

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

FACULTE DES SCIENCE

**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE**

N° :.....



**DOMAINE : SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE**

FILIERE : AGRONOMIE

OPTION : Sciences du sol

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

Par: BAOUCHE Nadjoua

SID Salima

Intitulé

**Contribution à la connaissance des propriétés d'un
sol cultivé de la région de M'sila cas de la pépinière de
M'Sila vert.**

Soutenu devant le jury composé de:

M. HADJ KOUIDER. B

Université M'sila (MAA)

Président

M. TELLACHE. S

Université M'sila (MAA)

Encadreur

Mlle. TIR. Ch

Université M'sila (MAA)

Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

Dedecace

*À la bougie qui est la source de la lumière de ma vie, qui se fond
toujours pour éclairer ma route :*

*A mon cher père ABED KADARE je dédie ce travail et je lui
souhaite une longue belle vie;*

*À la fleur qui rehausse et aromatise mes jours, qui gardent les nuits
pour que je me rendorme,*

*A ma très chère mère ZAHRAH je dédie ce travail et je lui souhaite
une longue belle vie.*

A mon très cher mari IDRISS BERREGUI

A mes chères sœurs :HANANE; SARA

A mes chères frères : KAMEL,MOUSSA

A mes amies : NADJOUA, HANA

*pour votre fidèle amitié et les bons moments passés ensemble tout au
long de mes études et en dehors.*

A ma promotion de Master 2018-2019

A tous les membres de ma famille SID et famille BERREGUI



SALIMA

Remerciements

*Nous remercions tout d'abord **ALLAH** ﷻ le tout puissant de nous avoir donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce mémoire.*

*Nous remercions notre rapporteur * **Mr TELLACHE SLLIMANE***, pour l'aide et pour l'honneur qu'il nous a fait en dirigeant ce travail, pour ses précieux conseils et son orientation tout au long de notre recherche.*

Nous exprimons nos sincères remerciements à :

****Mr HADJKOUIDER Boubaker** de l'honneur qu'il nous fait de présider le jury.*

** **Mlle TIR Chafia** ; Pour avoir accepté de lire et corriger notre travail.*

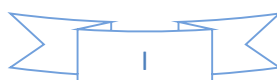
** Aux responsables, aux enseignants et les ingénieurs du laboratoire de département d'agronomie pour leurs compréhensions et leurs aides dans la réalisation de ce travail de recherche.*

** Nos familles et Nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.*

Nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Merci

Nadjoua et salima



A decorative border surrounds the text. It consists of horizontal and vertical bamboo sticks tied with natural twine. Purple irises with yellow centers and variegated green leaves are placed along the right and bottom edges of the frame.

Dédicace

Je dédie se modeste travail aux être qui sont les plus chères dans ma vie :

A mon très cher père m'énormément aide dans ma vie avec ses conseils et sont sagesse, qui est la source de ma réussite.

A ma très mère cette fontaine d'amour et de tendresse, pour ces conseils et soutien indéfectible.

A mes très chérés grands-pères.

A mes très chères grandes mères.

A mon très cher mari Djellal Hamza.

Et je dédie à mes frères : Aboubakar et Mefthah.

Femme de Mon frère : Hala et ces enfants Ranai jouri et Mohammad el amine.

A mes sœurs : Dalila et Oumlkir et leurs maries spécialement Bourzeg Yacine et ces enfants Iyad et Arij

A tout la famille BAOUCHE, DJELLAL et ALLAL.

A tous mes enseignants.

A ma cher amie et binôme : Salima

A tous mes Amies qui en partagés a avec mois la vie universitaire.

Mes collègues surtout qui ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Nadjoua

Table de Matière

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACE.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
LISTE DES FIGURES.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
LISTE D'ABREVIATIONS.....	IV
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1. LE SOL	4
1.1. Définition.....	4
1.2. Principaux constituants des sols.....	4
1.2.1. Fraction minérale	4
1.2.2. Fraction organique	4
2. PROPRIETES DES SOLS	5
2.1. Propriétés physique.....	5
2.1.1. La texture	5
2.1.2. La structure :	10
2.1.3. La porosité	12
2.1.4. Perméabilité d'un sol	14
2.1.5. L'eau dans le sol:	15
2.1.6. Aération du sol.....	17
2.1.7. La température du sol:	18
2.2. Propriétés chimiques:	19
2.2.1. La capacité d'échange cationique (T ou CEC):	19
2.2.2. L'acidité, Le pH du sol et son pouvoir tampon:	21
2.2.3. La conductivité électrique (CE):	22
2.2.4. Le taux de sodium échangeable (ESP en %)	23
2.2.5. Salinité du sol.....	24
2.3. Fertilité du sol	25
2.3.1. Facteurs de la fertilité de sol	27
3. Sol cultivé.....	29
3.1. Fertilisation:.....	30
3.2. Irrigation	30
3.3. Travail du sol.....	31
3.4. Influence de l'agriculture sur les propriétés des sols.....	32
CHAPITRE II : MILIEU PHYSIQUE	34
1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	35
2. GEOMORPHOLOGIE	35
2.1. Cadre montagneux	35
2.2. Les piémonts	35
2.3. Les plaines.....	36
2.4. Chotte el Hodna.....	36
3. HYDROLOGIE.....	36
4. GEOLOGIE.....	37
4.1. Le secondaire	37
4.2. Le tertiaire	38
4.3. Le quaternaire	38
5. PEDOLOGIE :	38
5.1. Les sols minéraux bruts	39

5.2.	Les sols peu évoluées	39
5.3.	Les sols calcimagnésiques	39
5.4.	Les sols halomorphes	39
5.5.	Les sols hydromorphes.....	39
5.6.	Les sols iso humiques (Siérozem):.....	39
6.	CLIMAT	40
6.1.	La précipitation	40
6.2.	Température	42
6.3.	Les autres facteurs climatiques	43
6.3.1.	Les vents :	43
6.3.2.	L'humidité :	44
6.4.	Synthèse climatique :	45
6.4.1.	Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gaussen	45
6.4.2.	Climagramme D'EMBERGER	46
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES.....		48
1.	MATERIEL.....	49
2.	METHODE D'ETUDE.....	49
2.1.	Choix du site d'échantillonnage	49
2.2.	Méthode d'échantillonnage	50
2.3.	Préparation des échantillons de sol pour l'analyse	50
2.4.	Les méthodes d'analyse de laboratoire	51
2.4.1.	Les analyses chimiques	51
2.4.2.	Les analyses physiques	53
2.4.3.	Les analyses biologiques	56
CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION.....		58
1.	INTRODUCTION.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
2.	LES CARACTERISTIQUE ET PROPRIETES PHYSIQUE.....	59
2.1.	La texture	59
2.1.1.	Discussion	59
2.1.2.	Interprétation globale	60
2.1.3.	Discussion	60
2.2.	Structure	61
2.2.1.	Discussion	62
2.2.2.	Stabilité structurale et battance	62
2.2.3.	Discussion	62
2.3.	La porosité totale et la densité apparente	62
2.4.	Propriétés hydrique du sol	64
2.4.1.	La réserve hydrique.....	64
2.4.2.	La perméabilité	64
2.4.3.	Section de contrôle de l'humidité du sol	65
2.4.4.	Régime hydrique du sol	66
3.	CARACTERISTIQUES CHIMIQUES	67
3.1	Réaction du sol (pH _{eau} , pH _{KCl}).....	67
3.2.	Conductivité électrique	68
3.3.	Calcaire total.....	69
3.4.	Calcaire actif	69
3.5.	Capacité d'échange cationique (CEC).....	69
3.6.	Gypse	70
3.7.	Bases échangeables	71

4. CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUE.....	72
4.1. Matière et carbone organique.	72
4.2. L'azote total	73
CONCLUSION GENERALE	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	76
ANNEXE	81
Annexe1 : Classification des normes de teneur en matière organique (MO) dans le sol.	81
Annexe2 : Classification des sols d'après le pH et leurs spéculations agricoles	81
Annexe3 : La différence entre le pH_{eau} et le pH_{KCl} est d'autant plus élevée que le sol est désaturé :	82
Annexe4: Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de sol:	82
Annexe5 : Classes de stabilité structurale d'après $\log 10 I_s$	82
Annexe6 : Classes de l'indice de battance	83
Annexe7: Classes de perméabilité des sols	83
Annexe 8 : Classe de l'azote totale dans le sol	83
Annexe9 : les normes des CEC dans le sol	83
Annexe10 : Solubilité des éléments nutritif en fonction du pH.....	84
Annexe 11 : Norme d'interprétation du calcaire actif	84
Annexe12: Déterminer la précipitation du site d'étude à partir de la précipitation de la station climatique la plus proche de la région d'étude	84

Liste des Figures

Figure 1: Composition minéralogique moyenne des fractions granulométriques.....	6
Figure 2 : Diagramme de classification détaillée des textures (JAMAGNE, 1967).....	8
Figure 3 : Classification des types de structures des sols (PREVOST, 2006).....	11
Figure 5: Représentation en volume des constituants du sol (PREVOST, 2006)	13
Figure 6: Dispositif de mesure de la perméabilité du sol (DUCHAUFOR, 2001).....	15
Figure 7: Capacité d'échange cationique (CEC).	20
Figure 8: Le pH des sols (CLEMENT & PIELTAIN, 2003).	21
Figure 9: Situation géographique du site d'étude	35
Figure 10 : Géomorphologie du site d'étude extrait de la carte géomorphologique feuille de M'sila 1/50000 (CAPOLONI & SARY, 1971)	36
Figure 11: Réseaux hydrographique du site d'étude.....	37
Figure 12: Géologie du site d'étude extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000 (GUIRAUD, 1973).....	38
Figure 13: Pédologie du site d'étude extrait de la carte pédologique du Hodna 1/800000 (FAO, 1973).....	40
Figure 14: Pluviométrie moyenne mensuelle du site d'étude	42
Figure 15: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila (1998 à 2014).	44
Figure 16: Moyennes mensuelles d'humidité de l'air dans la région de M'sila (1998 à 2014).	45
Figure 17 : Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gausson de la station de M'sila 1998-2014.	45
Figure 18: Climagramme d'Emberger et représentation du site d'étude 1998-2014.	47
Figure 19: Vue générale du site d'étude (pépinière), le 27 Février 2019.	49
Figure 20: Situation géographique de la zone d'étude.....	50
Figure 21 : Photo représente terre étalée pour séchage	51
Figure 22 : Photo représente terre tamisée à 2 mm	51
Figure 23: Analyse de Calcaire totale ($CaCO_3$).....	52
Figure 24: Analyse granulométrique par la méthode internationale	53
Figure 25: Importance des fractions granulométriques du sol	59
Figure 26: Texture de profil sur le diagramme des texture (SOIL SURVEY STAFF, 1951).....	60
Figure 27 : Relation entre la densité apparente et la macroporosité (DUCHAUFOR, 2001).	63
Figure 28 : réserve hydrique des horizons.....	64
Figure 29 : Infiltration et ruissellement de l'horizon de surface en fonction de l'intensité des précipitations	65
Figure 30 : Section de contrôle et réserve hydrique cumulée du sol.....	66
Figure 31 : Régime hydrique du sol	67
Figure 32: La réaction du sol des horizons.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 33: Les valeurs de capacité d'échange cationique des horizons.....	70
Figure 34: Le taux de gypse des horizons	71
Figure 35: le taux de matière et carbone organique des horizons.....	72
Figure 36 : L'azote total des horizons.....	73

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les classes granulométrique du sol.	5
Tableau 2: Propriétés des classes de constituants du sol	7
Tableau 3: Comparaison entre l'air du sol et de l'atmosphère	18
Tableau 4: Répartition des classes des pH des sols	21
Tableau 5: Répartition des classes de l'alcalinité des sols	24
Tableau 6: Répartition interannuelle des précipitations en mm.	41
Tableau 7: Pluviométrie moyenne mensuelle en mm.	41
Tableau 8 : Répartition saisonnier des précipitations du site d'étude.	42
Tableau 9: Les températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (C°).	43
Tableau 10: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.	43
Tableau 11 : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.	44
Tableau 12 : Valeurs du quotient pluviothermique.	46
Tableau 13 : Les types de structure des horizons du profil.	61
Tableau 14 : L'indice de battance et d'instabilité structurale de l'horizon de surface. ...	62
Tableau 15 : La porosité total et la densité apparente des horizons.	63
Tableau 16 : Vitesse d'infiltration hydromorphie et interprétation.	65
Tableau 17 : Résultats d'analyse du pH _{eau} et pH _{KCl} des horizons.	67
Tableau 18 : Les résultats de la conductivité électrique (CE).	68
Tableau 19: Les paramètres chimique du sol salin	68
Tableau 20 : Calcaire total des horizons	69
Tableau 21: Calcaire actif des horizons.	69
Tableau 22 : Les valeurs de capacité d'échange cationique des horizons.	70
Tableau 23 : Gypse des horizons.	71
Tableau 24: Les bases échangeables des horizons.	71
Tableau 25 : Carbone et matière organique des horizons	72
Tableau 26 : L'azote total dans les horizons	73

Liste d'abréviations

C° : Degrés Celsius.

% : pourcent.

ds/m : dis siemens par mètre.

C.E : Conductivité électrique.

pH : Potentiel d'hydrogène.

FAO : Food and agriculture Organization (Organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Alimentation et de l'Agriculture).

m : mètre.

CEC ou T : Capacité d'échange cationique.

meq/l : milli équivalent par litre.

g/l : gramme par litre.

g/cm³ : gramme par centimètre cube.

Na⁺ sodium.

Ca⁺⁺: calcium.
SAR: Sodium Adsorption Ration.
Mg⁺⁺: Magnesium.
K⁺: Potassium.
Km: Kilometer.
Km²: Kilometer carré.
CaCO₃: Carbonate de calcium (Calcaire).
max: maximum.
mini: minimum.
mm: millimètre.
mg: milligramme.
SaSO₄: Sulfate de calcium.
CO₂: dioxyde de Carbone.
EDTA: Ethylène Diamine Tetraacetic Acide.
NaCl: Chlorure de sodium.
P (mm): Précipitation.
Q : quotient pluviométrique.
T : Température.
A: Argile.
SaSO₄, 2H₂O: Gypse.
Vt: volume total.
Vp: volume de l'espace porale.
Vs : volume occupé par la matière solide.
SG : sable grossier.
L : limon.
Ag : Agrégat.
Is : indice de stabilité.
Ks : conductivité hydraulique.
O₂ : Oxygène.
ms/cm : milli siemens par centimètre.
mmhos/cm : milli mohos par centimètre.
ESP : le taux de sodium échangeable.
KCl : chlorure de potassium.
mg/l : milligramme par litre.
m/s : mètre par second.
P%: Porosité.
USSL: United State of Salinity Laboratories.
CO: Carbone organique.
MO: Matière organique.
IB: indice de battance.
pF : point de Flétrissement.
cm : centimètre.
Cm³ : centimètre cube.
SEEN: Service des Expérimentations des Essais et de la Normalisation.
DIAEA: Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole.
ETP: Evapotranspiration potential.
USDA: United States Department of Agriculture.
Kpa: Kilo pascal.
µm: micromètre

CPCS : Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (Classification des Sols).



Introduction générale

La production céréalière constitue une des principales filières de la production agricole en Algérie, elle occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, jachère comprise. La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'ha (DJERMOUN, 2009).

Face aux besoins d'une démographie galopante et d'une urbanisation rapide se pose la question cruciale d'une reproduction durable des ressources naturelles en agriculture. Le capital que constitue le sol fait face à un mal insidieux: la baisse du taux de matière organique des sols de grandes cultures. Il est souvent bien inférieur au taux de 2% souhaité (MAZOYER, 1970). Il en est de même en Tunisie (BEN HASSINE 2008). Une telle situation n'est pas sans conséquence sur le niveau des productions (DJERMOUN, 2009).

La gestion des sols agricoles en générale et les sols céréaliers en particulier nécessite la prise en considération des contraintes ; climatiques limitants les ressources en eaux à usage agricoles, et celles des sols nécessitant des mise en valeur est un mode de gestion rigoureux.

C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail dont l'objectif principale est la connaissance des propriétés des sols cultivé de la pépinière de M'sila. Notre mémoire est structuré en quatre chapitres :

- ✓ Le premier est une synthèse bibliographique des travaux intéressant notre travail,
- ✓ Le deuxième chapitre nous avons présenté la zone d'étude (géographique, géologique et climatique),
- ✓ Le matériel et les méthodes utilisés constituent le troisième chapitre.
- ✓ Le quatrième chapitre résultats et discussion.
- ✓ Et enfin conclusion.

CHAPITRE I:
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE



1. Le sol

1.1. Définition

« Le sol est une entité naturelle, c'est-à-dire dont l'existence initiale ne dépend pas de l'homme (BAIZE & GIRALD, 1995), superficielle et souvent meuble résultant de la transformation, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants (biosphère), d'un matériau minéral (géosphère) issu le plus souvent d'une roche sous-jacente, sous l'influence des processus physiques, chimiques et biologiques » (GIRARD, et al., 2005). 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 des propriétés émergentes, dépassant la simple addition des propriétés géologiques et biologiques (GOBAT, et al., 2010).

1.2. Principaux constituants des sols

Au sens de la pédologie (DUCHAUFOR, 2001), le sol est formé d'une fraction minérale et d'une fraction organique (humus), se définit comme une pellicule d'altération recouvrant une roche. Il représente la couche superficielle de la croûte terrestre (lithosphère), obtenue par transformation de la roche mère, au moyen de mécanismes physiques et chimiques, et par enrichissement de matières organiques issues d'êtres vivants végétaux, animaux et microbes.

1.2.1. Fraction minérale

La fraction minérale du sol représente l'ensemble des produits de la dégradation physiques et chimiques de la roche mère. On distingue les minéraux primaires, qui sont hérités de la roche mère, et les minéraux secondaires qui résultent de l'altération des minéraux primaires (CALVET, 2013).

1.2.2. Fraction organique

La fraction organique du sol, se compose de matière organique d'origines végétale et animale. La matière organique fraîche constitue la matière première de l'humus. Les molécules qui se décomposent, subissent soit un processus de minéralisation (c'est-à-dire se transforment en composés minéraux solubles ou gazeux) ; soit une humification (c'est-à-dire se renouvellent de façon complexe) pour former l'humus au sens strict (de couleur foncée) (CALVET, 2013).



2. Propriétés des Sols

2.1. Propriétés physique

2.1.1. La texture

2.1.1.1. Définition

La texture minérale reflète la part respective des constituants triés selon leur taille, qui est la proportion des sables, limons et argiles, mesurés par l'analyse granulométriques (GOBAT, et al., 1998).

Selon (DUCHAUFOR, 2001), la texture dérivant de la détermination de la composition granulométrique, correspond à la répartition des minéraux par catégorie de grosseurs (diamètre, les particules étant supposés sphériques), indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux, la granulométrie fournit donc un renseignement précieux sur la pédogenèse.

Les fractions granulométrique se compose de trois fraction ;les sables sont généralement siliceux, formes de grains de quartz, très résistants et subsistant longtemps; les limons, comme les sables proviennent de la désagrégation physique des roches et les argiles granulométriques, soit la fraction inférieure à 2 μ m, sont formes en majeure partie d'argile minéralogiques (HENIN, et al., 1976) ; (BAIZE, 2000). Voir tableau 1

Tableau 1 : Les classes granulométrique du sol.

Terre fine					Terre grossière		
Classes	Fraction limoneuse		Fraction sableuse		Fraction argileuse	Graviers	Cailloux
	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers	Argile		
Diamètre des particules	<2 μ m à 20 μ m	20 μ m à 50 μ m	50 μ m à 200 μ m	200 μ m à 2 mm	mois de 2 μ m	2 mm à 20mm	>20mm

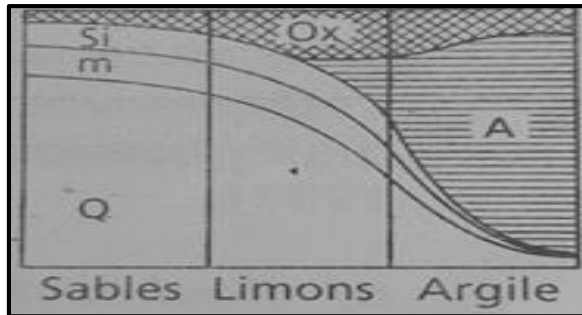
(HENIN, 1976) (BAIZE, 2000);

2.1.1.2. Composition minéralogique des fractions granulométriques

La majorité des minéraux primaires se trouve dans la fraction « limons et sables », les minéraux secondaires, argiles minéralogiques notamment, représentant l'essentiel des fractions fines. La répartition des oxyhydroxydes est très variable suivant les sols et les



matériaux (voir figure1). Enfin, si le milieu contient du calcaire, celui-ci peut être représenté dans toutes les fractions ; sur les craies et les marnes, notamment, il peut être dominant dans les fractions limons et argiles (DUCHAUFOR, 2001).



Si : silicates (autres que micas). Ox : oxyhydroxydes

m : micas

A : argiles

minéralogiques

Q : quartz

Figure 1: Composition minéralogique moyenne des fractions granulométriques

2.1.1.3. Les propriétés physiques et chimiques des fractions granulométriques :

D'après (HALITIM & ARDOUIN, 1978), la discussion des propriétés physiques et chimiques des fractions granulométriques isolées 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.

- **Argile**

L'argile est plastique à l'état humide et dure à l'état sec. L'argile est la fraction granulométrique la plus active de point de vue physique et chimique et pratiquement la seule fraction où il y a les phénomènes d'échanges ioniques (HALITIM & ARDOUIN, 1978).

- **Limon**

Les limons constituent l'ensemble des particules de 0.02 à 0.002 mm de diamètre. Par les dimensions et par les propriétés physiques qui en résultent, le limon diffère à la fois du sable et de l'argile. Le test du bondi se fissure rapidement même sous une forte humidité. La présence de la sensation onctueuse. Ne sont pas plastique, s'écroule sous faible pression; et sont sensibles au compactage et à la battance (HALITIM & ARDOUIN, 1978).

- **Les sables**

Sables siliceux ou sable quartzeux, riche en silice le plus fréquemment sous forme de quartz se caractérise par une forte perméabilité (HALITIM & ARDOUIN, 1978).

Certaines propriétés des trois fractions sont résumées dans le tableau 2

**Tableau 2:** Propriétés des classes de constituants du sol

Fraction	Absorption des ions	Rétention en eau	Perméabilité	Propriété mécaniques
Argile	Fort	Fort	Faible	A sec: cohérent Humide: pâteux
Limon	Faible	Moyenne	Faible	A sec: pas de cohérent, onctueux Humide: pâteux
Sable fin	nulle	Faible	Fort	A sec: pas de cohérent, rugueux Humide: pâteux
Sable grossier	Nulle	Nulle	Fort	Très rugueux, à sec comme humide

Source: (HENIN, 1976)

2.1.1.4. Classification des textures:

D'après (CHOSSAT, 2005), les particules qui rentrent dans la composition granulométrique de la terre fine ont été regroupées par convention, suivant leurs dimensions en trois classes. On distinguera :

Les argiles, particules dont les dimensions se situent entre **0 et 2µm**.

Les limons , qui se classent entre **2µm et 50µm**.

Les sables, qui se répartissent entre **50µm et 2000µm**.

D'après (PREVOST, 2006), le triangle texturale ne prend en compte que les fractions granulométriques ; cependant certains éléments comme le calcaire et la matière organique peuvent influencer fortement les propriétés du sol lorsque le taux devient élevé. Il existe plusieurs triangles texturaux tel que celui (JAMAGNE, 1967) et de (USDA, 1975)

La détermination texturale permet de définir la tendance du sol mais elle est insuffisante pour connaître ces propriétés (HENIN, et al., 1976).

