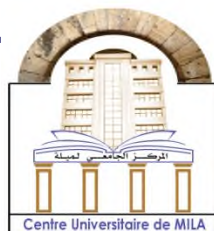


N°Ref :.....



Centre Universitaire de Mila

Institut des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Science Biologique
Spécialité : Protection Des Ecosystème

Thème :

**Description des sols agroécologiques en Algérie
orientale, utilisation de la base de données Soilgrid
1km**

Présenté par :

- Meguellati Rayane
- Zerroug aziza

Devant le jury composé de :

Mr. BOUZAGAG Abdelaziz
M^{me} .DOUAFER Louiza
Mr. TABET Slimane

MCB
MCB
MAA

Président
Examinatrice
Promoteur

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu, le miséricordieux de m' avoir donné le courage, la force et la patience pour réaliser ce mémoire.

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements s' adressent tout d' abord au notre encadrant

Monsieur

TABET SLIMANE

Pour nous avoir fait travailler sur un projet intéressant et riche.

Nous adressons notre plus vif remerciement à :

Monsieur : **BOUZEGAG ABD EL-AZIZ**

D' avoir accepté de présider le jury.

Madame : **DOUAFER LOUIZA**

D' avoir accepté d' examiner ce travail.

Enfin, on souhaite exprimer toute notre gratitude à l' ensemble des personnes ,qui ont contribué largement a son aboutissement

Dédicace

Grace à Dieu voilà mon travail terminé et il est temps pour moi de partager ma joie avec tous ceux qui m'ont encouragé.

À travers ce modeste mémoire, je tiens à présenter mes sincères dédicaces à mes Parents qui ont consacré leur vie à notre éducation et à faire notre bonheur et qui m'encouragent toujours pour achever mes études tout en espérant de voir les fruits de leurs sacrifices.

A mes chères frères ***RAMZI ,MALEK,ZOHIR***

A mes chères amies *ILHEM ; JESMINA ; CHAMA ; SARA ; ROUMAÏSSA. N ; FAYZA ; SEMAI.*

A mon cher fiancé ***BADIS MEROUANI*** l'ange de ma vie.

A deuxième familles tante razika, grande mère, zwina fatiha, nadjla, bouthayana

A l'ensemble des amis que j'ai connu pendant mes études et à ceux qui m'ont prodigué leurs vifs conseils, encouragements et témoigné de leur amitié.

AZIZA

Dédicace

Avant tous je remercie ALLAH qui m'a donnée la volonté de continuer mes études et faire ce modeste travail, je le dédie à :

Mes très chers parents qui n'ont jamais cessé de m'encourager pour entreprendre mes études et atteindre mes objectifs et qui m'ont apporté leur aide scientifique, matérielle et psychologique pour l'élaboration de ce travail, je les remercie du fond du cœur.

Mes très chers grands parents ;

Mes deux très chers frères : Moncef, Imad Eddine ;

Tous les membres de ma famille, tantes, oncles, cousins et cousines ;

Toutes mes amies et mes camarades de promotion ;

Tous ceux qui m'ont aidé et encouragé pour l'élaboration de ce mémoire.

Rayane

Liste des abréviations :

Al : aluminium

Ar : teneur en argile

C° :degréCelsius

Ca : calcium

CC :charge en cailloux

CE :conductivité électrique

CEC : Capacité d'échange de cations

Cm : centimètre

Cm³ :centimètre cube

Cmol :centimoles

CO₂ : dioxyde carbone

Dh : épaisseur de l'horizon

FAO : Food and Agriculture Organisation

G : gramme

H : hydrogène

HAP :hydrocarbures aromatiques polycycliques

K :potassium

Kg : kilogramme

Km : kilomètre

Méq :milliéquivalent

Mg : magnésium

Mm : millimètre

MO :Matières organiques

N :azote

Na :sodium

NRC :National Research Council Canadien

O₂ : dioxygène

P :Phosphore

pH : potentiel d'hydrogène

RU : Réserve utile

RUM : réserve utile maximale

S : sulfure

Sa : teneur en sable

SSSA :Société Américaine des Sciences du Sol

µm : micromètre

NNESCO :United Nation Educational,Scientific and Cultural Organization

USDA :département de l'Agriculture américain

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Dimension et propriété des éléments minéraux composant le sol.....	21
Tableau 02 : Dresse une liste non exhaustive d'indicateurs physiques, chimiques et biologiques.....	23
Tableau 03 : Les classes granulométrique du sol.....	25
Tableau 04 : Proportion relatives de particules argileuses, limoneuses et sableuses quecontient la terre fine.....	26
Tableau 05 : Proportion relatives des éléments grossiers.....	26
Tableau 06 : Classification des porosités.....	29
Tableau 07 : Echelle de salinité du sol.....	32
Tableau 08 : Liste des propriétés du sol.....	38

Liste des figures :

Figure 01 : Les horizons principaux du sol.....	18
Figure 02 : Volume (%) des constituants solides du sol (fraction minérale et organique) et de l'espace poral (occupé par l'air et l'eau).....	20
Figure 03 : Triangle des textures.....	27
Figure04 : Rôles et fonctions de la matière organique.....	33
Figure 05 : Triangle des textures.....	40
Figure 06 : Carte des taux d'Argile (%), dans l'Est Algérien.....	43
Figure 07 : Carte des taux de limon (%), dans l'Est Algérien.....	44
Figure 08 : Carte du taux de sable (%), dans l'Est Algérien.....	45
Figure 09 : Carte du fragment grossier (%), dans l'Est Algérien.....	45
Figure 10 : Carte de Densité apparente (kg/m ³), dans l'Est Algérien.....	46
Figure 11 : Classes des Textures dans l'Est Algérien.....	47
Figure 12 : Carte de capacité d'échange cationique (cmole/kg), dans l'Est Algérien.....	48
Figure 13 : Carte du carbone organique (g /kg), dans l'Est Algérien.....	49
Figure 14 : Carte du point de flétrissement (à -1500 KP en mm/m ³), des sols dans l'Est Algérien.....	50
Figure 15 : Carte de capacité au champ (à -33 KP en mm ³), dans l'Est Algérien.....	51
Figure 16 : Carte de la réserve utile maximale RUM (mm/m ³), dans l'Est Algérien.....	52

Cartes :

Carte 01 : localisation de la région d'étude.....	03
Carte 02 : Carte géologique d'Algérie Oriental.....	04
Carte 03 : Le réseau hydrographique de l'Est Algérien.....	08
Carte 04 : Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien.....	11
Carte 05 : Carte des sols de la région d'étude.....	14

SOMMAIRE

Sommaire

Introduction.....	2
1. Présentation de la zone d'étude l'Est Algérien :.....	3
2. Géographie de la zone d'étude :.....	3
3. Relief de la région d'étude :.....	5
3.1. Les plaines littorales :.....	5
3.2. Un bourrelet montagneux tellien.....	5
3.3. Les Haut plaines.....	6
4. Hydrographie.....	6
5. Climat :.....	8
5.1. Les précipitations.....	9
5.2. Les zones bioclimatiques de l'Est Algérien.....	10
6. La Végétation.....	11
6.1. La Distribution des principales essences forestières en Algérie orientale.....	12
7. Le sol.....	13
7.1. Les sols minéraux bruts.....	13
7.2. Les sols peu évolués.....	13
7.3. Les sols calcimagnésiques.....	13
7.4. Les sols isohumiques.....	14
7.5. Les sols halomorphes.....	14
1. Introduction :.....	16
2. Les différentes fonctions du sol.....	18
3. Les différentes phases du sol.....	19
3.1. La phase liquide du sol.....	19
3.2. La phase solide du sol.....	19
3.3. La phase gazeuse du sol.....	19
4. Les éléments constitutifs du sol.....	20
4.1. Fraction minérale.....	20
4.2. Fraction organique.....	21
5. Indicateurs de qualité des sols.....	21
5.1. Le concept de qualité des sols.....	21
5.2. Indicateurs de qualité des sols.....	23
5.3. Les indicateurs physiques des sols.....	25

5.3.1.	Texture du sol.....	25
5.3.2.	La densité apparente.....	28
5.3.3.	La porosité.....	28
5.3.4.	La capacité de rétention de eau (Réserve utile (RU)).....	29
5.4.	Les indicateurs chimiques et nutritionnelles	30
5.4.1.	pH.....	30
5.4.2.	Capacité d'échange de cations (CEC).....	30
5.4.3.	La conductivité électrique (CE).....	31
5.4.4.	Matières organiques (MO).....	32
5.4.5.	Le rapport carbone / azote	33
5.4.6.	L'azote et sa biodisponibilité	34
5.4.7.	Cycle de l'azote.....	34
5.4.8.	Les bases échangeables	35
5.5.	Quelques indicateurs biologiques	36
1.	Description des données disponibles	38
2.	Calcul de la réserve utile maximale des sols(RUM).....	40
1.	Résultats.....	43
1.1.	Classification des indicateurs de qualité des sols.....	43
1.2.	Indicateurs physique du sol	43
2.	Discussion	52
	Conclusion.....	56
	Résumé	
	Référence	

Introduction

Introduction

Le sol est formé par l'assemblage de différentes ressources : des composants inertes et des êtres vivants (**Lavelle et Spain, 2001 ; Gobat *et al.*, 2003**).

Les composants inertes sont des constituants minéraux souvent issus de la roche-mère sous-jacente, des constituants organiques souvent issus de la végétation, mais aussi la solution du sol, une eau enrichie en ions et en molécules minérales et organiques, et enfin l'atmosphère du sol constituée de gaz libres et dissous, souvent riche en CO₂.

Les êtres vivants constituent la composante organique vivante des sols, il constitue le support direct de nombreuses activités biologiques des écosystèmes continentaux, il constitue une réserve de substances nutritives et un milieu stable pour l'activité biologique (**Duchauffour, 1977**).

Le sol est l'élément principal de l'environnement qui règle la répartition de la végétation. Il se développe en fonction de la roche mère, la topographie et les caractéristiques du climat (**Ozenda, 1989**).

Le sol fournit l'essentiel de l'eau et des éléments nutritifs sous forme d'ions minéraux. Les racines absorbent ces éléments de façon sélective et généralement les concentrent à partir de l'eau du sol qui constitue une solution très diluée en ions (N, P, K, Ca, Mg, S et les oligo-éléments)(**Soltner, 2000**).

Afin de parvenir à notre objectif d'identification d'indicateurs performants pour les qualités spécifiques des sols, il est indispensable d'arriver préalablement à une compréhension suffisante de la complexité des sols, à l'origine de leurs propriétés originales et finalement de leurs fonctions utilisées.

Les potentialités des sols à accueillir de la végétation peuvent être évaluées à partir d'indicateurs physico-chimiques et biologique.

Parmi les indicateurs de qualité des sols essentiels, on a la matière organique qui joue un rôle essentiel dans l'environnement. Elle constitue le substrat indispensable au développement de la vie biologique, car elle est une source majeure de carbone et d'énergie pour les microorganismes. Elle conditionne les propriétés chimiques (stocks de carbone, d'azote et de phosphore) et physiques (perméabilité, stabilité structurale, capacité de rétention et de circulation en eau) du sol (**Fustec-Mathonet *et al.*, 1975 ; Jambuet *et al.*, 1983 ; Dutartre *et al.*, 1993**).

L'humidité du sol fait partie des variables clés à étudier afin de mieux comprendre le changement climatique. En effet, l'humidité du sol contrôle la répartition des précipitations entre le ruissellement et l'infiltration, ainsi que la croissance des plantes. Assimiler l'humidité superficielle du sol dans un modèle de surface améliore la modélisation du contenu en eau du sol (**Parrens, 2013**).

La connaissance de l'état hydrique du sol et sa distribution spatiale est primordiale dans de nombreuses disciplines des sciences de l'environnement, telles que l'agronomie, l'hydrologie et la météorologie (**Vauclin, 1983**).

En Algérie, les études pédologiques et cartographiques sont très limitées, notamment au sud du pays. La cartographie des sols et le classement des terres sont à la base de la mise en valeur agricole.

La cartographie des sols est un préalable indispensable à la recherche ; c'est aussi la base obligatoire de tout plan d'aménagement, quelle que soit son échelle, et de toute mise en valeur du sol, quelle que soit son orientation. Elle permet de dresser l'inventaire des sols d'une région ou d'un domaine, de les classer en fonction de leur aptitude, et de dessiner les grandes lignes de leur utilisation (**Legros, 1996**).

Selon **Legros (1996)** Les objectifs de la cartographie des indicateurs de qualité des sols on cite parmi les plus importants sont :

- ✓ La connaissance du milieu naturelle.
- ✓ Les recherches scientifiques.
- ✓ Planification de l'occupation du sol.
- ✓ Aménagement agricole.
- ✓ Protection des sols.

A cet effet ce mémoire est organisé comme suit :

- Le premier chapitre concerne une présentation de la région d'étude.
- Le deuxième chapitre présente une synthèse bibliographique sur les sols.
- Le troisième chapitre consiste à une présentation matériel et méthode.
- Le quatrième chapitre présente les résultats et discussion.
- Et enfin une conclusion de perspectives.

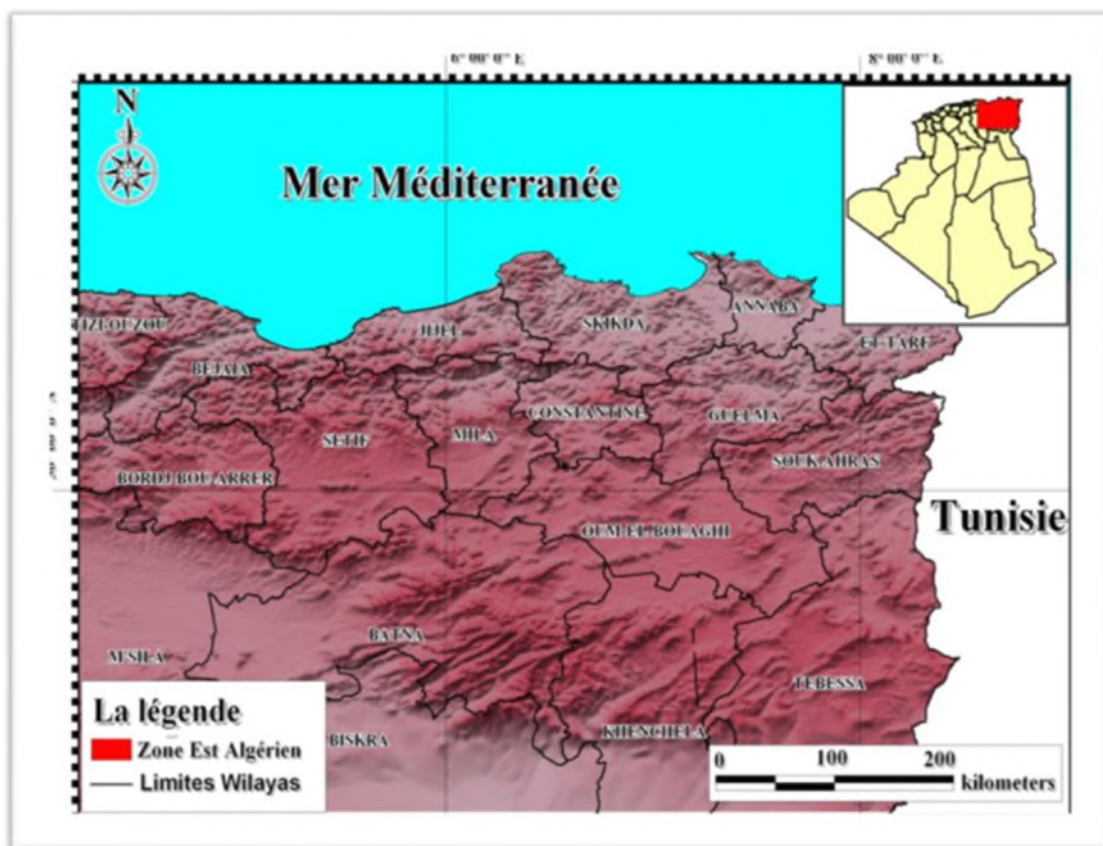
Chapitre I

Présentation de zone d'étude l'Est Algérien

1. Présentation de la zone d'étude l'Est Algérien :

La zone d'étude est localisée dans la partie Nord-Est du territoire algérien comprise entre les latitudes 34° 31' 15" et 37° 5' 24" Nord et les longitudes 4°19' 57" et 8°41' 2" Est. Elle s'étend sur une distance d'environ 266 km du Nord au Sud et de 368 km en moyenne d'Est en Ouest. Ce territoire englobe 15 wilayas aux caractères géographiques bien différents.

