

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du

Diplôme de Master en Sciences biologiques

Option : Environnement et sécurité alimentaire

Thème



*Effet de compost sur l'évolution de la
rétention en eau à la capacité au
champ d'un sol argileux*

Présenté par :

M^{elle} BOUCHIBA Siham

M^{elle} BOUGUETOUCHE Yasmina

Devant le jury :

Président : Mr. BOULILA A/G, Maître assistant, Université de Bejaia

Promoteur : Mr. SIDI H., Maître de conférences, Université de Bejaia

Examineurs : Mr. LAIMOUCHE A/H., Maître assistant, Université de Bejaia

Mr. HAMLAT M., Maître assistant, Université de Bejaia

Promotion 2014

*Remerciement et
Dédicaces*



Remerciement

Nous tenons à remercier en premier lieu dieu le tous puissant de nous avoir donné courage et santé pour achever ce travail.

Un grand remerciement à notre promoteur Mr SIDI H. Pour ses valeureux orientations, qui beaucoup enrichi ce travail.

Que nos vifs remerciements aillent à Mr BOULILA ABD EL GHANI qui nous fait l'honneur de présider l'honorable jury, et Mr LIAMOUCHE ABD EL HFID. Et Mr HAMLAT MORAD. pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions également l'équipe du laboratoire de recherche d'écologie et environnement (Mr MORAD, Mm SAMIRA).

Nous adressons nos vifs et sincères remerciements à Mr BENHAMICHE N, pour ses conseils.

Pour terminer, nous remercions toutes les personnes qui ont participées, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail ; un grand merci à tous.

Yasmina et siham





Dédicaces

Je dédie du fond de mon cœur ce modeste travail :

✚ *Aux personnes les plus chères du monde, ma mère et mon père qui sont la lumière de ma réussite.*

✚ *A mes frères Walid et Houssam et mes sœurs Linda, Mounira, et Wiam.*

✚ *A mes sœurs en Dieu Nacera, wouiza, Hassina, Siham, karima, Hadjer, Fazia, Assia, Nassima, Meriem, Samia, Chafiaa,...etc.*

✚ *A toute ma famille.*

✚ *A tous mes amies et ma cher chère amie et binôme : Siham*

✚ *A tous mes enseignants.*

✚ *A tous les étudiants de l'université de Bejaïa, particulièrement Ceux de la section écologie et environnement.*

✚ *A Tous ceux que je connais et qui me connaissent et tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

Yasmina





Dédicaces

Au nom de dieu le tout puissant

Je dédie ce modeste travail :

- ✿ *Mes très chers parents, dont ce travail constitue une légère compensation pour tous leurs nobles sacrifices afin d'assurer mon bien être et mon éducation, Que Dieu les protèges et les gardent en bonne santé ;*
- ✿ *A mes grands parents*
- ✿ *A mes très chers sœurs : Zohra, Wassila, Souâd ;*
- ✿ *A mes très chers Frères : khallef, Hamza, Abdelhakim ;*
- ✿ *A ma nièce : Cerine et mon petit neveux Aïssa ;*
- ✿ *A mes Chers amies : Leïla, Saïda, Sara, Lila, Soraya, Karima, Razika ;*
- ✿ *A ma cher amie et binôme : Yasmïn ;*
- ✿ *A Mes collègues du groupe du labo Meriem, Souhila ;*
- ✿ *Tous mes collègues de la promotion M2 Environnement et Sécurité Alimentaire ;*
- ✿ *Et à tous ceux qui me connaissent et compte sur moi ;*

SIHAM



Liste des tableaux

Tableau I : Les classes granulométriques du sol	06
Tableau II : Classification des porosités.....	07
Tableau III : Les précipitations moyennes mensuelles de la station de Bejaia (1978 - 2012).....	29
Tableau IV : Moyennes des températures mensuelles de la station de Bejaia (1978 /2012).	29
Tableau V : Les moyennes mensuelles de l'humidité de la Région de Bejaïa (2009-2013)..	30
Tableau VI : la vitesse moyenne de vent en m/s de la région de Bejaia (1993-2013).....	30
Tableau VII : Notation des prélèvements	39
Tableau VIII : Rétention à la capacité au champ en fonction des doses de compost durant le 1 ^{er} mois.....	41
Tableau IX : Rétention à la capacité au champ en fonction des doses de compost après le 2 ^{ème} mois.....	42

.

Liste des figures

Figure 01 : Etat de l'eau dans le sol	10
Figure 02 : Représentation structurale d'un minéral argileux de type TO.....	14
Figure 03 : Représentation structurale d'un minéral argileux de type TOT	15
Figure 04 : Mécanismes des causes de gonflement.....	18
Figure 05 : Situation géographique de zone d'étude.....	26
Figure 06: photo représente le compost.....	19
Figure 07 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	31
Figure 08 : Situation bioclimatique de la région de Bejaia sur le Climagramme D'EMBERGER modifié par Stewart en 1969.....	33
Figure 09: Photo représente le compost utilisé.....	34
Figure 10: Photo représente terre étalée pour séchage	35
Figure 11: Photo représente terre tamisée à 2mm	35
Figure 12: Compost a l'air libre	35
Figure 13: Compost tamisé (0,5 et 2mm)	35
Figure 14: Représentation du mélange terre /compost.....	36
Figure 15: Pots du premier mois	37
Figure 16: Pots du deuxième mois	37
Figure 17 : Rétenion à la capacité au champ en fonction des doses de compost durant le 1 ^{er} mois.....	41
Figure 18 : Rétenion à la capacité au champ en fonction des doses de compost durant le 2 ^{ème} mois.....	42

Figure 19 : Comparaison des évolutions moyennes de la rétention d'eau à la capacité au champ entre 1 mois et 2 mois d'expérimentation.....44

Liste des abreviations

H.C.C. : Humidité à la Capacité au Champ.

