

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
N° : 18/DSA/VCDPGR/2024



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : SCIENCE DU SOL

Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique

par: **GHADBANE Abir**

Intitulé

Etude caractéristique des sols de l'Est
de la wilaya de M'Sila.

Soutenu devant le jury composé de :

M. AMROUNE Abdelouahab	MCA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
Melle TIR Chafia	MAA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Promotrice
M. TELLACHE Slimane	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examinateur

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Je remercie Allah pour son aide dans cet humble travail.

Allah soit loué, j'ai terminé ce travail et je tiens à remercier mon préféré et estimé professeur et encadrante *Melle TIR Chafia*,

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude aussi aux *Mr. TELLACHE Slimane et Mr. AMROUNE Abdelouahab, pour leur précieux temps, leur conseil et leur soutien.*

Et certainement mes chers professeurs qui m'ont enseigné, *Melle MADANI Djamila, Mr ZEDAM Abdelghani, Mr CHERIEF Abdelkader, Mme BEDALE Dalila, Mme MERAH F et Mr TORCHIT Nadir, Mr GUENDOUZEN Omar, Mr HAMDANI Mourad, MAMMERI Adel, et tous les autre professeurs et travailleurs du Département des Sciences Agronomiques.*

GHADBANE Abir

Dédicace

À mes parents, mes amis, ma famille et mes professeurs qui m'ont toujours soutenu et encouragé dans mes études. Je vous suis reconnaissante de votre amour et de votre confiance.

Ce mémoire est dédié aussi à la prochaine étape de ma vie, que j'attends avec impatience et enthousiasme.

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. La définition du sol	03
2. La formation et l'évolution du sol	03
3. Les différentes phases du sol	05
3.1 La phase solide	05
3.2 La phase liquide	05
3.3 La phase gazeuse	06
4. Les constituants principaux du sol	06
4.1 Les constituants inorganiques	06
4.2 Les constituants organiques	06
4.3 Les Constituants organo-minéraux	06
4.3.1 Le complexe argilo-humique	06
4.3.2 Les colloïdes	07
5. Les propriétés du sol	07
5.1 Les propriétés physiques du sol	07
5.1.1 La structure de sol	07
5.1.2 La stabilité structurale du sol	07
5.1.3 La texture du sol	07
5.1.4 La porosité du sol	08
5.1.5 La densité du sol	09
5.1.5.1 La densité apparente	09
5.1.5.2 La densité réelle	09

5.1.6	La couleur du sol	09
5.1.7	La température du sol	09
5.1.8	La perméabilité du sol	10
5.1.9	La consistance du sol	10
5.2	Les propriétés chimiques du sol	10
5.2.1	La capacité d'échange cationique	10
5.2.2	Le pH du sol	11
5.2.3	La conductivité électrique du sol	11
5.2.4	Le calcaire du sol	11
5.2.4.1	Le calcaire total de sol	11
5.2.4.2	Le calcaire actif de sol	12
5.3	Les propriétés biologiques	12
5.3.1	La matière organique du sol	12
5.3.2	Le carbone organique dans le sol	12
5.3.3	La faune et la flore du sol	12
5.3.3.1	La faune du sol	12
5.3.3.2	La flore du sol	13
5.3.4	L'azote du sol	13
5.3.5	Le rapport C/N du sol	13
6.	La fertilisation et l'amendement du sol	13
6.1	La fertilité d'un sol	13
6.1.1	Définition	13
6.1.2	Types de la fertilité du sol	14
6.2	Définition de quelque matière fertilisante	14
6.2.1	Les engrais	14
6.2.2	Les amendements	14
6.2.3	Le compost	15

Chapitre II : Présentation du milieu physique et Méthodologie du travail

1.	La présentation de milieu physique	17
1.1	La Localisation de la zone d'étude	17
1.1.1	La zone de M'sila (commune)	17

1.1.2	La zone de Ouled Darradje	17
1.1.3	La zone de Ouled Addi l’Guebala	17
1.1.4	La zone de Magra	18
1.2	Le Milieu physique de la zone d’étude	18
1.2.1	La géologie de la zone d’étude	18
	a- Quaternaire (qt)	19
	b- Pliocène continental (pe)	19
	c- Miocène (mi, mi1)	19
	d- Oligocène continental (OL)	19
	e- Crétacé (C)	19
	f- Jurassique (t)	19
	g- Trias (t1)	19
1.2.2	La pédologie des régions d’étude	21
	a- Lithosols	21
	b- Légosols	21
	c- Sols peu évolués alluviaux	21
	d- Sols bruns calcaires	21
	e- Sols à encroustement calcaire	21
	f- Siérozems	21
	g- Sols halomorphes	21
	h- Sols gypseux	22
1.2.3	L’hydrologie des régions d’étude	23
1.3	La Caractérisation climatique de la zone d’étude	23
1.3.1	L’origine des données climatiques	23
1.3.2	La température des zones d’étude	24
1.3.3	Les précipitations dans la zone d’étude	25
1.3.4	L’évapotranspiration dans les zones d’étude	26
1.3.5	Le vent dans la zone d’étude	27
1.3.6	L’humidité dans la zone d’étude	28
1.4	La classification du climat	30
1.4.1	Les approches climatiques	30
1.4.1.1	Diagramme Ombrothermiques de Gaussem et Bagnouls	30

1.4.1.2 Climatogramme d'EMMBERGER	31
2. La méthodologie du travail	33
2.1 La synthèse des données	33
2.1.1 Les analyses physiques	33
2.1.1.1 L'analyse granulométrique	33
2.1.1.2 La porosité	33
a- La densité apparente (da)	33
b- La densité réelle (dr)	33
2.1.1.3 L'humidité	34
2.1.2 Les analyses chimiques	34
2.1.2.1 Le pH	34
a- Le pH _{eau}	34
b- Le pH _{KCl}	35
2.1.2.2 La conductivité électrique	35
2.1.2.3 Le calcaire	35
a- Le calcaire total	35
b- Le calcaire actif	35
2.1.2.4 Le gypse	35
2.1.3 Les analyses biologiques	35

Chapitre III : Résultats et discussions

1. Détermination des paramètres analytiques des sols de la zone d'étude	37
1.1 Les paramètres physiques	37
1.1.1 La granulométrie	37
1.1.2 La porosité	40
1.1.3 L'humidité	43
1.2 Les paramètres chimiques	45
1.2.1 Le pH	45
1.2.1.1 L'acidité actuelle (pH _{eau})	45
1.2.1.2 L'acidité potentielle (pH _{KCl})	45
1.2.1.3 La deference (pH _{eau} – pH _{KCl})	45
1.2.2 Conductivité électrique (CE)	47
1.2.3 Calcaire total	49

1.2.4 Le gypse	52
1.3 Les paramètres biologiques	54
Conclusion	57
Référence bibliographique	
Annexe	

List des figures

Premier chapitre :

Figure n° 01 : Schéma de l'évolution d'un sol à partir de la roche-mère (Archambeaud, et al., 2016).....05

Figure n° 02 : Triangle des textures minérales (d'après USDA, 1999)08

Deuxième chapitre :

Figure n° 03 : Situation géographique des régions de la zone d'étude (préparer par l'étudiante).....18

Figure n° 04 : Carte géologique de la région du Hodna et situation des zones d'étude (FAO, 1975 modifiée).....20

Figure n° 05 : Carte pédologique de la région de Hodna (BOYADJIEV, 1975).....22

Figure n° 06 : Hydrologie du Bassin d'El Hodna (Bounab, 2008) (modifier).....23

Figure n° 07 : Températures moyennes mensuelles, minimales, maximales en °C de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).....24

Figure n° 08 : Variations moyenne mensuelle des précipitations en (mm)de la zone d'étude (2006-2016).....26

Figure n° 09 : Evapotranspiration moyennes mensuelles de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).....27

Figure n° 10 : Vitesse moyenne mensuelle du vent de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).....28

Figure n° 11 : Humidité moyenne mensuelle de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).....29

Figure n° 12 : Diagramme ombrothermiques de la région de la zone d'étude (2006-2016).....30

Figure n° 13 : Climagramme d'EMMBERGER et représentation de la zone d'étude (2006-2016).....	32
---	----

Troisième chapitre

Figure n° 14 : Variation des fractions granulométriques par horizon des profils pour la zone d'étude.....	38
--	----

Figure n° 15 : Représentation des textures des horizons des profils pour la zone d'étude sur le diagramme textural.....	39
--	----

Figure n° 16 : Représentation des densités des profils des quatre zones d'étude.....	41
---	----

Figure n° 17 : Résultats obtenus des calculs de la porosité en (%) des profils des quatre zones d'étude.....	41
---	----

Figure n° 18 : Présentation des moyennes de porosité du sol pour la zone d'étude en générale.....	42
--	----

Figure n° 19 : Représentation des résultats de l'humidité des horizons des profils pour chaque région d'étude.....	43
---	----

Figure n° 20 : Moyennes d'humidité du sol de la zone d'étude en générale.....	44
--	----

Figure n° 21 : Représentation des pH eau et pH kcl des horizons des profils du quatre régions de la zone d'étude.....	46
--	----

Figure n° 22 : Répartition des moyennes de pH eau et pH kcl dans les horizons des profils de la zone d'étude en générale.....	47
--	----

Figure n° 23 : Variation de la conductivité électrique dans les horizons des Profils de la zone d'étude.....	48
---	----

Figure n° 24 : Moyennes des valeurs de CE dans les horizons des profils du la zone d'étude.....	49
--	----

Figure n° 25 : Variation des teneurs en calcaire total et calcaire actif en fonction des horizons des profils de la zone d'étude.....	51
--	----

Figure n° 26 : Présentation des moyennes des valeurs de calcaire totale et calcaire actif dans les horizons des profils de la zone d'étude.....	52
Figure n° 27 : Pourcentages du gypse dans les horizons des profils des trois régions de zone d'étude.....	53
Figure n° 28 : Moyennes des pourcentages de gypse dans les horizons des profils de la zone d'étude.....	53
Figure n° 29 : Présentation des résultats de la MO en (%) des profils pour les quatre régions de la zone d'étude.....	54
Figure n° 30 : Moyennes des teneurs en MO dans les horizons des profils de la zone d'étude.....	55

Liste des tableaux

Premier chapitre :

Tableau n° 01 : Durée nécessaire à la formation d'un horizon de sol et à son équilibrage avec l'environnement.....04

Deuxième chapitre :

Tableau n° 02 : Moyennes mensuelles des températures en (C)° de la région d'étude pendant la période (2006-2016).....24

Tableau n° 03 : Variations des précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la zone d'étude pendant la période (2006-2016).....25

Tableau n° 04 : Evapotranspiration moyennes mensuelles de la zone d'étude (2006-2016).....26

Tableau n° 05 : Vitesse mensuelles moyennes du vent en (m/s) de la région d'étude (2006-2016).....27

Tableau n° 06 : Humidité moyennes mensuelles de la zone d'étude (2006-2016).....29

Tableau n° 07 : Valeur du quotient pluviométrique d'EMMBERGER.....32

Troisième chapitre :

Tableau n° 08 : Résultats de granulométrie dans les horizons des profils des différentes zones d'étude.....37

Tableau n° 09 : Moyennes des pourcentages des fractions granulométriques pour les profils de la zone d'étude.....39

Tableau n° 10 : Résultats des calculs de densité apparente, densité réelle et porosité au niveau des différents profils étudiés de la zone d'étude.....40

Tableau n° 11 : Répartition des moyennes des pourcentages de porosité des profils de la zone d'étude en générale.....42

Tableau n° 12 : Répartition de l'humidité pour les horizons des profils de chaque région d'étude.....	43
Tableau n° 13 : Répartition des moyennes d'humidité du sol dans la zone d'étude en générale.....	44
Tableau n° 14 : Valeurs de pH_{eau} des profils de la zone d'étude.....	45
Tableau n° 15 : Valeurs de pH_{kcl} des profils de la zone d'étude.....	45
Tableau n° 16 : Valeurs de $(\text{pH}_{\text{eau}} - \text{pH}_{\text{kcl}})$ des profils de la zone d'étude.....	45
Tableau n° 17 : Répartition des moyennes de pH_{eau} et pH_{kcl} dans les horizons des profils de la zone d'étude en générale.....	46
Tableau n° 18 : Résultats de la conductivité électrique (CE) en (mS/cm) des profils pour la zone d'étude.....	47
Tableau n° 19 : Répartition des moyennes de CE du sol dans les profils de la zone d'étude.....	48
Tableau n° 20 : Pourcentages de calcaire total et calcaire actif dans les horizons des profils de la zone d'étude.....	50
Tableau n° 21 : Moyennes des valeurs de calcaire totale et calcaire actif dans les horizons des profils de la zone d'étude.....	51
Tableau n° 22 : Représentation des pourcentages du gypse en (%) des profils pour les trois régions de zone d'étude.....	52
Tableau n° 23 : Pourcentage de MO des profils pour les quatre régions de la zone d'étude.....	54

Liste des abréviations

SMM : station météorologique de M'sila

ITA : Institut de technologie agricole

COS : carbone organique du sol

CAH : complexe argilo-humique

CEC : capacité d'échange cationique

pH : potentiel Hydrogène

KCl : Chlorure de potassium

CE : conductivité électrique

C : carbone

N : Azote

CaCO₃ : Carbonates de calcium

HCl : Acide chlorhydrique

H₂O : L'eau

BaCl₂ : Chlorure de Baryum

CaSO₄·2H₂O: Sulfate de calcium Di hydratée

SO₄²⁻ : Sulfate

CO₂ : Dioxyde de carbone

MO : matière organique

A : Argil

FAO : Food and Agriculture Organisation

SSSA : Soil Science Society of America

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

SMM : Station Météorologique de M'sila

ETP : Evapotranspiration

Q₂ : Quotient pluviométrique

V (Km/h) : Vent

H (%) : Humidité

P (%) : Porosité

da : densité apparente

dr : densité réelle

T° : Température

C° : degré Celsius

K° : degré Kelvin

Cl⁻ : Chlorure

Mg²⁺ : Magnésium

K⁺ : potassium

Ca²⁺ : Calcium

Na⁺ : sodium

NO₃⁻ : Nitrate

H : Horizon

P : Profondeur

Introduction

Introduction

L'agriculture est un ensemble de techniques de culture et d'élevage fondées sur les connaissances des caractéristiques climatiques, pédologiques et géologiques de la zone cultivée, visent à optimiser la production de ressources naturelles. De point de vue pédologique, l'agriculture repose sur la compréhension des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols pour leur gestion durable et leur conservation (FAO, 2021).

En Algérie, l'agriculture occupe une place importante, apportant une contribution essentielle à l'économie nationale, à la sécurité alimentaire et au développement des zones rurales. Avec une superficie agricole utile d'environ 8.4 millions d'hectares, représentant 20 % de la superficie totale du pays.

La wilaya de M'sila, située entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, elle est connue par son activité et son potentiel en matière de production agricole. Cependant, la connaissance des caractéristiques des sols de la région est encore fragmentaire, ce qui limite l'optimisation et la valorisation des pratiques et du potentiel agricoles de la wilaya.

Les conditions pédologiques de la zone de l'Est de la wilaya de M'sila sont variées en fonction des conditions climatiques, géologiques et anthropiques. Cette région fait face à plusieurs défis tels que la salinisation des sols, l'érosion et la variabilité de fertilité. La caractérisation des sols de la zone d'étude vise principalement à fournir des informations précises et actualisées sur leur composition et paramètres physico-chimiques et biologiques.

Ce mémoire a pour objectif principal d'étudier les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols de l'Est de la wilaya du M'sila.

Afin d'accomplir cela, notre travail est structuré en trois chapitres, précédés d'une introduction et clôturés par une conclusion. Les chapitres sont représentés comme suit :

Chapitre I : portant sur l'exposition des principales définitions et concepts concernant le sol et des caractéristiques.

Chapitre II : présentation du cadre naturel et une généralité sur la méthodologie du travail utiliser.

Chapitre III : présentation des résultats obtenues et leurs interprétations.

Première chapitre

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. La définition du sol :

Le sol agit comme un support pour les êtres vivants grâce à ses fonctions naturelles, offrant un ancrage aux plantes et un habitat à une multitude d'organismes. De plus, il constitue également un réservoir de matières organiques et minérales, régulant ainsi les échanges et flux dans l'écosystème tout en purifiant l'eau et en stockant le carbone. Le sol est en lien direct avec l'homme, étant un lieu de production agricole et forestière, un endroit où les matières premières et les déchets sont stockés ainsi qu'un élément fondamental du paysage. De plus, il reflète également l'histoire des civilisations et des cultures à travers le temps, mettant en lumière leurs interactions (**Gobat et al, 2010**).

Différentes personnes attribuent diverses significations au sol. C'est un support pour la croissance des plantes, pour un agriculteur. Un ingénieur peut soit construire dessus, enlever ou utiliser pour les routes, fondations de maisons ou champs d'épuration septiques. Le sol agit comme une source d'épuration et de fourniture en eau pour un hydrologue. Certains géologues pensent que ce sont les dépôts post-Pliocène qui couvrent les roches (**Schaetzl et al, 2015**).

Les sols contiennent des particules clastiques (matière minérale), diverses matières organiques en plusieurs états de décomposition, des organismes vivants, de l'eau et des gaz dans des pores de tailles variées. La somme de la morphologie du sol est constituée des quantités absolues de chaque élément, ainsi que de leur agencement en un tissu particulier. Chaque sol a une morphologie distincte, définie par sa structure ou sa forme (**Schaetzl et al, 2015**).

2. La formation et l'évolution du sol :

Le sol est constitué uniquement d'un substrat minéral inerte (roche-mère géologique) qui subit progressivement l'altération due au climat et est colonisé par de la végétation, des microorganismes et des animaux. Ensuite, le substrat est fragmenté et fissuré par l'action du climat (dessiccation en été, humectation après les pluies, éclatement pendant les gelées). Les sécrétions racinaires des plantes, ainsi que celles des microorganismes et des animaux, continuent à décomposer, dissoudre et oxyder la matière brute pour la transformer progressivement en un environnement habitable et

nutritif. C'est l'aggradation du sol (**Archambeaud et al, 2016**).

Les couches du sol sont à peu près parallèles à la surface terrestre et plusieurs couches peuvent évoluer simultanément sur une période de temps. Les couches dans un sol sont liées génétiquement ; cependant, elles diffèrent les unes des autres par leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. Dans la terminologie du sol, ces couches sont appelées horizons. Comme les sols, en tant que corps naturels, sont caractérisés par des horizons génétiquement développés, la formation du sol consiste en l'évolution de ces horizons (Tableau n° 01). Une exposition verticale d'un sol comprenant les horizons est appelée un profil de sol (**Henry, 1990**).

Tableau n° 01 : Durée nécessaire à la formation d'un horizon de sol et à son équilibre avec l'environnement.

Litière, matières organiques fraîches (OL)	1 an
Horizon organique humifié (OF, OH)	3 à 10 ans
Horizon d'accumulation minéral dans un podzol (BP)	500 à 4000 ans
Horizon lessivé (S) et horizon d'accumulation minéral dans un sol lessivé (BT)	6000 à 10000 ans
Horizon d'altération de la roche-mère (S)	5000 ans minimum

(**Archambeaud et al, 2016**)

La pédogenèse est un processus long à l'échelle de l'homme. On estime qu'il faut en moyenne un siècle pour fabriquer un centimètre de sol fertile sous nos climats. Après la colonisation d'un substrat géologique par la vie, un équilibre est atteint après plusieurs millénaires entre des processus opposés : pédogenèse d'un côté, érosion et lessivage de l'autre. On parle alors de climax, un état dans lequel le sol, le climat, la végétation et la faune sont dans un état d'équilibre dynamique stable (Figure n° 01) (**Archambeaud et al, 2016**).

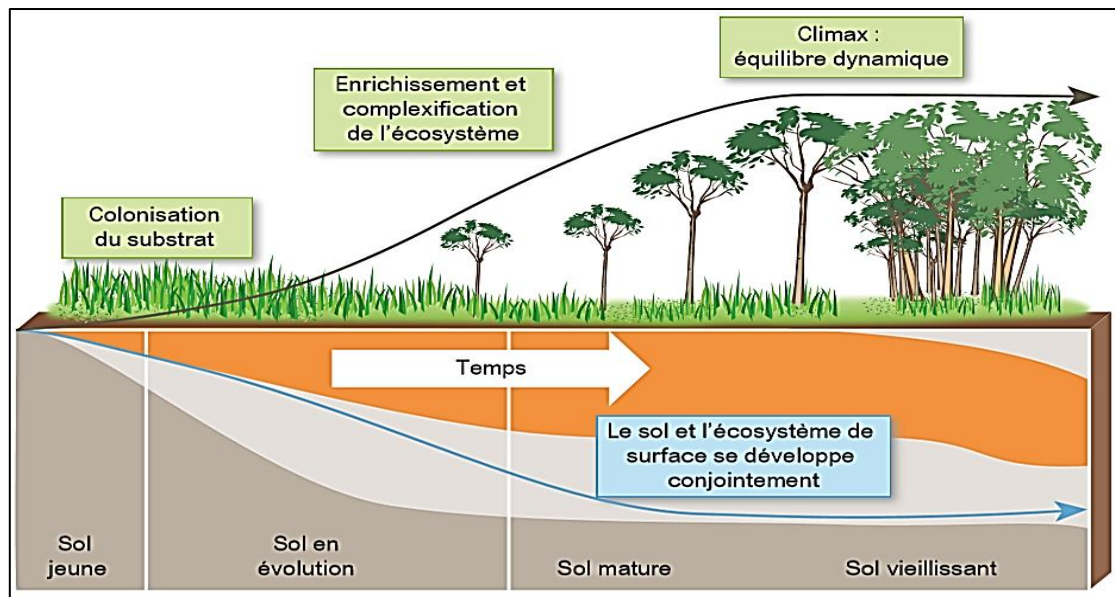


Figure n° 01 : Schéma de l'évolution d'un sol à partir de la roche-mère (Archambeaud et al, 2016).

3. Les différentes phases du sol :

D'après (Novák et al, 2019), le sol est un système à trois phases ; il est composé des phases solides, liquide et gazeuse. En tant qu'environnement pour la croissance des plantes, il peut produire de la biomasse lorsque ces trois phases sont présentes.

Les trois phases des sols sont :

3.1 La phase solide :

La phase solide du sol comprend une fraction minérale rassemblant des particules de dimensions, de formes et de compositions variées. Et une fraction organique formée d'organismes vivants divers, de matière organique à différents stades de leur évolution (Clément et al, 2011).

3.2 La phase liquide :

La phase liquide du sol est une solution constituée de l'eau et d'ions minéraux et de petites molécules organiques, que varie dans sa composition et sa mobilité. Cette solution de sol remplit partiellement ou en totalité l'espace poral compris entre les particules solides qu'elle imprègne plus ou moins complètement (Clément et al, 2011).

3.3 La phase gazeuse :

La phase gazeuse du sol est composée de gaz (oxygène, azote, dioxyde de carbone) et de vapeur d'eau. Elle occupe des espaces libres laissés entre les particules solides, qui ne sont pas remplis par la phase liquide (Clément *et al*, 2011).