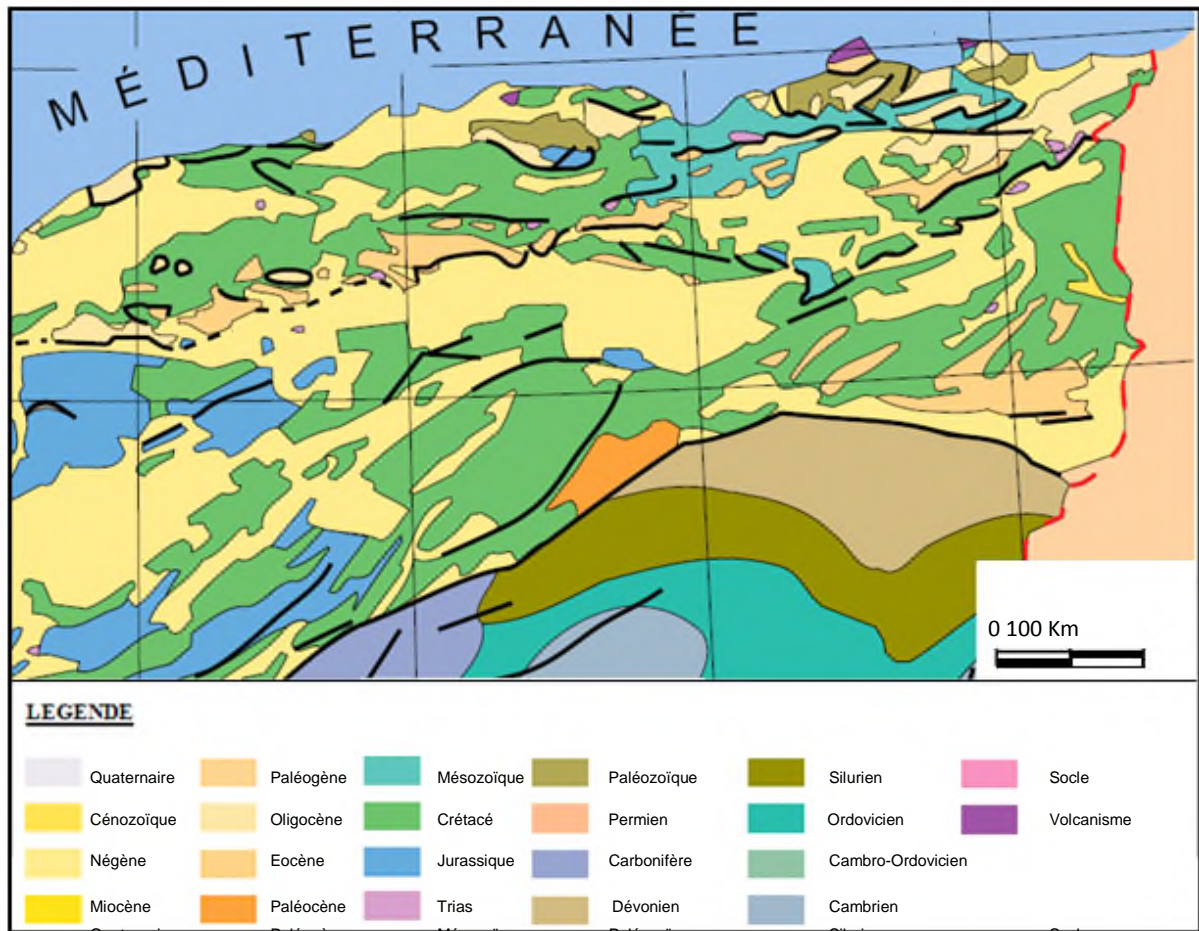
Elle est limitée à l'Est par la frontière Algéro-tunisienne, à l'Ouest par la vallée d'Oued Soummam et les monts des Bibans, au Sud par le piémont Sud de l'Atlas Saharien et au Nord par la rive Sud de la mer méditerranéenne (Laala, 2016).



Carte 01 : localisation de la région d'étude (Laala, 2016).

2. Géographie de la zone d'étude :

A l'instar de l'Algérie septentrionale, l'Est est constitué de reliefs jeunes, modelés au cours du tertiaire par les mouvements alpins (Tabet, 2008).



Carte 02 : Carte géologique d'Algérie Orientale(Tabet, 2008).

L'Algérie alpine est composée des ensembles structuro-sédimentaires suivants, du Nord au Sud (Tabet, 2008).

Les monts de la petite Kabylie et de la chaîne Numidique sont prédominés par des sols tendres : marneux, argileux et schisteux, les terrains sédimentaires empilés sur grandes épaisseurs au cours des ères secondaires et tertiaires ont été fréquemment soulevés et plissés (Wojterski, 1985).

La chaîne plissée et accidentée de l'Atlas tellien se caractérise par sa structure complexe et par sa jeunesse : elle a été plissée et charriée au cours du Tertiaire, son volume montagneux mis en place par des mouvements tectoniques au Plio-Quaternaire et son orogénèse se poursuit jusqu'à ce jour (manifestation de mouvements sismiques). Les nappes charriées, empilées les unes sur les autres et constituées généralement de terrains meubles, favorisant une érosion intense (Mebarki, 2005) .

La large plate-forme des Hautes Plaines correspond à un bâti structural rigide, soumis à une tectonique cassante. Les massifs calcaires isolés émergeant en horsts, sont les affleurements d'épais

formations carbonatées « la nappe néritique constantinoise » dont l'allochtonie a été confirmée par Villa J-M. (1980)(**Mebarki ,2005**).

Les hauts plateaux, avant-pays alpin, à couverture sédimentaire réduite, où les processus locaux de distension ont permis la formation des bassins intra-montagneux comme ceux de Telagh et de Tiaret.

L'Atlas saharien est né d'un long sillon subsidient pincé entre les hauts plateaux et la plateforme saharienne. Au Mésozoïque, ce sillon fut comblé par une puissante série sédimentaire (7000 à 9000 m), durant le tertiaire, une tectonique compressive réactive les structures extensives antérieures en failles et structures inverses aboutissant à la formation de cette chaîne montagneuse.

Les bassins du Chott Melguig dans le Sud-Est constantinois, structurés au tertiaire, à remplissage crétacé (5000 m), ont engendrés et accumulés des hydrocarbures principalement dans le crétacé (Djbel Onk).

3. Relief de la région d'étude :

A l'image de toute l'Algérie, le relief du Nord-Est s'organise en un vaste ordonnancement d'éléments parallèles : (**Cote, 1983**).

3.1. Les plaines littorales :

Une bande discontinue, qui borde la mer méditerranée est fragmentée par quelques monts. Dans la partie Ouest, ces formes sont peu nombreuses, et peu étendues ; ce sont les plaines de Collo et de Skikda. En revanche, dans la partie Est un large croissant de plaine, long de 100Km s'étale autour de Djebel Edough, depuis la forêt de Gerbes jusqu'à la région de Boutelja ; c'est là une succession de paysages variés avec des dunes sableuses dans le Gerbes, le lac Fetzara, la plaine d'Annaba, et les maris de la M'khada . Ces formes ont une situation favorable aux vents du Nord et Nord-Ouest souvent humides. Considère que les vraies plaines sont toujours littorales et correspondent aux débouchés des oueds(**Marre, 1987**).

3.2. Un bourrelet montagneux tellien

Il longe depuis Béjaia jusqu'à la frontière tunisienne, sur 300 km environ, la mer Méditerranée, qu'elle surplombe par endroits à la faveur de grandes falaises (**Mebarki, 2005**).

Composée de plusieurs massifs, d'Ouest vers l'Est, on trouve le massif de la petite Kabylie constitué par la chaîne des Babors, qui débute vers l'Ouest à la vallée de la Soummam et se

termine à l'Est, au niveau de l'oued Djenjen et du massif d'El Ouana. Les altitudes des massifs restent modestes ; le Djebel Babor (2004m), point culminant de la chaîne. Lorsqu'on déplace vers l'Est, les altitudes décroissent rapidement, ainsi au-delà de la vallée d'Oued Rhumel, on trouve un ensemble de sommets alignés d'Ouest en Est; c'est la chaîne Numidique, qui vers le Sud, descend jusqu'aux hautes plaines constantinoises, ou par endroit elle est relayée par le Djebel Chettaba (1316m) et Djebel Ouash (1282m) et Djebel Mahouna (1411m). Sur cette chaîne se trouve les escarpements les plus hardis, les sommets les plus aigües sont Kef Sidi Driss (1273m) et les deux KefsToumiet (883 m). Le massif de l'Edough est nettement isolé de la chaîne tellienne et présente une bande sub-littorale, sa ligne de crête rectiligne débute de Koudiat El-Rocha (616m), passe par Kefseba (1008m) (**Mebarki, 2005**).

3.3. Les Haut plaines

Elles se présentent comme un large boulevard tendu d'Ouest en Est en travers l'Algérie orientale, entre les deux alignements du tell au nord et les monts de Hodna –Aurès -pays Nememcha au sud.

Sur le plan topographique, elles constituent un ensemble homogène, dont l'altitude moyenne est de 800mètres .Les zones de faiblesse du centre sont jalonnées par un chapelet de chotts, sebkhas et garaet, où viennent se jeter les oueds dévalant du piémont Nord de l'Atlas Saharien. Dans cette « gouttière des Hautes Plaines » la marque de l'endoréisme est nette tant s'y conjuguent topographie de cuvette et semi-aridité du climat (**Côte, 1996**). Le Chott Hodna, plus décalé vers le Sud-Ouest, se trouve géographiquement dans le prolongement de la région inter-atlasique algéro-oranaise.

4. Hydrographie

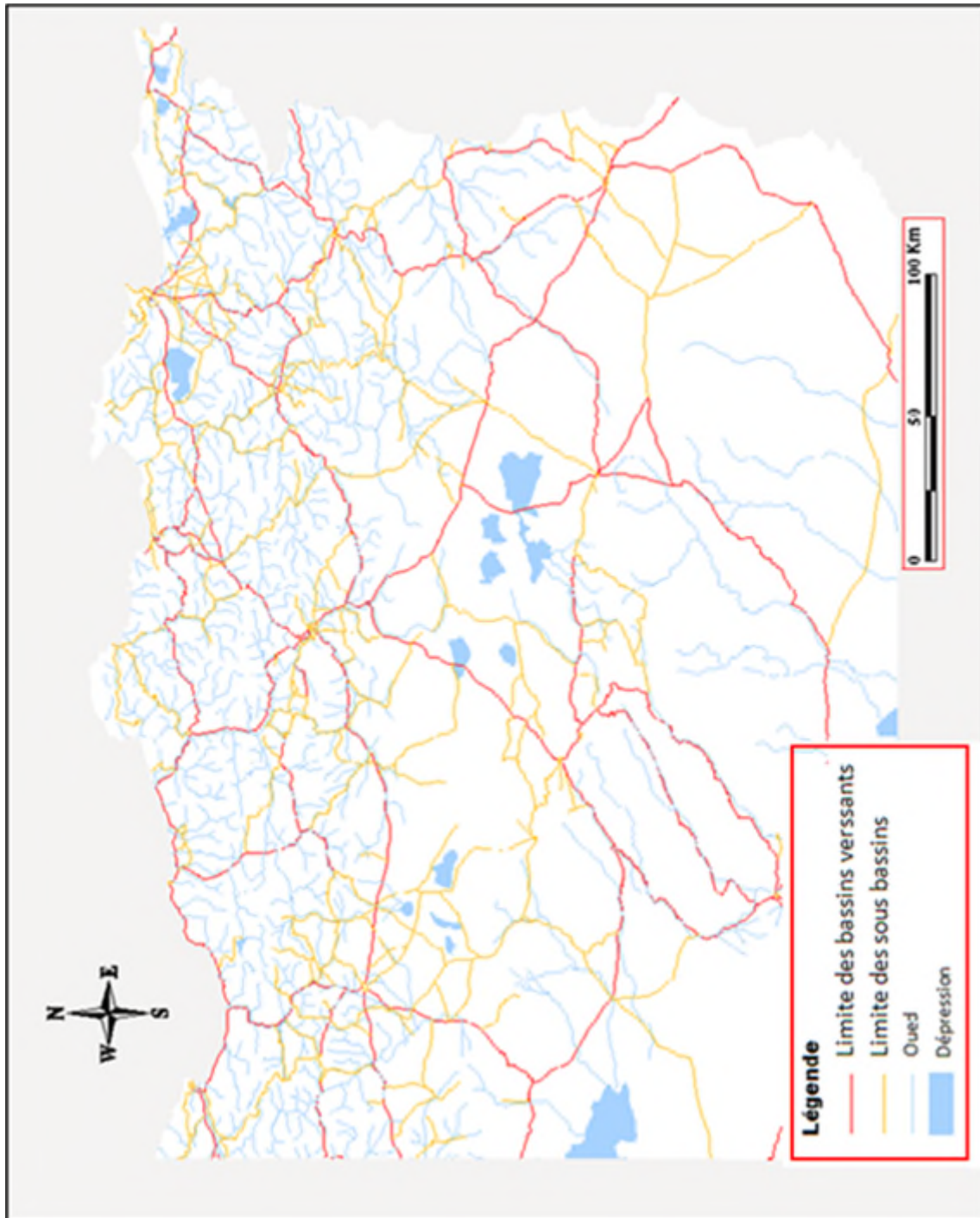
L'Algérie orientale représente la région la plus arrosée du pays et détient, de ce fait, la part la plus importante des ressources en eau de surface. Avec un écoulement annuel moyen pouvant dépasser les 200-300 mm sur les bassins telliens, elle s'oppose nettement à l'Algérie occidentale où la semi-aridité dominante ne permet que des écoulements médiocres, en majorité inférieurs à 50 mm par an (**Mebarki, 2005**).

Le nord de la région étudiée est sillonné par des oueds importants qui naissent sur les hautes plaines et rejoignent la mer en traversant le tell par des gorges (oued Rhumel-El-kebirBeniharoun, OuedSafsaf à Zardezas et oued Seybous au Nador), et plus à l'ouest l'oued

Djendjen et l'oued Soummam. Des cours d'eau secondaire qui naissent sur le versant nord du tell sont à signaler (oued Guebli, oued Bougues).

Au sud, dans les Aurès, le réseau hydrographique est endoréique dont l'écoulement se perd dans les dépressions intérieures.

La direction des oueds fait que les uns sont sahariens comme oued El arabe, oued El abiod et oued Abdi, qui traversent le massif du nord est vers le Sud-Ouest et s'éteignent tous dans les chotts (**Abdessemed, 1981**)



Carte 03 : Le réseau hydrographique de l'Est Algérien(Tabet,2008).

5. Climat :

L'Algérie, qui est un pays soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, présente un climat de type méditerranéen extra tropical tempéré. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des Hautes Plaines et supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien.

En hiver, les hauts plateaux et la steppe sont plus froids que l'Atlas tellien, le littoral et le Sahara. Le mois de janvier est le plus froid de l'année, la température moyenne est de 5,3°C à Batna, 6,6°C à Tébessa, et 8,6°C à M'sila, pour les hauts plateaux et la steppe, Skikda et 11°C à Bejaia (littoral) et 12°C pour la station de Biskra (**Tabet, 2008**).

Schématiquement la température moyenne diminue en allant de la mer vers les hauts plateaux de 18.13°C (Skikda) à 14.9°C (Batna) et augmente plus au sud vers le Sahara et la steppe 22,25°C à Biskra 19.02°C à M'sila. En été, la température avoisine, au mois de Juillet : 24,8°C à Annaba 24,5°C à Skikda, 26,1°C à Batna. Cependant, les températures restent assez voisines, on peut dire qu'en été le climat de l'Atlas tellien ne se différencie pas fortement de celui des Hauts plateaux. Le mois de juillet est le plus chaud dans le Sahara (34°C à Biskra).

L'Est algérien est la région la plus variée du pays sur le plan climatique. Aussi, tout bilan hydrologique se trouve-t-il directement influencé par les nuances du climat, plus spécialement par deux paramètres déterminants : pluviométrique (conditionnant l'alimentation en eau des rivières) et évaporométrique (pertes ou retour de l'eau à l'atmosphère).

5.1. Les précipitations

Schématiquement, les précipitations décroissent du littoral vers l'intérieur suivant un fort gradient latitudinal, altéré néanmoins par l'effet orographique de l'Atlas saharien, avant de s'accroître à nouveau dans le Piémont saharien où les pluies se raréfient. Les cartes pluviométriques de l'Algérie (**Seltzer, 1946 ; Gaussen, 1948 ; Chaumont M et Paquin C ; 1971 ; ANRH, 1993**) retracent toutes cet ordonnancement des précipitations.

Permet de ressortir les zones de fortes précipitations, (supérieurs à 900 mm) dans la zone qui s'étale de Bejaia à Collo, avec les monts du tell les plus élevés du Medjerda et du massif de l'Edough, atteignant plus de 1300 mm sur les hauteurs d'Erraguene et jusqu'à 1680 mm sur le massif de Collo. Les isohyètes de 600 à 700 mm limitent nettement les bordures Nord des hautes plateaux et décroissent vers le Sud jusqu'à 250- 350 mm, en raison de l'effet orographie et l'exposition Nord de l'Atlas saharien, on enregistre une remontée du cumul pluviométrique jusqu'à 600 mm qui rejoint les 300 mm au piémont sud de l'Atlas saharien, et la décroissance continue jusqu'à atteindre moins 100 mm, le même creux que l'on observe sur la cuvette de la chotte Hodna.

L'Atlas saharien, en raison de l'effet orographique et l'exposition du versant Nord, enregistre une remontée du total pluviométrique vers des valeurs de 400 à 600 mm par an ; les sommets de l'Aurès pouvant recevoir plus de 600 mm. L'isohyète 300 mm marque l'amorce de la décroissance des précipitations sur le piémont Sud de l'Atlas dont la bordure méridionale est jalonnée par l'isohyète 200 mm et même 150 mm.

5.2. Les zones bioclimatiques de l'Est Algérien

Les domaines bioclimatiques de notre région d'étude sont définis par le calcul du quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) qui combine les précipitations et les températures afin de caractériser le rythme climatique à dominance méditerranéenne régissant le climat de l'Est algérien, ce quotient définit cinq grands types de bioclimats méditerranéens :

Supérieure à 900 mm : c'est l'étage humide que l'on retrouve dans les régions Nord-Est, dominé en altitude par les forêts.