INRAA: Institut National de la Recherche Agricole Algérien.

M. Org : Matière Organique

P : Précipitations.

O : Une couche d'octaèdres d'aluminium.

PF : Point de Flétrissement.

pF : Potentiel matriciel.

pH : Potentiel Hydrogène.

Q₂ : Quotient pluviothermique d'Emberger.

R.U : Réserve Utile.

T : Température.

T : Représente une couche de tétraèdres de silicium.

Sommaire

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Liste des abréviations

Introduction.....01

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1. LE SOL.....03

I.1.1. Définition04

I.1.2 .Principaux constituants des sols.....04

I.1.2.1. Fraction minérale.....04

I.1.2.2. Fraction organique.....05

I.1.3. Propriétés physiques.....05

I.1.3.1. La texture05

I.1.3.2. La structure du sol06

I.1.3. 3. La porosité.....06

I.1.3.4. La perméabilité du sol.....08

I.2. L'EAU DANS LE SOL.....08

I.2.1. Les états de l'eau dans le sol.....08

I.2.1.1. L'eau de gravité.....09

I.2.1.2. L'eau de capillarité.....09

I.2.1.3. L'eau hygroscopique (eau inutilisable par les plantes).....09

I.2.2. Les humidités remarquables dans le sol.....09

I.2.2.1. Humidité à la capacité au champ	09
I.2.2.2. L'humidité au point de flétrissement.....	10
I.2.2.3. La réserve utile du sol.....	10
I.2.3. Les facteurs qui influent sur la rétention de l'eau à la capacité au champ.....	11
I.2.3.1. La texture du sol.....	11
I.2.3.2. La teneur en matière organique.....	12
I.2.3.3. La profondeur d'humidification et l'humidité préexistante.....	12
I.2.3.4. La présence d'obstacle dans le profil.....	12
I.2.3.5. L'évapotranspiration.....	13
I.3. LES ARGILES.....	13
I.3.1. Définition.....	13
I.3.2. Les différents types d'argiles.....	13
I.3.2.1. Les minéraux argileux TO.....	14
I.3.2.2. Les minéraux argileux TOT.....	15
I.3.2. Structure d'une argile.....	15
I.3.3. Texture d'une argile.....	16
I.3.4. Interactions physico-chimiques entre l'eau et l'argile.....	16
I.3.5. Mécanismes de gonflement/Retrait des argiles.....	17
I.3.5.1. Le Gonflement au sens physico-chimique.....	17
I.4. LE COMPOST.....	19
I.4.1. Les différents types de compost.....	19
I.4.1.1. Les composts d'origine urbaine.....	20
I.4.1.2. Déchets verts.....	21
I.4.1.3. Ordures ménagères.....	21
I.4.1.4. Ordures ménagères résiduelles.....	21

I.4.1.5. Fraction fermentescible.....	21
I.4.1.6. Boues de stations d'épuration urbaines.....	21
I.4.2. Les micro-organismes du compost.....	22
I.4. 2.1.Les bactéries.....	22
I.4.2.2. Les champignons.....	23
I.4.2.2. Les macro- organismes du compost.....	24
I.4.3. Les Avantages du compost.....	24
I.4.3.1. Effets sur les caractéristiques physico-chimiques du sol.....	24
I.2.4.2. Effets sur la biologie.....	25

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	26
II.2. GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE.....	27
II. 3. CARACTERISTIQUE DU SITED'ECHANTILLONNAGE.....	28
II.4. LE CLIMAT.....	28
II.4.1. Pluviométrie.....	29
II.4.2. Température.....	30
II.4.3. L'humidité.....	31
II.4.4. Le vent.....	31
II.4.5. Synthèse climatique.....	32

Chapitre III : matériels et méthodes

III.1. MATERIEL ET METHODE.....	34
III.2. L'ECHANTILLONNAGE.....	34
III.2.1. Choix des parcelles.....	34

III.2.2 Echantillonnage du sol.....	34
III.2.3. Echantillonnage de la matière organique (compost).....	34
III.3. PREPARATION DES ECHANTILLONS.....	35
III.3.1. Les échantillons de terre.....	35
III.3.2. La matière organique(le compost).....	35
III.3.3. Le mélange terre /Matière organique.....	36
III.4. DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	36
III.4.1. Présentation du dispositif.....	36
III.4.2. Notation des échantillons.....	37
III.5. METHODES D'ANALYSE.....	38
III.5.1. Mesure de l'humidité à la capacité au champ.....	38

Chapitre IV: Résultats et Discussions

IV.1. LES RESULTATS OBTENUS.....	42
IV.1.1. Rétention de l'eau à la capacité au champ à 1 mois d'expérimentation	42
IV.1.2. Rétention de l'eau à la capacité au champ à 2 mois d'expérimentation.....	42
IV.2. INTERPRETATION DES RESULTATS.....	43
IV.2.1. Rétention de l'eau à la capacité au champ à 1 mois d'expérimentation	45
IV.2.2. Rétention de l'eau à la capacité au champ à 2 mois d'expérimentation	45
IV.2.3. Comparaison de l'évolution de la capacité au champ après 1 mois et 2mois	46

CONCLUSION

Conclusion.....	47
Références bibliographiques	

Introduction

Introduction

Le sol est un milieu minéral et vivant, c'est un milieu organisé, caractérisé par des niveaux d'organisation d'âge pluri-millénaires, issus de la pédogenèse, auxquels se surimposent des niveaux d'organisation qui sont liés à l'usage du sol et qui varient à l'échelle de l'année. Les caractéristiques physico-chimiques du sol sont aussi aisément affectées, et parfois même de façon irréversible, par les pratiques agricoles. Le sol est par conséquent une ressource non renouvelable et fragile qu'il faudra encore mieux connaître pour mieux maîtriser l'utilisation que nous en faisons (Stengel *et al.*, 2009).