4 Les constituants principaux du sol :

4.1 Les constituants inorganiques :

Selon (Gobat *et al*, 2010), les constituants inorganique (minéraux) du sol sont primaires, hérités directement de la roche-mère, ou secondaires, issus de la transformation chimique des précédents et réunis alors dans le complexe d'altération. Celui-ci comporte des sels ou des silicates ; ces dernières sont des colloïdes, comme les hydroxydes de fer ou d'aluminium et autres minéraux secondaires.

4.2 Les constituants organiques :

Le sol est constitué de matières organiques provenant de végétaux et d'animaux en décomposition, ainsi que des cellules et des tissus d'organismes vivants dans le sol. La principale source de carbone du sol est représentée par cette matière organique, qui se trouve généralement en quantité variable entre 1 et 6% dans la couche arable des sols agricoles. (Jadhav *et al*, 2021).

4.3 Les Constituants organo-minéraux :

4.3.1 Le complexe argilo-humique :

Le complexe argilo-humique (CAH) est un ensemble de colloïdes chargés négativement, qui ont la capacité de retenir les cations sous forme échangeable, dans certaines conditions précises (Duchaufour, 2001).

Les argiles et les complexes humiques se retrouvent fréquemment en association sous forme de complexes argilo- humiques, qui sont stabilisés par des cations. Ces complexes, portant une charge négative, ont la capacité d'adsorber différentes espèces chargées positivement telles que Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , etc. Ces liaisons sont réversibles, donc les cations peuvent être échangés ceux présents dans la solution du sol. Les anions tels que le Cl^- et le NO_3^- ne sont pas retenus et sont ainsi facilement lessivés. Par conséquent, ce complexe

agit comme un réservoir d'ions minéraux pour les plantes. Le degré de libération des ions du CAH dépend de facteurs tels que la quantité d'eau, le pH du sol, etc (**Chauvet et al, 2023**).

4.3.2 Les colloïdes :

Un colloïde est un état de la matière constitué de particules très fines qui approchent, mais n'atteignent jamais, la taille des molécules (**Howad, 1998**).

Les colloïdes du sol désignent les particules les plus fines d'argile et de matière organique humifiée présentes dans un sol, elles constituent une fraction importante du sol en raison de leurs propriétés qui en font le lieu de la plupart de l'activité physique et chimique du sol. L'une de ces propriétés est leur grande surface spécifique (**McCauley et al, 2005**).

5 Les propriétés du sol :

5.1 Les propriétés physiques du sol :

5.1.1 La structure de sol :

Selon (**Calvet, 2003**), la structure d'un sol est l'association de ces constituants minérales et organiques de diverses manières pour constituer des ensembles plus ou moins complexes.

La structure du sol fait référence à la disposition et à la distribution des particules du sol, qui forment à leur tour un réseau complexe de pores. Cette propriété du sol a un impact significatif sur divers processus physiques, chimiques et biologiques dans les sols (**Teamrat, 2012**).

5.1.2 La stabilité structurale du sol :

La stabilité structurale globale d'un sol désigne la capacité de l'agrégat (un groupe de particules de sol ; sable, limon ou argile liées entre elles par des cimentants que ce soit d'origine organique ou minérale) à résister aux forces internes et externes destructrices. Ces dernières affectent souvent les pores et/ou les agrégats de certaines tailles, entraînant uniquement la destruction d'un ou plusieurs niveaux hiérarchiques tout en formant un autre (**Teamrat, 2012**).

5.1.3 La texture du sol :

La texture du sol reflète la proportion de particules de différentes tailles qui le composent sable, limon et argile. Elle est le produit de la combinaison de la facilité de travail de sol,

de la quantité d'eau et d'air retenue et de la vitesse d'infiltration et de circulation de l'eau (Figure n° 02) (FAO, 2006).

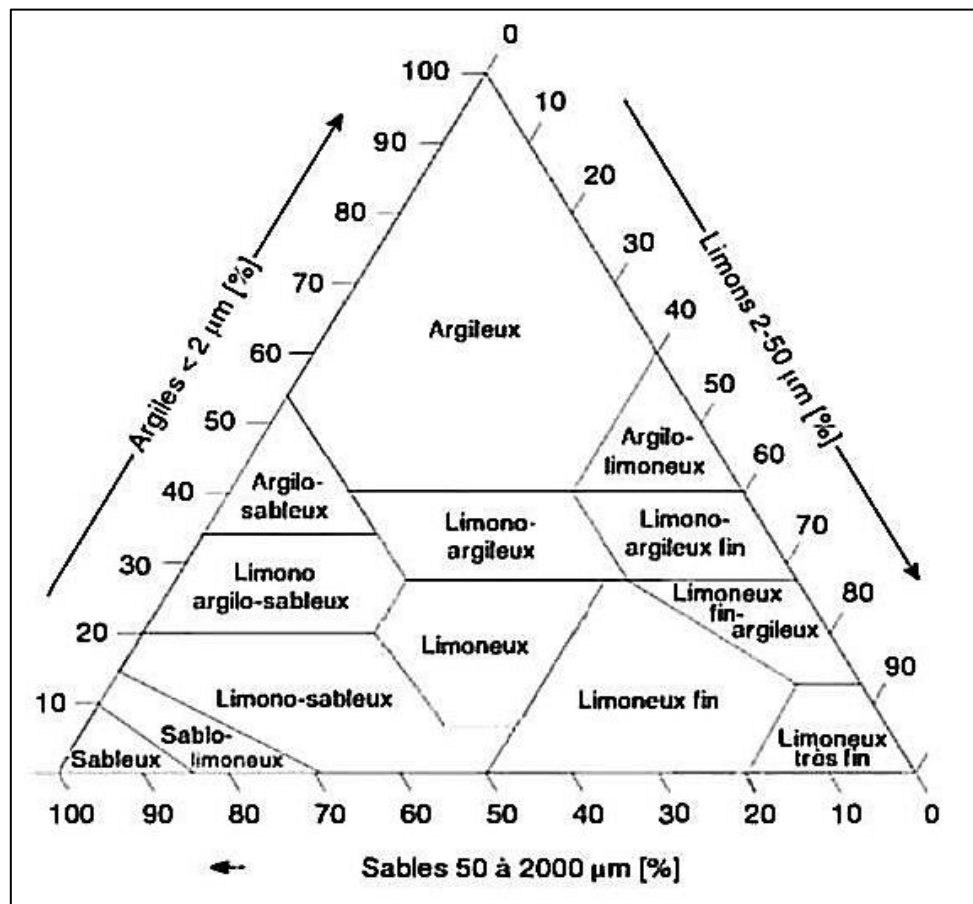


Figure n° 02 : Triangle des textures minérales (d'après USDA, 1999).

5.1.4 La porosité du sol :

La porosité d'un sol est la meilleure indication de l'état actuel de sa structure. Elle est définie comme le rapport entre le volume des vides et le volume total du sol, exprimé en pourcentage. Ce volume de vides et le volume total du sol, exprimé en pourcentage. Il est lui-même divisé en deux parties : la capacité en air et la capacité en eau (Duchaufour, 2001).

La porosité est un terme général qui désigne tous les pores présents dans le sol. Il s'agit d'un objectif complexe et en constante évolution, qui régit le cœur des processus biologiques qui soutiennent la vie, ainsi que les processus biochimiques et physiques qui affectent la qualité de sol. La détermination de cette propriété repose généralement sur la relation entre la densité apparente et la densité réelle (Lal et al, 2004).

5.1.5 La densité du sol :

5.1.5.1 La densité apparente :

La densité apparente d'un sol est la masse par unité de volume, incluant l'espace occupé par les pores (Charlotte, 2009).

Alors que selon (Teamrat, 2012), la densité apparente du sol est définie comme la masse sèche à l'étuve d'un volume unitaire de sol non remanié. Elle est généralement déterminée en mesurant le volume et la masse sèche à l'étuve d'un même volume de sol.

5.1.5.2 La densité réelle :

Selon (Gobat, et al., 2010), la densité réelle du sol, exprimée en grammes par centimètre cube (g/cm^3), elle est définie comme le rapport entre la masse volumique des particules solides qui composent le sol (excluant totalement les espaces vides ou pores présents entre elles) et la masse volumique de l'eau.

Et d'après (Sumner et al., 2012) La densité réelle représente l'une des propriétés physiques fondamentales du sol. Elle peut être définie comme la masse des particules du sol divisée par le volume occupé par les solides (à l'exclusion des vides et de l'eau). Cette propriété donne peu d'informations sur les processus physiques du sol. Cependant, sa valeur entre dans une variété de calculs de propriétés du sol plus intéressantes comme la porosité.

5.1.6 La couleur du sol :

La couleur joue un rôle essentiel en tant que référence à l'origine et aux processus qui ont contribué à la formation du sol, ainsi qu'en tant qu'indication de l'âge relatif de tout sol particulier (Robinson et al., 1911).

Le contenu en matière organique, les conditions de drainage et le degré d'oxydation sont les principaux facteurs qui déterminent la couleur du sol. Cette dernière, bien qu'observable facilement, n'est pas d'une grande utilité pour la prévision des caractéristiques du sol (FAO, 2021).

5.1.7 La température du sol :

Un sol, du fait de sa diversité et de son épaisseur, abrite simultanément une multitude de températures distinctes. Ces variations thermiques influencent de multiples processus

pédogénétiques, tels que l'altération des roches, la formation d'argiles et la modification des structures du sol (Gobat *et al*, 2010).

La température constitue un paramètre environnemental essentiel gouvernant les processus d'altération et de décomposition des litières dans le sol (Duchaufour, 2001).

5.1.8 La perméabilité du sol :

La perméabilité du sol est sa capacité à laisser l'eau, l'air et les racines passer à travers ses pores. Un sol fortement compacté limite ces mouvements (Henry, 1970).

La perméabilité d'un sol correspond à laquelle l'eau s'infiltré sous l'action de la gravité, exprimée en cm/s ou cm/h pour les sols à infiltration lente (Duchaufour, 2001).

La perméabilité du sol est influencée par plusieurs facteurs, notamment le taux de vide, la répartition des pores inter granulaires et le degré de saturation (Elhakim, 2016).

5.1.9 La consistance du sol :

D'après (Duchaufour, 2001), la consistance d'un sol reflète sa cohésion et sa résistance à la pression des éléments structuraux. Cette propriété dépend de la granulométrie, de la structure du sol, de sa stabilité et de son humidité.

La consistance du sol est une caractéristique essentielle qui permet de décrire le degré et le type de cohésion (la force avec laquelle les particules de sol sont liées entre elles) et d'agrégation entre les particules de sol. Cette propriété est directement liée à la résistance du sol à la déformation ou à l'altération (Dhaval, 2017).

5.2 Les propriétés chimiques du sol :

5.2.1 La capacité d'échange cationique :

La capacité d'échange cationique des sols (CEC) est définie comme la somme des charges positives des cations qu'un sol peut adsorber à un pH spécifique (Henry, 1990).

La capacité d'échange cationique d'un sol dépend de la quantité d'argile et de matière organique capables d'adsorber les cations. L'adsorption d'un cation ajouté entraîne la libération d'une quantité équivalente d'un autre cation du sol. Cette

capacité d'échange est généralement exprimée en milliéquivalents par 100 g de sol (méq/100 g) (Henry, 1970).

5.2.2 Le pH du sol :

Le pH du sol fait référence à l'acidité ou à l'alcalinité d'un sol et correspond à la mesure des ions hydrogène (H^+) présents dans le sol. Plus la quantité d'ions H^+ est élevée, plus le pH est faible, et vice versa (McCauley et al, 2005).

Le pH du sol est un indicateur de l'acidité et de l'alcalinité de la solution du sol, ce qui a un impact sur la solubilité et la disponibilité des nutriments dans le sol. Il est influencé par la dégradation de la matière organique, l'utilisation d'engrais, les types de sols, l'utilisation des terres, les précipitations et l'altération des minéraux (Oshunsanya, 2019).

5.2.3 La conductivité électrique du sol :

La conductivité électrique (CE) est une mesure de la capacité d'un matériau à conduire le courant électrique. Dans le contexte des sols, la CE reflète la quantité de sels dissous présents dans la solution du sol. Plus la concentration en sels est élevée, plus la CE est importante (Bresler et al, 1982).

La conductivité électrique d'un extrait de sol, couramment utilisé pour estimer la teneur en sels solubles dans la solution. Capacité du sol à conduire l'électricité (SSSA, 2008).

La conductivité électrique de l'eau ou d'un extrait de sol est exprimé en décisiemens par mètre ($dS\ m^{-1}$) ou en siemens par mètre ($S\ m^{-1}$) à 25°C (Gregorich et al, 2001).

5.2.4 Le calcaire du sol :

5.2.4.1 Le calcaire total de sol :

Le calcaire total fait partie des éléments hérités du sol, qui peuvent être légèrement altérés par des apports massifs et répétés d'amendements basiques. Le calcaire donne au sol des propriétés particulières en ce qui concerne son comportement physique et chimique, et a un impact sur son activité biologique (Amoud, 2017).

5.2.5.1 Le calcaire actif de sol :

Le calcaire actif correspond à la partie du calcaire total qui peut facilement et rapidement se dissoudre dans la solution du sol. Elle représente approximativement la fraction fine sur le plan granulométrique. Elle contribue à maintenir une concentration élevée de calcium dans la CEC et, de manière indirecte, un pH basique stable (**Amoud, 2017**).

5.3 Les propriétés biologiques :

5.3.1 La matière organique du sol :

C'est une fraction du sol qui résulte de la dégradation de matière végétales et animales par l'action des bactéries. C'est l'un des constituants importants du sol car elle fournit un habitat naturel à l'activité bactérienne nécessaire à la vie végétale (**Henry, 1970**).

La matière organique se décompose pour libérer des nutriments essentiels, en particulier de l'azote, que les plantes absorbent facilement. Cette décomposition améliore également la structure du sol, le rendant friable et plus facile à cultiver. De plus, elle renforce la capacité du sol à absorber et à retenir l'eau, ce qui profite à la croissance des plantes pendant les périodes sèches (**Henry, 1970**).

5.3.2 Le carbone organique dans le sol :

La matière organique du sol est principalement constituée de carbone organique. Il joue un rôle important en tant qu'indicateur de la santé du sol, car il contribue à la production alimentaire, à la réduction et à l'adaptation au changement climatique, ainsi qu'à la réalisation des objectifs de développement durable. En outre, le COS contribue à renforcer la stabilité structurale (**Lefève et al, 2017**).

5.3.3 La faune et la flore du sol :

5.3.3.1 La faune du sol :

La faune du sol agit en tant qu'ingénieurs du sol, initiant la décomposition des matières végétales et animales mortes, ingérant et traitant de grandes quantités de sol, creusant des biopores pour la circulation de l'eau et de l'air, mélangeant les couches de sol et augmentant l'agrégation. Les vers de terre, les insectes, les nématodes, les arthropodes et les rongeurs font partie de la faune importante du sol (**McCauley et al, 2005**).

5.3.3.2 La flore du sol :

En contribuant à la structure et à la porosité du sol, les plantes jouent un rôle dans son environnement en fournissant de la matière organique du sol à travers les résidus des pousses et des racines. Après la décomposition de la racine, les canaux racinaires peuvent être ouverts pendant un certain temps, ce qui permet la circulation de l'eau et de l'air (McCauley *et al*, 2005).

5.3.4 L'azote du sol :

L'azote est un élément chimique qui joue un rôle fondamental dans les processus biologiques. Constituant essentiel des matières organiques vivantes et mortes, il est indispensable à la croissance des végétaux (Denis, 2016).

La majorité de l'azote présent dans le sol est organique, représentant environ 90 %, dont 10% est de l'ammonium fixé sur les minéraux argileux. La concentration moyenne d'azote dans la couche de surface des sols cultivés varie de 0.06 à 0.3 % (Calvet, 2003).

5.3.5 Le rapport C/N du sol :

Le rapport C/N correspond à la proportion de carbone organique par rapport à l'azote totale d'un horizon. C'est un élément très fréquemment employé par les forestiers depuis longtemps afin d'évaluer la quantité de la station forestière et le stade de décomposition de la matière organique (Denis, 2000).

Pour analyser l'évolution du rapport C/N, il est essentiel de mesurer la quantité de carbone organique et d'azote organique total. On a utilisé la méthode Walkley et Black (1934) pour mesurer le taux de carbone organique du sol (%). En ce qui concerne l'azote organique total, il a été mesuré selon la méthode Kjeldahl (Syvain *et al*, 2009).

6 La fertilisation et l'amendement du sol :

6.1 La fertilité d'un sol :

6.1.1 Définition :

La fertilité du sol correspond à la capacité d'un sol à fournir les éléments nécessaires à la croissance des plantes sans aucun élément toxique. Les sols fertiles renferment une quantité suffisante et équilibrée d'éléments assez fragiles ou disponibles pour satisfaire les besoins des végétaux (Henry *et al*, 1997).

La fertilité du sol désigne la capacité du sol à fournir aux plantes les éléments nutritifs indispensables en quantité suffisante et dans des proportions adaptées pour assurer leur croissance des plantes agricoles et forestières, entraînant ainsi des rendements durables, constants et de haute qualité (Brady *et al*, 2008).

6.1.2 Types de la fertilité du sol :

- Fertilité physique.
- Fertilité chimique.
- Fertilité biologique.
- Fertilité hydrique.

6.2 Définition de quelque matière fertilisante :

6.2.1 Les engrais :

Un engrais du sol est toute matière d'origine naturelle ou synthétique qui est appliquée aux sols ou aux tissus végétaux (généralement des feuilles) pour fournir un ou plusieurs éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes. Ils améliorent la fertilité naturelle du sol ou remplacent les éléments chimiques prélevés du sol par les cultures précédentes (Havlin *et al*, 2013).

Les engrais sont des substances minérales ou organique que l'on ajoute au afin de fournir aux végétaux des minéraux plus ou moins rapidement. Les engrais principaux sont l'azote, le phosphore et le potassium. On désigne ces trois éléments sous le nom d'éléments fertilisants majeurs (Alice, 2014).

6.2.2 Les amendements :

Les amendements sont des éléments minéraux ou organiques ajoutés au sol afin de modifier ses caractéristiques physicochimiques, notamment sa structure (le mode d'assemblage des constituants du sol) et son pH. Les principaux amendements organiques sont des matières organiques utilisées pour maintenir ou enrichir le stock de matière organique du sol (Alice, 2014).

Les amendements du sol sont des matériaux ajoutés au sol pour améliorer ses propriétés physiques, telles que la rétention d'eau, la perméabilité, le drainage, l'aération et la structure. Ils peuvent également améliorer les propriétés chimiques et biologiques du sol, le rendant

plus propice à la croissance des plantes. Contrairement aux engrais, les amendements du sol ne fournissent pas directement de nutriments, mais contribuent à créer un environnement qui favorise la croissance des plantes et l'absorption des éléments nutritifs (Weil et al, 2016).

6.2.3 Le compost :

Le compost est un mélange de résidus organiques et de terre, mélange, empilés et humidifiés, avec ou sans ajout d'engrais et de chaux, et généralement laissé se décomposer par voie thermogénique jusqu'à ce que les matières organiques d'origine aient été substantiellement modifiées ou décomposées (SSSA, 2008).

Le compost de sol est un matériau biologiquement stable, de type humus, issu de la décomposition aérobie de matières organique. Il est utilisé pour améliorer la fertilité et la structure du sol en fournissant des nutriments essentiels, en augmentant l'activité microbienne et en améliorant la rétention d'humidité. Le compost est produit par la décomposition contrôlée de MO, telles que les résidus végétaux, les déchets alimentaires et fumier, dans des conditions aérobies (Cogger, 2019).

Deuxième chapitre

Présentation de milieu physique et méthodologie du travail

Chapitre II : Présentation du milieu physique et Méthodologie du travail

1. La présentation de milieu physique :

1.1 La Localisation de la zone d'étude :

M'sial est une wilaya du Nord de l'Algérie, à 240 km au Sud-est de la capitale Alger, elle se trouve dans les hautes terres du pays. L'altitude de la région est comprise entre 35°18' et 35°32' Nord et une longitude comprise entre 4°15' et 5°06' Est.

Dans notre étude en se baser sur quelque zone de la wilaya de M'sila (figure n° 03), il s'agit de :

1.1.1 La zone de M'sila (commune) :

M'sila est une commune du bassin versant du Hodna. Elle se trouve à 256 Km au Sud-est d'Alger. Elle se situe aux coordonnées géographiques 35°42'07" et 4°32'50"E. La superficie de la commune de M'sial est 252 Km². Elle est limitée par la commune d'El Ach (wilaya de Bordj Bou Arreridj), au Sud par la commune d'Oulad Madhi (wilaya de M'sila), à l'Est par la commune de M'tarfa et Maadid (wilaya de M'sila), et à l'Ouest par la commune d'Ouled Mansour (wilaya de M'sila).

1.1.2 La zone de Ouled Darradje :

Ouled Darradje est une commune de l'Est de la wilaya de M'sila. Elle est bordée par la commune de Maadid au Nord, par la commune de Souamaa au Sud, par la commune de Ouled Addi l'Guebala à l'Est et par la commune de M'tarfa à l'Ouest.

La localité se distingue par une altitude variant de 524 m à 546 m, avec les coordonnées géographiques suivantes : L'atitue : 35.6833, Longitude : 4.78333. 35°40'60" Nord, 4°46'60" Est.

