p.
- CHAWEL P., 1977.** Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance. Thèse, Université de Strasbourg. ORSTOM, Paris, coll. trav. et doc., n 62, 532p.
- DAJOZ R., 2006.** Précis d'écologie. Cours et questions de réflexions. Paris 2006. 8^{ème} édition. Dunod. 630 p : 173.
- DAJOZ R., 2007 -** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 640 p.
- DOUCET R., 1997.** Climat et les sols agricoles. Edition Berger 2007. 443 p : 18.
- FLANDRIN J., 1952 -** La chaine de Djurdjura monographie régionale. XIX^{ème} congrès géologique international, 1^{ère} série (19) : 497.
- GELARD J.F., 1979-** Géologie du Nord Est de la Kabylie (Algérie). Thèse Doctorat. Es. Science. Université de Dijon, 335 p.
- HENIN S., MONNIER G., GRAS R., 1969.** Le profil cultural. Masson, Paris, 2^{ème} édition. 332p.
- KABATA-PENDIAS, A., 2011.** Trace elements in soils and plants. 4th ed. CRC Press Taylor & Francis Group. 405p.)

- KHIDAS K., 1998** - Distribution et normes de sélection de l'habitat chez les Mammifères terrestres de la Kabylie du Djurdjura. Thèses de Doctorat en Biologie. Univ. De Tizi- ouzou, Tizi- Ouzou 235 p.
- MAERTENS C., 1964.** La résistance mécanique des sols à la pénétration : ses facteurs et son influence sur l'enracinement. Ann. Agron., 15,5 : 539-554p.
- MERABET., 2014.** Inventaire des arthropodes dans trois stations au niveau de la forêt de Darna (Djurdjura). Thèse Magister UMMTO : 90p.
- QUEZEL P., 1957.** Le peuplement végétal des hautes montagnes d'Afrique du Nord. Encycl. Biogeogr. Ecol., Ed le chevalier, Paris : 463p.
- RAMADE F., 2003.** Elements d'écologie. Ecologie fondamentale. 3ème édition. Paris 2003. 690 p : 99.
- RAMADE F., 2009.** Elements d'écologie. Ecologie fondamentale. 4ème édition. Paris 2009. 289 p : 112.
- RAYMAND D., 1976** - Evaluation sédimentaire et tectonique du Nord- Ouest de la Grande Kabylie au cours du cycle alpin. Thèse de Doctorat en science, Paris : 154 p
- RETALLACK, G.J., 1997-** Early forest soils and their role in Devonian global change. Nature. 276 : 583-585.
- SAHNOUNE R., 2014.** Analyse et Caractérisation physico-chimique des Sols d'Entreposage de la station de Pétrole (Bejaia) UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA – BEJAIA : 57p.
- THIBAUT J., 1952-** Socle métamorphique en Grande Kabylie : monographie régionale. XIXème congrès international 1ère série (4), 43 p