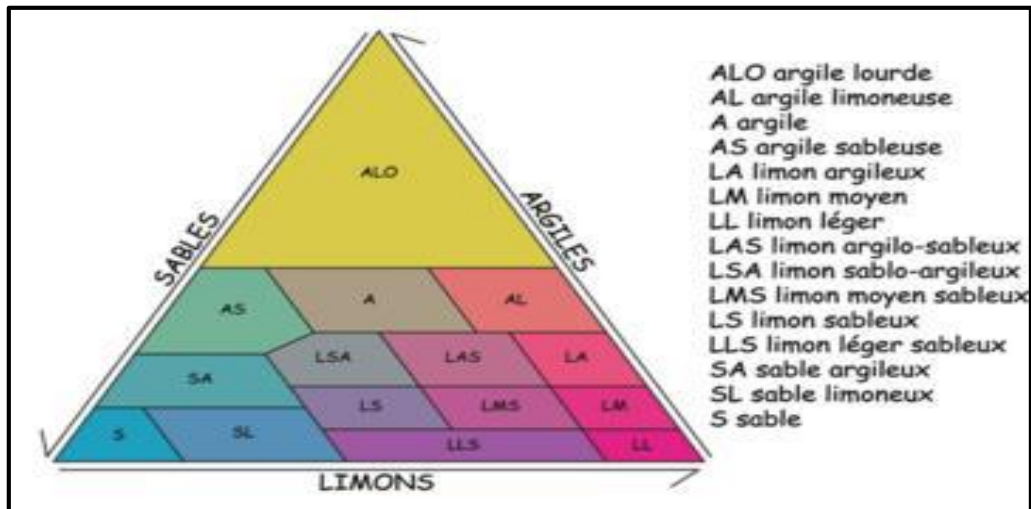


Figure 2 : Diagramme de classification détaillée des textures (JAMAGNE, 1967).

2.1.1.5. Propriété des sols de différents types de texture :

Selon (DROUT, 2010), beaucoup de propriétés physiques des sols peuvent être reliées de façon empirique à leur granulométrie. De nombreuses tentatives de mise en relation du type textural avec différentes propriétés physiques d'ailleurs ont été faites (ex : vitesse d'infiltration des eaux, humidité équivalente, eau utile, indice de stabilité structurale, indice de plasticité, etc...), différentes propriétés ne dépendent cependant pas uniquement de la texture. La nature des minéraux argileux ou des Oxyhydroxydes présents dans le sol ainsi que sa teneur en matière organique revêtent aussi grande importance.

- **Propriétés des sols à texture sableuse:**

Tous les sols à texture sableuse se distinguent par leur faible cohésion. La teneur en argile qui ne dépasse pas 15% est très petite pour qu'elle puisse produire une influence notable sur la cohésion. Le sol à texture sableuse se travaille donc facilement. Ils sont dits terre légères.

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 terres riches en argiles. La vitesse d'infiltration pour les sables grossiers est grande (HALITIM & ARDOUIN, 1978).

Selon (DUCHAUFOR, 2001), le sol à texture sableuse est bien aéré, pauvre en éléments nutritifs, faible capacité d'échange anionique et cationique.



- **Propriétés des sols à texture argileuse**

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

Leur état physique est très défavorable tandis qu'ils sont des sols riches et fertiles du point de vue chimique. Les pores ont des dimensions réduites, par la suite la perméabilité à l'eau et l'air est limitée (HALITIM & ARDOUIN, 1978).

Selon (DUCHAUFOR, 2001), la texture argileuse est une mauvaise propriété physique qui représente un milieu imperméable et mal aéré, formant obstacle à la pénétration des racines ; une bonne structure favorisée par l'humification corrige en grande partie ces propriétés défavorables.

- **Propriétés des sols à texture limoneuse**

Les réserves de ces sols en élément nutritif sont grandes, mais ce rôle favorable des limons dans les sols est compensé par les propriétés physiques défavorables. Ces sols à texture limoneuse sont dit battants à cause de leur faible cohésion et de leur perméabilité réduite ils sont extrêmement susceptibles à l'érosion par l'eau de ruissellement (HALITIM & ARDOUIN, 1978).

Selon (DUCHAUFOR, 2001), la texture limoneuse est sol à excès de limon et l'insuffisance d'argile peuvent provoquer la formation d'une structure massive, accompagnée de mauvaises propriétés physiques. Cette tendance est corrigée par une teneur suffisante en humus et en calcium.

- **Propriétés des sols à texture équilibrée**

Elle correspond à l'optimum, dans la mesure où elle présente la plupart des qualités des trois types précédents, sans en avoir les défauts ; exemple de granulométrie favorable à la culture : 25 % d'argile, 30 à 35 % de limons, 40 à 45 % de sables (DUCHAUFOR, 2001).

2.1.1.6. Rôle de texture:

La texture conditionne directement la structure du sol, et donc la porosité et le régime hydrique. En particulier, la proportion d'argile influence la formation du complexe argilo-humique, la capacité d'échange, la fertilité et la profondeur d'enracinement. La texture est une propriété stable, ne variant qu'en fonction de l'évolution à long terme (GOBAT, et al., 1998).



La connaissance de la texture permet d'indiquer la tendance du sol quant à ses qualités physiques. C'est ainsi que la texture a une influence primordiale sur le régime hydrique des sols. La texture joue un rôle dans l'aération du sol et sa porosité. La texture très importante parce qu'elle conditionne en grande partie le mouvement de l'eau dans le sol (HENIN, 1976),

2.1.2. La structure :

2.1.2.1. Définition :

D'après (GOBAT, et al., 1995), la structure est un état du sol, variant à court terme, par exemple selon les saisons. Elle dépend directement de la texture mais aussi de l'état des colloïdes, du taux d'humidité ou de matière organique et, dans une large mesure, de l'activité de la faune.

Selon (CALVET, 2013), la structure du sol devrait être construite par les arrangements de ses constituants à différentes échelles.

Elle est décrite à deux niveaux : à l'échelle macroscopique, structure proprement dite, observable à l'œil nu ; et à l'échelle microscopique : microstructure ou micromorphologie (DUCHAUFOR, 2001) ; (GIRARD, et al., 2011).

D'après (HILLEL, 1984), la structure du sol peut être décisive à l'égard de la productivité du sol car elle influence beaucoup le régime de l'eau et de la température au champ, la structure du sol peut influencer les opérations culturales telles que la préparation du sol, l'irrigation, le drainage et le semis.

La solidité de la structure, sa résistance aux agents de dégradation, est évaluée par des tests de stabilité structurale (GOBAT, et al., 1995).

Selon (PREVOST, 2006), la structure du sol représente le mode d'assemblage des particules entre elles. Le sol en place apparaît comme un ensemble d'éléments construits que l'on appelle selon la taille des agrégats, des agglomérats ou des mottes.

L'agrégat est l'unité structurale et est formé d'un squelette de grains de sable et de limons reliés entre eux par le complexe argilo-humique (PREVOST, 2006).

2.1.2.2. Principaux types de structure:

D'après (PREVOST, 2006), on distingue trois types de structure :

- **La structure particulaire** : les éléments sont peu reliés entre eux mais seulement juxtaposés ;



- **La structure fragmentaire** : les éléments structuraux sont bien individualisés ;
- **La structure continue** : la terre forme une masse compacte sans fissurations nettes.

Ces structures sont elles-mêmes de types différents selon la taille et la forme des agrégats.

Les principaux types de structures sont regroupés dans la figure 3 :

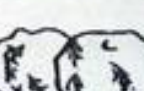
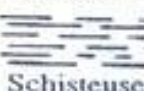
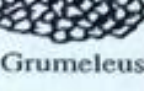
Classes	Continue	Fragmentaire			Particulaire
Types		Philliteuse	Anguleuse	Arrondie	
G r o u p e s	 Ciment	 Squameuse	 Prismatique	 Massive	 Cendreuse
	 Grès	 Schisteuse	 Columnaire	 Nuciforme	 Sableuse
	 Poudingue	 Laminaire	 Cubique	 Grumeleuse	 Graveleuse
			 Polyédrique		

Figure 3 : Classification des types de structures des sols (PREVOST, 2006).

Selon (SOLTNER, 2000), la forme des éléments structuraux permet ensuite le classement des types de structure en 3 groupes :

- **Les structures particulières ou élémentaires**, dans lesquelles les constituants solides sont entassés sans aucune liaison faut des colloïdes. Il s'agit en fait d'une absence de structure ;
- **Les structures compactes au continues**, dont les éléments, noyés dans une masse d'argile dispersée, ne font qu'un seul bloc ;
- **Les structures fragmentaires**, dans lesquelles des constituants, assemblés en agrégat, sont groupés en éléments structuraux plus ou moins gros d'aspect allongé, anguleux, ou plus ou moins sphériques, offrant plus ou moins de facilité à la circulation de l'air et de l'eau.



2.1.2.3. Stabilité structurale:

Selon (PREVOST, 2006), la structure est soumise aux agents de dégradation qui sont :

- **L'impact des gouttes d'eau sur le sol nu** ; c'est surtout le cas des fortes pluies qui détruisent les agrégats de surface ;
- **L'éclatement des agrégats dû à une humectation trop rapide** qui comprime l'air et fait éclater les agrégats ;
- **La dispersion des colloïdes** due à un lessivage des ions flocculants ;
- **Le tassement en période humide** par les animaux ou les matériels ;
- **L'effet de choc des outils** surtout avec les outils rotatifs à grande vitesse (houe rotative).

La stabilité structurale joue un rôle important dans la fertilité des sols car elle influence ses propriétés physiques (aération, circulation de l'eau, perméabilité), chimiques (échange de bases entre le complexe colloïdal, les solutions du sol et le système racinaire des plantes) et biologiques (qualité des microorganismes, activité biologique générale) (MATHIEU & PIELTAIN, 1988) ; (SOLTNER, 2000).

2.1.3. La porosité

2.1.3.1. Définition

D'après (CALVET, 2013), le mot porosité peut recouvrir deux notions. L'une se réfère à une qualité, celle d'un milieu qui possède des pores, c'est-à-dire un milieu poreux. L'autre est une grandeur physique qui exprime le rapport entre deux volumes, le volume occupé par des pores dans un milieu donné et le volume total de ce milieu. Une grandeur complémentaire de la porosité totale est la masse volumique apparente (STENGEL, 1990).

Selon (PREVOST, 2006) ; (HILLEL, 1984) l'espace poral étant occupé par l'eau ou par l'air, on distingue :

- **La macroporosité** comprend les pores supérieures à 8 μm et occupée normalement par l'air ou l'eau après une pluie tant que le sol n'est pas ressuyé;
- **La microporosité** regroupe les pores inférieurs à 8 μm et contient l'eau du sol ;

D'après (DUCHAUFOR, 2001) ; (PREVOST, 2006) ; (GOBAT, et al., 1995), la porosité du sol se mesure à partir des densités du sol :

- **La densité réelle (D_r)**, représenter la masse volumique des éléments solides du sol, pauvre en matière organique, elle varie peu, entre 2,6 et 2,7 g/cm³.



- **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, et se mesure ainsi à l'aide de cylindre calibré de 250 cm³. Dans la majorité des sols, la densité apparente varie de 1 à 2g/cm³.

La porosité (en %) est égale à $P = \left(\frac{d_r - d_a}{d_r} \right) \times 100$, sa valeur moyenne étant de 50 % (soit 20% de macroporosité et 30% de microporosité), (voir la figure 4)

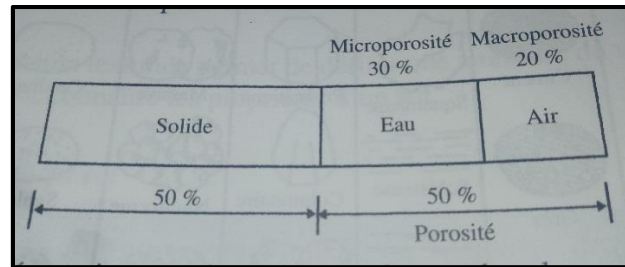


Figure 4: Représentation en volume des constituants du sol (PREVOST, 2006).

La porosité dépend de la structure du sol mais également de sa texture (une texture fine favorise la microporosité) et la profondeur du sol (la porosité est plus faible en profondeur) (PREVOST, 2006).

La porosité totale dépend de l'arrangement des particules de la phase solide qui dépende lui-même de plusieurs facteurs, il s'agit de :

- L'hétérogénéité du sol qui a pour conséquence une très grande variabilité spatiale de toutes les caractéristiques de l'espace poral ;
- La nature et les teneurs en constituants minéraux et organiques de la phase solide ;
- La teneur en eau du sol ;
- Les diverses actions mécanique naturelles d'origine biologique ou artificielles d'origine anthropique (PREVOST, 2006).

2.1.3.2. Types de porosité des sols:

Il y a deux types de porosité des sols est :

- **Porosité texturale:**

La porosité texturale est directement liée à la texture du sol. Elle résulte de l'assemblage des particules élémentaires. Elle n'est pas modifiable, contrairement à la porosité structurale.



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), (TESSIER, 1984)

- **Porosité structural:**

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 (CHOSSAT, 2005).

Cette porosité serait à l'origine des transferts des fluides tels que l'eau et les gaz dans le sol, du fait que la taille de ce type de porosité est plus importante que celle de la porosité texturale, elle conditionne aussi l'enracinement des végétaux (CHAMAYOU & LEGROS, 1989).

2.1.3.3. Rôle de la porosité:

Selon (GOBAT, et al., 1995), la porosité renseigne sur les capacités hydriques ou atmosphériques d'un sol, en volume ou en flux. Dans ce dernier cas toute fois, la seule indication de la porosité ne suffit pas car la circulation de l'eau (ou de l'air) dépend aussi des relations entre les vides du sol et de leur mode d'arrangement.

2.1.4. Perméabilité d'un sol

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 (DUCHAUFOR, 2001).

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

$H+H'$ = hauteur de la charge d'eau

H= hauteur de la colonne de sol

S= section du tube

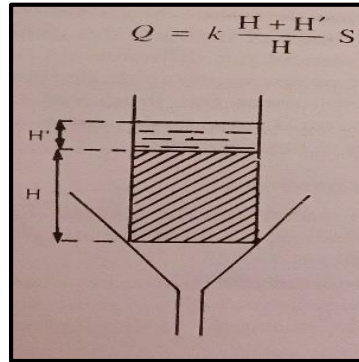


Figure 5: Dispositif de mesure de la perméabilité du sol (DUCHAUFOR, 2001).

L'infiltration est le nom donné au processus d'entrée de l'eau dans le sol à travers la surface du sol et verticalement vers le bas. Ce processus est d'une grande importance dans la pratique car son régime détermine souvent le ruissellement qui se forme à la surface du sol pendant les orages (HILLEL, 1984).

La vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol est profondément affectée par l'état structural de la surface et l'état structural de la couche du sol intéressé par l'infiltration. Par exemple lorsque les pluies sont intenses, elles modifient la surface du sol, du moins lorsque la structure est instable, et peut là aussi, se former une couche compacte limitant la pénétration de l'eau (HENIN, et al., 1969).

En général la capacité d'absorption de l'eau par le sol est élevée au début de l'infiltration, en particulier quand le sol est initialement très sec (HILLEL, 1984). La perméabilité d'un sol dépend aussi de la porosité, mais surtout du taux de saturation en eau (GIRARD, et al., 2005).

2.1.5. L'eau dans le sol:

D'après ((RAMADE, 2003) in (ABDELAOUI & BEN CHENIT, 2012)), la capacité de rétention de l'eau dans les sols varie donc beaucoup en fonction de leur porosité. Cette hygrométrie (l'humidité des sols) se mesure généralement en pourcentage de l'eau contenue dans le sol par rapport au volume total de la terre.

Selon (GOBAT, et al., 1995), le régime hydrique résultant de la variation de teneur en eau du sol au cours de l'année, il dépend directement des trois propriétés précédentes :

- La texture, détermine les forces de rétention de l'eau.
- La structure, influence sur la circulation de l'eau.



-La porosité, définit le volume du réservoir hydrique du sol.

Lorsqu'il pleut, une partie de l'eau s'infiltre dans le sol, tandis que le reste s'écoule par ruissèlement vers les cours d'eau. L'eau contenue dans les assure l'alimentation en eau des plantes et le transport des éléments nutritifs (azote, phosphore) nécessaires à leur croissance. La part facilement utilisable par les plantes est dite : réserve facilement utilisables (RU), c'est -à- dire le maximum d'eau disponible pour les plantes peut contenir (GOBAT, et al., 1995). L'eau dans le sol peut se trouver sous trois états :

-L'eau de gravité

C'est l'eau occupant momentanément ou de façon plus ou moins permanente (eau de saturation) les pores les plus grossiers du sol, c'est -à- dire la macroporosité. Cette eau de gravité soumise à la pesanteur et n'est retenue par le sol après ressuyage. C'est cette eau da gravité qui assure l'entraînement de la substance dissoute (cation, anions, chélates) ou en suspension (argile fines) ; elle contribue donc à la différenciation des profils (DROUT, 2010).

-L'eau capillaire

On distingue l'eau capillaire absorbable qui à l'eau contenue dans la microporosité de 0,2 à 8 μm (pores de réserve), et l'eau capillaire non absorbable ou eau liée, correspondant à la microporosité très fine, inférieure à 0,2 μm (pores résiduels) (DROUT, 2010).

L'eau capillaire absorbable est donc l'eau retenue par le sol après ressuyage ; elle est utilisable par les végétaux. C'est en outre la phase liquide qui compose la solution du sol, c'est -à-dire le réservoir des substances dissoutes et milieu d'altération des minéraux (DROUT, 2010).

-L'eau hygroscopique (eau inutilisable par les plantes).

C'est l'eau adsorbée par le sol aux dépens de l'humidité atmosphérique et elle varie avec le degré hygrométrique de l'air, Il s'agit donc d'une mince pellicule d'eau entourant les particules minérales et organique. Très énergiquement retenue, elle n'est susceptible d'aucun mouvement et n'est pas absorbable par les végétaux (DROUT, 2010).

**2.1.5.1. Les forces agissant sur l'eau du sol**

Les forces agissant sur l'eau du sol sont de l'ordre de trois : forces osmotiques, qui sont dues aux attractions exercées sur l'eau par les ions de la solution du sol. Forces d'imbibition sont dues à l'attraction électrostatiques exercées entre les charges négatives des colloïdes et des pôles positifs de l'eau. Forces capillaires liées à des phénomènes de tension superficielle et rétention l'eau dans les interactions fines (HELLER et al, 2016).

2.1.5.2. La circulation de l'eau dans le sol

Les gradients présentés par les différentes forces agissant sur l'eau dans les sols déterminant la caractéristiques de ses flux au sein de la couverture pédologique, tant en direction qu'en débit.

A- Circulation de l'eau dans le sol saturé

Dans ce cas, l'eau se déplace verticalement, sauf si elle est réorientée par un obstacle, mais sous-entend que l'on s'intéresse davantage à l'évacuation de l'eau en excès dans un sol (DUCHAUFOR, 2001).

B- Circulation de l'eau dans les sols non saturés

Lorsque la teneur en eau de la terre est inférieure à la capacité de rétention, l'effet de la gravité sur le déplacement d'eau devient faible, voire négligeable, et ceux-ci sont principalement réglés par les gradients du potentiel matriciel qui devient prédominant dans les sols (DUCHAUFOR, 2001).

2.1.5.3. Origine et formes de l'eau dans le sol

L'eau du sol, ou humidité du sol, provient de l'eau qui s'infiltre lors d'une pluie ; en effet, l'eau qui arrive au sol peut s'infiltrer, ruisseler ou s'évaporer, proportions variables selon les caractéristiques de la pluie (durée, intensité...) et les conditions du milieu (pente, humidité de l'air...). L'eau d'infiltration est la seule intéressante au niveau du sol ; une partie de cette dernière percole vers la profondeur (celle logée dans les macropores, appelée eau de gravité), l'autre partie est stockée dans le sol dans les micropores et constitue l'eau de rétention (PREVOST, 2006).

2.1.6. Aération du sol

Selon (PREVOST, 2006), l'air, logé dans les macropores du sol, est indispensable à la respiration des racines et des autres êtres vivants du sol.

L'air du sol a une composition sensiblement différente de l'air extérieur, d'autant plus accentuée que l'on va en profondeur.



Tableau 3: Comparaison entre l'air du sol et de l'atmosphère

	Air du sol	Air atmosphérique
%O ₂	18 à 20,5%	21%
%CO ₂	0,2 à 3,5%	0,03%

Source: (PREVOST, 2006).

Ces différences sont dues à l'activité biologique (respiration des êtres vivants du sol) et au tassement du sol en profondeur

L'air du sol est renouvelé grâce au phénomène de la diffusion gazeuse (échanges gazeux entre l'atmosphère et le sol). Ce renouvellement est favorisé par le travail du sol et la succession des périodes humides et des périodes sèches.

Selon (HENIN, et al., 1976), il est évidemment logique d'imaginer qu'il existe une certaine relation entre l'aération du sol et l'activité des processus biologiques qui s'y développent. Toutefois, les processus d'aération se manifestent au niveau des pores de grande dimension, les plus fins étant la plupart des temps remplis d'eau, il s'ensuit que les conditions, là où agissent les processus biologiques, ne se relient qu'indirectement à l'atmosphère du sol.

2.1.7. La température du sol:

La température du sol conditionne la germination, la croissance des racines et l'activité des êtres vivants du sol. Cette température dépend de :

-La quantité d'énergie fournie au sol : celle-ci provient principalement de l'énergie solaire arrivant au sol (variable selon la saison, l'heure et la journée, les conditions atmosphériques et l'exposition du terrain) et un peu de la dégradation des matières organiques du sol (HENIN, 1977) ; (PREVOST, 2006).

La transmission de la chaleur dans le sol qui est fonction de l'état d'humidité du sol (l'eau demandant plus de chaleur pour se réchauffer que les constituants solides) et de la couleur (un sol sombre absorbe plus la chaleur) (HENIN, 1977) ; (PREVOST, 2006).

Selon (SOLTNER, 2000), il existe des sols chauds et des sols froids :

-**Les sols froids** : sont les sols humides, se ressuyant lentement faute d'une bonne perméabilité donc d'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.

D'après (GOBAT, et al., 1995), la température influence fortement la vie dans le sol et à sa surface, les bactéries sont souvent très sensibles et présentent des optimums d'activité bien définis, pour la plupart des espèces entre 21 et 38°C.

La température du sol est surtout importante à considérer au printemps car elle peut alors être un facteur limitant pour le démarrage de la végétation et en particulier pour les semis de printemps (HENIN, 1977) ; (PREVOST, 2006).

2.2. Propriétés chimiques:

2.2.1. La capacité d'échange cationique (T ou CEC):

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 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 (SOLTNER, 2000) ; (GIASSON & JAOUICH, 2008).

Les cations qui sont le plus souvent mentionnés dans un rapport d'analyse de sol sont les suivants : le potassium (K⁺), le magnésium (Mg²⁺) et le calcium (Ca²⁺). Certains rapports indiquent aussi l'hydrogène (H⁺) et le sodium (Na⁺). Les cations sont des ions d'éléments nutritifs chargés positivement.