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 son évolution spatiotemporelle est primordiale dans de nombreuses disciplines des sciences de l'environnement, telles que l'agronomie, l'hydrologie et la météorologie (Vauclin, 1983).

L'apport de produits organiques dans le sol est une pratique très ancienne agriculture. Cette matière est une ressource principale, permettant à l'agriculteur d'améliorer la fertilité du sol pour produire de la biomasse végétale. La découverte des engrais de synthèse va réduire le recours à cette matière organique, au point qu'elle soit dans certains cas jugée aujourd'hui d'excédentaire. Pourtant, l'effet des matières organiques apportées ne se résume pas à une quantité d'éléments minéraux disponibles pour les plantes. Leur spectre d'action des propriétés physiques aux propriétés chimiques et biologiques du sol est large et complexe, ce qui explique pourquoi de nombreux travaux scientifiques s'y intéressent jusqu'à aujourd'hui (Abiven, 2004).

Une étude bibliographique faite par Hudson (1994) montre que la matière organique augmente la capacité de rétention du sol d'une manière significative et par la

suite sa réserve utile. Il a été observé que l'augmentation de la rétention en eau du sol avec sa teneur en matière organique est plus importante à la capacité au champ.

L'objectif de notre travail est de montrer l'évolution de la rétention d'eau à la capacité au champ d'un sol argileux prélevé à la station INRAA de OUED- GHIR de Bejaia, sous l'effet d'un apport de différentes doses du compost sous forme d'amendement au sol.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres principaux. Le premier est une synthèse bibliographique des travaux intéressant notre travail, le deuxième chapitre nous avons présenté la zone d'étude (géographique, géologique et climatique), et dans le troisième chapitre nous aborderons le matériel d'étude utilisé et les méthodes d'analyse mises en œuvres pour mener à bien cette étude. Nous finirons avec les résultats et interprétation présentés dans le quatrième chapitre, et une conclusion générale.

Chapitre I
Synthèse
bibliographique

I.1. LE SOL

I.1.1. Définition

Il en résulte une définition évolutive naturaliste de l'entité sol : « Le sol est une entité naturelle, c'est-à-dire dont l'existence initiale ne dépend pas de l'homme (Baise et Girard, 1995), superficielle et souvent meuble résultant de la transformation, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants (biosphère), d'un matériau minéral (géosphère) issu le plus souvent d'une roche sous-jacente, sous l'influence des processus physiques, chimiques et biologiques » (Girard *et al.*, 2004). Le sol est l'interface d'échange dynamique à la surface du globe entre l'atmosphère, la biosphère, l'hydrosphère et la géosphère. Il présente la particularité de lier intimement l'organique et le minéral, ce qui lui confère des propriétés émergentes, dépassant la simple addition des propriétés géologiques et biologiques (Gobat *et al.*, 2010).

Le **Solum** est l'échelle d'organisation des horizons du sol, l'unité morphologique qui définit le sol dans son ensemble, de la roche mère sous-jacent à la surface. C'est l'unité morphologique à partir de laquelle il est possible de décrire l'ensemble des caractéristiques pédogénétiques du sol, et donc le type de sol. Il est généralement décrit sur le terrain après l'ouverture de fosses ou de profils qui permettent d'avoir une vision complète du sol à l'échelle métrique dans les trois directions de l'espace, environ un mètre de largeur et jusqu'à deux mètres de profondeur (Hubert, 2006).

L'agrégation est le processus essentiel qui structure le sol, déterminant sa porosité, tant au niveau de la taille des pores que de leur géométrie (connectivité et tortuosité). La première échelle d'agrégation dans le sol est celle des micro-agrégats de quelques dizaines de microns. Les complexes argilo-humiques constituent la structure de base des micro-agrégats qui donne la géométrie de l'espace poral allant du nm au μm (microporosité des sols). La cohésion de ces micro-agrégats est en général assurée par des oxydes-hydroxydes métalliques et des macromolécules organiques. Des particules de la taille des limons et des micro-colonies bactériennes (soudées par des polysaccharides) peuvent aussi être des éléments constitutifs des micro-agrégats. Ces micro-agrégats s'agglomèrent et forment des entités de taille macroscopique, les macro-agrégats ou agrégats structuraux. Ils résultent de l'action conjuguée des cycles d'humectation-dessiccation, de l'activité des racines et de la faune du sol (rôle essentiel des hyphes mycéliens et des vers de terre). En plus des micro-agrégats, les macro-

agrégats peuvent être composés de grains de la taille des sables, de débris de racines ou de feuilles, et d'hyphes mycéliens. Ce niveau d'organisation en macro-agrégats détermine la méso et la macroporosité du sol (Hubert, 2006).

