

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

Faculté Des Sciences

Départements Des Sciences Agronomiques

N° :



DOMAINE : Science De La Nature Et De La Vie

FILIERE : Sciences Agronomiques

OPTION : SCIENCES DU SOL

*Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique*

Thème

**Caractérisation des sols des zones arides de
L'Algérie.
Cas de la zone de M'Cif (W-M'Sila).**

Présenté par :

- CHERIEF KHaoula
- DEBBAH CHaima

Jury composé de:

M_r Amroune A	<i>Université de M'sila</i>	<i>Président MCA</i>
M^{elle} TIR Ch	<i>Université de M'sila</i>	<i>Promotrice MAA</i>
M^{elle} Madani Dj	<i>Université de M'sila</i>	<i>co-promotrice MAA</i>
M_r Tallache S	<i>Université de M'sila</i>	<i>Examineur MAA</i>

Année universitaire : 2019/2020



Remerciement

*Nous tenons à remercier en premier lieu **Dieu** le tout puissant de nous avoir guidé durant toutes ces années et m'a permis de réaliser ce travail en me donnant la force, la patience et la volonté.*

*Au terme de ce mémoire nous tenant à remercié vivement et profondément notre promoteur **M^{elle} TIR Chafia** et co-promoteur **M^{elle} MADANI Djamila** pour leurs aides, disponibilités, encouragements tout au long des différentes étapes de l'élaboration de ce mémoire.*

Nous remercions également les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail ;

***M^r AMROUNE Abd El Ouaheb**, en qualité de président de jury.*

***M^r TALLACHE Slimen**, entant qu'examineur.*

Nos remerciements à tous nos enseignants qui nous ont assurés et permis d'acquérir des connaissances et qui ont contribués à notre formation.

*Nos remerciements vont aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, en particulier notre collègue **ALI Ali** pour ces aides précieuses.*

Dédicace

C'est avec une immense joie et un grand honneur, joignant toute la chaleur

de mon cœur que je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents Rabah et Mesouda pour leurs sacrifices qui m'ont tout donné et offert, leur amour, encouragement, soutient, aide, durant toutes mes études.

A mes frères: Souhib, Llyamin, Islam

Et mon binôme Chaima et toute sa famille.

A tous mes camarades de promo SS surtout :Amina, Ghania.

A mes chers amies sans exception pour leur aide et encouragement :

Mouna et Souhila.

Khaoula

Dédicace

C'est avec une immense joie et un grand honneur, joignant toute la chaleur

de mon coeur que je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents Hamid et Houria, pour leurs sacrifices qui m'ont tout donné et offert, leur amour, encouragement, soutient, aide, durant toutes mes études.

A ma cher frère : Abderrzak.

A mes adorables sœurs : Zaineb, Boukhra.

A mon très cher fiancé : Cherrat Imad, et sa famille.

Et mon binôme Khaoula et toute sa famille.

A tous mes camarades de promo SS surtout : Chahira et Abba

A mes chers amis sans exception pour leur aide et encouragement :

Nahla, Ahlam, Imane, Sohir.

CHAIMA

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les classes granulométrique du sol en fonction des diamètres des particules.	03
Tableau 2 : Classification granulométrique des éléments des sols.....	04
Tableau 3 : La capacité totale d'échange dépend de la nature des colloïdes argilo-humiques.....	19
Tableau4 : Les différents degrés de risque d'alcalinisation en fonction de SAR.....	21
Tableau 5 : Classement des sols en fonction de leur rapport C/N.....	28
Tableau 6 : La faune du sol :ordre de grandeur par famille.....	30
Tableau 7 : La flore du sol :ordre de grandeur par famille.....	31
Tableau 8 : Répartition des superficies par classe de pente (dans la zone de M'Cif).....	42
Tableau 9 : Occupation des sols de la zone de M'Cif.....	44
Tableau 10 : Caractéristiques des ressources en eaux souterraines de M'Cif.....	46

Liste des figures

Figure 1: Diagramme de classification détaillée des textures.....	05
Figure 2: Triangle des textures selon l'USDA.....	05
Figure 3: Classes de la stabilité structurale du en fonction du limon% et de l'argile %	11
Figure 4: Description du réseau poreux du sol selon la partition texturale et structurale.....	14
Figure 5: Représentation en volume des constituants et porosité du sol.....	14
Figure 6: Dispositif de mesure de la perméabilité du sol.....	15
Figure 7: Schéma de formation des humus naturels.....	24
Figure8: Principes généraux de l'évolution des matières organiques du sol.....	25
Figure 9 : Cycle du carbone organique du sol.....	26
Figure 10: Cycle de l'azote.....	28
Figure 11: Localisation géographique de la commune de M'cif.....	32
Figure 12: Températures (moyennes mensuelles, minimales et maximale) en (°C) de M'cif pendant la période (1994-2016).....	33
Figure 13: variation saisonnière de la température mensuelles en (°C) de M'cif pendant la période (1994-2016).....	34
Figure 14: Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm) de la zone de M'cif pendant la période (1994-2016).....	35
Figure 15: variation saisonnière de la pluviosité en (mm) de M'cif pendant la période (1994-2016).....	35
Figure 16: Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la zone de M'cif pendant la période (1994-2016).....	36
Figure17: Positionnement de la zone de M'cif dans le Climatogramme d'Emberger pendant la période (1994-2016).....	37
Figure 18: Variations des vitesses moyennes mensuelles de vent en (m/s) de la région de M'cif pendant la période (2004-2016).....	38
Figure 19: Humidité relative mensuelle en % de la zone de M'cif pendant la période	

(2004- 2016).....	39
Figure 20: Evapotranspiration mensuelle moyenne de M'cif selon la méthode de Thornthwaite pendant la période (1994-2016).....	40
Figure 21: Valeurs moyennes mensuelles des durées d'ensoleillements de M'cif pendant la période (2004 -2016).....	41
Figure 22: Carte des unités pédologiques de la commune de M'Cif.....	43
Figure 23: Carte d'occupation du sol de M'Cif.....	45
Figure 24: Carte du réseau hydrographique de M'Cif.....	46
Figure 25: Pourcentages des éléments grossiers des horizons du profil P1.....	53
Figure 26: Porosité (en pourcentage) des horizons du premier profil.....	54
Figure 27: Représentation des pH eau des horizons de P1.....	55
Figure 28: Représentation des (pH eau-pH kcl) des horizons de P1.....	55
Figure 29: Valeurs de CE (DS/m) des horizons du premier profil.....	55
Figure 30: Valeurs (meq/Kg) de la CEC des horizons de P1.....	56
Figure 31: Taux du phosphore assimilable (ppm) dans les horizons du premier profil.....	57
Figure 32: Taux de matière organique (%) des horizons du premier profil.....	58
Figure 33: Pourcentages des éléments grossiers des horizons du profil P2.....	59
Figure 34 : Valeurs de porosité (%) des horizons du deuxième profil.....	60
Figure 35: Valeurs de conductivité électrique (Ds/m) des horizons du deuxième profil.....	61
Figure 36: Représentation des valeurs de CEC (méq/kg) des horizons du deuxième profil.....	61
Figure 37: Taux du phosphore assimilable (ppm) dans les horizons du profil P2.....	62
Figure 38: Taux de matière organique (%) des horizons du profil P2.....	63
Figure 39 : Représentation du rapport C/N des horizons du profil P2.....	64
Figure 40 : Pourcentages des éléments grossiers des horizons du profil P3.....	65
Figure 41: Porosité (en pourcentage) des horizons du troisième profil.....	66
Figure 42 : Valeurs de CE (Ds/m) des horizons du troisième profil.....	67
Figure 43 : Valeurs (meq/Kg) de la CEC des horizons de P3.....	67
Figure 44 : Taux de matière organique (%) des horizons du troisième profil.....	69
Figure 45 : Le rapport C/N des horizons du troisième profil.....	69

Liste des abréviations

- **A** : Argile.
- **Al⁺³** : Aluminium.
- **ANRH** : Agence nationale des ressources hydrauliques.
- **BNDR** : Bureau Nationale d'études pour le Développement Rural.
- **C** : Carbone.
- **C°** : degré Celsius.
- **C/N** : rapport carbone organique sur l'azote organique..
- **Ca⁺²** : Calcium.
- **CaCO₃** : Calcaire ou Carbonate de Calcium.
- **CaSO₄, 2H₂O** : Gypse.
- **CE** : la conductivité électrique.
- **CEC ou T** : capacité d'échange cationique.
- **CIRAD** : centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
- **Cl⁻** : Chlorure.
- **Cm** : centimètre.
- **Corg** : Carbone organique.
- **CO₂** : Gaz carbonique.
- **CO₃⁻** : Carbonates.
- **da** : densité apparente.
- **dr** : densité réelle.
- **D.S.A** : Direction des Services Agricole.
- **Ds/m** : Décisiennce par mètre.
- **E** : Est.
- **EDTA** : Acide éthylène diamine tetra-acétique.
- **EG %** : Element grossier.
- **ENIB** : Ecole nationale d'ingénieure de Bordeaux.
- **ESP** : Taux de sodium échangeable.
- **ETP** : Evapotranspiration.
- **FAO** : Food Agricultural Organisation.
- **Fe⁺²** : Fer.
- **g/cm³** : gramme sur centimètre cube.

- **GEPPA** : Groupe D'étude des Problèmes de Pédologie Appliquée.
- **H(%)** : Taux d'Humidité.
- **h** : Heur.
- **H⁺** : Hydrogène.
- **H₂O**: l'eau.
- **H₂S** :Hydrogène sulfaté.
- **H₂SO₄** : Acide sulfurique.
- **H**: Horizon (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7).
- **ha** : hectare.
- **HCl**: Acide chlorhydrique
- **Hco₃⁻**: Bicarbonates.
- **INSO** : Insolation.
- **ITA** : Institue de Technologie Agricole.
- **K⁺** : Potassium.
- **K[°]**: degree Kelvin.
- **Kcl** : chlore de potassium.
- **L** : Limon.
- **Lf** : Limon fin.
- **Lg** : Limon grossier.
- **M** : Température le mois le plus chaude en Kelvin.
- **m** : Température le mois le plus froid en Kelvin.
- **m/s** : mètre par seconde.
- **Méq/100g** : milli équivalent par 100 gramme de sol.
- **Méq/kg** : milli équivalent par kilogramme.
- **Méq/L** : Milli équivalant par litre.
- **Mg⁺²**: Magnésium.
- **Mg²⁺** : Magnésium.
- **mm** : millimètre.
- **mm hos /cm** : milli mohos par centimètre.
- **Mn⁺²** : Manganate.
- **MO** : Matière Organique.
- **MOF** : matière organique fraiche.
- **MOH** : matière organique humifiée.

- **ms /cm** : Milli siemens par centimètre.
- **N** : Nord.
- **Na⁺** : Sodium.
- **NH₄⁺** : Ammonium.
- **NO₂** : Nitrite .
- **NO₃⁻** : Nitrate.
- **Nt** : Azote organique totale.
- **P** : profil(P1, P2,P3).
- **P(%)** : porosité.
- **P1** : poids échantillon avant séchage.
- **P2** : poids échantillon après séchage.
- **P2O₂**: Phosphore assimilable.
- **PH** : potentiel d'hydrogène.
- **P (mm)** : Précipitation.
- **PO₄⁻³** : Phosphate.
- **PPm** : Parté Par million.
- **Q** : Débit.
- **Q2** : le quotient pluviométrique d'Emberger.
- **S** : Sable.
- **SAR** : le taux de sodium échangeable .
- **Sf** : sable fins.
- **Sg** : Sable grossiers.
- **S.M.B** : Station Météorologique de Boussaâda.
- **T(C°)** : Température.
- **T° max** : Température maximale.
- **T° min** : Température minimale.
- **T° moy** : Température moyenne.
- **USSL**: united states of salinity laboratories.
- **V (m/s)** : vitesse de vent.
- **µm** : micro mètre.
- **%** : pourcentage.

Table de matière

Introduction générale.....	01
Chapitre 1: Etat de lieu sur le sol et ces propriétés	
1-1-Introduction.....	02
1-2-Les propriétés physiques du sol.....	02
1-2-1-La texture du sol.....	02
1-2-1-1-Définition de la texture du sol.....	02
1-2-1-2-Echelle granulométrique de la texture du sol.....	03
1-2-1-3-La détermination texturale (par utilisation du triangle textural)....	04
1-2-1-4-Les propriétés des sols en fonction de leurs textures.....	05
a-Propriétés des sols à texture sableuse.....	06
b-Propriétés des sols à texture argileuse.....	06
c-Propriétés des sols à texture limoneuse.....	07
1-2-2-La structure et la stabilité structurale du sol.....	07
1-2-2-1-Définition de la structure du sol.....	07
1-2-2-2-Evolution de la structure du sol.....	08
1-2-2-3-Classification de la structure du sol.....	09
1-2-2-4-La stabilité structurale.....	10
1-2-3-La porosité du sol.....	11
1-2-3-1-Définition de la porosité d'un sol.....	11
1-2-3-2-Les types de porosité des sols.....	12
a-Selon leur taille des pores.....	13
b-Selon leur origine.....	13
1-2-3-3-Les gammes des porosités des différents sols.....	14
1-2-3-4-L'importance de la porosité.....	15
1-2-4-La perméabilité d'un sol.....	15
1-2-5-L'eau et le sol.....	16
1-2-5-1-L'importance de l'eau dans le sol.....	16
1-2-5-2-Les mouvements de l'eau dans le sol.....	16
1-2-6-La température et pédoclimat.....	17
1-3-Les propriétés chimiques du sol.....	18

1-3-1-La capacité d'échange cationique (CEC ou T)	18
1-3-2- potentiel d'hydrogène (pH)	19
1-3-3-La salinité et les sels.....	19
1-3-3-1-La salinité.....	19
1-3-3-2-Les sels.....	20
1-3-3-3-Le taux de sodium échangeable (ESP)	20
1-3-3-4-Le taux de sodium en solution (SAR)	21
1-4-Les propriétés biologiques du sol.....	22
1-4-1-Matières organiques.....	22
1-4-1-1-Nature et caractéristiques de la matière organique.....	22
1-4-1-2-Composition de la matière organique du sol.....	22
a-Matière organique fraîche (la litière)	22
b-Matière organique humifiée.....	22
1-4-1-3-Propriétés et rôles des matières organiques.....	22
1-4-1-4-Evolution de la matière organique.....	23
a-La minéralisation primaire.....	23
b-Humification.....	23
c-La minéralisation secondaire.....	23
d-Réorganisation.....	24
1-4-1-5-Cycle des matières organiques dans le sol.....	24
1-4-2-Le carbone organique du sol.....	25
1-4-3-L'Azote dans le sol.....	26
1-4-3-1-Les formes de l'azote dans le sol.....	26
a-L'azote total.....	27
b-L'azote minéral.....	27
c-L'azote organique.....	27
1-4-3-2-Processus de transformation de l'azote dans le sol.....	28
1-4-4- Le rapport C/N.....	28
1-4-5-La faune du sol.....	29
1-4-5-1-La microfaune.....	29
1-4-5-2-La mésofaune.....	29
1-4-5-3-La macrofaune.....	29
1-4-5-4- La mégafaune.....	30

1-2-5-3- La flore du sol.....	31
1-5-Conclusion.....	31

Chapitre 2: Etude du milieu physique

2-1-Situation géographique de la région de M’Cif	32
2-2-Climat de la zone d’étude de M’Cif	33
2-2-1-Température.....	33
2-2-1-1-Températures (moyennes mensuelles, minimales et maximales) en (°C).....	33
2-2-1-2-Variation saisonnière de la température en (°C).....	34
2-2-2-Précipitation	34
2-2-2-1-Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm)	34
2-2-2-2-Variation saisonnière de la pluviosité.....	35
2-2-3-Classification climatique de la région d’étude	36
2-2-3-1-Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	36
2-2-3-2-Climatogramme d’Emberger.....	36
2-2-4-Le vent.....	38
2-2-5-Humidité relative de l’air	38
2-2-6-Evapotranspiration potentielle.....	39
2-2-7-Durées d’ensoleillement.....	40
2-3-Géomorphologie de la zone d’étude.....	41
2-3-1-Relief montagneux	41
2-3-2-Zone d’accumulation	41
2-3-3-Zone d’ensablement	42
2-4-Topographie et pente de la région.....	42
2-4-1-Plaine.....	42
2-4-2-Zone montagneuse.....	42
2-5-Pédologie de la zone d’étude.....	43
2-5-1-Les sols isohumiques (d)	43
2-5-2-Les sols minéraux bruts d’apport alluvial (LI)	43
2-5-3-Les sols halomorphes (k)	43
2-5-4-Les sols minéraux inorganisés d’apport alluvial (E)	44
2-6-Occupation du sol	44
2-6-1-Parcours Sahariens	44
2-6-2-Parcours steppiques.....	44

2-6-3-Chott	44
2-6-4-Terres cultivées	44
2-6-5-Palmeraie.....	45
2-6-6-Maquis clairs.....	45
2-7-Ressources Hydriques de la zone.....	45
2-7-1-Hydrogéologie de la zone.....	45
2-7-2-Hydrologie de la commune de M'cif.....	46

Chapitre 3: Matériels et méthodes d'étude

3-1-Problématique et objectif de l'étude.....	47
3-2-Période de prélèvement et échantillonnage du sol.....	47
3-3-Etude (analyses) au laboratoire.....	47
3-3-1-Analyses des caractéristiques physiques du sol.....	47
3-3-1-1-Les éléments grossiers.....	47
3-3-1-2-Analyse granulométrique du sol.....	48
3-3-1-3-La porosité (méthode de cylindre).....	48
3-3-1-4-L'humidité résiduelle du sol.....	48
3-3-2-Analyse des propriétés chimiques.....	49
3-3-2-1-Potentiel d'hydrogène (pH).....	49
3-3-2-2- Conductivité électrique (CE).....	49
3-3-2-3- Dosage de calcaire total (CaCO ₃ %)	49
3-3-2-4-Dosage de calcaire actif.....	49
3-3-2-5-La capacité d'échange cationique (CEC ou T).....	50
3-3-2-6-Les sels solubles.....	50
a-Dosage des anions	50
b-Dosage des cations.....	50
3-3-2-7- Analyse de gypse (Ca SO ₄ , 2H ₂ O).....	50
3-3-2-8- Dosage du phosphore assimilable (JORET-HEBERT, 1955).....	51
3-3-3-Analyse des propriétés biologiques.....	51
3-3-3-1-Le carbone organique et la matière organique.....	51
3-3-3-2-Dosage d'azote total.....	51
3-3-3-3- Rapport C/N du sol.....	52

Chapitre 4: Résultat et discussion

4-1-Caractérisation des propriétés du premier profil (P1)	53
---	----

4-1-1-Caractérisation des propriétés physiques du premier profil (P1)	53
4-1-1-1-Les éléments grossiers.....	53
4-1-1-2-La texture.....	53
4-1-1-3 -La structure.....	53
4-1-1-4-La porosité.....	54
4-1-2-Caractérisation des propriétés chimiques du premier profil (P1).....	54
4-1-2-1-Le potentiel hydrogène (pH) des sols du profil P1.....	54
4-1-2-2-La conductivité électrique (CE).....	55
4-1-2-3-La capacité d'échange cationique du premier profil.....	55
4-1-2-4-Le calcaire total.	56
4-1-2-5-Le calcaire actif.....	56
4-1-2-6-Le gypse.....	56
4-1-2-6-Le gypse.....	56
4-1-2-7-Le phosphore assimilable.....	57
4-1-3-Caractérisation des propriétés biologiques du premier profil (P1)	57
4-1-3-1-Le taux de matière organique.....	57
4-1-3-3-Le rapport C/N.....	58
4-2-Caractérisation des propriétés du deuxième profil (P2)	58
4-2-1-Caractérisation des propriétés physiques du deuxième profil (P2).....	58
4-2-1-1-Les éléments grossiers.....	58
4-2-1-2-La texture.....	59
4-2-1-3 -La structure.....	59
4-2-1-4-La porosité.....	59
4-2-2-Caractérisation des propriétés chimiques du deuxième profil (P2)	60
4-2-2-1-Le potentiel hydrogène (pH) des sols du profil P2.....	60
4-2-2-2-La conductivité électrique (CE).....	60
4-2-2-3-La capacité d'échange cationique du deuxième profil.....	61
4-2-2-4-Le calcaire total.....	62
4-2-2-5-Le calcaire actif.....	62
4-2-2-6-Le gypse.....	62
4-2-2-7-Le phosphore assimilable.....	62
4-2-3-Caractérisation des propriétés biologiques du deuxième profil (P2).....	63
4-2-3-1-Le taux de matière organique.....	63

4-1-3-3-Le rapport C/N.....	63
4-3- Caractérisation des propriétés du troisième profil (P3)	64
4-3-1- Caractérisation des propriétés physiques du troisième profil (P3)	64
4-3-1-1- Les éléments grossiers.....	64
4-3-1-2- La texture.....	65
4-3-1-3 -La structure.....	65
4-3-1-4- La porosité.....	65
4-3-2- Caractérisation des propriétés chimiques du profil troisième (P3).....	66
4-3-2-1- Le potentiel hydrogène (pH) des sols du troisième profil (P3).....	66
4-3-2-2- La conductivité électrique (CE).....	66
4-3 -2-3- La capacité d'échange cationique du troisième profil.....	67
4-3-2-4- Le calcaire total.....	68
4-3-2-5- Le calcaire actif.....	68
4-3-2-6- Le gypse.....	68
4-3-2-7- Le phosphore assimilable.....	68
4-3-3- Caractérisation des propriétés biologiques du troisième profil (P3).....	68
4-3-3-1- Le taux de matière organique.....	68
4-3-3-3- Le rapport C/N.....	69
2-4- Discussion des résultats obtenus:.....	69
Conclusion Générale	
Reference Bibliographiques	
Annexe	
Résumé	

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction Générale

Introduction Générale

Au cours de ces derniers décennies, le déficit majeur des pays de l'Afrique du Nord (tout comme autres pays du monde) est d'assurer une sécurité alimentaire d'une part et de maîtriser les contraintes d'une production agricole efficace, favoriser la durabilité des systèmes de production et aussi freiner (diminuer) la dégradation des ressources naturelles (en particulier l'eau et le sol) d'autre part.

En Algérie, la zone aride présente près de 95% du territoire nationale dont 80% dans le domaine hyperaride (**HALITIM, 1988**).

Dans ces régions arides, les sols, d'une manière générale, posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (**AUBERT, 1960**).

Notre zone d'étude "M'Cif" est une zone aride du centre du pays. Cette région réputée d'être une zone pastorale où l'agriculture était considérée comme une activité secondaire mais elle ne cesse d'être de plus en plus importante et intéressante. D'où les recherches doivent être plus accentuées dans le but de faciliter l'élaboration de projets d'aménagement agricole et d'augmenter la productivité de ses sols par unités de surface.

C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail, dont l'objectif principale est de déterminer et connaître les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols de la zone "M'Cif" Wilaya de M'Sila.

Pour ce faire on a structuré notre travail en quatre chapitres:

- ✓ Le premier chapitre aborde un état de lieu sur le sol et ces propriétés physiques et chimiques et biologique.
- ✓ Le deuxième, traite la présentation de la zone d'étude.
- ✓ Le troisième, concerne la méthodologie de travail adopté.
- ✓ Le dernier chapitre est consacré aux résultats et discussion.

Et en fin, on termine par une conclusion générale qui reprendra les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE 1:
Etat de lieu sur le sol et ces
propriétés

Chapitre 1 : Etat de lieu sur le sol et ces propriétés

1-1-Introduction

Selon **LITTRE (1843)** cité par **HENIN (1976)**, la notion de sol a souvent été confondue ou associée à des concepts de terre, terrain voire terroir. Au début, le sol fut sur tout rattaché à d'autres disciplines.

DOKOUTCHAEV (1883) fut donc le premier à concevoir le sol comme une entité spécifique, constituée par une superposition de couches, qui ont constitué les éléments de base des diverses classifications et études des systèmes pédologiques.

CHAUDE et LECLE (1999), définissent le sol comme un composite granuleux multicouche, qui se développe sur une roche mère. Il est constitué de minéraux issus de la décomposition de la roche mère, et de matériaux organiques issus de la décomposition des tissus et des organismes morts. Les deux processus de décomposition sont en interaction continue et réalisent un équilibre aboutissant à un sol d'épaisseur et de composition globale déterminées. Le résultat est influencé par la pluviométrie et par les vents, qui introduisent une contrainte mécanique sur l'équilibre global.

D'après **HELLER et al, (1993)**, le sol est la source presque exclusive de l'eau et des sels minéraux indispensables pour le végétal.

Le sol est l'interface d'échange dynamique à la surface du globe entre l'atmosphère, la biosphère, l'hydrosphère et la géosphère. Il présente la particularité de lier intimement l'organique et le minéral, ce qui lui confère émergeant, dépassant la simple addition des propriétés géologiques et biologiques (**GOBAT et al, 2010**).

A travers ce chapitre nous allons présenter les principales propriétés d'un sol; qu'on divise grossièrement en propriétés physiques, chimiques et biologiques.

1-2-Les propriétés physiques du sol

Le sol présente plusieurs propriétés physiques.

Dans notre travail nous allons mettre l'accent sur les plus importantes; à savoir la texture, la structure et stabilité structurale, la porosité, la perméabilité, l'eau dans le sol et enfin la température du sol.

1-2-1-La texture du sol

1-2-1-1-Définition de la texture du sol

La texture d'un sol est l'ensemble des propriétés qui découlent de la composition granulométrique du sol (teneur en pourcentage de sables grossiers et fins, de limons, d'argile,

Chapitre 1:..... Etat de lieu sur le sol et ces propriétés

d'humus et de calcaire), elle est déterminée par l'analyse granulométrique (HALITIM, 1988).

D'après (HELLER et al, 1993; DELAUNOIS et al, 2009), la texture est le diamètre moyen des particules du sol, ou la composition granulométrique.

Les fractions granulométriques sont de l'ordre de trois. Les sables qui sont généralement siliceux, forment de grains de quartz et résistent et subsistent longtemps, les limons, comme les sables proviennent de la désagrégation physique des roches et enfin les argiles granulométriques considérées comme la fraction inférieure à 2 micromètre et sont formés en majeure partie l'argile minéralogique (HENIN et al, 1976).

De même HALITIM (1988), expliqua qu'on peut aussi définir la texture comme un facteur déterminant de la fertilité des sols puisqu'elle influence les propriétés physiques (économie en eau et en air, structure, perméabilité, résistance à l'érosion ect ...) et chimiques (capacité des échanges) des sols.

1-2-1-2-Echelle granulométrique de la texture du sol

D'après BAIZE (2000), on peut résumer les classes granulométriques du sol en fonction des diamètres des particules en argile, limon fin, limon grossier, sable fin et sable grossier pour la terre fine et graviers et cailloux pour la terre grossière dite aussi refus ou éléments grossier (tableau 1).

Tableau 1: Les classes granulométrique du sol en fonction des diamètres des particules.

	Terre fine					Terre grossière	
Classes	Fraction argileuse	Fraction limoneuse		Fraction sableuse		graviers	cailloux
	Argiles	Limons Fins	Limons grossiers	Sables Fins	Sables grossier		
Diamètre des particules	<2 μm	2 – 20 mm	20-50 μm	50-200 mm	200 μm -2mm	2-20 mm	>20mm

Source: BAIZE, (2000)

RAMADE (2003), explique qu'il existe plusieurs classifications granulométriques des éléments constitutifs des roches meubles, des sédiments (utilisée en géologie) et des sols (pédologique). Elles diffèrent entre elles par des limites de dimensions fixées entre les différentes catégories d'éléments (tableau 2).

Tableau 2: Classification granulométrique des éléments des sols.

Eléments	Classification géologique et hydrologique	Classification pédologique (et écologique)
Cailloux	> 16mm	> 20mm
Graviers	2 à 16mm	2 à 20mm
Sables grossiers	0.5 à 2mm	0.5 à 2mm
Sables moyens	0.25 à 0.5mm	50 μ à 0.5mm
Sables fins	0.06 à 0.25mm	20 μ à 50 μ
Limons	2 μ à 60 μ	2 à 20 μ
Argiles	< 2 μ	< 2 μ

Source: RAMADE, (2003)

1-2-1-3-La détermination texturale (par utilisation du triangle textural)

La composition granulométrique permet de déterminer la texture globale d'un sol, en se référant à un diagramme textural. Cette classification texturale regroupe les sols en classes ayant un comportement et des propriétés communes.

La représentation ou détermination texturale, permet de définir la tendance du sol (c'est une simple indication) et elle est insuffisante pour connaître les propriétés exactes et détaillées de ce sol (HENIN *et al*, 1976; HALITIM, 1988 et PREVOST, 2006).

Le triangle de référence est le triangle rectangle ou le triangle équilatéral cette représentation s'appuie sur le fait quasi, dans un triangle équilatéral, ou même un point, des parallèles aux cotés, la somme des distance interceptés sur les coté est égale au côté du triangle. On procède de la manière suivante:

*Chaque côté du triangle est divisé en 100 parties égale un coté du triangle attribué à l'argile, un autre aux limons et le troisième aux sables, la somme de leurs pourcentage respectifs est égale à 100.

*L'intérieur du triangle est divisé en cases, chacune d'elles représentant un type granulométrique de sol caractérisé par les proportions d'un ou deux éléments dominants (voir figure 1 et 2).

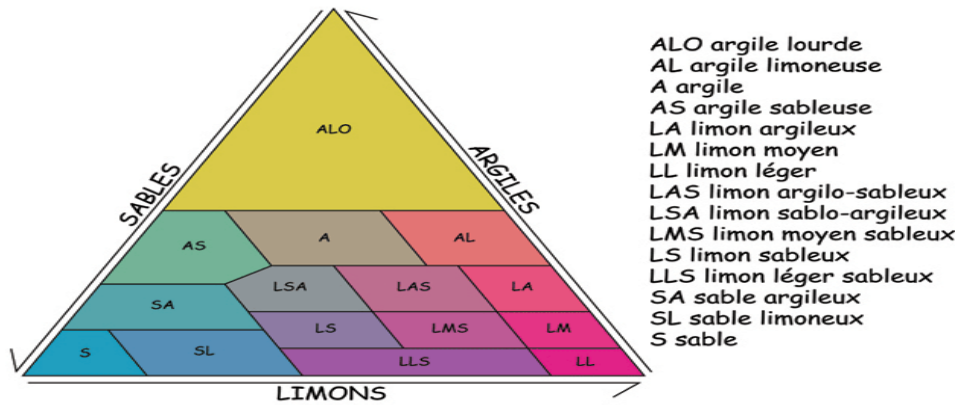


Figure 1: Diagramme de classification détaillée des textures (JAMAGNE, 1977).

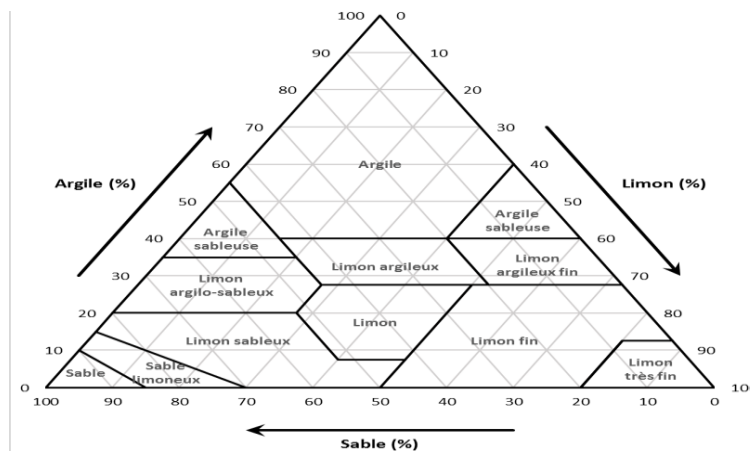


Figure 2: Triangle des textures selon l'USDA (USDA, 1954).