1.1.3 La zone de Ouled Addi l'Guebala :

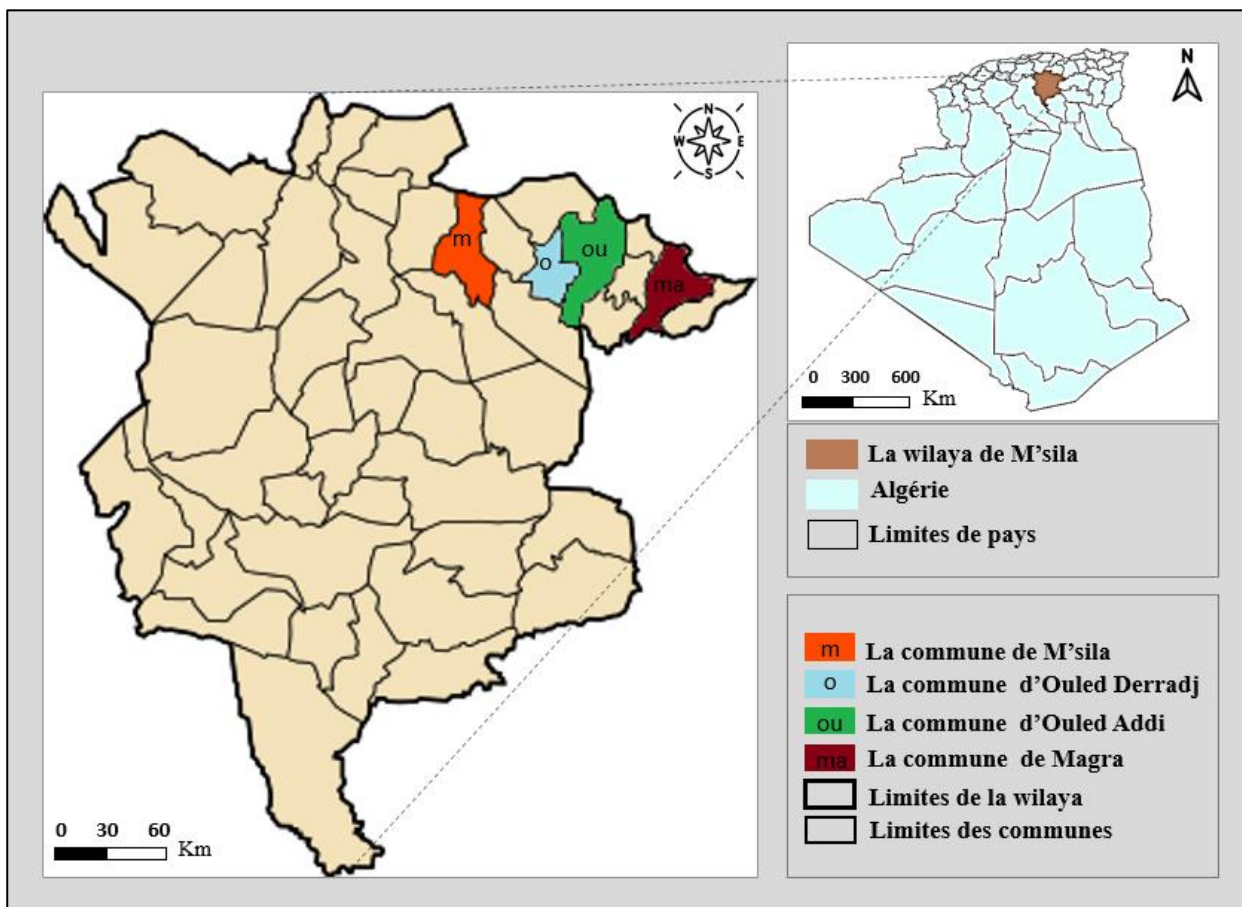
Ouled Addi l'Guebala est une commune située à 30 Km à l'est de la ville de M'sila. Elle est limitée par la commune de Taqlait (wilaya de Bordj Bou Arreridj) et la commune de Maadid au Nord, par la commune d'Ouled Darradj à l'Ouest et par la commune de Barhoum à l'Est. Elle est limitrophe de la commune d'Ain al-Khadra au Sud.

Elle se situe aux coordonnées géographiques : L'atitute : 35.6706, Longitude : 4.87783, 35°40'14" Nord, 4°52'40" Est.

1.1.4 La zone de Magra :

Magra est une commune du Nord-Est du bassin d'El-Hodna, à 300 Km d'Alger. Elle est bordée par les communes de Barhoum, Dhahna, Ain Khadra, Belaiba, Resfa et Metkaouak.

La zone est située à : L'atitute : 35.5999, Longitude : 5.06659, 35°35'60" Nord, 5°3'60" Est.



1.2 Le Milieu physique de la zone d'étude :

1.2.1 La géologie de la zone d'étude :

La figure n° 04 nous donne une image précise et décrit les types de formations géologique du Hodna, y compris nos quatre zones d'étude. Ils sont classés par période géologique suivantes :

a- Quaternaire (qt) :

- Alluvions actuelles (A) : Dépôts de sédiments récents transportés par les rivières et les cours d'eau.

- Dunes (D) : Dépôts de sable éolien formant des collines et des massifs.

b- Pliocène continental (pe) :

- Conglomérats gréseux à ciment greso : Roches sédimentaires composées de graviers et de sable cimentés par du calcaire ou du gypse.

c- Miocène (mi, mi1) :

- Miocène supérieur (mi) : marnes gypseuses avec intercalations gréseuses ; roches sédimentaires composées de marnes (roches fines et argileuses) et de gypse (sulfate de calcium hydraté), avec des couches intercalées de grès (roche sédimentaire siliceuse).

- Miocène inférieur (mi1) : Marnes gypseuses avec calcaire gréseux à la base ; roches sédimentaires composées de marnes et de gypse, avec des couches calcaires gréseuses (calcaire mélangé à du sable) à la base.

d- Oligocène continental (OL) :

- Marnes rouges et conglomérats : Roches sédimentaires composées de marnes rouges (argiles riches en oxydes de fer) et de conglomérats (roches sédimentaires grossières formées de fragments de roches plus anciennes)

e- Crétacé (C) :

- Marnes calcaires et grès : Roches sédimentaires composées de marnes (roches fines et argileuses) et de grès (roche sédimentaire siliceuse).

- Calcaires : roches sédimentaires composées principalement de carbonate de calcium.

f- Jurassique (t)**g- Trias (t1) :**

- Gypses, roches de sel, jaspes : roches sédimentaires composées de gypse, de sel gemme (chlorure de sodium) et de jaspes (roches siliceuses d'origine sédimentaire).

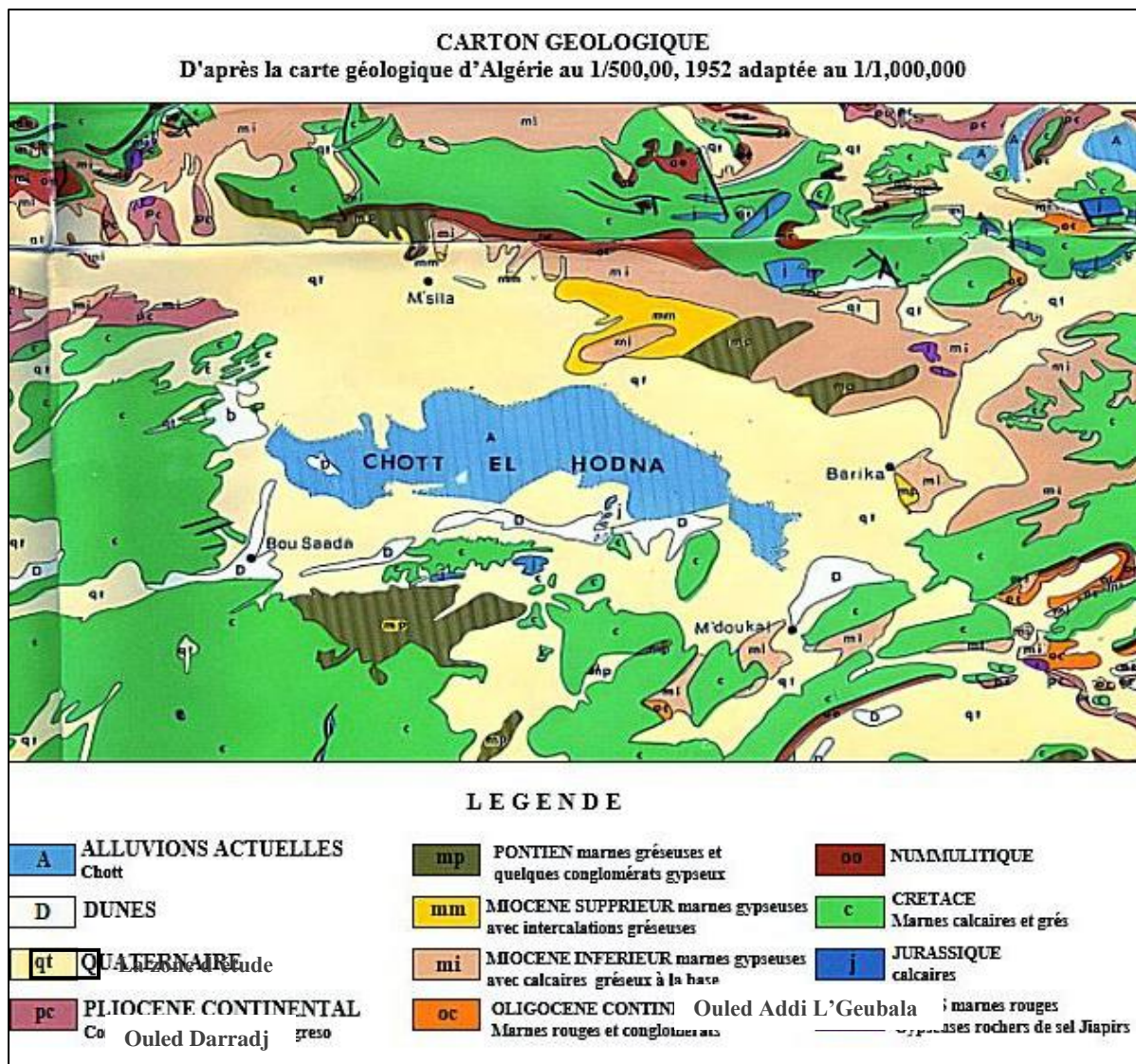


Figure n° 04 : Carte géologique de la région du Hodna et situation des zones d'étude (FAO, 1975 modifiée)

On observe une grande diversité de formation et de structure, ce qui témoigne une histoire géologique complexe (Figure n° 04).

La région du Hodna se caractérise par la présence des formations géologiques suivantes :

- **Trias (t)** : Marnes rouges.
- **Crétacé (C)** : Marnes calcaires et grés.
- **Oligocène continental (oc)** : Marnes rouges et conglomérats.
- **Miocène (mi, mi1)** : Miocène supérieur, Miocène inférieur.
- **Quaternaire (qt)** : Alluvions actuelles (A).
- **Pontien (mp)** : Marnes gréseuses.
- **Nummulitique (OO)**.

1.2.2 La pédologie des régions d'étude :

Dans la zone d'étude, la distribution des sols est principalement influencée par le climat, la composition des roches sous-jacentes, la topographie, la présence d'eau, la végétation et différents facteurs biotiques et anthropiques. Parmi ces sols en peu mentionner :

- a- **Lithosols** : un sol très mince est restreint en profondeur par un matériau cohérent, dur et continu. Situé à une profondeur de 10 cm ou moins de la surface (**INRA, 1995**).
- b- **Légosols** : un sol très mince contient un matériau non ou très peu évolué, non différencié, n'ayant pas développé de structure pédologique généralisée, meuble ou peu dur, sans contact lithique à moins de 50 cm de la surface (**INRA, 1995**).
- c- **Sols peu évolués alluviaux** : Ses profils se distinguent par des horizons minéraux peu altérés, peu colorés (faible quantité de fer libre), sans structure affirmée et présentant une granulométrie très variable (en fonction de la force des courants de dépôt) (**Duchaufour, 2001**).
- d- **Sols bruns calcaires** : Dans certains sols bruns, le pourcentage total de calcaire est faible (<10 %) dans la partie supérieure du profil. Peuvent être en voie de décalcification. La formation de sols bruns sur d'anciennes colluvions avec une teneur variable en calcaire peut expliquer ces taux irréguliers (**INRA, 1995**).
- e- **Sols à encroûtement calcaire** : Les sols à croûte calcaire se situent au piedmont des montagnes ; géo-morphologiquement, ils se situent sur des glacis anciens et sont caractérisés par la présence de gros blocs calcaires en surface, et sont en outre très caillouteux à la surface du sol et dans le profil.
- f- **Siérozems** : Un type de sol spécifique aux régions arides et semi-arides, comme l'Ouzbékistan. Il se caractérise par sa couleur claire, sa faible teneur en matière organique et sa forte concentration en sels solubles. Ce sol se forme principalement sous l'influence des processus d'évaporation et de lessivage, qui conduisent à la formation d'une croûte imperméable en surface. Cette couche limite l'infiltration de l'eau, favorisant ainsi la salinisation du sol.
- g- **Sols halomorphes** : Ils sont caractérisés par l'influence prépondérante de l'ion Na^+ sur la genèse du sol (**Quantin, 1965**).

h- Sols gypseux : des sols à accumulations secondaires de gypse dans les horizons supérieurs. Ils forment les couverts pédologiques de zones très étendues, seulement dans les climats arides et semi-arid (avec des précipitations annuelles < 300 mm) (INRA, 1995).

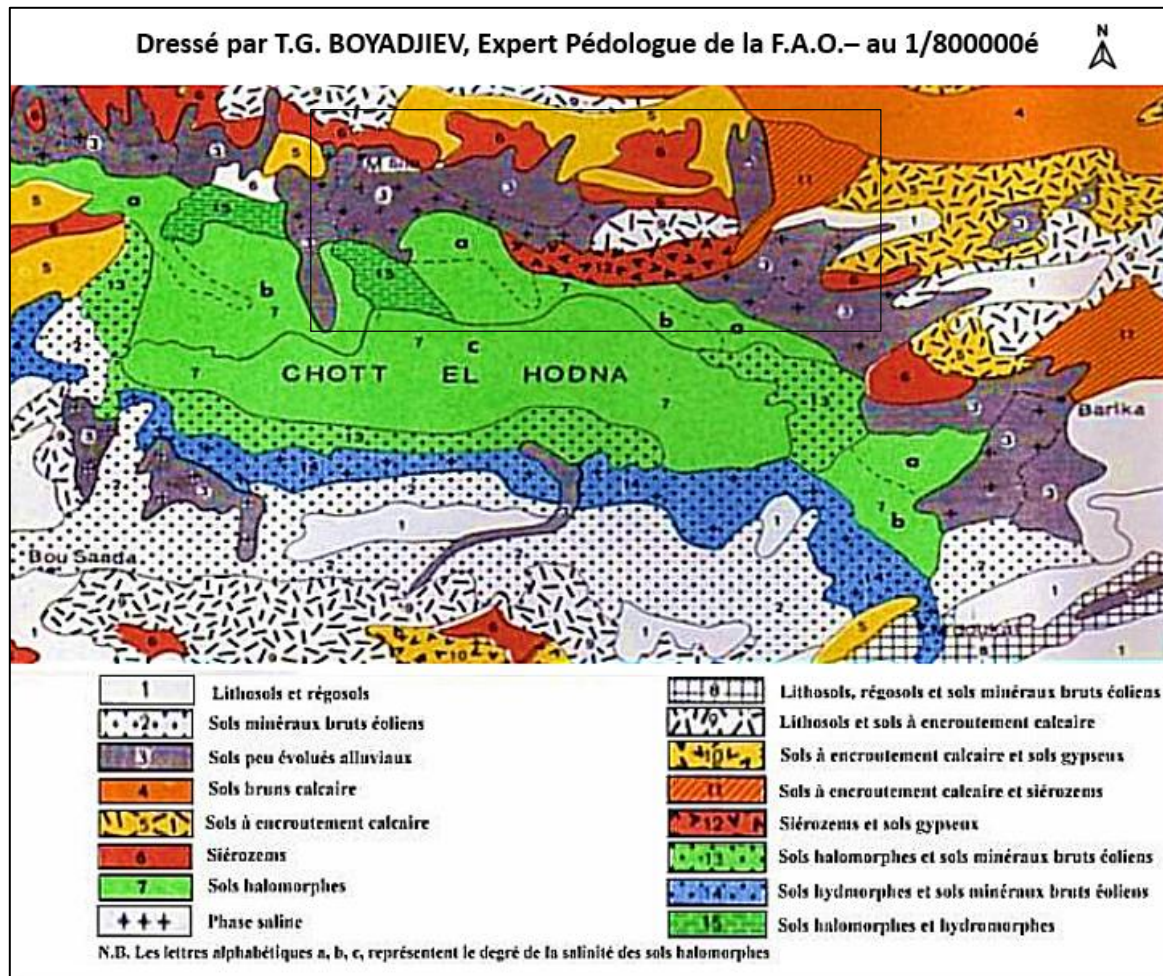


Figure n° 05 : Carte pédologique de la région de Hodna (BOYADJIEV, 1975)

D'après la carte pédologique de Hodna mentionnée au-dessus (Figure n° 05), il existe différents types de sols dans notre région d'étude :

- Lithosols et Légosols.
- Sols brune calcaire.
- Sols peu évolués alluviaux.
- Sols à encroutement calcaire.
- Siérozems et gypseux.
- Sols halomorphes.

1.2.3 L'hydrologie des régions d'étude :

Le bassin versant de Chott el Hodna, d'une superficie de drainage de 26000 Km², il est le cinquième bassin en Algérie. C'est un bassin intérieur, situé à 150 Km au la côte méditerranéenne (Figure n° 06) (HASBAIA *et al.*, 2012).

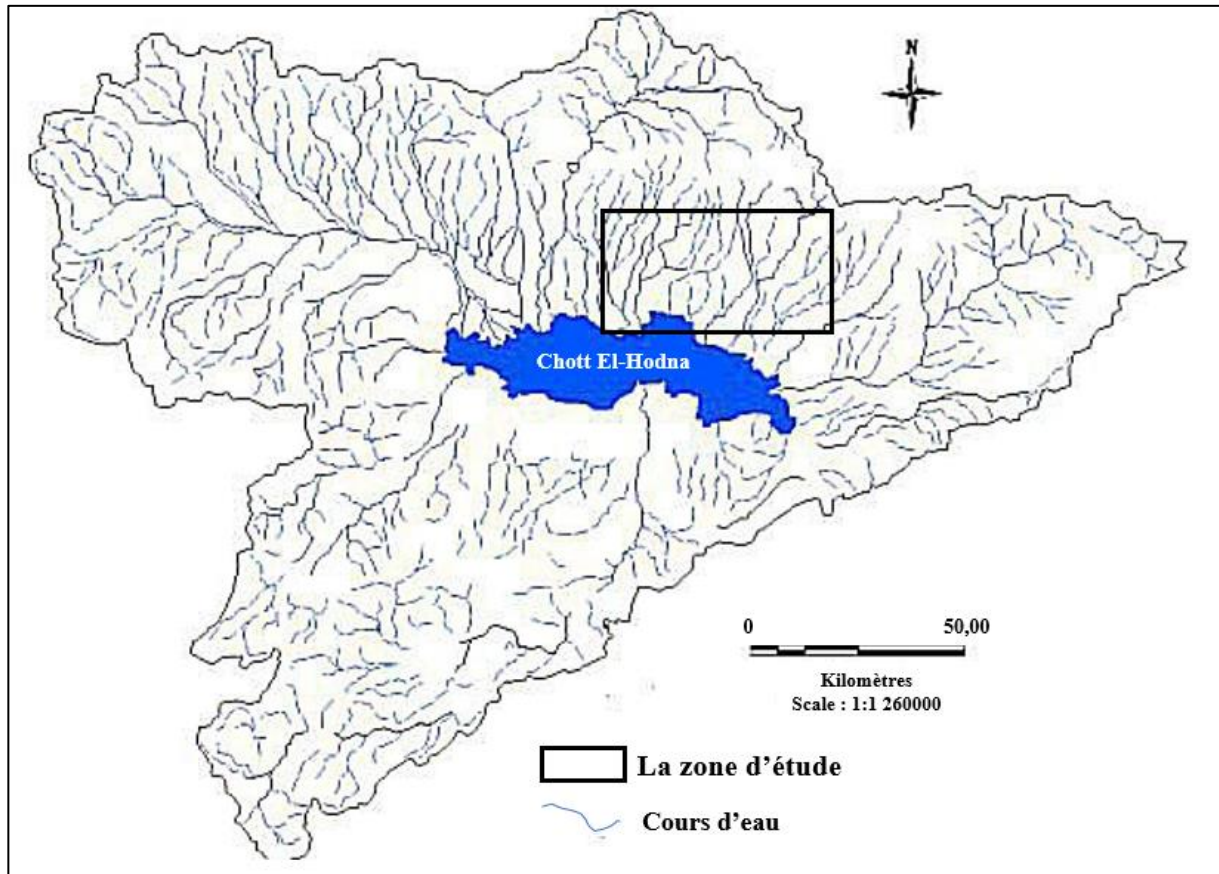


Figure n° 06 : Hydrologie du Bassin d'El Hodna (Bounab, 2008) (modifier)

1.3 La Caractérisation climatique de la zone d'étude :

1.3.1 L'origine des données climatiques :

La station météorologique de M'sila (SMM) située dans la région de Ghezal est utilisée dans notre étude, étant donné l'absence d'une station dans notre zone d'étude pour nous fournir des informations adéquates pour comprendre et caractériser le climat dominant dans la région d'étude. Les données fournis par la SMM ont été utilisées pendant une période de 10 ans (2006-2016).

1.3.2 La température des zones d'étude :

En fonction de la latitude, de la saison, de l'exposition et du couvert végétal, la température du sol varie considérablement. L'énergie calorifique reçue le jour augmente la température du sol et évapore l'eau stockée. Le sol se refroidit, au contraire, la nuit par rayonnement, il y a donc une variation diurne de la température du sol qui est propre au se type et sa végétation (Duchaufour, 2001).

Dans notre zone d'étude, on peut mentionner la température moyenne mensuelle dans le tableau n° 02) et la figure n° 07) ci-dessous :

Tableau n° 02 : les moyennes mensuelles des températures en (C)° de la région d'étude pendant la période (2006-2016).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
T max (°C)	19.8	21.7	27.7	32.2	36.8	40.9	43.7	43.1	38.3	33.6	24.7	19.6
T min (°C)	-1.5	-1.9	0.6	4.6	9.0	14.2	19.2	19.8	14.3	8.3	3.1	-0.5
T moy (°C)	8.8	9.7	13.3	18.1	22.8	28.3	32.3	31.9	26.4	20.7	14.5	9.5

(SMM)

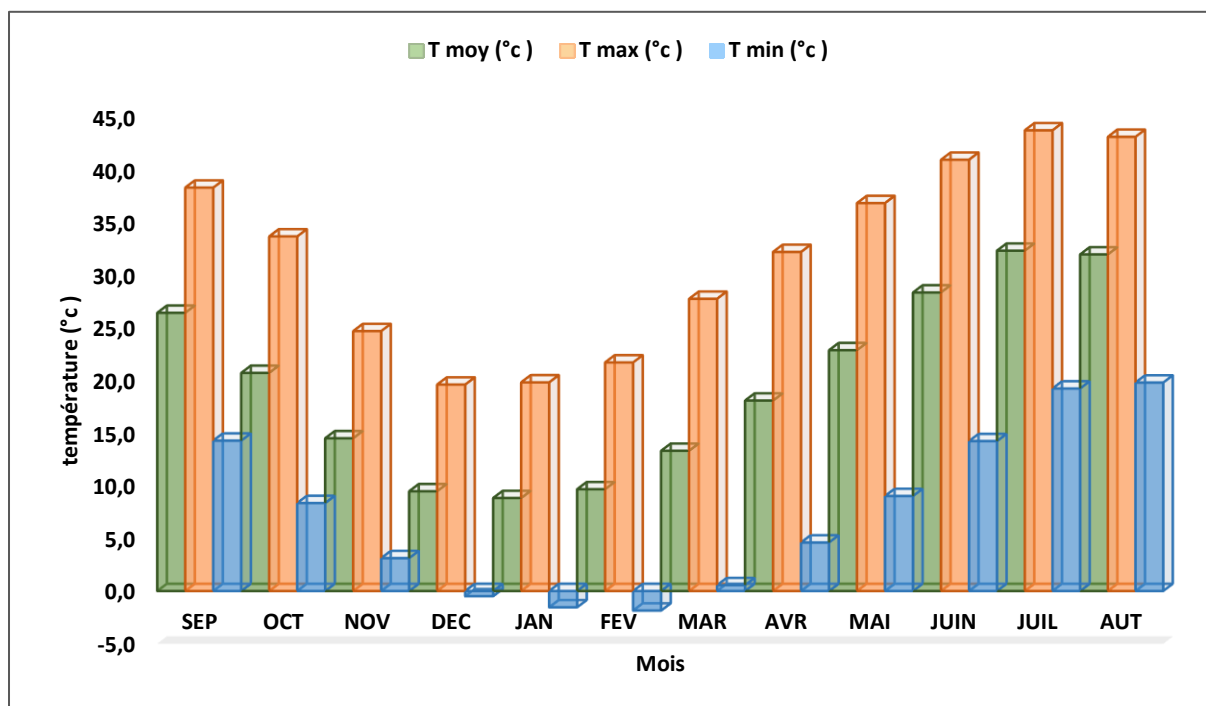


Figure n° 07 : Températures moyennes mensuelles, minimales, maximales en °C de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).