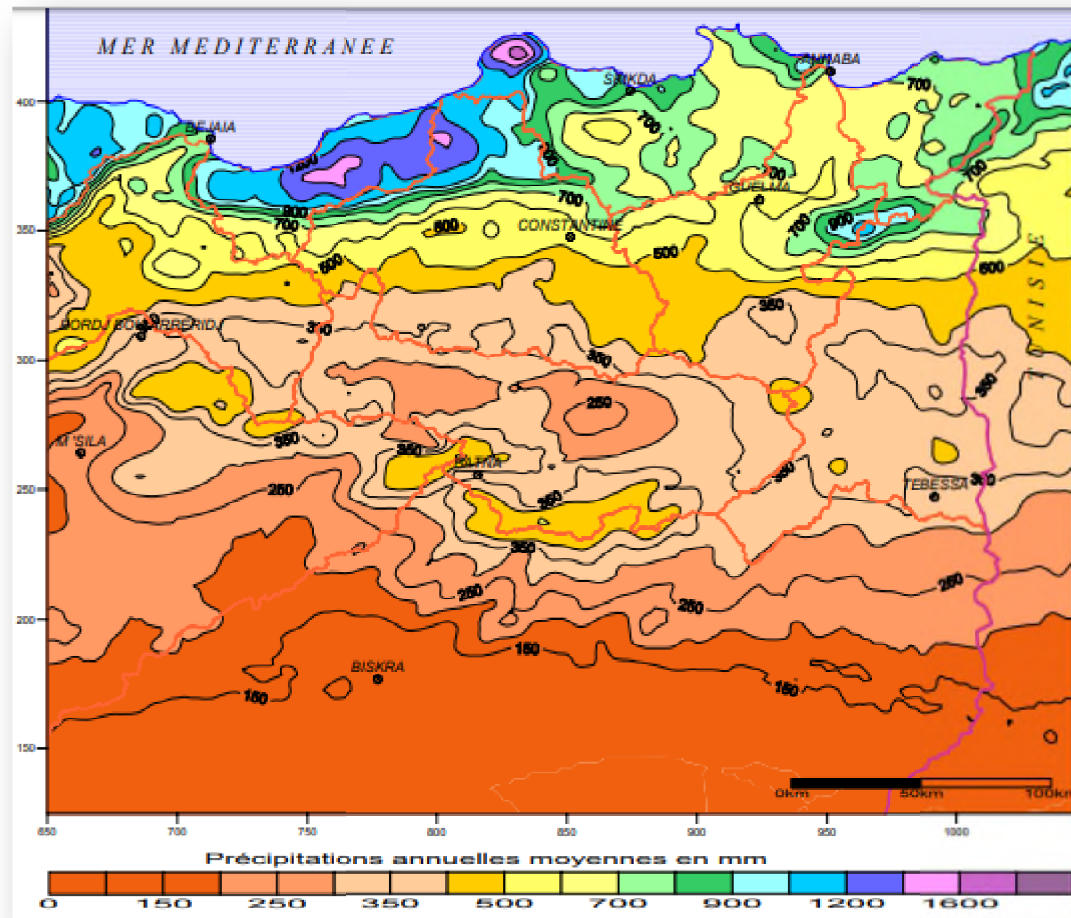
600 – 900 mm : correspond à l'étage subhumide qui couvre la partie septentrionale d'Ouest en Est de l'Atlas Tellien sur lesquelles se développent les forêts.

400 – 600 mm : c'est la zone semi-aride supérieure qui correspond aux forêts, maquis et matorrals plus ou moins dégradés des sommets et versants Nord de l'Atlas Saharien.

300 – 400 mm : correspond à la zone sub-steppe, caractérisé par la disparition des espèces forestières et l'apparition des espèces steppiques.

100 – 300 mm ; cette tranche pluviométrique correspond à la région des steppes méridionales arides et présahariennes, qui sont caractérisées par une réduction importante du couvert végétal donnant lieu à des parcours médiocres sur des sols squelettiques et ayant atteint un seuil de dégradation très avancé.

Inférieure à 100 mm : correspond à la zone Sud de l'Atlas Saharien, la végétation est contractée et localisée dans les lits d'oueds (**Derouiche, 2007**).



Carte 04: Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (établie d'après ANRH, 1993)

6. La Végétation

Les grandes divisions d'espèces forestières sont déterminées par le climat, en particulier par la quantité de pluie annuelle, elle-même dépendant en partie du relief, les conditions édaphiques faisant le reste au niveau du détail.

Une forêt essentiellement de lumière, la forêt Algérienne est irrégulière, avec des peuplements feuillus ou résineux le plus souvent ouverts formés d'arbres de toutes tailles et de tous âges en mélange parfois désordonné. La présence d'un épais sous-bois composé d'un grand nombre d'espèces secondaires limitant la visibilité et l'accessibilité et favorisant la propagation des feux (Fosa, 2002). L'essence prédominante est le pin d'Alep qui occupe 880 000 ha et se rencontre principalement dans les zones semi arides. Le capital sur pied de ces pineraies est assez pauvre. Le chêne liège avec 230 000 ha, localisé principalement dans le

Nord-Est du pays. Alors que les chênes zeen et afarès (avec 48 000 ha) occupent les milieux les plus frais dans la subéraie. Le cèdre est éparpillé sur 16 000 ha en îlots discontinus dans le tell central et les Aurès, le pin maritime est naturel dans le Nord-Est du pays et couvre 32 000 ha. Les eucalyptus introduits dans le Nord et surtout l'Est du pays occupent 43 000 ha. Ces essences constituent le premier groupe de forêts dites économiques qui totalisent 1 249 000 ha dont 424 000 ha de peuplements artificiels tandis que le second groupe, constitué par le chêne vert, le thuya et le genévrier qui, en étage semi-aride jouent un rôle de protection essentiellement, ne couvre que 219 000 ha. Le reste des surfaces forestières qui s'étendent sur 2 603 940 ha se répartissent entre les reboisements de protection qui couvrent 727 000 ha et les maquis et broussailles qui occupent une superficie de 1 876 000 ha. S'ajoutent à ces superficies forestières les nappes d'alfa qui totalisent 2,7 millions d'hectares (Mate, 2000).

6.1. La Distribution des principales essences forestières en Algérie orientale

Le couvert forestier en Algérie orientale s'étend depuis les forêts des montagnes méditerranéennes, surplombant la mer jusqu'aux forêts subalpines des montagnes de l'Atlas saharien (Mate, 2003).

Dans la zone tellienne en particulier le tell maritime, les résineux : pin d'Alep, pin maritime, cèdre, et les feuillus : Chêne liège, Chênezeen, Chêneafarès, Chêne kermès, Chêne vert, constituent les principales essences forestières.

Le domaine humide et subhumide (la zone la plus arrosé de toute l'Algérie) renferme les subéraies des massifs de Bejaia, de l'Edough, de la petite Kabylie, du massif de Collo et des confins Algéro-tunisiens les chênes zeen et afarès se limitent à quelques étendues restreintes de même que l'on révèle quelques îlots de chêne kermès et de pin maritime, le cèdre se localise sur les reliefs élevés et bien enneigés des Babors.

Les chênes zeen et afarès se limitent à quelques étendues restreintes de même que l'on relève quelques îlots de chêne kermès et de pin maritime.

Les forêts de pin et de chêne vert avec quelques îlots de cèdre, occupent les altitudes de l'Atlas saharien à l'Ouest de la zone d'étude et les monts d'El Hodna plus au Nord (haute plaine de Bordj Bou Arreridj).

Le pin d'Alep gagne également en latitude le long des confins Algéro-tunisiens jusqu'au flanc Sud des Monts de la Medjerda. Le cèdre occupe un étage bien déterminé, au-dessus de

1400 m dans l'Aurès (Djebel Chélia), et dans le massif de Belezma, caractérisés par une longue durée d'enneigement (64 jours par an à la station de Sgag, selon Côte M, 1998), des terrains frais, des sites aérés et ensoleillés. Les « forêts-steppes » de genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenecia*) font figure de paysage steppique dû à l'ambiance subaride qui règne déjà sur les versants :

- les Hautes Plaines constantinoises, région à climat beaucoup plus continental et semi-aride, sont en grande partie cultivées (dominance de la céréaliculture, relayée plus au Sud par les parcours). Seuls quelques lambeaux de forêts de chêne vert, à l'état de broussailles, sont localisés sur les éminences calcaires ainsi qu'une brousse de jujubier.

7. Le sol

La répartition des sols présente une zonation qui reflète celle du climat. Cependant, elle est largement modifiée par l'influence de la nature des roches mères, du relief, de l'eau, de la végétation, ainsi que des facteurs biotiques et anthropogènes (Tabet, 2008).

7.1. Les sols minéraux bruts

Ou sols très peu évolués, localisés principalement sur les sommets des djebels et sont soumis à une érosion hydrique intense. Ces sols caractéristiques des forêts et des matorrals et comportent :

Les lithosols sur les roches dures (grès ou calcaires), les régosols sur les roches tendres (marnes et calcaires marneux), les sols minéraux bruts d'apport alluvial dans les lits des oueds caillouteux.

7.2. Les sols peu évolués

Regroupent : les sols d'origine colluviale sur les piedmonts des djebels et les glacis, les sols d'origine alluviale dans les lits d'oued, les zones d'épandage et les dayas, les sols d'origine éolienne avec des formations sableuses fixées.

7.3. Les sols calcimagnésiques

Regroupent les sols carbonatés parmi lesquels on retrouve : les rendzines humifères sur les versants des Djebels; les sols bruns calcaires à accumulation calcaire xérifiée qui sont très répandus sur les glacis polygéniques du Quaternaire ancien et moyen; les sols à encroûtement gypseux qui sont plus rares, représentés par des petites plages dans les zones de grès

alternant avec les marnes et argiles versicolores. Les sols carbonatés sont les plus répandus en Algérie, notamment dans les écosystèmes steppiques et présahariens où ils représentent de vastes étendues encroûtées (Halitim, 1988).

7.4. Les sols isohumiques

Sont représentés dans les glacis d'érosion polygéniques du quaternaire récent. Ils regroupent les sols à encroûtement calcaire ou gypseux. On les retrouve dans les régions arides lorsque les précipitations sont inférieures à 200 mm/an.

7.5. Les sols halomorphes

Regroupent les sols salins (solontchak) profils AC et les sols salins à alcalis (solontchak-solonetz) profil A (B) C. Ces sols sont généralement profonds et localisés dans les chotts et les sebkhas. Ils sont pauvres en matière organique. Leur salinité est chlorurée, sulfatée sodique et magnésienne.



Carte 05 : Carte des sols de la région d'étude (FAO, 2005).

Chapitre II

Généralité sur le sol

1. Introduction :

Le sol est la couche la plus externe de la croûte terrestre résultant de l'interaction entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Il résulte de la transformation de la couche superficielle de la roche-mère, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus vivants de pédogenèse. Hors des milieux marins et aquatiques d'eau douce, il est ainsi à la fois le support et le produit du vivant. La partie du sol spécialement riche en matière organique se nomme l'humus.

On différencie le sol de la croûte terrestre par la présence significative de vie. Le sol est aussi un des puits de carbone planétaires, mais semble perdre une partie de son carbone, de manière accélérée depuis au moins 20 ans (**Bond-Lamberty et Thomson., 2010**) .

Le sol est vivant(**Gobat et al., 2010**) est constitué de nombreuses structures spatiales emboîtées (horizons, rhizosphère, macro-et micro-agrégats, etc.). Cette dimension fractale autorise la coexistence de très nombreux organismes de tailles très diverses et fait du sol un réservoir unique de biodiversité microbienne, animale et végétale(**Ponge, 2013**). Il est nécessaire à la grande majorité des champignons, des bactéries, des plantes et de la faune. La biodiversité d'un sol est le fruit de l'action d'un ensemble de facteurs, naturels (par exemple pédogenèse) et anthropiques (occupation des sols, pratiques de gestion...) agissant sur de longues périodes.

Le sol est l'élément principal de l'environnement qui règle la répartition de la végétation. Il se développe en fonction de la roche mère, la topographie et les caractéristiques du climat (**Ozenda, 1989**). Il est un corps naturel dans lequel se rencontrent la lithosphère, la biosphère, l'atmosphère et de l'hydrosphère. Ses nombreux services et fonctions écologiques subissent de nombreuses pressions et se trouvent menacés principalement par les activités humaines. Les caractéristiques et les propriétés des sols évoluent sous l'effet des processus naturels et anthropiques (**Jolivet et al., 2006**).

En pédologie un horizon est considéré comme un volume élémentaire de la couverture pédologique, que l'on peut appréhender sur le terrain, et dont les dimensions latérales sont nettement plus grands que les dimensions verticales ; Cette notion est donc associée par une homogénéité des caractéristiques dans la dimension latérale et un contraste vertical (**Jamagneet al., 1995**).

Les horizons principaux sont définis par la carte FAO-UNESCO comme suite :

- H : Horizon organique formé, ou en voie de formation, caractérisé par l'accumulation minérale où la structure rocheuse a pratiquement disparu et dans laquelle l'une des propriétés suivantes est reconnue :
 - i) L'enrichissement morphologie acquise par pédogenèse, mais ne possède pas les propriétés des horizons E et B.
- E : Horizon minéral présentant une concentration de fractions sableuse et limoneuse riches en minéraux résistants, par suite d'une perte de silicates argileux, de fer ou d'aluminium ou d'une combinaison de ces constituants. Les horizons E sont des horizons éluviaux qui se trouvent généralement sous un horizon H, O ou A, dont ils se distinguent normalement par une plus faible teneur en matière organique et par une couleur plus claire.
- B: Horizon, par illuviation, en argile, fer, aluminium, ou humus, soit seuls ou en combinaisons ;
 - a) L'enrichissement résiduel en sesquioxydes par rapport au matériau original ;
 - b) L'altération de l'état originel du matériau qui entraîne la formation de minéraux argileux silicates, libère des oxydes, (les deux processus pouvant se produire à la fois), ou permet le développement d'une structure granulaire, polyédrique ou prismatique.
- C: Horizon (ou couche) minéral composé de matériaux non consolidés dont les sols sont formés et qui ne présente des propriétés diagnostiques d'aucun autre horizon principal.
- R: Couche de roche indurée continue. La roche des couches R est suffisamment cohérente à l'état humide pour qu'on ne puisse la creuser à la bêche. Elle peut être fissurée ; mais ces fissures sont trop rares et trop petites pour que les racines puissent s'y développer (**FAO-UNESCO ,1976**) de la matière organique déposée en surface, qui est saturée d'eau pendant des périodes prolongées.
- O: Horizon organique formé, ou en voie de formation, par accumulation de la matière organique déposée en surface, qui n'est pas saturée d'eau plus de quelques jours par an et qui contient au moins 35 % de matière organique.
- A: Horizon minéral formé, ou en voie de formation, à la surface du sol ou au voisinage immédiat de celle-ci et qui présente une accumulation de matière organique humifiée, intimement associée à la fraction minérale.

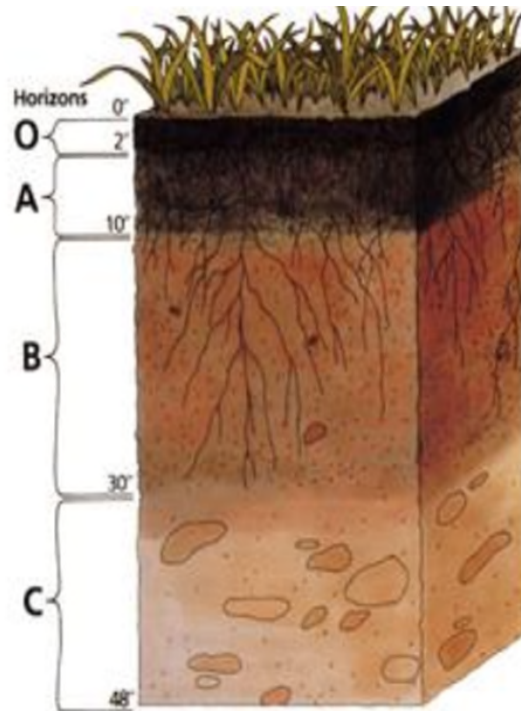


Figure 01 : Les horizons principaux du sol (d'après USDA : United States Department Agriculture).

2. Les différentes fonctions du sol

Calvet (2003) a regroupé les nombreuses fonctions du sol dans trois ensembles interdépendants, écologiques, technologiques, et socio-économiques.

En effet, selon **Gobat (2010)**, le sol est un régulateur des échanges et des flux dans l'écosystème, abritant une biodiversité très riche, constituant un réservoir et un milieu de transformation des matières minérales et organiques, mais aussi un épurateur des substances toxiques. En outre, il est un miroir de l'histoire des civilisations et des cultures, un stock de matières premières et de déchets et demeure une des bases essentielles de la vie humaine permettant entre autres la production agricole et forestière.

Il constitue un réservoir de matières organiques et minérales. Le sol est la ressource primordiale en éléments nutritifs des êtres vivants terrestres, Il faut aussi noter que les sols cultivés contiennent des stocks de matières organiques sensiblement plus faibles que ceux des sols sous forêts ou sous prairies, et que ces stocks peuvent varier considérablement selon les systèmes de cultures pratiqués (**Chenu C ; Balabane M ; 2001 in Labouée ; 2007**).

D'autre part le sol est les lieux des échanges et des flux de l'écosystème. Le sol est le pivot du système biogéochimique et il joue un rôle majeur dans les cycles fondamentaux du fonctionnement de la planète comme par exemple le cycle du carbone, de l'azote, des cations, ou encore de l'eau.

3. Les différentes phases du sol

Le sol est un milieu triphasique composé d'une phase solide (minérale et organique), d'une phase liquide et d'une phase gazeuse Figure 02(**Robert 1996**).