1-2-1-4-Les propriétés des sols en fonction de leurs textures

Selon HALITIM, (1988), la discussion des propriétés physiques et chimiques des fractions granulométriques isolés sont à la compréhension du rôle principal des particules d'un certain diamètre, mais elles ne constituent qu'une discussion théorique, car les sols naturels ne se composent que très rarement d'une seule fraction granulométriques.

HELLER et al (1993), confirment que la texture du sol joue son rôle dans d'autres propriétés physiques telles que sa compacité, sa porosité, qui préside à la plus ou moins grande facilité de pénétration des racines et à la circulation de l'air et de l'eau.

La texture conditionne directement la structure du sol, sa porosité et son régime hydrique (GOBAT et al, 1998).

a-Propriétés des sols à texture sableuse

HALITIM (1988), confirme que les propriétés des sols à texture sableuse sont essentiellement déterminées par les propriétés des sables, fraction granulométrique prépondérante. Ils peuvent être subdivisés en deux catégories :

- Terres sableuse: l'élément prépondérant est les sables grossiers.
- Terres sablonneuses: la fraction prépondérant est sable fin.

Tous les sols à texture sableuse se distinguent par leur faible cohésion (la teneur en Argile qui ne dépasse plus 15%, est très faible pour qu'elle puisse produire ou exercer une influence notable et remarquable sur la cohésion).

Les sols à texture sableuse sont dits terres légères se travaillent donc facilement.

La capacité de rétention en eau des sols sableux est réduite, mais la part de l'eau assimilable par les plantes est relativement grande en comparaison aux terre riche en argiles.

La vitesse d'infiltration pour les sables grossiers est grande.

Généralement, les sols à texture sableuse sont pauvres en éléments nutritifs et présentent une faible capacité d'échange cationique et anionique.

b-Propriétés des sols à texture argileuse

En général les sols à texture argileuse possèdent des propriétés diamétralement opposées aux propriétés des terres légères. Leurs état physique est très défavorable tandis qu'ils sont des sols riche et fertiles du point de vue chimique (**HALITIM et al, 1978**).

Ces sols se caractérisent par une cohésion d'autant plus forte que la teneur en argile est élevée. A cause de la cohésion considérable ils sont tenaces et collants à l'état mouillé et dur l'état sec. Ils se laissent donc difficilement travailler et le temps de travail est très limite. Ces terres sont dites lourdes (**HALITIM, 1988**).

Ajoutant aussi les propriétés suivantes :

- Les pores ont des dimensions réduites. Par la suite la perméabilité à l'eau et à l'air est limitée.
- La minéralisation de la matière organique est entravée. La quantité de l'eau est élevée, mais l'eau se retient si fortement qu'une grande partie de l'eau se trouve à l'état inassimilable pour les plantes.
- Ces sols s'échauffent lentement et restent mouillés long temps après une période pluvieuse. Quand ils dessèchent ils sont très durs (**HALITIM, 1988**).

En générale ces sols sont riches en éléments nutritifs et leur pouvoir d'adsorption est très élevé. Mais cette règle n'est pas toujours valable (cas des sols tropicaux).

c-Propriétés des sols à texture limoneuse

Ces sols à texture limoneuse ou silteuse dits battants, à cause de leur faible cohésion et de leur perméabilité réduite, ils sont extrêmement susceptibles à l'érosion par l'eau de ruissèlement (**HALITIM, 1988**).

Les réserves de ces sols en élément nutritifs sont très grandes, mais ce rôle favorable des limons dans les sols est composé par les propriétés physiques défavorables. Dans ces sols la qualité d'agrégats, les particules intermédiaires (limons) ne sont pas doués de propriétés colloïdales, elles ne jouent donc aucun rôle utile à ce point de vue. Mais elles sont suffisamment fines pour permettre un colmatage des pores grossiers et une diminution considérable de l'aération et de la perméabilité (**HALITIM et al, 1978; HALITIM, 1988**).

La structure des terres limoneuses est donc rarement satisfaisante surtout si le sol est pauvre en matière organique.

1-2-2-La structure et la stabilité structurale du sol

1-2-2-1-Définition de la structure du sol

Pour décrire les propriétés physiques du sol, les spécialistes ont adoptés la notion de structure du sol.

C'est en effet; l'appréhension de cette dernière qui permet utilement le diagnostic des grandes tendances de fonctionnement physique du sol ou de son comportement mécanique probable (**GUERIF, 1990**).

La structure d'un sol est l'assemblage des différents constituants physiques du sol à un moment donné (**PASQUIER, 2010**).

La structure peut être simplement définie, comme étant la manière dont sont disposées les particules du sol les unes par rapport aux autres (**HENIN, 1976; MUSY et SOUTTER, 1991**).

D'autres définitions font intervenir en plus de la disposition spatiale, la nature et l'intensité des liaisons établies entre les particules constitutives du sol (**MANICHON, 1982; STENGEL, 1990**).

Les particules du sol, auxquelles il est fait référence dans les deux définitions précédentes, peuvent être simplement des particules primaires (sables, graviers) donnant naissance à un agrégat millimétrique. Comme elles peuvent aussi se présenter sous une forme plus complexe, résultant de l'agglomération des particules primaires et donner naissance à des assemblages décimétriques et parfois métriques (**TESSIER et al, 1996**).

Selon (**HELLER et al, 1993; CALVET, 2003**), la structure est l'agencement des constituants du sol.

On peut la définir aussi comme “l’ensemble des caractères liés à la disposition spatiale des éléments qui constituent le sol , ainsi qu’à la nature et à l’intensité des liaisons qui existent entre eux” (**GIRARD et al, 2005**).

Les particules du sol maintenues ensemble par des forces physiques et chimiques, forment des agrégats (**PIERZINSKY et al, 2005**).

L’agrégat, l’unité structurale de base est formé d’un squelette de grains de sable et de limons reliés entre eux par le complexe argilo-humique. La structure du sol se forme ainsi grâce à la floculation des colloïdes qui se fixent à la surface des éléments grossiers et le relie (**PREVOST, 2006**).

L’absence ou la présence ainsi que la forme de ces agrégats définissent le type de structure (**GOBAT et al, 1998**).

La structure est un état du sol qui varie avec le temps selon la texture mais aussi selon le taux d’humidité, l’état des colloïdes et la présence de matière organique (**GOBAT et al, 1998**).

Selon **PASQUIER (2010)**, les constituants de la structure sont les mottes, éléments structuraux formés par les actions de fragmentation et de compactage des outils. Le premier niveau de description concerne leur état interne, les deux autres niveaux de description touchent leur assemblage.

Ainsi, on observe selon **PASQUIER (2010)**, trois niveaux d’organisation structurale dans le profil cultural :

***1^{er} niveau;** l’état interne des mottes; une motte est le résultat de l’assemblage naturel de plusieurs agrégats entre eux. Elle a une taille moyenne de quelques centimètres. L’agrégat est l’unité fondamentale d’organisation de la structure. Il résulte de l’assemblage cohérent des particules élémentaires du sol.

***2^{em} niveau;** le mode d’assemblage des mottes et l’importance des cavités.

***3^{em} niveau;** le regroupement des modes d’assemblage.

1-2-2-2-Evolution de la structure du sol

Comme on a déjà évoqué la structure d’un sol est une propriété qu’on peut observer et décrire à un moment donné.....

Selon **CHOSSAT, (2005)**, quel que soit sa composition minéralogique, le milieu sol n’est pas figé. Il est soumis à des phases de gonflement lors de l’humectation et des phases de retrait lors de la dessiccation. Ces phénomènes sont bien connus en agronomie, facilement observable au laboratoire sur de petits échantillons mais plus difficile à quantifier au champ.

Lors du séchage, on observe une diminution du volume du sol appelé retrait. Ce phénomène se manifeste par une variation de volume en fonction de la teneur en eau, il correspond à une modification de l'arrangement des constituants solides (**CHOSSAT, 2005**). Et ces actions sont à l'origine de l'évolution de la structure d'un sol.

1-2-2-3-Classification de la structure du sol

Selon (**ZAKHROV, 1927 cité par DRIDI, 1989**), on peut classer les éléments structuraux selon leurs formes en éléments cubiques, prismatique et aplatis.

D'autres auteurs font relier chaque type structural à une origine pédo-génétique (**DUCHAUFOR, 1956 cité par DRIDI, 1989**).

HENIN (1976), fait intervenir en plus de la forme des éléments structuraux, leur constitution. Il définit trois classes: particulaire, massive et fragmentaire. Ces classes sont définies en fonction des forces et des modes d'agencement des particules entre elles.

Selon **PREVOST, (2006)**, on distingue trois principales classes de structure :

- La structure particulaire, dans laquelle les éléments sont peu reliés entre eux mais seulement juxtaposés.
- La structure fragmentaire, ou les éléments structuraux sont bien individualisés.
- La structure continue, la terre forme une masse compacte sans fissurations nettes.

CHOSSAT, (2005), expliqua qu'il existe différents types de structure dans les sols :

*Structure particulaire, lorsqu'il n'existe pas de ciment ou que celui-ci en quantité insuffisante pour créer des agglomérats, les éléments du squelette ne sont plus associés entre eux, la nomenclature emprunte ses termes à la granulométrie pour les éléments minéraux : poudres, sable, graviers, galets...et à la forme pour les éléments organiques: feuillets, fibres.

*Structure agrégées massives ou continues, si les forces de cohésions sont continuées et relativement isotropes, il n'existe plus d'interfaces. On les distingue par la diminution des particules élémentaires contenues dans la pâte. La nomenclature emprunte ses termes à la pétrographie (ainsi par exemple a-t-on le type « grés » ou le type «poudingue» et à l'aspect des éclats que l'on peut obtenir ainsi cà anguleux ou « émoussés »).

*Structure fragmentaires, dans le cas où l'on peut identifier des agrégats, on parle de structure fragmentaire. On distingue alors; les structures lamellaires ou phylliteuses (squameuses, schisteuses, laminaires), les structures parallélépipédiques (prismatiques, cubiques, polyédriques) et les structures arrondies (grenues, grumeleuses, unciformes).

1-2-2-4-La stabilité structurale

C'est l'aptitude d'une terre à résister plus ou moins à l'action dégradante des agents extérieurs essentiellement l'eau (**LAMBERT, 1975**).

La stabilité structurale désigne la résistance de la structure vis-à-vis des agents de dégradation. La formation d'agrégat solide et résistant à la dégradation par l'eau assure une bonne stabilité structurale au sol.

D'après **PREVOST, (2006)**; la stabilité structurale est très importante dans un sol et elle peut être maintenue grâce à certaines actions:

-De protection contre les agents de dégradation (supprimer l'excès d'eau par le drainage du sol, éviter le travail du sol en période humide, ne pas laisser le sol nu trop longtemps).

-D'amélioration de la structure (apporter du calcium ou de matière organique pour favoriser une bonne formation du complexe argilo-humique, travailler le sol correctement: labour, puis façons superficielles, adopter une rotation introduisant des prairies de graminées qui couvrent le sol en permanence et dont le système racinaire permet une bonne division du sol).

VILAIN (1978), nous informe qu'on peut déduire si notre sol est stable (de point de vue stabilité structurale, moyennement stable, très stable ou très instable...en utilisant le pourcentage du limon et celui de l'argile et en se référant à la **figure 3**.

Argile % (0-2µm)

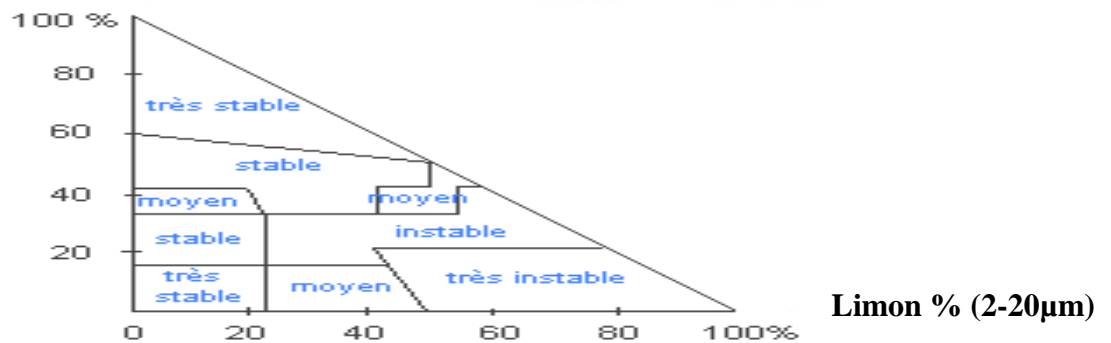


Figure 3: Classes de la stabilité structurale du en fonction du limon% et de l'argile %
(VILAIN, 1978).

Ainsi, la stabilité structurale dépend

- De la texture du sol; les sols à teneur élevée en limons sont plus sensibles aux processus de dégradation par l'eau responsables de la battance. Mais il est difficile de modifier la texture d'un sol. Les apports de sable ou d'argile demeurent irréalisables en raison des masses considérables qu'il faudrait apporter au sol pour atteindre même un résultat modéré.

- De la nature des cations adsorbés sur le complexe argilo-humique; tous les cations n'ont pas le même pouvoir flocculant des argiles. La présence d'ions calcium (par apport important de chaux) et magnésium sur le complexe argilo-humique améliore la stabilité structurale des sols riches en limons fins, contrairement à celle d'ions potassium et sodium qui ont une action dispersante des argiles.

-De la matière organique; les produits transitoires issus de la décomposition de la matière organique enfouie enrobent les agrégats terreux assurant ainsi leur stabilité structurale (l'humus a également un effet stabilisateur quoique moins intense mais plus durable)
(PREVOST, 2006).

1-2-3-La porosité du sol

1-2-3-1-Définition de la porosité d'un sol

La porosité du sol se définit comme étant l'ensemble des espaces lacunaires créés lors de la structuration du sol (STENGEL, 1990; MUSY et SOUTTER, 1991).

Ces espaces vont influencer la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et la capacité de ce dernier à la stocker. La porosité agit aussi sur le développement des racines des plantes ainsi que sur la circulation des organismes du sol (LAMANDE, 2003).

D'après (HILLEL, 1984; PREVOST, 2006), la porosité est définie comme le rapport du volume de l'espace poral v_p au volume v_t du sol en place ou volume apparent. Le volume v_p se détermine par différence entre le volume du sol en place et le volume des constituants solides v_s .

$$\text{D'où la formule de la porosité : } \text{Porosité} = \frac{v_p}{v_t} = \frac{v_t - v_s}{v_t} = \frac{1 - v_s}{v_t}$$

$$\text{On l'exprime en général en \% : } \text{porosité \%} = \frac{v_p}{v_t} \times 100$$

La porosité du sol se mesure à partir des densités du sol:

*La densité réelle (d_r), qui représente la masse volumique des éléments solides du sol (de l'ordre de 2,6g/cm³). La formule de la densité réelle est : $d_r = \frac{P_s}{V_s}$

Sachant que: P_s est le poids du solide et V_s est le volume solide.

*La densité apparente (d_a), correspond à la masse volumique du sol en place ; elle est variable selon la nature et l'état structural du sol ; elle peut varier de 0,8 à 2 g/cm³ (mais sa valeur moyenne est de 1,3 g/cm³).

$$\text{La formule de la densité apparente est : } d_a = \frac{P_s}{V_t}$$

Tel que: P_s est le poids solide et V_t est le volume totale.

$$\text{De ce fait, la porosité (en\%) est égale à: } P(\%) = \frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100$$

Selon CHOSSAT, (2005), la porosité est la conséquence du mode d'assemblage des constituants du sol, c'est une de ses caractéristiques essentielles. Cette porosité est constituée par tous les vides qui sont laissés entre les particules élémentaire, ainsi que par des vides qui se créent entre les agrégats et ceux qui proviennent d'activités biologiques.

RAMADE(2003), expliqua que la porosité peut se définir comme la proportion du volume des lacunes par rapport au volume totale.

1-2-3-2-Les types de porosité des sols

Plusieurs classifications de la porosité ont été adoptées dans la littérature. Elle divise la porosité du sol en plusieurs classes en se basant sur deux principaux critères: l'origine et la taille des pores.

a-Selon leur taille des pores

D'après **HENIN, (1990)**, la porosité d'un sol peut être constituée par des vides allongés des grandes dimensions. Mais plus généralement, il s'agit des vides en proportions plus ou moins importantes, des démentions variables et reliés entre eux. On parle alors, selon le cas de macroporosité et de microporosité.

La majorité des chercheurs dans le domaine du physique des sols (qu'on peut citer: **BAIZE, 2000; BAIZE et JABIOL, 1995; BONIN, 2006**), subdivisent aussi la porosité en macroporosité (dans laquelle il ya circulation d'eau dans les pores) et la microporosité (dont on trouve l'eau immobile dans les pores, lorsque diamètre <10µm ; elle est inutilisable dans les vides < 0.2µm).

Mais **GOBAT et al, (1998)**, la subdivisent en trois (03) catégories:

***Macroporosité;** caractérisée par des vides supérieures à 50µm remplir par l'eau de gravité, elle dépend surtout de la structure.

***Mésoporosité;** constituée par des vides de 0.2 à 50 µm retenant l'eau utile aux plantes, elle dépend beaucoup de la texture.

***Microporosité;** dont les vides sont inférieure à 0.2 µm elle retient l'eau inutilisable.

b-Selon leur origine

***Porosité texturale**

La porosité texturale est directement liée à la texture du sol. Elle résulte de l'assemblage des particules élémentaires.

HENIN (1990), confirma que la porosité texturale joue un rôle fondamental dans la rétention de l'eau du sol et ces échanges avec les racines des plantes. Elle n'est pas modifiable, contrairement à la porosité structurale.

***Porosité structurale**

La porosité structurale dépend de la structure du sol. Elle résulte de l'association des agrégats entre eux. Elle est modifiable par les interventions sur le sol et permet à l'eau et à l'air de diffuser dans le sol. Plus la porosité structurale est élevée plus le transfert de l'eau, et donc la conductivité hydraulique, sont facilités.

BROUAND et TESSIER (1996), ont résumé et décrit le réseau poreux du sol selon la partition texturale et structurale (**figure 4**).

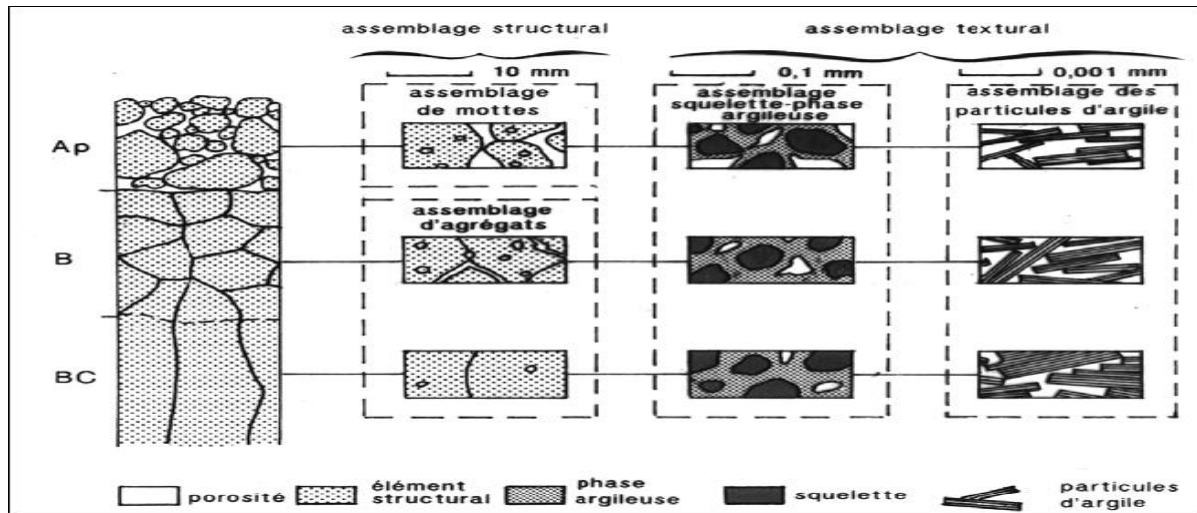


Figure 4: Description du réseau poreux du sol selon la partition texturale et structurale (BROUAND et TESSIER, 1996).

1-2-3-3-Les gammes des porosités des différents sols

Selon PREVOSTE, (2006), la porosité moyenne étant de 50% (soit 30% de macroporosité et 20% de microporosité (figure 5).

Mésoporosité	Microporosité	Macroporosité
50%	30%	20%

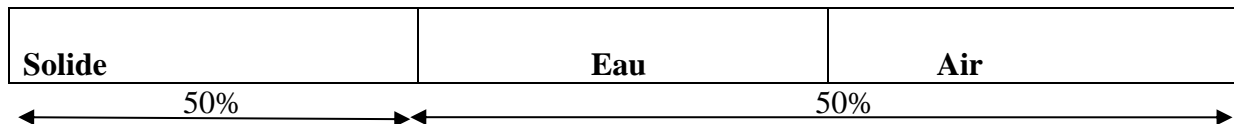


Figure 5: Représentation en volume des constituants et porosité du sol (PREVOST, 2006).

De même (SOLTNER, en 1986) expliqua que :

*Les horizons à structure grumeleuse ont une porosité totale de 70%, ceux à structure particulaire 35 à 40%.

*Les sols sableux se tassent peu avec une porosité totale de l'ordre de 45-50%.

*Les sols limoneux ont tendance à se tasser fortement leur microporosité est élevée mais la porosité totale peut descendre jusqu'à 40 à 50%.

*Dans les sols argileux, la porosité totale est nettement supérieure avec une microporosité 50 à 60%.

1-2-3-4-L'importance de la porosité

La porosité texturale joue un rôle essentiel dans la rétention de l'eau du sol et des échanges avec les racines des plantes (**HENIN, 1990; CHOSSAT, 2005**).

Selon **RAMADE, (2003)**, le rôle de la porosité d'un sol est essentielle aussi bien pour assurer le développement des plants supérieures que celui de la microflore et de la faune édaphique.

La porosité renseigne sur les capacités hydriques ou atmosphériques d'un sol, en volume ou en flux (**GOBAT et al, 1998**).

Elle joue aussi un rôle important dans les échanges hydriques et gazeux, ainsi que dans le développement racinaire (**LAHLOU et al, 2005**).

1-2-4-La perméabilité d'un sol

La perméabilité est la facilité plus ou moins grande avec laquelle le sol se laisse pénétrer et traverser par l'eau et l'air (**GAUCHER, 1968**).

La conductivité hydraulique est une caractéristique constante. Son ordre de grandeur est d'environ 10^{-2} à 10^{-3} cm/s dans un sol sableux et 10^{-4} à 10^{-7} cm/s dans un sol argileux (**HILLEL, 1984**).

La perméabilité du sol dépendant de la texture et la structure du sol. Un sol est perméable s'il a une texture grossière (sableuse) et une structure fragmentaire (**PREVOST, 2006**).

La perméabilité d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau de gravité en cm par seconde (ou par heure, si la vitesse est lente) : coefficient k.

Le coefficient k est calculé par le débit Q obtenu à l'aide du dispositif de filtration sur colonne (**figure 6**), indique par (la loi de Darcy) : $Q = k (H+H' / H) S$ (**DUCHAUFOR, 2001**).

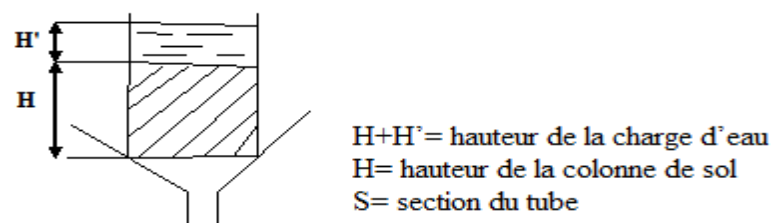


Figure 6: Dispositif de mesure de la perméabilité du sol (**DUCHAUFOR, 2001**).

1-2-5-L'eau et le sol

L'eau dans le sol se trouve sous trois états (**SOLTNER, 1986**) :

*L'eau de gravité, elle occupe la macroporosité du sol, elle s'écoule rapidement, puis de plus en plus lentement, elle quitte les espaces vides qui se remplissent d'air. Lorsque l'eau ne s'écoule plus, la terre atteint son taux d'humidité à la capacité au champ.

*L'eau utilisable par la plante, partie de l'eau ainsi retenue par le sol.

*L'eau inutilisable par la plante; formant autour des solides des films très minces et retenue énergiquement par la terre. Elle occupe la microporosité, il s'agit de l'eau de rétention. Lorsque les plantes ne peuvent plus absorber l'eau, c'est-à-dire lorsque la force de succion de la terre est supérieure à celle des racines, le point de flétrissement permanent est atteint; ce stade est irréversible.

1-2-5-1-L'importance de l'eau dans le sol

DUCHAUFOR (1983), expliqua que l'eau dans le sol a une importance considérable; d'une part elle intervient dans la nutrition des plantes, à la fois directement et indirectement, en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous; d'autre part, c'est un des principaux facteurs de la pédogenèse, qui conditionne la plupart des processus de formation des sols.

Les sources principales de l'eau du sol sont d'une part l'eau de précipitation, et aussi, dans certaines stations, l'eau souterraine (nappe phréatique permanente, alimentée souterrainement).

Les pluies qui tombent à la surface du sol se subdivisent en diverses fractions, et donnent ainsi naissance aux formes d'eau suivantes:

***L'eau de ruissellement**, superficielle, lorsqu'elle circule au sein des horizons supérieurs; parallèlement à la surface; le ruissellement n'est pas constant et n'affecte que les surfaces en pente.

***L'eau de gravité**, entraînée par la pesanteur, circule dans les pores grossiers et moyens (supérieurs à 10 μ m); le plus souvent verticalement, parfois aussi obliquement, s'il y a une pente, et que la perméabilité du sol diminue dans les horizons profonds.

***L'eau retenue par le sol**; au cours de l'infiltration des pluies occupe les pores fins et très fins (inférieurs à 10 μ m) : les forces capillaires et d'absorption sont suffisamment élevées pour s'opposer aux forces de gravité (**DUCHAUFOR, 1983**).

1-2-5-2-Les mouvements de l'eau dans le sol

Les mouvements de l'eau dans le sol selon (**DUCHAUFOR, 1983**), relèvent de deux processus opposés:

***Les mouvements descendants de l'eau de gravité**, qui s'infiltré après les pluies, et qui sont liés à la perméabilité du profil.

***Les mouvements ascendants**, beaucoup plus limités, qui interviennent en saison sèche et compensent de manière imparfaite les pertes par évaporation (ou évapotranspiration si le sol est occupé par une végétation continue).

La répartition de l'eau en profondeur dans le sol est la résultante de ces deux processus. Elle se traduit par un profil hydrique, qui, à un instant donné, est lié, d'une part, aux propriétés physiques permanentes du sol, d'autre part aux circonstances météorologiques, évidemment très variable.

1-2-6-La température et pédoclimat

D'après **DUCHAUFOR, (2001)**, lorsqu'on mesure la température des sols différents dans une même région à un même moment: on constate qu'elle peut varier dans de larges limites; dans ce cas trois facteurs interviennent: la couleur du sol, sa teneur en eau et la nature de la couverture végétale.

Les sols sableux ou calcaires, qui se dessèchent rapidement, sont des sols "chauds", alors que les sols mal drainés ou tourbeux, sont des sols "froids" (**DUCHAUFOR, 1997**).

Ainsi **SOLTNER (2000)**, montra qu'il existe des sols chauds et des sols froids:
***Les sols froids:** sont des sols humides, se ressuyant lentement suite à une bonne perméabilité et donc une bonne structure. Une couleur claire et une mauvaise exposition peuvent encore ralentir leur réchauffement au printemps.

***Les sols chauds:** sont les sols perméables, rapidement ressuyés. Une exposition perpendiculaire aux rayons solaire, et une couleur foncée due à l'abondance de l'humus augmentent encore cette tendance.

Selon (**GOBAT et al, 1998**), la température influence fortement la vie dans le sol et à sa surface, les bactéries sont souvent très sensible et présent des optimums d'activité bien définis, pour la plupart des espèces entre 21 et 38C°.

DUCHAUFOR (1997), considère que le pédoclimat est la combinaison de trois facteurs: la température, l'humidité, l'aération. Ses variations saisonnières, constituent le pédoclimat ou climat interne du sol. Le changement pédoclimatique, reflète en grande partie les conditions du climat général, notamment en ce qui concerne la température et l'humidité

mais il dépend largement aussi de la géomorphologie et des propriétés physiques intrinsèques du sol tel que la perméabilité, la porosité et la texture.

1-3-Les propriétés chimiques du sol

1-3-1-La capacité d'échange cationique (CEC ou T)

La CEC est la quantité maximale des cations de toutes sortes qu'un poids déterminé de sol (habituellement 100g) est capable de retenir. Autrement dit, cette mesure représente le total des charges négatives du sol disponibles pour des cations métalliques ou d'ion H^+ .

La CEC est une caractéristique très importante à déterminer dans toute étude des sols et en agronomie. Elle est en effet, reliée au comportement des cations et de ce fait est une indication intéressante pour l'étude des processus pédologiques qu'il s'agisse de pédogenèse ou de nutrition minérale des végétaux (CALVET, 2003).

D'après GIASSON et JAOUICH, (2008), la capacité d'échange cationique est déterminée par le déplacement des cations échangeables ou par un cation indicateur (utilisé pour la saturation des sites d'échanges). Les cations échangeables dominants sont: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $Na + K^+$, Al^{3+} , H^+ , Mn^{2+} , et Fe^{2+} . Les quatre premiers cations sont appelés bases échangeables.

-Dans les sols acides, les cations suivants dominant : H^+ et Al^{3+} , selon le type des sites d'échanges, le pH et leur abondance relative.

-Dans les sols calcaires, Ca^{2+} et Mg^{2+} dominant tandis que dans les sols salins, c'est le cas du Na^+ .

Selon DUCHAUFOR, (1997), la capacité d'échange varie avec le pH; lorsqu'un sol acide est progressivement neutralisé (par apport d'amendements calcaïques par exemple).

La CEC, qui est une expression des charges négatives par unité de masse d'un sol.

C'est une des plus importantes caractéristiques du sol (BRADY et al, 2002 cité par MONIGABA et al, 2009).

Les réactions d'échanges cationiques entre la solution du sol et le complexe adsorbant se réfèrent à deux importants paramètres chimiques des sols, à savoir la capacité d'échange cationique (CEC) et les cations échangeables (MONIGABA et al, 2009).

La capacité totale d'échange d'un sol est stable, puisqu'elle dépend du taux et de la nature des colloïdes de ce sol, et que celui-ci ne peut beaucoup varier. Elle est élevée pour les

sols argileux et humifère, et faible pour les sols sableux (**tableau 3**) (**SOLTNER, 2000; GIASSON et JAOUICH, 2008**).

Tableau 3:La capacité totale d'échange dépend de la nature des colloïdes argilo-humiques.

Nature des colloïdes	T (milliéquivalents pour 100g de terre)
Kaolinite	3 à 15
Illite	10 à 40
Montmorillonite	80 à 150
Composés humiques	300 à 500
Matière organiques peu humifiée (tourbe, mor)	100

Source: SOLTNER (2000)

1-3-2- potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est défini comme le logarithme décimal de la concentration d'une solution en ion H^+ . Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol.

Le pH exprime la réaction acide, neutre ou basique d'un corps selon qu'il renferme beaucoup ou peu d'ions H^+ libres en solution. Au niveau du sol, le pH est variable et il influe sur les propriétés du sol. Ces variations sont cependant limitées car si, en chimie, le pH varie de 0 à 14 (7 étant la neutralité), le pH des sols a pour extrêmes 4,5 à 5 pour les sols plus acides et 8 pour les terres très basiques (**PREVOST, 2006**).

Selon **CHAUDE et LECLE, (1999)**, le pH est fortement influencé par la roche mère et la composition de la litière joue aussi un rôle en particulier à travers son rapport C/N.