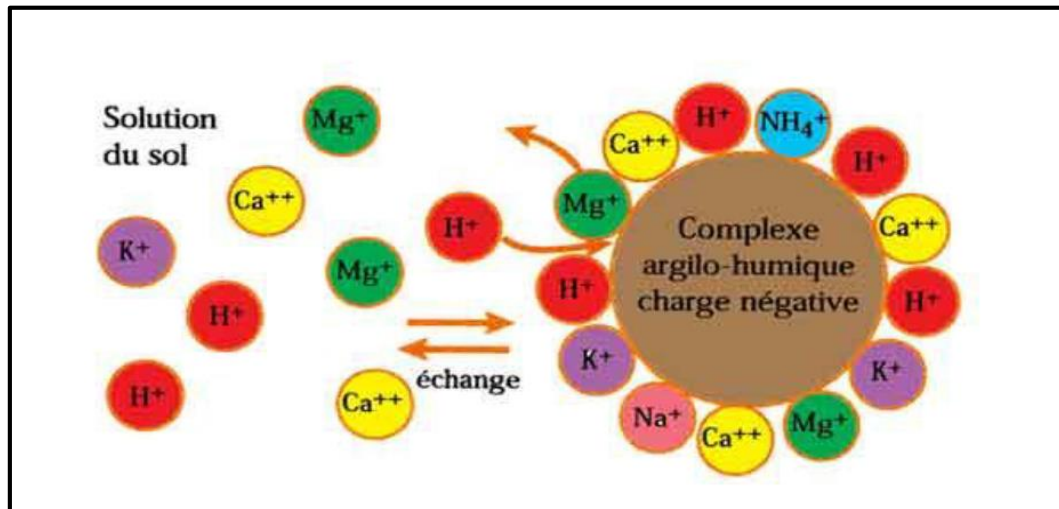
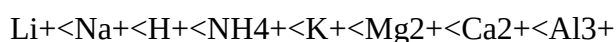


Figure 6: Capacité d'échange cationique (CEC).

Les cations sont retenus sur des sites chargés négativement que l'on retrouve à la surface de particules de matière organique et d'argile. La matière organique possède plus de sites d'échange que les particules d'argile. Ces sites sont des sources importantes de tous les cations assimilables par les végétaux. Les cations ne sont pas retenus fortement à ces surfaces. En fait, ces surfaces réalimentent constamment la solution de sol en cations à mesure que ces derniers sont prélevés par les plantes (KESSEL J., 2015).

La capacité d'échange cationique (CEC) est la capacité à fixer de façon réversible les cations échangeables (Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+}) (BAIZE, 2000). Les cations sont liés aux feuillets d'argile par des forces de nature électrostatique et possèdent la propriété d'être échangeables. Ces cations échangeables se fixent à la surface des feuillets et assurent la liaison entre eux. L'intensité de ces liaisons dépend de la valence de ces cations, qui est probablement le facteur déterminant dans la capacité d'échange ou de remplacement des cations plus élevée qui peuvent remplacer facilement les cations de valeurs plus faibles (CALVET, 2003). Par ordre de capacité de remplacement croissante, les ions se classent comme suit :



D'après cette série, le lithium est le plus facile à remplacer alors que l'aluminium est le plus difficile (CALVET, 2003).

La capacité d'échange cationique et le taux de saturation, deux bons indicateurs de la fertilité et du degré d'évolution du sol (GOBAT, et al., 1995).



2.2.2. L'acidité, Le pH du sol et son pouvoir tampon:

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 (MIRSAL, 2004).

Le pH exprime la réaction acide, neutre ou basique d'un corps selon qu'il renferme beaucoup ou peu d'ion H^+ libre 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).

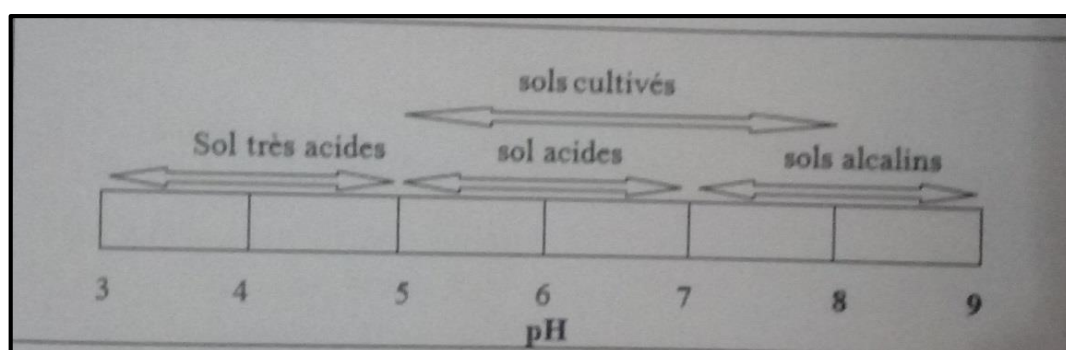


Figure 7: Le pH des sols (CLEMENT & PIELTAIN, 2003).

Tableau 4: Répartition des classes des pH des sols

Classe du pH du sol	pH
Acide	<6
Faiblement acide	6-6.5
Neutre	6.5-7.3
Faiblement basique	7.3-7.8
Moyennement basique	7.8-8.5
Tendance alcalin	8.5-9
Très alcalin	>9

Selon (CHAUDE & 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. Souvent



l'abondance en Ca^{++} est corrélée à un pH neutre ou légèrement basique. Le Mg^{++} lui aussi relève le pH.

2.2.2.1. Source d'ions H^+ dans le sol:

D'après (DELECOUR, 1981) in (HODY, 2008), deux grands types de sources d'ions H^+ dans le sol :

-Organiques : dissociation des acides organiques $\text{COOH} \rightarrow \text{COO}^- + \text{H}^+$, des phénols (OH), des alcools ;

-Minérales : dissociation de radicaux OH , surtout aux faces de rupture des cristallites argileux, dissociation de molécules d'eau (H-OH) associées aux ions Al^{+++} , dans la phase échangeable.

2.2.2.2. Importance du pH dans le sol:

- ✓ Au niveau des propriétés du sol, un pH acide entraîne un mauvais fonctionnement du pouvoir adsorbant, en partie par le manque de calcium et par une mauvaise floculation des colloïdes, de plus il influence l'assimilabilité des éléments (PREVOST, 2006).
- ✓ Au niveau de la végétation, le pH influence beaucoup la croissance des plantes à tel point que le pH d'un sol peut être apprécié grâce à des plantes indicatrices (PREVOST, 2006).
- ✓ Au niveau du micro-organisme, leur activité est meilleure lorsque le pH est voisin de la neutralité ($6,5 < \text{pH} < 7,5$) (PREVOST, 2006).

2.2.3. La conductivité électrique (CE):

Selon (MATHIEU & PIELTAIN, 2003), la CE d'une solution de sol est un indice de sa 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 cation et anions porteurs des charges électriques augmentent.

Généralement, la CE s'exprime en mmhos/cm ou déci siemens/mètre à une température de 25°C (CALVET, 2003).



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 (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 (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 adsorbant du sol, peut dégrader la structure. Ces sols à structure diffuse sont souvent dénommés sols à alcali ou sodique (AUBERT, 1983).

***Le gypse**, il 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 dispersés, le gypse améliore l'infiltration, diminue l'érosion et augmente la floculation (VENTURA, et al., 2001).

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).

***Calcaire**, le constituant essentiel de calcaire est le carbonate de calcium, cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique (DE OS HORTA, 1979).

Le calcaire fournit le calcium qui provoque la floculation des colloïdes minéraux et organique du sol, action nécessaire à l'établissement d'un état structural, et permet au sol de créer les réserves, en éléments nutritifs (DE OS HORTA, 1979).

2.2.4. Le taux de sodium échangeable (ESP en %)

Ce terme permet de caractériser le stade d'alcalinisation d'un complexe d'échange, l'ESP est fonction de la CEC exprimée en (meq/1).

Le sodium peut détruire la structure lorsqu'il atteint une certaine teneur dans le sol, ce seuil est fixé à 15%. Cette destruction de la structure est influencée aussi par la concentration globale en sel et du type d'argile (U.S.S.L, 1954).

La relation suivante permet de la calculer : $ESP = (Na^+/T) \times 100$



Tel que :

Na^+ en meq/100g, T : Capacité d'échange cationique en meq/100g.

Selon (BOULAINÉ, 1971) **in** (MEDJAHED, 2005), la présence de sodium en quantité élevée dégrade la structure du sol.

Tableau 5: Répartition des classes de l'alcalinité des sols

Classes du sol	ESP%
Non alcalin	<10
Alcalin	10-15
Fortement alcalin	15-20
Très fortement alcalin	20-30
Extrêmement alcalin	>30

Selon les normes (DIAEA /DRHA /SEEN,, 2008).

2.2.5. Salinité du sol

Les sols salés ou sols halomorphe, appelés actuellement sols sal sodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde. Les sols salés se trouvent essentiellement dans les régions sèches (aride et semi arides et méditerranéennes) (CHERBUY, 1991).

La salinité affecte le développement des cultures, et propriété pédologique notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (SERVANT, 1975).

On parlera en générale des sols salés lorsque la concentration en sels de la solution du sol dépasse 0,5g/l. Cette concentration est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique de la solution des sols saturés (ROBERT, 1996).

Le terme salins désigne les sols dont la Conductivité électrique dépasse 4mmhos /cm et dont le pourcentage de sodium échangeable est inférieure à 15% (LALLEMAND, 1980).

Les sols salins (Solontchaks) ont pour principales caractéristiques leur richesse en sels de sodium neutres (NaCl chlorure de Sodium, Na_2SO_4 sulfate de sodium) mais contenant également des quantités appréciables d'ions chlorures et de sulfates de calcium et magnésium.



Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi- arides (JUSTINE, 2001).

2.3. Fertilités du sol

La fertilité du sol cultivé est une notion héritée d'une époque où l'agriculture n'utilisait comme facteur de production que le travail du sol et avait de ce fait une productivité dépendant étroitement des facteurs limitants imposés par le milieu physique (STENGEL & GELIN, 1998).

La fertilité d'une parcelle de culture représente son aptitude à exprimer les potentialités des plantes cultivées de façon durable.

Elle est le résultat de deux composantes :

- La fertilité naturelle, expression des qualités naturelles du sol et du climat de la parcelle (richesse naturelle du sol en éléments minéraux, climat favorable) ;

- La fertilité acquise, résultat de l'amélioration par l'homme des conditions de culture (PREVOST, 2006).

La fertilité d'un sol correspond à sa capacité à donner des cultures de rendement élevé et de qualité. Elle dépend de plusieurs facteurs : la structure et la texture du sol, son pH, le taux de matière organique, la capacité d'échange cationique (absorption des éléments), la teneur en éléments nutritifs nécessaires à la croissance (Ca, Mg, P, K, N principalement).

Un sol fertile permet à la plante de trouver tous les éléments nécessaires à son développement. Il met à sa disposition, de l'air, de l'eau des éléments nutritifs indispensables et permet aux racines de se développer convenablement.

➤ Principaux éléments dans le sol :

On trouve dans le sol tous les éléments chimiques qui composent la plante ; en effet, hormis le carbone, l'oxygène et l'hydrogène puisés dans l'air et dans l'eau, tous les autres éléments nutritifs de la plante proviennent du sol (PREVOST, 2006).

Ces éléments sont classés en trois groupes selon leur importance quantitative dans la plante :

- éléments majeurs** : azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca), pour lesquels la plante est très exigeante ; ils constituent les éléments fertilisants prioritaires ;



-**éléments secondaires** : magnésium (Mg), soufre (S), intervenant dans la plante en quantité moindre et souvent présents en quantité suffisante dans le sol ;

-**oligoéléments** : qui représentent une part très faible de la matière sèche mais leur présence reste indispensable au bon métabolisme de la plante. Les six principaux oligoéléments sont le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le bore (B) et le molybdène (Mo).

➤ **Notion d'élément assimilable :**

Tous ces éléments se trouvent dans le sol sous des formes diverses : liés à la roche-mère, liés à la matière organique, libres dans la solution du sol, ect.

Pour l'agriculteur, la richesse de son sol en éléments minéraux se limite à ceux qui sont assimilables par la plante. Or, chaque élément a une dynamique dans le sol bien spécifique et un élément présent en grande quantité peut être inassimilable par la plante du fait par exemple de mauvaises conditions du milieu (PREVOST, 2006).

Prenons l'exemple des trois éléments majeurs N, P et K :

- **Azote**

Dans le sol, l'azote se trouve sous trois formes :

- gazeuse : dans l'atmosphère du sol où il représente en moyenne 80% ;
- organique : constituant des protéines de la matière organique ;
- minérale : l'azote peut alors être sous forme ammoniacale (ion ammonium NH_4^+) ou nitrique (ion nitrate NO_3^-) (PREVOST, 2006).

La forme minérale nitrique est la plus assimilable par la majorité des plantes ; l'azote ammoniacal et organique représente le plus souvent des réserves pour la plante car ils se transforment progressivement en azote nitrique.

L'azote gazeux n'est utilisable que par certaines plantes : les légumineuses (ex : luzerne, trèfle, soja) qui fixent l'azote de l'air grâce à une bactérie, le rhizobium.

- **Phosphore**

Ses formes dans le sol sont :

- le phosphore de la solution du sol ;



- le phosphore fixé sur le complexe argilo humique grâce au pont calcique ;
- le phosphore insoluble de la roche ;
- le phosphore organique.

Seuls le phosphore de la solution du sol et du complexe argilo-humique sont assimilables par la plante (PREVOST, 2006).

- **Potassium**

Comme les autres éléments, il existe plusieurs formes :

- le potassium de la solution du sol ;
- le potassium du complexe argilo-humique, facilement échangeable ;
- le potassium rétrogradé à l'intérieur des molécules d'argile (la rétrogradation représente ici le passage de l'état utilisable à l'état inutilisable) ;
- le potassium insoluble de la roche.

Là encore, seules les deux premières formes sont assimilables par la plante.

Les formes assimilables représentent souvent une très faible partie de la richesse du sol (PREVOST, 2006).

2.3.1. Facteurs de la fertilité de sol

2.3.1.1. Propriétés physiques

Elles concernent principalement :

-Une bonne texture c'est-à-dire un bon équilibre entre les différents éléments qui composent le sol (sables, limons, argile, humus). La majorité des plantes préfèrent un sol équilibré ;

-Une bonne structure et une bonne stabilité structurale qui conditionnent la circulation de l'eau et de l'air dans le sol. La structure grumeleuse de type fragmentaire est à rechercher (PREVOST, 2006).

2.3.1.2. Propriétés physicochimiques

La fertilité physicochimique du sol s'exprime par :

-La richesse en éléments minéraux et leur équilibre dans le sol. Cette richesse dépend de la nature du sol mais sa correction est maintenant relativement facile grâce à la



fertilisation, c'est-à-dire à l'apport d'engrais. L'engrais, substance libérant les éléments nutritifs de la plante, peut être stocké dans le sol grâce au pouvoir absorbant du sol ; l'amélioration de la richesse du sol peut donc se faire aussi par l'amélioration du pouvoir colloïdale (amendements) ;

-Le pH du sol : l'acidité ou la basicité du sol conditionne l'alimentation de la plante ; la majorité des plantes préfère un pH voisin de la neutralité.

La correction du pH peut se faire par les amendements calciques en cas de pH acide (le calcium remplace alors les ions H^+) ; en sol basique (sol calcaire), la correction du pH est plus difficile et le meilleur moyen pour améliorer la fertilité de ce sol est de cultiver des plantes basophiles (aimant la basicité) (PREVOST, 2006).

2.3.1.3. Propriétés biologiques

L'activité biologique du sol reflète en partie l'état de fertilité du sol ; on considère par exemple que la présence abondante de vers de terre est un signe de richesse du sol. Son rôle dans la transformation de la matière organique est essentiel et une bonne fertilité du sol ne peut ignorer l'activité biologique.

Celle-ci peut être améliorée :

-En améliorant les conditions de vie des êtres vivants (propriétés physiques et physicochimiques du sol) ;

-En leur apportant la nourriture nécessaire c'est-à-dire la matière organique (amendements humiques) (PREVOST, 2006).

2.3.1.3.1. La matière organique

Selon (HALITIM, 1988), la matière organique est une substance qui n'a pas une composition chimique bien définie, elle comprend en proportions variables selon les situations écologiques les éléments suivants :

-Des débris organique pour ou non décomposés

-Des matières humifères ou en voie d'humification à des stades divers d'évolution

En agriculture, il convient de faire la distinction entre la matière organique fraîche et celle humifiée. C'est cette dernière qui joue un rôle important dans la fertilité des sols par l'évolution biochimique qu'elle y subit et par les propriétés physico-chimiques qui en découlent (HUBER, 2011).

**2.3.1.3.2. L'importance de la matière organique**

Le sol contient un faible pourcentage massique de matière organique, généralement compris entre 1 et 5%.

En effet, la matière organique du sol joue de multiples rôles dans les processus écologiques :

- C'est un réservoir d'éléments nutritifs, qui grâce à la minéralisation peuvent être libérés et rendus disponibles pour l'absorption par les plantes ou d'autres organismes du sol.
- La matière organique a une capacité d'échange cationique très élevée : 200 meq/100g contre 30 meq/100g pour une argile de type illite. Ainsi, la teneur en matière organique du sol a une forte influence sur la capacité de ce sol à retenir et restituer les éléments nutritifs, en les protégeant de la lixiviation.
- Les matières organiques contribuent à la structuration du sol ; elle sont des matières colloïdales, qui participent à la formation du complexe argilo-humique grâce à leurs charges surfaciques, ce qui conduit à la formation d'agrégats stables induisant une meilleure macroporosité, favorable au bon enracinement et fonctionnement racinaire des plantes, ainsi qu'à la bonne infiltration et au drainage de l'eau.
- La matière organique a une très forte capacité de rétention d'eau et permet donc d'augmenter la réserve utile du sol.

La matière organique colore le sol qui devient plus sombre en sa présence. Le sol absorbe alors davantage de rayonnement solaire et il s'échauffe plus. Son bilan énergétique est donc lié à sa teneur en matière organique, entre autres facteurs.

3. Sol cultivé

Selon (SOLTNER, 2000), le sol agricole est considéré comme « la partie de la couche superficielle de l'écorce terrestre qui, grâce à sa structure meuble et sa composition physico-chimique, est en mesure d'assurer un développement normal des végétaux cultivés ». Cette couche « superficielle » qui s'étend généralement sur une profondeur de 30 cm renferme la majorité des éléments nutritifs et de l'activité biologique des sols.



Selon (PREVOST, 2006), le sol agricole représente la couche de terre labourée ou terre arable.

Pour l'agriculteur, cette couche constitue le support et le réservoir alimentaire de sa culture et ses propriétés sont donc déterminantes dans la production agricole.

3.1. Fertilisation des sols cultivés:

Elle a pour objectif la maîtrise de l'alimentation de la plante cultivée par la fourniture de ses éléments nutritifs en quantité, en qualité et au moment où elle en a besoin (PREVOST, 2006).

La plante prélève ses éléments nutritifs en grande partie dans le sol sous forme d'éléments minéraux en solution dans l'eau. Dans une parcelle cultivée, la richesse en éléments minéraux doit être renouvelée continuellement, les exportations des cultures étant élevée par rapport aux restitutions possibles.

La fertilisation consiste donc à apporter des éléments minéraux sous forme d'engrais afin de satisfaire les besoins de la culture (PREVOST, 2006).

Il existe deux types de matières fertilisantes :

- **Les amendements organiques ou minéraux** qui sont destinés à améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (fumier, compost, amendement calcaire etc...)

- **Les engrais** qui fournissent aux plantes un ou plusieurs éléments venant compléter la fourniture du sol qui serait insuffisante (ex : N, P, K,...).

3.2. Irrigation des sols cultivés :

Selon (PREVOST, 2006), l'irrigation est la technique consistant à apporter l'eau aux plantes par des procédés divers. Beaucoup de cultures et en particulier les cultures d'été ont des exigences hydriques qui ne sont pas toujours pleinement satisfaites et l'irrigation permet d'améliorer leur alimentation en eau.

Le besoin en eau d'irrigation de la culture se détermine à partir du bilan hydrique qui met en évidence à certains moments un déficit hydrique (PREVOST, 2006).

Les systèmes d'irrigation sont nombreux et varient selon la technique sous laquelle l'eau est apportée :



- **l'irrigation par aspersion** : elle consiste à réaliser un arrosage de la culture, sous forme de pluie ; c'est la technique la plus utilisée (arroseur canon, rampe d'arrosage, sprinkler) ;
- **l'irrigation par submersion** : l'eau recouvre toute la surface du sol et s'infiltre progressivement ; c'est la technique utilisée dans les rizières (ou la submersion est permanente) ;
- **l'irrigation par ruissellement ou à la raie** : un réseau de rigoles d'amenée d'eau, en légère pente, acheminent l'eau dans toute la parcelle ; une partie de l'eau s'infiltre lors de son passage et l'excès d'eau est récupéré par une rigole de colature ;
- **l'irrigation au goutte à goutte** : elle consiste à apporter l'eau par des distributeurs ou « goutteurs », au goutte à goutte, à proximité de la plante cultivée ; ce système d'irrigation permet en particulier d'économiser l'eau (PREVOST, 2006).

3.3. Travail du sol

Le travail du sol est les ensembles travaux agricoles qui ont comme objectif confères aux couches du sol les plus superficielles une structure permettant d'obtenir des conditions optimales de germination puis de développement de telle ou telle culture (SOLTNER, 2000).

Le travail du sol provoque également une baisse importante des stocks de carbone du sol à la fois, par dilution de la matière organique des horizons superficiels dans l'ensemble des horizons labourés (HARTMANN, et al., 1998), par modification des apports de matière fraîche (altération du couvert végétal) et évolution chimique de l'humus (TURENNE, 1982), par minéralisation de la matière organique du sol (BALESDENT, et al., 2000), et par des pertes en terre provoquées par une érosion accrue de la surface du sol.

3.3.1. Labour

Le labour est une source importante de nuisances, dont entre autre l'érosion et la réduction de la fertilité du sol (OUANZAR, 2012).

La pratique du labour profond est la technique de travail du sol la plus répandue, en Algérie et de par le monde. Cette pratique a permis, dès l'introduction de la charrue à soc et du tracteur, d'augmenter le rendement des céréales grâce notamment à son action sur le développement des adventices, la mise à disposition de la culture d'une couche arable plus conséquente, la rapide minéralisation de la matière organique et le stockage de l'eau du sol.



Cette pratique est cependant soupçonnée d'être à l'origine des problèmes de fertilité et d'érosion des sols qui deviennent plus apparents dans certaines régions du monde)

Le labour, en diluant le carbone apporté en surface sur toute la profondeur labourée, maintient une teneur basse dans la couche superficielle. Ainsi les matières organiques des premiers centimètres sont déprotégées. Avec le renouvellement annuel du labour, petit à petit, tout l'horizon labouré est concerné. Il s'agit d'un processus lent et cumulatif (OUANZAR, 2012).

3.3.2. Effet du travail du sol sur les propriétés du sol:

Le travail du sol affecte les facteurs biotiques et abiotiques du sol, soit directement en modifiant les propriétés structurales du sol comme l'arrangement des vides, les agrégats, la connectivité des pores, soit indirectement en changeant les conditions d'aération, de température et de pénétrabilité du sol par les racines.

Le travail du sol amélioré la perméabilité du sol ce qui accentue le lessivage des éléments en solution (K^+ , NO_3^-), elle aussi accélère la minéralisation de la matière organique du sol (HUWE, 2003) **in** (OUANZAR, 2012).

3.4. Influence de l'agriculture sur les propriétés des sols

3.4.1. Erosion

L'érosion est un phénomène naturel. Toute érosion diminue généralement l'épaisseur de sol exploitée par les racines. L'érosion est un mécanisme modifiant les rapports entre les particules fines et les particules grossières, les particules fines étant généralement érodées les premières ; la conséquence en est une modification des rapports entre éléments nutritifs et une modification du pouvoir tampon du sol vis-à-vis des éléments P et K. Il n'existe pas de pratique agricole continue sans un minimum d'érosion. Les pratiques la favorisant sont connues ; celles permettant de l'éviter aussi : elles doivent donc être utilisées chaque fois que ces pratiques sont compatibles avec les productions végétales envisagées. La transformation d'une roche mère en sol demande quelques millénaires (STENGEL & GELIN, 1998).