- Les températures maximales augmentent progressivement de Janvier à Juillet, atteignant un pic en Juillet de 43.7°C. Elles commencent ensuite à diminuer graduellement de juillet à décembre.

- Les températures moyennes suivent une tendance similaire aux températures maximales, augmentant de Janvier et diminuant ensuite jusqu'à Décembre. Les variations sont moins marquées que pour les températures maximales.

- Les températures minimales montrent également une augmentation de Janvier à Juillet et une diminution de Juillet à Décembre. Ils restent toujours au-dessus de 0°C, sauf en Janvier ou elles sont proches de 0°C. La température la plus basse enregistrée en Février est de 1.9°C.

1.3.3 Les précipitations dans la zone d'étude :

Les précipitations sont des apports d'eau parvenant au sol sous forme liquide (pluie ou rosée) ou solide (neige ou grêle) en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Ils sont mesurés à la surface de la terre en millimètres.

Tableau n° 03 : Les variations des précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la zone d'étude pendant la période (2016-2016).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
Moy P (mm)	12.90	16.00	14.00	30.44	16.55	9.00	6.89	5.50	21.27	23.50	15.10	16.11

(SMM)

Selon la figure n°08 et le tableau n° 03, il est observé que le mois d'Avril est le mois caractérisé par des précipitations les plus importantes avec une valeur de 30.44 mm, tandis que le mois d'Aout est le moins pluvieux avec une valeur de 5.5 mm.

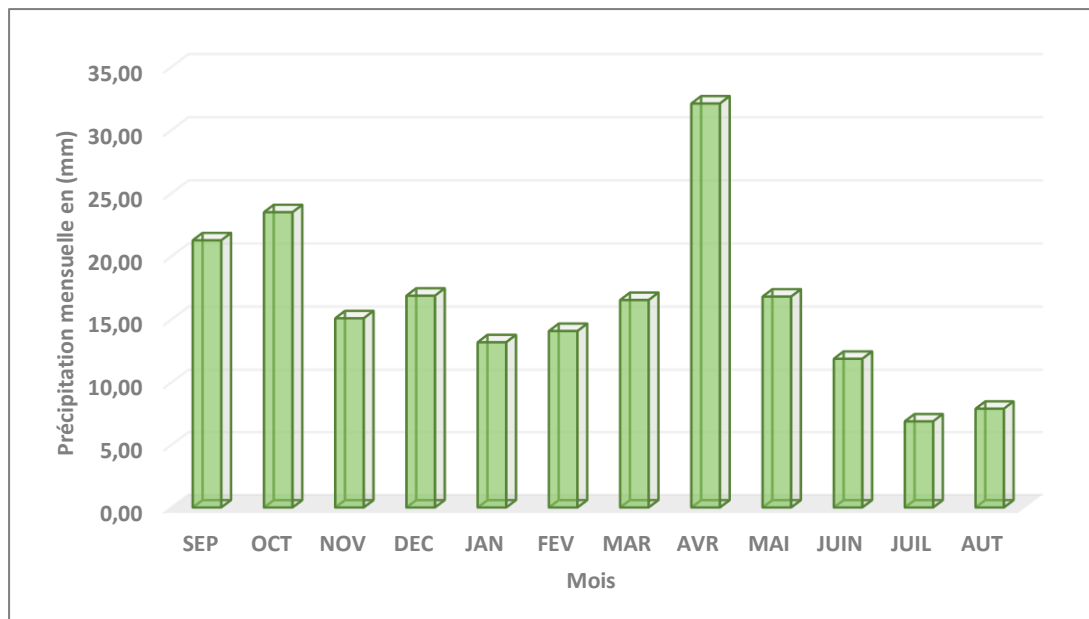


Figure n° 08 : Les variations moyenne mensuelle des précipitations en (mm)de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).

1.3.4 L'évapotranspiration dans les zones d'étude :

L'évapotranspiration (ETP) est une combinaison de deux processus : l'évaporation et la transpiration. L'évaporation est un processus physique qui implique la conversion de l'eau liquide en vapeur d'eau, puis son rejet dans l'atmosphère. La transpiration est un processus physique qui implique la circulation de l'eau liquide du sol à travers le tronc, les branches et la surface des feuilles par l'intermédiaire des stomates (Megh & Eric, 2014).

On considère que l'évapotranspiration est un indicateur du développement optimal de la végétation et joue un rôle essentiel dans l'évolution des caractéristique climatiques d'une région pour l'agriculture (Calanca & Holzkämper, 2010).

Tableau n° 04 : Evapotranspiration moyennes mensuelles de la zone d'étude (2006-2016).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
ETP moy (mm)	0.63	0.92	2.70	7.93	18.53	36.85	56.90	51.78	24.90	15.44	8.79	6.80

(SMM)

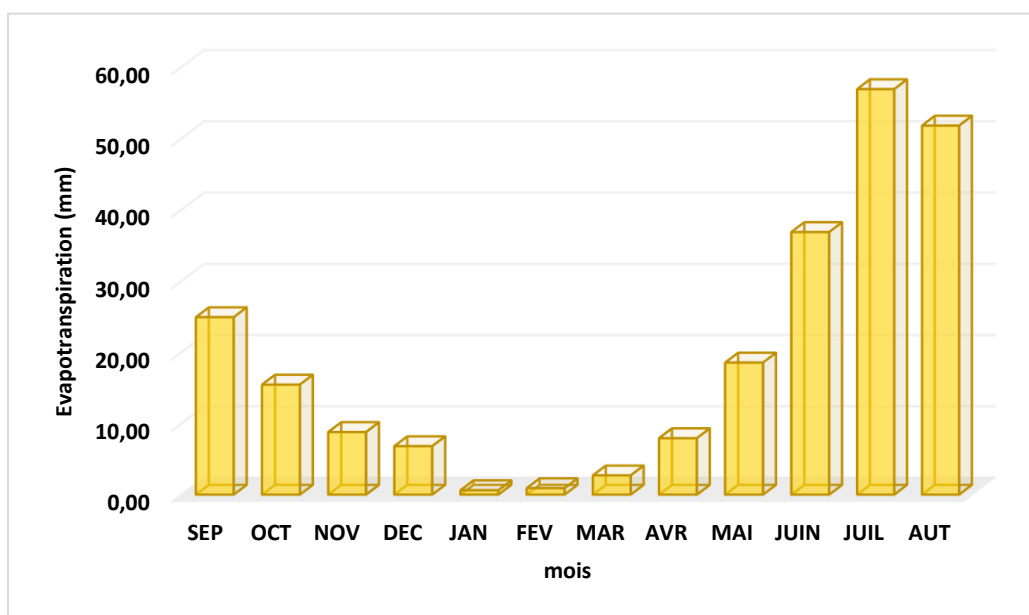


Figure n° 09 : Evapotranspiration moyennes mensuelles de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).

Le diagramme au-dessous (Figure n° 09) et le tableau n° 04, présente les valeurs mensuelles de l'évapotranspiration en (mm) sur période de 10 années où l'on remarque :

- De Janvier avec une valeur minimum de 0.63 (mm) à Juillet, les valeurs d'évapotranspiration augmentent de manière progressive, atteignant un maximum en Juillet de 56.9 (mm). Et elles diminuent progressivement après Juillet jusqu'en Décembre.

1.3.5 Le vent dans la zone d'étude :

Le vent est le déplacement horizontal de l'air dans l'atmosphère, souvent mesuré en termes de vitesse et de direction. Il se forme lorsque l'air se déplace des zones de haute pression vers les zones de basse pression. Les différences de température et de pression entre différentes régions de la terre sont les principaux moteurs de ce mouvement d'air.

Tableau n° 05 : Vitesse mensuelles moyennes du vent en (m/s) de la région d'étude (2006-2016).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
V (m/s)	3.82	4.64	5.00	4.82	4.82	4.55	4.00	3.73	3.73	3.55	4.00	3.64

(SMM)

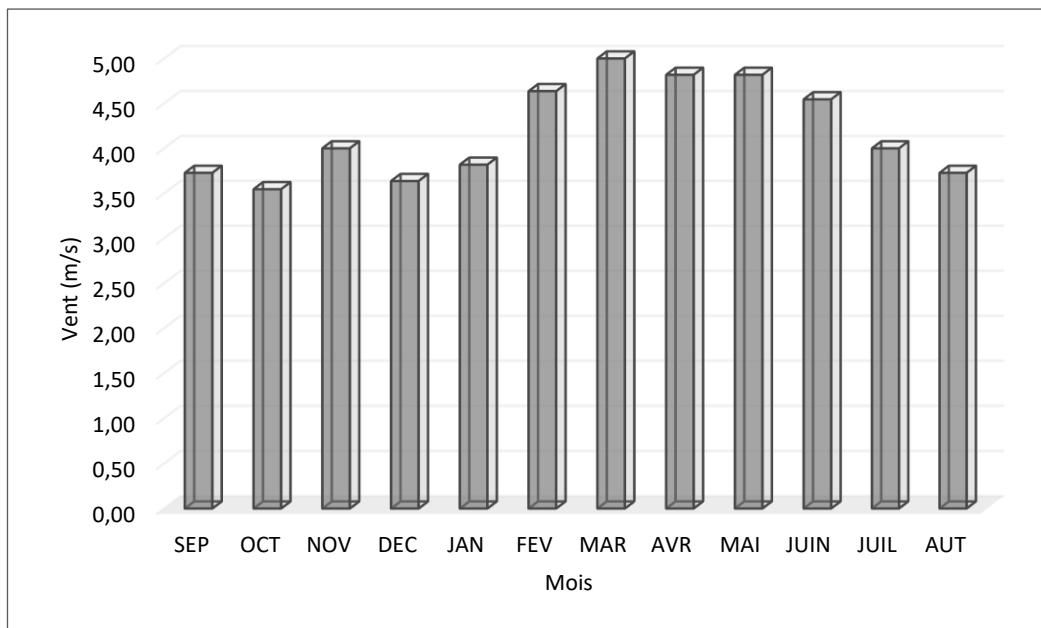


Figure n° 10 : Vitesse moyenne mensuelle du vent de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).

Le diagramme de la figure n° 10 et le tableau n° 05 nous donne une image précise sur le vent dans notre zone d'étude :

- Mars a la vitesse moyenne du vent la plus élevée, à 5.00 m/s.
- Février, Avril et Mai ont également des vitesses de vent relativement élevées, autour de 4.64 m/s à 4.82 m/s.
- Octobre a la vitesse moyenne du vent la plus basse, à 3.55 m/s.
- Septembre, Novembre et décembre montrent des vitesses de vent plus faible, autour de 3.55 m/s à 3.73 m/s.
- La vitesse moyenne du vent varie tout au long de l'année avec des pics notables au printemps et des valeurs plus faibles en automne et en début d'hiver.

1.3.6 L'humidité dans la zone d'étude :

L'humidité est une mesure de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air. L'humidité relative, l'une des formes les plus courantes de mesure de l'humidité, est exprimé en (%) et représente le rapport entre la quantité actuelle de vapeur d'eau et la quantité maximale que l'air peut contenir à cette température (Louisville, 2009).

Tableau n° 06 : Humidité moyennes mensuelles de la zone d'étude (2006-2016).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
H (%)	74.73	69.64	62.55	57.18	47.09	39.09	31.45	35.09	49.45	58.27	70.45	75.82

(SMM)

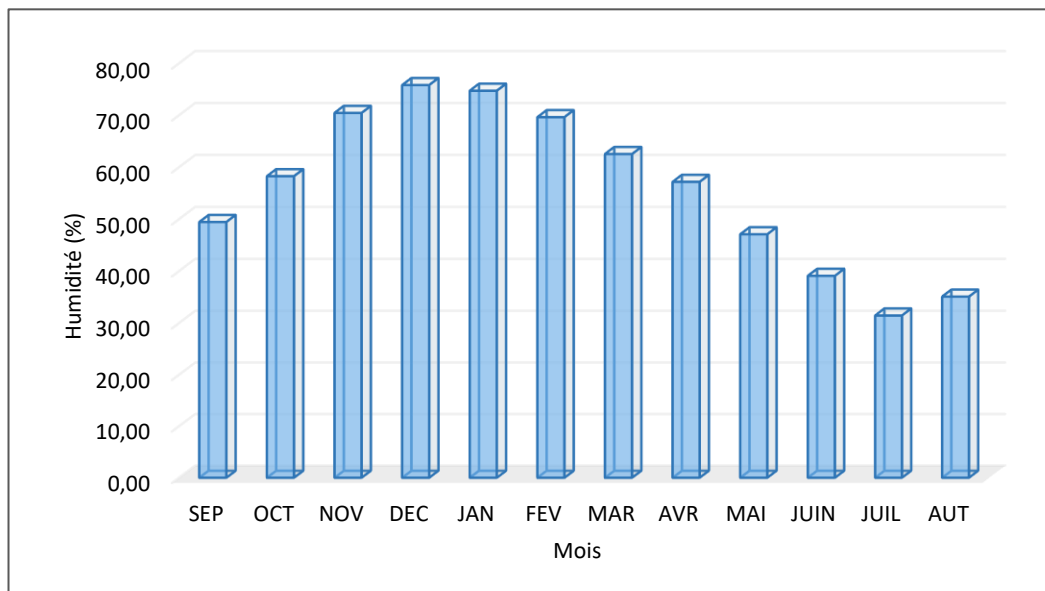


Figure n° 11 : Humidité moyenne mensuelle de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).

Le diagramme (Figure n° 11) et le (Tableau n° 06) montrent l'humidité moyenne mensuelle de la zone d'étude sur une période de 10 ans (2006-2016), on observe que :

- L'humidité moyenne la plus élevée est enregistrée en Décembre et Janvier, avec des valeurs supérieures à 70 %.
- L'humidité moyenne la plus faible est enregistrée en Juin et juillet, avec des valeurs inférieures à 50 %.
- L'humidité moyenne tend à diminuer entre Février et Mai, puis à augmenter entre Aout et Novembre.

1.4 La classification du climat :

1.4.1 Les approches climatiques :

Ces indices sont des outils précieux pour analyser la répartition des saisons (sèche et humide) et caractériser le type de climat de la zone étudiée. Ce sont les diagrammes ombrothermiques de Gaussem et Bagnouls, ainsi que le Climagramme d'Emberger,

1.4.1.1 Diagramme Ombrothermiques de Gaussem et Bagnouls :

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussem est une représentation graphique de la relation entre la température et les précipitations sur une année. Il est particulièrement utile pour identifier les périodes sèches dans les climats, en particulier dans les régions méditerranéennes et semi-arides.

D'après Gaussem et Bagnouls, un mois est considéré comme sec lorsque le total des précipitations en (mm) est égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T$).

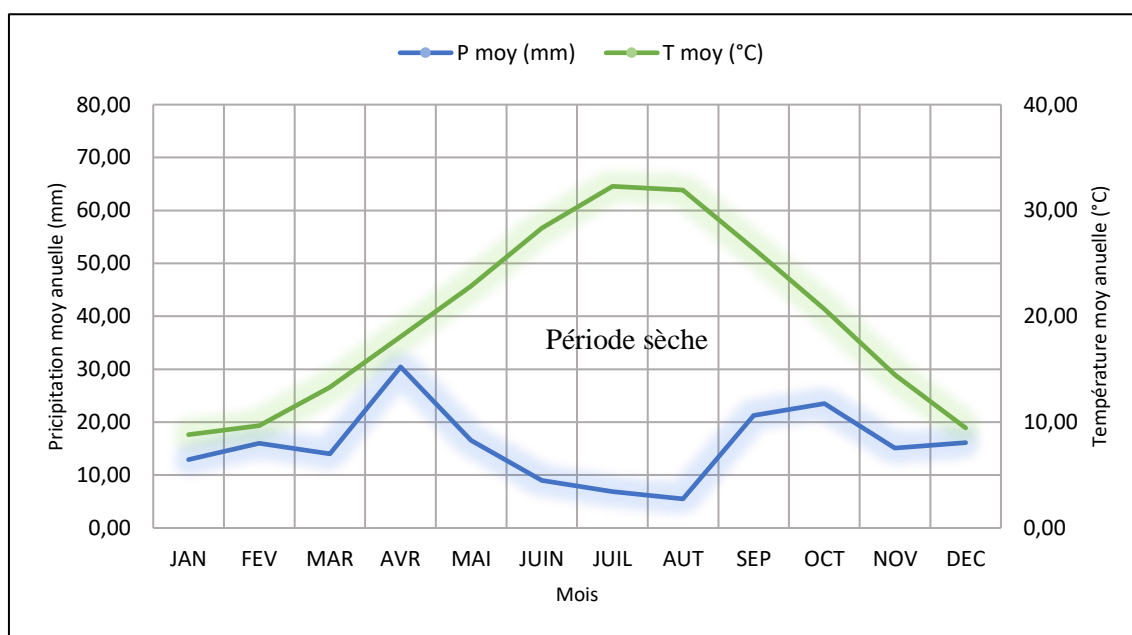


Figure n° 12 : Diagramme ombrothermiques de la région de la zone d'étude (2006-2016) (SMM).

La (Figure n° 12) représente le diagramme ombrothermique de notre zone d'étude, en observe que dans la période sèche, le mois Avril montre des précipitations élevées (environ 30 mm), tandis que les températures restent modérées (environ 15 °C). Alor que le mois de Septembre montre également une augmentation des précipitations après les mois secs d'été (période sèche). Donc la zone d'étude a une période sèche pendant tout l'année.

1.4.1.2 Le climatogramme d'EMMBERGER :

EMMBERGER a proposé un quotient pluviothermique, qui nous renseigne sur le caractère xérique de la végétation et qui prend en compte les températures et les précipitations. Ces dernières exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat. Le quotient d'EMMBERGER est spécifique au climat méditerranéen (Tiefenbacher, 2022). Il était calculé par la formule suivant :

$$Q_2 = \frac{1000P}{\left(\frac{M + m}{2}\right)(M - m)}$$

Où :

Q_2 : quotient pluviométrique d'EMMBERGER.

P : précipitations moyennes annuelle (mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °K.

m : moyenne des minimas du mois le plus froid en °K.

Tandis que (Stewart, 1969) a proposé un autre quotient, qui nous permet de localiser la zone d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond. Il se compose de zones d'aridité croissante de haut en bas. La température moyenne des minimas du mois le plus froid est alors placée en abscisse et le coefficient pluviométrique Q_2 est placé en ordonnée. Il s'applique en particulier aux zones arides. La formule est la suivante :

$$Q_2 = 3.43 \frac{P}{(M - m)}$$

Où :

Q_2 : quotient pluviométrique d'EMMBERGER.

P : précipitations moyennes annuelle (mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

m : moyenne des minimas du mois le plus froid en °C.

Cas de notre zone d'étude :

Tableau n° 07 : Valeurs du quotient pluviométrique d'EMMBERGER et de Stewart.

P (mm)	M (k°)	m(k°)	Q ₂ (quotient d'EMMBERGER)	Q ₂ (quotient de Stewart)
187.26	316.85	271.25	13.96	14.08

Pour la classification sur le digramme (figure n° 13), nous avons utilisé l'équation de (Stewart, 1969).

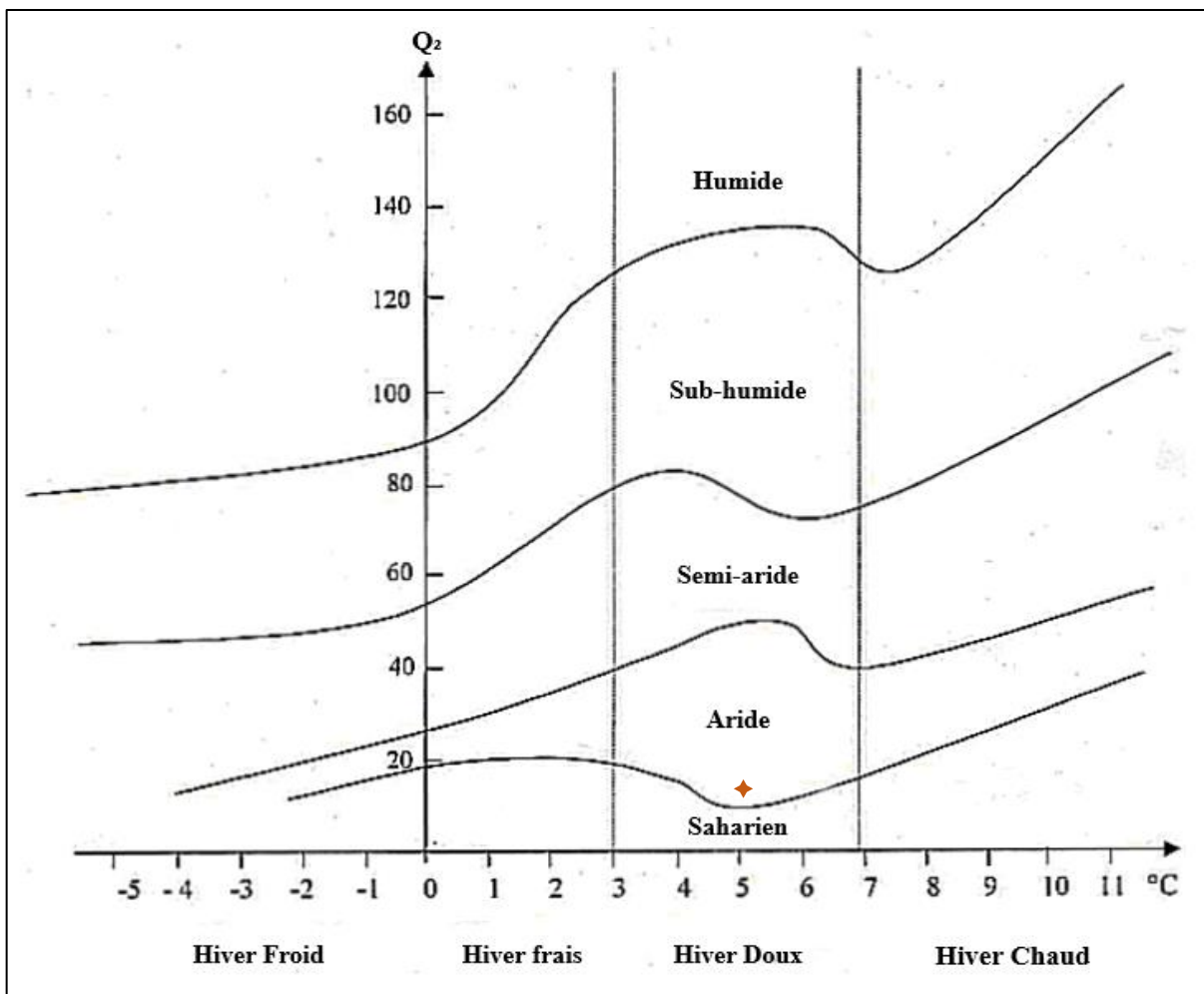


Figure n° 13 : Climagramme d'EMMBERGER et représentation de la zone d'étude (2006-2016).