1-3-3-La salinité et les sels

1-3-3-1-La salinité

Selon **MATHIEU et PIELTAN, (2003)**, la CE d'une solution de sol est un des indices les plus importants indiquant la salinité et la teneur en sels solubles. Elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables. Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions porteurs des charges électriques augmentent.

La présence d'ion en solutions est à l'origine d'une conductivité électrique; c'est pourquoi cette propriété est utilisée pour caractériser les sols.

Plus la quantité des sels dissous est grande et plus CE de la pate saturée est grande généralement, la CE s'exprime en mm hos /cm ou déci siemens/mètre à une température de 25°C (CALVET, 2003).

1-3-3-2-Les sels

Les sels solubles sont tous les sels plus solubles à l'eau que le gypse. Leur concentration globale est généralement exprimée par la conductivité électrique qui représente en réalité la conductivité électrolytique (HALITIM, 1988).

Les plus fréquents dans les régions arides et semi-arides sont surtout les chlorures et les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (SERVANT, 1978; HALITIM, 1988).

Les sels les plus fréquents sont ceux à base de sodium, gypse et calcaire qui exercent les effets suivants sur les sols :

***Le Sodium**, en excès dans le complexe absorbant du sol, peut dégrader la structure. Ces sols à structure diffuse sont souvent dénommés sols à alcali ou sodique (AUBERT, 1983).

***Le gypse**, est généralement admis qu'en petites quantités, le gypse a un effet favorable sur les propriétés fonctionnelles des sols et la croissance des plantes. En sols très argileux et très dispersée, le gypse améliore l'infiltration, diminue l'érosion et augmente la floculation (VENTURA et al, 2001).

En sols sodiques, le gypse améliore la structure en déplaçant les ions Na^+ du complexe absorbant et les remplacer par les ions de Ca^{2+} , il s'agit de la désalinisation du sol (ZAHOW et AMERHEIN, 1992; BATRA et al, 1997).

En sols acides, le gypse change les propriétés de ces sols en déplaçant les ions Al et diminuant la toxicité par cet élément (SUMNER, 1993 ; FARINA et al, 2000).

***Le calcaire**, les carbonates principalement le $CaCO_3$, apparaissent dans les sols désertiques par des formes variées comme les filaments, les efflorescences, les revêtements, les nodules, ou comme des imprégnations diffuses...etc. Fréquemment, les carbonates s'accumulent à une profondeur spécifique du profil, formant un horizon calcique (SINGER, 1995).

1-3-3-3-Le taux de sodium échangeable (ESP)

Selon (RICHARDS, 1954 cité par TIR, 2007), il s'agit du pourcentage de sodium échangeable sur le complexe d'échange est exprimé par la formule qui suit:

Na⁺: exprimé en meq/100 g de sol.

CEC: exprimé en meq/ 100g de sol.

La norme retenue par (l'USSL, 1954) pour le taux de sodium échangeable est de 15 % de la capacité d'échange cationique (CEC).

$$ESP = (Na / CEC) \times 100$$

Pour la FAO (1984), la limite de classe pour le taux de sodium échangeable est donnée comme suit :

- ESP < 5% alcalinité légère
- 5% < ESP < 20 % alcalinité modérée.
- 20 % < ESP < 45 % alcalinité grave.
- ESP > 45 % alcalinité très grave.

1-3-3-4-Le taux de sodium en solution (SAR)

C'est le taux de sodium adsorbé par le rapport aux cations bivalent Ca²⁺ et Mg²⁺

(SERVANT, 1976 cité par MEDJAHED, 2005).

L'USSL (1954), définit le SAR par la formule suivant :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, en meq/100g

Le SAR donne une indication sur le risque d'alcalinisation par le du milieu Na⁺ (MATTHIEU et PIELTAIN, 2003).

Il (SAR) nous aide aussi à déterminer le risque d'alcalinisation d'un sol (tableau 4).

Tableau 4: Les différents degrés de risque d'alcalinisation en fonction de SAR.

SAR	Le risque
SAR<10	Faible risque
10 < SAR<18	Risque moyen
SAR>18	Risque élevée
SAR>26	Risque très élevé

Source: USSL (1954)

1-4-Les propriétés biologiques du sol

1-4-1-Matières organiques

1-4-1-1-Nature et caractéristiques de la matière organique

La matière organique est une substance qui n'as pas de composition chimique bien définie, elle comprend en proportions variables selon les situations écologiques ; des matières humifères ou en voie d'humification à des stades divers d'évolution et des débris organiques pure ou non décomposées (HALITIM, 1988).

1-4-1-2-Composition de la matière organique du sol :

a-Matière organique fraîche (la litière)

La première catégorie de matière organique, la litière au sens large, est constituée de l'ensemble des matières organiques d'origine biologiques, à différents stades de décomposition, qui représentent une source d'énergie potentielle pour les espèces qui les consomment. Elle comprend les organismes et les parties d'entre eux qui viennent de mourir et qui en sont détaché, qu'ils soient végétaux, animaux ou microbiens, aériens ou souterrains, ainsi que les excréments des animaux et différents composés émis directement dans le milieu (GOBAT et al, 2003).

Les litières au sol représentent de 5 à 15% de la masse de carbone organique du sol (GIRARD et al, 2005).

b-Matière organique humifiée

On connait toute l'importance que présente l'humus du point de vue physico-chimique et biologique dans les sols.

Les matières humiques peuvent être définies comme "des complexes colloïdaux relativement stables et résistants à l'action microbienne, qui se minéralisent à leur tour mais beaucoup plus progressivement que la matière organique fraîche" (DUCHAUFOR, 1983).

1-4-1-3-Propriétés et rôles des matières organiques

La présence de matières organiques dans un sol cultivé est l'un des indicateurs principaux de ses qualités aussi bien agronomiques (production de produits agricoles, rendement) que celles qui sont liées à ses fonctions environnementales (qualité de l'eau, de l'air, biodiversité).

La quantité, la diversité et l'activité de la faune et des micro-organismes d'un sol sont en relation directe avec la présence de la matière organique. Cette activité biologique a une influence majeure sur les propriétés physico-chimiques des sols (GOBAT et al, 1998).

1-4-1-4-Evolution de la matière organique

L'évolution de la matière organique du sol dépend d'un grand nombre de transformation physique, chimique et biologique qui affecte le devenir du carbone.

Tous les constituants organiques subissent une évolution selon deux voies : la majeure partie sera minéralisée et une faible partie transformée en composés humiques.

a-La minéralisation primaire

C'est la dégradation de la M.O.F, en particulier les composants peu résistants comme les glucides, les protéines et les acides aminés. Ainsi que les lipides et les acides nucléiques. Si elle est totale, les produits de transformation sont des cations, des anions et des molécules simples (KOULL, 2007).

Le devenir de ces solubles dans la solution du sol est comme suit :

- Evacuation dans l'atmosphère du CO_2 , H_2O , NH_4^+ , N_2 , H_2S par échanges gazeux.
- Absorption des cations, anions et H_2O par les végétaux.
- Absorption du CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- et SO_4^{2-} , PO_4^{3-} par les micro-organismes.
- Fixation du K^+ , NH_4^+ et H^+ sur le complexe absorbant.
- Entraînement du K^+ , Na^+ , Ca^{2+} et NO_3^- par lixiviation.

b-Humification

L'humification est un ensemble des synthèses qui consistent en une construction des nouvelles molécules de plus en plus polymérisées à partir des molécules plus ou moins simplifiées obtenues par décomposition des matières végétales. Elle est à la fois biologique et physico-chimique (SOLTNER, 2000).

Cette synthèse aboutit à l'édification des composés humiques très complexe (HAYES et CLAPP, 2001 cité par BOUNOUARA, 2005).

Ces colloïdes sont fortement liés à la matière minérale, notamment les argiles, et résistant à la biodégradation (CHAMAYOU, 1984 cité par BOUNOUARA, 2005).

c-La minéralisation secondaire

C'est la destruction la plus lente (1 à 3% de la matière humifiée par ans) mais aboutissant au même résultat que la minéralisation primaire et concernant les molécules organiques préalablement synthétisées par l'humification. A l'inverse de la majorité de la matière fraîche, ces molécules sont plus stables et résistent mieux à la dégradation (GOBAT et al, 1998).

La minéralisation de la matière organique constituée essentiellement du carbone est le résultat d'un travail d'une microflore complexe, le terme ultime de cette minéralisation est la production du gaz carbonique (respiration du sol) (**DOMMERGUE et MANGENOT, 1970**).

d-Réorganisation

C'est le phénomène par lequel se transforment les minéraux issus de la minéralisation primaire en Humus.

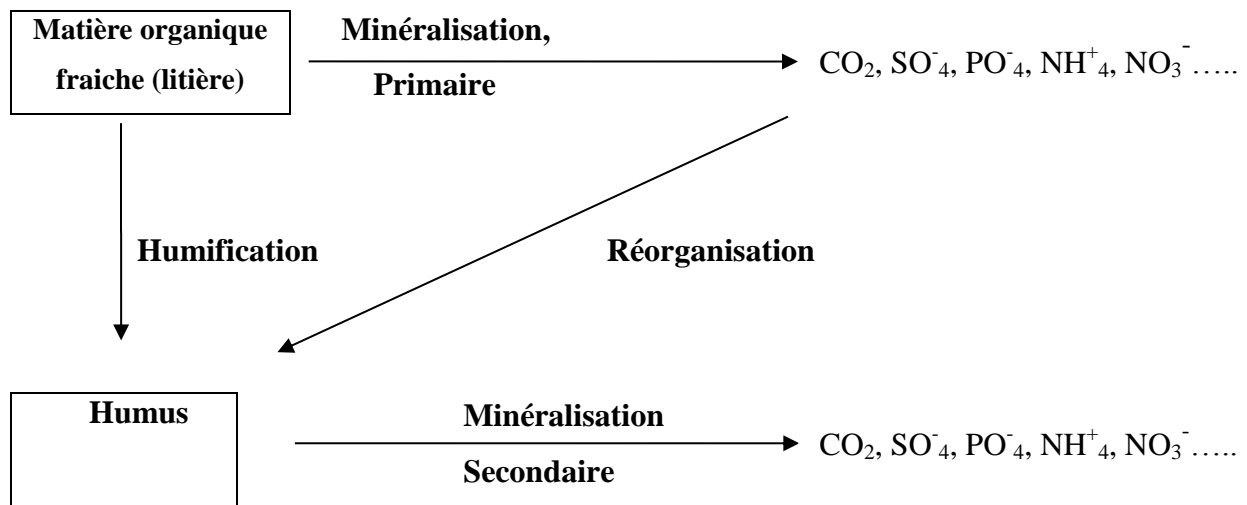


Figure 7: Schéma de formation des humus naturels (**DUCHAUFOR, 1980**).

1-4-1-5-Cycle des matières organiques dans le sol

Des matières organiques fraîches aux molécules minérales qui pourront être prélevées de nouveau par les végétaux.

selon **SOLTNER, (1986)**, le cycle peut être compartimenté dans le sol avec différentes voies d'évolution et différents degrés d'évolutions (**figure 8**).

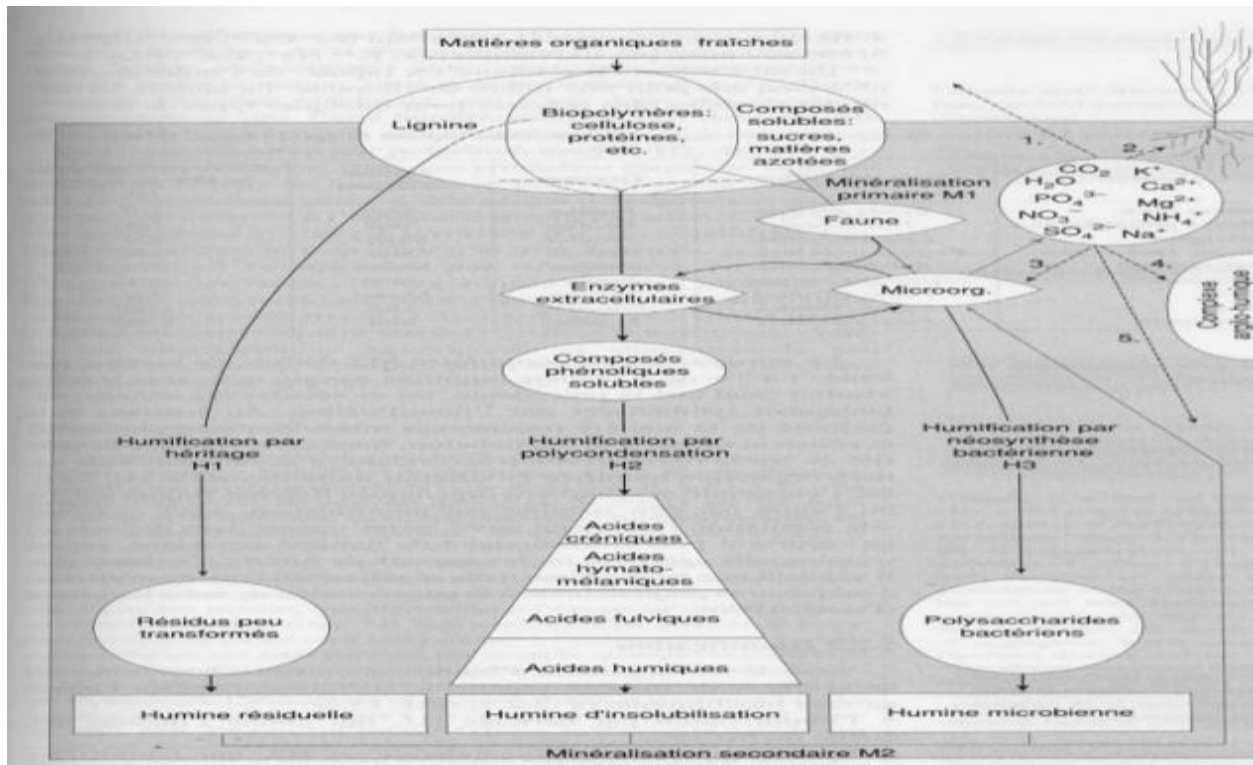


Figure 8: Principes généraux de l'évolution des matières organiques du sol (SOLTNER, 1986 modifié).

1-4-2-Le carbone organique du sol

Le carbone organique du sol provient des végétaux, des animaux et des résidus microbiens pendant tous stades de décomposition (POST et KWON, 2000).

Les végétaux y jouent un rôle important puisqu'ils ont la capacité de capter le dioxyde de carbone de l'atmosphère par le biais de la photosynthèse. Environ 50% du carbone rejoint l'atmosphère par le biais de la respiration de la plante (respiration autotrophe). L'autre moitié est assimilée par la biomasse végétale et transformée en carbone organique. Le carbone est transféré dans le sol sous forme de matière organique du sol. Cette dernière se présente sous différentes formes comme l'humus et acide humique et provient généralement de trois origines: la litière, les exsudats racinaires et le turnover racinaire (FUJISAKI et al, 2018).

Néanmoins, la respiration des microorganismes (respiration hétérotrophe) pendant la décomposition des matières organiques et la lixiviation sont parmi les causes principales de la réduction du carbone organique du sol (EPRON et al, 2006).

En conséquence, l'accumulation nette de carbone dans le sol résulte de la différence entre les intrants de la matière organique du sol (la litière, les exsudats racinaires et le turnover racinaire) et les carbones perdus par la respiration des microorganismes pendant la décomposition des matières organiques et par le transport du carbone organique dissous par écoulement d'eau (EPRON et al., 2006).

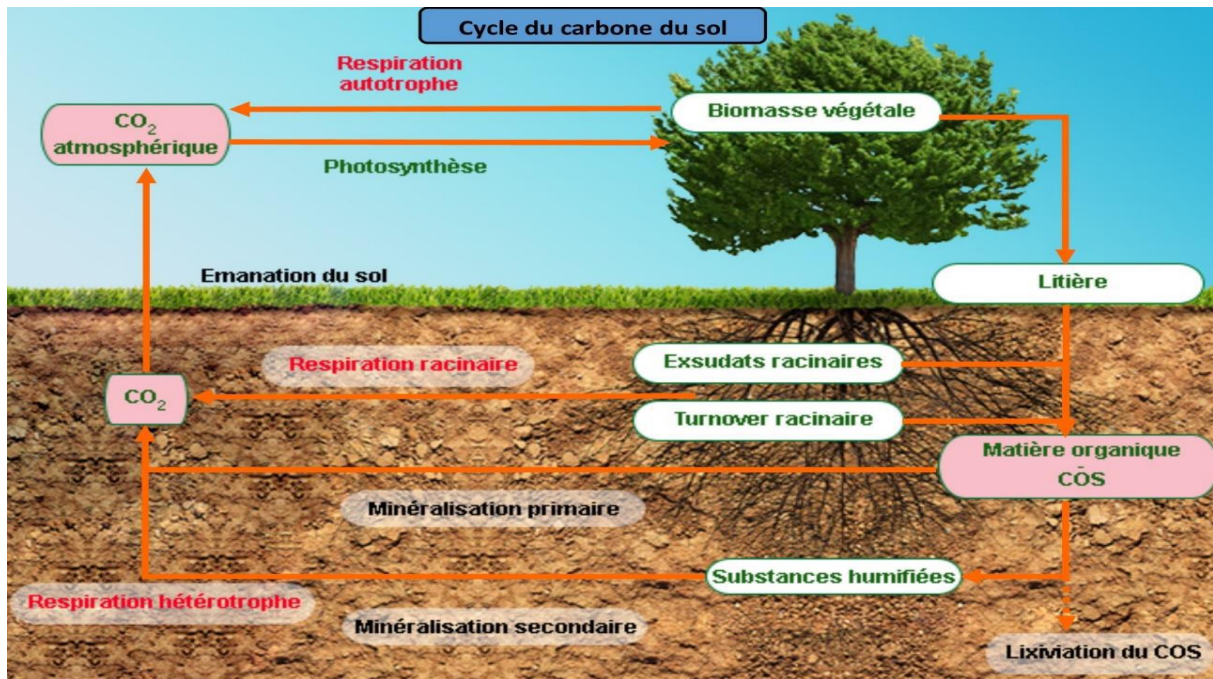


Figure 9 : Cycle du carbone organique du sol (RABEARISON, 2019).

1-4-3-L'Azote dans le sol

L'azote représente l'un des éléments chimiques majeurs qu'utilisent les plantes dans le cadre de leur nutrition minérale; c'est aussi le quatrième constituant de la masse végétale après l'oxygène, l'hydrogène et le carbone et il est utilisé dans certaines voies métaboliques telles que l'élaboration des macromolécules importantes comme les protéines, les nucléotides, les acides nucléiques et la chlorophylle (EPSTEIN cité par BADO, 2002).

Dans cet ordre d'idées, l'azote favorise l'utilisation des hydrates de carbone, stimule le développement et l'activité racinaire et favorise ainsi l'absorption des autres minéraux et la croissance des plantes (STEVENSON, 1986).

1-4-3-1-Les formes de l'azote dans le sol

L'azote est présent dans le sol sous trois formes: élémentaire, organique et minérale et dans les trois phases: gazeux, liquide et solide.

Dans la phase gazeuse du sol, la teneur en azote élémentaire (N_2) est comparable à celle de l'atmosphère. L'air du sol renferme un peu d'ammoniac et des composés oxygénés de l'azote apparaissent au cours de la dénitrification (VILAIN, 1989).

a-L'azote total

La teneur des sols cultivés (horizon de surface) en azote total est comprise entre 0.1% et 0.5%. Les abaques de fertilité, que (CALVET et VILLMINE, 1986) concernant l'azote total permettent d'établir le classement suivant :

- Sol très pauvre avec $N < 0,05\%$.
- Sol pauvre avec $0,05\% > N > 0,1\%$.
- Sol moyen avec $0,1 > N > 0,15\%$.
- Sol riche avec $0,15 > N > 0,25\%$.
- Sol très riche avec $N > 0,25\%$.

b-L'azote minéral

C'est la forme d'azote assimilable par la plante qui se présente sous forme d'ion ammoniac NH_4^+ ; Nitreux NO_2 (peu nombreux) et nitrique. Cette azote minéral dans le sol ne dépasse pas 5% de l'azote total (DOMMARGUES et MANGENOT, 1970).

Les ions ammonium se trouvent soit adsorbés sur le complexe adsorbant sous forme échangeable ou rétrogradée à l'intérieur des feuillets d'argile soient libres en faibles quantités dans la solution du sol (VILAIN, 1989).

La teneur des sols en ammonium fine ne dépasse pas quelque pour cent de l'azote total, mais il arrive que la teneur du sol en ammonium fine notamment dans les horizons atteint des valeurs très élevés : 45% et même 75% de l'azote total (DOMMARGUES et MANGENOT, 1970).

L'autre forme de l'azote minéral est la forme nitrique c'est la plus soluble qui n'existe dans le sol qu'à l'état transitoire ; elle est absorbée par les végétaux, ou éliminée par drainage (lixiviation par l'eau). Ses mouvements dans le sol sont étroitement liés a la dynamique de l'eau et interviennent dans les techniques de fertilisation (DIEHL, 1975).

L'importance de la forme minérale d'azote réside dans le fait qu'elle soit la plus exportée par les plantes, néanmoins, environ 30% d'azote minéral apporté au végétaux sont transformés en azote organique par les micro-organisme essentiellement sous forme d'aminosucres, d'autre parties sont perdues par lixiviation et surtout par volatilisation (HERBERT cité par BOUNNEAU et SOUCHIER 1979).

c-L'azote organique

Le sol est la principale source d'azote organique. Cette forme d'azote abondante reliée à la matière organique constitue une source importante non seulement de nutriments et mais aussi d'énergie du métabolisme microbien (MAGILL et ABER, 2000).

Cependant, il est difficile de prédire la structure et la quantité de N libéré de sources d'azote organique au cours de la saison de croissance. En effet, la disponibilité de N à partir des sources d'azote organique est beaucoup influencée par l'humidité et la température du sol (AGEHARA et WARNCKE, 2005).

1-4-3-2-Processus de transformation de l'azote dans le sol

Les processus impliqués dans la biodisponibilité de l'azote dans le sol sont la fixation de l'azote atmosphérique, la minéralisation, l'immobilisation, la nitrification et la dénitrification. Tous ces processus affectent le cycle de l'azote (Figure 10).

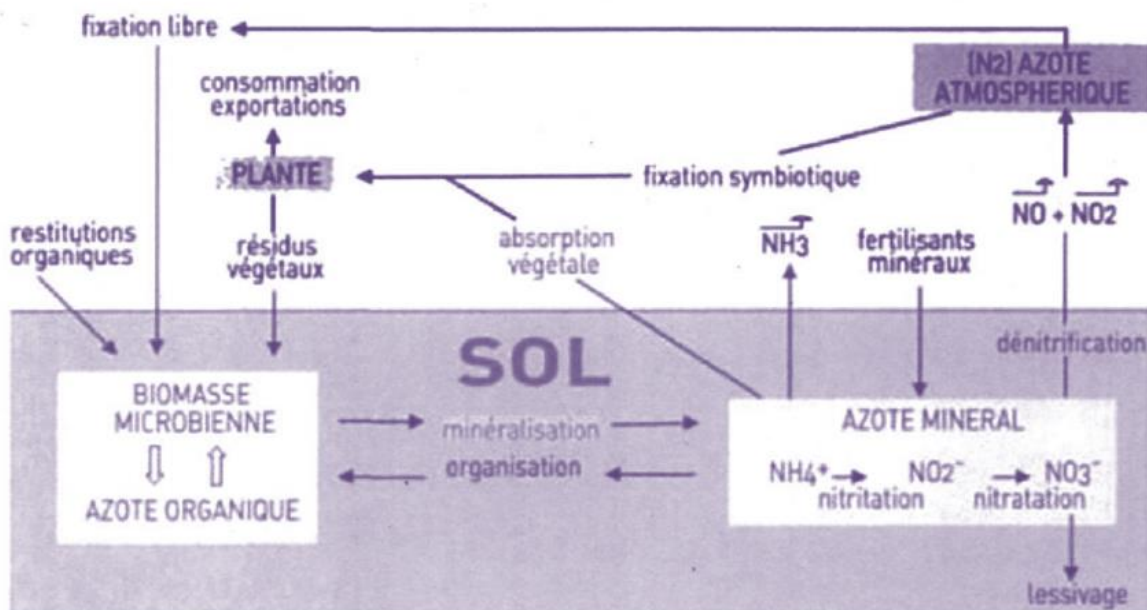


Figure 10 : Cycle de l'azote (tiré de CHAMBENOIT et al., 2002).

1-4-4- Le rapport C/N

C'est un indicateur de l'activité biologique des sols (Tableau 5). Il renseigne sur :

- Le degré d'évolution de la matière organique.
- L'activité biologique.
- Le potentiel de fourniture d'azote par le sol (minéralisation).

Tableau 5: Classement des sols en fonction de leur rapport C/N.

6	8	9	10	11	12	14	>14
Très faible	Faible	Normal			Légèremen t élevé	Élevé	Très élevé
Sol à décomposition rapide de la matière organique.		Bonne décomposition de la matière Organique				Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique	

Source: LCA, 2008

1-4-5-La faune du sol

La faune du sol ou encore appelée "pédofaune", elle comprend un grand nombre d'organismes aux caractéristiques morphologiques et physiologiques très variées. Tous ces organismes vivent dans l'espace poral du sol, où leur localisation dans les pores dépend de leur taille.

1-4-5-1-La microfaune (taille <0.2mm)

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

1-4-5-2-La mésofaune (0.2mm<taille <4mm)

Elle comprend des microarthropodes : acariens, collemboles, déclores, protoures, petits myriapodes, à cela s'ajoutent des nématodes de grande taille et des enchytréides (CALVET, 2013).

1-4-5-3-La macrofaune (4mm< taille< 80mm)

Elle est elle aussi constituée d'une très grande variété d'organismes tel que des vers, des insectes, des myriapodes, des mollusques et des araignées. Les vers de terre représentent probablement la catégorie la plus importante, tant par leur biomasse (plusieurs centaines de kilogrammes /hectare) que par leur rôle dans les processus de transport et de biotransformation se déroulant dans le sol. De nombreuses espèces possédant des caractéristiques physiologiques très variées ont été inventoriées, décrites et réparties en trois group écologiques (BOUCHE, 1972 cité par CALVET, 2013).

Les espèces épigées sont localisées près de la surface du sol, tandis que les espèces endogées vivent en profondeurs et que les espèces anéciques se déplacent dans tout le profil du sol. La biomasse de vers de terre dépend de la nature du sol, de la végétation, du climat et des pratiques culturales pour les sols cultivés. Elle est de 30g à 100g/m², les petites valeurs étant observées sous les climats froids et tropicaux et les plus élevées dans les milieux tempérés (Lavelle et Spain, 2001cité par CALVET, 2013).

Les systèmes de culture tendant à maintenir ou à augmenter la quantité de matières organiques dans le sol conduisent à des biomasses de vers de terre plus grandes que dans les systèmes conventionnels (PELOSI et al, 2 009cité par CALVET, 2013).

Chapitre 1:..... Etat de lieu sur le sol et ces propriétés

Les besoins en eau des vers de terre font qu'ils se déplacent plus ou moins en profondeur selon l'état de sécheresse de la surface du sol. Il ingèrent de grandes quantités de terre, assurent un étroit mélange entre les minéraux et les matières organiques et on ainsi une influence marquée sur l'activité des micro-organismes du sol.

1-4-5-4- La mégafaune (80mm<taille)

Ce sont les animaux de grande taille (vertébrés, reptiles, amphibiens) qui utilisent le sol comme habitat (CALVET, 2013).

Tableau 6 : La faune du sol :ordre de grandeur par famille (R.CHAUSSOD, 1996 et M.C GIRAD et al ., 2005 in (CALVET,2013).

		Nombre d'espèces	Taille	Abondance	Biomasse g/m ²	Fonctions	Régime alimentaire
Microfaune	protozoaires	68	0.2mm	10 ³ à 10 ¹¹ /m ²	6 à >30	microphages consommateurs de colonies	champignons, bactéries, débris
	nématodes	65	0.1 à 5 mm	10 ⁶ à 10 ⁸ / m ²	1 à 3	bactériennes action de prédation stimulant le renouvellement de la microflore.	organiques, algues.
Mésafaune	Arthropodes inférieurs (collemboles, acariens..)	140	0.2 à 4 mm	2x10 ⁴ à 4x10 ⁵ / m ²	0.2 à 400	broyeurs de feuilles.	résidus de végétaux, algues, champignons et bactéries.
	Enchytréide (annélides)	36					
Macrofaune	Taupe, hérisson, lombrics, araignées,	11	3 à 30 cm	10 à 10 ³ / m ²	20 à 400	fragmentation de la matière organique + brassage avec matière minérale.	résidus de végétaux, cadavres d'invertébrés, champignons et bactéries.
	Myriapodes, Fourmis,.....	6	>1	20 à 700 /m ²	0.5 à 12.5		

Source: (R.CHAUSSOD,1996 et M.C GIRAD et al ., 2005(CALVET,2013)

1-2-5-3- La flore du sol

La flore du sol :ordre de grandeur par famille d'après (R.CHAUSSOD,1996 et M.C GIRAD et al ., 2005 in (CALVET, 2013).

Tableau 7: La flore du sol (ordre de grandeur par famille).

	Nombre d'espèces	Taille	Abondance	Biomasse g/m ²	Fonctions»	Régime alimentaire
Bactéries	10 ⁴	0.01 à 0.05 mm	10 ⁸ à 10 ⁹ /g de sol	2 à 200	indispensables aux cycles du C et de N	Matière organique et N atmosphérique.
Champignons		< 1 micron	10 ⁴ à 10 ⁶ /g de sol	100 à 150	dégradation de la M.O.	résidus végétaux, parasite, symbiote mycorhizien.
Algues		0.2 mm	10 ² à 10 ⁴ / g de sol	5 à 20	synthèse de M.O à partir de M.M. et CO ₂ .	

Source: R.CHAUSSOD, 1996 et M.C GIRAD et al, 2005 in (CALVET,2013)

1-5-Conclusion

Le sol est system complexe, composé des phases liquide, solide et gazeuse en interface avec l'atmosphère, la lithosphère et l'hydrosphère. Il est défini par sa texture (proportion relative des différent constituants minéraux et organiques, tels que sable, limon, argile, complexe argilo-humique, microflore et microfaune) et sa structure qui représente l'organisation spatial de ces différents constituants (RIVIERE, 1998).

Les sols ont des propriétés chimique et physique critiques dont dépend leur capacité de fournir les éléments minéraux, l'eau et les autres facteurs nécessaires à une production végétale optimale (BRUAND et al, 2003).

La relation symbiotique entre les sols et la végétation est plus manifeste dans le secteur agricole: la sécurité alimentaire et la nutrition dépendent de sols sains. La teneur en nutriments des tissus des plantes est directement liée à la teneur en éléments nutritifs du sol et à sa capacité à favoriser l'échange d'éléments nutritifs et d'eau avec les racines des plantes. De la même façon, la croissance des plantes est influencée par les propriétés physiques du sol telles que sa texture, sa structure et sa perméabilité.

De même, les cultures protègent le sol contre les agents d'érosion des sols (comme l'eau et le vent), améliorent la structure du sol grâce à la formation des racines, et enrichissent les éléments nutritifs du sol en fournissant de la matière organique.

CHAPITRE 2:
Etude du milieu physique

Chapitre 2 : Etude du milieu physique

2-1-Situation géographique de la région de M’Cif

La commune de M’Cif est l’une des communes limitrophes du chott El Hodna. Elle se situe au Sud-Est de la wilaya de M’Sila et présente une superficie de 59320 ha (**figure 11**).

Selon (**DSA, 2004**), l’agriculture occupe à peu près les deux tiers de la superficie (environ 28323 ha) de la commune de M’Cif.