I.1.2. Principaux constituants des sols

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

I.1.2.1. Fraction minérale

La fraction minérale du sol représente l'ensemble des produits de la dégradation physique et chimique de la roche mère. On distingue les minéraux primaires, qui sont hérités de la roche mère, et les minéraux secondaires qui résultent de l'altération des minéraux primaires (Lesaigaoux, 2010).

Les minéraux primaires sont les minéraux silicates qui sont plus ou moins altérables. On trouve, le quartz (silice cristalline) qui est souvent considéré comme inaltérable, et qui est l'élément le plus abondant dans la plupart des roches et des sols ; les silicates, composés d'un assemblage de tétraèdres (silice) et d'octaèdres (alumine), qui peuvent être peu ou très altérables suivant leur structure ; et enfin, éventuellement des minéraux des roches sédimentaires qui jouent un rôle important dans la fertilité du sol (Lesaigaoux, 2010).

Parmi les minéraux secondaires, on trouve les argiles qui sont des silicates d'aluminium plus ou moins hydratés, présentant une structure feuilletée ou fibreuse expliquant réciproquement leurs plasticités et leurs qualités d'absorption. On trouve également les oxyhydroxydes de fer, d'aluminium, de manganèse et de silice, qui restent libres et s'intègrent peu aux feuillets des argiles en assurant les liaisons entre argiles et humus (Lesaigaoux, 2010).

I.1.2.2. Fraction organique

La fraction organique du sol, se compose elle, de matière organique d'origines végétale et animale. La matière organique fraîche constitue la matière première de l'humus. Les molécules qui se décomposent, subissent soit un processus de minéralisation (c'est-à-dire se transforment en composés minéraux solubles ou gazeux) ; soit une humification (c'est-à-dire se renouvellent de façon complexe) pour former l'humus au sens strict (de couleur foncée) l'air à l'intérieur du sol (Lesaignoux, 2010).

I.1.3. Propriétés physiques

I.1.3.1. La texture

La texture, dérivant de la détermination de la composition granulométrique, correspond à la répartition des minéraux par catégories de grosseurs (diamètre, les particules étant supposées sphériques) indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux. La granulométrie fournit donc des renseignements précieux sur la pédogenèse. En effet, son intérêt pratique, concernant l'ensemble des propriétés physique et chimique du sol (rapport du sol et de l'eau aération, complexe absorbant,...) est en liaison étroite avec la texture (Duchaufour, 2001).

L'analyse granulométrique du sol (on dit aussi analyse mécanique) consiste à classer les éléments du sol d'après leur grosseur (tableau I) et à déterminer le pourcentage de chaque fraction (Soltner, 1988). 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).

Tableau I : Les classes granulométriques du sol (Baise, 2000).

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

I.1.3.2. La structure du sol

La structure du sol est une caractéristique fondamentale, en raison de son importance pour l'ensemble du fonctionnement physique du sol (circulation de l'eau, de l'air, évolution de la température...), dont dépendent les conditions de la biocénose. La structure des sols cultivés se définit comme l'ensemble des caractères liés à la disposition spatiale des particules qui constituent le sol ainsi qu'à la nature et à l'intensité des liaisons qui existent entre elles (Stengel *et al.*, 2009).

La forme structurale du sol décrit l'arrangement hétérogène des solides et des vides existant dans le sol en un temps donné. La porosité totale, la distribution des tailles de pores, la continuité du système poreux, l'arrangement des particules solides entre elles, l'organisation des zones de fractures sont des exemples de caractéristiques de forme structurale (Abiven, 2004). En effet, cette caractéristique physique du sol joue un rôle majeur dans le cycle de l'eau et des éléments qui y sont dissous. L'état de surface détermine le risque de ruissellement, la structure des horizons sous-jacents conditionne les transferts vers les racines ou en profondeur. La structure du sol joue également sur la vitesse et l'intensité des échanges.

De nombreuses communautés d'êtres vivants dans le sol voient leur activité très largement influencée par les conditions physiques qui dépendent elles-mêmes fortement de l'état structural du sol (température, teneur en eau, oxygénation). A travers les composantes

physiques, chimiques et biologiques de l'état des sols cultivés sont ainsi intimement liées (Stengel *et al.*, 2009).

I.1.3. 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 II), 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. Selon la taille des pores, elle se subdivise en (Gobat *et al.*, 2010) :

- **Macroposité** : les vides $>50\mu\text{m}$, 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 $50\mu\text{m}$ retenant l'eau utilisable par les plantes.
- **Microposité**, dont les vides inférieurs à $0,2 \mu\text{m}$ retiennent l'eau inutilisable.

Tableau II : Classification des porosités (Schoeller, 1955).

Rayon des pores	Classe	Etat de l'eau
$<0,0001 \text{ mm}$	Microposité	Eau de rétention exclusivement
$0,0001 \text{ à } 2,5 \text{ mm}$	Porosité capillaire	Eau capillaire et eau gravitaire
$>2,5 \text{ mm}$	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).