Ce phénomène d'érosion (surtout hydrique mais aussi éolienne) est à l'origine de pertes importantes de sols cultivables (aggravation de la dégradation de leur stabilité, de leur structure voire de leur texture, réduction de la disponibilité de nutriments entraînés, semences emportées, plantes endommagées) (STENGEL & GELIN, 1998) ; (SOLTNER, 2000).

La résistance à l'érosion est une estimation de la capacité de chaque sol à résister à l'action désagrégeant de l'eau et du vent grâce à ses caractéristiques physiques.

**3.4.2. La battance**

La battance est de phénomène lié à un sol dont la structure est instable et sur lequel les fortes pluies provoquent l'éclatement des agrégats. Ces particules détachées des agrégats vont colmater les interstices de la structure et former une croûte superficielle, dite de battance. L'eau qui ne peut plus s'infiltrer ruisselle sur cette croûte. Le ruissellement entraîne ensuite la formation de rigoles et de ravines. Ce phénomène naturel peut être amplifié par le relief (terrain accidenté, fortes pentes) et par l'ouvrage de l'homme (HENIN, 1976) .

3.4.3. La dégradation des sols

Nombreux sont ceux qui confondent érosion et dégradation des sols. Pour les uns, l'érosion est la cause principale de cette dégradation. Pour d'autres, c'est sur les sols dégradés que s'installent les phénomènes visibles de l'érosion. La dégradation des sols, c'est la perte des qualités essentielles des sols pour remplir ses fonctions naturelles de stockage de l'eau et des nutriments, de milieu de soutien des racines et des plantes, de réservoir de la biodiversité, de filtration des polluants et de séquestration du carbone (SOLTNER, 2000) ; (PREVOST, 2006).

La résistance à la dégradation par les gouttes des pluies (battance) des premiers centimètres de sol d'une parcelle qui vient d'être préparée pour le semis dépend de la teneur en argile et en matière organique de la terre (SOLTNER, 2000).

3.4.4. Pratiques culturales:

Les pratiques culturales interviennent en modifiant les facteurs précités. Les différentes méthodes de labour, de fumure et d'amendement (mulching, répartition dans le profil, etc.) en favorisant l'accessibilité du substrat pour la microflore et l'évolution des résidus dans le sol favorise la décomposition des MOS. Le travail du sol intervient également de façon marquée dans la disponibilité en oxygène et l'état hydrique du sol (labour, irrigation, drainage) (SOLTNER, 2000) ; (VILAIN, 1978).

CHAPITRE II:

MILIEU PHYSIQUE



1. Situation géographique

Le site d'étude appartient à la pépinière de M'sila, actuellement gérée par M'sila vert. Elle fait partie du périmètre irrigué de k'sob situé au Nord de chott El Hodna.

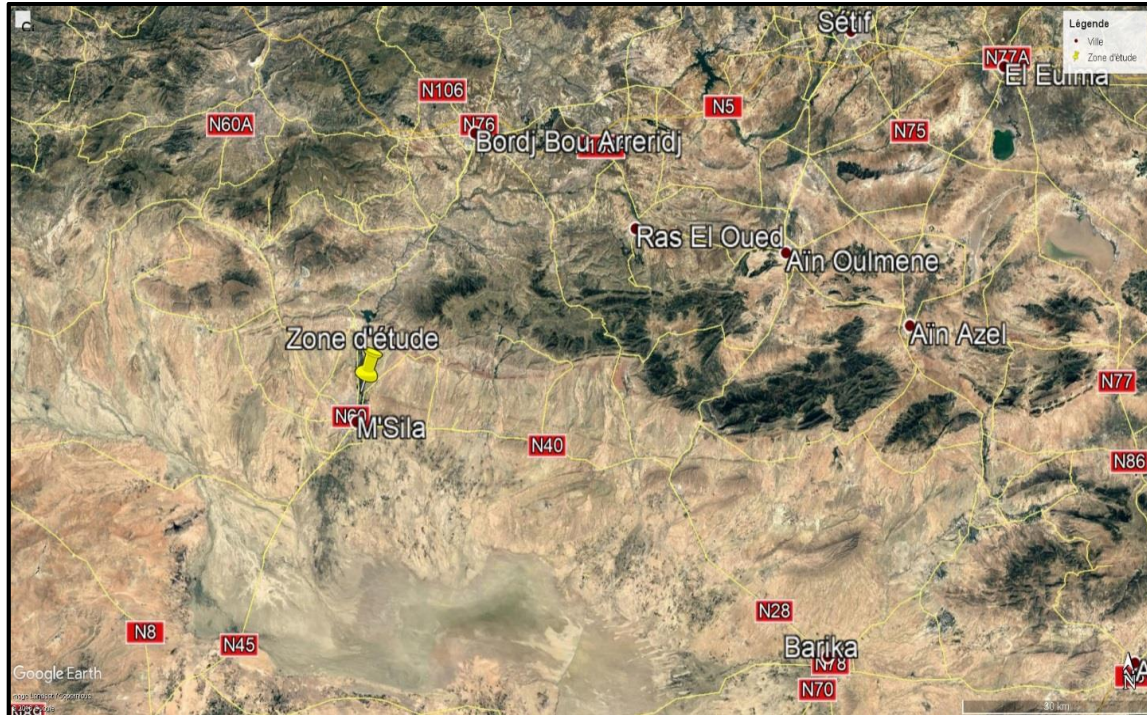


Figure 8: Situation géographique du site d'étude source carte de fond : Google earth

2. Géomorphologie

Les éléments géomorphologiques généraux de la région de M'sila sont en nombre de quatre. On distingue les ensembles géomorphologiques suivants:

2.1. Cadre montagneux

Limite le bassin du Hodna de la côte Nord, dont l'altitude varie de 1400 à 2000 m (MIMOUNE, 1995).

2.2. Les piémonts

C'est la zone de transition entre la montagne et la plaine, qui s'allonge d'Ouest en Est aux pieds des montagnes du versant Nord entre les cotes 500m et 700 m.

C'est un ensemble correspondant de collines ; qui sont découpé et ravinées par les oueds qui descendent des montagnes (oueds M'sila et oued Selmane) et par des réseaux temporaires qui coulent après les pluies (MIMOUNE, 1995).

Les collines sont représentées par des plans inclinés et constituées par des dépôts Mio-pliocène, elles plongent vers le centre de la cuvette sous les alluvions récentes.



Le site d'étude fait partie de la zone de piémont, il est représenté par les glacié et cône d'accumulation.

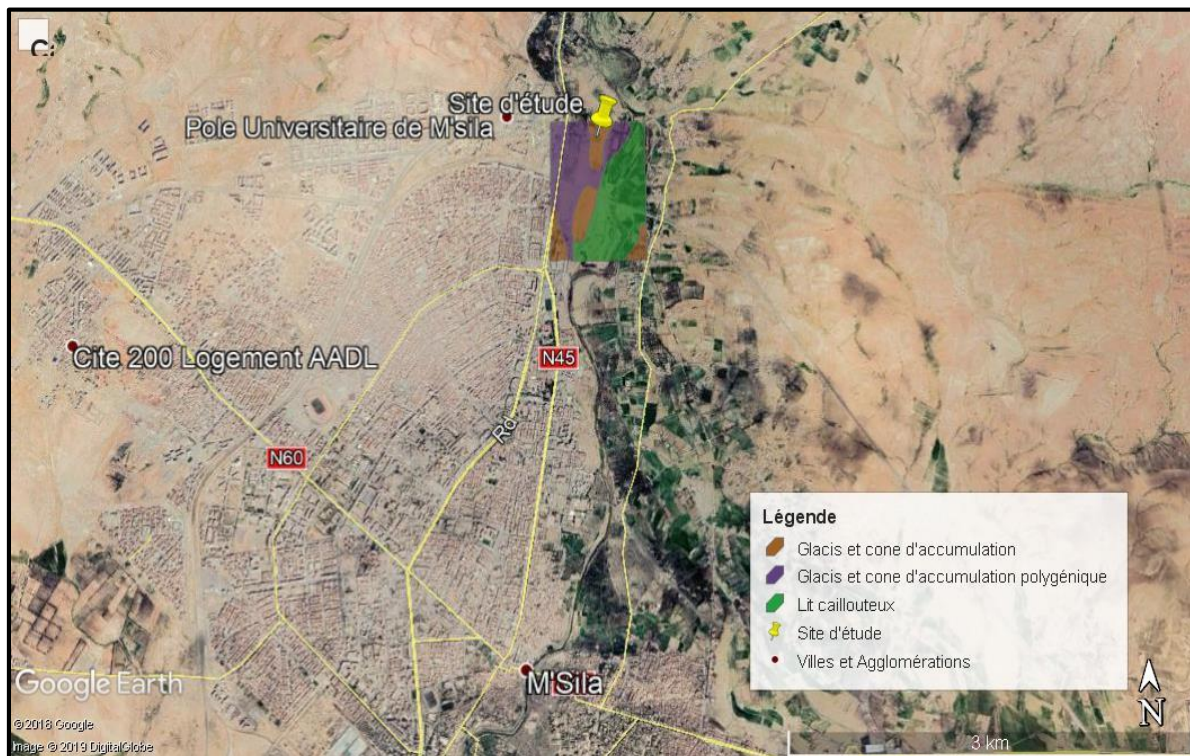


Figure 9 : Géomorphologique du site d'étude extrait de la carte géomorphologique feuille de M'sila 1/50000 (CAPOLONI & SARY, 1971)

2.3. Les plaines

La plaine de M'sila couvre une superficie d'environ 500 km². Elle est limitée au Nord et à l'Est par les glacis. Au Sud, la courbe de niveau 400 m qui marque grossièrement le passage de la plaine au chott d'où une pente de 0 à 5% (MIMOUNE, 1995).

2.4. Chotte el Hodna

Le Chott El Hodna est une dépression qui s'est développée là où convergent les eaux issues de l'Atlas Saharien au Sud et l'Atlas Tellien au Nord. Le chott a une forme elliptique il s'étend sur 77 km de longueur et 19 km de largeur. Son altitude moyenne est de 392 m.

3. Hydrologie

Le régime hydrologique du Hodna est lié au régime pluviométrique caractérisé par une forte irrégularité.

La majorité des cours d'eau n'ont pas de débits permanents à l'exception d'Oued Lougmane, Oued El Leham, K'sob, Selmane, Berhoum, Soubella (voir la figure 11). Le bassin versant représente environ 1/5 de la totalité du bassin hydrologique du Hodna.



Le réseau hydrographique très diversifiés, il y a au moins 22 cours d'eau qui assurent l'alimentation du chott (BOUMEZBEUR, 2002). Notre site d'étude est situé sur le barrage Ouest d'Oued K'sob.

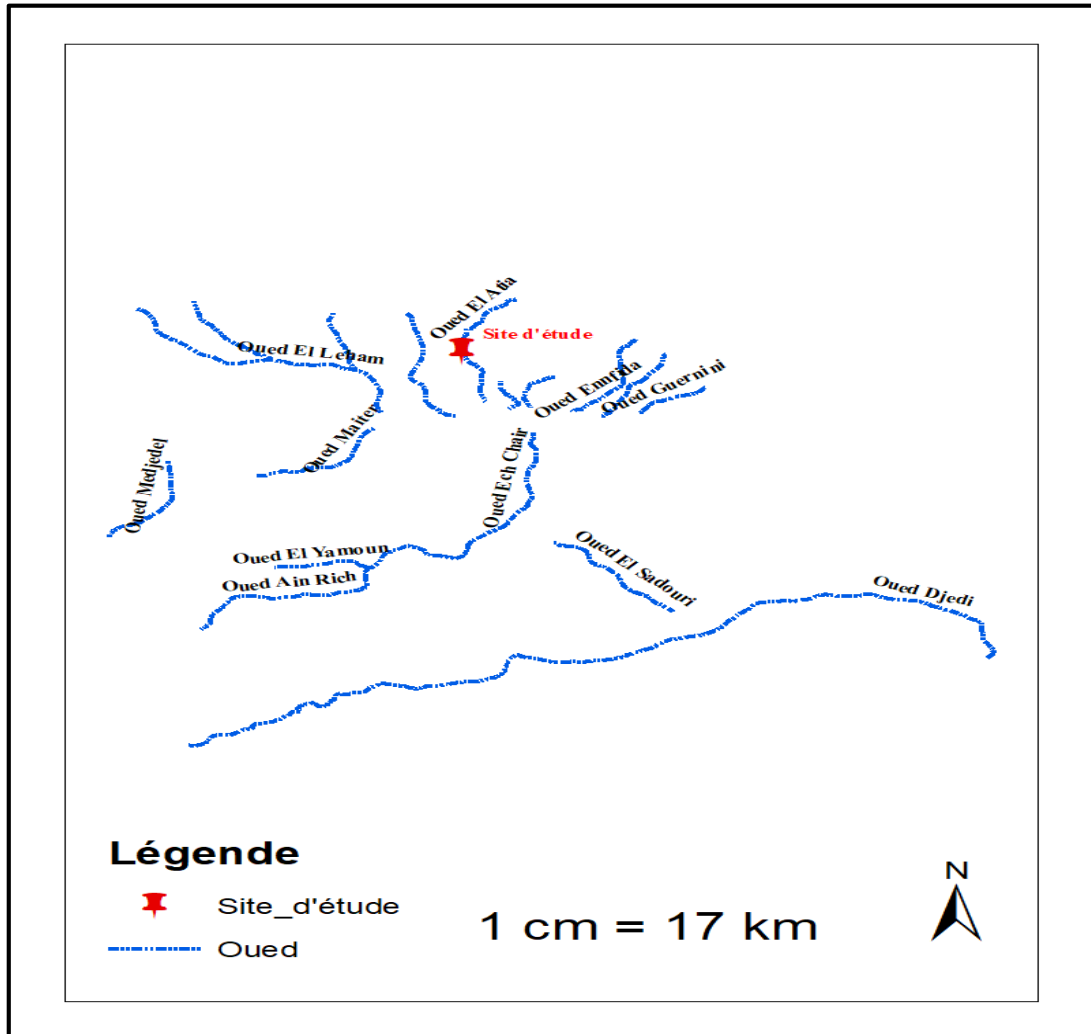


Figure 10: Réseaux hydrographique du site d'étude.

4. Géologie

La région de Hodna appartient selon (GUIRAUD, 1973), à un domaine dit pré Atlasique, le bassin de Hodna est situé au croisement de système structural très différent :

L'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, elle présente les formations suivantes :

4.1. Le secondaire

- Trias : présente une lithologie composés de marnes et sels.



- Jurassique : n'affleure qu'à la faveur d'accidents majeurs dans la partie orientale des monts des Hodna, il est caractérisé par la présence de calcaire.
- Crétacé : il forme par des bancs de marnes et de grès avec interaction de calcaire.

4.2. Le tertiaire

- Eocène : les formations paléogènes affleurent en bandes plus ou moins parallèles sur le plan méridional des monts du Hodna, il est représenté par des grès rouges, des argiles variées, des calcaires et des conglomérats.
- Oligocène continental : il est formé par des conglomérats, des grès fins friables et des marnes rougeâtres.
- Miocène : il est constitué d'une alternance de marnes gypseuses avec des grès et calcaire.

4.3. Le quaternaire

Contient le site d'étude il est représenté par d'anciennes alluvions et des sédiments fins.

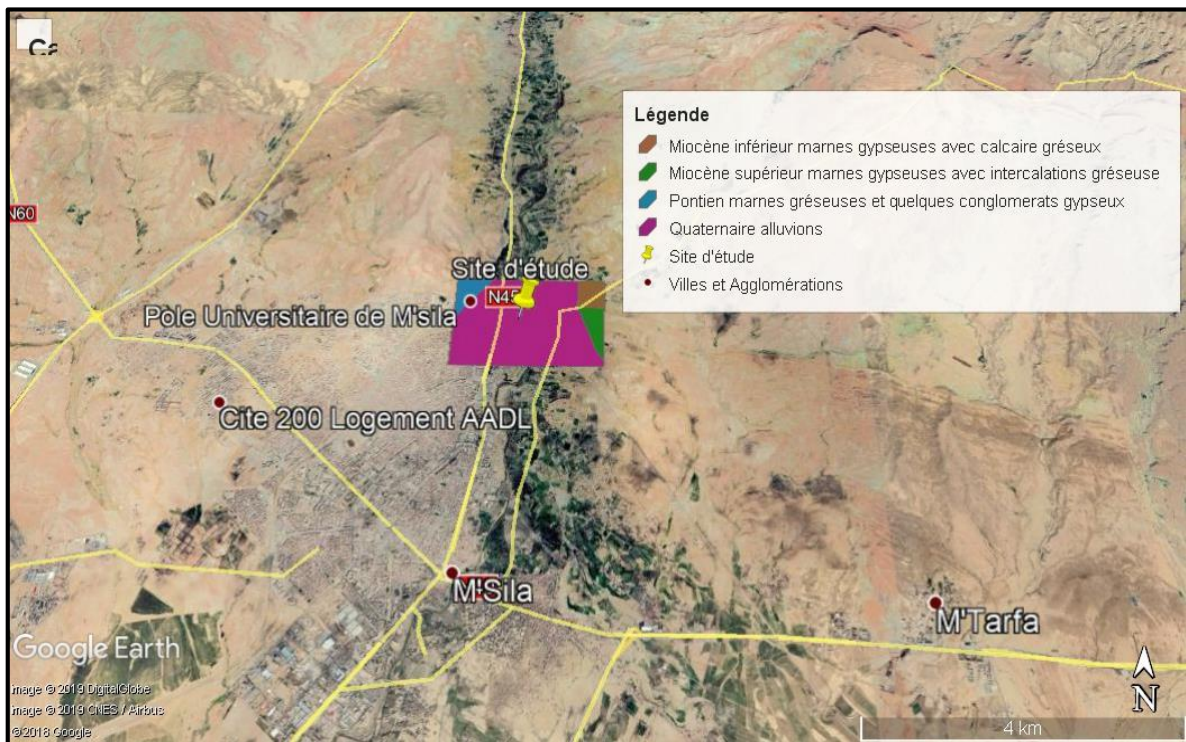


Figure 11: Géologie du site d'étude extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000 (GUIRAUD, 1973).

5. Pédologie :

Selon l'étude pédologique de là (FAO, 1973), les sols de la région du Hodna sont les suivants :

**5.1. Les sols minéraux bruts**

Les sols minéraux bruts d'apports alluviaux qui sont des sols non évoluées, constitue de profil de type (A) C, (A) R ou R. la matière organique se trouve sous forme de traces dans les 20 cm supérieure, et atteindre 1 à 1,5 %, dans les 2-3 cm supérieure (C.P.C.S, 1967).

5.2. Les sols peu évoluées

Ce sont des sols caractérisés par une altération physique plus poussée. Le profil est de type AC. La matière organique peut exister en quantités élevées dans les 20 cm supérieures (C.P.C.S, 1967).

5.3. Les sols calcimagnésiques

Ce type de sols est déterminé par la présence d'ions alcalino-terreux dans les horizons supérieurs et dans la partie inférieurs si elle existe. Le profil de ces sols est de type AR ou AC ou A(B) R ou A(B) C (C.P.C.S, 1967).

5.4. Les sols halomorphes

Ce type de sols est caractérisé par la présence d'une forte teneur en sels de sodium, et / ou par l'importance du sodium échangeable sur le complexe d'échange (sols sodique) (C.P.C.S, 1967).

5.5. Les sols hydromorphes

Ce type de sol est caractérisé par une hydromorphie importante. L'excès d'eau peut se traduire par l'engorgement permanent d'une partie ou de la totalité du profiles. L'eau peut provenir de la nappe phréatique ou de la surface en condition de drainage imparfait.

L'hydromorphie est caractérisé par l'horizon de Gley hydromorphie permanente ou de pseudo Gley hydromorphie temporaire (C.P.C.S, 1967).

5.6. Les sols iso humiques (Siérozem):

Ils sont des sols à profil de type A(B) C, et parfois ABC. Le type de profil AC existe rarement. On peut rencontrer en profondeur un horizon de pseudo Gley ou un horizon à croute calcaire ou gypseuse ou indure. La matière organique est incorporée dans tout le profiles, et est très évoluée dans les horizons supérieurs (C.P.C.S, 1967).



Figure 12: Pédologie du site d'étude extrait de la carte pédologique du Hodna 1/800000 (FAO, 1973)

6. Climat

La région d'étude est une partie du sous bassin versant d'oued k'sob (M'sila) lequel fait partie du bassin versant endoréique Hodnéen. Dans cette étude, on tentera d'exploiter les données météorologiques disponibles.

Le Hodna est caractérisé par un climat sévère à déficit hydrique prononcé avec un été chaud et sec, un hiver humide (MIMOUNE, 1995).

Le climat (pluies, température, vent...) est caractérisé en utilisant les données récoltées après de la station météorologique de M'sila (altitude 441 m, de 1998 à 2014).

6.1. La précipitation

On distingue sous le terme général de pluviomètre la quantité totale de précipitation reçue par unité de surface et unité de temps. Elle constitue un facteur écologique d'importance fondamentale (RAMADE, 2003).

Sur la région d'El-Hodna, on relève un gradient de 40 mm pour 100 m la partie Nord et un gradient de 20 mm pour la partie Sud (DJEBAÏLI, 1984).



La précipitation pour la station météorologique de M'sila s'étalon sur la période allant de 1998 à 2014. La variation interannuelle des précipitations est présentée dans le tableau 6 suivant:

Tableau 6: Répartition interannuelle des précipitations en mm.

Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
P (mm)	213	282	146	157	105	348	252	125	225
Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
P (mm)	188	171	153	121	168	168	179	170	

Source : station météorologique de M'sila (1998 à 2014).

Les hauteurs annuelles des précipitations pour la période (1998 –2014) varient de 105 mm en 2002 à 348 mm en 2003, tandis que la moyenne pluviométrique interannuelle est égale à 186,53 mm.

On remarque que la pluviosité mensuelle est très variable, et ne suit pas une évolution régulière. Avec un maximum en Septembre et un minimum en Juil. voir Tableau 7

Tableau 7: Pluviométrie moyenne mensuelle en mm.

	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
P (mm) Msila 441m	17,38	12,92	15,38	21,58	23,27	9,54	3,69	7,46	27,96	21,38	18,31	18,58
P (mm) Site d'étude 531m	18,91	13,77	16,58	23,94	26,01	10	3,76	7,74	31,92	23,7	20,01	20,33

Source : station météorologique de M'sila (1998 à 2014).

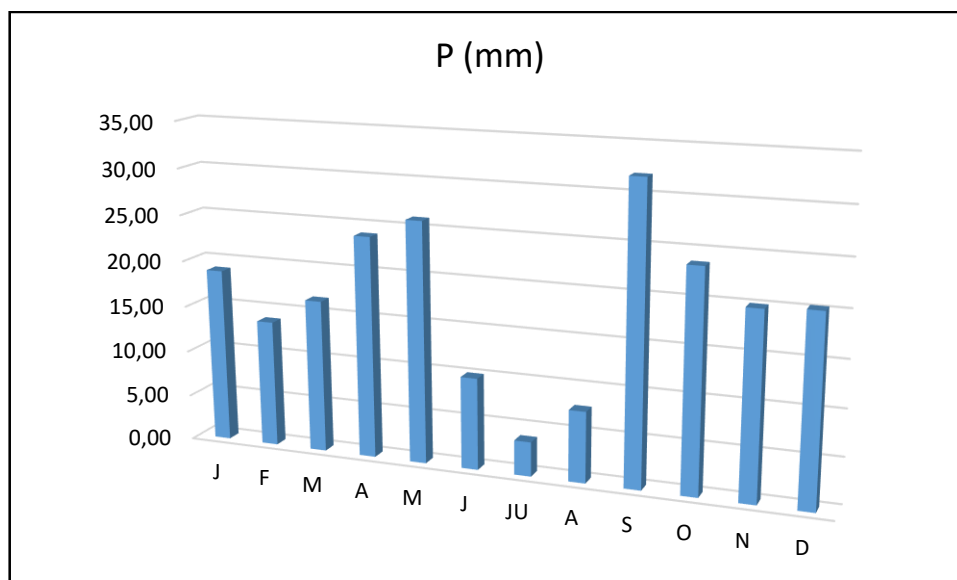


Figure 13: Pluviométrie moyenne mensuelle du site d'étude

Les quantités pluviométrique sont répartie d'une manière hétérogène où la période pluvieuse s'étend de septembre jusqu'à Mai.