Elle est limitée:

- ✓ Au Nord : par les commune d’Ouled Madhi et Soumâa.
- ✓ Au Sud : par la commune de Houamed.
- ✓ A l’Est : par la commune de Abd Elkader Azil wilaya de Batna.
- ✓ A l’Ouest par la commune de Khoubana.

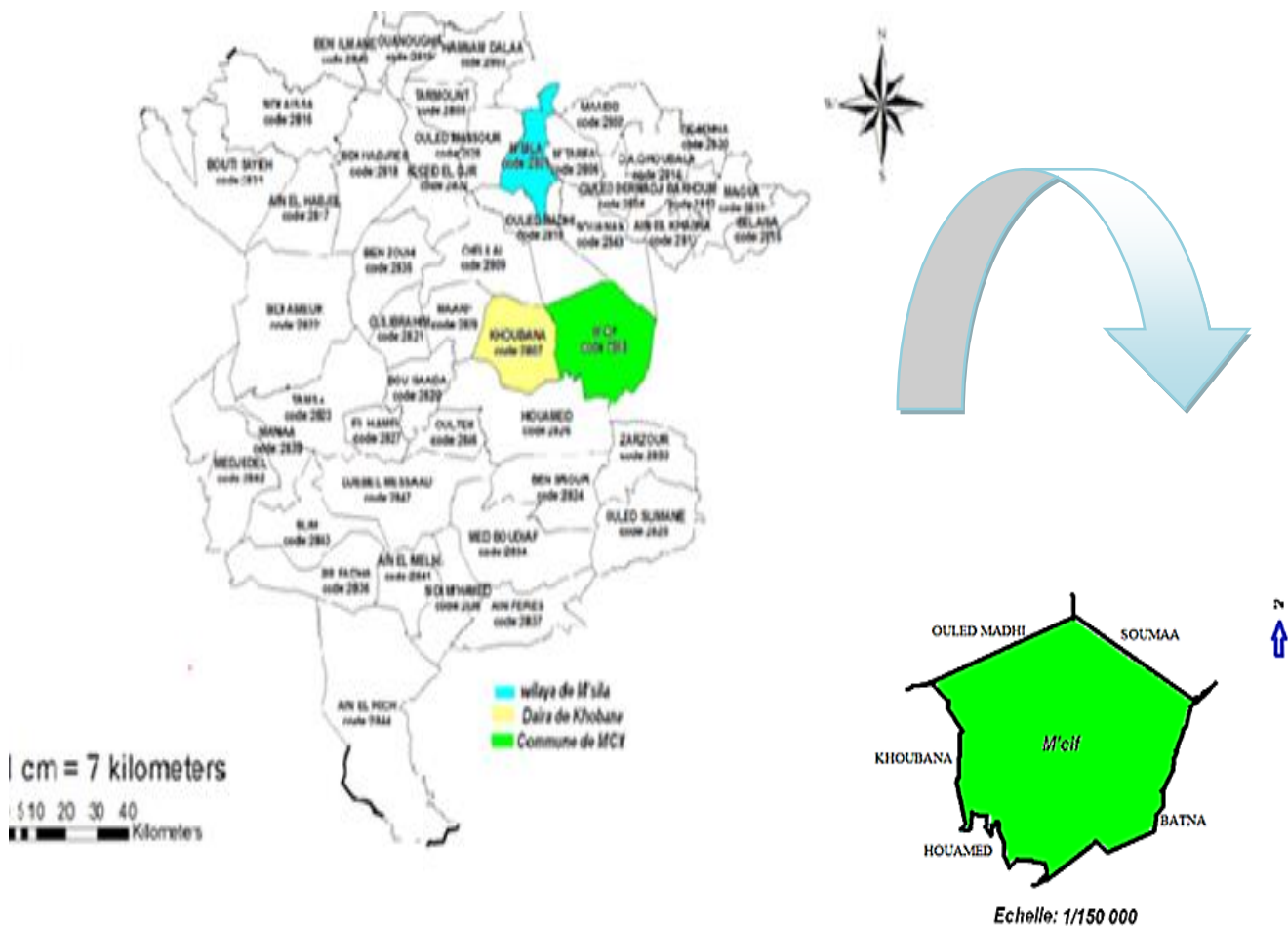


Figure 11: Localisation géographique de la commune de M’Cif (B N D R, 2005).

2-2-Climat de la zone d'étude (M'Cif)

MIMOUNE (1995), expliqua que le climat est un facteur principal de l'environnement, et il présente des actions indirectes et directes sur le sol, sa formation et évolution. Avec ses composantes, il peut toucher la faune, la flore, les autres constituants du sol ainsi que l'érosion qui le dégrade.

La caractérisation climatique de notre zone d'étude se base sur les données provenant de la station météorologique de Boussaâda (la station météorologique la plus proche de M'Cif) sans extrapolation (pas de différence remarquable d'altitude entre M'Cif et cette station) durant la période (1994-2016).

Dans notre étude climatique, on s'est basé sur certains facteurs; à savoir: température, précipitation, vent, humidité relative, évapotranspiration et ensoleillement.

2-2-1-Température

La température est un élément essentiel pour déterminer le climat d'une région; elle joue un rôle essentiel dans la formation et l'évolution d'un sol, ainsi que sur ces propriétés physiques, chimiques et biologiques.

2-2-1-1-Températures (moyennes mensuelles, minimales et maximales) en (°C)

Le tableau 1 de l'Annexe 1 et la figure 12, montrent que la température maximale est enregistrée au mois de **Juillet** avec (31.57°C), alors que la température minimale se rencontre au mois de **Janvier** avec (3.10°C).

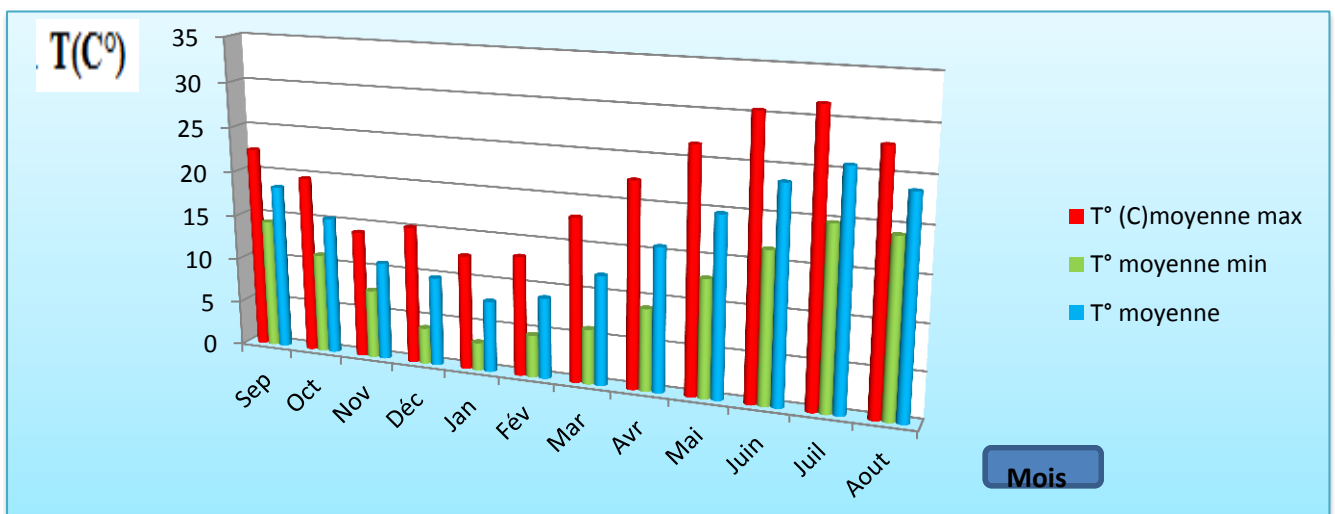


Figure 12:Températures (moyennes mensuelles, minimales et maximales) en (°C) de M'Cif pendant la période (1994-2016).

2-2-1-2-Variation saisonnière de la température en (°C)

En se référant à la **figure 13** et au **tableau 2 de l'annexe 1**, il semble y avoir une différence nette entre les températures **d'Hiver** et **d'Eté (8.91°C et 24.33°C)** d'une part et d'autre part un rapprochement entre les températures **d'Automne** et **de Printemps (14.88°C et 15.89°C)**.

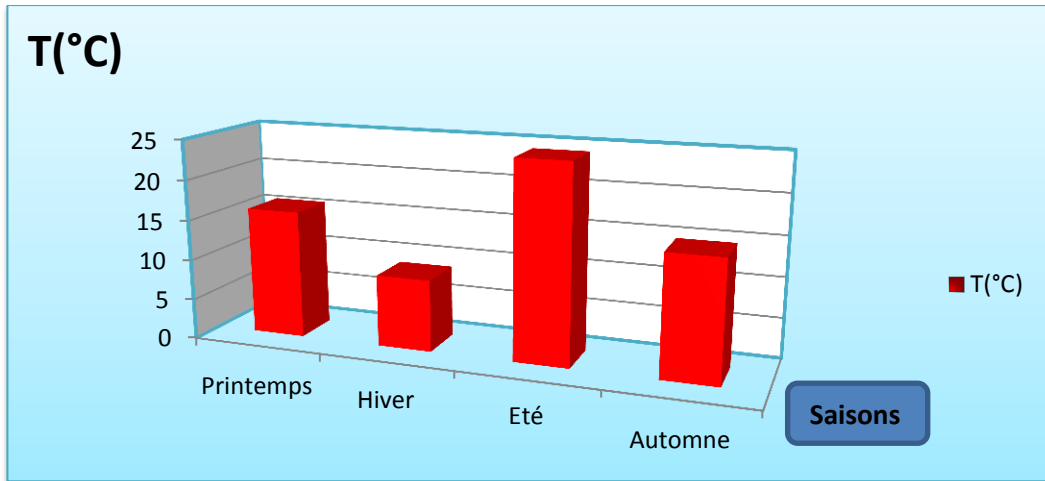


Figure 13: Variation saisonnière de la température en (°C) mensuelle de M'Cif pendant la période (1994-2016).

2-2-2-Précipitation

La pluie (précipitation) est un facteur climatique très important qui caractérise le climat de n'importe quelle région; elle joue un rôle prépondérant dans les propriétés physiques chimiques et biologiques du sol.

La pluviosité augmente avec l'altitude et diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer (**ABDELHAMID, 2016**).

2-2-2-1-Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm)

A partir de **tableau 3 de l'annexe 1** et la **figure 14**, on remarque quel mois le plus arrosé est celui de **Septembre** avec une précipitation moyenne mensuelle de **(24.82mm)**; alors que celui le mois faible arrosé est **Juillet** avec une précipitation moyenne mensuelle de **(4.75 mm)**.

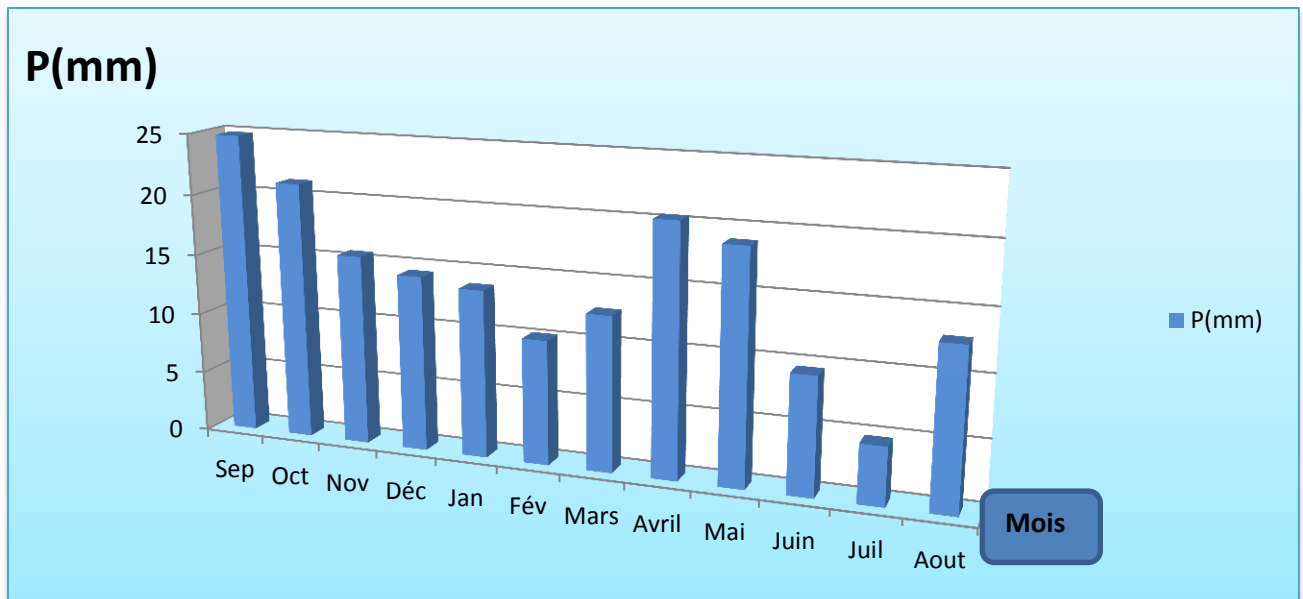


Figure 14: Variation moyenne mensuelle des précipitations en (mm) de la zone de M'cif pendant la période (1994-2016).

2-2-2-2-Variation saisonnière de la pluviosité

La **figure 15** ainsi que le **tableau 4** de l'**annexe 1**, indiquent que les saisons les plus pluvieuses sont l'**Automne (20.54 mm)** et le **Printemps (17.32 mm)**, par contre les saisons moins arrosés sont l'**Hiver (12.78 mm)** et l'**Eté (9.10 mm)**.

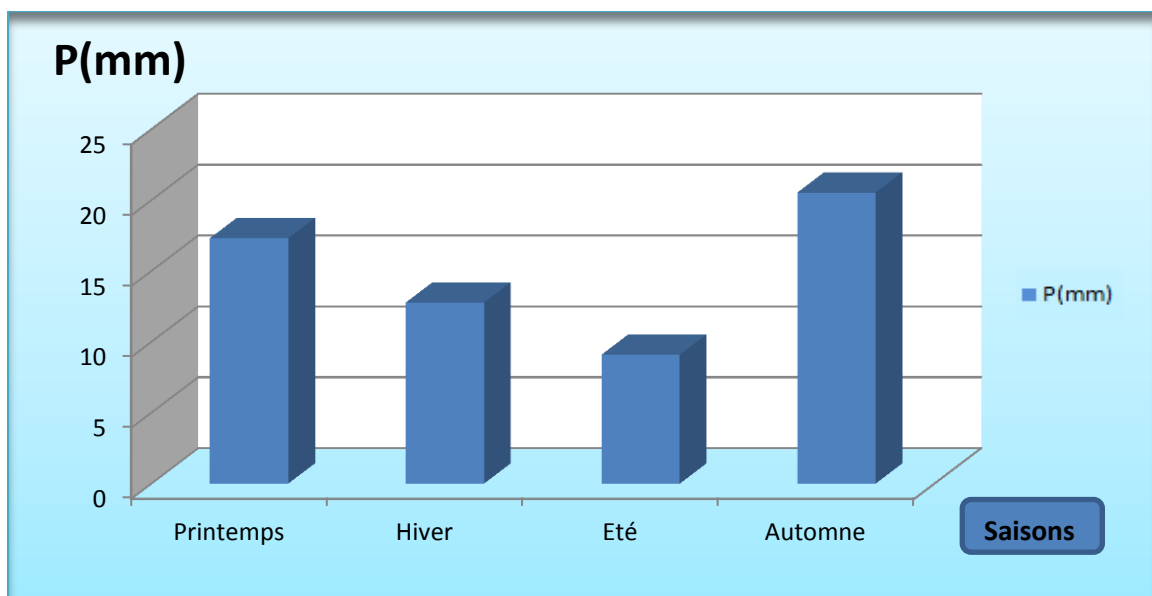


Figure 15: Variation saisonnière de la pluviosité en (mm) de M'Cif pendant la période (1994-2016).

2-2-3-Classification climatique de la région d'étude (M'Cif)

2-2-3-1-Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен est utilisé pour déterminer la période sèche et la période humide de la région d'étude.

Pour Gausсен et Bagnouls le climat sec est celui dont $P \leq 2T$ °C. Cette relation permet d'établir un graphique Ombrothermique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.

Lorsque la courbe représentant les précipitations passe au-dessus de la courbe de température; il s'agit d'une période excédentaire (humide). Alors que l'inverse indique la période déficitaire (sèche).

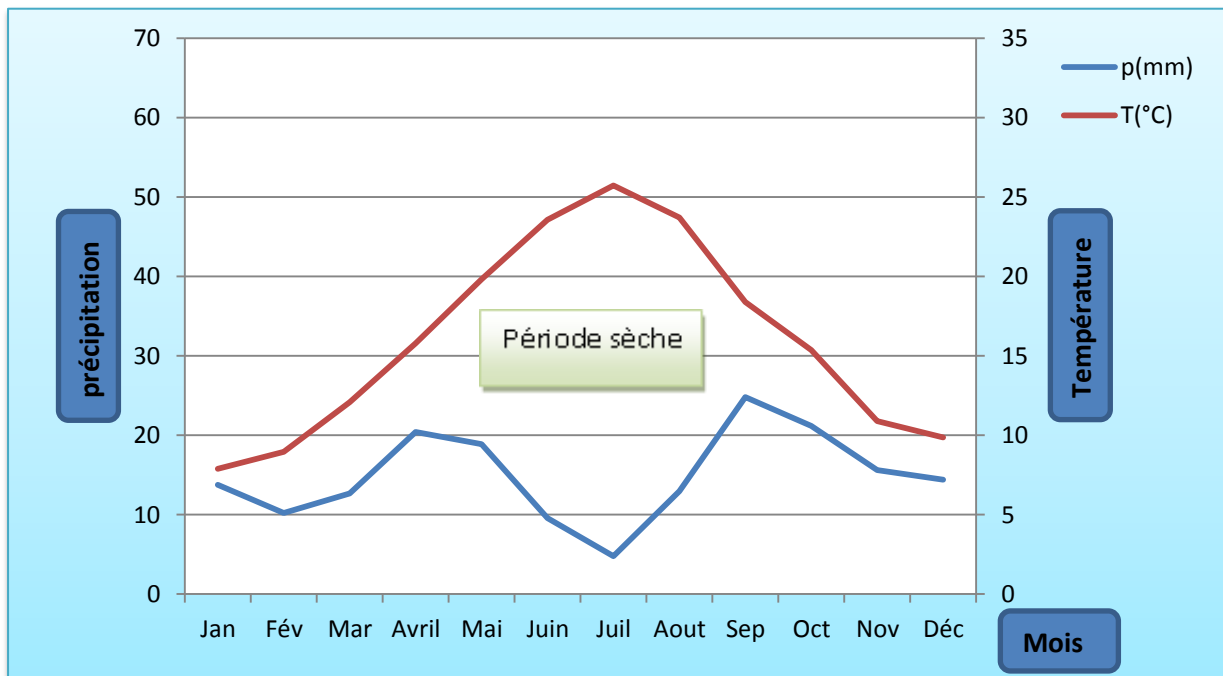


Figure 16: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la zone de M'cif pendant la période (1994-2016).

Le diagramme établi pour la zone de M'cif (tableau 5 de l'annexe 1 et aussi figure 16) montre clairement que la période sèche s'étale tout au long de l'année.

2-2-3-2-Climatogramme d'Emberger :

Le diagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude et de donner une signification écologique du climat.

Le quotient tient compte des précipitations et des températures, il est déterminé comme suit :

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

Ou:

Q2 ;le quotient pluviométrique d'Emberger .

P: Précipitation annuelle en (mm).**M:** Température du mois le plus chaud en °K.

m: Température du mois le plus froid en °K. Sachant que : $T^{\circ K}=T^{\circ C}+273$.

Donc :

$M= 31.57+273=304.57^{\circ K}$.

$m=3.10 +273=276.1^{\circ K}$.

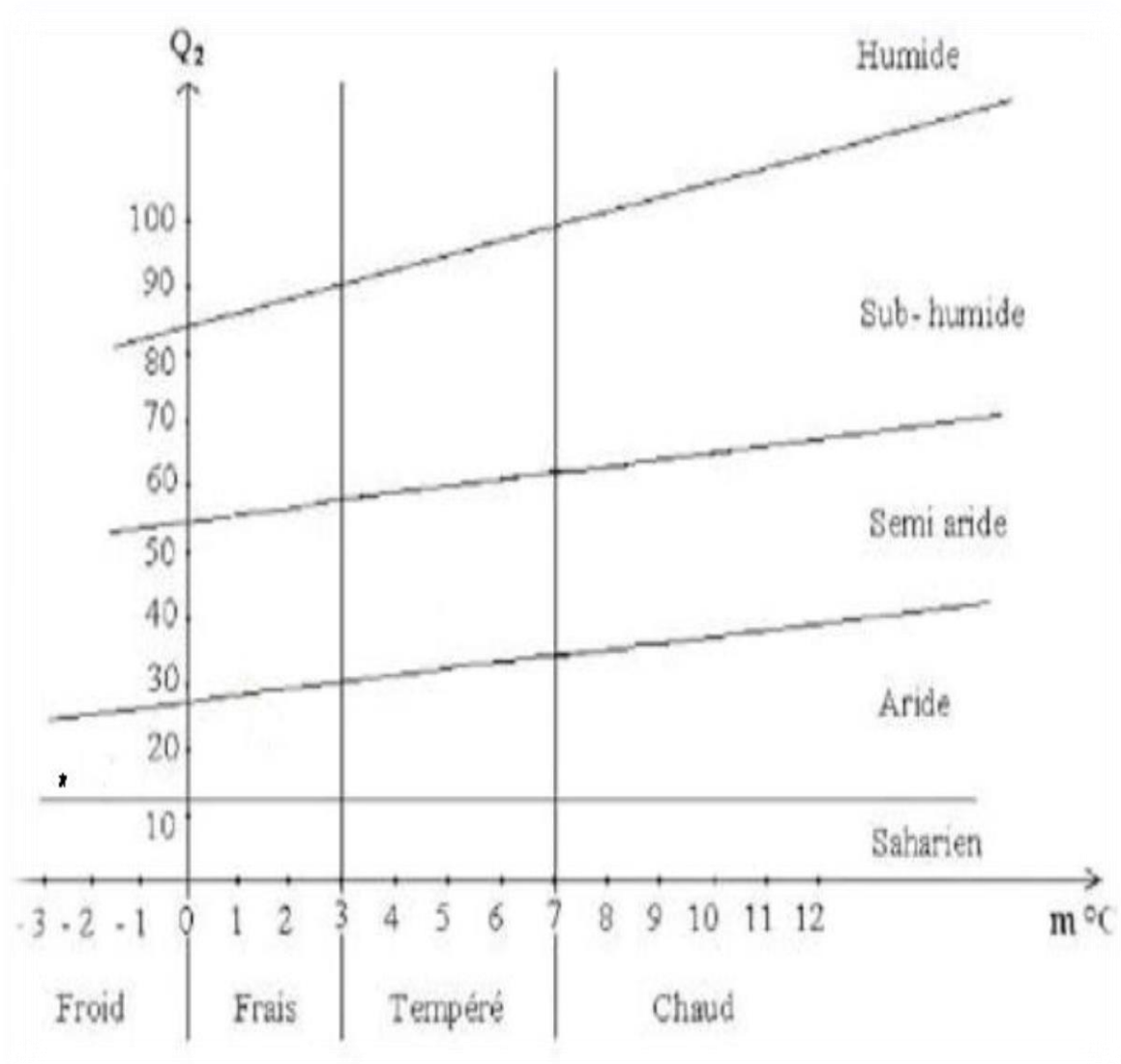


Figure 17: Positionnement de la zone de M'Cif dans le Climatogramme d'Emberger pendant la période (1994-2016).

La **figure 17** ainsi que le **tableau 6** de l'**annexe 1**, indique que le climat de la zone de M'Cif appartient à l'étage bioclimatique **aride à hiver tempéré**.

2-2-4-Le vent

D'après (**MEBARKIA, 2011**), le vent influé sur la température, l'humidité et l'évaporation, la direction, la fréquence et la vitesse du vent est variable au cours de l'année.

La **figure 18** ainsi que le **tableau 7** de l'**annexe 1**, indiquent que la vitesse moyenne du vent de la région d'étude durant la période (2004-2016) varie de (**1.29 m/s**) au mois d'**Octobre** à (**3.58 m/s**) pour le mois **Mars**.

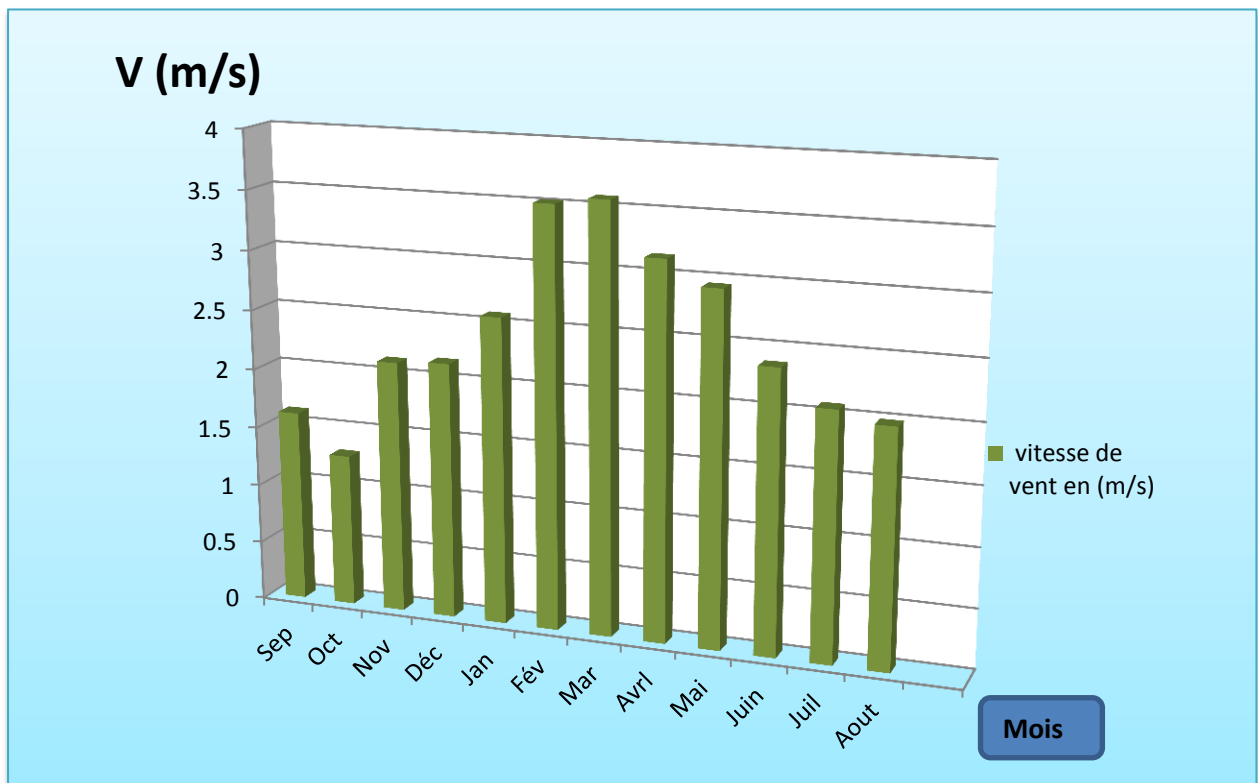


Figure 18: Variations des vitesses moyennes mensuelles des vents en (m/s) de la région de M'Cif pendant la période (2004-2016).

2-2-5-Humidité relative de l'air

L'humidité relative est définie comme le rapport entre la quantité de vapeur d'eau qu'un volume contient à une température donnée (humidité absolue) et la quantité maximale de vapeur d'eau ce même volume peut contenir à la même température (humidité à saturation) (**LAFFONT, 2015**).

L'humidité relative de l'air est la proportion de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère par rapport à la quantité maximale qui peut être fixée à une température considérée. C'est un paramètre essentiel pour les calculs des besoins des cultures en eau.

Dans notre cas et en se référant à la **figure 19** ainsi que le **tableau 8** de l'**annexe 1**, on remarque que l'humidité relative de l'air au niveau de la région d'étude s'élève durant le mois de **Janvier** presque égale à (**68.43%**), tandis qu'elle atteint (**32.42%**) durant le mois de **Juillet**.

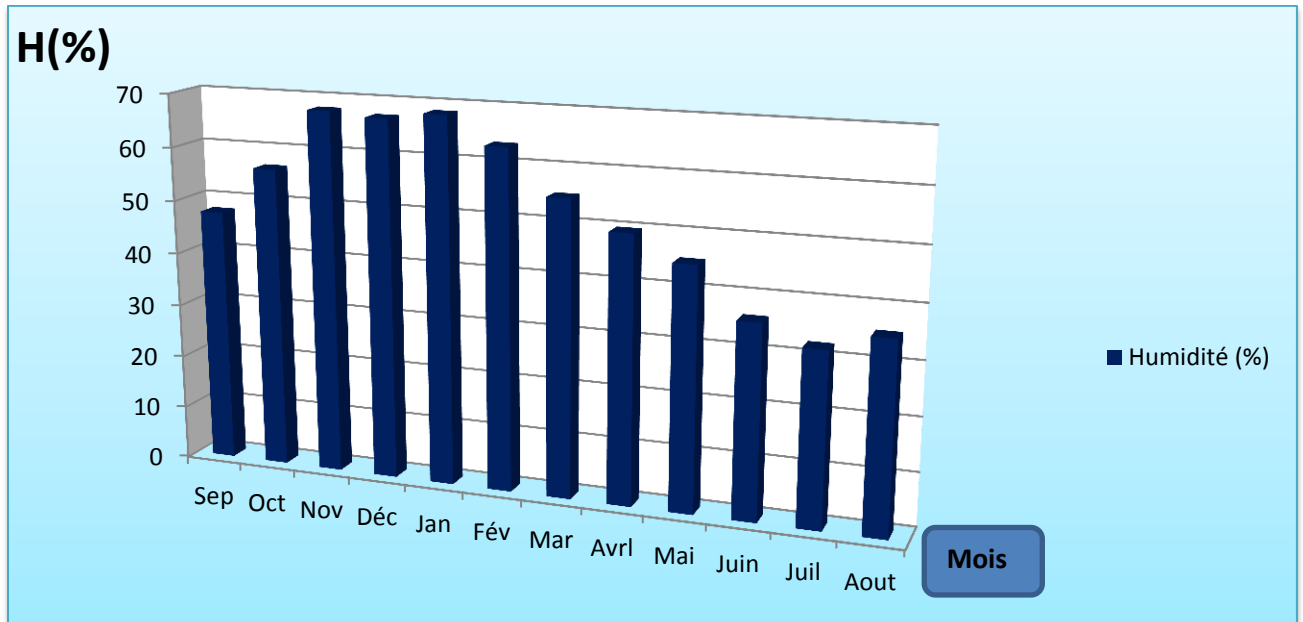


Figure 19: Humidité relative mensuelle en % de la zone **M’Cif** pendant la période (**2004-2016**).

2-2-6-Evapotranspiration potentielle

Evapotranspiration potentielle est une caractéristique climatique au même titre que les autres éléments du climat (rayonnement, pluie, vent, température,), il traduit la demande en eau que le climat impose aux surfaces évaporantes (**HALIMI, 1980**).

L'évapotranspiration augmente et ce phénomène s'accompagne des fortes remontées des sels par ascension capillaire.

On remarque (**figure 20** ainsi que le **tableau 9** de l'**annexe 1**), que l'évapotranspiration atteint son taux maximal au mois de **Juillet** avec (**175.64 mm**), alors que le minimum a été mentionné au mois **Janvier** avec (**14.12 mm**).