3.1. La phase liquide du sol

La solution du sol joue un rôle important dans la nutrition végétale, car les plantes y puisent les éléments nutritifs présents sous des formes solubles dites « assimilables » ou « biodisponibles ». Cette notion de biodisponibilité concerne également de nombreux xénobiotiques (pesticides, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ...). Leur présence dans la solution du sol les rend accessibles aux microorganismes et aux plantes. Une dynamique d'échange existe en permanence entre les ions ou molécules retenus par la phase solide du sol et ceux présents dans la solution du sol(**El arfaouibenaomar, 2010**).

3.2. La phase solide du sol

La phase solide du sol est en général majoritairement minérale (90 à 99% de la masse du sol) mais comprend toujours une fraction organique dont le taux varie selon le type de sol et les conditions de pédogenèse. Les sols cultivés présentent des taux de matière organique compris dans une gamme allant de moins de 1% à 20% de la masse du sol (**Calvet, 2003**).

3.3. La phase gazeuse du sol

L'air du sol contient en général les mêmes substances que l'air atmosphérique telles que N₂, CO₂, O₂. Sauf que, la composition est très différente dans le sol en raison de la présence d'une activité biologique exercée par les microorganismes (**Soulas et al., 1983**). Les plus importants de ces gaz sont le l'O₂ provenant de l'atmosphère et le CO₂ provenant des respirations et fermentations des organismes du sol et des organes non chlorophylliens des plantes supérieures (**Frontier et Pichod-Viale, 1995**). L'air du sol contient également d'autres substances, et parfois des composés organiques volatils (NH₃, CH₄, H₂S) (**Calvet, 2000**).

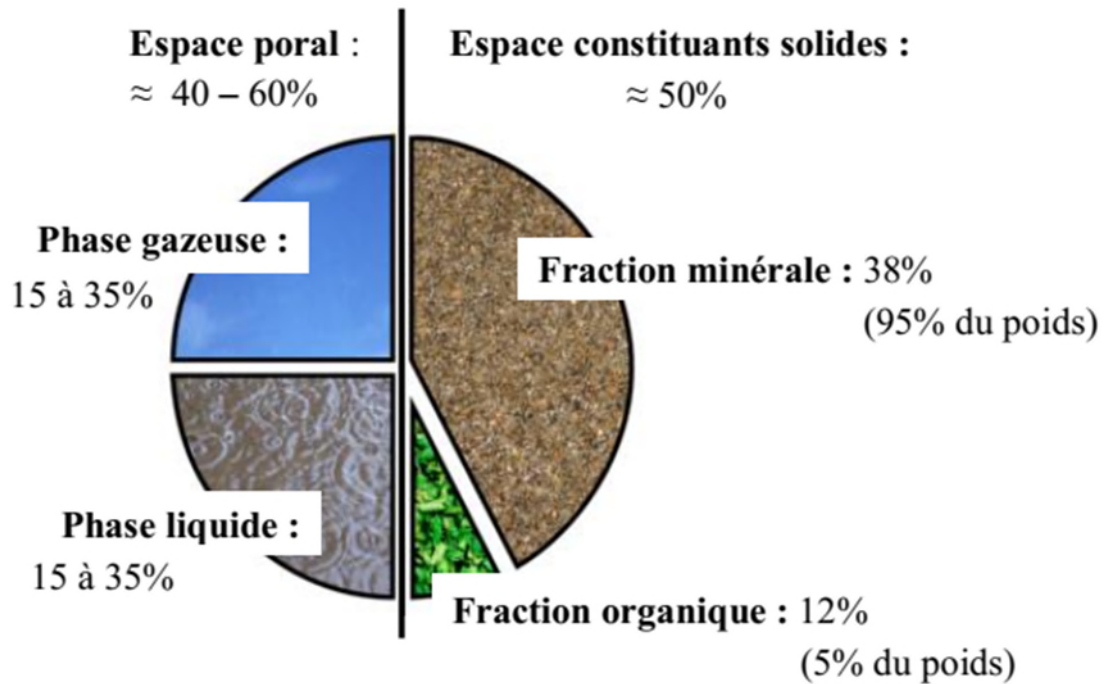


Figure 02 : Volume (%) des constituants solides du sol (fraction minérale et organique) et de l'espace poral (occupé par l'air et l'eau) (**Robert, 1996**).

4. Les éléments constitutifs du sol

Le sol est un milieu organisé (**Chenu et Bruand, 1998**) dont la matrice du sol, ou phase solide, est constitué d'une phase minérale souvent majoritaire, et d'une phase organique et de micro et macro organismes vivants.

4.1. Fraction minérale

Les minéraux du sol varient en général de 95 à 99%. La composition minérale est extrêmement diverse et elle dépend de la nature de la roche-mère. Ces éléments minéraux peuvent avoir différentes tailles granulométriques (**Quénéa, 2004**).

Quénéa (2004) rapporte que la fraction minérale n'intervient pas ou peu dans la sorption des polluants par les organismes, à l'exception lorsque la teneur en carbone organique du sol est faible.

Tableau 01 : Dimension et propriété des éléments minéraux composant le sol (d'après Hénin, 1976).

Eléments minéraux	Diamètre (µm)	Absorption des ions	Rétention de l'eau	Perméabilité
Argile	< 2	Forte	Forte	Faible
Limon fin	2 – 20	Faible	Moyenne	Faible
Limon grossier	20 – 50			
Sable fin	50 – 200	Nulle	Nulle	Forte
Sable grossier	200 – 2000			

4.2. Fraction organique

La fraction organique d'un sol est constituée à plus de 80% de matière organique morte (résidus de plantes et d'animaux en état de décomposition naturelle). On trouve aussi des organismes vivants : des bactéries dont beaucoup d'actinomycètes, des champignons et une microfaune formée de protozoaires, nématodes, insectes, vers de terre.

Les composés organiques intermédiaires, appelés « matière organique transitoire », provenant de la transformation de la matière organique fraîche, et l'humus qui forme les horizons organiques superficiels et qui résulte de la décomposition des autres fractions de la matière organique (Calvet 2003).

5. Indicateurs de qualité des sols

5.1. Le concept de qualité des sols

Les préoccupations sur la qualité des sols ne sont pas récentes. Historiquement, elles sont assimilées à la gestion de la fertilité. Les premières pratiques de conservation de la productivité des sols datent de l'empire romain (Mazoyer et Roudart, 1997). La préservation des sols agricoles n'a cessé d'augmenter au cours des siècles. Au début des années 1930 aux Etats Unis, un indice de productivité des terres est développé et permet aux agriculteurs de choisir des pratiques culturales qui garantissent une productivité maximum tout en minimisant l'érosion et les impacts environnementaux (Huddleston, 1984).

Les définitions les plus pratiques de la qualité des sols ont trait à leurs fonctions. La définition généralement utilisée par les agronomes met l'accent sur la productivité du sol. Un sol en "bonne santé" produit des récoltes abondantes et de grande qualité. Depuis une dizaine

d'années toutefois, l'agriculture est envisagée selon une optique différente. Elle n'est plus considérée comme une activité en circuit fermé, mais plutôt comme un élément qui s'insère dans un système écologique beaucoup plus vaste et qui interagit avec les autres éléments du système. Ce constat a permis de donner à la qualité des sols une nouvelle définition qui dépasse la productivité et qui tisse des liens avec l'environnement dans son ensemble.

Karlen *et al* (1992), définis la qualité du sol comme « l'aptitude du sol à servir de milieu naturel pour la croissance des plantes nécessaires à la vie des animaux et des hommes ». Leur définition est basée sur le rôle de la qualité du sol dans le maintien de la productivité à long terme et dans la préservation de l'environnement.

Le conseil national de recherche canadien (National Research Council Canadien (NRC)) avait également reconnu l'importance d'inclure des perspectives environnementales dans le concept de qualité des sols.

Le NRC statua en 1993 « la qualité des sols est la capacité d'un sol à favoriser la croissance des plantes, à protéger les bassins hydrographiques en régulant les infiltrations et en divisant les précipitations, et à prévenir la pollution des eaux et de l'air en amortissant les polluants potentiels tels que les produits chimiques agricoles ou industriels ou les déchets organiques ».

En 1994, le comité S-581 "*Ad Hoc Committee on SoilQuality*" (comité ad hoc sur la qualité des sols) fut créé par la Société Américaine des Sciences du Sol (SSSA). Les membres de ce comité avaient alors pour mission de promouvoir une réflexion importante sur la définition du concept de qualité des sols. Ces larges débats ont permis d'adopter une définition qui peut être considérée comme une extension logique du concept d'écosystème et qui est susceptible d'évoluer avec le temps (**Allan *et al.*, 1995; Doran *et al.*, 1994; Karlen *et al.*, 1997**).

La SSSA proposa que la qualité du sol soit définie comme étant « la capacité du sol à fonctionner dans un écosystème donné (naturel ou géré) et pour une utilisation donnée, à supporter une production végétale et animale, à contribuer à un environnement de qualité et favoriser la qualité des plantes, des animaux et des humains » (**Karlen *et al.*, 1997**).

5.2. Indicateurs de qualité des sols

Les indicateurs de la qualité des sols sont des propriétés physiques, chimiques et biologiques, des processus et des caractéristiques qui peuvent être mesurées pour surveiller les changements du sol (USDA, 1996). Ces indicateurs doivent permettre d'appréhender les fonctions essentielles du sol et d'évaluer la qualité biologique, physique ou chimique des sols.

Doran *et al.*, (1996) présentent une liste de propriétés influençant les fonctions écologiques et qualité des sols. Ils citèrent par exemple, la densité apparente, la perméabilité, la capacité de rétention d'un sol, les teneurs totales en carbone et azote organiques, la conductivité, le pH, la biodisponibilité des éléments nutritifs pour les plantes, les mesures de biomasse et d'activité microbienne, etc.

Le **tableau 02** Dresse une liste non exhaustive d'indicateurs physiques, chimiques et biologiques (Doran et Safley, 1997; Karlen *et al.*, 1997; Doran et Zeiss, 2000). Cette liste présente également la valeur écologique des indicateurs.

Indicateurs de l'état du sol	Relations entre l'état du sol et sa fonction ; mesures prioritaires	Valeur écologiquement significative ; Comparaison pour l'évaluation
Physiques		
Texture	Rétention et transport de l'eau et des éléments chimiques ; Modélisation de l'utilisation, de l'érosion et de la variabilité des sols	% sables, limons et argile ; Sites les moins érodés ou la position topographique
Profondeur du sol, enracinement	Estimation de la productivité potentielle et de l'érosion ; Normalisation de la variabilité des paysages.	cm ou m ; Sites non cultivés ou différents localisation dans le Paysage
Infiltration et densité apparente (Da)	Potentiel de solubilité, de productivité et d'érosivité ; ajustement des mesures en bases volumétrique	min par 2,5 cm d'eau, Mg/cm ³ ; Position topographique

Capacité de rétention	En relation avec les flux hydrique, le transport et l'érosivité ; Eau utile, Da, texture, Mo	% (Mg/cm ³), cm d'eau disponible pour 30 cm ; Intensité des précipitations
Chimiques Matière organique (C et N org.Totale) pH Conductivité électrique N, P et K extractibles	Fertilité, stabilité du sol, érosion ; Utilisé dans le processus de modélisation et de normalisation des sites Activités biologiques et chimiques ; Essentiel dans les processus de modélisation Activités microbiennes et végétale Essentiel dans les processus de modélisation Nutriments phyto-disponibles et potentiels de perte d'azote Productivité et indicateurs de la qualité environnementale; Productivité et indicateurs de la qualité environnementale	kg C et N / ha 30 cm ; Sol non cultivé ou contrôle initial Comparaison entre des limites max et min d'activités microbiennes et végétales dS/m Comparaison entre des limites max et min d'activités microbiennes et végétales kg / ha 30 cm Niveau de suffisance saisonnière pou la croissance des plantes
Biologiques Biomasse, C et N microbiens N potentiellement minéralisable	Potentiel de catalyse microbienne du C et duN ; Modélisation du danger des apports en Mo Productivité et apport en N ; Modélisation	kg C et N / ha 30 cm ; Relatif au C et N total ou à la production de CO ₂ kg N / ha 30 cm d-1; Relatif aux teneurs en C et N total

Respiration, teneur en eau, température	Mesure des activités bactériennes Estimation des activités en lien avec la biomasse	kg C / ha 30 cm d-1; Relatif à la biomasse microbienne
---	--	---

5.3. Les indicateurs physiques des sols

5.3.1. Texture du sol

La texture correspond à la répartition des minéraux par catégorie de grosseur (en fait diamètre, les particules étant supposées sphériques) (Duchaufour, 1984). Elle est directement liée à celle de la composition granulométrique déterminée au laboratoire après destruction des ciments et annulation de toutes les forces de cohésion (Baize et Jabiol, 1995).

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 du sol, pour laquelle elle est une bonne indicatrice (Gobat *et al.*, 2010).

A-Échelle granulométrique de la texture du sol

Le tableau 03, nous renseigne sur la différente classe granulométrique du sol selon Baize(2000).

Tableau 03 : Les classes granulométrique du sol (Baize, 2000).

Classes	TERRE FINE					TERRE ROSSIÈRE	
	Fraction argileuse	Fraction limoneuse		Fraction sableuse		Graviers	Cailloux
	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables Fins	Sables grossier		
Diamètre des particules	<2 µm	2 – 20 µm	20-50 µm	50-200 µm	0,2- 2 mm	2-20 mm	>20mm

Selon Massenet (2013), la texture est définie par les proportions relatives (%) de particules argileuses, limoneuses et sableuses qui constituent la terre fine de l'horizon

Les classes de dimensions les plus couramment utilisées, pour identifier granulométriquement ces particules sont consignées dans le tableau 04.

Tableau 04 : Proportion relatives de particules argileuses, limoneuses et sableuses que contient la terre fine (Massenet, 2013).

CLASSE GRANULOMETRIQUE	DIMENSIONS (en μm)
Argile	>2
Limon fin	2-20
Limon grossier	20-50
Sable fin	50-200
Sable grossier	200-2000

Argile, limon et sable constituent la terre fine, par opposition aux éléments grossiers qui comportent les fractions figurant dans le tableau 05.

Tableau 05 : Proportion relatives des éléments grossiers (Massenet, 2013).

DENOMINATION	DIMENSIONS (en cm)
Graviers	0,2 à 2 cm
Cailloux	2 à 7,5 cm
Pierres	7,5 à 20 cm
Blocs	Plus de 20 cm

B-Classification des textures

Cette classification est représentée à l'aide d'un triangle, appelé triangle des textures, dont les trois côtés correspondent respectivement aux pourcentages de sable, de limon et d'argile.

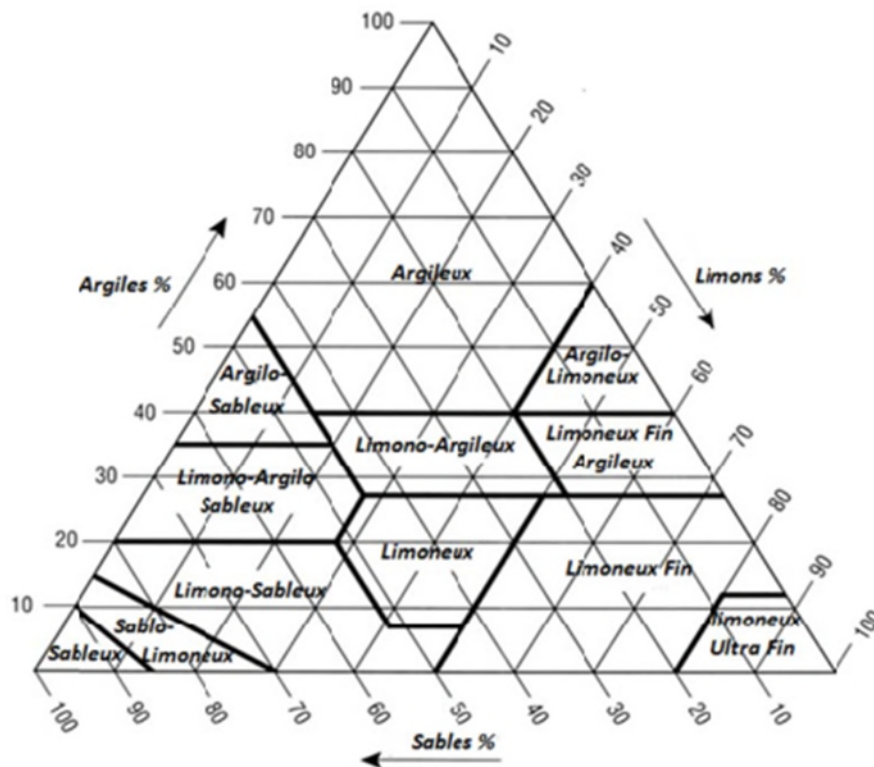


Figure 03 : Triangle des textures (USDA, 1954).

Il existe de nombreux triangles de texture. Celui-ci représente la classification adoptée par le département de l'Agriculture américain (USDA, 1954).

Il est possible de regrouper les textures en quatre classes fondamentales, qui permettent de définir les principales propriétés du sol :

Texture sableuse : sol bien aéré, facile à travailler, pauvre en réserve d'eau, pauvre en éléments nutritifs, faible capacité d'échange anionique et cationique.

Texture limoneuse : l'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 calcium.

Texture argileuse : sol chimiquement riche, mais à piètres propriétés physiques ; milieu imperméable et mal aéré, formant obstacle à la pénétration des racines ; travail du sol difficile, en raison de la forte plasticité (état humide), ou de la compacité (sol sec). Une bonne structure favorisée par l'humification corrige en partie ces propriétés défavorables.

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 : 15 à 25 % d'argile, 30 à 35 % de limons, 40 à 50 % de sables (Moeys, 2009).