Afin de connaître la quantité de précipitation tombée aux différentes phases de développement de la végétation, nous avons calculé le pourcentage des précipitations de chaque saison par rapport au total annuel.

Tableau 8 : Répartition saisonnier des précipitations du site d'étude.

Pluviométrie	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Totale	Indicatif saisonnier
P (mm)	75,62	53,00	66,53	21,50	216,66	A.P.H.E
P(%)	34,90	24,46	30,71	9,92	100,00	A.P.H.E

Source : station météorologique de M'sila (1998 à 2014). **A** : Automne **H** : hiver **P** : Printemps **E** : Eté

La station de M'sila est caractérisée par un régime saisonniers de type **A.P.H.E**. c'est l'automne qui est généralement le plus pluvieux suivi du printemps et enfin l'hiver. La saison la plus sèche est l'Eté.

6.2. Température

La température représente a un facteur limitant de premier important car elle conditionnée la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'être vivant dans la biosphère (RAMADE, 2003).

L'étude de la variation de la température dans le temps a une grand importance dans l'évolution de la matière organique du fait qu'elle constitue le paramètre principale qui conditionne le phénomène de dégradation de matière organique, autrement dit, elle a une



grand influence sur le bilan humique. Elle intervenait aussi dans la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'être vivant dans la biosphère.

Les températures moyennes minimales et maximales (1998-2014) sont représenté dans le tableau 9 suivant :

Tableau 9: Les températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (C°).

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
M	19,0	21,6	27,1	30,7	36,3	41,1	43,6	42,5	38,4	32,5	25,1	19,6
m	-1,6	-1,2	1,3	4,2	8,4	14,0	19,2	18,7	13,7	8,2	1,3	-2,1
M+m/2	8,7	10,2	14,2	17,4	22,3	27,6	31,4	30,6	26,0	20,3	13,2	8,7

M : moyennes mensuelles des maxima. **m** : moyennes mensuelles des minima. **M +m/2** : moyennes mensuelles (T Max +T min/2) **Source** : station météorologique de M'sila (1998 à 2014).

L'analyse de ces données montre que : le maximum des températures moyennes mensuelles est atteint en Juillet avec une valeur de 43,60°C, alors que le minimum est observé en Décembre avec une valeur de -2,14°C la température moyenne annuelle est 19,23°C.

6.3. Les autres facteurs climatiques

6.3.1. Les vents :

Le vent est un phénomène continuels au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce aux particules sableuses qu'il transporte (RAMADE, 2003).

Les vents dominants qui soufflent dans la région de M'sila sont :

Le vent d'Ouest, dit dhahraoui est pluvieux, il est fréquent en automne, en hiver et au printemps.

Le vent du Nord (N) ; est dit Bahri est moins fréquent, il est froid et humide.

Tableau 10: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
Vitesse du vent (m/s)	3,58	3,7	4,02	4,07	4,05	4,17	4,74	9,25	7,71	4,56	4,5	3,9

Source : Station météorologique de M'sila (1998 à 2014).

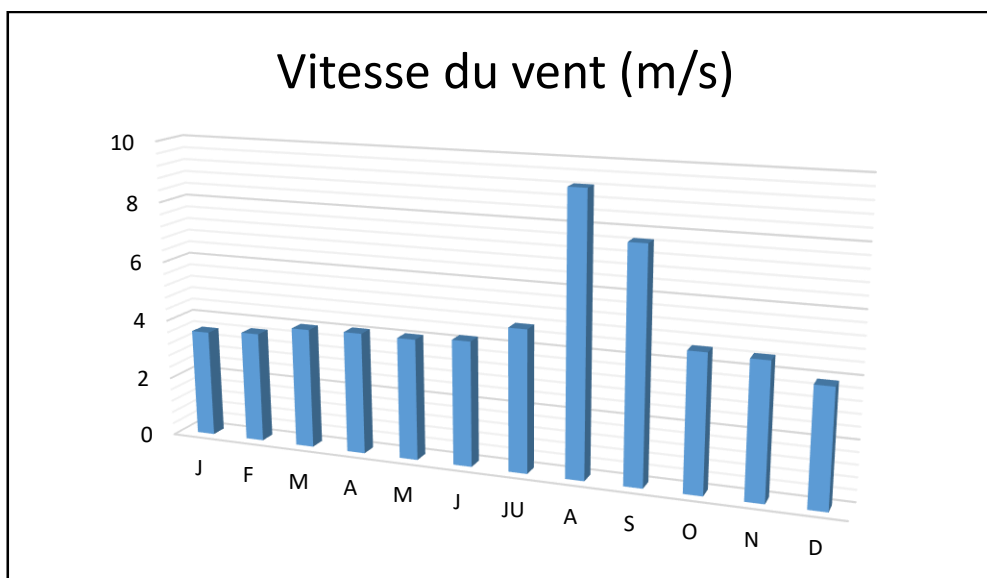


Figure 14: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila (1998 à 2014).

Les vents soufflent à leurs maximums pendant les mois d'août et septembre avec 9,25 m/s et 7,71 m/s respectivement. Le Sirocco qui sévit à partir du printemps accroît le déficit hydrique des cultures.

6.3.2. L'humidité :

L'humidité relative moyenne mensuelle prend une valeur de 36% au mois de juin qui est considéré comme le mois le plus sec alors que le plus humide est janvier avec une valeur de 85%.

Tableau 11 : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
L'humidité (%)	85	67	60	52,64	39,17	35,70	37,29	48,34	56,88	60,17	68,52	71,64

Source : station météorologique de M'sila (1998 à 2014).

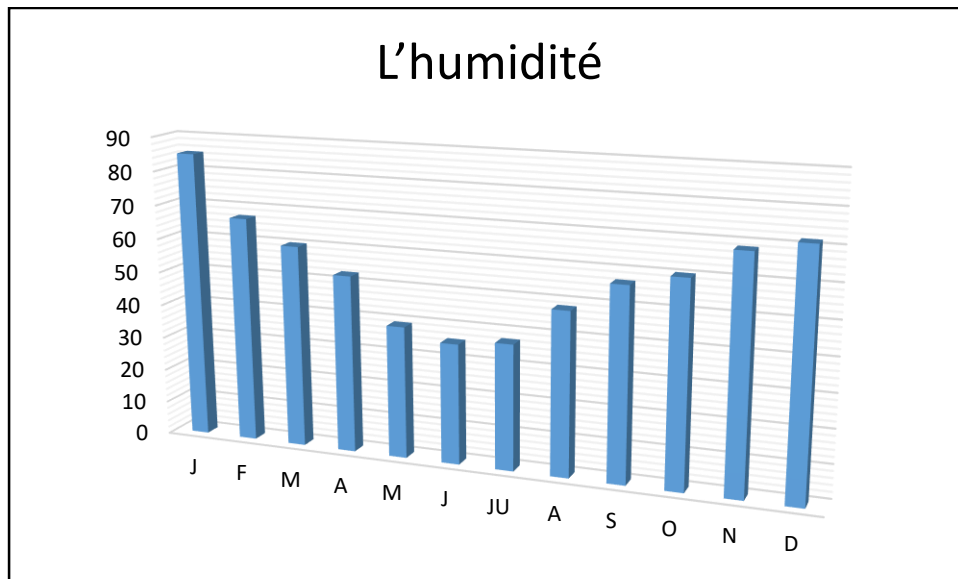


Figure 15: Moyennes mensuelles d'humidité de l'air dans la région de M'sila (1998 à 2014).

6.4. Synthèse climatique :

Elle comprend la détermination de la saison sèche par le diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gaussen ainsi que la classification du climat sur le climagramme d'Emberger.

6.4.1. Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gaussen

Le Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gaussen est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année. Les mois sont portés en abscisses, et les précipitations (P) et températures (T) en ordonnées, avec $P=2T$.

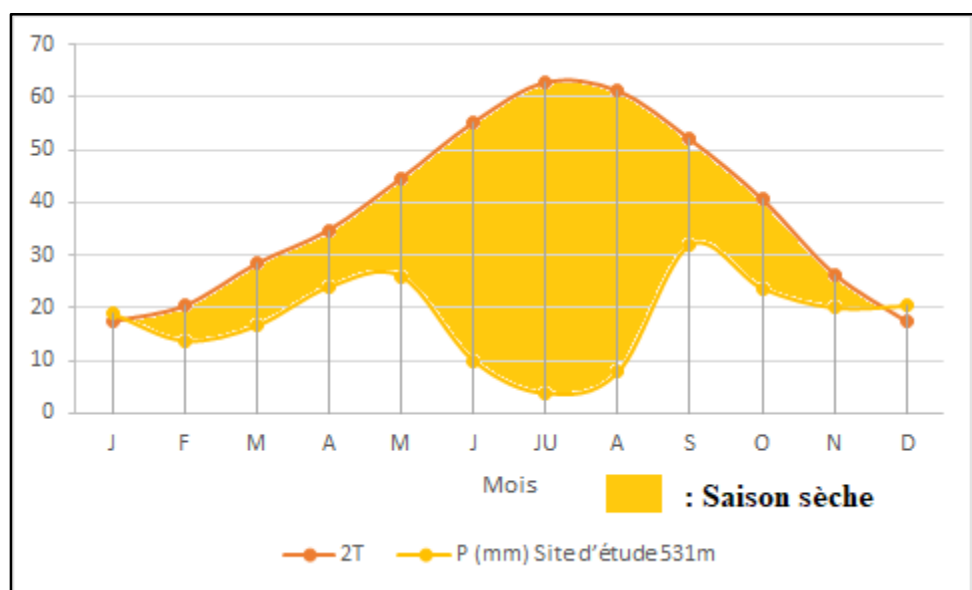


Figure 16 : Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gaussen de la station d'étude 1998-2014.



La figure 17 porte sur le diagramme ombrothermique de la région d'étude établit à partir des données mensuelles de précipitation et température du site d'étude.

Une période est considérée sèche lorsque la courbe de pluviosité se trouve en dessous de la courbe de température (2T) ; il s'agit le plus souvent d'une saison sèche estivale.

Dans notre cas la saison sèche est longue de 10 mois elle s'étale de février à novembre.

6.4.2. Climagramme D'EMBERGER

Le climagramme d'Emberger permet de limiter les étages bioclimatiques et de placer une station dans l'un des étages d'Emberger (humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien).

Le quotient pluviothermique s'écrit :

$$Q2 = 3,43 \frac{P}{M - m}$$

Q2 : Le quotient pluviothermique.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

M : moyenne des températures maximales du mois le plus Chaud en kelvin (°C+273).

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid kelvin.

Ce quotient croit avec les précipitations, mais décroît avec les amplitudes thermiques annuelles, c'est-à-dire les différences entre le mois le plus chauds et les mois le plus froids.

Tableau 12 : Valeurs du quotient pluviothermique.

Données	P (mm)	m (°C)	M (°C)	M-m (°C)	Q2
Station (M'sila)	197,46	-2,14	43,6	45,74	14,81
Site d'étude	216,66	-2,14	43,6	45,74	16,25
Etage Bioclimatique	Aride inferieure				

Dans le cas de site d'étude la valeur de ce quotient est Q2= 16,25, donc connaissant la moyenne de température minimales du mois le plus froid (m= -2,14°C), on peut donc placer le site d'étude dans l'étages Aride inferieure sur le climagramme d'Emberger voir figure ci-dessous.



CHAPITRE III:
MATERIEL ET
METHODES



La réalisation de ce travail s'inscrit dans le but de la détermination des propriétés physique et chimique des sols céréaliers du site choisi, visant une connaissance de leur potentialités agricoles et une identification des contraintes auxquelles se trouve confrontée le secteur agricole dans ce type d'utilisation des terres.

1. Matériel

Le sol étudié est un sol céréalier cultivé en irrigué appartenant à la classe des lithosols calcaire. La culture est conduite selon un itinéraire simple, laboure à la charrue à soc en début d'Octobre suivie de la préparation du lit de semence. Le semis est effectué à la volée. La culture ne reçoit pas de fertilisation sinon de rares amendements organiques sont pratiqués (fumier de ferme bovin) dont les doses sont inconnues. L'irrigation par aspersion assure l'alimentation hydrique au besoin de la culture.



Figure 18: Vue générale du site d'étude (pépinière), le 27 Février 2019.

2. Méthode d'étude

2.1. Choix du site d'échantillonnage

Le choix du site d'étude a été motivé par le type d'utilisation des terres (sol cultivé), la spéculation (culture stratégique céréales, la proximité et la présence d'une structure d'accueil



facilitant le travail de terrain. Le choix donc a porté sur le sol céréalier de la pépinière de M'sila situé près du nouveau pôle universitaire, dont l'occupation est à dominance d'arboriculture.

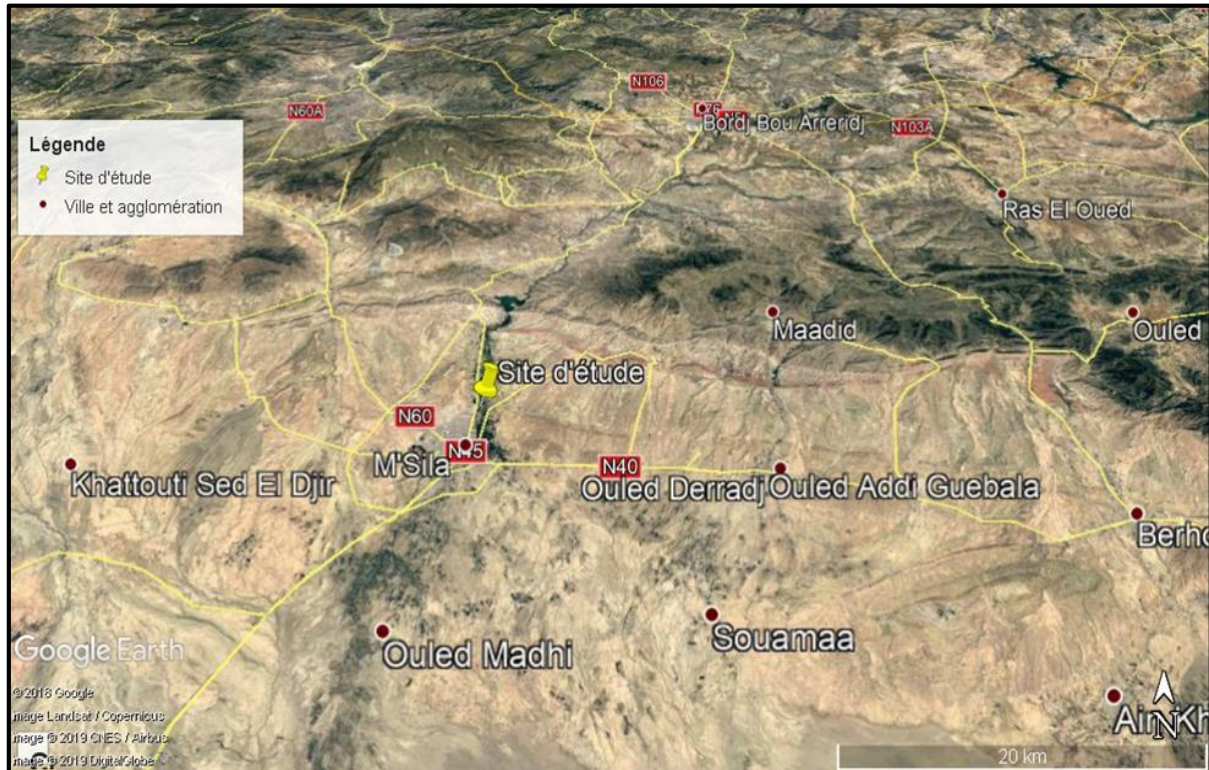


Figure 19: Situation géographique de la zone d'étude source carte de fond : Google earth.

2.2. Méthode d'échantillonnage

Les échantillons destinés à l'étude de la caractérisation du sol sont prélevés au niveau des horizons. Dans chaque horizon une quantité de sol d'au moins un kilogramme est prélevée d'une manière assurant l'homogénéité de l'échantillon.

Horizon 1 : 0-16 cm, horizon 2 : 16-32 cm, horizon 3 : 32-42 cm, horizon 4 : 42-50 cm, horizon 5 : 50-120cm, on respectant les épaisseurs réelles des horizons.

2.3. Préparation des échantillons de sol pour l'analyse

Avant l'analyse les échantillons doivent être sécher à l'aire (voir figure 21) ensuite broyés et tamisés au tamis de 2 mm (voir figure 22) pour dégager la terre fine (inférieur de 2 mm) qui va subir l'ensemble des analyses (analyse physique, chimique et biologique). Le refus constitue les éléments grossiers, il est pesé pour être exprimé en pourcent du poids total de l'échantillon de terre.



Figure 20 : Photo représente terre étalée pour séchage



Figure 21 : Photo représente terre tamisée à 2 mm

2.4. Les méthodes d'analyse au laboratoire

Les analyses physicochimiques et biologiques ont été réalisées au laboratoire de pédologie du département de sciences Agronomiques, faculté des sciences à l'Université de M'Sila.

2.4.1. Les analyses chimiques

2.4.1.1. Mesure du pH

Le pH est l'abréviation du potentiel hydrogène qui est un paramètre servant à définir la réaction du sol (acide ou basique).

La mesure du pH signifie la détermination de :

- Acidité actuelle ou pH_{eau} .
- Acidité totale ou pH_{KCl} .

A l'aide d'un pH mètre dans une suspension sol/eau (1/2,5) (pH_{eau}) ou sol/solution de chlorure de potassium (pH_{KCl} N) (1/2,5) (PREVOST, 2006). Avant les mesure un étalonnage à deux point a été réalisé ($pH7$ et $pH10$).

2.4.1.2. Conductivité électrique

Elle représente la quantité des sels solubles dans la solution du sol, on mesure la conductivité électrique par un conductimètre dans une suspension (sol/eau de 1/5) (AUBERT, 1978). Avant la mesure la constante de cellule a été vérifiée à l'aide d'une solution de KCl dont la conductivité est connue.



2.4.1.3. Calcaire total (CaCO₃%)

Dans cette étude nous avons retenu la méthode volumétrique nommée aussi la méthode du Calcimètre de Bernard. Elle est basée sur la mesure du volume de CO₂ dégagé suite à l'action d'un excès d'acide de chlorure (HCL) sur un poids connu d'un échantillon de sol (BAIZE, 2000). Et dans un poids de CaCO₃ basé sur la réaction chimique suivante :



Le volume de CO₂ dégagé permet de déterminer la quantité de CaCO₃ pure et sec (PREVOST, 2006).



Figure 22: Analyse de Calcaire totale (CaCO₃).

2.4.1.4. Calcaire actif

On agite la terre avec une quantité connue d'oxalate d'ammonium N/5. On filtre, on titre au permanganate cette solution sans oublier un témoin sans sol. La différence entre les deux titrages (témoin et sol) correspond à la quantité carbonate de calcium du ayant réagi sur l'oxalate d'ammonium (AUBERT, 1978).

2.4.1.5. La CEC (Bowen modifier)

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



K^+ : sont dosée par spectrophotométrie à flamme

Ca^{++} , Mg^{++} : par complexométrie à l'EDTA

Na^+ est déterminé par différence $CEC-(Ca^{++}+Mg^{++}+K^+)$ (PETARD, 1993).

2.4.1.6. Le gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)

Le gypse est dissous dans l'eau par agitation, puis il est précipité par l'acétone. Après lavage, ce précipité est redissous dans une quantité d'eau connue. La conductivité de la nouvelle solution est mesurée et la quantité de gypse est déterminée par comparaison avec une série standard (MATHIEU & PIELTAIN, 2003).

2.4.2. Les analyses physiques

2.4.2.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été effectuée selon la méthode internationale à la pipette de ROBINSON, sur des échantillons des sols séchés à l'air et tamisés à 2 mm.

Après élimination des ciments calcaires (HCl N) et organiques (H_2O_2 30%) et dispersion des particules (Hexametaphosphate de Na) on procède comme suite :

- Détermination des fractions argile et limon par sédimentation à la pipette de Robinson (figure)
- Détermination des sables ; fin et grossier par tamisage.
- La détermination de la texture est réalisée à l'aide du diagramme de texture (USDA, 1975).

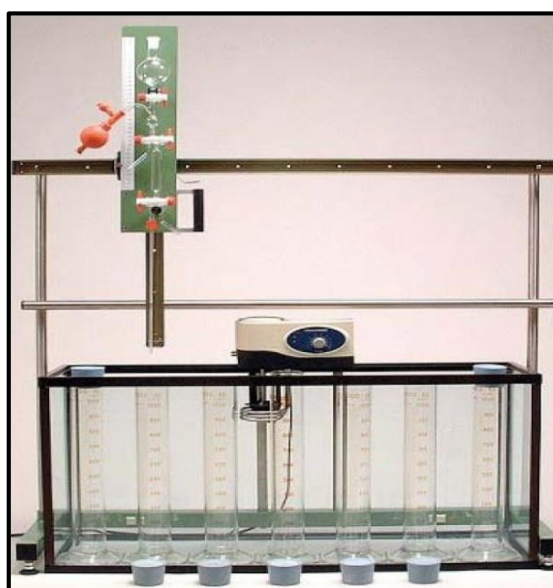


Figure 23: Analyse granulométrique par la méthode internationale



2.4.2.2. La structure

La structure a été décrite en prenant en considération les critères type, taille et cohésion de la structure (SOIL SURVEY STAFF, 1951).

2.4.2.3. Stabilité structural

Cette méthode repose sur une évaluation de la stabilité des agrégats, déterminée en examinant, l'action de l'eau, sur la dégradation de la structure des sols. Les prises d'essai composées d'agrégats sec de dimensions inférieures à 2 mm d'un même horizon vont subir une action brutale de l'eau après prétraitement ; à l'alcool éthylique, au benzène et sans prétraitement. La moyenne des agrégats supérieurs à 200 µm issue de ces trois prétraitements constitue les agrégats stables pour le calcul l'indice d'instabilité structurale, $I_s =$

$$\frac{(A+L)_{\text{maxi}}}{\frac{\sum Ag}{3} - 0,9 SG} \quad (\text{MATHIEU \& PIELTAIN, 1988}).$$

2.4.2.4. Indice de battance

L'indice de battance est calculé d'après les paramètres de texture et de matière organique comme suit : Indice de battance (IB) = $\frac{(1,5 \cdot LF \%) + (0,75 \cdot LG \%) }{(A \%) + (10 MO \%)}$

LF : Limon fin, LG : limon grossier, A : Argile, MO : Matière organique (LAMBERT, 1975).

2.4.2.5. Porosité

La porosité d'un sol est un indice de volume total des pores. Elle s'exprime en pourcentage par la formule : $P(\%) = (1 - (\frac{da}{dr})) * 100$

Ou : Da : densité apparente sèche.

Elle est déterminée par la méthode du cylindre, un cylindre calibré de volume connue est rempli de terre (non remaniée) cette dernière est séchée puis pesée pour donner le poids Ps. La densité apparente sèche est ensuite calculée $da = Ps/V$ (V = volume du cylindre). Pour la densité réelle nous avons pris la valeur moyenne ($dr = 2,65 \text{ g/cm}^3$) (PREVOST, 2006).