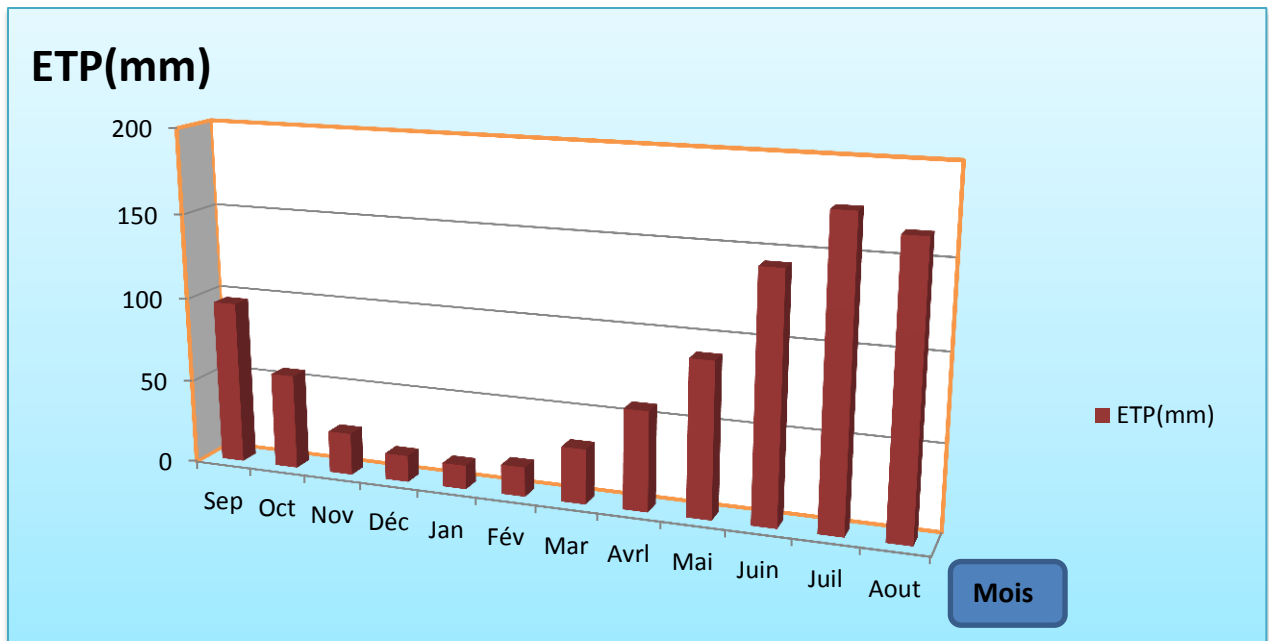


Figure 20: Evapotranspiration mensuelle moyenne de M'Cif selon la méthode de Thornthwaite pendant la période (1994-2016).

2-2-7-Durées d'ensoleillement

L'ensoleillement est la durée pendant laquelle un lieu subit le rayonnement direct du soleil. Il dépend de la position géographique du lieu (latitude) et de la nébulosité. Le climat lumineux d'un lieu dépend de la durée, de l'horaire de distribution, de l'intensité et de la qualité de l'insolation (**LEBOURGEOIS, 2010**).

Les végétaux utilisent la lumière pour la photosynthèse mais aussi régler leur développement (**SUTY, 2014**).

La lumière agit sur trois processus qui conditionnent la croissance des plantes : la photosynthèse, la photo morphogénèse et le photopériodisme (**SUTY, 2014**).

On remarque (**figure 21** ainsi que le **tableau 10** de l'**annexe 1**) que la durée maximale d'ensoleillements a été enregistrée au mois de **Juin** avec (**320.14h**), tandis que celle minimale au mois **Décembre** avec (**153.87h**).

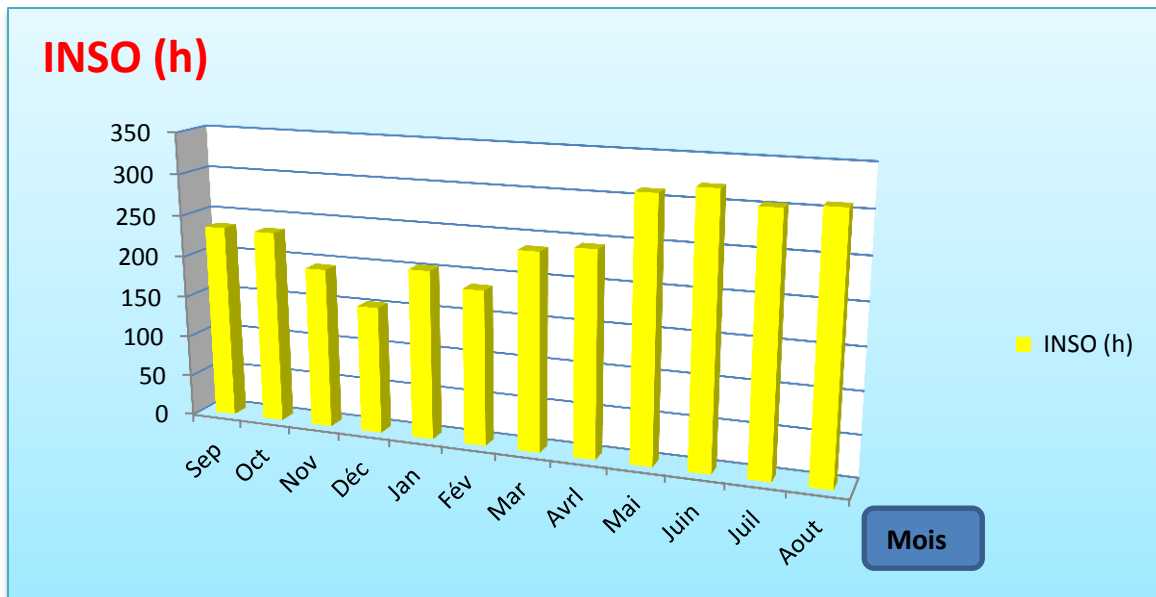


Figure 21: Valeurs moyennes mensuelles des durées d'ensoleillements de M'Cif pendant la période (2004-2016).

2-3-Géomorphologie de la zone d'étude

La géomorphologie de la zone d'étude est considérée comme typiques des régions arides, les versants modèles dans le substratum géologique laissent apparaître très facilement leur structure en raison de la faible épaisseur des sols et la faible densité du couvert végétal (POUGET, 1980).

Trois unités morphologiques peuvent être distinguées dans la commune, il s'agit de:

2-3-1-Relief montagneux

Il est situé au Sud- Ouest de la commune de M'Cif. Il se caractérise par un relief montagneux moyen avec une altitude qui varie de 700 à 1000 m. Il s'agit d'une part d'un relief fort disséqué par une série de talwegs et Chaabets qui déterminent de nombreuses vallées encaissées, et d'autre part d'un relief accidenté du fait des lignes de crêtes ou sommets de croupes allongées en toutes directions le long des versants, la pente est supérieure à 25 %.

Les points hauts du relief ou des djebels sont façonnés dans les roches dures calcaires plus ou moins dolomitiques et les grés. Ils forment des corniches, rectilignes sur des longueurs considérables.

2-3-2-Zone d'accumulation

Elle couvre de vastes superficies de part et d'autre de l'Oued El Maleh et M'Cif. Il s'agit d'une plaine façonnée dans les formations du quaternaire récent et actuel se rapportant pour l'essentiel à des dépôts colluviaux et alluviaux relativement fins.

2-3-3-Zone d'ensablement

Sont strictement limitée à la plaine bordière du Chott El-Hodna. Ce sont généralement des sables quartzeux, fins, de couleur ocre souvent chargée en matériel argileux.

Ces formations sont de type, d'âge et de nature différentes, anciennes et fixées ou mobiles. Elles proviennent des grés barrémiens qui affleurent largement, ce qui explique leur origine. La morphologie des formations éoliennes rencontrées est différente, il s'agit de nebkas et de micro dunes. Les nebkas sont des accumulations de sable éolien arrête par des touffes de végétation ou des blocs rocheux.

2-4-Topographie et pente de la région de M'Cif

La topographie de la commune de M'Cif est caractérisé par:

2-4-1-Plaine

Elle occupe une grande superficie et une faible altitude comprise entre 400 et 500 m, et une faible pente de 0.3. C'est une partie du Chott El-Hodna.

2-4-2-Zone montagneuse

Concerne les massif de Djebel M'harga qui s'étend du sud à l'est de la limite de la commune elle est caractérisé par une forte altitude comprise entre 500 et 900 m et une forte pente entre 20 et 60%, cette zone joue un rôle important dans la protection contre les vents de sable notamment dans la création d'une micro climat nécessaire pour une bonne exploitation agricole dans la région.

Tableau 8: Répartition des superficies par classe de pente (dans la zone de M'Cif).

Classes	Superficies (ha)	Superficies (%)	Observation
0 à3	48070	80	Favorable au développement agricole
3 à 12,5	5980	10	Favorable a l'aménagement pastoral
12,5 à 25	1302	3	Domaine des parcours et l'arboriculture
> 25	3968	7	Vocation naturelle pastorale
Total	59320	100	/

Source : B N D R, (2005)

Le **tableau 8**, indique que 80% de la superficie totale de M'Cif (**48070ha**) sont de faible pente (**0.3 à 3**). Ils sont favorables au développement agricole et le reste est répartie

entre domaine des parcours, terrain à vocation naturelle pastorale et favorables à l'aménagement.

2-5-Pédologie de la zone d'étude

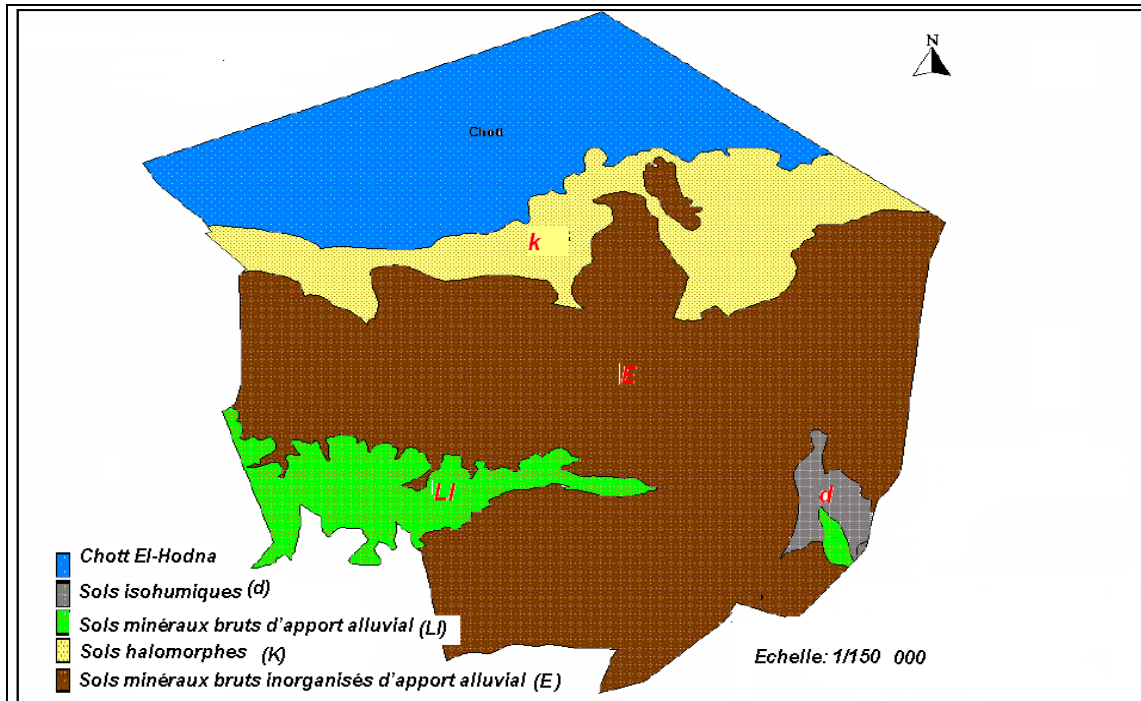


Figure 22: Carte des unités pédologiques de la commune de M'cif (B N D R, 2005).

Selon l'étude pédologique de (B N D R, 2005), les sols de la commune du M'cif sont les suivants (figure 22):

2-5-1-Les sols isohumiques (d)

Les sols isohumiques sont caractérisés par une teneur progressivement décroissante dans des profils de la matière organique. Le sol est riche en cations bivalents; l'argile est de type 2.1 et la matière organique est riche en acides humiques.

2-5-2-Les sols minéraux bruts d'apport alluvial (LI)

Ce sont des sols très peu évolués, constitués de profils de type (A) C, (A) R ou R. La matière organique se trouve sous forme de traces dans les 20 cm supérieures, et peut atteindre 1 à 1.5% dans les 2 à 3 cm supérieurs.

2-5-3-Les sols halomorphes (k)

Sont dits "intra zonaux". Ils couvrent des superficies peu importantes, ils sont formés en présence de sels (sodium et magnésium). Le sel présent dans le profil freine l'activité biologique à cause de la dispersion des colloïdes. Les sols halomorphes sont donc

difficilement utilisables sur le plan agronomique mais peuvent être dessalés par des procédés appropriés. Elle peut être liée à la présence d'une nappe salée ou résidus de sel dans la roche.

2-5-4-Les sols minéraux inorganisés d'apport alluvial (E).

Ils occupent la région du R'mel (sable), ils ont une couleur jaune brunâtre à brun jaunâtre.

2-6-Occupation du sol

Selon la carte de l'occupation du sol réalisée par conservation des forêts les sols de la zone d'étude peuvent être regroupés dans le **tableau 9 et figure 23**:

Tableau 9: Occupation des sols de la zone de M'Cif

M'cif	Terres cultivées	Parcours steppiques	Parcours sahariens	palmeraie	Chott	Maquis clairs
	6518 ha	4584 ha	30846 ha	25,3 ha	17099 ha	272 ha
	11%	8%	52%	0,04%	28%	0,47%

Source: B N D R, (2005)

2-6-1-Parcours Sahariens

Les parcours occupent la majeure partie du territoire de la commune de M'Cif avec 30846 ha soit 52% de la superficie

Ces parcours sont composés des espèces suivantes : *Arthrophytum schmittianum* , *Salsola vermiculata* , *Thymelea microphylla* , *Artemisia herba alba* , *Suaeda mollis*, *Tamarix articulata*, *Colocynthis vulgaris*, *Peganum harmala*, *Ziziphus lotus*, *Aristida pungens* .

2-6-2-Parcours steppiques

Les parcours de la commune occupent une aire de 4584 ha soit 8% de la superficie totale de la commune. Ils sont composés des espèces suivantes : *Juniperus phoenicea*, *Stipa tenacissima*, *Astragalus armatus*.

2-6-3-Chott

Avec une superficie de 17099 ha soit 28%, le Chott d'el Hodna occupe une bonne partie de la commune, toute cette partie est inapte à l'agriculture.

2-6-4-Terres cultivées

Composée essentiellement de culture annuelle (céréale), culture maraichère (tomate, piment) et quelque espèce arboricole (grenadier, abricotier et viticulture), toutes ces cultures occupent les alentours de chef-lieu de la commune, ils sont parfois en intercalaire avec le palmier dattier, ils représentent seulement 11% de la superficie totale.

2-6-5-Palmeraie

La superficie Phœniciculture est très faible avec un pourcentage de 0,04%, cette palmeraie se situent aux alentours du chef-lieu de la commune.

2-6-6-Maquis clairs

Les maquis résultent de la dégradation des forêts, avec une évolution régressive de l'espèce dominante et l'envahissement des terres par une végétation à base de *juniperus phoenicea* et de *Stipa tenacissima*. Ces espèces occupent la partie accidentée de la commune avec une superficie de 271 ha soit 0,47%.

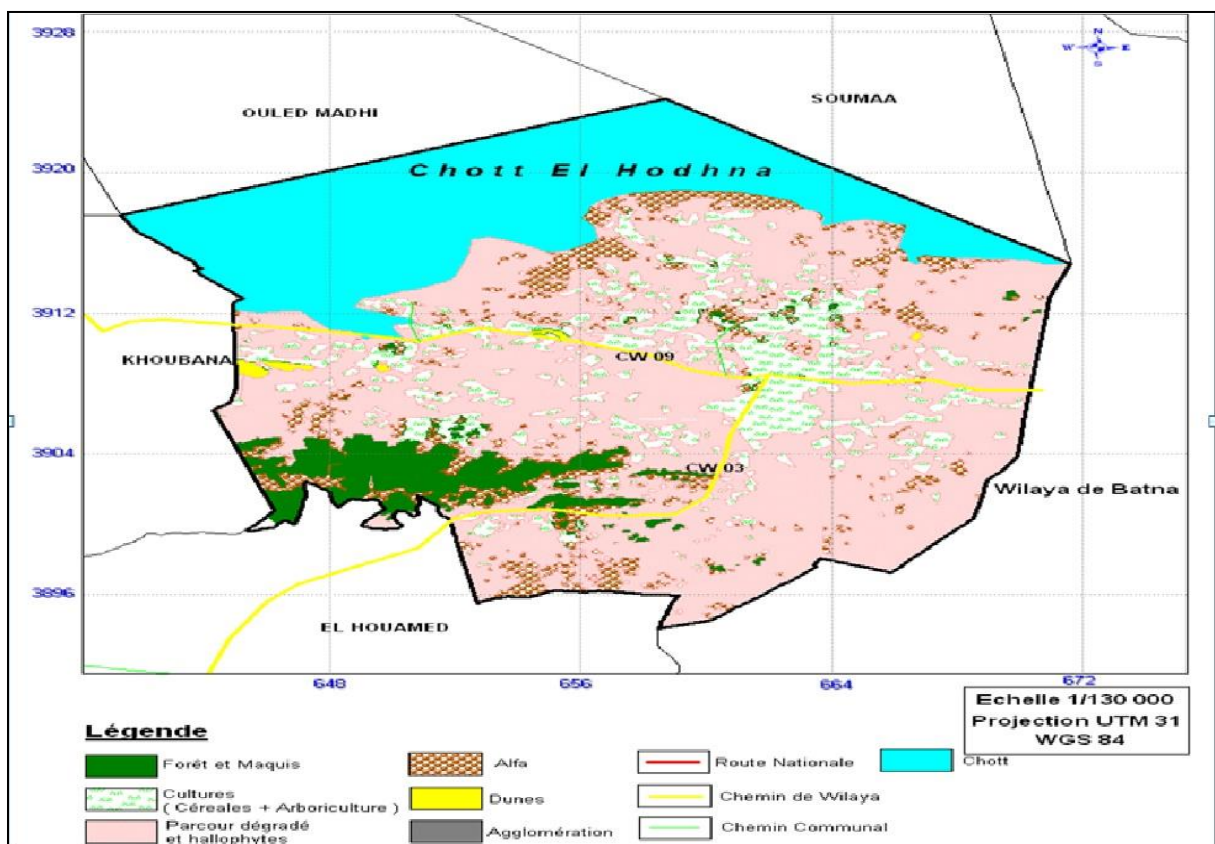


Figure 23: Carte d'occupation du sol de M'Cif (B N D R, 2005).

2-7-Ressources Hydriques de la zone de M'Cif

2-7-1-Hydrogéologie de la zone de M'Cif

La nappe quaternaire d'El Hodna constitue la principale nappe de la commune de M'Cif, ces grandes potentialités en eau sont mal exploitées (forage illégal, surexploitation de la nappe), selon les données de l'A.N.R.H (2006) de la wilaya de M'Sila il existe 100 forages illégaux destinés à l'agriculture.

Tableau 10: Caractéristiques des ressources en eaux souterraines de M’Cif

Eaux souterraines	Nombre	Profondeur	Débit
Puits	10	20 m	3l/s
Forage	3	16 m	49l/s

Source : A.N.R.H (2006)

2-7-2-Hydrologie de la commune de M’cif

La commune de M’Cif est traversée par un réseau hydrographique peu développé avec seulement Oued de M’Cif qui déverse dans le chott (**figure 24**).

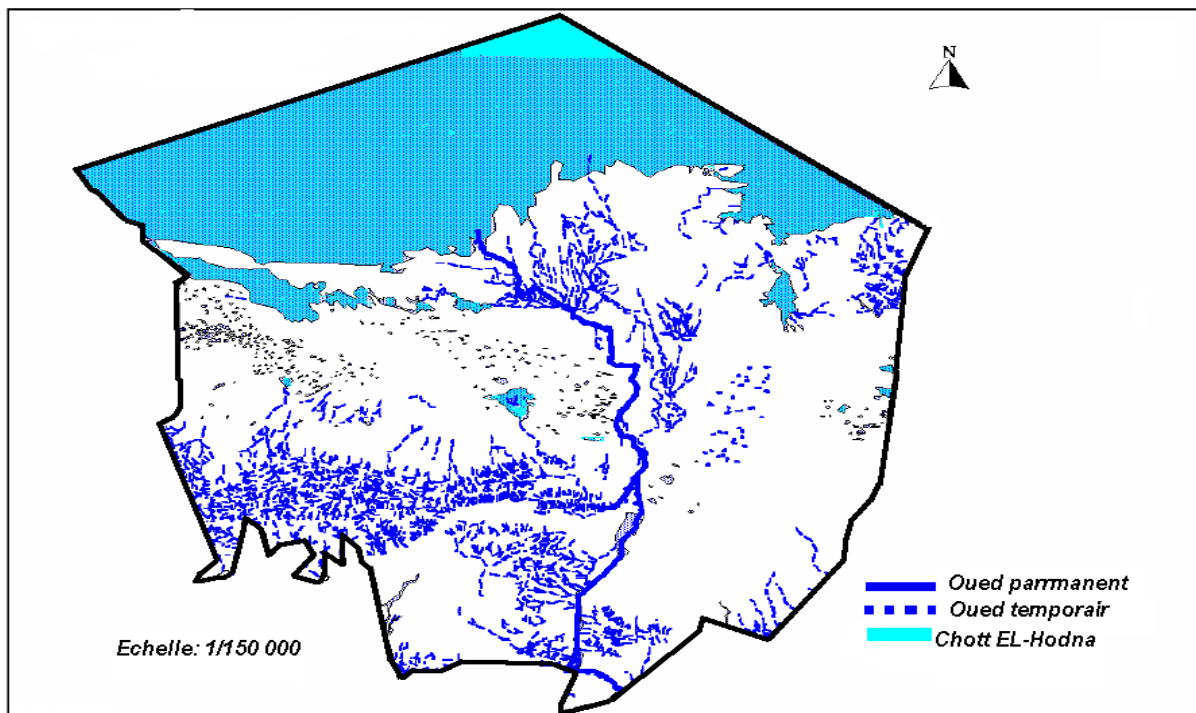


Figure 24: Carte du réseau hydrographique de M’Cif (B N D R, 2005).

CHAPITRE 3:
Matériels et méthodes
d'étude

Chapitre 3 : Matériels et méthodes d'étude

3-1-Problématique et objectif de l'étude

Suit au manque (déficit) des données et des informations agronomiques et en particulier pédologiques sur la région de M'Cif, on a essayé de contribuer à la caractérisation des propriétés physico chimiques et biologiques de leurs sols tout en proposant à la fin de notre travail des solutions aux problèmes rencontrés.

3-2-Période de prélèvement et échantillonnage du sol

La sortie de prospection et de description des profils ainsi que les prélèvements des échantillons des sols était programmés pour le mois d'Avril 2020. Malheureusement, on n'a pas pu réaliser ni la sortie, ni le prélèvement (problème du confinement du COVID 19) et la seule solution était d'exploiter les résultats trouvés ultérieurement sur les sols de la même zone (ALI Ali et MAHDJOUBI Hicham, 2014).

L'étude réalisée sur des échantillons de trois profils:

Profil P₁:

D'un lieu dit-El Hania El Aoudja-, d'une altitude de 416m et avec les coordonnées de 35°17'56.4''N et 4°47'17.2''E, sol non structuré aussi (description de terrain), se compose de **Sept horizons (7) (voir Annexe 2)**.

Profil P₂:

D'un lieu dit-EL UOAD-, d'une altitude de 450m et des coordonnées de 35°15'51.3''N et 4°47'08.6''E, sol non structuré (description de terrain), se compose de **Six horizons (6) (voir Annexe 2)**.

Profil P₃:

D'un lieu dit-EL Chotte-, d'une altitude de 427m et des coordonnées de 35°19'59.2''N et 4°37' 57.1''E, sol non structuré aussi, se compose de **trois horizons (3) (voir Annexe 2)**.

3-3-Etude (analyses) au laboratoire

3-3-1-Analyses des caractéristiques physiques du sol

3-3-1-1-Les éléments grossiers

La teneur en éléments grossiers est obtenue par pesée lors de la préparation des échantillons, après lavage et séchage à l'air libre "Refus à 2 mm".

l'application de la lois suivantes nous donne le pourcentage des éléments grossiers du sol.

EG_% = poids du refus sur passoire de 2 mm de diamètre / poids de la terre totale séchée à l'air × 100.

3-3-1-2-Analyse granulométrique du sol

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détermination de la texture des sols. Dans notre cas on a suivi la méthode internationale à la pipette de Robinson, qui permet de connaître la répartition des particules minérales inférieures à (2mm), selon des classes de grosseurs, il s'agit de déduire la répartition des particules minérales d'un échantillon selon les différentes fractions granulométriques (**BAIZE, 1988**).

Selon cette méthode, la destruction de la matière organique et le ciment de calcaire est faite respectivement par l'eau oxygénée (H₂O₂) et le (HCl), la dispersion des particules (colloïdes) est réalisée par addition de l'hexa-méta-phosphate de sodium.

Le prélèvement des argiles et des limons fins a été effectué par la pipette de ROBINSON; tandis que les sables (grossiers et fins) ont été récupérés par tamisage et enfin les limons grossiers par différences par rapport à 100%.

La composition granulométrique est exprimée en pour cent (%). Cette analyse sert à déterminer la texture du sol par l'utilisation du triangle texturale dans notre cas on a utilisé celui de **Jamagne**.

3-3-1-3-La porosité (méthode de cylindre)

La porosité d'un sol s'exprime en pourcentage par la formule:

$$P (\%) = (1 - (d_a/d_r)) \times 100.$$

avec :

P(%) : la porosité total en(%). **d_a** : la densité apparent **g/cm³**. **d_r** : la densité réelle **g/cm³**.

Le prélèvement volumique (V) est effectué avec un cylindre métallique (volume connu =250 cm³) directement enfoncé dans le sol puis retiré rempli de terre. L'échantillon est recueilli, séché et pesé (P sec).

3-3-1-4-L'humidité résiduelle du sol

C'est la teneur en eau de l'échantillon; l'humidité d'un échantillon est déterminée par différence de poids. Une prise d'essai (P1) est prélevée et passée à l'étuve à 105°C pendant 24h.

Après 24h l'eau contenue dans l'échantillon s'évapore, l'échantillon est pesé de à nouveau, après l'avoir laissé refroidir au dessiccateur, on aura le poids (P2), l'humidité du sol est égale à :

$$H\% = \frac{P1-P2}{P1} \times 100$$

Tel que :

H% : l'humidité du sol en (%), **P1** : le poids d'échantillon avant séchage en (g),

P2 : le poids d'échantillon après séchage en (g).

En prenant en considération que l'utilisation de capsule en verre à couvercles rodés permet d'éviter une ré-humectation au cours du transport de l'étuve à la balance.

3-3-2-Analyse des propriétés chimiques

3-3-2-1-Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH se mesure par voie électro- métrique, sur une suspension aqueuse dont le rapport sol/eau = (1/2,5) (PETARD, 1993 et CIRAD, 2004). C'est ainsi qu'on a déterminé l'acidité actuelle (ou pH eau (sol+ eau)) et l'acidité potentielle (pH KCl (sol+ solution de KCL)).

3-3-2-2- Conductivité électrique(CE)

Pour notre sol, cette conductivité électrique a été mesurer à base d'un extrait dilué 1/5 par un conductimètre. Elle est exprimée en mmhos/cm ou dS/m à une température de 25C°.

3-3-2-3- Dosage de calcaire total (CaCO3 %)

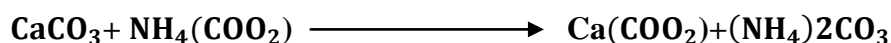
Le taux du calcaire total est déterminé par la méthode volumétrique; le volume de gaz carbonique dégagé lors de la réaction est mesuré à l'aide d'une burette à gaz (le calcimètre de Bernard) (DAKAR,2008).

3-3-2-4-Dosage de calcaire actif (Drouineau - Galet)

Le calcaire actif est une partie de calcaire total qui se trouve dans le sol à des dimensions très fines.

Pour doser le calcaire actif, on a exploité la propriété de calcaire à se combiner aux oxalates pour précipiter sous forme d'oxalate de calcium.

Alors le principe de dosage se résume comme suit :



L'oxalate précipité est déterminé par l'infiltration et l'oxalate en excès est dosé par manganimétrie. selon la réaction suivante:



3-3-2-5-La capacité d'échange cationique(CEC ou T)

Détermination des bases échangeables et la capacité d'échange (méthode de Bower modifié).

Les méthodes utilisées pour la détermination de la CEC varient selon le type de sol; dans notre cas (sols des zones arides et semi-arides) on a suivi la méthode d'extraction par:

-Acétate de sodium à 1N pour l'extraction de Ca, K et Mg

-Lavage à éthanol

-Déplacement du sodium par une solution d'acétate d'ammonium (1N) puis déterminer la CEC.

-**Na⁺, K⁺ et Ca⁺⁺**: sont dosée par spectrophotométrie à flamme.

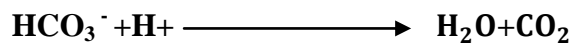
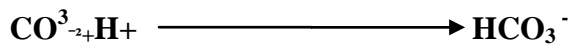
-**Mg⁺⁺**:méthode différentielles.

3-3-2-6-Les sels solubles

A partir de l'extrait sol/eau (1/5).

a-Dosage des anions

-**Bicarbonates (HCO³⁻)et carbonates(CO³⁻)**: par la méthode titrimétrique avec acide sulfurique (H₂SO₄).



-**Chlorure (Cl)**: par titrimétrie à au nitrate d'argent (AgNO₃)en présence de chromate (méthode de MOHR).

-**Sulfate(SO₄⁻)**: par la méthode gravimétrique au chlorure de baryum (BaCl₂)(principe de précipitation sous forme de BaSO₄ ; sulfate de Baryum).

b-Dosage des cations

-**Na⁺,K⁺ et Ca⁺⁺**: sont dosée par spectrophotométrie à flamme.

-**Mg⁺⁺**: méthode titrimétrique avec EDTA.

3-3-2-7- Analyse de gypse (Ca SO₄, 2H₂O)

La quantité de gypse est déterminé par la méthode de la conductivité électrique :

-Dissolution du gypse dans l'eau distillée.

-Test de la présence du gypse par le sulfate de baryum (BaSO₄).

- Précipitation du gypse par l'acétone (Méthode de Richards).

- Redissolution du gypse et détermination de sa teneur par la conductivité électrique de la solution.

3-3-2-7- Dosage du phosphore assimilable (JORET-HEBERT, 1955).

Le dosage est basé sur la formation et la réduction d'un complexe de l'acide phosphorique et de l'acide molybdique. Dans la solution d'oxalate d'ammonium contenant un phosphate, l'addition d'un réactif sulfomolybdique et d'une solution d'acide ascorbique provoque par chauffage, le développement d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en ortho-phosphates (LAMBERT, 1975).

3-3-3-Analyse des propriétés biologiques

3-3-3-1-Le carbone organique et la matière organique

La teneur en carbone organique est déterminée directement par la méthode de (Walkley et Black), qui basé sur oxydation de la matière organique par une quantité en excès de bichromate de potassium en milieu sulfurique à température contrôlée.

La teneur en matière organique est déduite à partir de la valeur issue de l'analyse du carbone organique par la formule suivant :

$$\text{Matière organique (\%)} = \text{Carbone organique (\%)} \times 1,724$$

3-3-3-2-Dosage d'azote total

La méthode la plus couramment employée est la méthode Kjeldhal, cette méthode est basée sur la transformation de l'azote en ammoniacque et fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammoniacque $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$.