5.3.2. La densité apparente

La densité est un poids par unité de volume, normalement exprimée en gramme par centimètre cube (g/cm^3). L'eau a une densité de 1 g/cm^3 (à 40°C). Deux types de mesures de densité sont utilisés généralement pour les sols. La densité réelle (d_r) correspond à la densité d'une terre sèche désagrégée : la moyenne pour le sol est de $2,65 \text{ g/cm}^3$; la densité apparente (d_a) correspond au poids sec d'un volume de sol dont la structure n'a pas été perturbée. Il est aussi la masse d'une unité de volume du sol séché à 105°C . Ce volume comprend aussi bien les solides que les pores. Elle est mesurée par la méthode des cylindres en utilisant les échantillons non perturbés, connaissant le poids sec constant des échantillons à 105°C et le volume des cylindres des prélèvements utilisés (Blake & Hartage, 1986).

La densité apparente du sol traduit globalement l'état de compaction du matériau et indirectement, la porosité totale (Alongo et Kambele, 2013).

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

Elle permet, en outre, de calculer la porosité et d'apprécier ainsi indirectement la perméabilité, la résistance à la pénétration des racines (Maertens, 1964), la cohésion des horizons (Yoro, 1983; Yogo et Assa., 1986) et la réserve en eau du sol (Henin et al., 1969).

5.3.3. La porosité

Selon le degré d'humectation, les vides du sol sont occupés en majeure partie soit par l'eau, soit par l'air. Leur ensemble représente la porosité (tableau 06), une propriété du sol qui reflète le volume des vides du sol, exprime en pourcentage du volume total. La porosité donne une bonne idée de l'état structural avec, avantage certain, la possibilité de mesures comparatives. Comprend deux paramètres, la densité apparente (D_a) et la densité réelle (D_r) (Delaunoy, 1976).

La porosité doit être en relation avec la texture :

- ✓ Texture sableuse : porosité forte > 30 %.
- ✓ Texture sablo-limoneuse : porosité assez forte 20-30 %
- ✓ Texture Limono-argileuse: porosité assez fai
- ✓ Texture Argileuse : porosité faible

Selon la taille des pores, elle se subdivise en (**Gobat *et al.*, 2010**) :

- ✓ **Macroposité**: les vides >50µm, pouvant être remplis par l'eau de gravité rapidement drainée et souvent colonisés par les racines moyennes.
- ✓ **Mésoporosité ou capillaire** : constituée des vides de 0,2 à 50µm retenant l'eau utilisable par les plantes.
- ✓ **Microposité** : dont les vides inférieurs à 0,2 µm retiennent l'eau inutilisable.

Tableau 06 : Classification des porosités (**Schoeller, 1955**).

Rayon des pores	Classe	Etat de l'eau
<0,0001 mm	Microposité	Eau de rétention exclusivement
0,0001 à 2,5 mm	Porosité capillaire	Eau capillaire et eau gravitaire
>2,5 mm	Macroposité	Eau gravitaire dominante

La porosité du sol joue un rôle important dans les échanges hydriques et gazeux, ainsi que dans le développement racinaire. Généralement, la compaction affecte la qualité physique du sol, elle réduit la porosité, ce qui entraîne une mauvaise aération du sol, un mauvais drainage et augmente la résistance à la pénétration des racines, par conséquent réduit la croissance et le rendement de la récolte (**Lahlou *et al.*, 2005**).

5.3.4. La capacité de rétention de eau (Réserve utile (RU))

Le paramètre écologique le plus déterminant pour la vie du végétal c'est la disponibilité de l'eau dans le sol qui représente la ressource vitale indispensable pour les êtres vivants. Réserve utile (RU) est la quantité d'eau contenue dans le sol que la plante peut utiliser pour sa croissance. C'est la différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement. Cette succion est possible jusqu'à une certaine valeur limite du volume en eau du sol. Les racines doivent vaincre le potentiel matriciel qui retient l'eau et qui augmente avec le départ de l'eau ;

au-delà d'une certaine valeur, la plante ne peut plus vaincre la tension et satisfaire son besoin, elle flétrit. La réserve utile (RU) en eau d'un sol, exprimée en millimètre d'eau, correspond à la quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante. Autrement dit, la RU est la quantité d'eau comprise entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement (**Tran, 2010**).

Si le sol atteint son point de flétrissement, la plante ne peut plus absorber l'eau du sol ce qui implique le flétrissement et la mort de la plante. Pour la plupart des cultures, le point de flétrissement est atteint lorsque le sol exerce sur l'eau des tensions de l'ordre de 15 à 16 bars (**Laurent, 2010**).

5.4. Les indicateurs chimiques et nutritionnelles

5.4.1. pH

Le pH renseigne sur le degré d'acidité ou d'alcalinité du sol. Il affecte la disponibilité, et l'absorption des nutriments du sol. En effet, à un pH trop acide (<6) ou trop basique (>8) certains éléments minéraux sont moins assimilables, c'est le cas du fer, moins assimilable dans un milieu basique. De surcroît, il a un impact sur l'activité biologique (l'activité microbienne, par exemple), la croissance des plantes et d'autres processus chimiques et physiques du sol (**Shoenholtz, 2000**).

5.4.2. Capacité d'échange de cations (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) est la quantité totale de cations qu'un poids déterminé de sol (habituellement 100 grammes) peut adsorber sur son complexe argilo-humique et échanger avec la solution du sol dans des conditions de pH données. Autrement dit, c'est la somme des charges négatives du sol disponibles pour la fixation des ions H^+ et Al^{3+} ainsi que les cations basiques Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ . La CEC dépend donc de la nature des colloïdes présentant un nombre variable et spécifique de sites négatifs et, bien sûr, du pH du sol (**Gobat *et al.* 2010**).

Augmentation de la CEC d'un sol : La matière organique comporte plus de sites d'échanges que l'argile. Maintenir et augmenter la matière organique par l'apport de cette dernière, par la rotation des cultures ou les cultures de couverture pour élever la CEC. Éviter les pratiques culturales comme le travail excessif du sol qui détruit la matière organique. La

teneur en argile d'un sol influe aussi sur la CEC d'un sol, mais il n'est pas réaliste de vraiment la modifier à cette fin (**Christoph Kessel**).

Évaluation de la CEC par les analyses de sol : Dans le cadre d'une analyse de sol, la CEC est estimée à l'aide des teneurs en K, Mg et Ca. Les teneurs observées sont converties en milliéquivalents par 100 g de sol (méq/100g) et additionnées pour l'estimation de la CEC. Les valeurs seront les mêmes si elles sont données en centimoles d'échanges de cations par kilogramme (cmol+/kg) (**Christoph Kessel**).

La CEC et son rapport avec la composition du sol

CEC de 1 à 10

- Contenu élevé en sable
- L'azote et le potassium sont plus susceptibles d'être lessivés
- Moins de chaux requise pour élever le pH
- Faible teneur en matière organique
- Faible capacité de rétention d'eau

CEC de 11 à 50

- Contenu élevé en argile
- Plus de chaux requise pour élever le pH
- Plus grande capacité à retenir les éléments nutritifs à une profondeur de sol donné
- Haute teneur en matière organique
- Plus grande capacité de rétention d'eau (**Christoph Kessel**).

5.4.3. La conductivité électrique (CE)

Conductivité électrique La conductivité électrique (salinité) est la mesure du degré de la salinité du sol étudié. La détermination de la conductivité électrique se fait sur extrait de sol (rapport sol / eau=1/5) à l'aide d'un conductimètre (**Delaunois, 1976**). Les valeurs sont comparées à une étude de salinité, résumées dans le tableau .

Tableau 07: Echelle de salinité du sol (USSL, 1981).

Conductivité électrique (ms/cm)	Salure
0 – 0,6	Non salé
0,6 – 1,4	Peu salé
1,4 – 2,4	Salé
2,4 – 6	Très salés

5.4.4. Matières organiques (MO)

La matière organique du sol représente l'indicateur principal de la qualité des sols, à la fois pour des fonctions agricoles (c'est-à-dire la production et l'économie) et pour les fonctions environnementales (parmi elles la séquestration du carbone et la qualité de l'air). La matière organique est un ensemble des composés organiques qui sont issus de résidus d'organismes à différents stade de décomposition, synthétisés par les organismes vivants ou qui sont des produits de dégradation. (Baldock et Skjemstad 1999 ; Krull *et al.*, 1999).

La Matière Organique du Sol contribue à la formation d'un environnement favorable pour que les organismes se développant dans le sol. Elle est une source de nutriments, elle possède une capacité de rétention de l'eau qui permet de réguler le système hydrique du sol (Rawls *et al.*, 2003). Elle agit comme un tampon contre les variations de pH et elle contribue à la structure physique du sol (Oades, 1988).

De nombreuses autres fonctions sont assumées par les matières organiques du sol : elles sont résumées dans la **figure n°04**

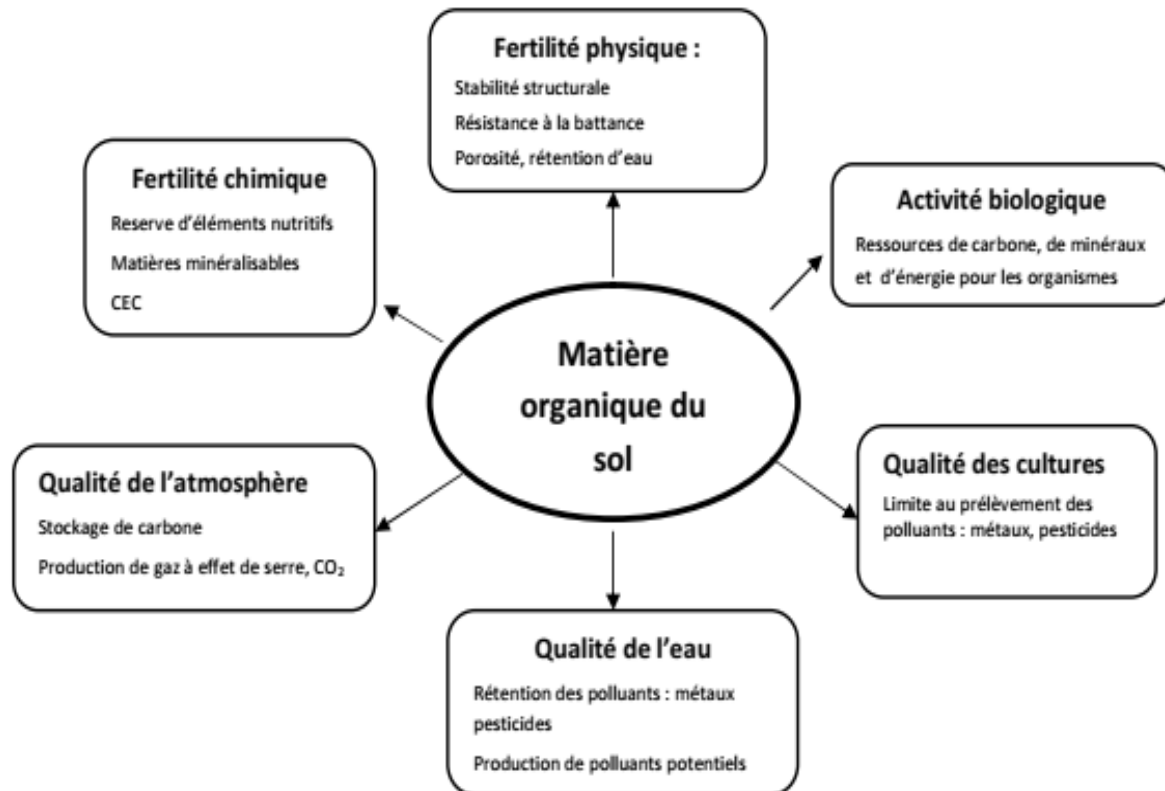


Figure04 : Rôles et fonctions de la matière organique (**Agriculture et territoires, 2011**).

5.4.5. Le rapport carbone / azote

C'est un indicateur de l'activité biologique des sols, Il renseigne sur :

- le degré d'évolution de la matière organique,
- l'activité biologique,
- le potentiel de fourniture d'azote par le sol (minéralisation) (**LCA, 2008**).

Un produit organique au C/N élevé (> 15-20, compostage incomplet) peut entraîner un risque de « faim d'azote » pour les plantes, car les micro-organismes du sol utiliseront l'azote du sol disponible pour la minéralisation du produit en question.

- ✓ Si le rapport C/N est inférieur à 8, la dégradation de la matière organique est excessive. Le sol est inapte à entretenir la masse microbienne qui décroît en raison de l'insuffisance en carbone. Un apport de matière organique fraîche (non compostée) est fortement recommandé.
- ✓ Si le rapport C/N est compris entre 8 et 11, la matière organique évolue correctement ;

- ✓ Si le rapport C/N est supérieur à 11, l'évolution de la matière organique est freinée en raison de l'incapacité de la microflore du sol à se multiplier (déficit d'azote). Pour y remédier, un amendement à base de matière végétale riche en azote (exemple : engrais vert ou compost riche en azote) est particulièrement recommandé.
- ✓ D'autres paramètres tels que le fractionnement de la matière organique du sol ou encore la mesure de l'activité biologique permettent de mieux apprécier l'évolution de la matière organique dans le sol. Les cinétiques de minéralisation du carbone et de l'azote restent les meilleurs indicateurs car elles permettent de reproduire l'évolution de la matière organique dans le sol (Elzein et Balesdent, 1995).

5.4.6. L'azote et sa biodisponibilité

L'atmosphère est la principale source d'azote. On le rencontre principalement sous sa forme diatomique (N_2). Il s'agit d'une molécule très stable. La plupart de l'azote du sol est constitué d'azote organique. Il est rendu disponible pour les plantes par minéralisation liée à l'activité des micro-organismes. (Scheiner, 2005). La matière organique constitue la principale réserve d'azote du sol.

Scheiner (2005) définit les deux formes de l'azote dans le sol :

- ✓ **L'azote organique** : constitue 85 à 95% de l'azote total du sol.
- ✓ **L'azote inorganique** : constitue la fraction disponible pour les cultures. Le sol en contient rarement plus de 10% de l'azote inorganique total. C'est sous la forme de nitrates (NO_3^-) qu'il est principalement absorbé par les cultures exception faite de certains cas où la culture se développe en conditions d'anoxie (cas des rizières : NH_4^+).

5.4.7. Cycle de l'azote

Il intègre les diverses formes de l'azote du sol et de l'atmosphère, et toutes les transformations entre ces différentes formes. Le passage du N_2 (gazeux) aux formes combinées se fait au moyen de la fixation biologique, et le passage des formes organiques aux formes inorganiques se fait au travers de la minéralisation.

Dans le cycle global de l'azote, on peut différencier la partie propre au sol. La caractéristique principale de ce cycle interne est qu'il peut se résumer en deux processus biologiques opposés : la minéralisation et l'immobilisation.

- ✓ **La minéralisation** : contenant deux processus, l'ammonification et la nitrification.
- ✓ **La nitrification** : c'est la conversion de l'azote inorganique en formes organiques constitutives des micro-organismes

L'Azote est un constituant essentiel de la matière vivante végétale. Il entre dans la composition chimique des acides aminés (protéines et enzymes), des acides nucléiques (support de l'information génétique) et de toutes les substances métaboliques indispensables à la vie de la plante (chlorophylle, régulateurs de croissance...etc.) (**Delas, 2000**). L'effet de l'azote sur la plante est important et rapide, c'est un facteur essentiel de la multiplication et de l'élongation cellulaire. Sa disponibilité a un effet direct sur la vitesse et la durée de la croissance végétative des pousses, le nombre et la vigueur des ramifications, ainsi que sur la croissance et le grossissement des organes reproducteurs. La carence en azote est assez rare chez la vigne dont les besoins sont modérés (**Galet, 1995**). Une alimentation insuffisante de la vigne en azote peut avoir des conséquences négatives sur la qualité des raisins (**Spring et Zufferey, 2007**). Le manque d'azote se manifeste par un mauvais état général de la plante, un développement réduit et un jaunissement (jaune ou vert jaune) assez général du feuillage (**Gautier, 1993**) et une réduction de la vigueur des souches. Les possibilités de synthèse protéique sont réduites et l'absorption du potassium limitée, d'où une réduction de croissance. En fin de saison, le manque d'azote provoque une accumulation d'acide oxalique dans les feuilles entraînant des perturbations et une limitation du stockage d'amidon et réduit par conséquent, les potentialités de croissance ultérieure du cep (**Delmas, 1975**). L'excès de fumure azotée peut entraîner chez la vigne une augmentation importante de la vigueur et par voie de conséquence, accroître la sensibilité à la coulure et/ou aux attaques parasitaires (**Avenard et al., 2003**).

5.4.8. Les bases échangeables

Les bases échangeables interviennent comme éléments nutritifs et jouent aussi un rôle essentiel dans la neutralisation de l'acidité, le maintien de l'activité biologique et la structuration des sols (**Duchauffour, 2001**). Ils sont bien corrélés positivement avec les argiles, ceci dit que les sols argileux disposent d'un arsenal en cations basiques. En effet le calcium et le magnésium sont généralement en quantité suffisante pour assurer les besoins des plantes. Le Na^{2+} , n'étant pas indispensable aux plantes, devient nuisible en excès, alors que le potassium (K^+), indispensable à la vie de la plante, présente en général des teneurs élevées

dans les sols à texture fine et plus basses dans les sols sableux et pauvres en matière organique (Bouabid, 1987 ; Moughli, 2000).

5.5. Quelques indicateurs biologiques

Les indicateurs biologiques peuvent être définis comme des organismes qui répondent à un stress par leur présence ou leur absence, par les modifications de certaines caractéristiques ou activités particulières, ou par une bioaccumulation de certains contaminants (Eijsackers, 1982).