2.4.2.6. La réserve hydrique du sol

La réserve hydrique du sol a été calculé par le logiciel « soil water characteristics » version 6.02.74 en se basant sur les teneurs en eau à la capacité au champ (pression = 33 KPa) et au point de flétrissement (1500KPa), en fonction de la texture (argile et sable) la matière organique et la conductivité électrique de l'extrait de pate saturé.



$$\theta_{1500} = -0.024S + 0.487C + 0.006OM + 0.005(S * OM) - 0.013(C * OM) + 0.068(S * C) + 0.031$$

$$\theta_{33} = -0.251S + 0.195C + 0.011OM + 0.006(S * OM) - 0.027(C * OM) + 0.452(S * C) + 0.299$$

θ_{1500} : Humidité au point de flétrissement en pourcent volumique

θ_{33} : Humidité à la capacité au champ en pourcent volumique

C : Argile %, S : Sable en %, MO : Matière organique %.

$$R = (\theta_{33} - \theta_{1500}) * Pr$$

R = Réserve hydrique en cm.

Pr = profondeur du sol en cm.

Correction des potentiels en présence de salinité.

$$\Psi_{00} = (\theta_S / \theta) * (36 * EC)$$

Ψ_{00} : Potentiel osmotique à $\theta < \theta_S$

θ_S : Teneur en eau à saturation

θ : Teneur en eau en dessous de la saturation

ES : conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (SAXTON, 2006).

2.4.2.7. La Perméabilité

La vitesse de filtration à saturation K_s a été estimée par le logiciel « soil water characteristics » selon la formule suivante :

$$K_s = 1930 (\theta_S - \theta_{33}) (3 - \lambda)$$

K_s = Conductivité à saturation mm/h

λ : Pente de la courbe du logarithme de la tension matricielle (33KPa) (SAXTON, 2006).



2.4.2.8. La section de contrôle de l'humidité du sol

La section de contrôle de l'humidité du sol est une couche située en dessous de la surface du sol, qui emmagasine une réserve utile en eau de 50 mm, avec une limite supérieur délimitée par une réserve superficielle de 25 mm, et une limite inférieure qui survient après 75 mm de réserve utile superficielle (USDA, 1975).

2.4.2.9. Régime hydrique du sol

Le régime hydrique du sol décrit l'état hydrique de la section de contrôle en fonction du temps (une année), il tient compte des précipitations mensuelles ou décadaire, de l'évapotranspiration pour les mêmes périodes et du bilan hydrique de la section de contrôle (USDA, 1975).

L'ETP est calculé par la méthode de Turc en se basant sur les données mensuelles de température, l'ensoleillement et la radiation solaire globale.

$$ETP = \frac{0,4(Ig+50)}{t+15}, \text{ avec } Ig = Iga(0,18 + 0,12) \frac{h}{H}$$

Iga = radiation solaire globale en absence d'atmosphère ; h = durée d'insolation en heures ;

H = durée maximum du jour ; t = température moyenne mensuelle en °C (YAICHE & BOUHANIK, 2002).

2.4.3. Les analyses biologiques

Les éléments du sol dont les teneurs dépendent des processus de transformation biologique de la matière organique sont notés caractéristiques biologiques (carbone organique et azote total).

2.4.3.1. Dosage de Carbone organique

La technique d'attaque consiste en une oxydation de la matière organique à froid au bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. Le dichromate réduit est dosé par une solution de sulfate de fer (sel de Mohr), pour obtenir la matière organique on multiplie les résultats de carbone organique par 1,72 (PETARD, 1993).

2.4.3.2. Dosage de l'azote total (méthode de Kjeldhal)

Minéralisation des échantillons à chaud en présence d'acide sulfurique concentré et de catalyseurs (sulfate de cuivre, sulfate de potassium, oxyde de titane).



Distillation de l'azote ammoniacale en présence de soude 40 % fixation dans l'acide borique et titration à l'aide de l'acide sulfurique (PETARD, 1993).

CHAPITRE IV:
RESULTATS ET
DISCUSSION



Dans ce chapitre il sera exposé les caractéristiques et propriétés du sol, ayant trait à l'utilisation du sol en agriculture, basées sur les exigences des plantes et des cultures. On distingue les caractéristiques physiques comme la texture et la structure, chimiques comme la conductivité électrique et les bases échangeable et enfin biologiques liées à la transformation de la matière organique comme le carbone organique et l'azote.

1. Les caractéristique et propriétés physiques

Dans ce qui suit nous allons traiter les résultats concernant la texture, la structure, la densité apparente, la porosité et les caractéristiques hydriques à savoir la réserve hydrique, le régime hydrique et le transfert hydrique du sol.

1.1. La texture

Les éléments grossiers sont faiblement représentés dans l'ensemble des horizons avec des valeurs inférieures à 5 %.

Pour la terre fine les résultats montrent la dominance de la fraction sableuse au niveau de l'ensemble des horizons avec des valeurs qui dépassent 34% avec plus de 70% pour l'horizon (H4), sauf pour l'horizon 3 où la fraction limon est la plus importante. Les fractions argile et limon viennent en deuxième position.

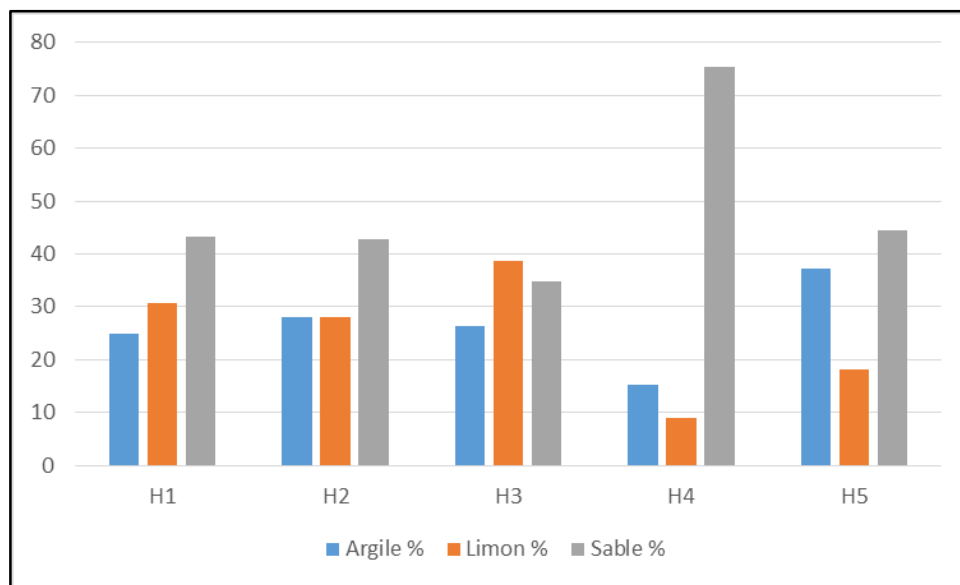


Figure 24: Importance des fractions granulométriques du sol

1.1.1. Discussion

La fraction sableuse bien représenté sur les horizons H1, H2, H5 peut agir sur l'amélioration de la perméabilité.



L'horizon H4 avec sa forte teneur en sable peut réduire les autres propriétés chimiques liées aux autres fractions.

La fraction argile ayant des valeurs entre 20 et 38 % pour l'ensemble des horizons sauf H4 préserve de bonne propriété chimique à l'horizon.

La fraction limon domine uniquement au niveau de l'horizon 3 qui serait plus sensible au compactage que les autres horizons.

1.1.2. Interprétation globale

La texture du sol étudiée est équilibrée (loam) pour les horizons H1 et H3, équilibrée argileuse (Clay loam) pour les horizons H2 et H5 et équilibrée sableuse (Sandy loam) pour l'horizon H4. Voir figure 26 ci-dessous

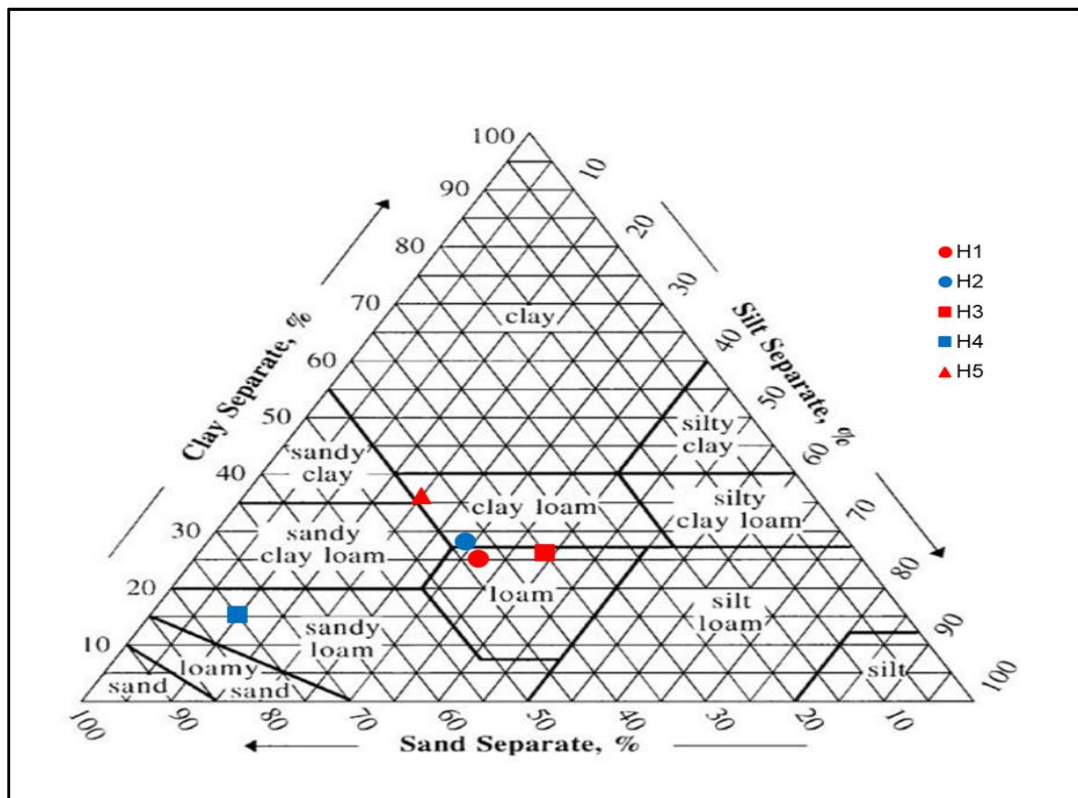


Figure 25:Texture de profil sur le diagramme des texture (SOIL SURVEY STAFF, 1951).

1.1.3. Discussion

D'après les travaux de (DUCHAUFOR, 2001) et (HENIN, 1976) on note ;



Une texture équilibrée sableuse de l'horizon H4 bien aéré et perméable mais moins pourvue en réserve hydrique et minérale.

Une texture équilibré pour les horizons de H1 à H3 mettant en évidence des propriétés physiques (Aération, rétention en eau) et chimique (réserve en élément chimique) bonne.

L'horizon 2 avec sa texture équilibrée argileuse a une tendance plus argileuse que les autres horizons, sans que l'influence sur le travail du sol soit notable. (Située à la limite de la texture laom).

Les horizons H4 et H5 s'opposent en ce qui concerne l'infiltration (drainage) le premier le favorise avec sa forte teneur en sable, par contre le second l'est moins à cause de sa teneur en argile.

1.2. Structure

La structure est grenue fine en surface sur 16 cm suivie d'une structure polyédrique angleuse moyenne sur les 16 cm suivant.

Les horizons H3 et H5, présentent une structure plus grossier (polyédrique et prismatique) respectivement.

L'horizon H4 ne présente aucune structure à cause de sa forte teneur en sable.

Les données sur la structure font état d'une structuration favorable sur deux horizon (H1 : très bonne, H2 : moyenne) totalisant une profondeur de 32 cm. L'horizon H3 et H5 présente une structure défavorable avec des agrégats dure à l'état sec et deviennent asphyxiant à l'état humide. L'horizon 4 présente une structure particulière perméable mais moins favorable sur la rétention en eau et en éléments nutritifs. Voir le Tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 : Les types de structure des horizons du profil.

Les horizons	Type de Structure	Qualité agronomique
H1(Ap11)	Grenue fine (3 à 10 mm)	Très bon
H2(Ap12)	Polyédrique angleuse moyenne 10 à 30 mm	Moyenne
H3(C11)	Polyédrique angleuse grossière 30 à 100 mm	faible



H4(C12)	Particulaire	Très faible
H5(C13)	Prismatique 50 à 100mm	faible

(DELAUNOIS, et al., 2008).

1.2.1. Discussion

Le niveau de structuration du sol est meilleur pour H1 et en moindre mesure pour l'horizon H2 à cause de la taille de la structure.

1.2.2. Stabilité structurale et battance

L'horizon de surface présente une structure très stable ($\text{Log}(I_s) < 1$) (voir annexe 5), et un indice de battance faible ($IB < 1.4$) rendant l'horizon non battant (voir annexe 6). Voir tableau 14

Tableau 14 : L'indice de battance et d'instabilité structurale de l'horizon de surface.

Horizon de surface		Interprétation
Is	9,76	Très stable
Log(Is)	0,92	
IB	0.29	Non battant

(MATHIEU & PIELTAIN, 2003) ; (HENIN, 1976) ; (LAMBERT, 1975).

1.2.3. Discussion

D'après (HENIN, 1976), on arrive à déduire les risques de battance des horizons d'un sol. Dans notre cas l'horizon de surface ne présente pas de risques de battance.

En se basant sur les travaux de (VILAIN, 1978), l'horizon de surface présentent une structurale très stable donc il résiste aux phénomènes de dégradation par l'eau.

La présence de colloïdes (argiles, molécule organique) et la faible teneur de limon est responsable de l'état structurale de surface (HENIN, 1976) ; (HALITIM, 1988) ; (DUCHAUFOR, 2001).

1.3. La porosité totale et la densité apparente

Les résultats de la densité apparente sèche indiquent des valeurs allant de 1.27 à 1.71 g/cm³ respectivement pour les horizons de 1 et 4 d'où une compaction qui augmente avec la profondeur. La porosité totale inversement proportionnelle à la densité est relativement plus



importante en surface (52.08% horizon1) par rapport à la profondeur (35.47% Horizon 5). Voir tableau 10

Tableau 15 : La porosité total et la densité apparente des horizons.

	horizone1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
das g/cm3	1,27	1,34	1,66	1,71	1,65
P%	52,08	49,43	37,36	35,47	37,74
Structure	Grenue fine	Polyédrique anguleuse moyenne	Polyédrique anguleuse grossière	particulaire	prismatique
Porosité	Porosité fine abondante	Porosité fine Peu nombreuse	faible	faible	faible

La porosité totale regroupe la porosité texturale (microporosité) et la macroporosité due à la structuration du sol et l'activité biologique (racines et faune). D'après (DUCHAUFOR, 2001) ces valeurs de densité apparente donnent une macroporosité de près de 14% pour les horizons 1et 2 et moins de 3% pour les autres horizons voir figure 30. Ces valeurs indiquent une bonne aération pour les horizons 1 et 2.

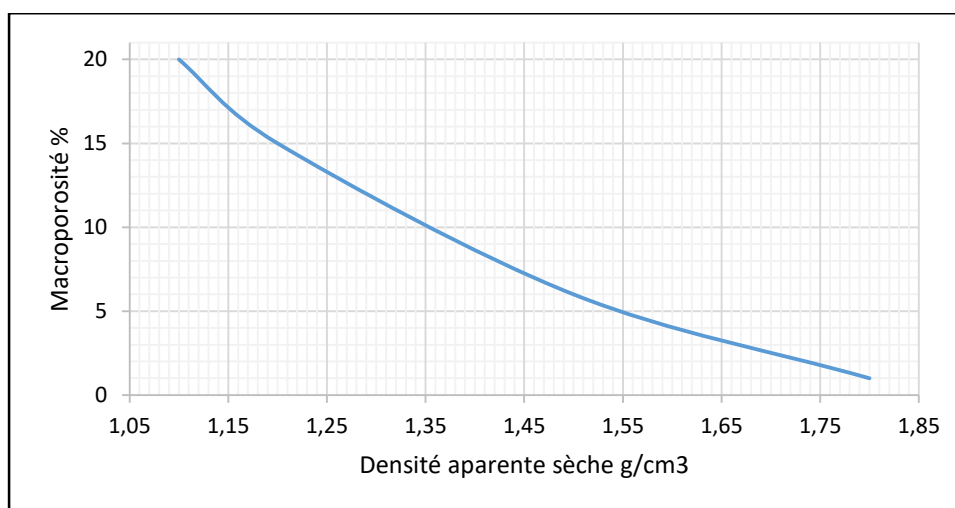


Figure 26 : Relation entre la densité apparente et la macroporosité (DUCHAUFOR, 2001).



1.4. Propriétés hydrique du sol

1.4.1. La réserve hydrique

La réserve hydrique du sol varie entre 0.3 mm/cm et 1,4 mm/cm, ces valeurs reflètent l'influence positive de la texture (limons et argiles) et négative de la texture sableuse et les très faibles teneurs de la matière organique.

Selon (DUCHAUFOR, 2001) la réserve hydrique est maximale pour les limons (2 mm/cm) réduite de moitié pour les argiles (1mm/cm), les valeurs de nos horizons sont bonnes pour les horizon 1et 2 moyenne pour 3 et 5 et faible pour l'horizon 4 à cause de sa texture sableuse.

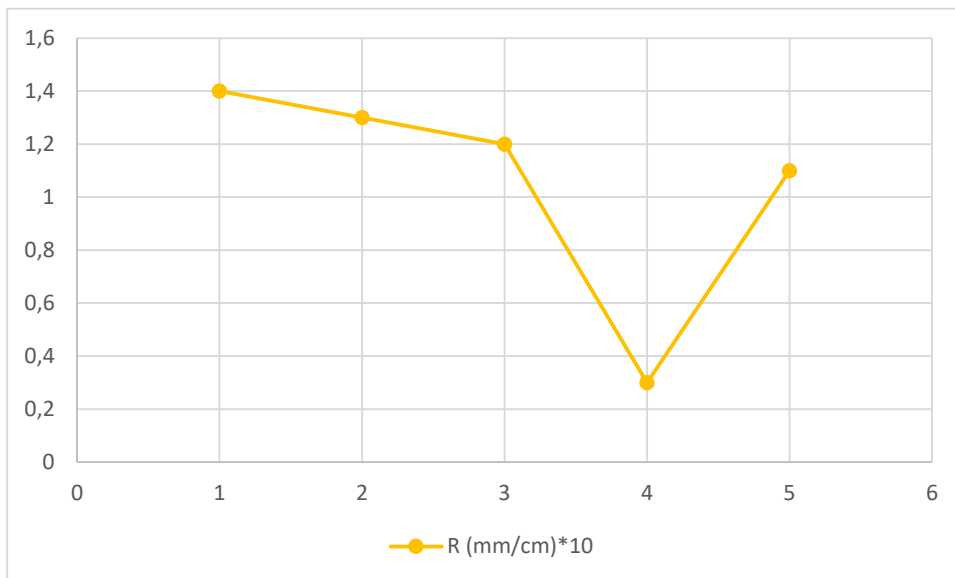


Figure 27 : réserve hydrique des horizons

1.4.2. La perméabilité

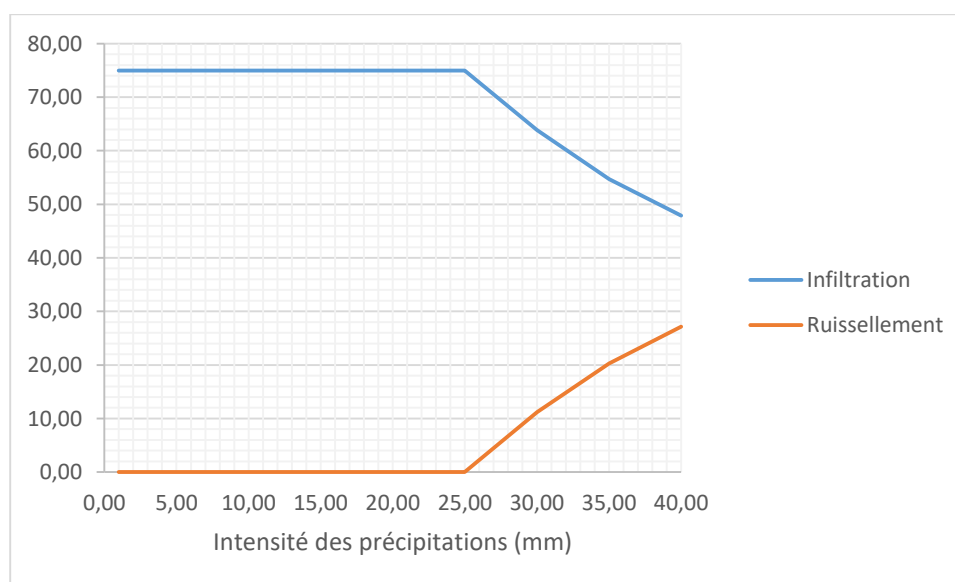
La vitesse d'infiltration est forte pour les horizons ; 1, 2 et 4 modérée pour l'horizon 3 et faible pour l'horizon 5. Donc le drainage est très bon pour les trois horizons cités (1,2 et 4), modéré pour l'horizon 3 et faible pour l'horizon 5 avec apparition des taches d'oxydoréduction (signes d'hydromorphie temporaire) plus nombreuse pour l'horizon 5 (voir annexe 7). (Voir tableau 16)

**Tableau 16** : Vitesse d'infiltration hydromorphie et interprétation.

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
K mm/h	25,53	13,24	1,58	17,46	0,25
Interprétation	forte	forte	modéré	forte	faible
Signé d'hydromorphie	Pas de signe	Pas de signe	Taches d'oxydoréducti-on nombreuse	Pas de signe	Taches d'oxydoréduction nombreuse
Signification agronomique	Très bon drainage naturel des sols	Très bon drainage naturel des sols	Sol modérément hydromorphe Contraintes agronomiques modérées, ressuyage plus lent, léger excès d'eau pour certaines cultures (ail,...)	Très bon drainage naturel des sols	Sol modérément hydromorphe Contraintes agronomiques modérées, ressuyage plus lent, léger excès d'eau pour certaines cultures ail,....

On note que les signes d'hydromorphie temporaire signalée par les taches d'oxydoréduction apparaissent à la profondeur de 42 cm.