Cette transformation nécessite l'emploi de catalyseurs. Les plus employés actuellement sont sulfate de cuivre et sélénium en poudre.

Il est nécessaire également d'élever la température d'ébullition de l'acide sulfurique en ajoutant du sulfate de potassium.

Enfin, l'ammoniacque formée est déplacée de ses combinaisons par la soude concentrée, distillée par entrainement de vapeur, recueillie dans une solution d'acide borique, et dosée par l'acide sulfurique titré.

3-3-3-3- Rapport C/N du sol

L'étude de l'évolution du rapport C/N a nécessité la détermination de la teneur en carbone organique (Corg) et en azote organique totale (Nt). Le dosage du carbone organique du sol (Corg%) a été réalisé par la méthode Walkley et Black (1934). Quant à l'azote organique total, il a été dosé par la méthode Kjeldahl.

CHAPITRE 4:
Résultat et discussion

Chapitre 4 : résultat et discussion

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats de description sur terrain ainsi que ceux trouvés au laboratoire pour chacun des trois profils étudiés. A la suite nous donnerons les éventuelles interprétations et discussion de l'ensemble des propriétés évoqués.

4-1- Caractérisation des propriétés du premier profil (P1)

4-1-1- Caractérisation des propriétés physiques du premier profil (P1)

4-1-1-1- Les éléments grossiers

Les résultats de terrain (**tableau 1 de l'annexe 2** et ceux du laboratoire (**figure 25 et tableau 1 de l'annexe 3**) montrent que l'ensemble des horizons du profil présentent une faible charge caillouteuse (éléments grossiers), avec des pourcentages qui ne dépassent plus 5% (entre **0.73% a 4.95%**).

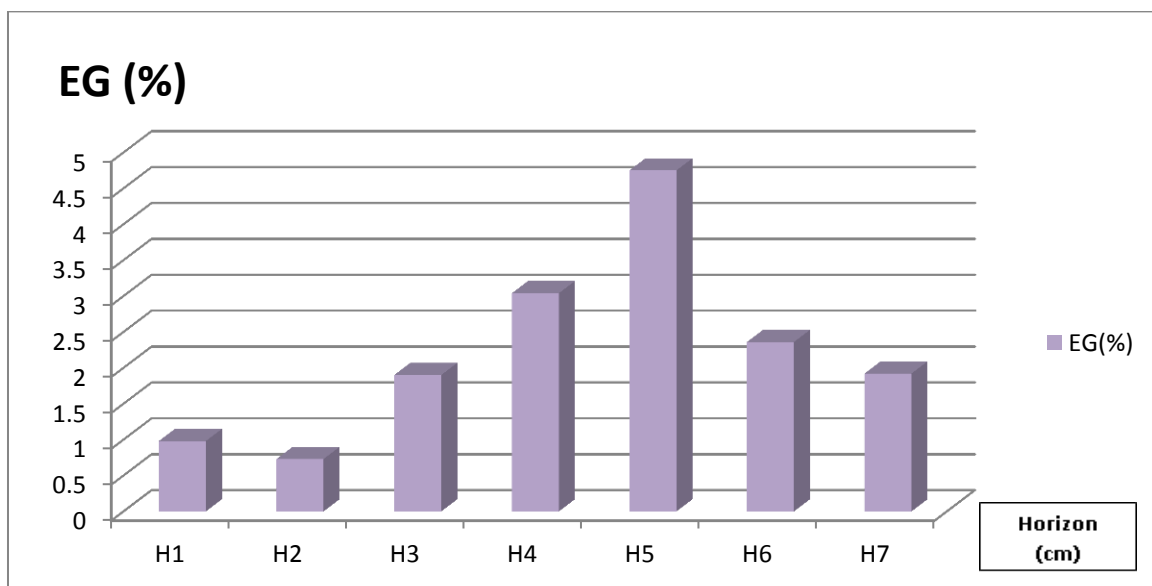


Figure 25: Pourcentages des éléments grossiers des horizons du profil P1.

4-1-1-2- La texture

En se référant au **tableau 1 de l'annexe 3**, et au triangle texturale de Jamagne, les sols du profil P1 présentent une texture sableuse (SA) dans ces sept horizons (**H1, H2, H3, H4, H5, H6 et H7**).

4-1-1-3 -La structure

Lors de la description des horizons du profil, on a remarqué qu'ils sont non structurés.

4-1-1-4-La porosité

Pour le premier profil, on peut classer nos horizons en fonction des pourcentages trouvés (**tableau 1 de l'annexe 3**) et en se référant à **ENIB (2000)** comme suit:

*Poreux, il s'agit de l'horizon **H2 (33.96%)**.

*Très poreux, pour les horizons **H1, H3, H4, H5, H6 et H7** avec des pourcentages qui varient entre **42.26% à 64.15%**.

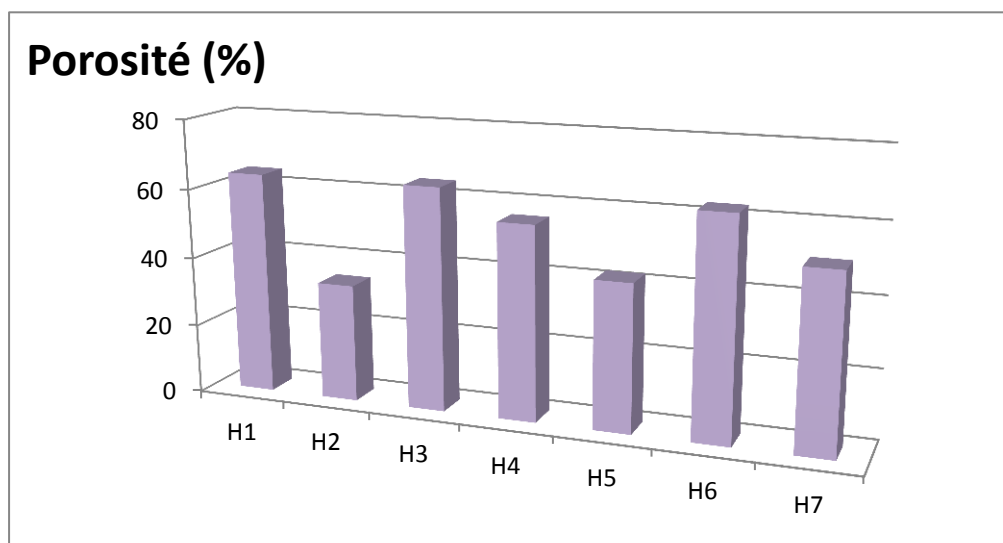


Figure 26: Porosité (en pourcentage) des horizons du premier profil.

4-1-2-Characterisation des propriétés chimiques du premier profil (P1)

4-1-2-1-Le potentiel hydrogène (pH) des sols du profil P1

Le **tableau 1** de l'**annexe 3**, indique que le pH affiche des valeurs comprises entre **8.36** et **8.66** pour les horizons **H1, H2, H3, H4, H5 et H7**, donnant à ces sols u caractère basique (selon la première version du référentiel pédologique Française cité par (**BAIZE, 1988**)).

Pour l'horizon **H6**, la valeur enregistrée est de l'ordre de **8.74** indiquant un pH très basique.

Les sols des horizons **H3, H4, H5, H6 et H7** sont dé-saturés (pH eau - pH KCl entre **0.55** et **0.78**).

Les sols des horizons **H1 et H2** sont faiblement dé-saturés (pH eau - pH KCl entre **0.36** et **0.39**).

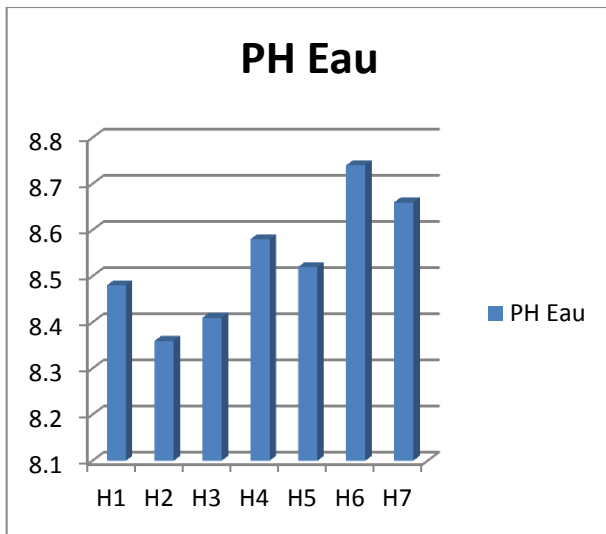


Figure 27: Représentation des pH eau des horizons de P1

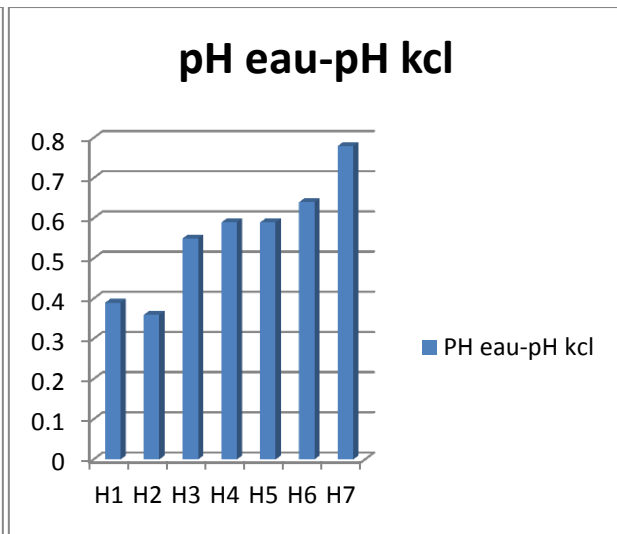


Figure 28: Représentation des (pH eau-pH kcl) des horizons de P1

4-1-2-2-La conductivité électrique (CE)

En se basant sur les résultats obtenus représentés à la **figure 29** et à l' l'échelle de salinité des sols de l'extrait aqueux (1/5), cité par (**AUBERT, 1978**), nos sol sont peu salé avec des valeurs de conductivité électrique comprises entre (**0.60 Ds/m et a 0.81 Ds/m**).

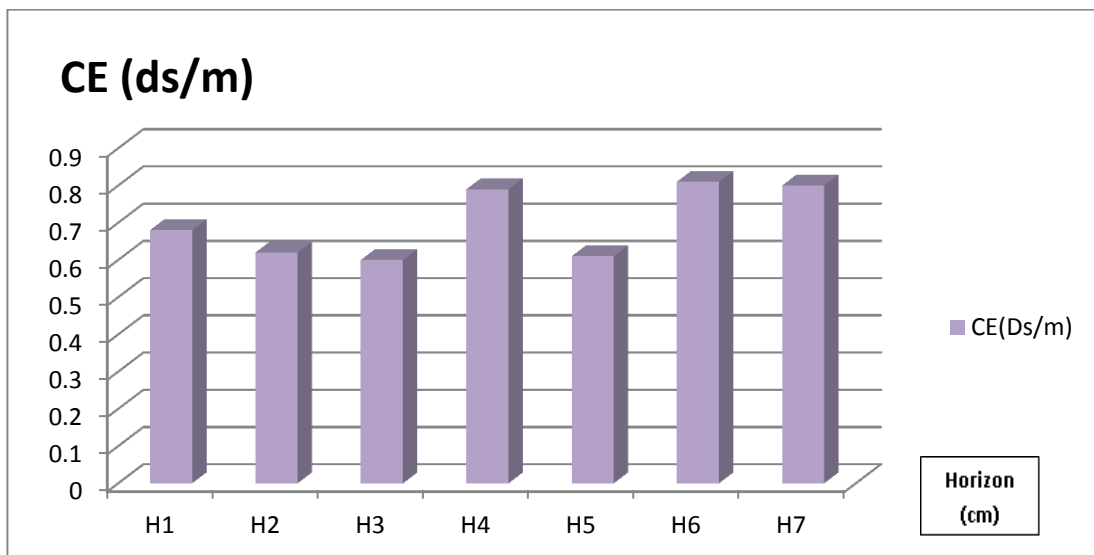


Figure 29: Valeurs de CE (DS/m) des horizons du premier profil.

4-1-2-3-La capacité d'échange cationique du premier profil

En se référant aux résultats des analyses chimiques du premier profil et aux normes citée dans le référentiel pédologique 1992 on déduit que:

La CEC est très faible dans l'ensemble des Horizons. Elle affiche des valeurs comprise entre **30.1méq/kg** et **55.7méq/kg**.

La valeur la plus faible est enregistrée dans l'horizon H6, alors que celle la plus élevée au niveau de H3 (**figure 30**).

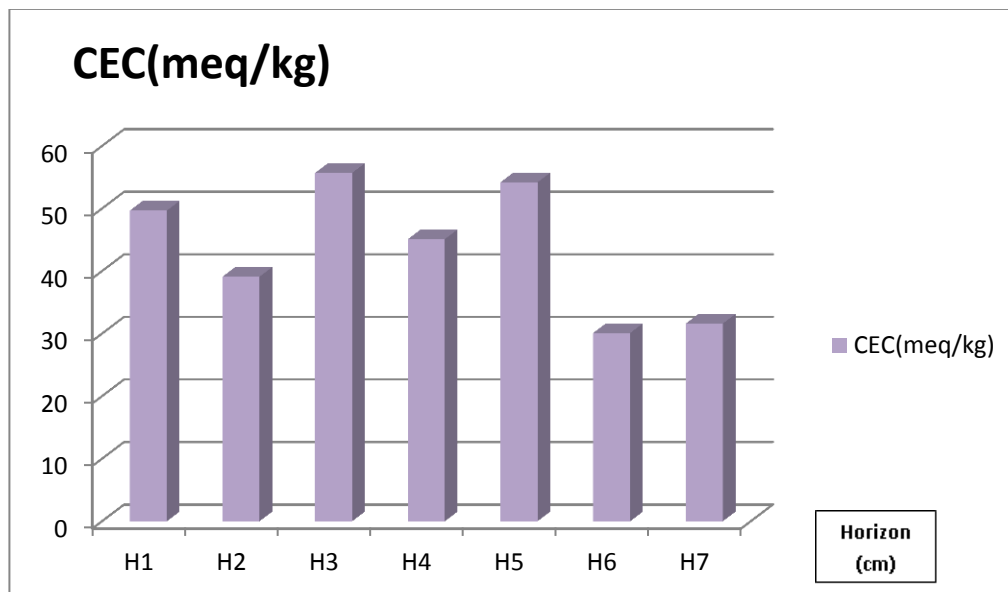


Figure 30: Valeurs (meq/Kg) de la CEC des horizons de P1.

4-1-2-4-Le calcaire total

D'après les résultats mentionnés aux annexes 2 et 3 et à l'échelle de **G.E.P.P.A** (Groupe d'Etude des Problèmes de Pédologie Appliquée) cité par (**BAIZE, 2000**), nos sols sont considérés comme **modérément calcaire** dans l'ensemble des horizons (**H1, H2, H3, H4, H5, H6 et H7**) avec des valeurs comprise entre **6.18%** et **9.19%**.

4-1-2-5-Le calcaire actif

Les chercheurs jugent que si le taux du calcaire total du sol est supérieur à **5%**, on s'attend à la présence aussi du calcaire actif.

Dans notre cas les valeurs du calcaire actif (fine) sont comprises entre **6.07%** et **9%** dans les horizons (**H1, H2, H3, H4, H5, H6 et H7**). La valeur maximale est enregistrés dans le deuxième et celle minimale dans l'horizon **H1**.

4-1-2-6-Le gypse

En se référant au **tableau 1** de l'**annexe 3** et selon les normes proposées par (**BARZANJI, 1973** cité par **FAO ,(1990)**), le gypse est absent dans l'ensemble des horizons du premier profil.

4-1-2-7-Le phosphore assimilable

Selon les résultats des analyses mentionnés au **tableau 1** de l'**annexe 3** (et aussi la **figure 31**), on classe nos horizons selon la richesse ou pauvreté en phosphore assimilable comme suit :

Sols très pauvres en phosphore assimilable, il s'agit des horizons **H5** et **H7** (avec des valeurs respectivement de **23.33 ppm** et **25 ppm**).

Sols pauvres en phosphore assimilable, pour le reste des horizons du profil (les valeurs varient entre **33.3 (ppm)** et **49.06 (ppm)**).

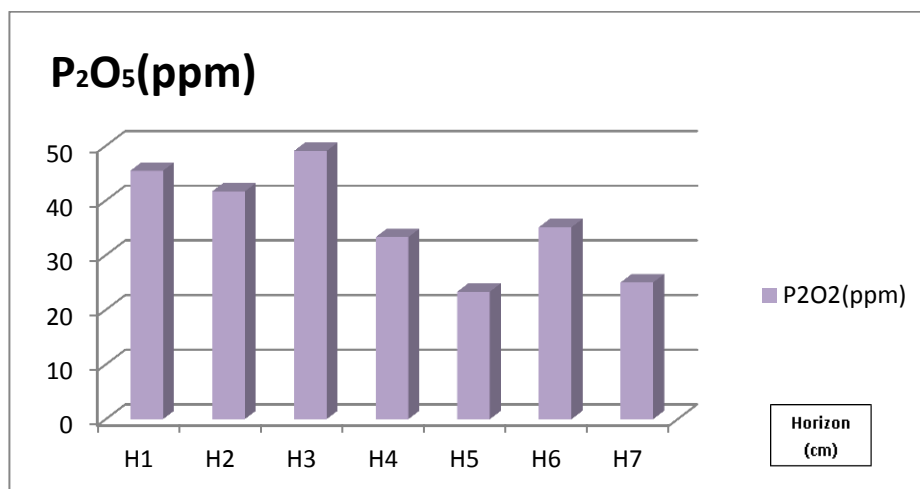


Figure 31: Taux du phosphore assimilable (ppm) dans les horizons du premier profil.

4-1-3- Caractérisation des propriétés biologiques du premier profil (P1)

4-1-3-1-Le taux de matière organique

Suit aux résultats mentionnés au **tableau 1** de l'**annexe 3** et à la **figure 32**, on remarque que les horizons du premier profil présentent des valeurs qui varient entre **2.44 %** et **3.26%**. La valeur la plus élevée est enregistrée à l'horizon H6 et celle minimale au niveau de H4.

Le pourcentage de la Le matière organique(MO) est interprété selon les normes de (I.T.A 1977).

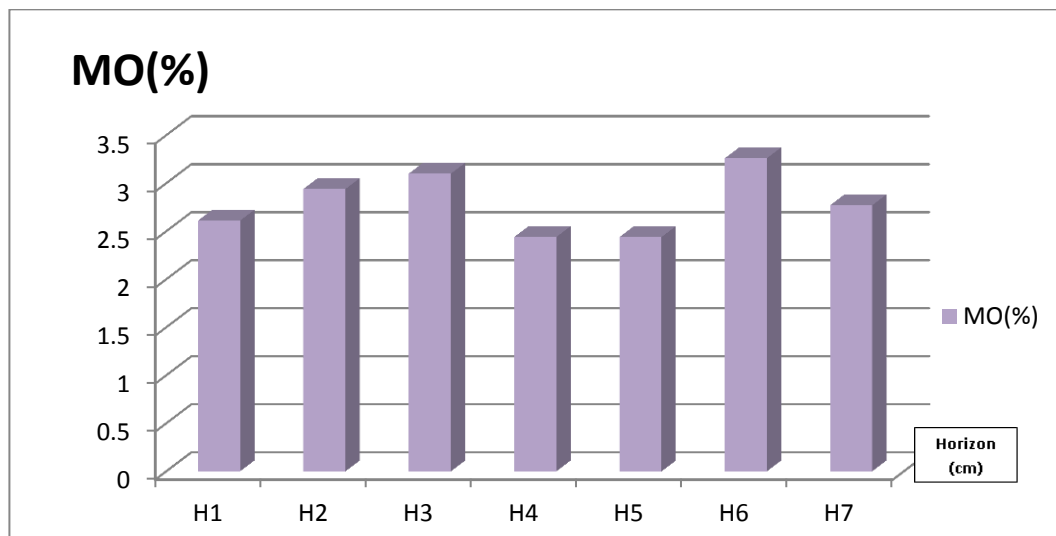


Figure 32: Taux de matière organique (%) des horizons du premier profil.

4-1-3-3-Le rapport C/N

Selon les résultats des analyses représentés au **tableau 1** de l'**annexe 3** et les normes d'interprétation du rapport (C/N) proposés par **GAGNARD et al (1988)** on distingue:

*Les sols des horizons (**H1, H2, H3, H4, H5** et **H6**) présentent une bonne minéralisation.

*Les sols de l'horizon **H7** présente une minéralisation trop rapide.

4-2-Characterisation des propriétés du deuxième profil (P2)

4-2-1-Characterisation des propriétés physiques du deuxième profil (P2)

4-2-1-1-Les éléments grossiers

Dans l'ensemble des horizons du deuxième profil, le taux d'éléments grossiers est faible. Il est compris entre **0.73%** et **4.95%** (voir **tableau 2** de l'**annexe 2** et **figure 33**).

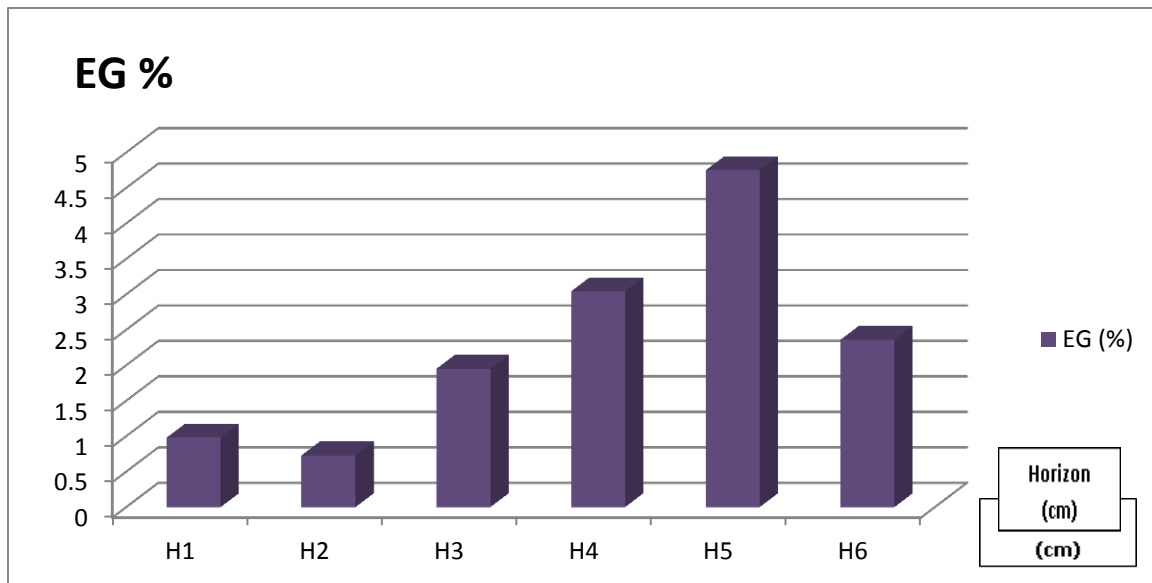


Figure 33: Pourcentages des éléments grossiers des horizons du profil P2.

4-2-1-2-La texture

En se référant au **tableau 1** de l'**annexe 3**, et au triangle texturale de Jamagne, les sols du profil P2 présentent une texture sableuse dans ces six horizons (**H1, H2, H3, H4, H5 et H6**).

On les divise en deux sous classes, sous classe des sols de sable (**S**) pour les horizons **H1, H4, H5 et H6**, sous classe des sols à sable argileux (**SA**) pour **H2 et H3**.

4-2-1-3 -La structure

Les horizons du deuxième profil sont non structurés (**tableau 2** de l'**annexe 2**).

4-2-1-4-La porosité

En se basant sur les résultats mentionnés au **tableau 1** de l'**annexe 3**, la **figure 34** et les normes d'interprétation proposées par (**ENIB (2000)**), on classe nos sols en deux catégories; poreux (**H3 et H5**) et très poreux (**H1, H2, H4 et H6**).

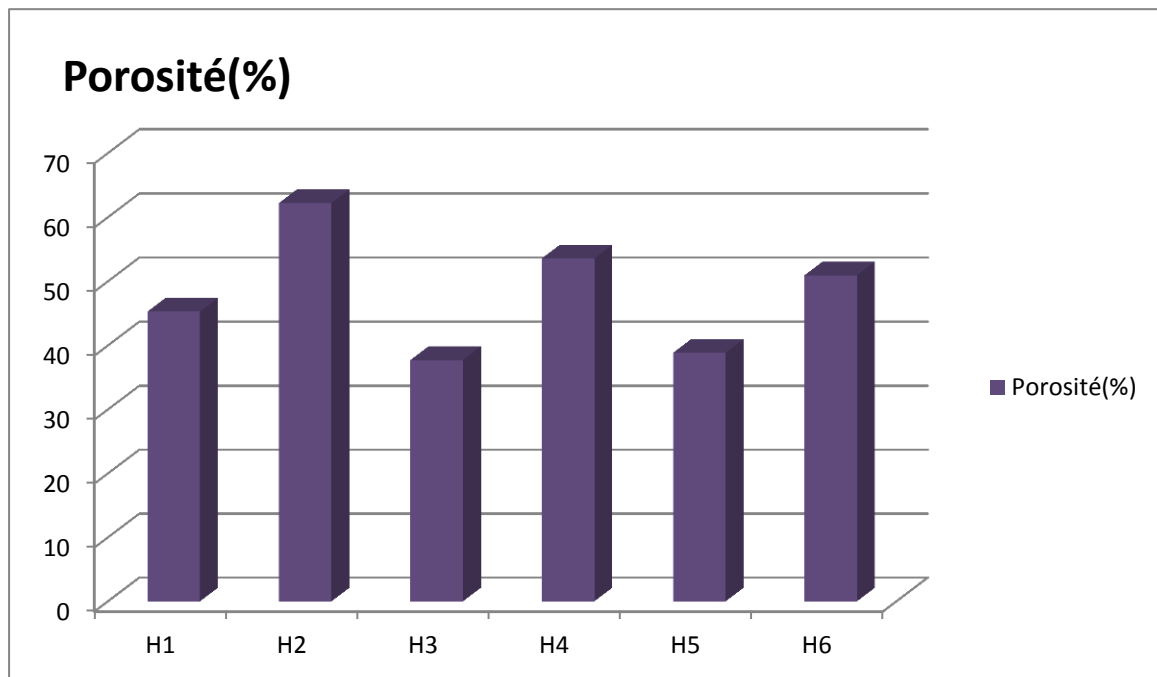


Figure 34 : Valeurs de porosité (%) des horizons du deuxième profil.

4-2-2- Caractérisation des propriétés chimiques du deuxième profil (P2)

4-2-2-1- Le potentiel hydrogène (pH) des sols du profil P2

Selon la première version du référentiel pédologique Française cité par (BAIZE, 1988), on distingue pour les sols du profil P2 (voir tableau 1 de l'annexe 3):

*Ceux qui présentent un caractère **très basique** pour **H1, H2, H4, H5** et **H6**.

*Ceux à caractère **basique** pour **H3**.

*Les horizons **H1, H4, H5** et **H6** sont **dé-saturés**.

* Les horizons **H2** et **H3** sont fortement **dé-saturés**.

4-2-2-2- La conductivité électrique (CE)

Avec des valeurs comprises entre **2.04 (Ds/m)** et **2.11 (Ds/m)**, l'ensemble des horizons du deuxième profil sont salés (figure 35 et tableau 1 de l'annexe 3).

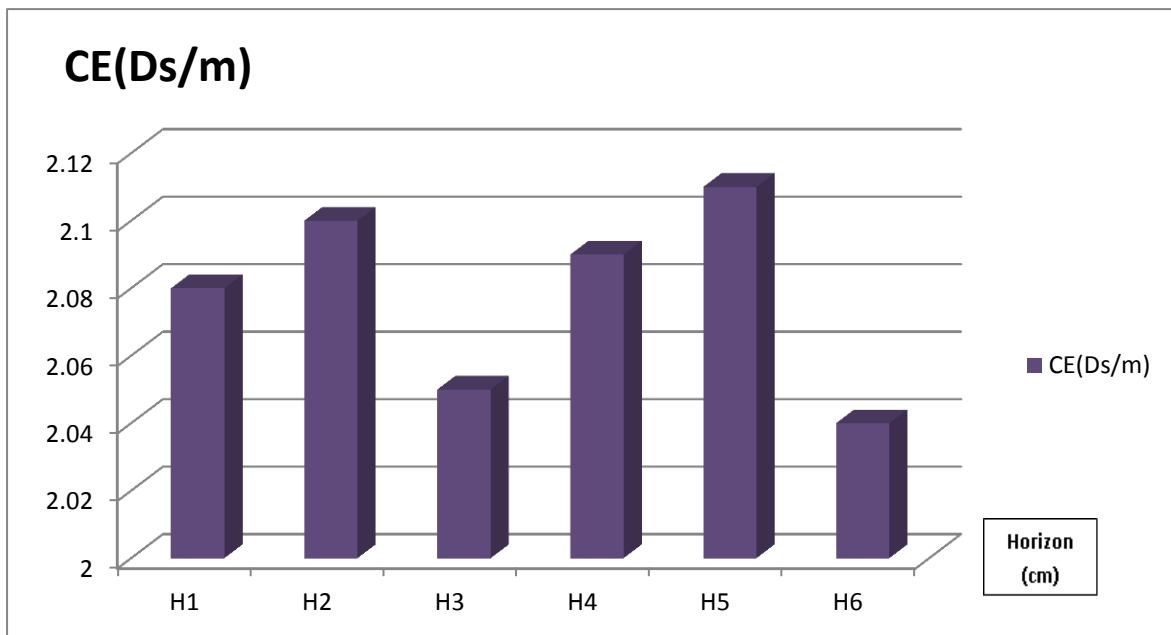


Figure 35: Valeurs de conductivité électrique (Ds/m) des horizons du deuxième profil.

4-2-2-3-La capacité d'échange cationique du deuxième profil

En se basant sur les résultats des analyses chimiques du deuxième profil (figure 36) et aux normes du référentiel pédologique 1992 on remarque que :

La CEC est très faible dans les horizons **H1, H2, H5 et H6**.

La CEC très faible dans les deux horizons **H3 et H4**.

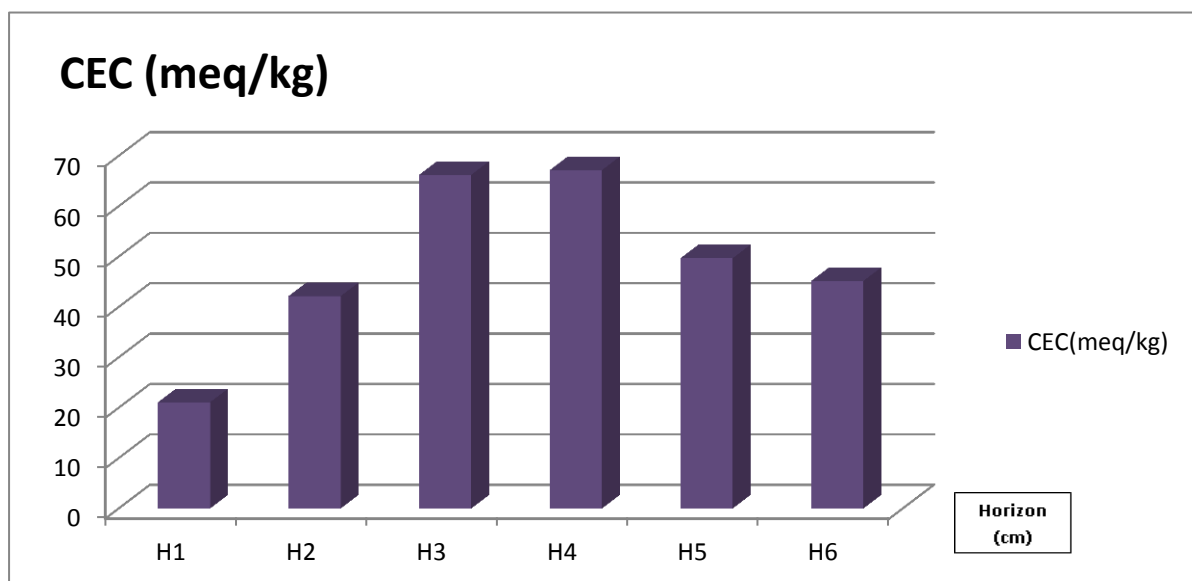


Figure 36 : Représentation des valeurs de CEC (méq/kg) des horizons du deuxième profil.