I.1.3.4. La perméabilité du sol

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

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

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

I.2. L'EAU DANS LE SOL

I.2.1. Les états de l'eau dans le sol

L'eau dans le sol ne représente qu'une infime part de l'eau douce (0,1 %), mais est indispensable à la continuité du cycle de l'eau ; à la fois par l'intermédiaire de l'évapotranspiration (au niveau des plantes et de la surface) et pour l'approvisionnement des nappes phréatiques (Lesaignoux, 2010). Les états de l'eau dans le sol sont :

I.2.1.1. L'eau de gravité

Ou de saturation s'écoule d'abord rapidement puis de plus en plus lentement, quittant les espaces vides plus grands qui se remplissent d'air. Cette eau occupait « la macroporosité » du sol. Lorsque l'eau cesse de s'écouler, la terre, ressuyée, atteint son « taux d'humidité à la capacité au champ », valeur qui traduit sa capacité de rétention de l'eau (Soltner, 1988).

I.2.1.2. L'eau de capillarité

Au cours de l'infiltration des pluies les pores moyens et fins (inférieurs à 10 μm environ) : les forces capillaires et d'absorption sont suffisamment élevées pour s'opposer aux forces de gravité. L'eau retenue se subdivise en deux parties : l'eau capillaire absorbable par les racines, qui occupe les pores fins, ou forme des ménisques entre les particules solides, l'eau liée (appelée d'absorption), qui forme une fine pellicule à la surface des particules du sol (pores très fins, de diamètre inférieure à 0,2 μm), et qui, retenue très énergétiquement, n'est pas absorbable par les racines (Duchaufour, 2001).

I.2.1.3. L'eau hygroscopique (eau inutilisable par les plantes).

Cette quantité d'eau formant autour des éléments solides des films très minces, elle est retenue par le sol avec tant d'énergie que la force de succion des racines, pourtant considérable (16 atmosphères), ne peut l'en extraire (Soltner, 1988).

I.2.2. Les humidités remarquables dans le sol

I.2.2.1. Humidité à la capacité au champ

D'après (Veihmeyer et 1949 cités par Ouanoughi et Meziane 2010), la capacité au champ est la quantité d'eau retenue dans le sol, après que l'excédent d'eau aie drainé et que le régime d'écoulement vers le bas ai été pratiquement réduit. Elle est mesurée sur le terrain, après une période de pluie, et un ressuyage de trois jours, le sol étant protégé contre l'évaporation. Le plus souvent, la capacité au champ est mesurée au laboratoire par application au sol, préalablement humecté, d'une pression correspondant à un pF (potentiel matriciel) déterminé, qui varie suivant la granulométrie de l'échantillon (Duchaufour, 2001). Le pF correspondant à la capacité de rétention est lié à la teneur en éléments fins. Il est d'autant plus élevé que la teneur en éléments fins est faible. Pour les sols ayant une teneur en argile plus limon fin inférieure à 10%, le pF correspondant à la capacité de rétention est inférieur à 2,2. Pour les sols dont la teneur est comprise entre 10 et 25 % le pF est situé entre 2,2 et 2,5 (Feodoroff, 1967 Gras, 1962 ; Cité par Cornet, 1980).

I.2.2.2. L'humidité au point de flétrissement (PF : 4,2)

Quand une plante se développe sur un sol qui n'a pas reçu de précipitation depuis un certain temps, elle commence à flétrir d'abord pendant les heures chaudes de la journée, mais recouvre sa turgescence pendant la nuit. Au bout d'un certain temps, la plante reste toujours flétrie car, à ce moment, sa force de succion n'est plus suffisante pour extraire l'eau du sol. Il semble que cette succion limite soit à peu près la même pour toutes les plantes cultivées, On l'appelle le point de flétrissement. Il correspond à une succion de 16 atmosphères soit un pF de 4,2 (Henin, 1969).

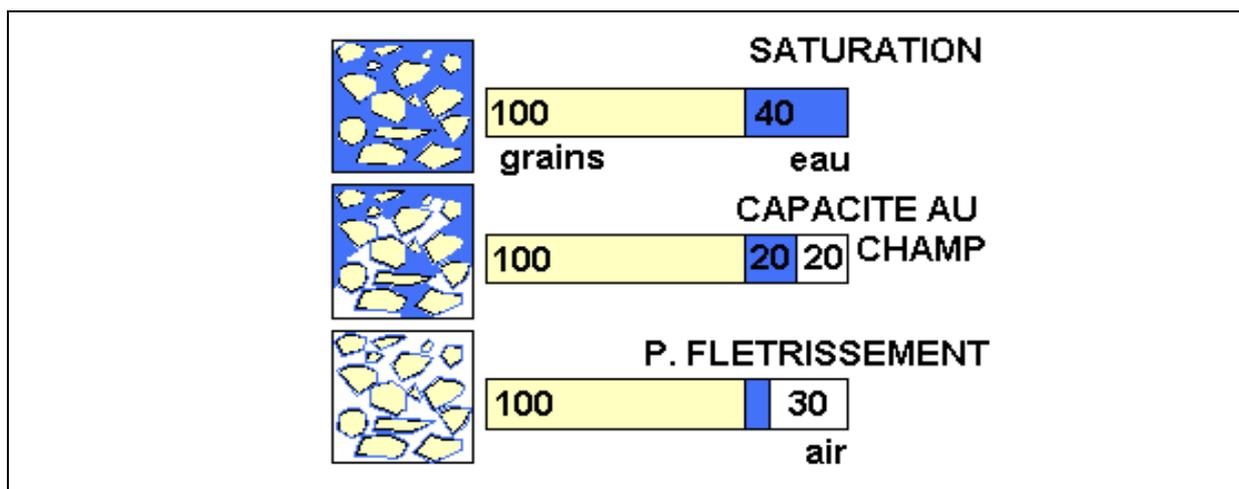


Figure 01 : Etat de l'eau dans le sol (Laurent, 2010).