Les organismes vivants d'une terre sont fréquemment classés par leur taille (Blair *et al.*, 1996) une caractéristique qui n'a que rarement significativement reliée à une fonction écologique. C'est ainsi que l'on trouve des spécialistes pointus de :

- la microflore et microfaune (bactéries, champignons, nématodes...) de 0,05 μm à 100 μm
- la mésofaune (Acaréens, collemboles, Araignées...) de 100 μm à 2 mm
- la macro et la méga faune (vers de terre, mollusques, taupes, lapins...) > 2 mm et > 20 mm

Les organismes du sol sont responsables, directement ou indirectement, de nombreuses fonctions clés du fonctionnement du sol. Celles-ci incluent la décomposition des résidus animaux et végétaux, la transformation et le stockage des nutriments, les échanges gazeux et hydriques, la formation et la stabilisation de la structure du sol, la synthèse des composés humiques et la dégradation des molécules xénobiotiques (Dick, 1997 ; Paul, 2000). de support de la croissance et le développement des racines. .

Il est donc clair que la structure du sol peut se décrire à plusieurs échelles (particules minérales, agrégats, pédon, parcelle). La structure résulte de l'équilibre entre les phénomènes de tassement, de fragmentation, d'agrégation et de déplacement du sol par le travail du sol (Roger-Estrade *et al.*, 2000).sol correspond à l'assemblage des diverses particules d'un sol pour former des agrégat définissent les agrégats comme des assemblages de particules primaires liées entre elles d'une manière plus intense qu'avec les particules qui les entourent.

Les agrégats sont donc délimités par des surfaces de moindre résistance qui prennent naissance sous l'action de perturbations mécaniques d'origine naturelle (pédogenèse) ou anthropique (travail du sol...) (Calvet, 2003). Les vides intra-agrégats constituent des zones de fragilité de ces Assemblages.

Chapitre III

Matériel et méthodes

1. Description des données disponibles

L'ensemble des données utilisées son issu de la base de données SoilGrid(1). SoilGrids est une base de données et d'information sur les sols contenant des simulations spatiales des caractéristiques du sol au niveau mondial.

Au total, environ 110 000 profils de sol du monde sont utilisés pour générer cet ensemble de données à deux résolutions spatiales : 1 km et 250 m, montrant la distribution spatiale des propriétés primaires du sol de nature relativement stable (Henglet *al.*, 2015, 2017).

SoilGrids fournit des prévisions des propriétés physiques et chimiques du sol à savoir ;

- ✓ La profondeur jusqu'à substrat rocheux.
- ✓ Les fractions granulométriques du sol (texture).
- ✓ Sable, (%).
- ✓ Limon, (%).
- ✓ Argile, (%).
- ✓ Taux en fragments grossiers.
- ✓ la densité apparente, (kg/m³).
- ✓ Taux de carbone organique (matière organique), (g/kg)
- ✓ La capacité d'échange de cations associés cmolc/kg.

Ces informations sont organisées sous sept couches de données de profils qui correspond à sept profondeurs standard : 0 cm, 5 cm, 15 cm, 30 cm, 60 cm, 100 cm et 200 cm (Hengl *et al.*, 2014, 2017).

Tableau 08: Liste des propriétés du sol.

Code de variable	Nom Des Variables	Unités	Nombre horizons
AWCTS	Porosité	Cm/m ³	7
BLD	Densité apparente	kg/m ³	7
CECSOL	Capacité d'échange cationique	cmolc/kg	7
CEN	Conductivité électrique	ms/cm	7
EXBX	Base échangeable	cmolc/kg	7
CRFVOL	Fragments grossiers volumétriques	%	7

SLTPPT	Taux de limon	%	7
SNDPPT	Taux de sable	%	7
CLYPPT	Taux d'argile	%	7
PHIHOX	Potentiel Hydrogène (pH)	/	7
ORCDRC	Carbone organique	g/kg	7

Une moyenne pondérée a été effectuée afin de produire une seule couche de données pour l'ensemble des variables pédologiques. L'ensemble des variables ont été converties en format (ASC grid) et aligné à une résolution kilométrique, pour harmoniser l'ensemble de données sous la projection UTM WGS84 Zone 32 Nord.

- La carte de l'argile a été réalisée selon cinq classes (0-10%, 10-20%, 20-30%, 30-40%, sup à 40%°
- Les données du limon ont été classées en cinq classes afin d'apprécier la distribution spatiale du limon dans l'Est Algérien.
- Les données du sable ont été classées en cinq classes également pour caractériser la répartition de ce dernier en Algérie orientale.
- Le taux en fragments grossiers établi à partir des données brutes SoilGrids, la carte de taux en fragments grossiers a été établie selon sept classes.
- La distribution de la densité apparente des sols a été effectuée en cinq classes distinctes.
- On utilise le triangle textural de l'U.S.D.A, 1945 pour définir la texture des sols en Algérie orientale (**figure N 05**)

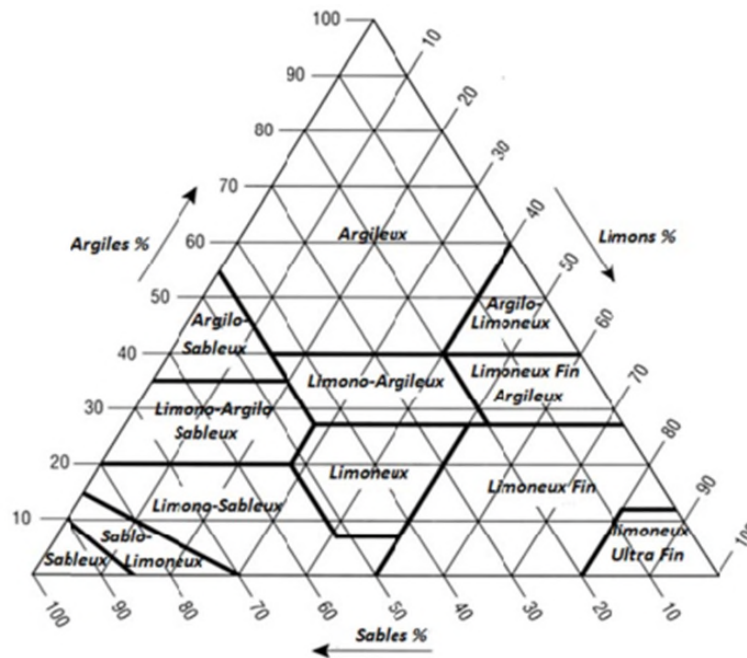


Figure 05 : Triangle des textures (USDA, 1954).

2. Calcul de la réserve utile maximale des sols(RUM)

Il n'existe actuellement pas de données spatialisées décrivant les réserves en eau de façon précise, empêchant la spatialisation de la réserve utile maximale des sols. Aussi, nous allons dans un premier temps chercher à cartographier au mieux les RUM. La première étape traite la spatialisation des réserves en eau des sols.

Il existe de multiples fonctions pour quantifier la RUM à partir de données de texture des sols. Les équations de régression linéaire de Rawls (1971) ont l'avantage d'être simples et ont été testées sur un large échantillon de sols américains (2 500 horizons prélevés dans 32 États des États-Unis). Avec RUM = réserve utile maximale, h = horizon, teneur en eau volumique à la capacité au champ, teneur en eau volumique au point de flétrissement, CC = charge en cailloux en % et Dh = épaisseur de l'horizon h- nous avons ensuite transformé la charge en cailloux estimée à la surface de la fosse pédologique en un cube dont les dimensions représentent la proportion de cailloux. Par exemple, une charge en cailloux en pourcentage. La réserve utile (RUM) en mm est calculée pour chaque horizon par la fonction suivante.

$$RUM = \left(1 - \frac{CC}{100}\right) \sum_{h=1}^H \theta_{-33kPa} - \theta_{-1500kPa} D_h$$

- $\theta_{-33} = 257,6 - (2 \times Sa) + (3,6 \times Ar) + (29,9 \times MO)$
- $\theta_{-1500} = 26 + (5 \times Ar) + (15,8 \times MO)$

Avec :

- θ_{-33} : teneur en eau à -33 KPa (en mm/m)
- θ_{-1500} : teneur en eau à -15 00 KPa (en mm/m)
- Ar : teneur en argile (en %)
- Sa : teneur en sable (en %)
- Mo : teneur en matière organique (en %)
- CC = charge en cailloux en %
- Dh = épaisseur de l'horizon (en mètre)

La distribution spatiale de la capacité d'échanges cationiques des sols a été calculée en Cinq classes.

La carte du carbone organique dans le sol a été réalisée en neuf classes distinctes pour apprécier la distribution du carbone organique dans l'Est Algérien.

Chapitre IV

Résultats et discussions

1. Résultats

1.1. Classification des indicateurs de qualité des sols

L'ensemble des variables traitées dans ce mémoire sont représenté sous forme de cartes de distribution spatiale dans l'Est Algérien.

1.2. Indicateurs physique du sol

La répartition des taux important d'argile est sont représentées en bleu, elle occupe la partie nord de l'atlas tellien et la partie nord des hauts plateaux, ainsi que les mont végétalisées(Figure 06).

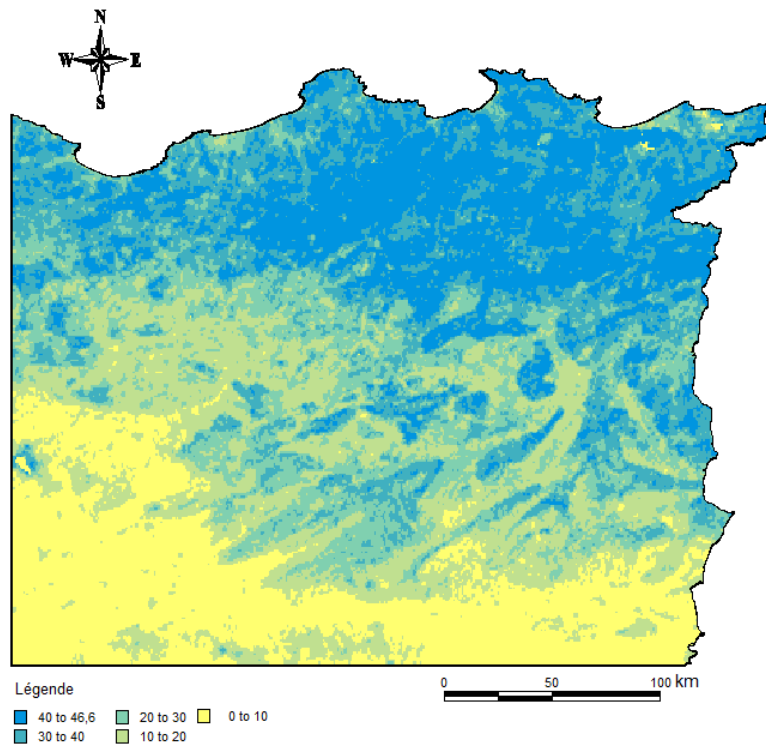


Figure 06 : Carte des taux d'Argile (%), dans l'Est Algérien.

Le limon occupe principalement les dépressions et les fond de vallées dans les basses altitudes. Il est présent dans les bassins à écoulement endoréique (les oueds se jettent dans des dépressions intérieurs fermées), localisées principalement dans les hautes plaines et l'atlas saharien(Figure 07).

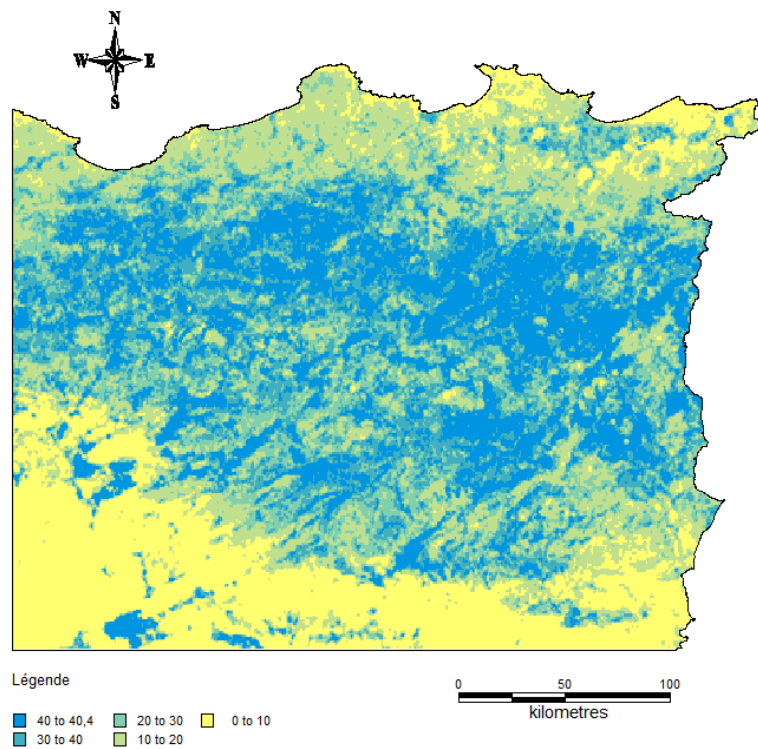


Figure 07 : Carte des taux de limon (%), dans l'Est Algérien.

Le sable est l'élément le plus grossier parmi le constituant du sol, indicateur de sols peu évolués, il résulte de l'érosion hydrique dans la zone côtière ou éolienne au Sud de l'Atlas Saharien où sa distribution naturel dans l'Est Algérien, il est présent aussi près mont de l'Atlas Saharien et l'Atlas Tellien, conséquence de la dégradation de la roche mère(Figure 08)

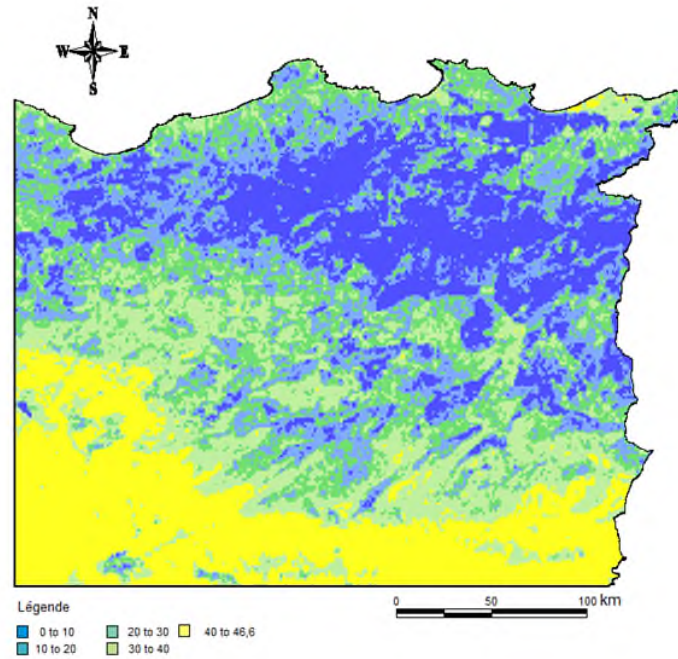


Figure 08 : Carte du taux de sable (%), dans l’Est Algérien.

Les éléments grossiers sont localisés principalement au versant des montagnes issues directes de fraction et la destruction de la roche mère, typiquement répartie dans les deux chaîne montagnard ; l’Atlas tellien et l’Atlas Saharien (Figure 09).

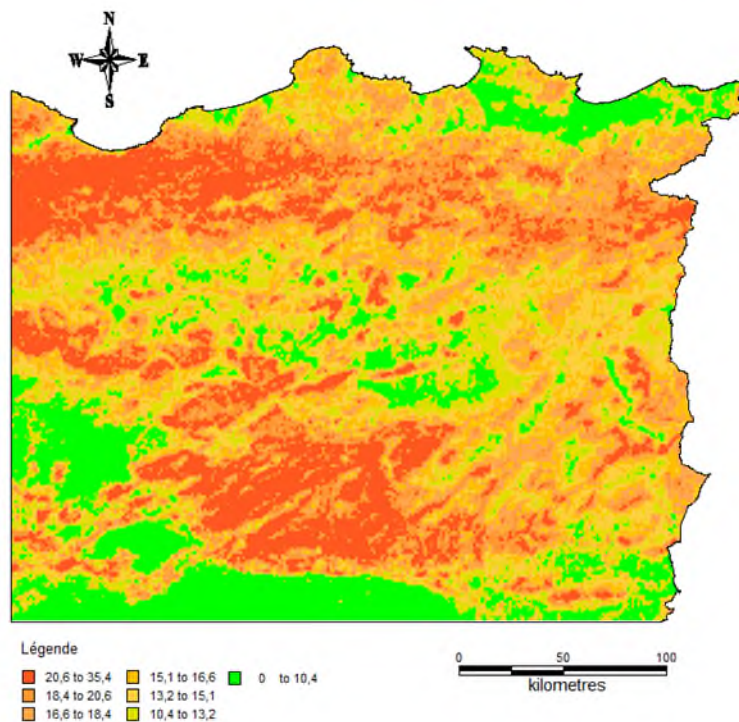


Figure 09 : Carte du fragment grossier (%), dans l’Est Algérien.

La densité apparente permet d'appréhender la porosité des sols, facteur très important pour la rétention d'eau et la respiration des plantes. Elle est minimale dans les fond de vallées et les fond de dépression, résultat des taux élever du le limon (Figure 10).