4-2-2-4-Le calcaire total

Avec des valeurs comprises entre **2.12% et 2.95%** (**tableau 1** de l'**annexe 3**) et en se basant sur les normes proposées par **G.E.P.P.A** (Groupe d'Etude des Problèmes de Pédologie Appliquée) cité par (**BAIZE, 2000**), nos sols sont considérés comme **peu calcaires** dans l'ensemble des horizons.

4-2-2-5-Le calcaire actif

Les chercheurs jugent que si le taux du calcaire total du sol est supérieur à **5%**, on s'attend à la présence aussi du calcaire actif.

Dans notre cas, le taux du calcaire totale est inférieur à 5% ; pas de calcaire actif dans l'ensemble des horizons.

4-2-2-6-Le gypse

En se référant au **tableau 1** de l'**annexe 3** et selon les normes proposées par (**BARZANJI, 1973** cité par **FAO (1990)**), le gypse est absent dans l'ensemble des horizons du premier profil.

4-2-2-7-Le phosphore assimilable

Selon les résultats des analyses mentionnés au **tableau 1** de l'**annexe 3** (**et aussi la figure 37**), l'ensemble des horizons du deuxième profil sont pauvres à moyennement pauvres en **phosphore assimilable (P₂O₅)**.

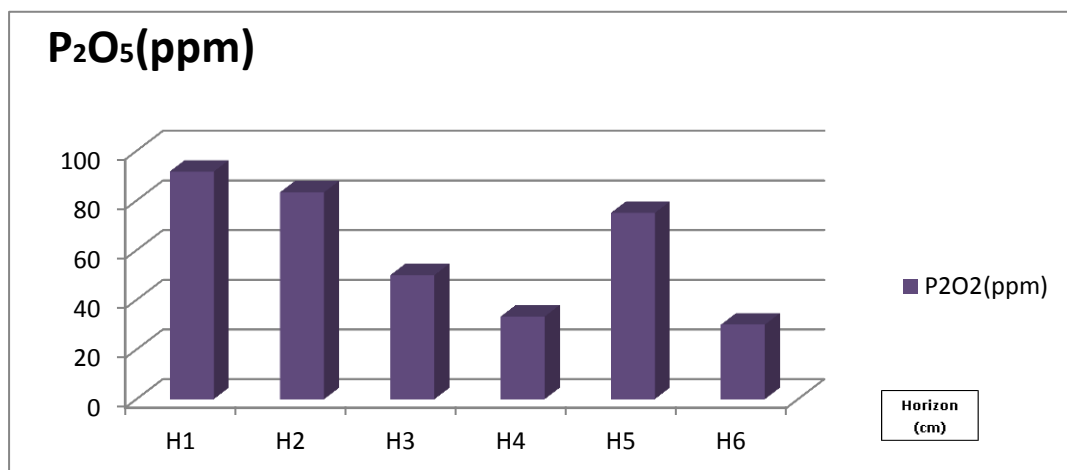


Figure 37: Taux du phosphore assimilable (ppm) dans les horizons du profil P2.

4-2-3- Caractérisation des propriétés biologiques du deuxième profil (P2)

4-2-3-1- Le taux de matière organique

En fonction du pourcentage de MO (**figure 39**), on classe les horizons du deuxième profil en/
*Horizon pauvres en MO, il s'agit de **H3, H4, H5 et H6** (valeurs comprises entre **1.30% et 1.79%**).

*Horizons à taux presque moyen de MO, on parle ici de **H1 et H2** (**2.43% à 2.435%**)

Le pourcentage de la Le matière organique(MO) interprété Selon les normes d'interprétation de (I.T.A 1977).

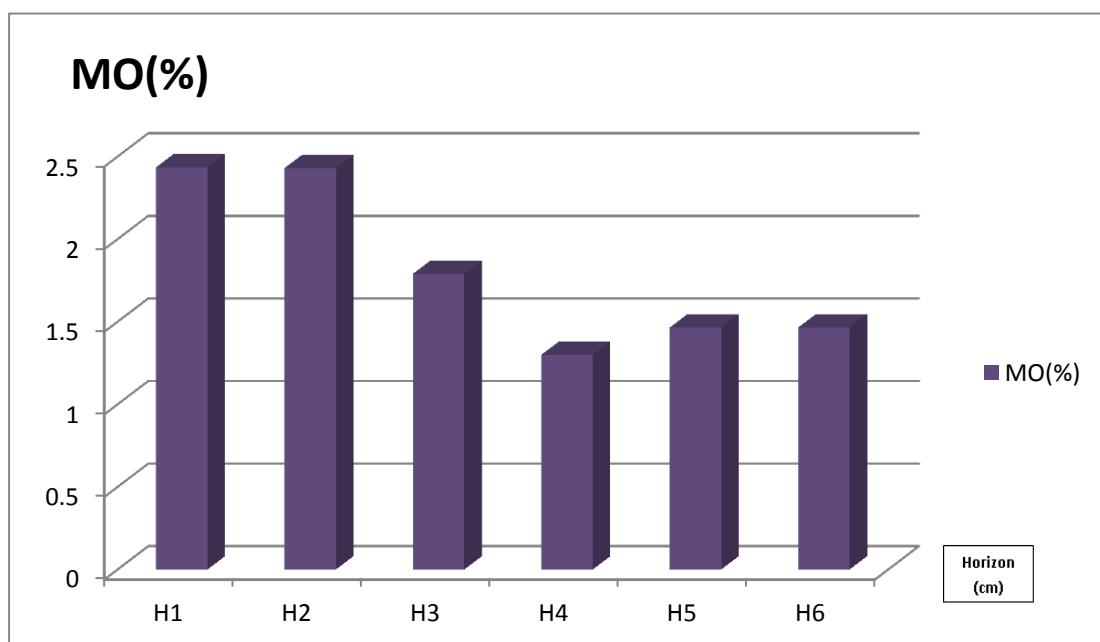


Figure 38: Taux de matière organique (%) des horizons du profil P2.

4-1-3-3- Le rapport C/N

La **figure 39** montre que le rapport C/N au niveau des horizons du deuxième profil est classé comme suit :

*Sol à **minéralisation trop rapide** dans les horizons **H1 et H2** (avec des valeurs comprises entre **5.04 et 6.09**).

*Sol à minéralisation rapide dans les horizons H3, H4, H5, et H6 (8.94 à 11.3.)

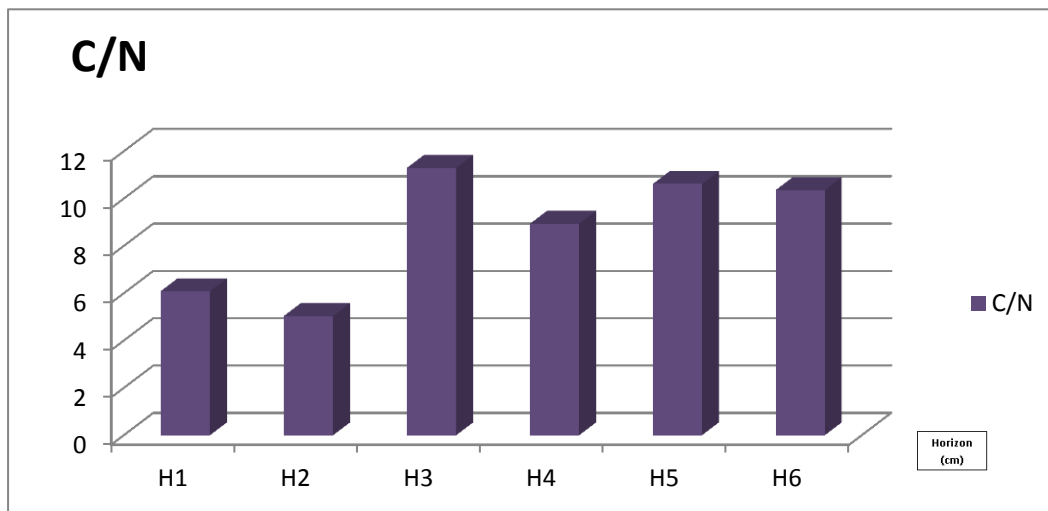


Figure 39 : Représentation du rapport C/N des horizons du profil P2.

4-3- Caractérisation des propriétés du troisième profil (P3)

4-3-1- Caractérisation des propriétés physiques du troisième profil (P3)

4-3-1-1- Les éléments grossiers

Les résultats de terrain (tableau 3 de l'annexe 2 et ceux du laboratoire (figure 40 et tableau 1 de l'annexe 3) montrent que l'ensemble des horizons du troisième profil présentent une faible charge caillouteuse (éléments grossiers), avec des pourcentages qui ne dépassent plus 5% entre (0.51% et 0.96%).

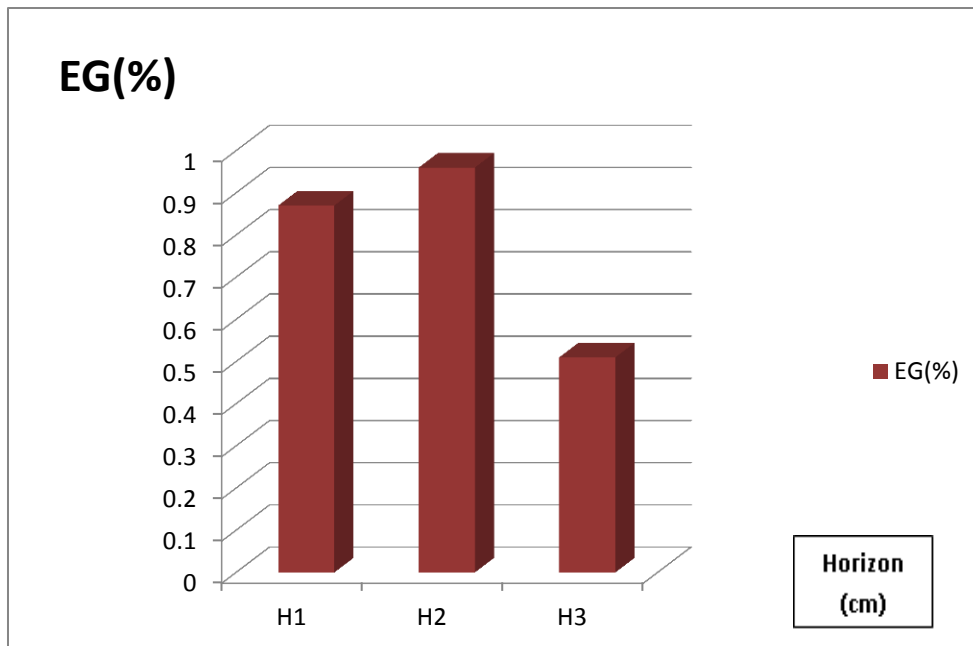


Figure 40 : Pourcentages des éléments grossiers des horizons du profil P3.

4-3-1-2-La texture

En se référant au **tableau 1** de l'**annexe 3**, et au triangle texturale de Jamagne, les sols du profil P3 présentent une texture sableuse pour les trois horizons, mais on la divise (texture) en deux sous classes; SL pour le premier horizon et SA pour le reste des horizons.

4-3-1-3 -La structure

Lors de la description des horizons du profil, on a remarqué qu'ils sont non structurés.

4-3-1-4-La porosité

Pour le troisième profil, on classe nos horizons en fonction des pourcentages trouvés (**tableau 1 de l'annexe 3 et figure 41**) et en se référant à **ENIB (2000)** comme suit:

*Poreux, il s'agit de l'horizon **H1 (35.09%)**.

*Très poreux, pour les horizons **H2 et H3** avec des pourcentages qui varient entre **41.13% à 86.67%**.

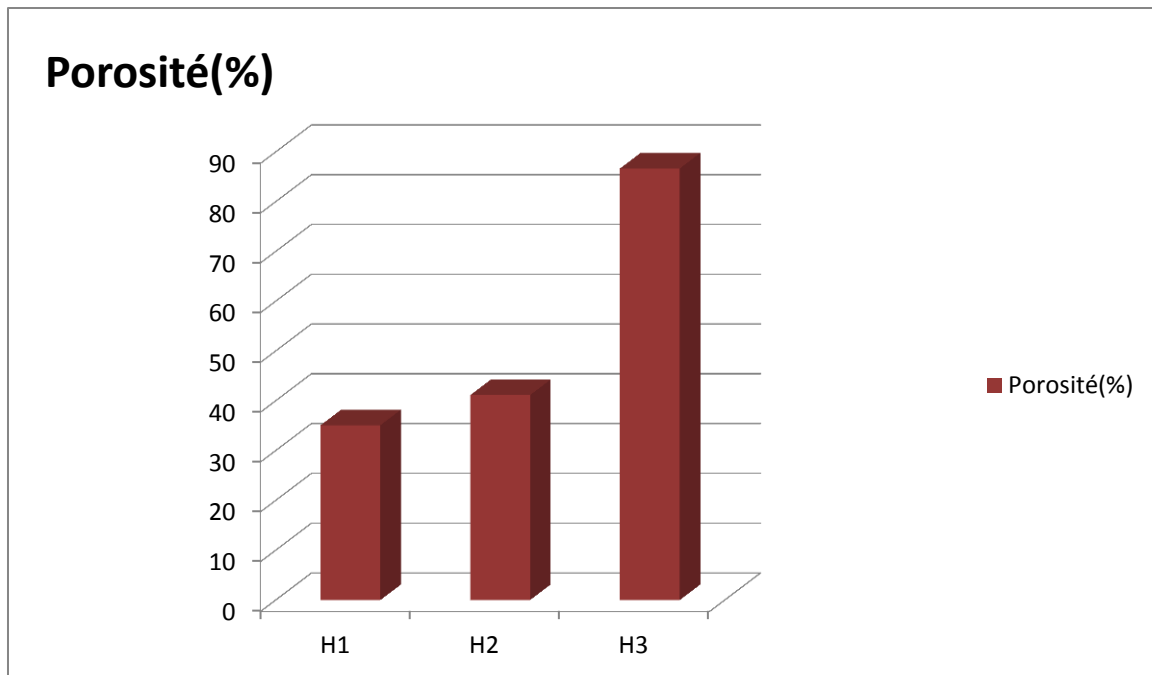


Figure 41: Porosité (en pourcentage) des horizons du troisième profil.

4-3-2-Caractérisation des propriétés chimiques du profil troisième (P3)

4-3-2-1-Le potentiel hydrogène (pH) des sols du troisième profil (P3)

Le **tableau 1** de l'**annexe 3**, indique que le pH affiche des valeurs comprises entre **8.409** et **8.664**.

Les trois horizons présentent un pH basique et sont dé-saturés.

4-3-2-2-La conductivité électrique (CE)

En se basant sur les résultats obtenus représentés à la **figure 42** et à l' l'échelle de salinité des sols de l'extrait aqueux (1/5), cité par (**AUBERT, 1978**), nos sol sont très salés peu salé avec des valeurs de conductivité électrique comprises entre (**2.98 (Ds/m) a 3.78 (Ds/m)**).

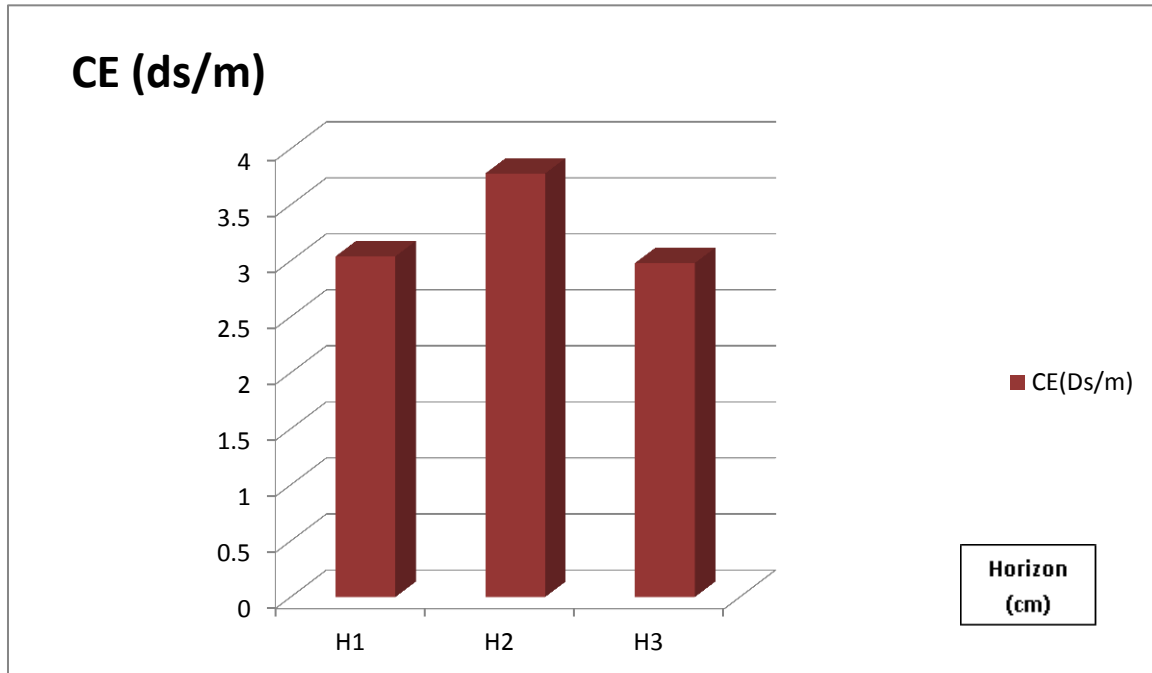


Figure 42 : Valeurs de CE (Ds/m) des horizons du troisième profil.

4-3 -2-3-La capacité d'échange cationique du troisième profil

En se référant aux résultats des analyses chimiques du troisième profil et aux normes citée dans le référentiel pédologique 1992 on déduit que:

La CEC est très faible dans tous les horizons. Avec des valeurs entre **22.58méq/kg a 28.11méq/kg** (figure 43).

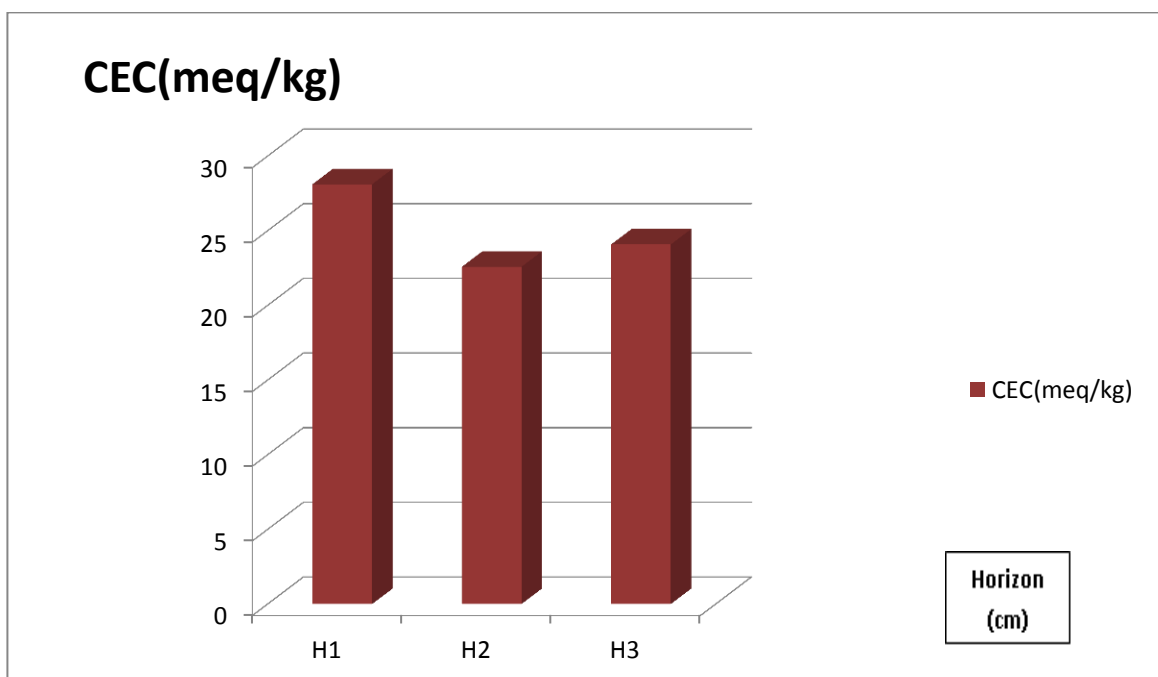


Figure 43 : Valeurs (meq/Kg) de la CEC des horizons de P3.

4-3-2-4-Le calcaire total

Les sols des trois horizons sont **peu calcaire** dans tous les horizons (**1, 2 et 3**) avec des valeurs inclus entre **2.08% et 5%**.

4-3-2-5-Le calcaire actif

Les chercheurs jugent que si le taux du calcaire total du sol est supérieur à **5%**, on s'attend à la présence aussi du calcaire actif.

Le taux de calcaire totale est **inferieure a 5%** donc il ya absence du calcaire actif (fine) dans tous les horizons.

4-3-2-6-Le gypse

En se référant au **tableau 1** de **l'annexe 3** et selon les normes proposées par (**BARZANJI, 1973** cité par **FAO (1990)**), le sol est **légèrement gypseux** .

4-3-2-7-Le phosphore assimilable

Selon les résultats des analyses mentionnés au **tableau 1** de **l'annexe 3**, nos sols sont :

***Moyennement pauvres à pauvres.**

4-3-3-Characterisation des propriétés biologiques du troisième profil (P3)

4-3-3-1-Le taux de matière organique

Suit aux résultats mentionnés au **tableau 1** de **l'annexe 3** et à la **figure 44**, on remarque que les horizons du troisième profil présentent des valeurs qui varient entre **2.12% a 2.44%**., La valeur la plus faible est enregistrée à l'horizon H2.

Le pourcentage de la Le matière organique(MO) est interprété selon les normes de (**I.I.T.A 1977**).

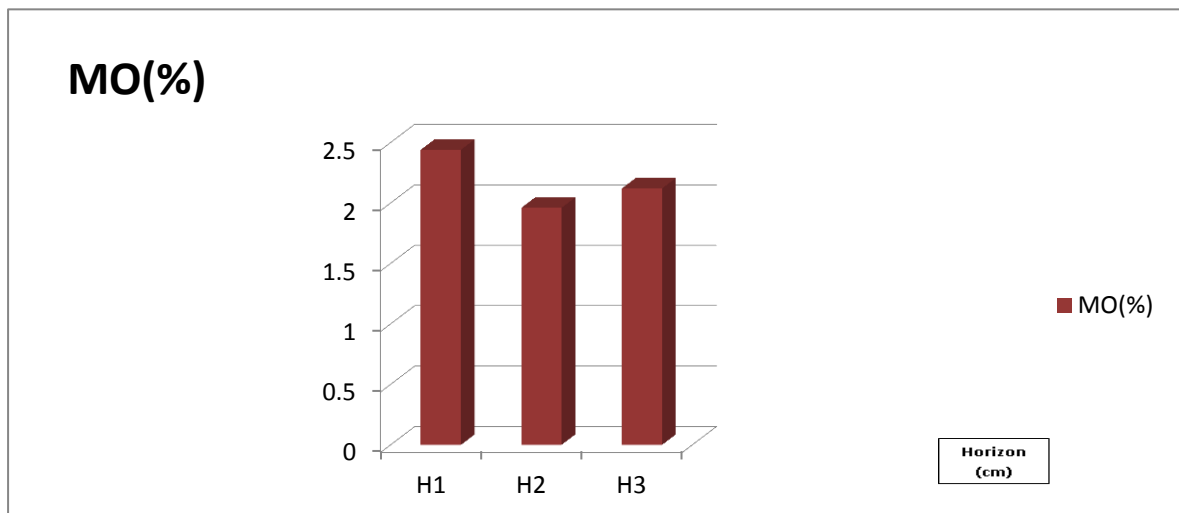


Figure 44 : Taux de matière organique (%) des horizons du troisième profil.

4-3-3-3-Le rapport C/N

Selon les résultats des analyses représentés à la figure 45 et les normes d'interprétation du rapport (C/N) proposés par GAGNARD et al (1988) on distingue:

*Les sols des horizons **H2** et **H3** présentent une bonne minéralisation.

*Les sols de l'horizon **H1** présente une minéralisation trop rapide.

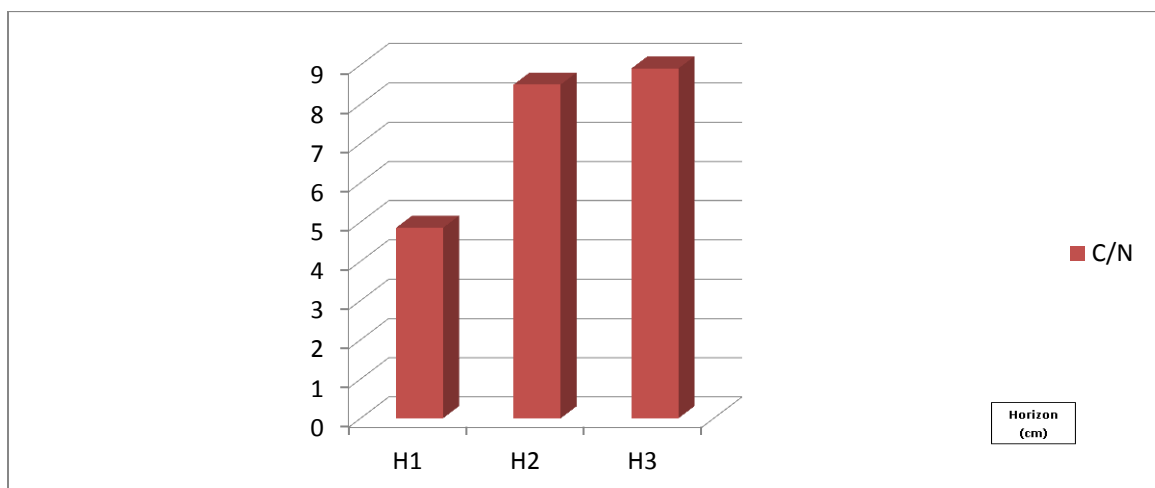


Figure 45 : Le rapport C/N des horizons du troisième profil.

2-4-Discussion des résultats obtenus:

La région d'étude présente un climat de type aride à hiver tempéré et une très faible pluviométrie avec sécheresse qui s'étale tout au long de l'année.

La texture du sol est sableuse dans les trois profils ceci est peut être du aux apports éoliens.

Cette texture (sableuse) donne au sol les propriétés suivantes: faible cohésion, réchauffement et refroidissent rapidement, la capacité de rétention en eau réduite, très pauvre en éléments nutritifs, du pont de vue agronomique, ces sols conviennent particulièrement aux cultures pérennes et maraichères précoces.

Le sol est poreux dans les trois profils; ceci est peut être due à la texture sableuse qui donne aussi une bonne aération, facilité de pénétration des systèmes racinaires et développements.

Les faibles pourcentages des éléments grossiers du sol dans les trois profil n'influent pas négativement le semis, les plantations et le travail du sol.

La CEC des sols est très faible au niveau de tous les profils. Ceci est confirmé par leurs faibles teneurs en matière organique et leurs textures sableuse (la teneur d'argile est très faible) donc la formation du complexe- argilo humique est faible et la CEC faible.

Le pH du sol de la zone d'étude est alcalin dans les trois profils étudié.

La salinité varie d'une station à l'autre ; avec des sols peu salés au premier profil, , salé dans le profil 2 et très salé dans le troisième profil (ceci parait logique puisqu'on se rapproche de plus en plus au Chotte El Hodna du premier profil au troisième. Cette salinité semble originaire d'une salinisation primaire ainsi que celle secondaire.

Le phosphore assimilable est faible dans la plupart des horizons des profils étudiés.

Nos sols présentent des taux faibles de calcaire dans les profils 2,3 et le moyenne dans le premier, ceci est due à la nature géologique des roches mères.

Le taux de gypse est léger dans la profil (3) et absent dans les profils restants, ceci est peut être à la nature géologique.

La teneur de la matière organique est moyenne de tous les profils, ceci est peut être due à l'intervention de l'homme (ajout de MO).

Le rapport C/N du sol indique une minéralisation rapide à trop rapide ; ceci est favorisé par le climat aride de la région d'étude.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le présent travail a été mené dans la région de M'Cif (Sud de Chott El Hodna), dans le but d'une caractérisation des principales propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols.

C'est ainsi qu'on a choisi trois profils (P1, P2 et P3).

Les résultats trouvés assurent que les sols de M'Cif, qui font l'objet actuellement d'une mise en valeur intensive présentent des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques médiocres à acceptables qui méritent d'être mieux suivies et déterminées périodiquement;

Le premier problème est celui le déficit en eau suit aux manque de pluviosité (conditions climatiques). Dans ce contexte la première solution est de choisir des types des végétaux qui s'adaptent à nos conditions climatiques et le recours à l'irrigation (tout en caractérisant sa qualité, car si elle est salée elle engendrera des effets néfastes sur le sol ainsi que sur les cultures installées).

Le deuxième problème est la qualité du sol ;

Puisque notre sol présente une texture sableuse, on propose d'ajouter d'un taux d'argiles pour améliorer la texture et la structure (formation du complexe argilo-humique. l'argile protège l'humus de l'action des micro-organismes en ralentissant sa minéralisation).

Augmenter le taux de MO (L'humus protège l'argile en retenant l'eau), pour assurer un sol stable, riche en éléments nutritifs disponible à l'alimentation des cultures.

Le problème de salinité du sol (qui favorise à court ou à long termes selon le taux de Na la dispersion des constituants de notre sol, qu'on propose pour le résoudre; une irrigation (si l'eau utilisée est de qualité moyenne à bonne) plus régulière pour améliorer l'approvisionnement hydriques de la culture, adaptation d'un mode d'irrigation qui permet le mieux de lutter contre les sels, modifier la pratique culturale (surtout si elle aggrave l'état de fertilité de notre sol), lixiviation et installation des réseaux de drainages (en cas de besoins).

A ces problèmes, s'ajoute la présence dans le sol du calcaire total et parfois du calcaire actif (dans la majorité des échantillons analysés), ce qui crée un risque de chlorose pour la majorité des plantes....

Finalement, cette recherche mérite d'être poursuivie surtout sur le point d'utilisation des résultats qu'on a déterminés dans des propositions d'aménagement et d'exploitation de cette zone.