Dans ces conditions l'horizon de surface réduit fortement les ruissellements et par conséquent les risques d'érosion jusqu'à des intensités de précipitation de plus de 25 mm/H. Voir figure 29

**Figure 28** : Infiltration et ruissellement de l'horizon de surface en fonction de l'intensité des précipitations

1.4.3. Section de contrôle de l'humidité du sol

La section de contrôle est une couche du sol qui accumule une réserve d'eau utile de 50mm, elle est située à 22.75 cm de profondeur et possède une épaisseur de 55.55 cm. Le



remplissage de cette couche nécessite une lame d'eau de 75 mm. La réserve cumulée de notre sol jusqu'à une profondeur de 120 cm est de 112,6 mm, cela signifie que la réserve du sol est suffisante pour accueillir tous les types de cultures. Voir figure33

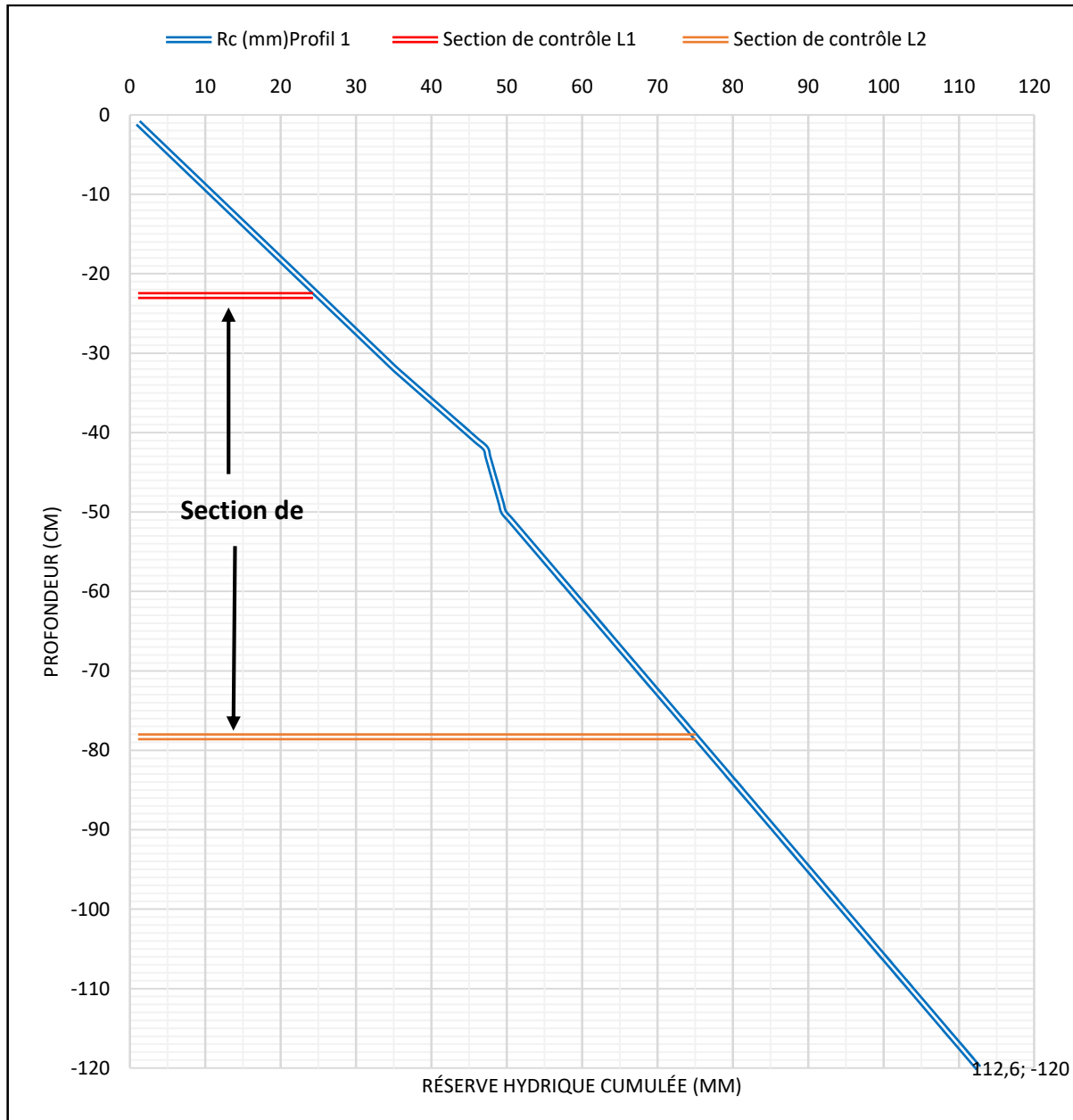


Figure 29 : Section de contrôle et réserve hydrique cumulée du sol.

1.4.4. Régime hydrique du sol

Sous le climat actuel aride les précipitations n'arrive pas à satisfaire la demande climatique en eau ($P-ETP < 0$) pour la majeure partie des mois de l'année sauf pour le mois de décembre où il s'accumule près de 6mm, cette quantité est insuffisante pour remplir la



section de contrôle donc elle reste complètement sèche pendant toute l'année. Selon (USDA, 1975) on est en présence du régime hydrique aridique.

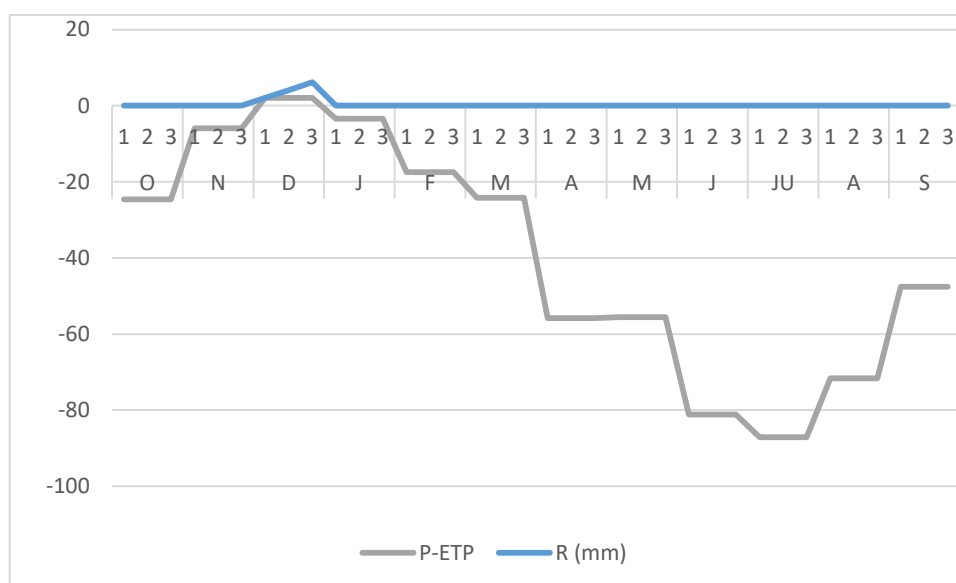


Figure 30 : Régime hydrique du sol

2. Caractéristiques chimiques

Dans ce qui suit nous allons traiter les résultats concernant le pH, la conductivité électrique, le calcaire totale et actif, la capacité d'échange cationique, gypse et bases échangeables.

3.1 Réaction du sol (pH_{eau} , pH_{KCl})

Les valeurs du pH varient entre 8,01 à 8,23 avec une différence entre pH_{eau} et pH_{KCl} ($pH_{eau}-pH_{KCl}$) de 0,36 la valeur minimal et de 0,47 la valeur maximale. Voir le tableau 17 ci-dessous ;

Tableau 17 : Résultats d'analyse du pH_{eau} et pH_{KCl} des horizons.

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5	Moyenne
pH_{eau}	8,14	8,01	8,12	8,23	8,17	8,134
pH_{KCl}	7,67	7,63	7,66	7,87	7,7	7,706
$pH_{eau}-pH_{KCl}$	0,47	0,38	0,46	0,36	0,47	0,43

Donc selon (GAUCHER, 1968) ; (PREVOST, 2006) ; (CALVET & VILLEMEN, 1986), l'ensemble des valeurs indique un sol alcalin ($7,5 < pH_{eau} < 8,5$) et faible désaturation du complexe d'échange ($pH_{eau}-pH_{KCl} < 0,5$) (voir annexe 3).



Selon (Anonyme, 2011) le pH alcalin (8-8,5) réduit la solubilité du phosphore et de certains oligoéléments (fer, manganèse, cuivre, Zinc et le bore) (voir annexe 10).

En se basant sur les valeurs du pH, les sols d'étude peuvent être un support acceptable à toutes les cultures sauf aux espèces calcifuges (GAUCHER, 1968) (voir annexe 2).

3.2. Conductivité électrique

Les résultats présentent une conductivité électrique variable avec la profondeur, telle que Les deux horizons de surface (1 et 2) les valeurs de CE entre $0,6 < CE < 1,2$ indiquent un sol peu salé et non salé pour les horizons (4 et 5) les valeurs de CE inférieure à 0,6 ($< 0,6$), et enfin l'horizon3 la valeur de CE entre $1,2 < CE < 2,4$ indiquent un sol salé (voir annexe 4), voir Tableau 18 suivant ;

Tableau 18 : Les résultats de la conductivité électrique (CE).

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5	Moyenne
CE mmhos/cm Extrait 1/5	1,03	0,89	1,52	0,27	0,46	0,83
Interprétation	Peu salé	Peu salé	Salé	Non salé	Non salé	Peu salé

(Durand, 1983).

Selon (AUBERT, 1978) ; (Durand, 1983), Ces sol peuvent supporter les cultures tolérantes blé et Orge (Anonyme, 2011).

Tableau 19: Les paramètres chimique du sol salin

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
pHeau	8,14	8,01	8,12	8,23	8,17
Ksat mm/H	5,87	4,22	3,07	8,23	0,15
ESP	3,02	2,78	2,67	8,92	2,87

Selon (U.S.S.L, 1954), le taux d'ESP est inférieur à 15%, ce qui ne va pas engendrer des risques d'alcalinisation sodique, dispersion des colloïdes et destruction de la structure du sol.



3.3. Calcaire total

Les résultats de teneurs en calcaire total dans les différents horizons étudiés sont représentés dans la tableau (20), Ces valeurs sont comprises entre un minimum de (15,8) remarqué dans l'horizon (H5) et un maximum de (42,97) remarqué dans l'horizon (H3). Selon les normes d'interprétation en annexe 12 on dispose de quatre horizons fortement calcaire (>25%) les horizons de 1 à 4 et l'horizon 5 calcaire (entre 10 et 25%).

Tableau 20 : Calcaire total des horizons

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
Calcaire Totale (%)	40,81	39,87	42,97	32,48	15,8

3.4. Calcaire actif

Le calcaire actif est présent avec une valeur maximale dans l'horizon H1 (10,22 %) et une valeur minimale dans l'horizon H3 (9,98%). voir tableau 21

Selon les normes d'interprétation en annexe 12 ces valeur sont assez élevées (horizon3) à élevées (les autres horizons) avec un risque de chlorose respectif moyen à élever.

Tableau 21: Calcaire actif des horizons.

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
Calcaire actif (%)	10,22	10,02	9,98	10,18	10,06

Selon (CALVET & VILLEMIN, 1986), le calcaire actif peut avoir une action de chlorose sur vigne, arbres fruitier, car il insolubilise le fer et d'autres éléments.

3.5. Capacité d'échange cationique (CEC)

La CEC est présente avec une valeur maximale dans l'horizon H3 (43.02 %) et une valeur minimale dans l'horizon H4 (13.24%), voir la figure 31 suivant ;

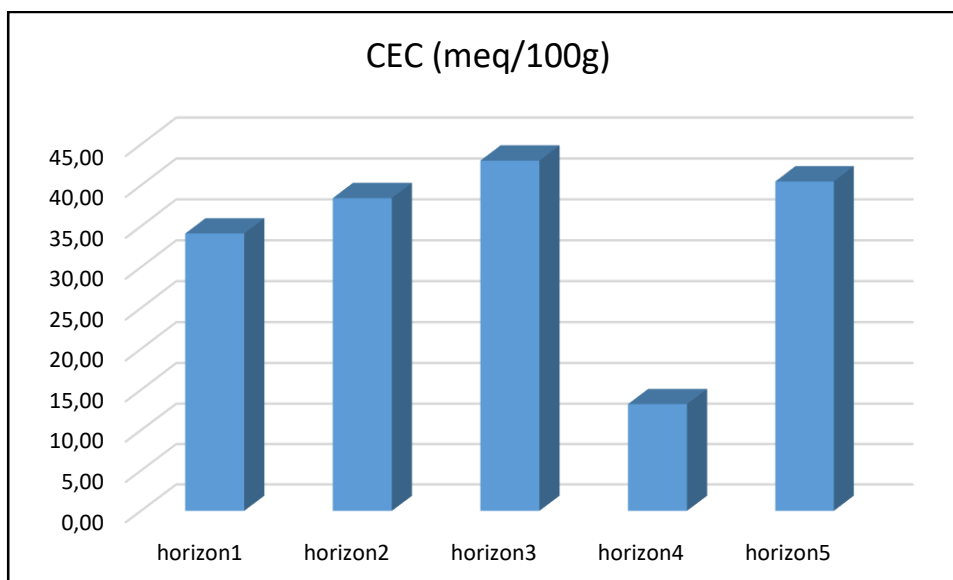


Figure 31: Les valeurs de capacité d'échange cationique des horizons

Selon les normes de (Doucet, 2006) qui évalue la CEC en fonction de la texture on note des valeurs très élevé dans les horizons (H1, H3 et H4) avec des valeurs (34.11, 43.02 et 13.24) respectivement, élevé dans les horizons (H2 et H5) avec des valeurs (38.43 et 40.47) respectivement, voir le tableau 22 suivant ;

Tableau 22 : Les valeurs de capacité d'échange cationique des horizons.

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
CEC(meq/100g)	34,11	38,43	43,02	13,24	40,47
Interpretation	Très élevé	élevé	Très élevé	Très élevé	élevé

Selon (SOLTNER, 2000), montre que la capacité d'échange cationique des sols dépend généralement de la teneur en matière organique et de la texture du sol et du type de minéraux argileux. Les valeurs des horizons de 1 à 5 s'expliquent par les teneurs d'argiles et de matière organique appréciable, sauf l'horizon 4 de texture sableuse avec très une valeur relative à cette très élevé ceci est due à l'action des argiles et de la matière organique.

3.6. Gypse

Les résultats donnent des valeurs très faible du gypse dans tous les horizons, voir le Tableau 23 suivante ;



Tableau 23 : Gypse des horizons

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
Gypse%	0	0,4	1,15	0,3	0,7

Ces valeurs sont inférieures à 3% ; il s'agit d'un sol non gypseux selon (BARZANJI, 1973) in (TIR, 2001). Voir la figure 32 ci-dessous ;

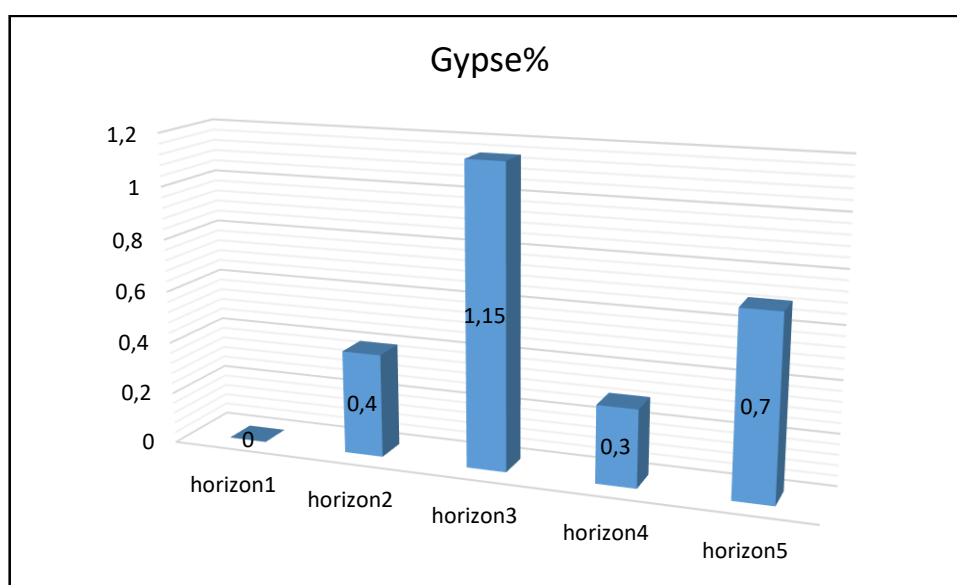


Figure 32: Le taux de gypse des horizons

3.7.Bases échangeables

Les résultats qui représentent les bases échangeables en pourcent de la CEC sont variables. Le calcium échangeable présente les valeurs les plus élevées entre 53.40 et 83%, suivie du potassium entre 5 et 15% du sodium entre 1 et 10% et enfin le magnésium entre 1et 5% sauf pour l'horizon 5 ou il dépasse 40%. Voir tableau 24

Tableau 24: Les bases échangeables des horizons

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
Na ⁺ %	5,01	6,39	7,19	9,57	0,71
K ⁺ %	15,74	13,94	9,57	15,29	5,72
Ca ⁺⁺ %	76,33	75,85	82,50	60,13	53,40
Mg ⁺⁺ %	2,92	3,83	0,75	5,01	40,17

Les bases échangeables sont caractérisées par la dominance du Ca⁺⁺, on peut les classer par ordre décroissant comme suit : Ca⁺⁺, Na⁺⁺, K⁺, Mg⁺⁺.



Selon (Doucet, 2006) les valeurs de saturation idéale pour la texture loam sont de 60 à 70% de Ca^{++} , de 10 à 12 % de Mg^{++} , de 2.5 à 3.5% de K^{+} et inférieur à 1% de Na^{+} . Ces valeurs sont dépassées pour tous les éléments, ceci peut s'expliquer pour le calcium et le sodium respectivement par la dominance du calcaire et la présence de la salinité.

4. Caractéristiques biologique

Dans ce qui suit nous allons traiter les résultats concernant la matière et carbone organique et l'azote total.

4.1. Matière et carbone organique.

Les valeurs du carbone organique les plus élevées sont enregistrées au niveau de l'horizon de surface H1 avec près de 3,2%, puis il accuse une diminution rapide jusqu'à l'horizon3 à 0.75%, ensuite le taux de diminution faiblie jusqu'à les horizons 4 et 5.

Aussi le pourcentage de matière organique est très bon dans les deux horizons de surface avec une valeur 5,504 et 4,73 respectivement, et taux faible dans les horizons 3, 4 et 5 avec une valeur 1.29, 1.892 et 1.118 respectivement. Voir le tableau 25 suivant ;

Tableau 25 : Carbone et matière organique des horizons

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
Carbone %	3,2	2,75	0,75	1,1	0,65
Matière organique %	5,504	4,73	1,29	1,892	1,118

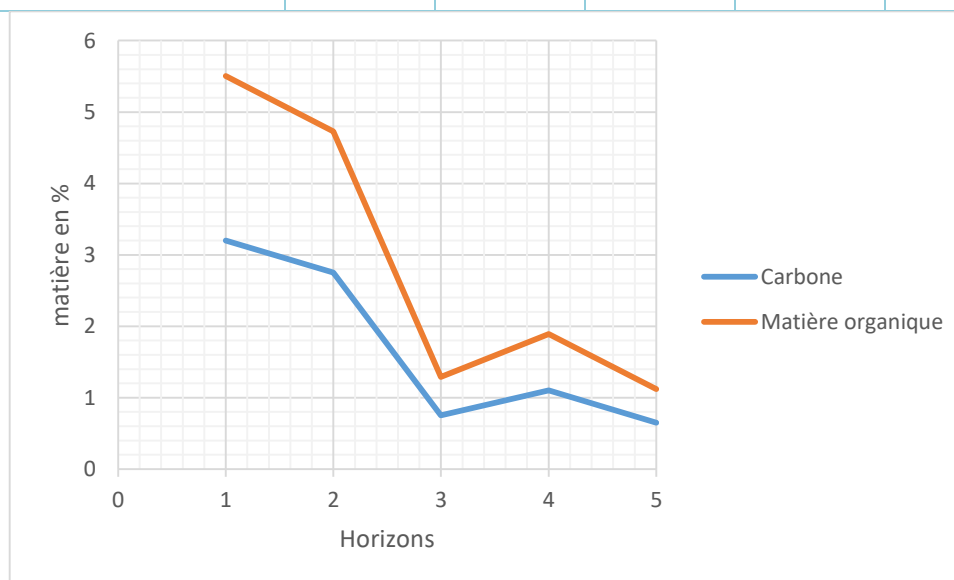


Figure 33: le taux de matière et carbone organique des horizons



Le taux de matière organique de ce sol est moyen dans les horizons 1 et 2, et très pauvre dans les horizons 3, 4 et 5 selon les normes de (AFEQ, 1987) en fonction de la texture (voir annexe2).

4.2. L'azote total

Concernant l'azote total les horizons présentent des valeurs moyennes significativement différentes (voir tableau 26 ci-dessous) l'horizon5 et 4 est plus riche en azote avec une valeur 1.2 % et 1% respectivement) que les horizons1, 2 et 3 avec une valeur 0.6%, 0.7% et 0.8% respectivement).

Tableau 26 : L'azote total dans les horizons

profile 1	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5
Azote total %	0,6	0,7	0,8	1	1,2

Les valeurs montre une augmentation irrégulière avec la profondeur, la valeur la plus élevée se retrouve au niveau de l'horizon5 (1.2 %) et la plus faible au niveau de l'horizon1 (voir figure 34) selon (Anonyme, 2011) ces valeurs sont très élevés (>0.5) dans tous les horizons indiquant une richesse en azote prononcée (voir annexe 8).

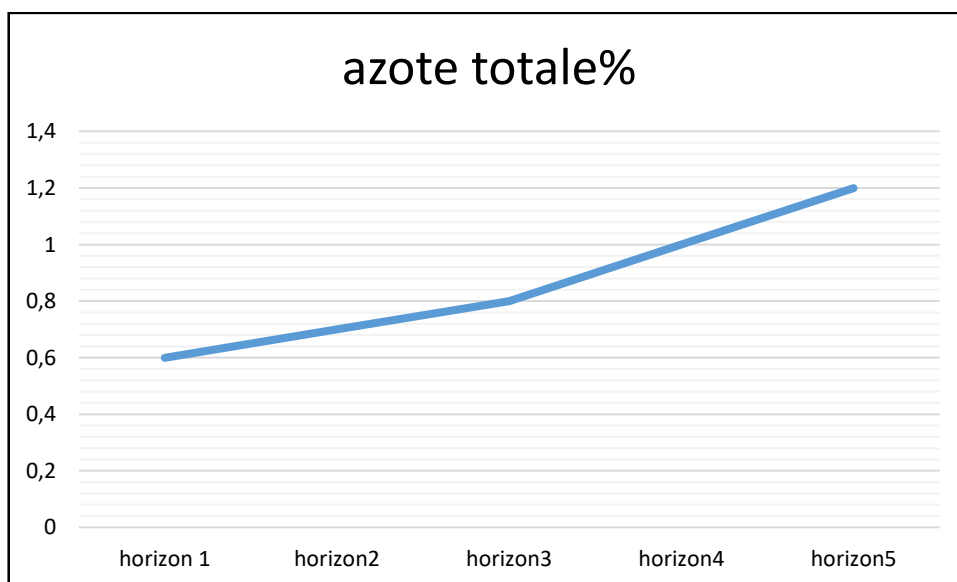


Figure 34 : L'azote total des horizons



Conclusion générale

Ce travail a été mené dans un sol céréalier appartenant à la pépinière de M'sila où la culture est conduite en irrigué, étant donné le climat aride qui y règne. Afin de mettre en évidence ses caractéristiques et propriétés et déterminer leur convenance aux cultures.

Les résultats font état des faits suivants :

La texture des horizons varie de sableuse en profondeur (horizon 4) à Loam (équilibré) pour les horizons 1 et 3 et enfin argileuse pour les horizons 2 et 5, avec toutes les propriétés qui en découlent sur la fertilité chimique et physique.

La structure est meilleure en surface, moins convenable dans l'horizon suivant et défavorable pour le reste de l'horizon. Le sol est bien protégé en surface contre l'érosion à cause de la structure très stable qui s'y trouve.

La porosité totale qui dépend de la structure et de la texture, est meilleure en surface avec une porosité totale de plus de 50% et une macroporosité de près de 14% ce qui offre de meilleures conditions pour la vie racinaire.

La réserve hydrique du sol est importante (112 mm sur 120 cm de profondeur) ce qui offre une meilleure gestion de l'irrigation de la culture.

Du point de vue de la perméabilité on distingue l'horizon perméable 1, 2 et 4 et l'horizon moins perméable 3 et 5. Ces derniers sont responsables de l'hydromorphie temporaire plus accentuée pour l'horizon 5. Un drainage est peut-être nécessaire pour les cultures sensibles.