I.2.2.3. La réserve utile du sol

Les plantes extraient l'eau du sol. 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 qu'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).

I.2.3. Les facteurs qui influent sur la rétention de l'eau à la capacité au champ

La valeur de la capacité au champ, mesurée habituellement, varie de 4% (en poids) pour les sables à 45% pour des sols argileux lourds et jusqu'à 100% et plus pour certains sols organiques. Parmi les facteurs qui influencent la redistribution et la capacité au champ apparente on trouve (Hillel, 1984).

La rétention dépend essentiellement de plusieurs facteurs, dont deux sont prépondérants : la porosité et la profondeur du sol (Tessier *et al.*, 1996).

I.2.3.1. La texture du sol

Les propriétés physiques et notamment les propriétés de rétention en eau des sols argileux sont liées à la teneur en argile et à ses caractéristiques comme la minéralogie, la taille des particules élémentaires et la nature des cations échangeables (Tessier et Pedro, 1987 ; Quirk, 1994).

Dans le sol, les particules finement divisées comme les argiles ont la particularité de développer une grande surface spécifique au contact avec l'eau et de posséder une charge électrique superficielle importante. Ces fractions, grâce à leur petite taille ($< 2\mu\text{m}$) jouent un rôle privilégié dans la rétention en eau, la structuration des sols, mais aussi dans la rétention et biodisponibilité des éléments chimiques indispensables aux plantes.

La variation de la teneur en eau de chaque horizon s'explique aussi par la variation de la capacité d'échanges en cations rapportée à la masse d'argile d'une part, et le mode d'assemblage des particules élémentaires (volume poral) d'autre part (Bruand et Zimmer, 1992).

I.2.3.2. La teneur en matière organique

Les matières organiques libres, disposées à la surface du sol, limitent l'évaporation de l'eau en formant un *Much*. Les matières organiques humifiées sont très hydrophiles : elles augmentent la rétention de l'eau et souvent l'humidité utile du sol (Vilain, 1989). Les sols organiques permettent de retenir plus d'eau quoique la quantité de matière organique normalement présente dans les sols minéraux soit trop petite pour avoir beaucoup d'influence (Hillel, 1984).

La matière organique contribue à la rétention en eau des sols directement via sa propre capacité à adsorber l'eau et indirectement via son rôle dans le développement et le maintien de la structure du sol. Cependant, l'importance de la matière organique du sol pour la rétention en eau décroît à fur à mesure que le sol continue en argile augment (Baldoock et Nelson, 1999).

I.2.3.2. La profondeur d'humidification et l'humidité préexistante

Un sol épais aura une potentialité naturelle plus grande. Toutes autres choses étant égales par ailleurs, la capacité de rétention croît en fonction de la profondeur. Ce paramètre est essentiel pour le calcul de la rétention en eau (Hillel, 1984). En général, plus le profil est humide et plus le front d'humidification au cours de l'infiltration est profond, plus le régime de sol est redistribution sera lent et la capacité au champ apparente sera élevée.

La surface du sol est saturée jusqu'à une profondeur de plusieurs millimètres ou centimètres et qu'en dessous de cette zone de saturation complète, il ya une zone étendue d'humidité voisine de la saturation et apparemment uniforme appelée « zone de transmission ». Au-delà de cette, se trouve une « zone d'humidification » dans laquelle l'humidité du sol diminue avec la profondeur suivant un gradient prononcé jusqu'au front d'humidification où le gradient d'humidité est si brusque qu'il apparait comme une limite nette entre le sol humidifié et le sol sec sous-jacent (Hillel, 1984).

I.2.3.4. La présence d'obstacle dans le profil

Les couches qui ont une texture ou une structure différentes de la couche supérieure peuvent retarder le mouvement de l'eau au cours de l'infiltration. D'une manière peut être

surprenante des couches d'argile et de sable produisent un effet semblable, mais conductivité à l'état saturé, tandis qu'une couche de sable retarde la progression du front de l'humidité (sous des conditions de non) du fait de la faible conductivité non saturée du sable. La pénétration de l'eau dans une couche de sable sec n'aura lieu qu'après que la charge hydraulique soit devenue suffisante pour permettre à l'eau d'entrer et de remplir les grands pores du sable (Hillel, 1984).

I.2.3.5. L'évapotranspiration

L'humidité du sol augmente avec l'infiltration de l'eau de pluie ou diminue sous l'effet de l'évaporation. Si la couche supérieure s'assèche, l'humidité du réservoir profond devient alors disponible pour l'évaporation. Si le modèle contient de la végétation à la surface, alors l'humidité du réservoir d'eau profond est pompée par la végétation pendant les périodes sèches pour assurer l'évapotranspiration (Beniston, 2009).

I.3. LES ARGILES

I.3.1. Définition

Le mot argile peut avoir différentes significations ce qui conduit à des confusions, et plus particulièrement en pédologie. Pour la pédologie, le terme argile est généralement utilisé pour décrire la fraction inférieure à 2 μm obtenue après séparation granulométrique. Néanmoins, cette appellation, bien que largement répandue, est limitée à la discipline et n'a pas de sens minéralogique. Il apparaît ainsi essentiel de présenter les définitions actuelles admises par la nomenclature internationale (Guggenheim *et al.*, 2006). Le terme « **argiles** » différentes catégories de matériaux naturels : un ensemble d'espèces minérales, une famille de roches, une catégorie de sols ou encore une classe granulométrique. Une grande diversité de matériaux avec des compositions, des propriétés physico-chimiques et des comportements mécaniques variés est contenue sous ce terme général (Meunier, 1964 ; Velde, 1995 Homand et Duffaut, 2000 ; Sparks, 2003).