*Références
bibliographiques*

References Bibliographiques

Références bibliographiques

- **A.N.R.H., 2006-** Etude pédologique du Hodna (Wilaya de M'sila). Rapport année 2005-2006,
- **ABDELHAMID K., 2016-** Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de Tadjnant. Chelghoum Laid et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines. Doctorat en sciences, Université de Batna 2,160p.
- **AGEHARA S et WARMCKE D.D., 2005** -Soil moisture and temperature effect on Nitrogen realise form organic Nitrogen sources, science society of America journal 69:1844-1855p.
- Alger, 41 p.
- **ALI A et MAHDJOUBI H., 2014-** conditions édaphiques et floristiques en zone steppique. Cas de M'cif (W. M'sila). Mémoire d'ingénieure, université de M'sila. 93p.
- **AUBERT G., 1960:** les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs caractère, de leur utilisation et de leur conservation. Ed. OROSTOM, Paris.127p.
- **AUBERT G., 1978-**Méthodes d'analyses des sols. C.R.D.P .Marseille, 171p.
- **AUBERT G., 1983 :** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salé sousalssodique.Cash, O.R.S.T.O.M. ser. ped. Vol xxx n°1,73-78p.
- **BADO B.V.,2002-**Thèse électronique université Laval.
- **BAIZE D., 1988-** Guide des analyses courantes en pédologie, Ed, INRRA.
- **BAIZE D et JABIOL B., 1995-** Guide pour la description des sols. Ed GB BILLIERE. Paris, 375p.
- **BAIZE D., 2000-** Guide des analyses en pédologie. Choix- expression. Présentation- interprétation, 2^{ème} édition. INRA. Paris, 255 p.
- **BATRA L., KUMAR A., MANNA M.C., CHABRA R.,1997-**Microbiologie and chemical amelioration of alkaline soil by growing. Kernel gross and gypsum application Experimental agriculture,33,4,398,397p.
- **B.N.D.R.,2005-** Etude de la mise en valeur des potentialité des communes dans le cadre du développement rural de proximité (wilaya de M'sila), 20p.
- **BONIN S., 2006-** Cours en pédologie. Connaissance des sols- introduction à la pédologie. 21p.
- **BOUNNEAU et SOUCHIER., 1979-** Pédologie-Constituons et propriétés du sol. Ed. Masson, Paris, 388-392p.
- **BOUNOUARA Z., 2005-**Evolution de la matière organique dans les sols salées cas de la région de Relizone. Thèse. Mag. Inst. Nat. Agro, El-Harrach, Alger, 94 p

References Bibliographiques

- **BROUAND et TESSIER D., 1996-** Water retention properties of the clay soils developed on clayey sediment: significance of parent material and soil history. *European journal of soil science*. 51, 679-688p.
- **BRUAND A., COUSIN I., HOLLIS J et KING D., 2003-** Rôle des propriétés physiques des sols et de leur variabilité spatiale sur les flux d'eau. *Etude et gestion des sols*. Vol., 10, (4), 287-297 p.
- **CALVET., 2003-**Le sol propriétés et fonctions. Tome I; constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Ed. Dunod, France Agricole. 455 p.
- **CALVET .GET .,VILLEMIN.P., 1986-**Interprétation des analyses .de terre .Ed. SCPA, 25p.
- **CALVET R ., 2013-**Les sol, 2^{ème} édition .France Agricole, Paris, 72-73 p.
- **CHAMBENOIT C., LAURENT F., MACHET J.M et SCHEURER D., 2002-**Fertilisation azotée de la pomme de terre: guide pratique, Edition INRA, France.
- **CHAUDE J et LECLE. RC., 1999-** Ecophysiologie végétale, 283p.
- **CHOSSAT JEAN-CLAUDE., 2005-** La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols. Ed TEC et DOC.720 p.
- **C.I.R.A.D., 2004** -catalogue des analyse courantes, 1-28p.
- **DAKAR., 2008-** Analyse des sols. IRD. 9 p.
- **D.S.A.,2004-** Direction des Services de M'sila.
- **DELAUNOIS A.,FERRIE Y.,BOUCHE M.,COLIN C.et RIONDE C.,2009-**guide pour la décrispation et l'évolution de la fertilité des sols, chambre d'agriculture. INRA.37p.
- **DIEHL R., 1975-** Agriculture générale .Ed. JB. Baillèr .
- **DOKOUTCHAEV V., 1883-** Russian Chernozem, Zel. 1, Moscow,419p.
- **DOMMERGUE Y et MANGENOT F., 1970-** Ecologie microbienne du sol . Ed. Masson, 796 p.
- **DRIDI B., 1989-** Influence des traitements culturaux sur la porosité de deux sols limoneux à développement de profils différents. Thèse Doct., F. S. A. E., GX, 191 p.
- **DUCHAUFOR PH .,1980-**Ecologie de l'humification et pédogenèse des sols forestiers Actualité d'écologies forestières sol – faune- flore .Ed .Gouttier-Villare, Manque la localité pp177-202.
- **DUCHAUFOR PH., 1983-** Pédologie. Tom1: pédogenèse et classification. 2^{ème} eddi . Masson, Paris. 491p.
- **DUCHAUFOR PH., 1997-**Abrégé en pédologie: Sol, végétation et environnement. Edition Masson, Paris. 232p.

References Bibliographiques

- **DUCHAUFOR PH., 2001**-Introduction à la science du sol. Végétation et environnement. 6^{ème} édit. Dunod, Paris.331p.
- **E.N.I.B., 2000**: école nationale d'ingénieur de Bordeaux, 2000, agronomie des bases aux nouvelles orientations. Edition synthèse agricole, 337p.
- **EPRON D.,NOUVELLON Y.,DELEPORTE P.,IFO S., KAZOTTI G.,THONGO M'BOU A.,HAMEL O.,2006** -Soil carbon balance in a clonal Eucalyptus plantation in Congo: Effects of logging on carbon inputs and soil CO₂ efflux. Global Change Biology, 12(6), 1021-1031p, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01146.x>.
- **F.A.O., 1984**-Prognosis of salinity and alkanity.FAO soils BULLETIN 31, 268p.
- **F.A.O., 1990** -Management of gyps iferous soils. Soils Bulletin 62, 81 p.
- **FARINA M.P.W., CHNNON P., et THIBAND G.K., 2000**- A comparison of strategies for ameliorating sub soil acidity II, long term soil effect. Soil. Sc. Soc. Am 2000. 625-658p.
- **FUJISAKI K., CHAPIUS L., ALBRECHT A., RAZAFIMBELO T.M., CHOTTE J.L., CHEVALLER T., 2018**-Data synthesis of carbon distribution in particle size fractions of tropical soils: Implications for soil carbon storage potential in croplands. Geoderma, 313, 41-51p.
- **GAGNARD J., HUGUET C., RYSER J.P., 1988** - L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation, le contrôle de la qualité des fruits, Secrétariat générale OILB/SROP, Edition - Diffusion ACTA., 87 P.
- **GAUCHER G., 1968**- Traité de pédologie agricole, le sol et ses caractéristiques agronomiques. Ed. Dunod, Paris. 579 p.
- **GIASSON Ph et JAOUICH A., 2008**- Les propriétés chimiques du sol, 46 p.
- **GIRARD M.C., WALTER C., REMY J.C., BERTHLIN J et MOREL J.L., 2005**-Sols et environnement, DUNOD, 816 p.
- **GOBAT J.M., ARAGNO M et MATTHEY .Y.W., 1998** -le sol vivant bases de pédologie le sol .Ed. Presse polytechniques et universitaires romandes, 519 p.
- **GOBAT J.M., ARAGNO M et MATTHEY .Y.W.,2003** -le sol vivant 2^{ème} édition, presse polytechniques et universitaires romandes, France, 568 p.
- **GOBAT M.G., ARAGNON M et MATTHEY.Y. W., 2010**- Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols. 3^{ème} édition .s. I: Presse Polytechnique et Universitaire ROMANDES. 817p.

References Bibliographiques

- **GUERIF J., 1990**-Conséquences de l'état structural sur les propriétés et les comportements physiques et mécaniques. In Actes du colloque «La structure du sol et son évolution ». Ed. INRA Laon, 71-90 p.
- **HALIMI A., 1980**- l'palace Blidéene : Climats et étage végétaux. Ed. OPU, Alger. 523p.
- **HALITIM A., ARDOUIN A et GOBAT A., 1978**- pédologie générale et agro pédologie. Sn.
- **HALITIM A., 1988**- Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. O. P. U, Alger. 384p.
- **HELLER R., ESNAULT R et TANCE C., 1993**- Physiologie végétale. 5 Ed. MASSON M, Paris. 294 p.
- **HENIN S., 1976**- Cours de physique du sol. Tome I, Texture-Structure-Aération. Ed. ORSTOM, Paris. 159 p.
- **HENIN S., 1976**- Cours de physiques du sol. Initiation. Documentation technique .n°28,1.87-120p.
- **HENIN S., HALIMI A., GOBAT A et ARDOUIN A., 1976**- cours de physique des sols. Paris. ARSTOM. Sn.
- **HENIN S., 1990**- Sol-Agronomie-Environnement. Ed, ORSTOM. Paris, 189p.
- **HILLEL D., 1984**- L'eau et le sol. Principes et processus physique. Ed. Louvain-la-Neuve, 288 p.
- **Institut de technologie agricole(I.T.A.), 1977** -Laboratoire du sol. Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol. 3 Ed. I.T.A. Mostaganem. 105p.
- **JAMAGNE M., 1977**- Quelques données sur la variabilité dans le milieu naturel de la réserve en eau des sols. Bulletin technique d'information .324-325, 627-614p.
- **KOULL N., 2007**-Effet de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques. Mém. Mag. Arg, Univ.K.M-Ourgla,86p+VI.
- **LAFFONT C., 2015**- Contrôler le climat pour conservation des collections sur support papier,1-3p.
- **LAHLOU S., OUDIA M., MALAM ISSA O., LE BISSONNAISE Y et MRABETR., 2005**- Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zone semi-aride marocaine. Vol 12, 1. 69-78p.
- **LAMANDE M., 2003**- Effets de l'interaction des pratiques culturales et des communautés lombriciennes sur la structure du sol et son fonctionnement hydrique. Thèse de Doctorat., E. N. S. A. R, Rennes. 109 p.
- **LAMBERT G., 1975**- Analyse du sol. Alger.1.Edit INA El Harrache. 113p.

References Bibliographiques

- **LCA., 2008** - Guide pratique -comprendre et utiliser les analyses agro-environnementales.
- **LEBOURGEOIS F., 2010**- cours de bioclimatologie à l’usage des forestiers, institut des sciences et industries du vivant et de l’environnement, Paris. 245p.
- **MAGILL A.H et ABEN J.D.,2000**- Dissolved organic carbon and nitrogen relationships in forest litter as affected by nitrogen deposition, soil biology and biochemistry 32, 603-613p.
- **MANICHON H., 1982**- Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d’une méthode de diagnostic basée sur l’observation morphologique. Thèse Doct., Ina-PG, 214p.
- **MATHIEU C et PIELTAIN F., 2003**- Analyse chimique des sols : Méthodes choisies. Ed. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 387 p.
- **MEBARKIA A., 2011**-Etudes des caractéristiques physique-chimiques des eaux de surface, cas du barrage de Ain Zada Willaya de Bordj Bou-Arredj.(Nord-Est Algérien). Mémoire de magistère. Université de Bordj Badji Mokhtar, Annaba : 209p.
- **MEDJAHED K., 2005** – Contribution a l’étude analytique des solutions du sol des zones Arides, cas de la région de Zaafrane (wilaya de Djelfa). Mémoire d’ingénieur, Université de Djelfa.70p.
- **MIMOUNE S., 1995**-Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique d’Algérie (Sud de Chott El Hodna). Thèse doct. 250p.
- **MONIGABA M.J.J., MZEYMANA U., BUCAGO CH et CULOT M .,2009**- Caractérisation physique, chimique et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachère naturelle et contraintes à leur productivité. Biotechnol. Agron soc. 13(14): 545-558p.
- **MUSY A., SOUTTER M., 1991**- Physique du sol. Ed. Presses Polytechniques et universitaires Romandes. Lausanne, 331 p.
- **PASQUIER L., 2010** –Guide du sol ‘L’argile et Lamotte’, Edition ENESAD, 111p.
- **PETARD J., 1993**- les méthodes d’analyse .Tome1.,analyse de sol. Ed. O.R.S.T.O.M,192p.
- **POUGET M., 1980**- Les relations sol- végétation dans les steppes sud Algéroises. Travaux et document de l’OROSTOM. N° 116. Paris, 555p.
- **PIERZYNSKI G., VANCE G.F., SIMS J.T., 2005** – soils and Environmental Quality.CRC Press, Boca Raton (USA).
- **POST W.M., KWON K.C., 2000**-soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. Global Change Biology, 6, 317-327p.
- **PREVOST P., 2006**- Les bases de l’agriculture. 3^{ème} Ed. TEC – DOC, Lavoisier, 290 p.

References Bibliographiques

- **RABEARISON T.J .,2019-** dynamique du carbone des sols tropicaux sous l'effet de déférents arbre agro-forestière associés ou non avec le RIZ pluvial cas de la région Itasy .mém, ingé, univ D'Antananarivo (France), 5p.
- **RAMADE F., 2003-** Eléments d'écologie. 3^{ème} Ed. Dunod, Paris. 690 p.
- **RIVIER J.L., 1998-** Evaluation de risque écologique des sols pollués. Ed. LAVOISIER; Tec et Doc, 230 p.
- **SERVANT J.M., 1978** -La salinité dans le sol et les eaux caractérisation et Problème d'irrigation drainage. Bull . B.R. G. M. sect III. N ° 2, 123- 142p.
- **SINGER A., 1995** -The mineral composition of hot and cold desert soils, In; Arid ecosystem. Ed. Bum, H.P.& Berkowig, S.M., Advance ingéocologie, 28pp.13-28.
- **SOLTNER D., 1986-** Les bases de la production végétale. Tome 1: Le sol et son amélioration. Collection Science et Techniques Agricoles, 464p.
- **SOLTNER D., 2000-** Les bases de la production végétale. Tome 1: Le sol et son amélioration. 22^{ème} édition. Collection Science et Techniques Agricoles, 472p.
- **STENGEL P., 1990-** Caractérisation de l'état structural du sol. Objectifs et méthodes. IN Actes du colloque « *La structure du sol et son évolution*. Ed. INRA Laon, 15-36 p.
- **STENVENSON F J., 1986-** cycle of soil, carbone, nitrogène, sulfur- micromutients. J. wileyet sent Ed, New-York, 1-44p.
- **SUMNERM E., 1993-** Gypsum and acid soils : the world science .Advances in Agronomy.51, 1-32p.
- **SUTY L., 2014-** Les végétaux: les végétaux Evolution, développement et reproduction. Ed Quae. 64p.
- **TESSIER D., BRUAND A., LE BISSONNAIS Y et DAMBRINE E., 1996-** Qualité chimique et physique des sols : variabilité spatiale et évolution. Ed. PARIS, 229-244p.
- **TIR Ch., 2007-** Genèse des sols à accumulation gypso-calcaires et saline dans la zone de Ain Ben Noui (Biskra) Approche minéralogique et micro-morphologique. Thèse de Magister. I N A, El Harrache. 160p.
- **U.S.S.L., 1954-** United salinity laboratory, diagnostic and improvements of saline and alkali soil. USDA hand book. N°60, 160 p.
- **USDA., 1954-** Keys to soil taxonomy.332p.
- **VENTURA F., DARREL N et LOOROPEZA L., 2001-** Soils erosion of an indurate volcanic from the semi arid area of Mexico. Nat. Soil. Erosion. Res. Lab. Col 47. n° 3. 330-335 P.

References Bibliographiques

- **VILAIN M., 1978-** La production végétale., Paris : Ed.GB BILLIER, Paris.
- **VILAIN M., 1989-** La production végétale. Vol 2 : La maitrise technique de la production. Ed. JB. Baillèr .
- **ZAHOW M .F et AMERHEIN C., 1992** -reclamation of saline soil using synthetic polymers and gypsum soil, science, society of America journal.56.4,: 1257-1260p.

Annexe

Annexe

Annexe

Annexe 1: Données climatiques de la région de M'Cif pendant la période (1994-2016).

Tableau 1: Températures moyennes (mensuelles, minimales et maximales) en (°C) de M'Cif pendant la période (1994-2016).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	déc.	Jan	fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
T°(C°) moy max	22,45	19,66	14,14	15,72	12,68	13,24	18,08	22,53	26,69	30,52	31,57	28,01
T°(C°) moy min	14,33	11,06	07,63	04,02	03,10	04,68	06,08	09,04	12,93	16,60	19,87	19,42
T°(C°) moy	18,39	15,36	10,88	09,87	07,89	08,96	12,08	15,78	19,81	23,56	25,72	23,71

Source: SMB (1994-2016)

Tableau 2: Variation saisonnière de la température en (°C) mensuelle de M'Cif pendant la période (1994-2016).

Saison	Printemps	Hiver	Eté	Automne
T (°C)	15.89	8.91	24.33	14.88

Source: SMB (1994-2016)

Tableau 3: Précipitation moyenne mensuelle en(mm) pendant la période (1994-2016) de la zone de M'Cif.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	fév.	mar.	Avr	Mai	jui	Juil	Aout	Annuelle
P (mm)	24,82	21,18	15,63	14,41	13,75	10,19	12,67	20,40	18,89	09,58	4,75	12,96	179.23

Source : SMB (1994-2016)

Tableau 4: Variation saisonnière de la pluviosité en(mm) de M'Cif pendant la période (1994-2016).

Saison	Printemps	Hiver	Eté	Automne
p(mm)	17.32	12.78	9.10	20.54

Source :SMB (1994-2016)

Annexe

Tableau 5 : La précipitation et la température moyenne mensuelle de la zone de M’Cif pendant la période (1994-2016).

Mois	Jan	Fév.	Mar.	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	déc.
P (mm)	13,75	10,19	12,67	20,40	18,89	9,58	4,75	12,96	24,82	21,18	15,63	14,41
T (c°) moy	7.89	8.96	12.08	15.78	19.81	23.56	25.72	23.71	18.39	15.36	10.88	9.87

Source : SMB (1994-2016)

Tableau 6 : Valeurs du quotient pluviométrique de la zone de M’cif.

Données	P (mm)	M (°K)	m (°K)	M-m (°K)	Q2
Valeurs	179.23	304.57	276.1	28.47	21.59
Etage bioclimatique	Etage bioclimatique aride à hiver tempéré				

Source : SMB (1994-2016)

Tableau 7 : Vitesses mensuelles moyennes du vent de la zone de M’cif (2004 -2016).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	déc.	jan	fév.	mar.	Avr	Mai	juin	juil.	Aout	Annuelle
V (m/s)	1,62	1,29	2,13	2,16	2,58	3,52	3,58	3,15	2,95	2,37	2,08	1,99	29.42

Source : SMB (2004-2016)

Tableau 8 : Humidités relatives mensuelles pendant la période (2004 -2016).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	déc.	jan	fév.	mar.	avr	mai	juin	juil.	Aout	Annuel
H (%)	47,68	56,55	67,88	67,13	68,43	63,38	55,08	49,78	45,22	36,11	32,42	35,5	625.16

Source : SMB, (2004-2016)

Annexe

Tableau 9: Evapotranspiration mensuelle moyenne de selon la méthode de Thornthwaite pendant la période (1994-2016).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	déc.	jan	fév.	mar	avril	mai	juin	juil.	Aou t
ETP(mm)	96,65	56,31	24,99	15,69	14,12	17,44	32,3	58,34	90,32	143,36	175,64	156,09

Source : SMB, (1994-2016)

Tableau 10: Valeurs moyennes mensuelles des durées d'ensoleillementsde M'Cif pendant la période (2004 -2016).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	déc.	jan	fév.	mar.	avr	Mai	juin	juil.	Aout	Annuelle
INSO (h)	234,73	233,36	194,10	153,87	203,69	186,33	236,68	244,55	310,94	320,14	303,80	308,52	2930,71

Source : SMB, (2004-2016)

Annexe 2: Description sur terrain des horizons des profils étudiés

Tableau 1: Description sur terrain des horizons du profil P1.

	H1 (cm) 0 à17	H2 (cm) 17 à 28	H3 (cm) 28 à 43	H4 (cm) 43 à 55	H5 (cm) 55 à 73.5	H6 (cm) 73.5 à 81	H7 (cm) + de 81
Charge caillouteuse	peu	peu	peu	peu	Peu	peu	peu
Zone de transition	Diffuse	Diffuse	Diffuse	Diffuse	Diffuse	Diffuse	Diffuse
Couleur (à l'état humide)	Jaune brun (10YR 6/8)	Jaune brun (10YR 6/8)	Jaune brun (10YR 6/6)	Jaune brun (10YR 6/8)	Jaune brun (10YR 6/8)	Jaune brun (10YR 6/6)	Jaune brun (10YR 6/6)
Texture	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableu se
Structure	Non structuré	Non structuré	Non structuré	Non structuré	Non structuré	Non structuré	/
MO	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	/
Effervescence à l'HCl	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyen ne
Densité Racinaire	Remarquable	Pauvre en MO	Pauvre en MO	Pauvre en MO	Pauvre en MO	/	/

Source : ALI et MAHDJOUBI (2014)

Annexe

Tableau 2: Description sur terrain des horizons du profil P2.

	H1 (cm) 0 à 05	H2 (cm) 05 à 11	H3 (cm) 11 à 20	H4 (cm) 20 à 45	H5 (cm) 45 à 69	H6 (cm) Plus qu 69cm
Charge caillouteuse	Peu à pas	peu	Peu	peu	peu	peu
Zone de transition	Nette	Nette	Nette	Diffuse	Diffuse	/
Couleur (à l'état humide)	Jaune brun (10YR 7/4)	Brun Gris (10YR 6/1)	Jaune brun (10YR 7/6)	Jaune Orange (10YR 7/8)	Jaune Orange (10YR 8/6)	Jaune (2.5Y 8/6)
Texture	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
Structure	Non structuré	Non structuré	Non structuré	Non structuré	Non structuré	Non structuré
MO	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre
Effervescence à l'HCl	Faible	Faible	Faible	Faible	Très faible	Très faible
Densité Racinaire	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre	Pauvre

Source : ALI et MAHDJOUBI (2014)

Tableau 3: Description sur terrain des horizons du profil3.

	Charge caillouteuse	Zone de transition	Couleur	texture	structure	porosité	MO	Densité racinaire	Effervescence à l'HCl
H1 (cm) 0-45	Très réduite	Nette	Bright Jaune Brun	Sableuse	Non structuré	/	Pauvre	Peu	Faible
H2 (cm) 45-68	Très réduite	Nette	Mill	Sableuse	Non structuré	/	Pauvre	/	Faible
H3 (cm) + 68	Très réduite	Nette	Bright Gris	Sableuse	Non structuré	/	Pauvre	/	Très faible

Source : ALI et MAHDJOUBI (2014)

Annexe

Annexe 3 : Données analytiques des sols.

Tableau 1 : Données analytiques des trois profils.

Horizon (cm)	pH 1/2,5		CE (Ds/m)	Calcaire (%)		Gypse (%)	CEC meq/Kg	MO (%)	Porosité (%)	C/N	Humidité (%)	EG %	Granulométrie (%)				
	Eau	KCl		Total	Actif								A	L		S	
														Lg	Lf	Sg	Sf
P1H1	8.48	8.09	0.68	6.18	6,07	/	49,67	2.61	64.15	10.85	3.73	0.98	12	10	5	53	20
P1H2	8.36	8	0.62	9.19	8,75	/	39,14	2.94	33,96	10	1.72	0.73	20	10	8	54	17
P1H3	8.41	7.86	0.60	9.16	9	/	55,7	3.10	64.15	8.38	0.3	1.95	24	16	10	45	17
P1H4	8.58	7.99	0.79	8.95	7,25	/	45,16	2.44	55.84	10	6.60	3.04	22	18	8	60	7
P1H5	8.52	7.93	0.61	8.95	7,25	/	54,19	2.44	42.26	10.83	2.98	4.95	21	11	5	56	4
P1H6	8.74	8.1	0.81	7.91	7,75	/	30,1	3.26	63.01	8.66	2.56	2.36	16	11	5	59	9
P1H7	8.66	7.88	0.80	7.70	6,25	/	31,61	2.77	50.56	4.28	2.04	1.92	16	13	6	70	3
P2H1	8.88	8.27	2.08	2.29	/	/	21,07	2.435	45.28	6.09	0.30	0.98	11	2.5	1.5	57	30
P2H2	8.92	7.4	2.1	2.95	/	/	42,15	2.43	62.26	5.04	1.01	0.73	11	9	5	45	40
P2H3	8.61	8.14	2.05	2.70	/	/	66,23	1.79	37.73	11.3	0.7	1.95	15	9	4	30	44
P2H4	8.86	8.05	2.09	2.49	/	/	67,16	1.30	53.58	8.94	0.5	3.043	7	6	6	51	30
P2H5	8.90	8.05	2.11	2.12	/	/	49,67	1.465	38.86	10.62	0.3	4.95	9	5	5	35	48
P2H6	8.87	7.96	2.04	2.12	/	/	45,16	1.465	50.94	10.36	0.4	2.36	12	8	5	41	34

Annexe

P3H1	8.664	8.008	3.04	2.08	/	4.63	28,11	2.44	35.09	4.85	3.95	0.87	12	9	6	43	35
P3H2	8.615	7.757	3.78	5	/	5.09	22,58	1.96	41.13	8.5	4.16	0.96	16	10	10	49	15
P3H3	8.409	7.452	2.98	4.79	/	3.58	24,08	2.12	86.67	8.91	4.16	0.51	20	12	6	37	19

Source : ALI et MAHDJOUBI (2014)

Annexe 3. Données analytiques des sols (suite).

Tableau 1 : Données analytiques des trois profils (suite).

Horizons	Phosphore assimilable(ppm)	CEC(méq/100g)
P1H1	45.45	49.67
P1H2	41.66	39.14
P1H3	49.06	55.7
P1H4	33.3	45.16
P1H5	23.33	54.19
P1H6	35.12	30.01
P1H7	25	31.61
P2H1	91.66	21.07
P2H2	83.33	42.15
P2H3	50	66.23
P2H4	33.3	67.16
P2H5	75	49.67
P2H6	30	45.16
P3H1	108.33	28.11
P3H2	83.33	22.58
P3H3	50.65	24.08

Source : ALI et MAHDJOUBI (2014)

Annexe

Annexe4 :Les normes d'interprétation des terres.

1-La porosité totale

Tableau 1 : 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%

Source : (ENIB, 2000)

2-Matière organique

Tableau 2 :Normes d'interprétation .

Taux de MO	< 1	1 à 2	2 à 4	> 4
Appréciation	très pauvre	pauvre	moyenne	riche

Source :(I.T.A 1977)

3-C/N

Tableau 3 : Normes d'interprétation.

C/N	Minéralisation de la MO
< 8	Minéralisation trop rapide, perte d'éléments fertilisants
Voisin de 10	Bonne minéralisation
> 15	Minéralisation lente accumulation de matière organique

Source : (GAGNARD et al 1988)

Annexe

4-CE

Normes d'interprétation (**AUBERT, 1978**).

mmhos/cm= mS/cm	0.6	1.2	2.4	6
meq/100g	3	6	12	30
non salé	peu salé	salé	très salé	extrêmement

5-Phosphore assimilable

Tableau 4 : Normes d'interprétation du phosphore assimilable« méthode Joret – Hebert 1955».

Taux de phosphore assimilable en ppm	<30 ppm	30-50 ppm	50-100ppm	100-200 ppm
	Très faible	pauvre	Moyennement pauvre	riche

Source : CALVIET et VILLEMIN (1986)

6-pH

Selon la première version du référentiel pédologique Française cité par **BAIZE (1988)**.

pH inférieur à 3.5 → hyper-acide

pH entre 3.5 et 5 → très acide

pH entre 5 et 6.5 → acide

pH entre 6.5 et 7.5 → neutre

pH entre 7.5 et 8.7 → basique

pH supérieur à 8.7 → très basique

Annexe

Tableau 5: La différence entre le pH eau et le pH KCl.

pHeau – pHKCl	< 0.5	0.5 ----- 1	> 1
Interprétation	Sol faiblement dé saturé	Sol dé saturé	Sol fortement dé saturé

7- Calcaire total

G.E.P.P.A cite par **BAIZE (1988)**

1%	—————>	non calcaire
1 – 5%	—————>	peu calcaire
5 – 25%	—————>	modérément calcaire
25 – 50%	—————>	fortement calcaire
50 – 80%	—————>	très fortement calcaire
> 80%	—————>	excessivement calcaire

8- CEC

Tableau 6 : Classes d’appréciation des sols d’après la quantité de bases échangeables en méq pour 1000g du sol.

Valeurs de CEC (en méq/kg)	Appréciation de la CEC
< 60	Très faible
60 – 120	Faible
120 – 200	Moyenne
200 – 300	Elevée
> 300	Très élevée

Source :(référentiel pédologique 1992)

Annexe

9- Gypse

Normes d'interprétation : Selon **BARZANJI, 1973** cité par **FAO (1990)**.

<0.3 sol non gypseux

0.3 – 10..... sol légèrement gypseux

10 – 15..... ..sol modérément gypseux

15- 25..... sol fortement gypseux

25-50..... sol très fortement gypseux

10- Les éléments grossiers

Tableau 7 :la quantité d'éléments grossiers.

% de cailloux	Description
< à 5%	Peu d'éléments grossiers
de 5 à 15 %	Faible charge caillouteuse
de 15 à 30 %	Charge caillouteuse moyenne
de 30 à 40 %	Charge caillouteuse élevée
> à 40 %	Charge caillouteuse très élevée

Source : Baize (2000)

ملخص:

يهدف هذا العمل الى تحديد ومعرفة الخصائص الفيزيائية، الكيميائية والبيولوجية للتربة في منطقة مسيف، وذلك باختيار ثلاث محطات (P2, P3, P3).

تتميز المنطقة المدروسة بمناخ جاف، شتاء معتدل مع انخفاض هطول الأمطار وانتشار الجفاف على مدار السنة.

حموضة التربة قلوية في المحطات الثلاث.

ترتبتنا رملية وذلك في كل محطات الدراسة (P2, P3 P1)، مع هيمنة الرمال الناعمة هذه الأخيرة قد تكون بفعل مساهمات الرياح وتصحح هذه المشكلة عن طريق إضافة المادة العضوية (MO).

ترتبتنا متوسطة الكلس في معظم العينات، والكلس الرقيق في المحطة 1 مما يسبب مرض الاصفرار.

في المحطة الثانية والثالثة، لاحظنا أن نسبة الملوحة عالية ويمكن تصحيح هذه المشكلة بمراقبة نوعية مياه السقي وتركيب أنظمة الصرف هذا من أجل مراقبة زيادة ونقصان الملوحة.

كلمات رئيسية: منطقة مسيف، الخصائص، الفيزيائية-الكيميائية- البيولوجية، بنية رملية، ملوحة، الكلس.

Résumé

Le présent travail vise la détermination et la connaissance des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols de la zone du M'Cif. En choisissant trois profils (P1, P2, P3).

La région d'étude présente un climat de type aride à hiver tempéré et une très faible pluviométrie avec sécheresse qui s'étale tout au long de l'année.

Le pH du sol est alcalin dans les trois profils.

La texture de nos sols (P1, P2, P3) est sableuse, avec dominance des sables fins par rapport au grossiers et ceci est peut être du aux apports éoliens. Ce problème doit être corrigé par des apports de MO.

Notre sol est modérément en calcaire total dans la majorité des profils. Avec présence du calcaire actif dans le profil P1; ce qui provoque éventuellement des risques de chlorose.

Dans la troisième, la salinité est élevée; ce problème peut être corrigé par un suivi détaillé de l'augmentation et la diminution de la salinité, contrôle de la qualité des eaux d'irrigation et installation de réseaux de drainage.

Mots clés: M'Cif, propriétés (physiques, chimiques, biologique) texture sableuse, salinité, calcaire.

Summary

This work is a determination and knowledge of the physical, chemical and biological properties of soils in the area of M'Cif, choosing three profiles (P1, P2, P3).

The study area has an arid climate with lower winters and very low rainfall with drought spread throughout the year.

Soil pH is alkaline in the three profiles.

The texture of our soils (P1, P2 and P3) is sandy, with dominance of fine sand from the coarse and this may be the contributions of wind. This problem should be corrected by the contributions of MO.

Our soils are moderately in calcium total in the majority of the profiles, and in this we find the calcium active in the profile 1, which causes the risk of chlorosis.

In the second and third station, we observed a high salinity. This problem can be corrected by a detailed monitoring of the increase and decrease in salinity, quality control of irrigation water and installation of drainage systems.

Keywords: area M'Cif, physico-chemical and biological properties, sandy texture, salt, limestone.