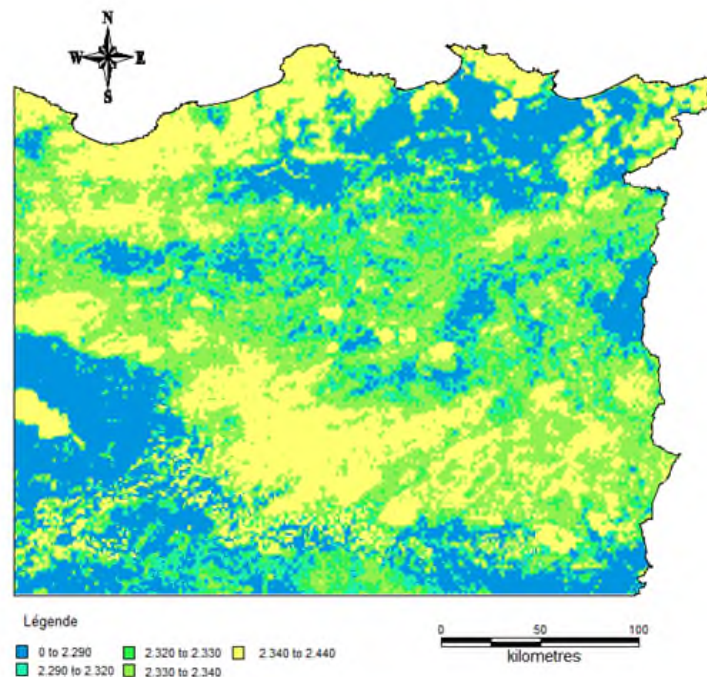


Figure 10 : Carte de Densité apparente (kg/m³), dans l'Est Algérien.

La classification des textures selon USDA 1954, établie en quatre classes texturales décrit la distribution spatiale des quatre classes (Figure 11).

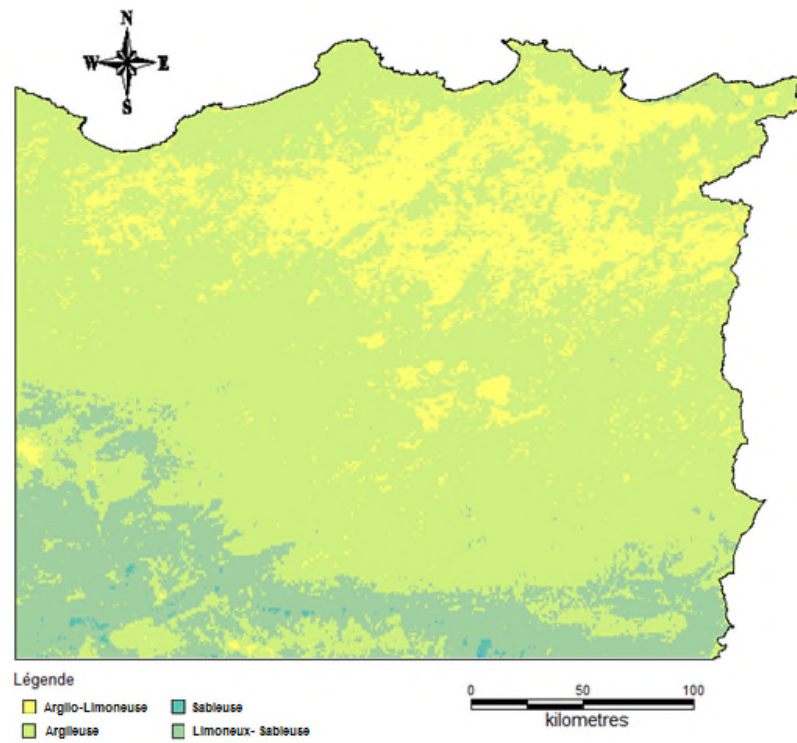


Figure 11 : Classes des Textures dans l'Est Algérien.

Les hauts plateaux présentent les valeurs les plus importantes de CEC, ainsi que les montagnes végétalisées, tel que l'atlas Saharien, les plus faibles valeurs du CEC sont localisées principalement dans les textures sableuse au Sud de l'Atlas Saharien (Figure 12).

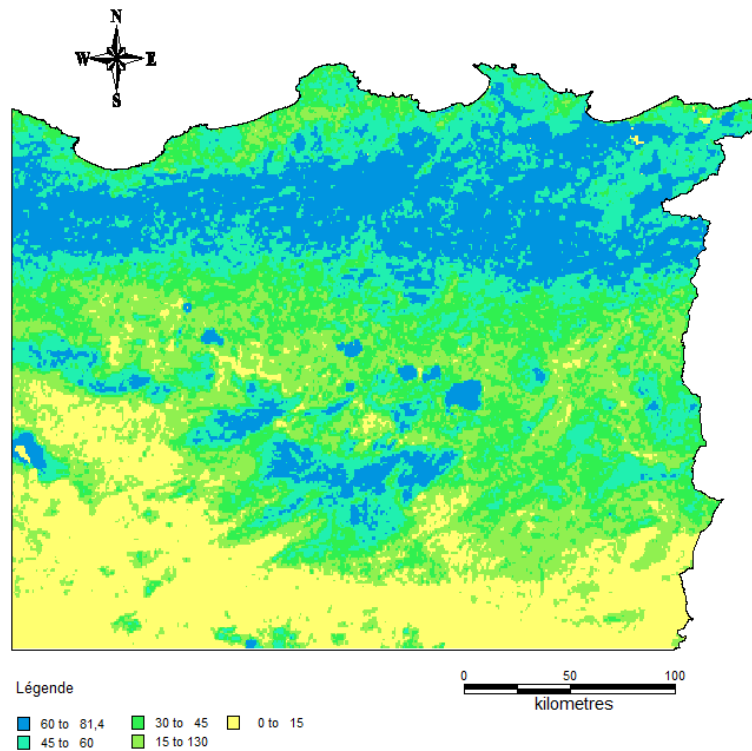


Figure 12 : Carte de capacité d'échange cationique (cmole/kg), dans l'Est Algérien.

Le carbone du sol ou La matière organique du sol représente l'indicateur principal de la qualité des sols, permettant d'appréhender l'activité biologique et représente un très bon indicateur pour apprécier l'évolution de la matière organique dans le sol.

Schématiquement la carte du carbone du sol décrit la répartition du carbone dans l'Est Algérien qui se localise dans les zones de végétation principalement où on peut assister à une dégradation de la matière organique (Figure 13).

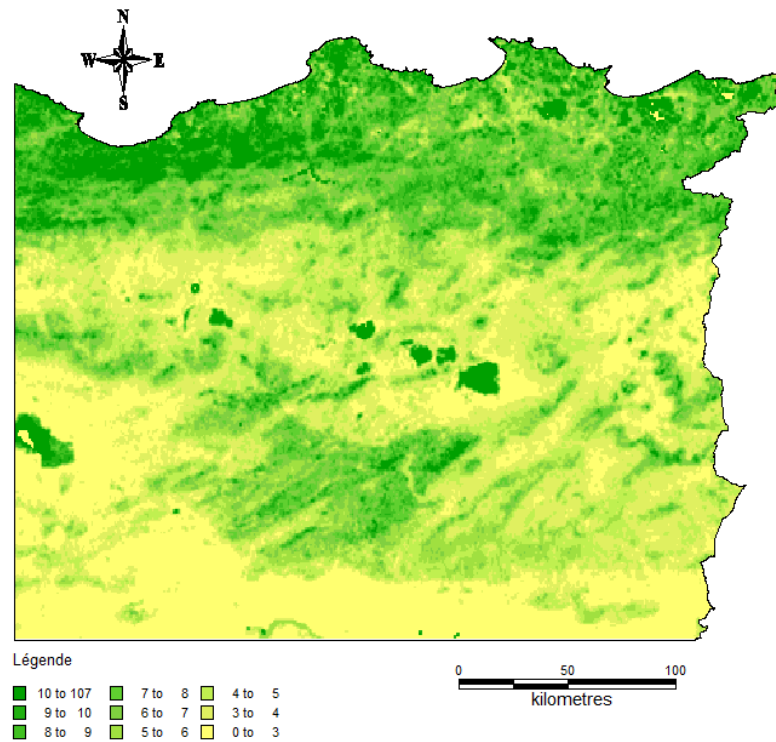


Figure 13 : Carte du carbone organique (g /kg), dans l’Est Algérien.

Lorsque les forces de succion des racines sont inférieures aux forces de rétention d’eau à l’intérieur des pores du sol, la plante ne peut plus puiser d’eau, c’est le point de flétrissement permanent. La carte illustre la distribution spatiale des classes valeurs des points de flétrissements dans l’Est Algérien décrivant une très faible valeurs dans la partie Nord de la zone d’étude et les valeur importante dans les zone à texture sableuse à limoneuse(Figure 14).

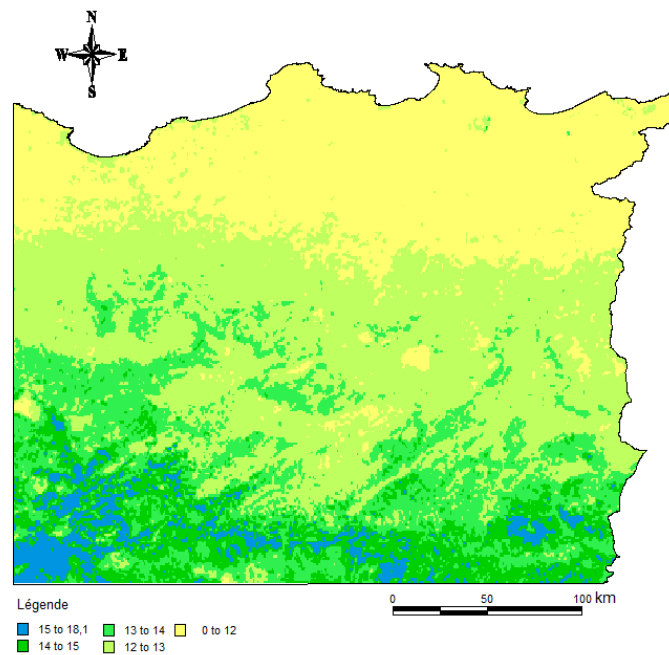


Figure 14 : Carte du point de flétrissement (à -1500 KP en mm/m³), des sols dans l'Est Algérien.

La capacité au champ est la capacité maximale d'un sol à emmagasiner de l'eau. Enfin lorsque le sol est saturé en eau, que la totalité des pores du sol sont remplis d'eau et qu'il n'y a plus d'air, le taux de remplissage de la RU. Elle est d'autant importante lorsque le sol contient des quantités importantes de matière organique notamment dans les sols argileux. La distribution spatiale des valeurs les plus élevées se localise principalement dans les hauts plateaux et les hautes plaines littorales, les valeurs modérées se situent dans les régions montagneuses et les valeurs faibles dans le Sud de l'Atlas Saharien (Figure 15).

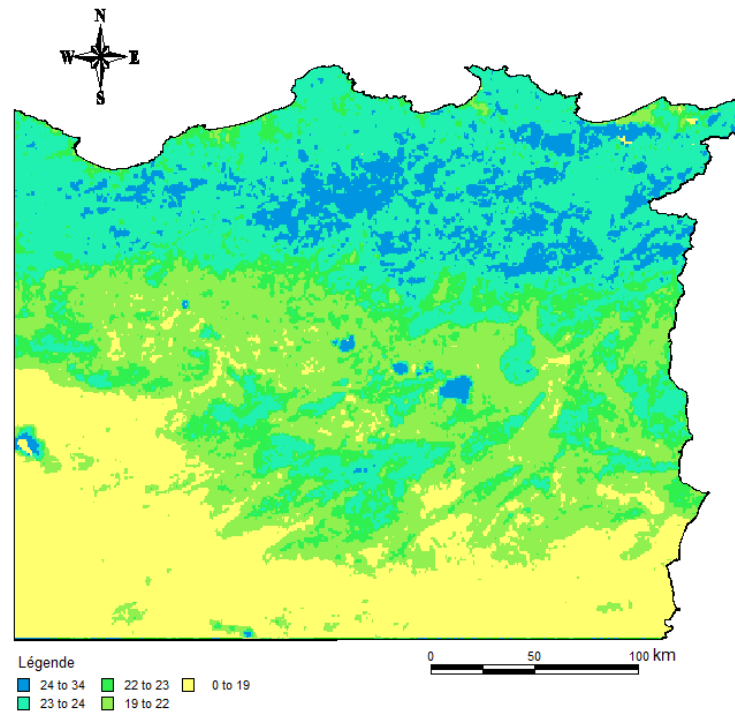


Figure 15 : Carte de capacité au champ (à -33 KP en mm³), dans l'Est Algérien.

La figure suivante représente une approche de spatialisation de la distribution de la capacité maximale que le sol peut contenir dans l'Est Algérien, l'évaluation d'un tel paramètre nécessitant l'intégration de plusieurs facteurs édaphiques contrôlant la capacité de rétention d'eau dans le sol. La carte montre une distribution de la capacité de stockage de l'eau du sol, qui semble logique avec la réalité du terrain dans l'Est Algérien (Figure 16).

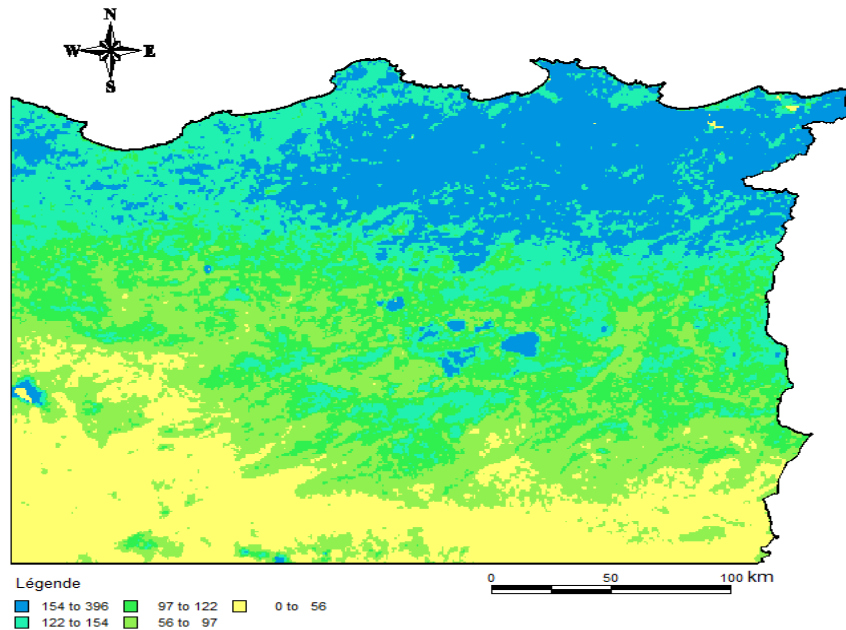


Figure 16 : Carte de la réserve utile maximale RUM (mm/m³), dans l'Est Algérien.

2. Discussion

Les sols chimiquement riches, et riche en limon constituent un milieu imperméable et mal aéré, formant obstacle à la pénétration des racines ; travail du sol difficile, en raison de la forte plasticité, ou de la compacité. Une bonne structure favorisée par l'humification corrige en partie ces propriétés défavorables (USDA, 1954).

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 du sol, pour laquelle elle est une bonne indicatrice (Gobat *et al.*, 2010).

La Capacité d'échange cationique résulte des charges électriques négatives situées à la surface des argiles et des matières organiques. Les sols à texture sableuse sont pauvre en éléments nutritifs et présentent une faible capacité d'échange cationique. La proportion d'argile influence la formation du complexe argilo-humique, d'où la capacité d'échange cationique élever ainsi que la fertilité et la profondeur d'enracinement.

L'humidité du sol est reconnue comme étant un des plus importants facteurs écologiques pour la croissance des espèces, influençant de nombreux paramètres dont la photosynthèse ou l'activité microbienne au niveau du sol (**Durner et Zipprich, 2002; Zheng et al., 1996**).

L'humidité du sol, définie comme étant l'eau contenue dans un sol non saturée (**Chow et al., 1988**). Considérer comme est un paramètre clé du cycle de l'eau pour la modélisation hydrologique et la planification agricole. En gestion de l'eau, le paramètre d'humidité de surface du sol est primordial puisqu'il joue un rôle crucial dans les différents processus hydrologiques (**Banton et al., 1997**). Ce paramètre du système climatique influence aussi la structure de la couche frontière planétaire et les flux de chaleur, puisqu'il contrôle les processus d'interactions entre la surface terrestre et l'atmosphère, comme l'infiltration, la rétention, le ruissellement, la percolation et l'évapotranspiration (**Bandara et al., 2014; Pierdicca et al., 2014; Seneviratne et al., 2010**). L'humidité du sol provient du processus d'infiltration de l'eau de surface à travers le sol, et est extraite par évapotranspiration à mesure que le sol s'assèche (**Chow et al., 1988**). L'humidité du sol influence à la fois la teneur en eau globale et les transferts d'énergie puisque ce paramètre contrôle la redistribution de la pluie (**Pierdicca et al., 2014**). Le rôle de l'humidité du sol située dans les premiers 1-2 mètres de la surface de la Terre a été reconnu comme étant une variable clé dans de nombreuses études environnementales, en météorologie, hydrologie, agriculture et changement climatique. C'est pourquoi il est primordial de faire une estimation spatiale des variations de l'humidité des sols (**Wang et Qu, 2009**).

La réserve utile maximale des sols (RUM) représente la quantité d'eau maximale qu'un sol peut stocker et qui peut être utilisée par la plante. Il s'agit donc d'un composant essentiel du bilan hydrique, mais c'est aussi un des facteurs les plus difficiles à évaluer, du fait du manque de données (**Vanderlinden et al., 2005**), son estimation demande de coûteuses analyses en laboratoire (**Wosten et al., 1999**) ou la mise en place de dispositif assez complexe de mesures d'humidité des sols. Cependant nous utilisant les données SoilGrid à résolution kilométrique. La réserve utile est la différence entre l'eau contenue dans le sol à la capacité au champ et l'eau contenue dans le sol au point de flétrissement, elle varie d'un sol à l'autre, elle correspond à une lame d'eau contenue dans une épaisseur unitaire de sol et est exprimée généralement en mm/m.