I.3.2. Les différents types d'argiles

Trois grands types d'argiles peuvent être identifiés, il ya tout d'abord le groupe kaolinite dont le feuillet élémentaire comporte une couche octaédrique, les liaisons entre les

feuillets sont de type hydrogène et peuvent être qualifiées de liaisons fortes. Les argiles de cette famille sont dites argiles T-O. Le deuxième grand groupe d'argile est celui des illites pour lequel les feuillets se font par des ions potassium énergiquement fixés. Ces argiles sont appelées argiles T-O-T. Le troisième groupe est celui des smectites. Ces minéraux sont également formés de feuillets à trois couches et sont donc aussi des argiles-OT. Il n'existe pas de liaison hydrogène entre les feuillets élémentaires ni de cation interfoliaire capable de maintenir fortement les feuillets entre eux.

De plus, la substitution d'aluminium par du fer ou du magnésium au sein des octaédres et tétraédres sont assez fréquentes. La montmorillonite est une argile de la famille des smectites comme la bentonite qui est aussi une roche issue de l'altération de centres volcaniques (Foucault et Raoult, 1995).

On distingue deux grandes familles de minéraux argileux, en fonction de la composition des feuillets :

I.3.2.1. Les minéraux argileux TO : Où un feuillet est constitué d'un empilement d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. La distance basale, qui correspond à la taille d'une unité structurale (feuillet + espace interfoliaire), est de l'ordre de 7 Å. Cette famille présente peu de substitutions isomorphiques. On retrouve la kaolinite comme minéral type de cette structure (Maubec, 2010).

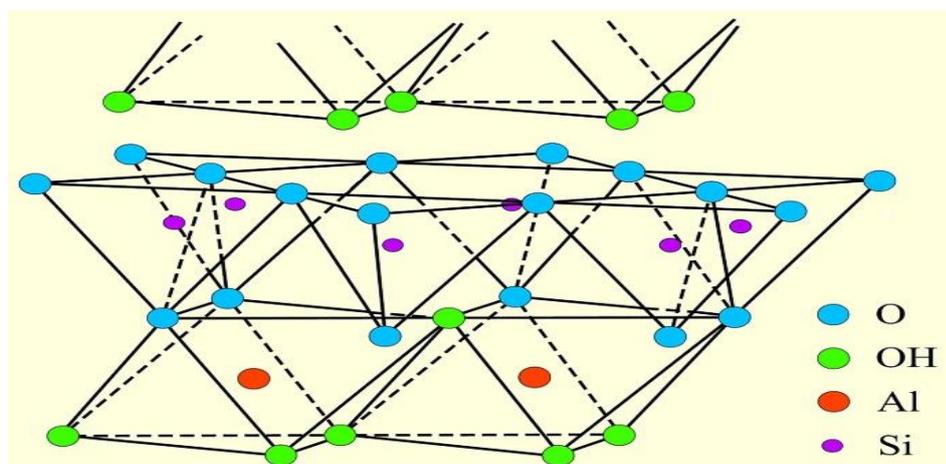


Figure 02 : Représentation structurale d'un minéral argileux de type TO

(Poppe et al., 2001).

I.3.2.2. Les minéraux argileux TOT, où un feuillet est constitué d'une couche d'octaèdres située entre deux couches tétraédriques. Cette famille a la particularité de présenter des taux de substitutions isomorphiques plus importants que la précédente famille. La distance basale varie entre 9,4 et 15 Å, selon les éléments présents dans l'espace interfoliaire. Dans cette famille, on distingue les smectites, le plus souvent caractérisées par la présence d'ions calcium Ca^{2+} et sodium Na^{+} dans l'espace interfoliaire, et des illites dont le cation interfoliaient le potassium K (Maubec, 2010).

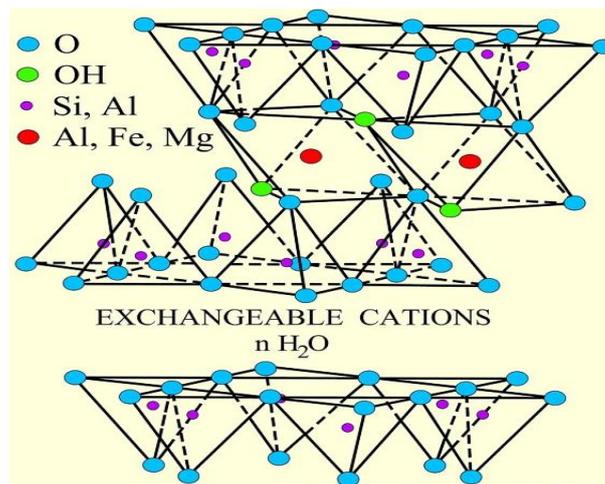


Figure 03 : Représentation structurale d'un minéral argileux de type TOT (Pope *et al.*, 2001).

I.3.2. Structure d'une argile

Les minéraux argileux sont des phyllosilicates hydratés de petite taille. Quel que soit le domaine concerné, la structure cristalline des argiles est importante car elle conditionne les propriétés physiques du minéral (Caillère et Henin, 1959).