Le pH est alcalin pour tous les horizons (8-8,5) provoquant l'insolubilisation de certains éléments nutritifs. Ces valeurs sont au niveau élevée en calcaire total et actifs.

La conductivité électrique montre une salinité légère dans les deux premiers horizons, est franche au niveau du troisième horizon.

La réserve minérale du sol est appréciable (forte CEC), quant aux éléments échangeables on note la dominance du calcium suivie du potassium le magnésium vient en dernière position.



Conclusion générale



Le stock organique du sol est bon dans l'horizon 1 et 2 et faible dans le reste des horizons. Les horizons les moins pourvus en matière organique sont 3 et 5 peut-être à cause de l'hydromorphie qui y règne.



Références bibliographique

ABDELAOUI, F. & BEN CHENIT, A., 2012. *Caractérisation des sols et des eaux d'irrigation dans deux station Ben Srou et Maadher (w- M'sila)*. M'sila: s.n.

AFEQ, 1987. *Guide de fertilisation*, Montreal: Association des fabricant d'engrais du Québec.

Anonyme, 2011. *Soil test interpretation guide*. s.l.:Agricultural laboratory.

AUBERT, G., 1978. *Méthodes d'analyses des sols*.. Marseille.: Edit.C.R.D.P.Marseille..

AUBERT, G., 1983. Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salé ou salsodique. Volume Vol xxxn°1 , pp. 73-78.

BAIZE, D., 2000. *Guide des analyses en pédologie*.. 2 éd. Paris: Choix. Expression. Présentation. Interprétation. INRA.

BAIZE, D., DUVAL, O. & RICHARD, G., 2013. Les sols et leurs structures. Dans: *Tests de stabilité structurale, de percolation et d'évaluation de la sensibilité à la battance*.. France: s.n., pp. 215-225.

BAIZE, D. & GIRALD, M., 1995. *Référentiel pédologique*. Paris: s.n.

BALESDENT, J., CHENU, C. & BALADANE, M., 2000. *Relation of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage*.. s.l.:s.n.

BOULAIN, J., 1971. *hydropédologie, des écoles nationales de génie rurale, , des eaux et des forêts*. alger: s.n.

BOUMEZBEUR, A., 2002. *Atlas des 26 zone humides Algériennes internationale* .. Alger: Direction générale des forêts.

C.P.C.S, 1967. *Classification des sols. Laboratoire de géologie, pédologie de l'E.N.S.A*. Paris: grignon.

CALVET, G. & VILLEMEN, P., 1986. *Interprétation des analyses de terre*. France: IPAS, SADF-SCPA, Aspach le bas.

CALVET, R., 2003. *Le sol ,propreite et fonction ,phenomene physique et chimique Tom 2*.Ed. françe Aricol: s.n.

CALVET, R., 2013. *Le sol*. s.l.:s.n.

CAPOLONI, J. & SARY, M., 1971. *Atlas des cartes geomorphologique du chott El Hodna feuille de M'sila*. Alger: Secrétariat d'état à l'hydraulique, Service agropédologique.

CHAMAYOU, H. & LEGROS, J., 1989. *Les bases physique, chimique et minéralogiques de la science du sol*.. Ed éd. s.l.:Techniques vivants. Agence de coopération culturelle et technique..

CHAUDE , J. & LECLE, R., 1999. *Ecophysiologie végétale*. s.l.:s.n.

CHERBUY, B., 1991. les sols salés et leur réhabilitaion. p. 35.



Références bibliographique



- CHOSSAT, J.-C., 2005. *La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols*. Ed éd. s.l.:TEC et DOC.
- CLEMENT, M. & PIELTAIN, F., 2003. *Analyse chimique des sols, méthode choisies*. Paris: Ed. TEC, paris.
- DE OS HORTA, J., 1979. *LES ENCROUTEMENTS CALCAIRES ET LES ENCROUTEMENTS GYPSEUX EN GÉOTECHNIQUE ROUTÈRE*, s.l.: s.n.
- DELAUNOIS, A. et al., 2008. *Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols : destiné aux agriculturs et aux agronomes*. s.l.:l'Agence de l'Eau Adour-Garonne du CAS DAR et del'Union Européene.
- DELECOUR, F., 1981. *Initiation à la pédologie, service de la science du sol*. Gembloux: Faculté des sciences agronomiques de l'état.
- DIAEA /DRHA /SEEN,, 2008. Direction de l'irrigation et de l'aménagement de l'espace Agricole, Service des Expérimentation, des Essais et de la Normalisation-Rabat.
- DJEBAILI, S., 1984. *Steppe Algérienne : phytosociologie et écologie* .. s.l.:OPU.
- DJERMOUN, A., 2009. La production céréalière en Algérie : les principales. *Nature et Technologie*, pp. 45-53.
- Doucet, R., 2006. *Le climat et les sols agricoles*, Eastman, Québec: Berger.
- DROUT, T., 2010. *Pédologie- BING-F-302*. s.l.:s.n.
- DUCHAUFOR, P., 2001. *Introduction à la science du sol, végétation et environnement*. 6ème édit éd. Paris: Dunod.
- Durand, J., 1983. *Les sols irrigables*. Paris: Presse univerritaire de France.
- FAO, 1973. *Etude des ressources naturelle, expérimentale et démonstration agricole dans la région du hodna*. Rome: Val FAO.
- FARINA, M., CHNNON, P. & THIBAND, G., 2000. A comparison of strategies for ameliorating sub soil acidity II, long term soil effects. *Soil. Sci. Soc. Am*, pp. 625- 658.
- GAUCHER, G., 1968. *Traité de pédologie agricole, le sol et ses caracteristiques agronomique*.. Paris: Ed. dunod.
- GIASSON, P. & JAOUICH, A., 2008. *Les propriétés chimiques du sol*. s.l.:s.n.
- GIRARD, M., SCHVARTZ, C. & JABIOL, B., 2011. *Etude des sols*. s.l.:s.n.
- GIRARD, M. et al., 2005. *Sol et environnement*. Ed éd. Paris: s.n.
- GOBAT, J.-M., ARAGNO, M. & MATHEY, W., 1998. *Le sol vivant*. Lausanne: Presse technique et universitaire romande.
- GOBAT, J., ARAGNO, M. & MATTHEY, W., 1995. *Le sol vivant: Bases de pédologie des sols*. s.l.:s.n.



Références bibliographique



- GOBAT, M., ARAGON, M. & MATTHEY, W., 2010. *Le sol vivant : Bases de pédologie - Biologie des sols*. 3ème éd. s.l.:Presses polytechniques et Universitaire Romandes.
- GUIRAUD, R., 1973. *Evalution post triasique de l'avant pays de la chaine algine en Algérie, d'après l'étude de basin de hodna et des régions voisines*. s.l.:s.n.
- HALITIM, A., 1988. *Les sols des régions arides d'Algérie*. Alger: O . P . U.
- HALITIM & ARDOUIN, A. . G., 1978. *pédologie générale et agropédologie*. algiré: s.n.
- HARTMANN, C. et al., 1998. *Nouvelles techniques de préparation des vertisols en culture maraichère à la martinique : incidences pédologiques et agro-économiques*. s.l.:Agriculture de Développement- n°18.
- HENIN, HALITIM, A. G. & ARDOUIN, A., 1976. *cours de physique du sol*. paris: arston.
- HENIN, S., 1976. *Cour de physique du sol, <Texture- Structure- Aération >. Tom I*. Paris: ORSTOM.
- HENIN, S., 1977. *Cour de physique du sol, <l'eau et le sol, les propriétés mécanique, la chaleur et le so>. Tome II..* Paris: ORSTOM.
- HENIN, S., 1990. *Sol- agronomie- environnement*. Ed éd. s.l.:Paris.
- HENIN, S., GRAS, R. & MONNIER, G., 1969. *L'etat physique du sol et ses conséquences agronomiques*. Ed éd. Paris: s.n.
- HILLEL, D., 1984. *L'eau et le sol. Principes et processus physique*. Ed éd. s.l.:s.n.
- HODY, J., 2008. *Science de sol*. Ed éd. Lean, woue: Centre marieVictorin, dir..
- HUBER, R., 2011. *Origins : Speculation on the cosmos, Earth and mankind*.
- HUWE, B., 2003. *The role of soil tillage for soil structure*. s.l.:CRC Press.
- JAMAGNE, M., 1967. *Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann. agron.* s.l.:No h.s..
- JUSTINE, M., 2001. *Le point sur l'irregation et la salinite des sols en zone sahelienne: risque et recomendations ..* s.l.:s.n.
- KESSEL J., 2015. p. 2.
- LALLEMAND, A., 1980. *Amenagement des sols sales irregation avec des eaux salées*. s.l.:s.n.
- LAMBERT, M., 1975. *Analyse du sol*. El-Harrache, Alger: s.n.
- MATHIEU, C. & PIELTAIN, F., 1988. *Analyse physique des sols:Méthodes choisies*. Ed éd. s.l.:Paris.
- MATHIEU, C. & PIELTAIN, F., 2003. *Analyse chimique des sols : Méthodes choisies..* Paris: Ed. Tec et Doc Lavoisier.



Références bibliographique



MATHIEU, C. & PIELTAIN, F., 2003. *Analyse physique des sols : Méthodes choisies*. Paris: Tec et doc lavoisier.

MAZOYER, M., 1970. *Agriculture et développement en Algérie.*, s.l.: s.n.

MEDJAHED, K., 2005. *Contribution à l'étude analytique des solutions du sol des zones arides cas de la région de Zaàfrane, Djelfa*: s.n.

MIMOUNE, S., 1995. *Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique en Algérie (sud de cott el Hodna)*. s.l.:these doc.

MONNIER, G. & STENGEL, P., 1982. *Structure et état physique du sol*. Paris: Ed. Techniques, paris (Coll. Techniques Agricoles, Fasc. 1140 et 1141).

OUANZAR, S., 2012. *Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour convetionnel sur le comportement du blé dur (Triticum durum Desf.)*, Setif: s.n.

PETARD, J., 1993. *Les méthodes d'analyses. Tome I, Analyse de sol*. s.l.:ORSTOM, Nouméa.

PREVOST, P., 2006. *Les bases de l'agriculture*. 3ème édition éd. Paris: Tec et Doc lavoisier.

RAMADE, S., 2003. *Eléments d'écologie fondamentale*. 3ème Ed éd. Paris: Dunod.

ROBERT, M., 1996. *le sol interface dans l'evirennement ressource pour le developpement*. Paris: Masson.

SAXTON, K. E., 2006. *Soil water caractéristiques*, Washington: s.n.

SERVANT, M., 1975. *Etude pedologique des sols halomorphes ..* Montpilier: These Doc .Univ Montpilier.

SOIL SURVEY STAFF, 1951. *Soil Survey Manual. US Department of Agriculture, Washington*. Washington: USDA.

SOLTNER, D., 2000. *Les bases de production végétale.Le sol- le climat- la plante.Tome1:Le sol et son amélioration*. 22 édit éd. s.l.:s.n.

STENGEL , P. & GELIN, S., 1998. *Sol : interface fragile*. Ed éd. Paris: INRA.

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 éd. laon: INRA.

SUMNERM, E., 1993. Gypsum and acid soil: the world science. Advances in Agronomy.. pp. 1- 32.

TESSIER, D., 1984. *Comportement hydrique: des matériaux argileux en relation avec leur organisation conséquences sur les ppropriétés macroscopique, In compte rendue du colloque<Fonctionnement hydrique et comportement des sols>*. s.l.:s.n.

TIR, C., 2001. *Dynamique saisonnière des nappes phréatiques dans la station expérimentale de Sedi Mehdi-Touggourt.*, Univ., Batna: s.n.



Références bibliographique



TURENNE, J., 1982. *Soil structure stability and the organic system in heavy montmorillonite clays*. s.l.:s.n.

U.S.S.L, 1954. United salinity laboratory, diagnostic and improvements of saline and alkali soil.. p. 160.

USDA, 1975. *Keys to soil Taxonomy*. s.l.:s.n.

VENTURA, F., DARREL, N. & LOOROPEZA, L., 2001. Soil erosion of an indurate volcanic from the semi arid area of the Mexico.. *Nat. soil. Erosion. Res. Lab*, pp. 330- 335.

VILAIN, M., 1978. *La production végétale*,. Paris: Ed. GB BILLIER, paris.

YAICHE, M.-R. & BOUHANIK, A., 2002. *Atlas Solaire Algerien*. s.l.:s.n.



Annexe

Annexe1 : Classification des normes de teneur en matière organique (MO) dans le sol.

Niveau	Texture	Texture lourde
	Sable à Loam	Loam argileux à argile lourde
Très pauvre	0,0 – 2,0 %	0,0 – 2,0 %
Pauvre	2,1 – 3,5 %	2,1 – 4,5 %
Moyen	3,6 – 6,5 %	4,6 – 10,0 %
Riche	6,6 – 8,0 %	10,1 – 13,0 %
Très riche	> 8,0 %	> 13,0 %

Source : Association des fabricants d'engrais du Québec (1987).

Annexe2 : Classification des sols d'après le pH et leurs spéculations agricoles

Designation des sols	pH	Cultures ou speculation agricoles
Sols Extrêmement acides	De 3 à 4,5	Marécage landes ou forets, d'espèces acidiphiles
Sols très fortement acides	De 4,5 à 5	Landes, prairies
Sols très acides	De 5 à 5,5	Prairies, cultures d'espèces acidophiles (croissance difficile des légumineuses)
Sols acides	De 5,5 à 6	Prairies et cultures
Sols Faiblement acides	De 6 à 6,75	Toutes cultures sauf légumineuse calcicoles
Sols neutres	De 6,75 à 7,75	Touts cultures
Sols alcalin	De 7,75 à 8,5	Toutes cultures sauf espèce calcifuges
Sols très alcalin	Au- dessus	Difficultés ou échec des cultures européennes usuelles

(GAUCHER, 1968).



Annexe3 : La différence entre le pH_{eau} et le pH_{KCl} est d'autant plus élevée que le sol est désaturé :

$pH_{eau}-pH_{KCl}$	<0,5	0,5-1	>1
Interpretation	Sol Faiblement dé saturé	Sol dé saturé	Sol fortement dé saturé

(GAUCHER, 1968).

Annexe4: Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de sol:

CE (1/5) mmhos/cm	< 0,6	06-1,2	1,2- 2,4	2,4-6	>6
Interpretation	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé

(MATHIEU & PIELTAIN, 2003) ; (Durand, 1983).

Annexe5 : Classes de stabilité structurale d'après log 10 Is

Stabilité	Log 10 Is	Evolution structural probable
Très stable	<1	-Aucune manifestation de désagrégation. -Effet durable des sous solages et labours profonds réalisés en conditions sèches.
Stable	1,0 à 1,3	-Battance peu probable et peu intense. -Prise en masse hivernale rare -Sensibilité à l'érosion faible, même sur pentes fortes.
Stabilité médiocre	1,3 à 1,7	-Battance fréquente et accentuée en conditions pluvieuses. -Prise en masse lors d'excédents hydriques prolongés. -Erosion en rigole sur pentes fortes (>3 %).
Instable	1,7 à 2,0	-Battance et prise en masse fréquentes en conditions climatiques normales. -Erosion fréquente sur pentes moyennes.
Très instable	>2	-Battance et prise en masse généralisées. -Imperméabilité totale en fin d'hiver. -Erosion sur pentes très faibles.

(MONNIER & STENGEL, 1982) in (MATHIEU & PIELTAIN, 1988).



Annexe6 : Classes de l'indice de battance

Indice de battance	Interprétation
$IB > 2$	sol très battant
$1,8 < IB < 2$	sol battant
$1,6 < IB < 1,8$	sol assez battant
$1,4 < IB < 1,6$	sol peu battant
$IB < 1,4$	sol non battant

(BAIZE, et al., 2013).

Annexe7: Classes de perméabilité des sols

Classes de perméabilité du sol	Taux de perméabilité (cm/heure)
Très faible	Moins de 0,13
Faible	0,13-0,3
Modérément faible	0,5-2,0
Modérée	2,0-6,3
Modérément forte	6,3-12,7
Forte	12,7-25
Très Forte	Plus de 25

Annexe 8 : Classe de l'azote totale dans le sol

N (%)	Description
< 0.05	Très faible
0.05 – 0.15	faible
0.15 – 0.25	moyen
0.25 – 0.50	élevé
> 0.5	Très élevé

(Anonyme, 2011).

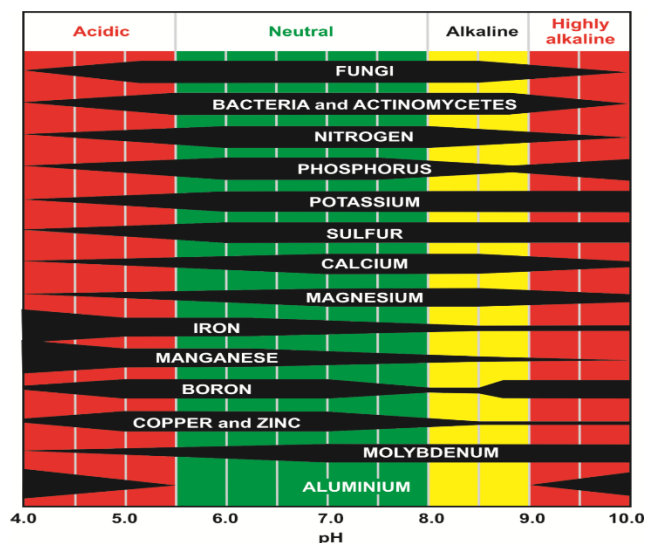
Annexe9 : les normes des CEC dans le sol

Catégories de sol	Très	Faible	Moyenn	Élevée	Très
	CEC (meq/100 g. sol)				
Sols légers (à pH	< 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	> 10
Sols francs (loams)	< 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25	> 25
Sols lourds	< 25	25 – 30	30 – 35	35 – 40	> 40
Sols organiques	< 50	50 –	100 –	150 –	> 200

(Doucet, 2006).



Annexe10 : Solubilité des éléments nutritif en fonction du pH



(Anonyme, 2011)

Annexe 11 : Norme d'interprétation du calcaire actif

Calcaire total en %	0,5	5	10	25	50	
Le sol est :	Non calcaire	Très faible en calcaire	Faible en calcaire	Calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire
Calcaire Actif en %	5		10		20	
Le sol est :	Faible		Assez élevé		Élevé	Très élevé
IPC*	10		20		30	60
Le sol est :	Faiblement chlorosant		Moyennement chlorosant		Chlorosant	Très chlorosant

* Indice de Pouvoir Chlorosant

* Indice de Pouvoir Chlorosant

https://wiki.aurea.eu/index.php/Le_calcaire_total_et_le_calcaire_actif

Annexe12: Déterminer la précipitation du site d'étude à partir de la précipitation de la station climatique la plus proche de la région d'étude

Dans la région du Hodna, la précipitation augmente annuellement par 20mm pour chaque 100m.

Altitude de la région = 441m

Altitude du site d'étude = 531m

$531 - 441 = 90\text{m}$

20 mm.....100m

X mm.....90m (différence altitude entre le site d'étude et l'altitude de la station de M'sila.)

La précipitation annuellement du site d'étude = la précipitation annuelle de la station + X (mm).

$X = 18\text{mm}$

La précipitation pour chaque mois :

Le coefficient de correction $K = (\text{précipitation chaque mois de la station climatique} / \text{précipitation totale de la station}) * X \text{ mm}$

ملخص

أجري هذا العمل في تربة حبوب تابعة مشتل المسيلة حيث يتم ري المحصول ، دون تسميد ولكن مع تعديل عضوي غير منتظم.

النتائج تكشف الحقائق التالية:

يعد احتياطي المياه في التربة مهماً (112 مم على عمق 120 سم) والذي يوفر إدارة أفضل لري المستنبت ، وهو أقصى على السطح 1 = 4مم/سم (حيث يكون القوام متوازناً و الحد الأدنى في الأفق 4 (0.4 مم / سم) أين القوام رملي. من وجهة نظر النفاذية ، يتم التمييز بين الأفق النفاذة 1 و 2 و 4 والأفق الأقل نفاذاً 3 و 5. الأخيرة مسؤولة عن الغمر المائي المؤقت الأكثر وضوحاً في الأفق 5. قد يكون الصرف ضروري للمزروعات الحساسة. تُظهر الموصلية الكهربائية ملوحة طفيفة في أول أفقين ، وهي صريحة في الأفق الثالث . نسبة الصوديوم التبادلي أقل من 15 ٪ مما يشير إلى عدم وجود خطر القلوية

احتياطي التربة من العناصر الغذائية ملموس (CEC) قوي (، أما بالنسبة للعناصر القابلة للتبديل فتلاحظ هيمنة الكالسيوم يليها البوتاسيوم. المغنيسيوم يأتي في المرتبة الأخيرة. مخزون التربة العضوي جيد في الأفق 1 و 2 ومنخفض في بقية الأفق. قد تكون الكمية القليلة المتحصل عليها من المواد العضوية في الأفقين 3 و 5 بسبب الغمر الذي يسود هناك.

كلمات البحث: المزرعة ملوحة التربة والصرف الرش

Résumé

Ce travail a été mené dans un sol céréalière appartenant à la pépinière de M'sila où la culture est conduite en irrigué, sans fertilisation mais avec amendement organique irrégulière.

Les résultats font état des faits suivants :

La réserve hydrique du sol est importante (112 mm sur 120cm de profondeur) ce qui offre une meilleure gestion de l'irrigation de la culture, elle est maximale en surface (Horizon1=1,4 mm/cm) où la texture est équilibrée et minimale au niveau de l'horizon 4 (0,4 mm/cm) où la texture est sableuse.

Du point de vue de la perméabilité on distingue l'horizon perméable 1, 2 et 4 et l'horizon moins perméable 3 et 5. Ces derniers sont responsables de l'hydromorphie temporaire plus accentuée pour l'horizon 5. Un drainage est peut être nécessaire pour les cultures sensibles.

La conductivité électrique montre une salinité légère dans les deux premiers horizons, est franche au niveau du troisième horizon. L'ESP est inférieure à 15 % indiquant l'absence de risque d'alcalinité

La réserve minérale du sol est appréciable (forte CEC), quant aux éléments échangeables on note la dominance du calcium suivie du potassium le magnésium vient en dernière position.

Le stock organique du sol est bon dans l'horizon 1 et 2 et faible dans le reste des horizons. Les horizons les moins pourvus en matière organique sont 3 et 5 peut être à cause de l'hydromorphie qui y règne.

Mots clé : sols cultivés, salinité, drainage lessivage

Summary

This work was conducted in a cereal soil belonging to the M'sila nursery where the crop is irrigated, without fertilization but with irregular organic amendment.

The results reveal the following facts:

The water reserve of the soil is important (112 mm on 120cm of depth) which offers a better management of the irrigation of the culture, it is maximum on the surface (Horizon1 = 1,4 mm / cm) where the texture is Loam and minimum at horizon 4 (0.4 mm / cm) where the texture is sandy.

From the point of view of permeability, the permeable horizon 1, 2 and 4 and the less permeable horizon 3 and 5 are distinguished. The latter are responsible for the more pronounced temporary hydromorphy for the horizon 5. Drainage may be necessary for sensitive cultures.

The electrical conductivity shows a slight salinity in the first two horizons, is frank at the third horizon. ESP is less than 15% indicating no risk of alkalinity

The mineral reserve of soil is appreciable (strong CEC), as for the exchangeable elements note the dominance of calcium followed by potassium magnesium comes in last position.

The organic soil stock is good in horizon 1 and 2 and low in the rest of the horizons. The horizons the months provided in organic matter are 3 and 5 may be because of the hydromorphy that reigns there.

Key words: cultivated soils, salinity, drainage, leaching.