L'équilibre hydrique du sol est directement lié à la végétation, une quantité suffisante d'eau du sol favorise le développement et le maintien des activités vitales de la plante, tandis qu'une diminution de cette quantité peut entraîner le stress et la mort postérieure de la plante.

Conclusion

Conclusion

L'ensemble des indicateurs évoqués dans ce manuscrit ont pour objectif d'appréhender la qualité et la fertilité des sols et l'adéquation des sols à accueillir de la végétation, du point de vue agro-écologique. L'équilibre hydrique du sol est directement lié à la végétation, une quantité suffisante d'eau du sol favorise le développement et le maintien des activités vitales de la plante, tandis qu'une réduction de cette quantité peut entraîner le stress, le dépérissement ou la mort subséquente de la plante. La disponibilité de l'eau du sol est un défi pour les gestionnaires. Toutefois connaître la distribution spatiale de la capacité de rétention d'eau dans le sol notamment dans les zones arides et semi-arides, permet l'établissement de stratégies de gestion pour les activités agricoles et les zones forestières et toutes les ressources naturelles qui concernent l'intérêt de l'homme.

Résumé

Il existe toujours des conditions plus ou moins favorables à l'existence d'une végétation adaptée aux conditions du milieu. Donc le sol exerce une influence sélective sur la végétation et inversement la végétation influence le sol et contribue à son évolution.

L'objectif de cette étude est de présenter la notion des sols agro-écologique, et de l'appliquer sur la carte des sols du L'Est Algérien, issu de la base de données des sols mondiale SoilGrid1km, établi par des donnée édaphique.

La méthodologie utilisée est basée sur classification des indicateurs physico-chimiques du sol afin d'appréhender la qualité et la fertilité des sols et l'adéquation des sols à accueillir de la végétation.

Mots clés : Agro-écologie, végétation, sol, Est Algérien, SoilGrid1km.

Summary

There are still conditions more or less favorable to the existence of a vegetation adapted to the conditions of the environment. So the soil exerts a selective influence on the vegetation and .conversely the vegetation influences the soil and contributes to its evolution

The objective of this study is to present the notion of agroecological soils, and to apply it to the soil map of eastern Algeria, derived from the SoilGrid1km global soil database, .established by edaphic data

The methodology used is based on the classification of soil physico-chemical indicators in order to understand the quality and fertility of soils and the suitability of soils to accommodate .vegetation

Keywords : Agro-ecology, vegetation, soil, Algerian East, SoilGrid1km.

ملخص

لا تزال الهناك ظروف وأكثر أو أقل ملائمة لوجود نباتات تتكيف مع ظروف البيئة. وبالتالي فإن التربة بتأثير انتقائياً على الغطاء النباتي وعلى العكس من ذلك، تؤثر النباتات على التربة وتساهم في تطورها. الهدف من هذه الدراسة هو تقديم فكرة التربة الإيكولوجية الزراعية وتطبيقها على خريطة التربة في شرق الجزائر، والمستمدة من قاعدة بيانات التربة العالمية للتربة على طول كيلومتر واحد، والتي تم إنشاؤها بواسطة البيانات السيئة. تعتمد المنهجية المستخدمة على تصنيف المؤشر الفيزيائي والكيميائي للتربة من أجل فهم نوع خصوبة التربة ومدى ملائمة التربة لاستيعاب النباتات.

Référence bibliothèque :

(1) <http://www.isric.org/explore/soilgrids>

A.N.R.H. (1993). Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, grapune notice de 49 p.), Ministère de l'Équipement, Alger, Ed. I.N.C.

Abdessemed, K. (1981). Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans les massifs de l'Aurès et du Bélezma. Etude phytosociologique, problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse Doc. Ing. Univ. Aix-Marseille, 200p. Alger (sans notice)

Allan DL, Adriano DC, Bezdizek DF, Cline RG, Coleman DC, Doran JW, Haberern J, Harris RG, Juo ASR, Mausbach GA, Peterson GA, Schuman GE, Singer MJ, Karlen DL .(1995). SSSA statment on soilquality. p.7. June 1995. In Agronomy news, ASA, Madison, WI.

Allegri, A. (1981). Il Museo Paolo Gorini. USSSL, Lodi, 19902, 161-177.

Baize ,D .(2010) . Tenure totales en plomb en fonction de la profondeur dans les sols « nature » .le point de vue de un pédologue .Archéométrie, (34), 1276-135

Baize , D .(2000). Tenure totales en « métaux lourde » dans sols fraincais : résultats généraux du programme ASPITET.

Bandara, J. S., & Cai, Y. (2014). The impact of climate change on foodcrop productivity, foodprices and foodsecurity in South Asia. Economic Analysis and Policy, 44(4), 451-465.

Banton, O., M-A. Cimon, and M-K. Seguin. "Mappingfield-scale physical properties of soil with electrical resistivity." Soil Science Society of America Journal 61.4 (1997): 1010-1017.

Benaomar A . (2010). Etude des processus d'adsorption et de désorption de produits phytosanitaires dans des sols calcaires, Thèse de doctorat de l'Université de Reims Champagne-Ardenne, Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Santé, Discipline : Chimie de l'environnement

Blair JM, Bohlen PJ, Freckman DW.(1996) .Soil invertebrates as indicators of soil quality. In: Doran JW and Jones AJ, eds). Methods for assessing soil quality. Special Publication 49. SSSA. Madison USA. pp. 273-191. ISBN. 0-89118-826-6.

Blanc Denise .(1987) . les cultures hors sol .Editions Quae .page 18

Calvet R . (2003). Le Sol propriétés et fonction: Tom I et II. Ed Dunod. El Arfaoui

Calvet R.(2000). Le sol propriétés et fonctions, constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Tome 1. Edition France Agricole. Paris (France), 83-90. Thèse : Biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le microbiote tellurique de la cartographie, utilisation, Dunod, Ed savoirs, Paris, 399p.

Chaumontet Paquin C. (1971). Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500 000 (4 feuilles et notice), Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, Alger.

Chaumont et paquin C. (1971). Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500 000 (4 feuilles et notice), Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, Alger .

Chenu C., Balabane M .(2001). Matières organiques et activités biologiques des sols communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhiziens) et les

Chermat, S .(1998) . Les étages de végétation en Algérie nord orientale : approche phytosociologique. Tome 1. Thèse de magistère, univ de Ferhat Abbas, Sétif. 112p.

Chermat, S. (1998). Les étages de végétation en Algérie nord orientale : approche phytosociologie. Tome 1. Thèse de magistère, univ de Ferhat Abbas, Sétif. 112p.

Chow, W.S., Jan M. Anderson, and A. B. Hope. "Variable stoichiometries of photosystem II to photosystem I reaction centres." *Photosynthesis research* 17.3 (1988): 277-281.

Cote M. (1983). L'espace Algérien les prémices d'un aménagement. 21p.

Cote M.,(1996) . L'Algérie, espace et société, Paris, Masson -Armand Colin, 253 p.

Cultivés: Une approche des matières organiques par leurs fonctions, Perspectives Agricoles, n°272, pp. 42-45 de la France). Thèse de Doctorat. Université de Paris 6 (France)

Delaunois, L., & Michaux, J. L. (1976). A propos d'un cas de leishmaniose viscérale observée en Belgique. *Acta Clinica Belgica*, 31(6), 343-347.

Denise Blanc les cultures hors sol par denise blanc. page 18

Derouiche, G., 2007. Les risques climatiques et agriculture algérienne, Communication (B.N.E.D.E.R Algérie), p12.

Dick RP. (1997). Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In : *Biological indicators of soil health*. (eds C. Pankurst et al.), pp. 121-156. CAB International, New York.

Djebaili S., et al. (1983). Carte de l'occupation des terres, carte pastorale de l'Algérie, notice. *Biocénoses*, 2, 1-2, 132.

Doran JW, Linn DM. (1994). Microbial ecology of conservation management systems. In : *Soil Biology: effect on soil quality*. (eds JL Hatfield, BA Stewart). pp. 1-27. Lewis Publ., Boca Raton, FL.

Doran JW, Safley. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity, In : *Biological indicators of soil health*. (eds Pankhurst CE, Doube BM, Gupta WSR), pp. 1-28. CAB International, NY

Doran JW, Sarrantonio M, Liebig MA. (1996). Soil health and sustainability. *Advance Agronomy* 56:2-54

Doran JW, Zeiss MR. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15:3-11.

Duchaufour Ph. (1977). Pédologie. Pédogénèse et classification. Masson Paris.

Dutartre P., Bartoli F et Portal JM. (1993). Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. *Geoderma* 56, 459-478.

Eijsackers H. (1982) .Soilfauna and soilmicroflora as possible indicators of soil pollution. Environmental Monitoring Assessment 3:307-316

Elzein et Balesdent. (1995) . Gestion du patrimoine organique des sols viticoles, 2008, ENTAV-ITV.

FAO. (2005). Utilisation des engrais par culture en Algérie.56p

Frontier S., et Pichod-Viale D.(1995).Ecosystemes. Structure, fonctionnement,

Fustec-Mathon E., Righi D., Jambu P. (1975). Influence des Bétumes extraits de podzolshumique hydromorphes des landes du Médoc sur la microflore tellurique, Rev. Ecol. Biol.Sol, 12pp393-404.

Gausse H. (1948) .Carte des précipitations de l'Algérie (moyenne 1913-47), échelle 1/ 500 000 (4 feuilles), I.G.N., Paris.

Gobat M. J., Aragnon M. et Matthey W. (2010). Le sol vivant : Bases de pédologieBiologie des sols 3eme édit, presses polytechniques et Universitaires Romandes, 817p.

Gobat, J.-M., Aragno, M. &Matthey, W. (2010). Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols: PPUR Presses polytechniques

Hengl, T., de Jesus, J. M., Heuvelink, G. B., Gonzalez, M. R., Kilibarda, M., Blagotić, A., ... & Guevara, M. A. (2017). SoilGrids250m: Global griddedsoil information based on machine learning. PLoS one, 12(2), e0169748.

Halitim A. (1988). Sols des régions arides. OPU, Alger, 384p.

Huang, X., von Rad, U., &Durner, J. (2002).Nitricoxideinducestranscriptional activation of the nitricoxide-tolerant alternative oxidase in Arabidopsis suspension cells. Planta, 215(6), 914-923.

Huddleston JH. (1984) .Development and use of soilproductivity ratings in the United States. Geoderma 32:297- 317

Jambu P., Coulibaly G., Bilong P., Magnoux P. et Amblès A. (1983) . Influence of lipids onphysicalproperties of soils. Studies about Humus, Humus & Planta VIIIEd.), 1, 46-50.

- Kadi Hanifi H. (1998).** L'alfa en Algérie. Thèse Doct. Science. USTHB, Alger, 270p
- Karlen D, Eash NS, Unger PW. (1992).** Soil and crop management effects on soil quality indicators. American Journal of Alternative Agriculture 7:48-55.
- Karlen DC, Mausbach MJ, Doran JW, Clire RG, Harris RF, Schuman GE. (1997).** Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of American Journal 61:4-10.
- Kuida, K., Zheng, T. S., Na, S., Kuan, C. Y., Yang, D., Karasuyama, H., ... & Flavell, R. A. (1996).** Decreased apoptosis in the brain and premature lethality in CPP32-deficient mice. Nature, 384(6607), 368.
- Laala A. (2016).** Cartographie de la variabilité thermique des écosystèmes forestiers de l'Est algérien. Thèse doctorat en Ecologie végétale. Université Mentouri Constantine.
- Laboubée C. 2007 .** Retour au sol des matières organiques nécessaire a leur maintien en etaten sols agricoles. Rapport de stage, institut de végétale, Arvalis.
- Lahlou S., Ouadia M., Le Bissonnais Y. et Mrabet R. (2005).** Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zone semi- aride Marocaine. Etude et Gestion des sols 12 : 69-76.
- Laurent J.P. (2010).** Estimation de l'état hydrique des sols en Afrique de l'ouest par
- LCA.(2008).** Guide pratique : comprendre et utiliser les analyses agro-environnementales.
- Marre A. (1987).** Etude géomorphologique du tell oriental algérien : de Collo à la frontière Tunisienne. O.P.U, Tome 1, Thèse de Doctorat : Université. Aix Marseille II.411p.
- Massenet (2013) Jean –Yves MASSENET (2013) :** propriétés physiques du sol
- Mate. (2000).** Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. 465p.
- Mate. (2003) .**Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, pp 465.
- Mate. (2003) .**Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, pp 465.

Mazoyer M, Roudart L. (1997). Histoire des agriculture du monde : du néolithique à la crise contemporaine. Edition du seuil, Paris, 533p.

Mebarki A. (2005). Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eaux, aménagement et environnement thèse doc UnivMentouri Constantine; pp 349.

Mebarki Azzedine. (2005). Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eaux, aménagement et environnement thes doc UnivMnetouri ; pp 349.

Mebarki Azzedine. (2005). Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eaux, aménagement et environnement thes doc UnivMnetouri ; pp 349.

Michel C, Schwarts G. C, Jabiol B. (2011) .Etude des sols, description,

Moey J. (2009) . The Soil Texture Wizard. R functions for plotting, classifying and transformingsoil texture data. Pedometron. pages 7 - 10. <http://www.pedometrics.org/Pedometron/pedometron28.pdf>

Moey J. (2009) . The Soil Texture Wizard. R functions for plotting, classifying and transformingsoil texture data. Pedometron. pages 7 - 10. <http://www.pedometrics.org/Pedometron/pedometron28.pdf>

Nedjraoui. D.(2000).profil fourrager « Algérie » Rapport pp35. <http://vwww.fao.org/Ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/Algeria/Algerie.htm>

nématodesbactériveres: effet sur la nutrition minérale et la croissance de différentesplantes.

Ozenda . (1989) . Le déplacement vertical des étages de végétation en fonction da la latitude un modelé simple et ses limites. Bull. Soc. Géol. Fr, (8), V, (3) :535-540

Paul E. A. & Clark F, E .(1996) . Soil microbiology and biochemistry. 2nd edition. Academic Press. San Diego, California (USA), 340

Paul EA.(2000).SoilBiology and Biochemistry. In : Handbook of Soil Science (edSummer ME), pp. C1-C9. CRC Press, Boca Raton.

Pierdicca, Nazzareno, et al. "SAVERS: A simulator of GNSS reflectionsfrombare and vegetatedsoils." IEEE Transactions on Geoscience and RemoteSensing 52.10 (2014): 6542-6554.

Pohl, K., Böckle, G., & van Der Linden, F. J. (2005). Software product line engineering: foundations, principles and techniques. Springer Science & Business Media.

Qu, C., Bai, Y., Jin, X., Wang, Y., Zhang, K., You, J., & Zhang, H. (2009). Study on ginsenosides in different parts and ages of *Panax quinquefolius* L. Food Chemistry, 115(1), 340-346.

Quénéa K. (2004). Étude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organiques réfractaires de sols d'une chrono séquence forêt/maïs (CESTAS, Sudouest de la France).

Robert, M. (1996). Le Sol: interface dans l'environnement: ressource pour le développement. Paris.

Scheiner J D. (2005). Spéciation du carbone, de l'azote et du phosphore de différentes boues de stations d'épurations au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol. Thèse de doctorat en agronomie. INP Toulouse, 218 p.

Schoeller H. (1955). « hydrologéologie ». Ecole Nat. Sop. Pétrole, technique, paris, 2 : 443p

Schoenholtz, SH ,Vaniegroet, H.et burger ,JA .(2000) . Examen des propriétés chimiques et physique en tant que inducteurs de la qualité des sol forestières : défis et opportunités. E Wösten, Han AB, Monika Richter, and Joanne M. Willey. "Structural proteins involved in emergence of microbial aerial hyphae." Fungal Genetics and Biology 27.2-3 (1999): 153-160.

Schoenholtz, SH ,Vaniegroet, H.et burger ,JA .(2000) . Examen des propriétés chimiques et physique en tant que inducteurs de la qualité des sol forestières : défis et opportunités. Ecologie et gestion forestières, 138(1-3), p 335-356.

Seltzer P. (1946). Le climat de l'Algérie, Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, 219 p.

Seltzer P., 1946 ; Gaussen H., 1948 ; Chaumont M. et Paquin C., 1971 ; A.N.R.H., 1993 SELTZER P.(1946) . Le climat de l'Algérie, Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, 219 p.

Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... &Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99(3-4), 125-161.

Soulas G., Codaccioni P. and Fournier J.C.(1983). Effect of cross treatment on the subsequent breakdown of 2,4-D, MCPA and 2,4,5-T in the soil. Behaviour of the degrading microbial populations. *Chemosphere*, 12 (7/8): 1101-1106.). Biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le microbiote tellurique de la région de Hamla (Batna)

Tabet S. (2008). Le changement climatique en Algérie Orientale et ses conséquences sur la végétation forestière. Mémoire de Magistère en Ecologie végétale. Université Mentouri Constantine .

Tran X-T. (2010). Estimation de l'état hydrique des sols en Afrique de l'ouest par télédétection spatiale. Thèse de doctorat de science de la terre, Université de Grenoble, 197p.

USDA. (1996). Indicators for soil quality evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service, April 1996. www.nssc.nrcs.usda.gov

Wiemhöfer, H. D., Bremes, H. G., Nigge, U., & Zipprich, W. (2002). Studies of ionic transport and oxygen exchange on oxide materials for electrochemical gas sensors. *Solid State Ionics*, 150(1-2), 63-77.

Wojterski, T. W. (1985). Guide de l'excursion internationale de Phytosociologie. Algérie du Nord. Institut National Agronomique, El Harrach.