Donc notre zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique aride avec un Hiver doux.

2. La méthodologie du travail :

2.1 La synthèse des données :

Pour étudier les caractéristiques des sols de l'Est de la wilaya de M'sila, nous avons utilisé les données antérieures des quatre zones ; M'sila, Ouled Derrajd, Ouled Addi l'Geubala et Magra, basées sur la détermination des propriétés physico-chimique et biologique par les méthodes d'analyses suivants :

2.1.1 Les analyses physiques :

2.1.1.1 L'analyse granulométrique :

La méthode a été utilisée est la méthode de pipette de Robinson, où de sédimentation, qui est une technique de laboratoire qui permet de mesurer la distribution des différentes tailles de particules qui constituent un échantillon de sol.

2.1.1.2 La porosité :

Afin de mesurer la porosité du sol, il est nécessaire de mesurer la densité apparente (d_a) et la densité réelle (d_r) :

- a- La densité apparente (d_a) :** la méthode a été utilisée et la méthode du cylindre de prélèvement, aussi appelée méthode du cylindre à volume connu, elle consiste à prélever un cylindre intact de sol à l'aide d'un cylindre métallique. Ensuite il est séché à l'étuve à une température constante généralement 105° , la masse du sol sec est ensuite mesurée et la densité apparente est calculée en divisant la masse du sol sec par le volume du cylindre. L'équation suivante est utilisée pour calculer la (d_a) :

$$d_a = \frac{P_s}{V_t} \text{ g/cm}^3$$

P_s : le poids sec du sol qui obtenu après séchage.

V_t : le volume du sol à l'intérieur du cylindre.

- b- La densité réelle (d_r) :** la méthode a été utilisée et la méthode du Pycnomètre, qui est une des plus couramment utilisées pour déterminer la densité des particules du sol. Pour le calcul on a :

$$dr = \frac{(b-a)}{((b+d)-(a+c))} \text{ g/cm}^3$$

Où:

a : le poids de Pycnomètre vide.

b : le poids de Pycnomètre contenant l'échantillon du sol.

c : le poids de Pycnomètre + l'échantillon du sol + l'eau distillée dégagée.

d : le poids de Pycnomètre rempli d'eau.

La porosité totale est le rapport entre le volume des vides et le volume total. Elle est exprimée en (%) et est calculée selon la formule suivant :

$$P \% = \left(\frac{(dr - da)}{dr} \right) 100$$

2.1.1.3 L'humidité :

La méthode qui a été utilisée pour déterminée l'humidité du sol est la méthode gravimétrique qui consiste à mesurer la perte de masse d'un échantillon de sol après séchage à une température standard (105°C) jusqu'à ce qu'il atteigne une masse constante. La différence de masse avant et après séchage correspond à la quantité d'eau évaporée. L'humidité du sol est égale à :

$$H \% = \frac{P \text{ humide} - P \text{ sec}}{P \text{ humide}}$$

P : poids du l'échantillon.

2.1.2 Les analyses chimiques :

2.1.2.1 Le pH :

Il existe plusieurs instruments pour déterminer le pH du sol. Dans notre cas, mes collègues ont utilisé le pH mètre, qui est un appareille utilisée pour mesurer l'acidité ou l'alcalinité d'une solution (pH). Les deux méthodes les plus courantes pour déterminée le pH du sol étant le pH_{eau} et le pH_{KCl} :

a- Le pH_{eau} : il est mesuré en mélangeant une portion de sol avec de l'eau distillée dans un rapport généralement de 1/2.5 ou 1/5.

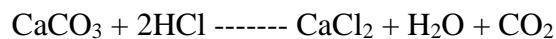
- b- Le pH KCl :** il est mesuré en mélangeant une portion de sol avec une solution de KCl (chlorure de potassium) dans un rapport similaire, souvent 1/2.5 ou 1/5.

2.1.2.2 La conductivité électrique (CE) :

Pour mesurer la CE des échantillons du sol, ils utilisent le conductivité-mètre, qui est un instrument électronique destinés aux laboratoires pour des analyses précises et contrôlées.

2.1.2.3 Le calcaire :

- a- Le calcaire total :** Cette valeur est généralement calculée à l'aide du « calsimètre de Bernard », c'est-à-dire en mesurant le volume de CO₂ dégagé, suite à l'action d'un excès d'acide chlorhydrique sur un poids connu d'échantillon (Denis, 2000)



- b- Le calcaire actif :** la méthode a été utiliser est la méthode de Douineau-Gale pour mesure le calcaire actif par l'acide acétique.

2.1.2.4 Le gypse :

Ils utilisent la méthode du chlorure de baryum (BaCl₂) pour évaluer la quantité de gypse (sulfate de calcium, CaSO₄·2H₂O) présente dans le sol. L'objectif de cette méthode est de précipiter le sulfate (SO₄²⁻) sous forme de sulfate de baryum (BaSO₄), puis de le quantifier.

2.1.3 Les analyses biologiques :

- Le carbone organique :

La méthode Walkley-Black a été utilisée pour mesurer la teneur en carbone organique (CO) des sols. Elle est basée sur l'oxydation du carbone organique par le bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) en présence d'acide sulfurique (H₂SO₄). La teneur en CO oxydé est ensuite mesurée par titrage et utilisée pour calculer la quantité de CO du sol.

Troisième chapitre

Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

1. Détermination des paramètres analytiques des sols de la zone d'étude :

1.1 Les paramètres physiques :

1.1.1 La granulométrie :

Tableau n° 08 : Résultats de granulométrie dans les horizons des profils des différentes zones d'étude.

P	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4	P1H5
Fraction	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
La zone de M'sila					
A (%)	29	29	30.5	31.5	31
L (%)	66.76	66.77	62.39	61.14	64.28
S (%)	5	4.575	7.075	10	5
La zone d'Ouled Derradj					
A (%)	30.73	29.29	32.22	34.185	36.15
L (%)	58	58.43	57.42	55.39	53.37
S (%)	10.27	12.28	10.36	10.42	10.48
La zone d'Ouled Addi l'Guebala					
A (%)	29.5	45.5	31.75	18	53.4
L (%)	38.5	29.8	51.8	73.8	17.2
S (%)	32	24.7	16.45	8.2	29.4
La zone de Magra					
A (%)	19.17	27.58	36.00	36.10	41.89
L (%)	65.59	55.79	42.84	48.48	48.99
S (%)	15.23	20.01	24.8	21.09	11.91

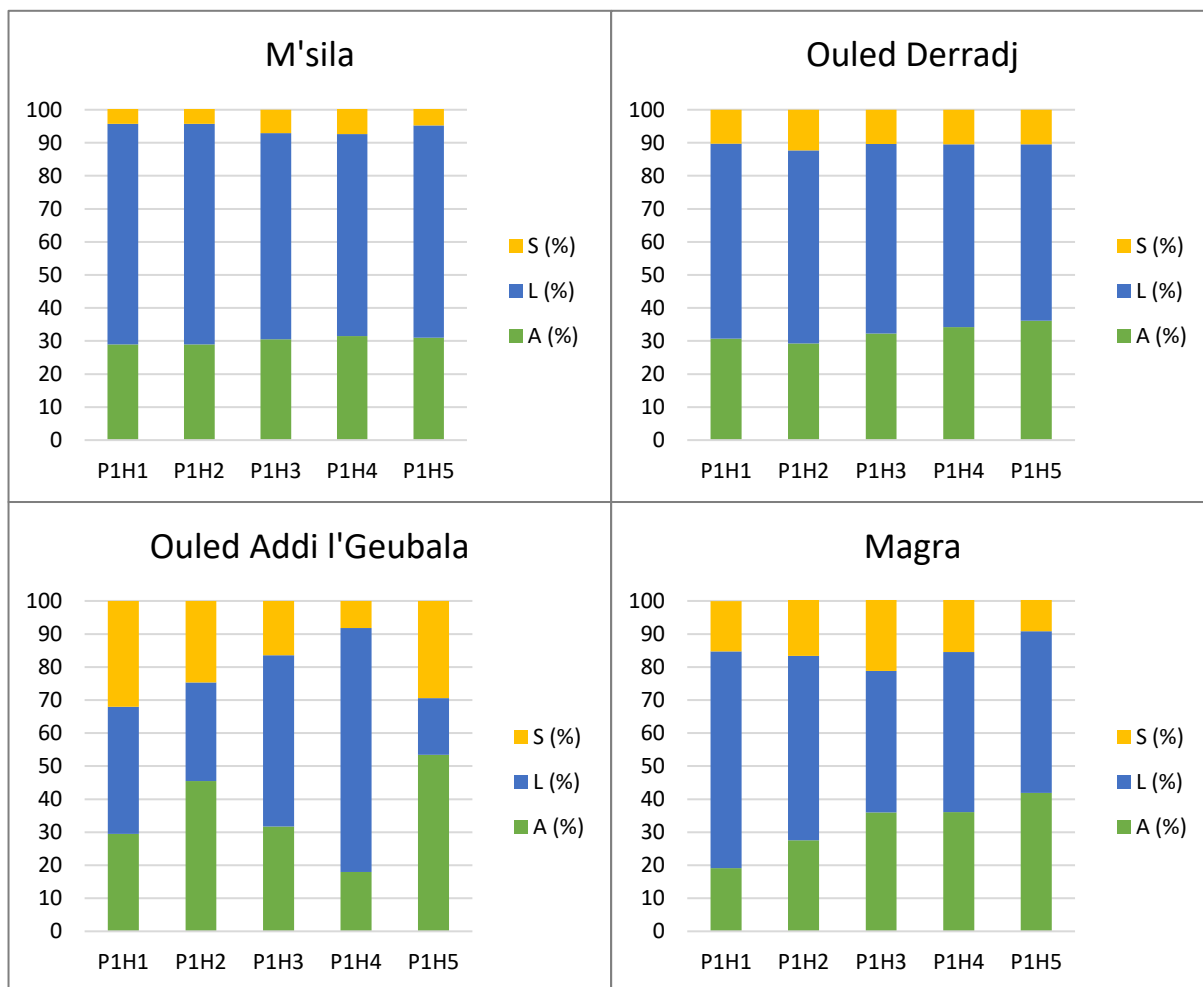


Figure n° 14 : Variation des fractions granulométriques par horizons des profils pour la zone d'étude

Selon le tableau n° 08 et la figure n° 14, la fraction argileuse représente des pourcentages compris entre 18 % et 53.4 % dans les quatre zones d'étude, quand à la fractions sableuses, ses pourcentages varient entre 17.2 % et 65.77 %, sauf pour l'horizon n° 04 (dans lequel la valeur du sable atteint 73.8 %). Alor que la fraction limoneuse oscille entre 4.57 % et 32 %.

Tableau n° 09 : Moyennes des pourcentages des fractions granulométriques pour les profils de la zone d'étude.

P	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4	P1H5
Fraction	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
A (%)	27.10	32.84	32.62	29.95	40.61
L (%)	57.46	52.70	53.61	59.70	45.96
S (%)	15.63	15.39	14.67	12.43	14.20

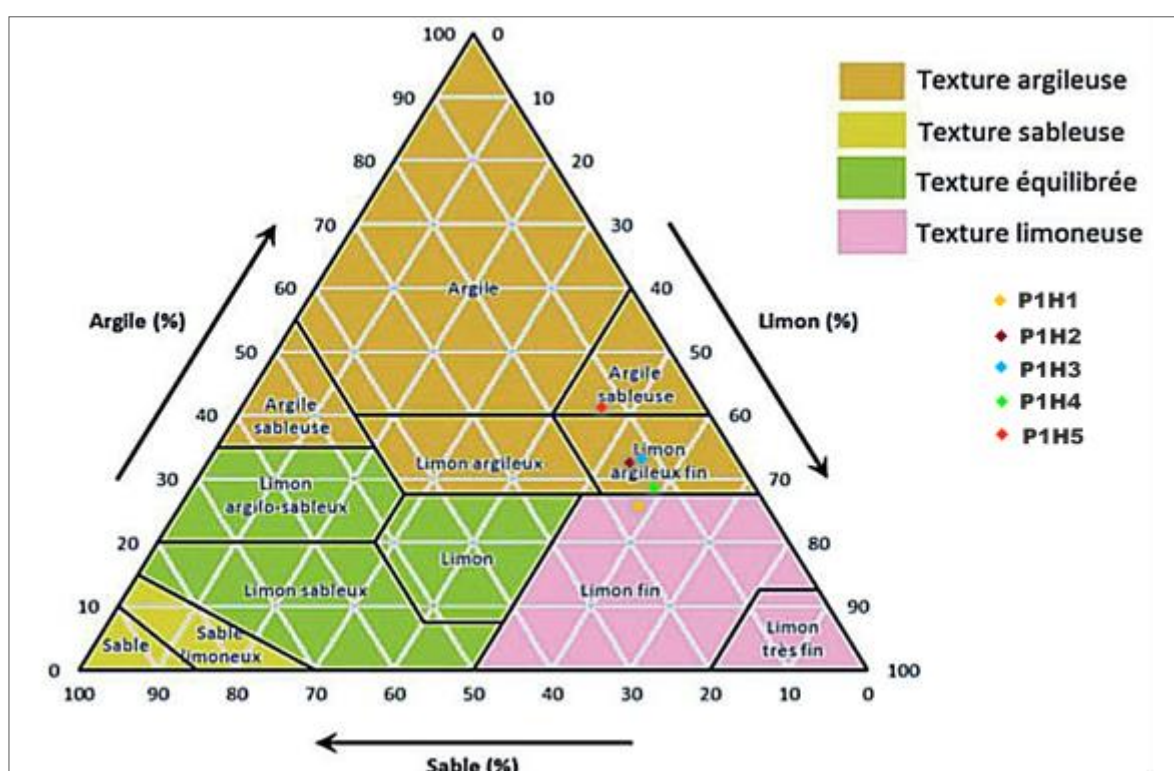


Figure n° 15 : Représentation des textures des horizons des profils pour la zone d'étude sur le diagramme textural.

Selon la figure n° 15 et le tableau n° 09, les trois horizons H2, H3 et H4 se caractérisent par une texture argilo-limoneuse fin, et l'horizon H5 a une texture argilo-sableuse.

Tandis que, l'horizon H1 est caractérisé par une texture limoneuse fin. Donc en générale, les sols de notre zone d'étude sont caractérisés par une texture argilo-limoneuse.

1.1.2 La porosité :

Afin de connaître la porosité d'un sol, il faut d'abord déterminer la densité apparente et la densité réelle de ce sol.

Les résultats de ces deux paramètres (d_a , d_r) sont enregistrés au niveau de (tableau n° 10) et représenté dans le diagramme de la (Figure n° 16).

Tableau n° 10 : Résultats des calculs de la densité apparente, la densité réelle et la porosité au niveau des différents horizons profils étudiés de la zone d'étude.

P	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4	P1H5
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
La zone de M'sila					
d_a (g/cm³)	1.15	1.34	1.50	1.59	1.72
d_r (g/cm³)	1.51	1.64	1.83	1.90	1.89
P (%)	23.84	18.29	18.03	16.31	8.99
La zone d'Ouled Derradj					
d_a (g/cm³)	2.35	2.46	2.41	2.37	/
d_r (g/cm³)	2.41	2.67	2.70	2.74	/
P (%)	2.48	7.86	10.74	13.50	/
La zone d'Ouled Addi l'Guebala					
d_a (g/cm³)	1.44	1.49	1.53	1.58	1.11
d_r (g/cm³)	2.71	3.11	3.20	3.30	1.94
P (%)	46.86	52.09	52.18	52.12	42.78
La zone de Magra					
d_a (g/cm³)	1.02	1.02	0.97	0.96	0.94
d_r (g/cm³)	2.28	2.28	2.54	2.45	2.36
P (%)	55.26	55.26	61.81	60.81	60.16

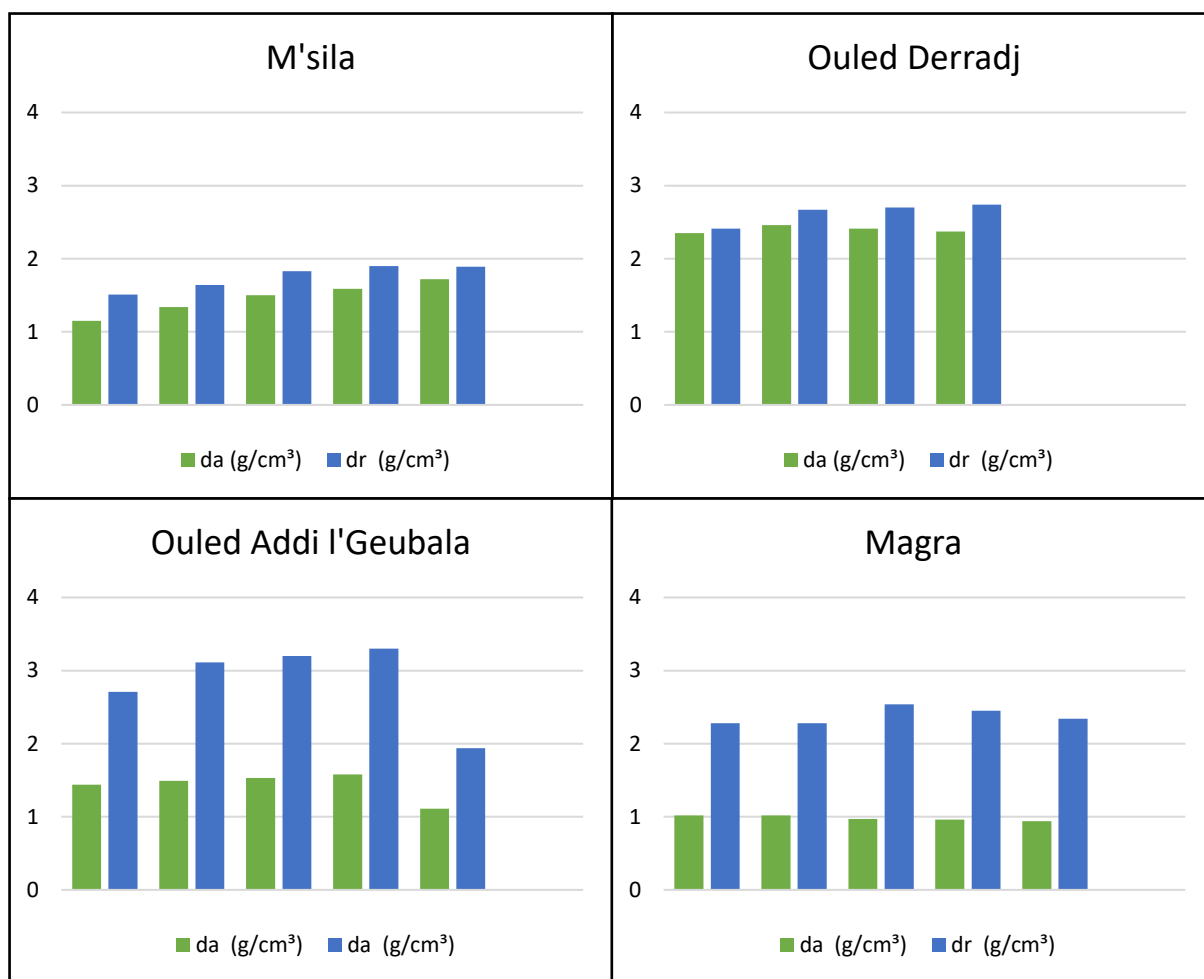


Figure n° 16 : Représentation des densités des profils des quatre zones d'étude.

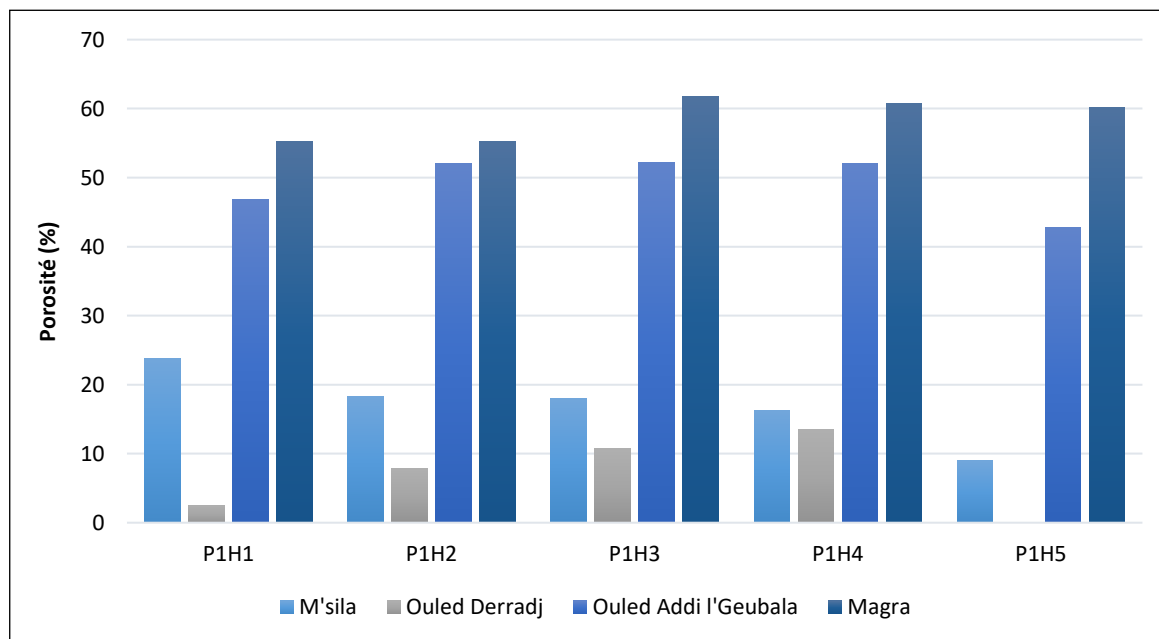


Figure n° 17 : Résultats obtenus des calculs de la porosité en (%) des profils des quatre zones d'étude.

Le tableau n° 10 et la figures n° 17 montrent que la porosité du sol varie considérablement d'un horizon à l'autre et aussi d'une zone à l'autre.

On observe que la zone de Magra présente le pourcentage de porosité le plus élevé par rapport aux autres zones, avec une valeur minimale de 55.26 % et une valeur maximale de 64.52 %.

Alors que la zone de Ouled Derradj présente le pourcentage de porosité le plus faible, avec des valeurs comprises entre 2.48 % et 13.50 %.

Tableau n° 11 : Répartition des moyennes des pourcentages de porosité des profils de la zone d'étude en générale.

Profondeur	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4	P1H5
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
P %	32,11	33,38	35,69	35,69	27,98

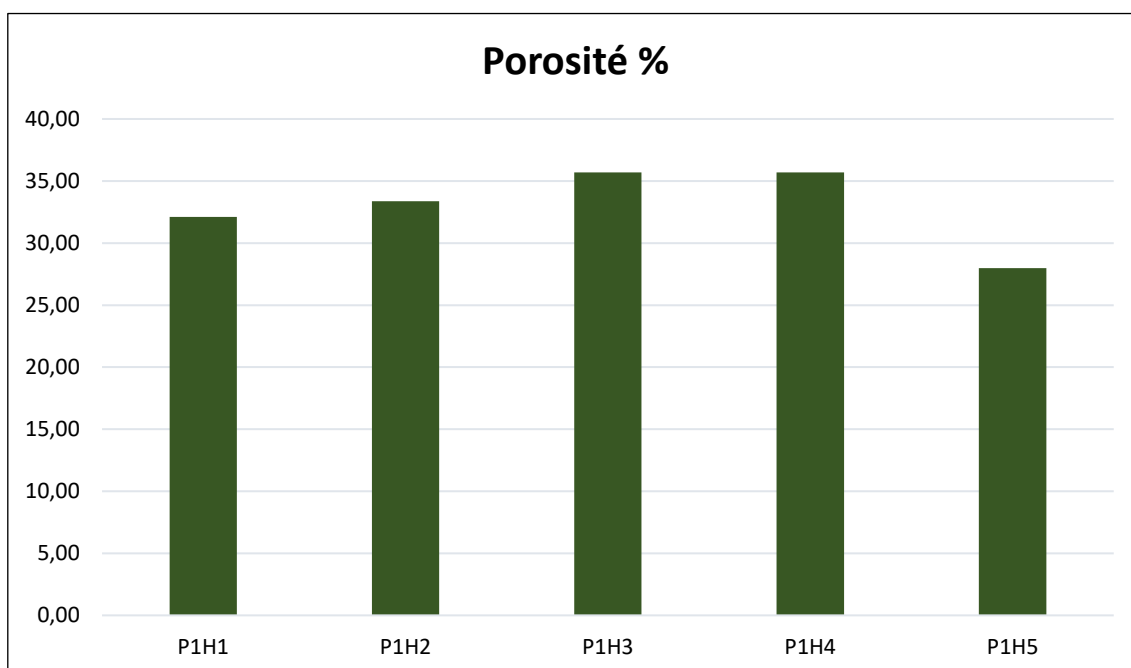


Figure n° 18 : Présentation des moyennes de porosité du sol pour la zone d'étude en générale.

D'après le tableaux n° 11 et la figure n° 18, et selon les normes d'interprétation de la porosité (ENIB, 2000) (Annexe n° 01), les sols de la zone d'étude sont considérés comme des sols poreux.

1.1.3 L'humidité :

Le tableau n° 12 et la figure n° 19 présentent les résultats d'analyse d'humidité pour les horizons de profils de chaque région d'étude.

Tableau n° 12 : Répartition de l'humidité pour les horizons des profils de chaque région d'étude.

P Région	P1H1 0 - 20	P1H2 20 - 40	P1H3 40 - 60	P1H4 60 - 80	P1H5 80 - 100	P1H6 + 100
M'sila	8.63	9.76	11.58	12.52	12.31	/
Ouled Derradj	4	4.2	4.2	4.2	4.2	/
Ouled Addi l'Guebala	4.02	3.98	4.98	5.99	9.73	/
Magra	5.84	7.38	8.93	11.61	8.79	5.97

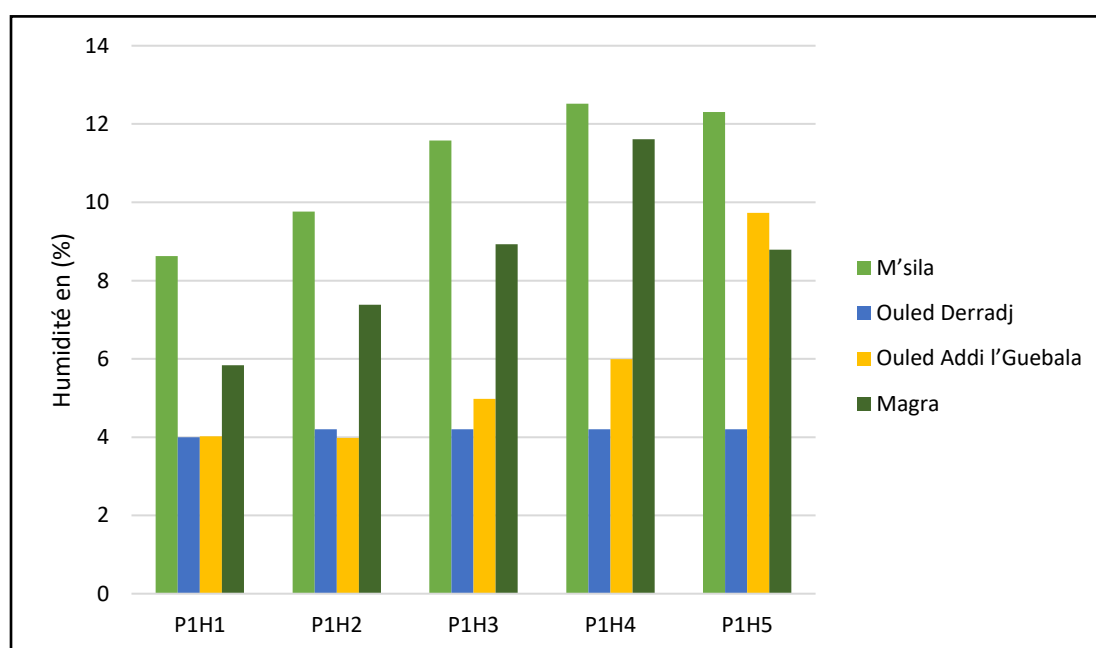


Figure n° 19 : Représentation des résultats de l'humidité des horizons des profils pour chaque région d'étude.

Les résultats indiqués dans le tableau n° 12 et la figure n° 19 montrent que les valeurs d'humidité les plus élevées sont enregistrées au niveau de la zone de M'sila et Magra qui varient entre 5.84 % et 12.52 %, alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans la zone de Ouled Derradj, elles sont inférieures à 5 %.

Tableau n° 13 : La répartition des moyennes d'humidité du sol dans la zone d'étude en générale.

P	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4	P1H5
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
H %	5.63	6.33	7.42	8.58	8.76

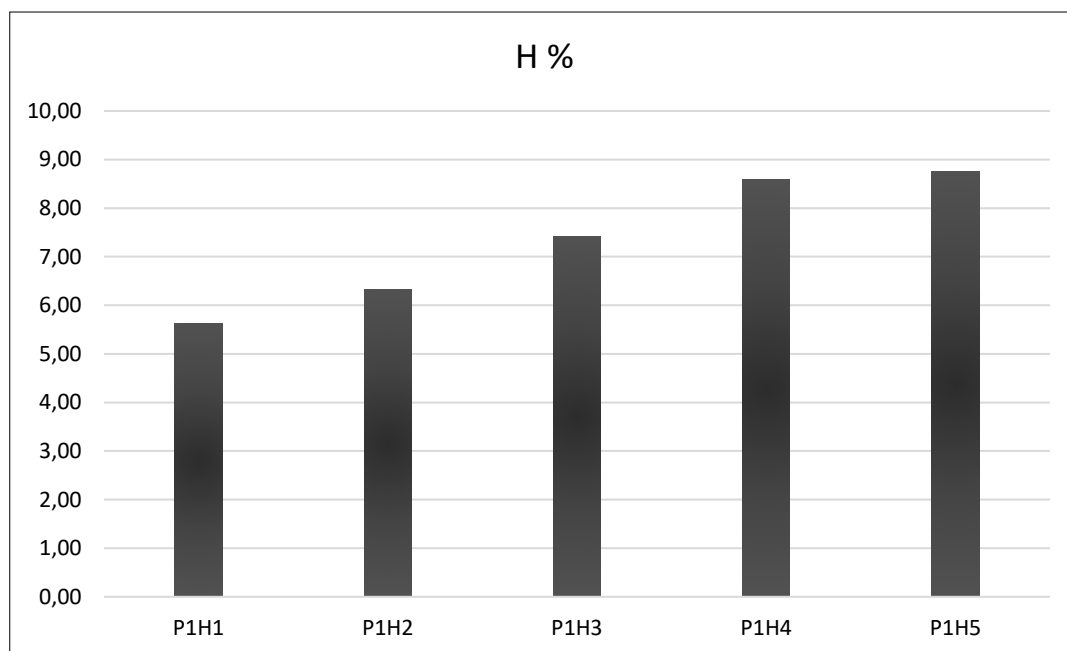


Figure n° 20 : Moyennes d'humidité du sol de la zone d'étude en générale.

Le tableau n° 13 et la figure n° 20, montrent la répartition des moyennes des pourcentages d'humidité dans les sols de la zone d'étude. On observe une augmentation progressive de ces pourcentages à travers les horizons de P1H1 à P1H5, donc le sol devient de plus en plus humide à mesure que l'on descend dans les horizons.

1.2 Les paramètres chimiques :

1.2.1 Le pH :

1.2.1.1 L'acidité actuelle (pH_{eau}) :

Tableau n° 14 : Valeurs de pH_{eau} des profils de la zone d'étude.

P1 Region	P1H1 0 - 20	P1H2 20 - 40	P1H3 40 - 60	P1H4 60 - 80	P1H5 80 - 100
M'sila	8.204	8.266	8.209	8.210	8.18
Ouled Derradj	8.290	8.410	8.511	8.529	/
Ouled Addi l'Guebala	8.602	8.643	8.612	8.626	8.64
Magra	8.1	8.15	8.2	8.1	8.1

1.2.1.2 L'acidité potentielle (pH_{kcl}) :

Tableau n° 15 : Valeurs de pH_{kcl} des profils de la zone d'étude.

P1 Region	P1H1 0 - 20	P1H2 20 - 40	P1H3 40 - 60	P1H4 60 - 80	P1H5 80 - 100
M'sila	7.873	7.835	7.725	7.646	7.678
Ouled Derradj	7.300	7.418	7.388	7.418	/
Ouled Addi l'Guebala	7.720	7.682	7.650	7.623	7.628
Magra	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4

1.2.1.3 La différence ($\text{pH}_{\text{eau}} - \text{pH}_{\text{kcl}}$) :

Tableau n° 16 : Valeurs de ($\text{pH}_{\text{eau}} - \text{pH}_{\text{kcl}}$) des profils de la zone d'étude.

P1 Region	P1H1 0 - 20	P1H2 20 - 40	P1H3 40 - 60	P1H4 60 - 80	P1H5 80 - 100
M'sila	0.331	0.431	0.484	0.564	/
Ouled Derradj	0.99	0.992	1.123	1.111	/
Ouled Addi l'Guebala	0.882	0.961	0.962	1.003	1.012
Magra	0.8	0.85	0.9	0.7	0.7

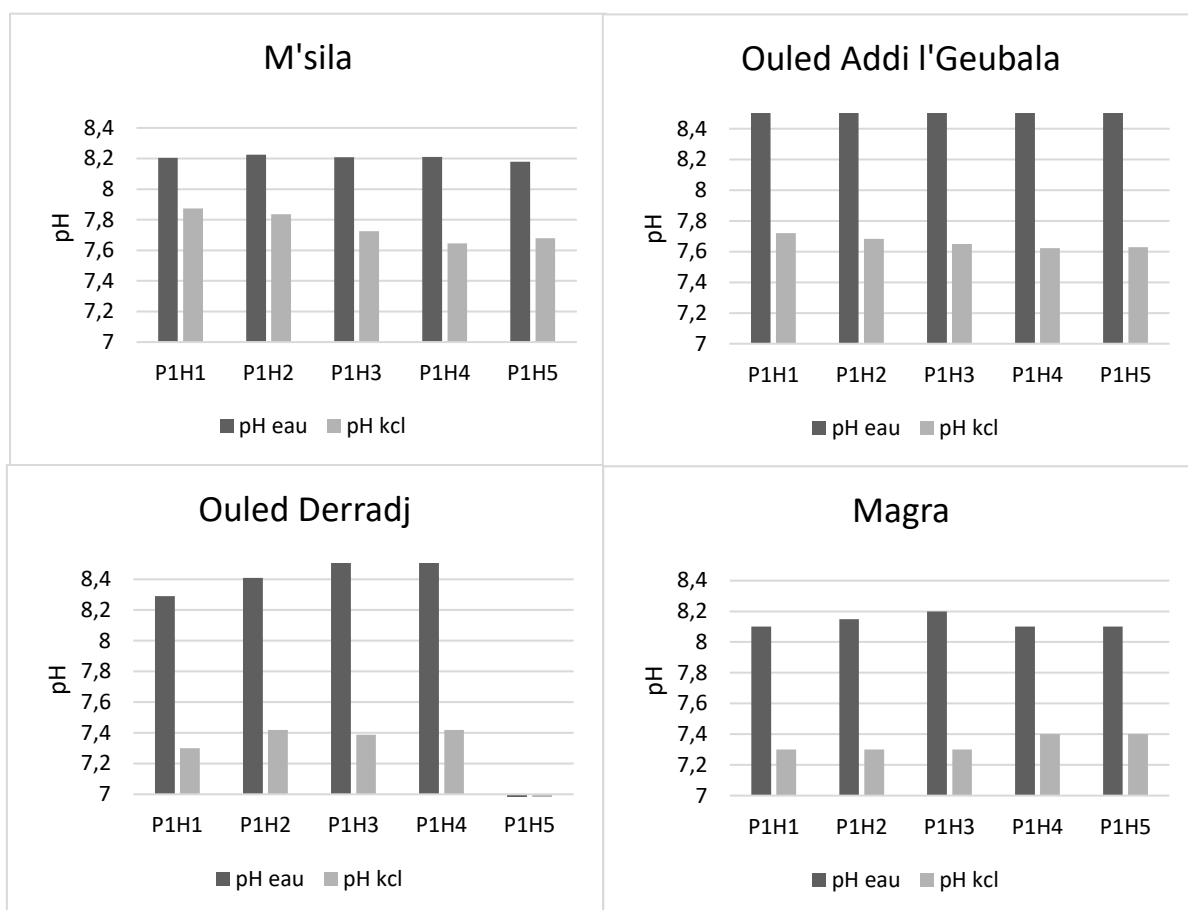


Figure n° 21 : Représentation des valeurs des pH_{eau} et pH_{kcl} des horizons des profils du quatre régions de la zone d'étude.

D'après les tableaux n° 14,15 et 16 et la figure n° 18 on peut juger que :

Parmi les quatre régions, Ouled Addi l'Geubala présente les valeurs les plus élevées de pH_{eau} et pH_{kcl}, avec un pH_{eau} que tourne autour de 8.60, et un pH_{kcl} de à 7.65.

Aussi le pH_{eau} d'autres régions (M'sila, Ouled Derradj et Magra) est prends des valeurs de 8, avec des valeurs légèrement inférieures de pH_{kcl}.

Tableau n° 17 : Répartition des moyennes de pH_{eau} et pH_{kcl} dans les horizons des profils de la zone d'étude en général.

P	P1H1 0 - 20	P1H2 20 - 40	P1H3 40 - 60	P1H4 60 - 80	P1H5 80 - 100
pH_{eau}	8.299	8.357	8.383	8.366	8.307
pH_{kcl}	7.548	7.559	7.516	7.522	7.589
pH_{eau} - pH_{kcl}	0.751	0.799	0.867	0.845	0.738

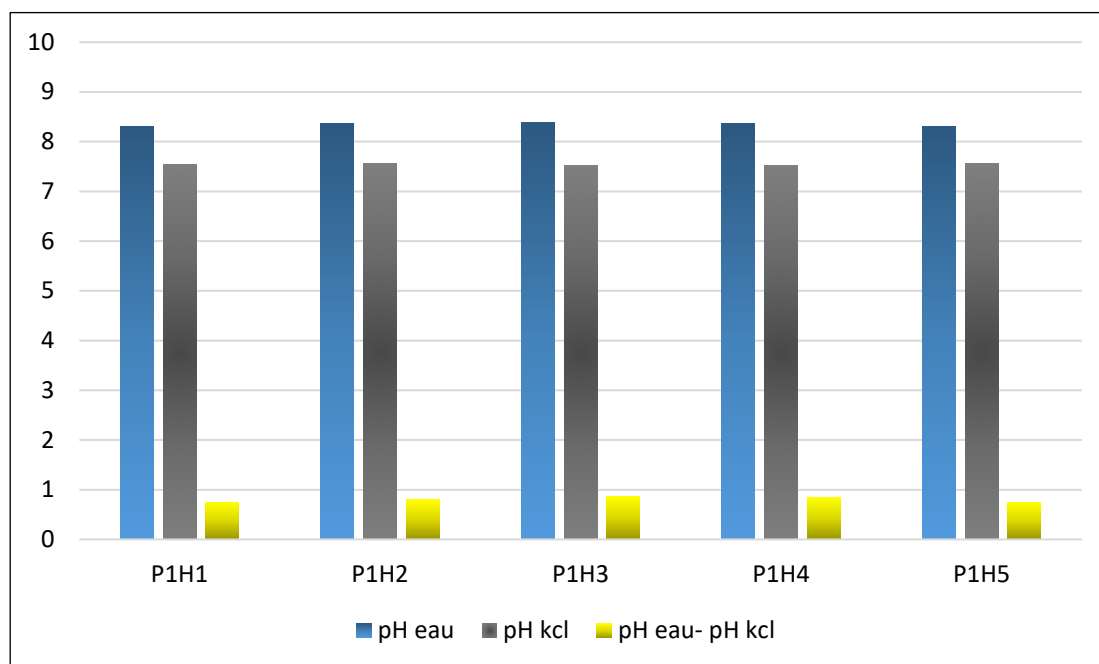


Figure n° 22 : Répartition des moyennes de pH_{eau} et pH_{kcl} dans les horizons des profils de la zone d'étude en générale.

Selon le tableau n° 17 et la figure n° 19, les valeurs de pH_{eau} et pH_{kcl} sont constantes à travers les cinq horizons, où ils sont supérieurs à 8, ce qui indique la présence d'une forte alcalinité, quant à la différence entre le pH_{eau} et le pH_{kcl} indique que le sol est désaturé (Annexe n° 06).

1.2.2 Conductivité électrique (CE) :

D'après (Aubert, 1978), la conductivité électrique du sol est un indicateur important de sa salinité. Il a proposé une classification des sols en fonction de cet indicateur (Annexe n° 03).

Tableau n° 18 : Résultats de la conductivité électrique (CE) en (mS/cm) des profils pour la zone d'étude.

P région	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4	P1H5
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
M'sila	0.58	0.53	0.61	0.76	0.77
Ouled Derradj	3.85	4.28	4.09	5.57	/
Ouled Addi l'Guebala	0.22	0.20	0.21	0.22	0.26
Magra	0.75	0.74	0.72	1.16	2.09

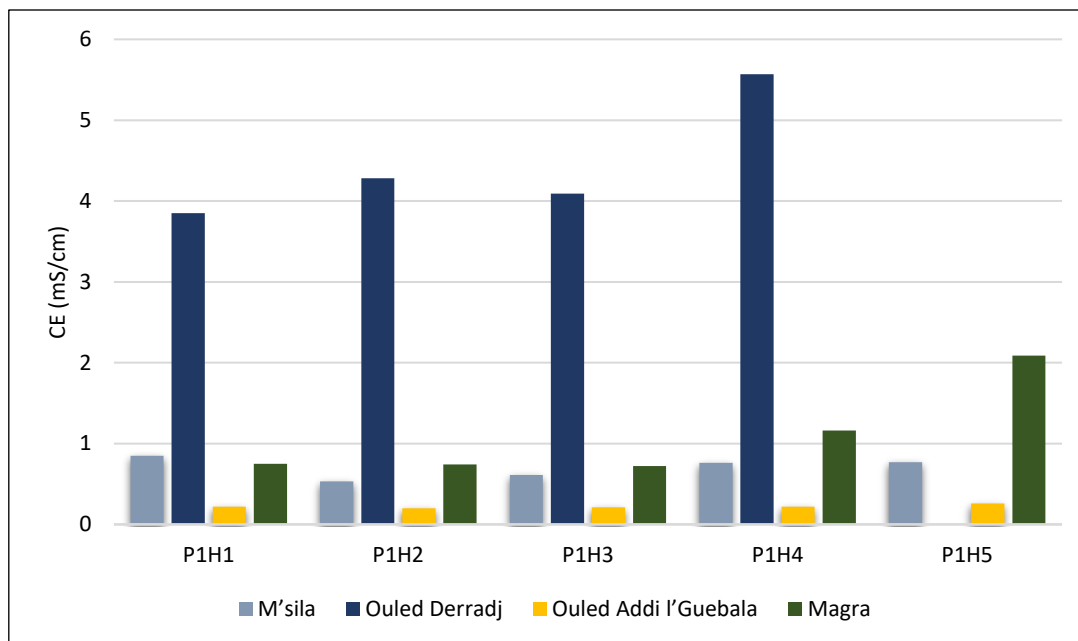


Figure n° 23 : Variation de la conductivité électrique dans les horizons des Profils de la zone d'étude.

Le tableau n° 18 et la figure n° 20 montrent que :

- Ouled Derradj présente les valeurs de conductivité électrique les plus élevées, surtout dans les horizons P1H1 à P1H4, avec une remarquable pointe à P1H4 (5.75 mS/cm).
- Les régions de M'sila et Magra ont des valeurs de CE relativement faible, généralement compris entre 1 et 3 (mS/cm).
- Ouled Addi l'Geubala a les valeurs de CE les plus faibles, restant autour de 0.2 à 0.3 (mS/cm) pour tous les horizons.

Tableau n° 19 : Répartition des moyennes de CE du sol dans les profils de la zone d'étude.

P	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4	P1H5
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
CE (mS/cm)	1,418	1,438	1,408	1,928	0,780

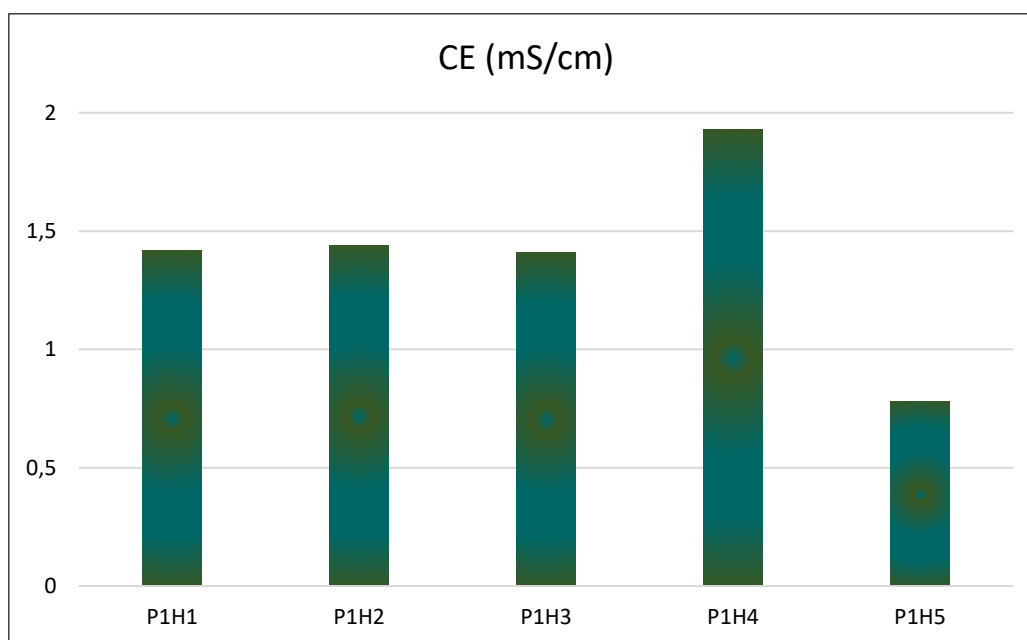


Figure n° 24 : Moyennes des valeurs de CE dans les horizons des profils de la zone d'étude.

D'après le tableau n° 19, la figure n° 21 et sur la base de la classification de (Aubert, 1978) (Annexe n° 02), les sols de la zone d'étude sont des sols non salés.

1.2.3 Calcaire total :

Le tableau n° 20 et la figure n° 22 présentent les résultats des teneurs en calcaire total et calcaire actif dans les différents horizons des profils pour les quatre régions d'étude. Les valeurs de calcaire total varient entre un minimum de 19.58 % observé dans l'horizon H4 de la région de Ouled Derradj, et un maximum de 36.86 % observé dans l'horizon H3 de la région de Magra, tandis que le calcaire actif est compris entre un minimum de 3.5 % dans l'horizon H1 de la région de Magra et un maximum de 18.75 % dans l'horizon H2 de la région de M'sila.

Tableau n° 20 : Pourcentages de calcaire total et calcaire actif dans les horizons des profils de la zone d'étude.

P	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4	P1H5
Région	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
M'sila					
CaCo3 total (%)	31.25	30.58	29.87	29.83	31.35
CaCo3 actif (%)	18.5	18.75	18.25	18.5	16.75
Ouled Derradj					
CaCo3 total (%)	25.32	22.71	22.28	19.58	/
CaCo3 actif (%)	18	18.5	16.25	13.5	/
Ouled Addi l'Guebala					
CaCo3 total (%)	25.88	26.20	26.43	26.67	26.93
CaCo3 actif (%)	12.5	15.5	15	14.5	8
Magra					
CaCo3 total (%)	36.50	36.68	36.86	33.97	33.25
CaCo3 actif (%)	3.5	4	4.5	11.5	9.5

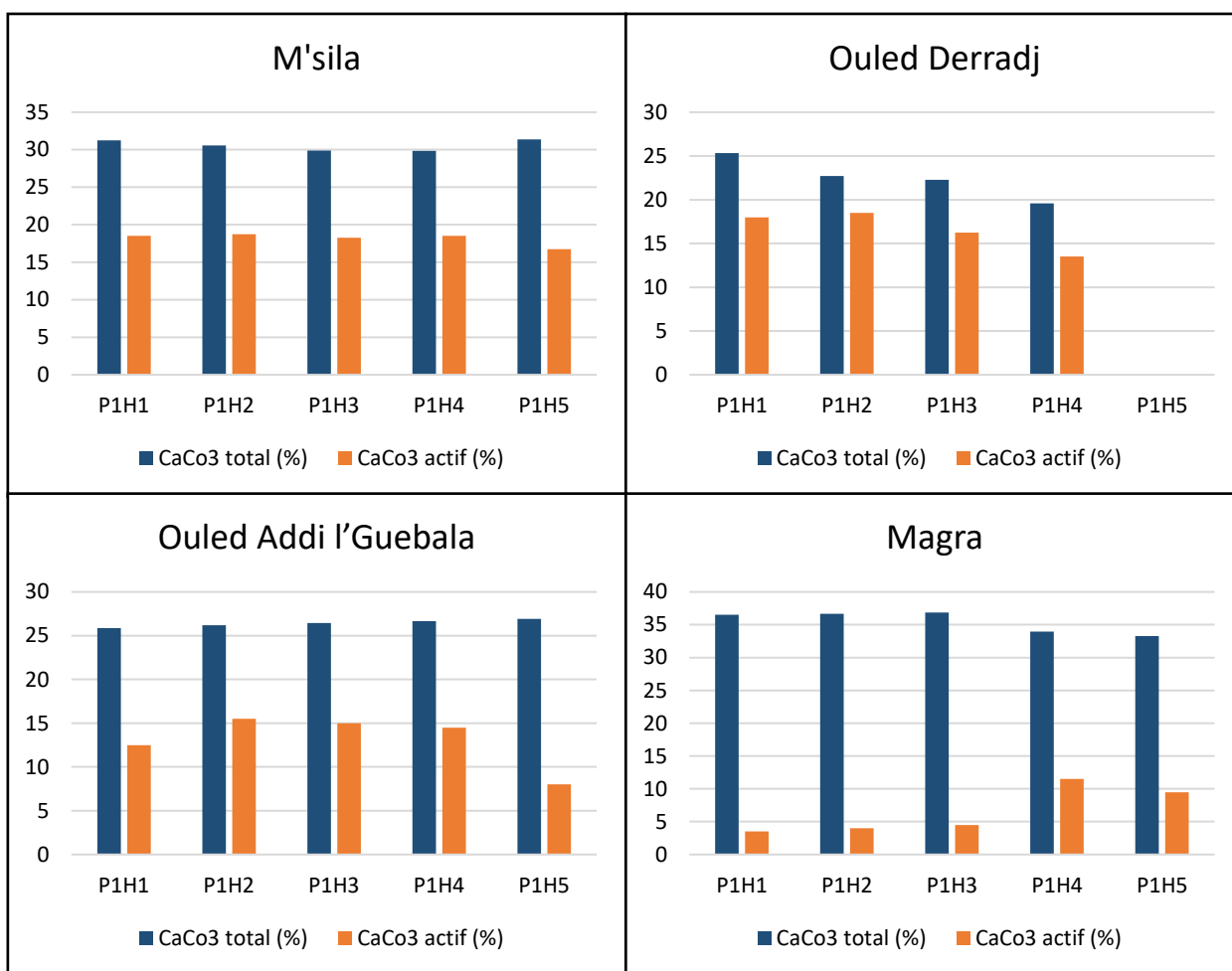


Figure n° 25 : Variation des teneurs en calcaire total et calcaire actif en fonction des horizons des profils de la zone d'étude

Magra présente les valeurs les plus élevées de calcaire total compris entre 31.44 % et 36.86 %, suivi de près par M'sila. Tandis que les valeurs d'Ouled Derradj et Ouled Addi l'Guebala sont légèrement inférieures, mais demeurent assez élevées.

Les proportions de calcaire actif sont relativement élevées à M'sila et Ouled Derradj, alors que Magra présente une proportion beaucoup plus faible compris entre 3.5 % et 11.5 %.

Tableau n° 21 : Moyennes des valeurs de calcaire totale et calcaire actif dans les horizons des profils de la zone d'étude.

P	P1H1 0 - 20	P1H2 20 - 40	P1H3 40 - 60	P1H4 60 - 80	P1H5 80 - 100
CaCo3 total (%)	29,74	29,04	28,86	27,51	22,88
CaCo3 actif (%)	13,13	14,19	13,50	14,50	8,56

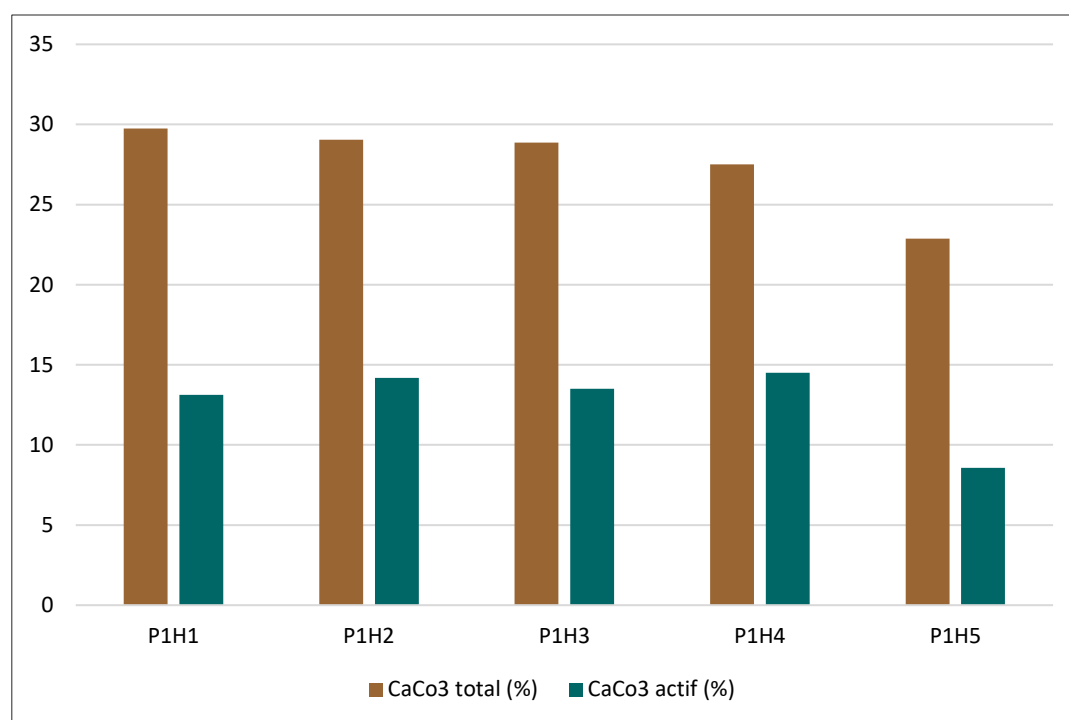


Figure n° 26 : Présentation des moyennes des valeurs de calcaire totale et calcaire actif dans les horizons des profils de la zone d'étude.

Selon le tableau n° 21, la figure n° 23 et d'après (Geppa, 1981), tous les horizons des profils de la zone d'étude sont des horizons calcaires (Annexe n° 03).

1.2.4 Le gypse :

Les résultats obtenus indiquent les valeurs mentionnées dans le tableau n° 22 et la figure n° 24 comme suit :

Tableau n° 22 : Représentation des pourcentages du gypse en (%) des profils pour les trois régions de zone d'étude.

P Région	P1H1 0 - 20	P1H2 20 - 40	P1H3 40 - 60	P1H4 60 - 80	P1H5 80 - 100
M'sila	2.15	2.10	1.88	1.71	1.03
Ouled Derradj	1.47	0.61	0.12	0.11	/
Ouled Addi l'Guebala	3.72	3.73	2.97	2.21	3.49
Magra	/	/	/	/	/

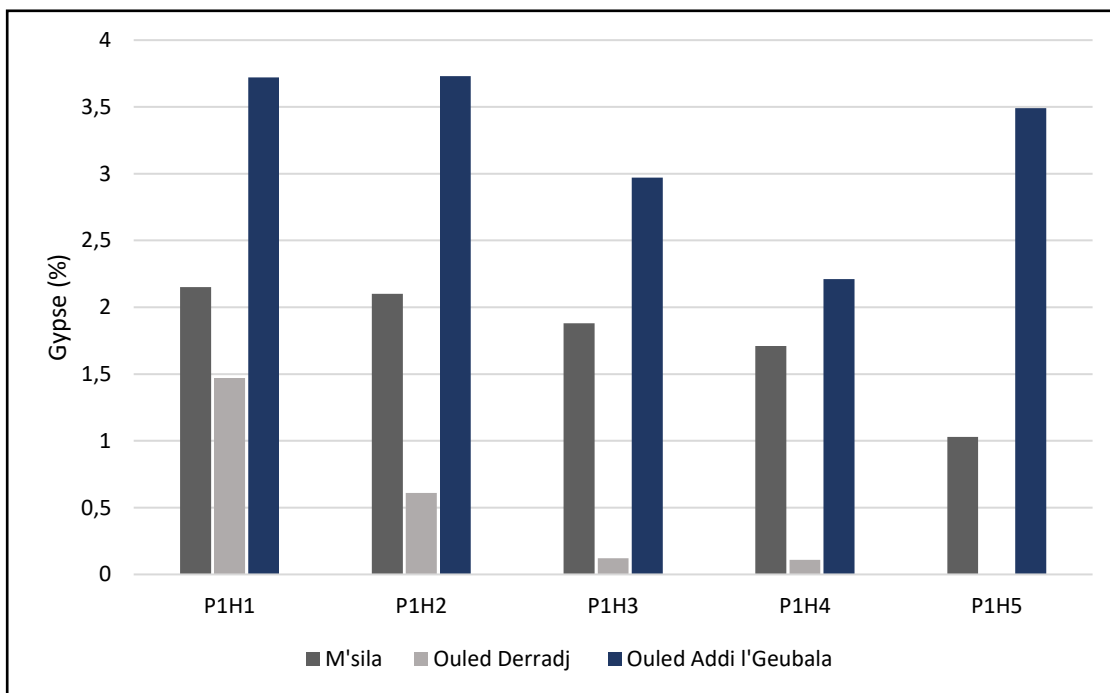


Figure n° 27 : Pourcentages du gypse dans les horizons des profils des trois régions de zone d'étude.

Parmi les trois régions, Ouled Addi l'Geubala présente les teneurs en gypse les plus élevée, que compris entre 2.21 % et 3.73 %, tandis que les teneurs les plus faibles sont enregistré dans la zone d'Ouled Derradj avec des valeurs compris entre 0.11 % et 1.47 %. Et enfin la zone de M'sila a des pourcentages de gypse compris entre un minimum de 1.03 % et un maximum de 2.15 %.

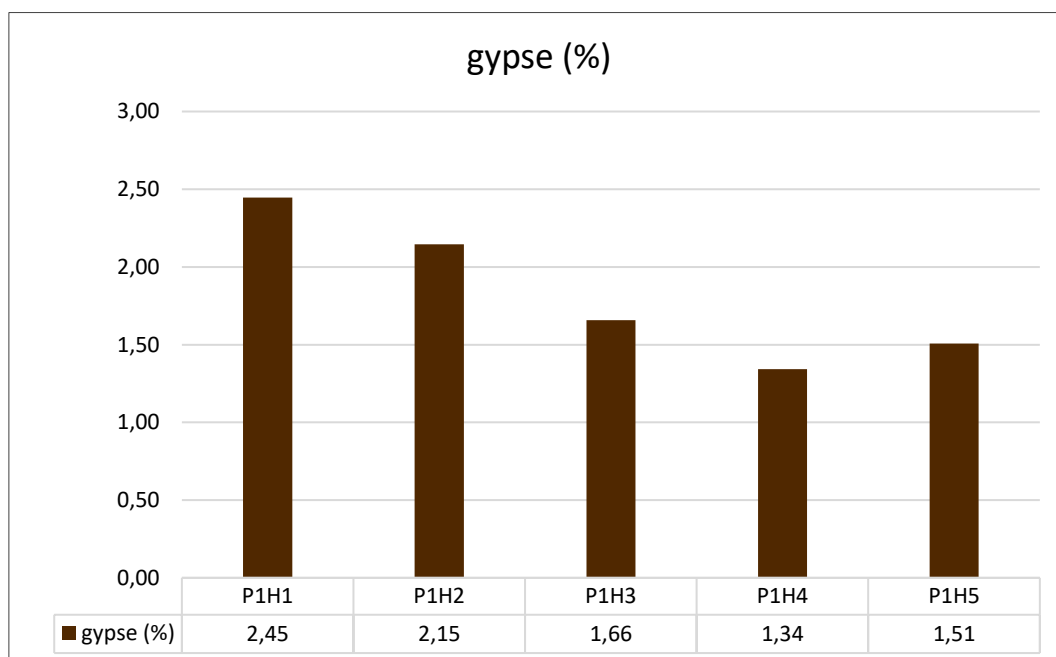


Figure n° 28 : Moyennes des pourcentages de gypse dans les horizons des profils de la zone d'étude.

La teneur en gypse est la plus élevée dans les premiers horizons (H1 et H2) et diminue progressivement jusqu'à l'horizon H4, avec une légère augmentation dans l'horizon H5.

Selon (Barazanji, 1973), les sols de la zone d'étude sont des sols légèrement gypseux (Annexe n° 04).

1.3 Les paramètres biologiques :

- La matière organique :

Les résultats obtenus dans les quatre régions de la zone d'étude de la matière organique à cinq horizons sont présentés dans le tableau n° 23 et la figure n° 26 ci-dessus :

Tableau n° 23 : Pourcentage de MO des profils pour les quatre régions de la zone d'étude.

Région \ P	P1H1 0 - 20	P1H2 20 - 40	P1H3 40 - 60	P1H4 60 - 80	P1H5 80 - 100
M'sila	2.88	3.12	2.41	1.541	1.57
Ouled Derradj	0.80	0.87	0.84	1.00	/
Ouled Addi l'Guebala	2.80	2.61	2.31	2.01	2.15
Magra	5.88	5.64	5.41	4.76	4.65

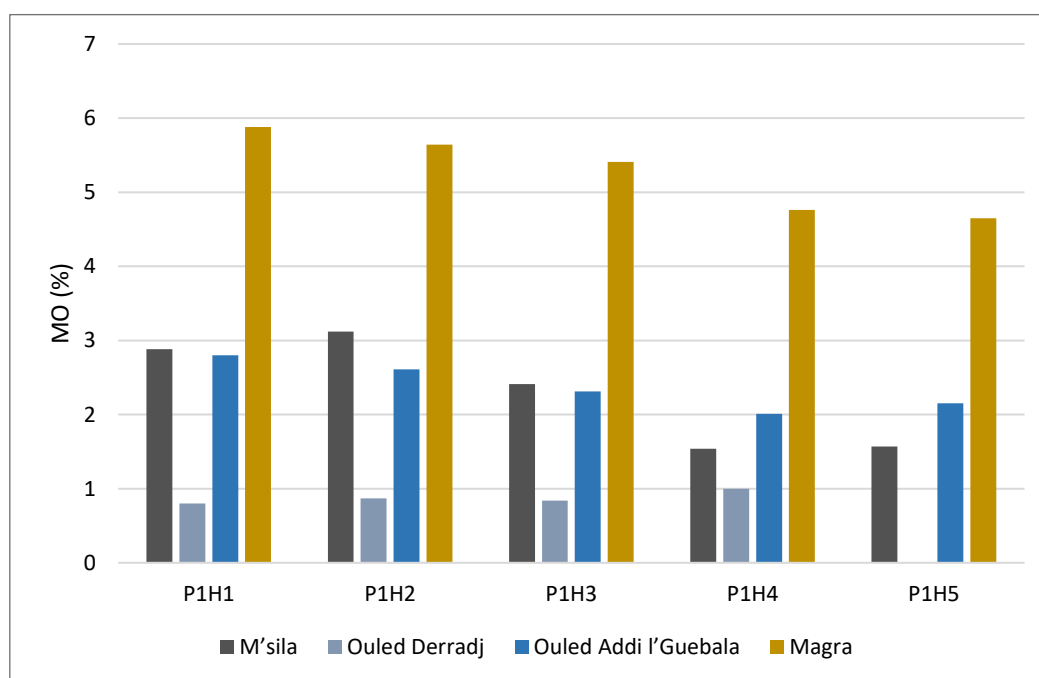


Figure n° 29 : Présentation des résultats de la MO en (%) des profils pour les quatre régions de la zone d'étude.

On observe que Magra présente les teneurs en MO les plus élevées dans toutes les horizons, avec des valeurs variant entre 4.54 % et 5.88 %.

M'sila et Ouled Derradj montrent des variations modérées des teneurs en MO, avec des valeurs généralement autour de 0.80 % et 3.12 %.

Ouled Addi l'Geubala a des teneurs en MO relativement basses comparées à Magra, mais légèrement supérieurs à Ouled Derradj dans certains horizons.

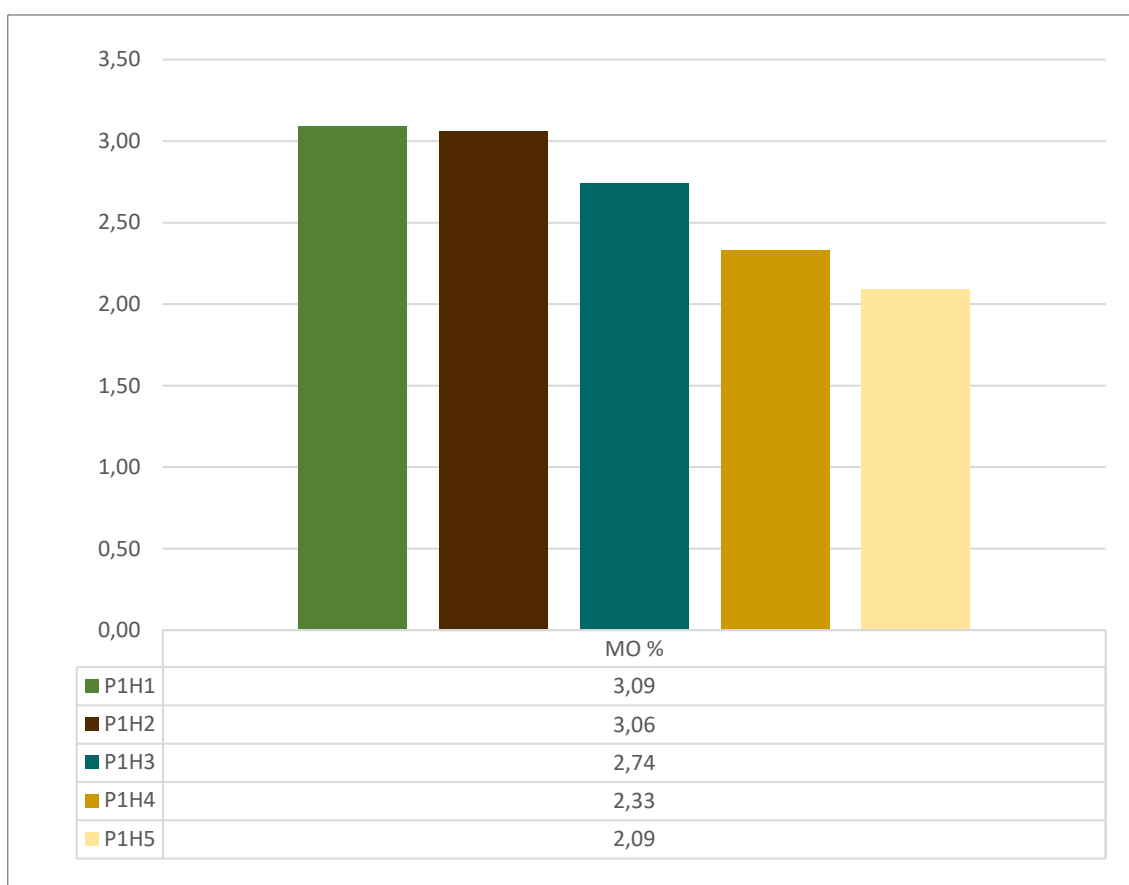


Figure n° 30 : Moyennes des teneurs en MO dans les horizons des profils de la zone d'étude.

Selon la classification de (ITA, 1977) (Annexe n° 05), on peut dire que le taux de MO dans les sols de notre zone d'étude (Figure n° 27), est élevée.

Conclusion

Conclusion

Afin de conclure ce travail, qui a été mené dans la zone Est de la wilaya du M'sila, dont l'objectif principal était d'étudier les caractéristiques et les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols.

De point de vue pédologique, la zone d'étude se caractérise par les types de sols suivants :

- Lithosols et Légosols.
- Sols brune calcaire.
- Sols peu évolués alluviaux.
- Sols à encroûtement calcaire.
- Siérozems et gypseux.
- Sols halomorphes.

Les résultats trouvés indiquent que :

Pour la granulométrie, les trois horizons H2, H3 et H4 se caractérisent par une texture argilo-limoneuse fin, et l'horizon H5 a une texture argilo-sableuse. Tandis que, l'horizon H1 est caractérisé par une texture limoneuse fin. Donc en générale, les sols de notre zone d'étude sont caractérisés par une texture argilo-limoneuse.

Pour la porosité, les sols de la zone d'étude sont considérés comme des sols poreux.

Quant à l'humidité, le sol devient de plus en plus humide à mesure que l'on descend en profondeur.

Les valeurs de pH_{eau} et pH_{kcl} sont constantes à travers les cinq horizons, où ils sont supérieurs à 8, ce qui indique la présence d'une forte alcalinité, la différence entre le pH_{eau} et le pH_{kcl} indique que le sol est dé-saturé.

La CE des cinq horizons est comprise entre un minimum de 0.78 mS/cm et un maximum de 1.93 mS/cm. Les sols de la zone d'étude sont des sols non salés.

Tous les horizons des profils de la zone d'étude sont des horizons calcaires, où les teneurs de CaCO_3 total présentent une moyenne de 27.60 % et de CaCO_3 actif de moyenne de 12.77 %.

La teneur en gypse est la plus élevée dans les premiers horizons (H1 et H2) et diminue progressivement jusqu'à l'horizon H4, avec une légère augmentation dans l'horizon H5. Les sols de la zone d'étude sont des sols légèrement gypseux.

Le taux de MO dans les sols de notre zone d'étude est élevé. Avec une moyenne de 2.66 %.

De point de vue climatique, la zone de l'Est de la wilaya de M'sila considéré comme une zone aride avec un hiver doux. Et elle a une période sèche pendant tout l'année.

A la fin de ce travail, nous proposons les recommandations suivantes :

- L'amélioration des sols calcaires nécessite une approche multidimensionnelle qui combine l'apport de MO, l'utilisation d'amendements appropriés. Le choix des cultures adaptées aux sols calcaires et surveillance régulière du pH.
- Le climat de la zone d'étude étant aride, nécessite le recours à l'irrigation. Le problème c'est que les agriculteurs se trouvent confrontés à une qualité d'eau qui tend vers celle mauvaise à médiocre ce qui nécessite la bonne connaissance de la qualité avant son utilisation, le choix et la gestion des techniques et méthodes d'irrigation à utiliser, sans oublier l'installation des systèmes de drainage...

Références

- Alice P., 2014** - Fertilisation et amendements. 3e. Educagri éditions, p. 32.
- Amoud M., 2017** - Calcaire Total et calcaire Actif – 2e.
- Archambeaud M., Thomas F., 2016**- les sols agricoles. France Agricole, p. 5.
- Aubert G., 1978**- Méthodes d'analyses des sols . Paris : CNRS.
- Barazanji A F., 1973**- Gypseous soil of Iraq. Belgium : state of University of Ghent .
- Bounab Ch., 2008**- Phénologie et structure des Tadornes dans le Chott El-Hodna (wilaya de M'sila, Algérie). p. 22.
- Brady N C et Weil R., 2008**- The Nature and Properties of soil . 14e.: Pearson Prentice Hall.
- Bresler E et McNeal B L et Carter., D L. 1982**- Saaline and Sodicc Soils. Principles-Dynamics-Modeling. Berlin : Springer- Verlag.
- Calanca P et Holzkämper A., 2010**- Conditions agrométéorologiques du Plateau suisse de 1864 à 2050. Recherche Agronomique Suisse, p. 320–325.
- Calvet R., 2003**. Le sol propriétés et fonctions Tome 1e. Paris : France Agricole, p. 172.
- Charlotte J., 2009**- Biology of Soil Science. 1e. Jaipur : Oxford Book Company, p. 298.
- Charnet F., 2018**- Les sols forestière. IDF-CNPF, p. 160.
- Chauvet E., Segarra J., Ahyerre C., Bailly G., Favre D., Huille M., Jean T., Metz F., Piètre E., Proch C., Sonthonnax F., 2023**- Biologie BCPST1-Programme 2021. 2e. Paris : ELLIPSES, p. 1116.
- Clément M et Jean L., 2011**- Doctionnaire encyclopédique de science du sol. paris : TCE & DOC, p. 544.
- Cogger C., 2019**- Soil Health and Compost : Principles and Best Practices . Springer.
- Denis B., 2000**- Guide des analyses en pédologie. 2e. paris : Quae, p. 43.

Denis B., 2016- Petite lexique de pédologie. Quae, 2016. p. 27.

Dhaval J., 2017- Geo-Technology & Applied Geology - Soil consistancy. College of Engineering.

Duchaufour P., 2001- Introduction à la science du sol. 6e. paris : DUNOD, p. 61-69.

Elhakim A F., 2016- Estimation of permeability, Department of public works, Alexandria Engineering Journal - AEJ, p. 8.

FAO. 2021- [En ligne]. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/proprietes-du-sol/proprietes-physiques/fr/>.

FAO. 2006- FAO SOILS PORTAL - Physical properties-. [En ligne] 2006. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-properties/physical-properties/en/>.

Geppa G., 1981- Méthodes d'analyses des sols et d'études de la végétation. Techniques Agricoles.

Gobat M., Aragno M., Matthey W., 2010- Les sols vivants. 3e. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, p. 5-12.

Gregorich E., Turchenek W., Carter R., Angers A., 2001- Soil Environmental Science Dictionary. CRC Press LLC, p. 114.

Havlin J., Tisdale S., Nelson W., Beaton J., 2013- Soil Fertility and Fertilizers. 8e. PHI Learning, p. 516.

Hasbaia M., Seddi A., Bournane A., Hedjazi A., Paquier A., 2012 – Study of The Water and Sediment Yields of Hodna Basin in The Centre of Algeria, Examination of Their Impacts. ICSE6 Paris - August 27-31.

Henry F., et Boyd G., 1997- soil fertility. 2e. CRC Press LLC, 1997. p. 7.

Henry F., 1990 - Fundamentals of soil science. 8e. Michigan State University, p. 13.

Henry F., 1970- A study of soil science. 2e. p. 47.

Hillel D., 1998- Envirmental soil physics. ACADEMIC PRESS, p. 772.

- Howad K., 1998.** Principles of soil chemistry. 3e. p. 469.
- INRA., 1995-** Référentiel Pédologique. Paris : INRA, p. 329.
- ITA., 1977-** Institut de Technologie Agricole - Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol - Mostaganem, p. 105.
- Jadhav Ch., et Khaire P., 2021** Organic Matter: The Heart of the Soil. Vol. 02. p. 58.
- Jury W., et Horton R., 2004-** soil physics. 6e. John Wiley & Sonc, Inc, Hoboken, New jersey, p. 370.
- Lal R., Shukla A., et Shukla M., 2004-** Principles of soil physics. Taylor & Francis. p. 528.
- Lefève, Clara, et al. 2017-** carbone organique du sol. Rome : FAO, p. 17.
- Louisville K., Rekik F., Alcantara V., Wiese L., 2009-** Glossary. National Weather Service. [En ligne]. <https://w1.weather.gov/glossary/index.php?letter=h>.
- McCauley A., Clain J., et Jacobsen J., 2005-** Basic soil properties. Montana : Montana State University, p. 5.
- Megh G., et Eric H., 2014-** Evapotransiration principles and applications for water management. Apple Acadimic Press, p. 579.
- Musy A., et Soutter M., 1991-** Physique du sol. 1e. Presses polytechnologiques et universitaires Romandes , p. 320.
- Novák V., et Hlaváč H., 2019-** Applied Soil Hydrology. Springer, p. 339.
- Oshunsanya S., 2019-** Soil PH for Nutrient Availability and Crop Performance. London : IntechOpen, p. 82.
- Quantin P., 1965-** Les sols de la Républiqe Centrafricaine. Paris : ORSTOM, p. 112.
- Robinson W., et McCaughey J., 1911-** The color of soil. US Department of Agriculture, p. 127.
- Schaetzl R., et Thompson L., 2015-** soil : Gnesis and geomorphology. 2e. Cambridge University Press., p. 23.

soil science society of America., 2008- Glossary of soil science terms. p. 83.

Sumner M., Huang P., et Li Y., 2012- Handbook of Soil Sciences. 2e. Boca Raton : Taylor & Francis Group - CRC Press, p. 1442. Vol. 1.

Syvain A., et Ferdinand K., 2009- Evolution de la densite apparente et du rapport c/n du sol sous les varietes exotiques et locale de manioc dans les conditions naturelles de kisangani (r.d. congo). p. 197-214.

Teamrat GH., 2012- Handbook of Soil Sciences. 2e. CRC Press, Boca Raton, Fla, p. 2(1-9-10). vol 1.

Tiefenbacher John., 2022- Climate change in Asia and africa - Examining the biophysical and social consequences and society's respondes. Intechopen. p. 290.

Weil R., et Brady N., 2016- The Nature and properties of soils. 15e. Pearson, p. 1104.

Annexes

Annexe n° 01

Tableau n° 01 : Les normes d'interprétation de la porosité.

Porosité totale estimée	Porosité totale
Non poreux	< 2%
Peu poreux	2 à 5 %
Moyennement poreux	5 à 15 %
Poreux	15 à 40 %
Très poreux	> 40 %

(ENIB, 2000)

Annexe n° 02

Tableau n° 02 : Classification des sols en fonction de leur conductivité électrique.

Type du sol	CE (mS/cm)
Sol non salé	$CE < 2$
Sol faiblement salé	$2 \leq CE < 4$
Sol modérément salé	$4 \leq CE < 8$
Sol fortement salé	$CE \geq 8$

(Aubert, 1978)

Annexe n° 03

Tableau n° 03 : Classification des sols on fonction du leur teneur en calcaire total

Type du sol	CaCo3 total (%)
Sol non calcaire	< 1
Sol faiblement calcaire	1 - 5
Sol moyennement calcaire	5 - 15
Sol calcaire	15 - 30
Sol très calcaire	> 30

(Geppa, 1981)

Annexe n° 04

Tableau n° 04 : Classification des sols en fonction de leur teneur en gypse.

Type du sol	Gypse (%)
Non gypseux	< 0.3
Légèrement gypseux	0.3 – 10
Modérément gypseux	10 – 15
Fortement gypseux	15 – 25
Extrêmement gypseux	25 – 50

(Barzangi, 1973)

Annexe n° 05

Tableau n° 05 : Les classes d'interprétation du taux de MO dans le sol.

Classe d'interprétation	Taux de MO (%)
Très faible	< 0.5
Faible	0.5 – 1
Moyenne	1 – 2
Elevée	2 – 3
Très élevée	> 3

(ITA, 1977)

Annexe n° 06

Tableau 6 Interprétation du pH

pH eau	< 5.5	5.5 – 6	6 -7	7 – 8	> 8
Interprétation	Forte acidité	Acidité légère	Très légère acidité	Alcalinité	Forte alcalinité

(In Tir, 2001)

Annexe n° 07

Tableau n° 07 : pluviométrie mensuelle en (mm) (2006-2016).

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
2006	26	50	1	14	26	3	29	5	20	NT	29	22	225
2007	5	12	17	80	26	6	NT	4	23	10	5	NT	188
2008	5	5	6	NT	16	6	2	3	35	57	10	26	171
2009	31	17	5	34	2	8	1	3	23	4	6	19	153
2010	7	32	21	21	3	3	2	6	4	11	8	3	121
2011	3	8	8	21	13	40	2	5	19	26	12	11	168
2012	NT	2	31	21	4	1	1	4	59	27	9	9	168
2013	15	10	21	27	14	NT	5	7	6	38	29	28	200
2014	20	7	19	NT	50	11	6	2	13	2	27	13	170
2015	12	25	13	6	6	3	NT	16	27	51	NT	NT	159
2016	5	8	12	50	22	NT	14	NT	5	9	16	14	155

(SMM)

Annexe n° 08

**Tableau n° 08 : Les moyennes mensuelles de température Minimal en (°C)
(2006-2016).**

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
2006	-3,8	-0,2	1,4	4,7	13	7,7	17,6	17,6	11,6	11	4,8	-0,9
2007	-0,3	-0,1	-0,6	4,2	9,1	12,2	19,3	19,3	14,1	6	-2,5	-1,9
2008	-2	-1,5	-0,9	4	8,4	13,2	18,7	20,5	12,2	8,2	2	-0,8
2009	0	-2	0,5	2,2	7	15,2	22	18,8	13	6,8	2,4	0,5
2010	-2,2	-2,8	1,5	6,8	6,8	15,3	19,9	21,6	12,3	4,1	2	-4,1
2011	-3,4	-1,9	0,7	7	9,4	13,5	18,3	19,8	16,4	8,4	5,4	-0,3
2012	-2,9	-5	2,2	4	8,8	18,9	17,9	20,8	14,4	4,6	2,4	-1,2
2013	-1,2	-3,2	-1,7	3,6	13,5	18,2	23,5	21,9	20,4	17,7	7,9	3,3
2014	0,1	-1,8	1	5,3	8,6	13,8	19,7	19,9	15,8	7,6	5,7	-0,6
2015	-1	-1,5	1,6	4,6	8,8	15,6	20,8	18,6	13,9	8,9	1,7	0,4
2016	-0,3	-0,4	0,4	4,2	5,7	12,8	13,6	18,7	12,8	8,5	2,5	0,2

(SMM)

Annexe n° 09

**Tableau n° 09 : Les moyennes mensuelles de température maximale en (°C)
(2006-2016).**

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
2006	16,4	17,8	28,9	32,8	39,7	44,2	43,8	42,1	36,4	36,3	30,8	19,5
2007	22,6	22,3	27,7	28,8	36,9	44,1	42,2	42,2	36,8	34,7	21,4	20,8
2008	19,2	23,4	30,5	34,4	36,2	40,7	45,7	45	39,5	29,3	21,4	17
2009	18,3	18	25,4	28,7	37	39,8	45,2	43,4	40,8	32,7	27	22,8
2010	20	28,7	28,2	30,2	34	42,6	45,3	42,7	36,7	35	23,3	22,1
2011	20,3	20,4	25,6	33	36,1	41,3	43,6	44,6	41	30,9	22,6	18,8
2012	18,4	21,5	26,1	31,7	36,4	43,3	46,2	44,8	38,5	36	28,1	19,3
2013	21,3	19,6	26,8	34,1	27,4	34,1	38	36,1	33	29,6	18,9	14,2
2014	18,8	25,4	23,6	33,3	36,6	39,4	43,3	44,3	41,4	37,2	26,1	18,5
2015	20	17,7	29,4	34,4	41,3	40,2	44,2	45,3	39,4	34,3	24,2	20,4
2016	22,4	23,7	32,7	32,4	43,2	40,3	43,2	43,4	37,4	34	27,4	22

(SMM)

Annexe n° 10

**Tableau 10 : Température moyenne mensuelles en (°C)
(2006-2016).**

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
2006	7,1	8,3	14	19,7	24,8	29	31,7	30,7	24,4	22,5	14,6	9,6
2007	8,9	11,6	12,1	16,7	21,8	29	31,7	31,3	25,1	20,1	11,6	8,9
2008	9,1	11,6	13,1	18,4	22,6	27,5	32,7	31,8	25,6	18,7	11,5	7,4
2009	8,5	8,2	12,6	13,1	23,2	28,9	31,9	31,6	25,2	19,9	13,8	10,5
2010	9,7	11,2	14,1	17,9	20,2	27,6	32,6	31,6	25,8	16,1	13,2	9,2
2011	9,1	9,3	13	19	22,3	27,1	32	31,8	27,7	19,4	13,8	9,5
2012	8	6,6	13,7	16,3	24,1	31,3	33,9	33,7	26,6	20,8	14,5	9,2
2013	8,8	8	14	18,4	21	26,9	32	34	30	26,7	23,9	12,9
2014	9,6	11,5	12,8	19,7	23,2	27,6	31,8	32,5	28,1	22,1	15,4	9,1
2015	8,2	8,5	13,9	20,3	25,2	27,9	32,8	31,4	25,9	19,5	13,6	8,8
2016	10	11,4	13	19,2	22,9	28,7	32	30,8	25,9	21,8	13,5	9

(SMM)

Annexe n° 11

Tableau n° 11 : Evapotranspiration mensuelle en (mm) (2006-2016)

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
2006	0,29	0,48	3,16	10,13	23,75	39,45	53,54	45,5	19,17	13,88	3,02	0,77
2007	0,76	1,71	2,36	6,83	17,45	42,56	57,14	51,79	23,07	10,85	1,73	0,75
2008	0,78	1,64	2,92	9,01	19,11	35,46	62,19	53,71	24,09	8,44	1,62	0,4
2009	0,67	0,59	2,71	3,24	21,35	42,33	58,53	53,6	23,51	56,37	63,06	67,74
2010	0,94	1,44	3,62	8,15	13,27	35,58	61,22	52,32	24,47	8,91	2,46	0,78
2011	0,71	0,75	2,65	9,44	17,5	32,66	56,52	52,25	29,82	8,98	2,68	0,8
2012	0,37	0,19	2,65	4,99	20,29	48,36	64,08	59,25	23,98	9,97	2,67	0,58
2013	0,34	0,23	2,06	5,76	10,22	24,62	46,36	54,22	30,87	19,22	11,5	1,27
2014	0,67	1,2	2,07	9,23	17,68	31,55	51,44	52,17	28,52	12,06	3,2	0,55
2015	0,47	0,52	3,09	11,18	25,02	34,81	59,82	48,97	23,28	8,73	2,4	0,58
2016	0,89	1,33	2,46	9,26	18,24	37,99	55,01	45,82	23,16	12,46	2,33	0,62

(SMM)

Annexe n° 12

Tableau n° 12 : Humidité mensuelle en (%) (2006-2016)

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2006	76	80	71	51	51	34	38	40	54	51	71	82	58
2007	75	71	69	71	55	46	33	37	59	67	75	76	61
2008	73	63	63	48	49	44	37	41	55	78	80	88	60
2009	86	79	69	72	43	38	30	40	63	60	66	77	60
2010	76	73	65	64	53	42	33	37	46	62	72	65	57
2011	70	68	65	61	54	47	36	35	48	61	76	77	58
2012	79	67	56	71	42	33	25	25	39	57	76	76	54
2013	74	67	57	51	49	39	32	34	48	50	67	81	54
2014	77	64	61	44	43	41	28	31	43	45	64	76	51
2015	71	73	59	46	39	36	28	36	47	62	63	67	52
2016	65	61	53	50	40	30	26	30	42	48	65	69	48

(SMM)

Annexe n° 13

Tableau n° 13 : vitesse du vent mensuelle en (m/s) (2006-2016).

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2006	4	4	5	5	4	6	3	4	3	4	4	3	4
2007	3	5	5	5	5	5	4	4	3	4	4	5	4
2008	3	4	5	6	5	5	4	3	4	2	3	3	4
2009	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4
2010	4	4	4	4	5	4	3	3	4	3	4	3	4
2011	3	5	4	4	5	4	5	3	4	3	4	4	4
2012	4	5	5	6	4	4	5	5	4	5	4	4	5
2013	5	5	7	5	6	5	4	4	4	4	5	3	5
2014	4	4	5	5	5	5	4	4	3	3	4	5	4
2015	5	6	6	4	5	4	4	4	5	4	4	2	4
2016	3	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4	4

(SMM)

المخلص

يهدف هذا البحث إلى دراسة الخصائص و الصفات الفيزيائية، الكيميائية و البيولوجية للتربة في منطقة شرق ولاية المسيلة. أوضحت النتائج التي تم العثور عليها أن التربة في المنطقة المدروسة تتميز ب :

- *قوام طيني غريني و بمسامية.
 - * زيادة الرطوبة بزيادة العمق.
 - *قلوية قوية مع مركب غير مشبع.
 - *ملوحة ضعيفة إلى متوسطة.
 - *نسبة مرتفعة من الكلس.
 - *نسبة قليلة من الجبس.
 - *مسامية متوسطة إلى مرتفعة
- مما يدفعنا إلى اقتراح ما يلي :
- تحسين التربة ذات النسبة العالية من الكلس بإضافة المادة العضوية و استعمال محسنات التربة، متابعة دورية لطرق السقي و الري مع اختيار النباتات التي تتماشى مع كل الخصائص المذكورة سابقا.

الكلمات المفتاحية: الخصائص، التربة، شرق ولاية المسيلة.

Résumé

Ce mémoire a pour objectif principal d'étudier les caractéristiques et les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols de l'Est de la wilaya de M'sila.

Les résultats trouvés montrent que nos sols présentent :

- * Une texture argilo-limoneuse.
- * Une humidité qui augmente vers la profondeur.
- * Forte alcalinité avec un complexe argilo humique désaturés.
- * Faible à moyenne salinité.
- * Taux élevés de calcaire.
- * Un léger pourcentage de gypse.
- * Porosité moyenne à élever.

Ce qui nous amène à donner les recommandations suivantes :

L'amélioration des sols calcaires par des apports de MO et l'utilisation d'amendements appropriés, suivit des pratiques d'irrigation et de drainage judicieuses, chois des cultures adaptées aux sols calcaires et surveillance régulière du pH.

Mots clés : caractérisation, sol, Est de la wilaya de M'sila.

Abstract

The main objective of this thesis is to study the characteristics and physical, chemical, and biological properties of the soils in the eastern part of the M'sila wilaya.

The results found show that our soils have:

- *A silty-clayey texture.
- *Moisture content that increases with depth.
- *Strong alkalinity with an unsaturated clay-humic complex.
- *Low to medium salinity.
- *High calcium carbonate content.
- *A slight percentage of gypsum.
- *Medium to high porosity.

This leads us to make the following recommendations:

Improvement of calcareous soils by adding organic matter and using appropriate amendments, followed by judicious irrigation and drainage practices, choosing crops adapted to calcareous soils and regular monitoring of pH. Keywords: characterization, soil, Eastern M'sila wilaya.

Keywords : characterization, soil, East of the wilaya of M'sila.