Les minéraux argileux sont donc principalement des phyllosilicates, qui sont donc constitués par un empilement de feuillets : on distingue 3 niveaux d'organisation :

- les feuillets, tétraédriques ou octaédriques.
- les particules, qui correspondent à des combinaisons ou agencements de feuillets.
- les agrégats, qui résultent de l'association de plusieurs particules.

La structure des minéraux silicatés, parmi lesquels se classent les minéraux, est bâtie sur l'agencement des ions oxygène. Ceux-ci sont groupés autour du silicium sous forme de tétraèdres $(\text{SiO}_4)^{+4}$ et autour de l'aluminium sous forme de tétraèdres et d'octaèdres. Dans la charpente des silicates, les remplacements isomorphiques (substitution) d' Al^{+3} par des Si^{+4} sont fréquents dans les tétraèdres $(\text{AlO}_4)^{-5}$ et induisent des déficits de charge et des phénomènes de désordre en créant en des tétraèdres de taille moyenne. L'agencement des groupements silicatés ainsi que le remplissage en cations assurent la cohésion et la neutralité électrique de l'édifice (Li, 1999).

Les minéraux argileux correspondent à des silicates en feuillets (phyllosilicates) qui ont tous en commun, suivant le plan cristallographique (01), une trame silicatée de formule générale $(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}/(\text{OH})_2$. Toutefois, leur architecture selon la normale à ce plan peut être différente et c'est elle qui détermine les divers groupes de minéraux argileux (Li, 1999).

I.3.3. Texture d'une argile

Tout comme la structure cristalline des argiles, la texture est un paramètre important car il conditionne les propriétés physiques du minéral (Caillère et Henin, 1959). La texture concerne l'assemblage des minéraux (argileux ou pas) sous forme d'agrégats ainsi que l'arrangement ou la distribution spatiale de ces agrégats (Audiguier, 1979). Les auteurs Aubouin et *al.*, (1968), définissent la texture comme « la forme, la dimension et la disposition d'un certain nombre de minéraux naturellement groupés en une population au sein de la roche.

I.3.4. Interactions physico-chimiques entre l'eau et l'argile

Le comportement gonflant des argiles dépend des interactions possibles entre la phase solide et la phase liquide. Ces interactions sont liées essentiellement à la nature minéralogique de l'argile, à la nature chimique du fluide interstitiel, à la taille des espaces poreux et de la présence de cations compensateurs dans le milieu (Chretien, 2010).

L'eau libre, se trouve principalement dans les espaces inter-agrégats et éventuellement dans l'espace inter-particulaire (loin des surfaces externes des particules) de matériaux argileux. Cette eau circule librement dans le milieu sous l'effet d'un gradient de charge hydraulique. Par contre, l'eau capillaire, dans le cas des argiles non saturées, occupe les micropores sous forme de ménisques au contact entre les grains et l'eau, créant ainsi entre ces

derniers des forces d'attraction. Son écoulement est produit par un gradient de succion à l'échelle des pores et traduit la loi de Darcy (Richard *in* Chretien, 2010). Le phénomène de capillarité se produit à l'interface entre deux fluides, car les molécules y sont soumises à un ensemble de forces d'interaction non équilibrée, à la différence d'une molécule située au sein du fluide (Chretien, 2010).

Dans les matériaux argileux, on s'intéresse essentiellement aux interfaces liquide-gaz et solide-liquide, où l'eau liquide peut être absorbée et retenue dans les pores par capillarité sous l'effet des forces de ménisque qui résultent de tension inter-faciale solide-liquide-gaz.

En réalité, la couche d'eau, à la surface externe des particules, joue parfois le rôle d'une barrière hydraulique lorsque la pression de l'eau externe dans l'argile intacte est inférieure à la pression lithostatique (pression de gonflement locale).

I.3.5. Mécanismes de gonflement/Retrait des argiles

I.3.5.1. Le Gonflement au sens physico-chimique

Le processus de gonflement met en jeu séparément ou de façon combinée des phénomènes physico-chimiques et mécaniques variés. Le gonflement d'un sol peut résulter de la diminution des contraintes en place à la suite d'un déchargement, après une excavation, ou par imbibition du sol. Il se traduit par une augmentation du volume du sol ou un accroissement des pressions régnant dans le milieu selon que le matériau peut se déformer ou non (Serrtrice et Soyez, 1996). Il est à noter que l'augmentation de teneur en eau lors d'une imbibition ne provoque pas toujours une augmentation de volume suivant la nature du matériaux. En effet, un sol sec essentiellement sableux ou silteux peut s'humidifier par remplacement de l'air contenu dans les vides, sans augmentation conséquente de volume. Par contre, dans le cas de sols argileux, le gonflement résulte de forces de répulsion qui s'exercent entre les particules argileuses, entraînant une augmentation de volume à mesure que la teneur en eau augmente. Le gonflement des particules argileuses, à l'échelle microscopique, est directement lié à leurs propriétés minéralogiques, électrochimiques et à leurs surfaces spécifiques qui varient d'une famille d'argiles à l'autre.

D'après (Morel, 1996 et Mouroux *et al.*, 1988), le phénomène de gonflement paraît relever de deux causes :

- L'hydratation des espaces inter-foliaires, entraînant une augmentation de la porosité Interfoliaire (gonflement interfoliaire ou gonflement cristallin),
- la répulsion entre les particules, soit l'augmentation de la porosité interfoliaire et inter-particulaire pouvant affecter toutes les argiles (gonflement interarticulaire ou gonflement osmotique).

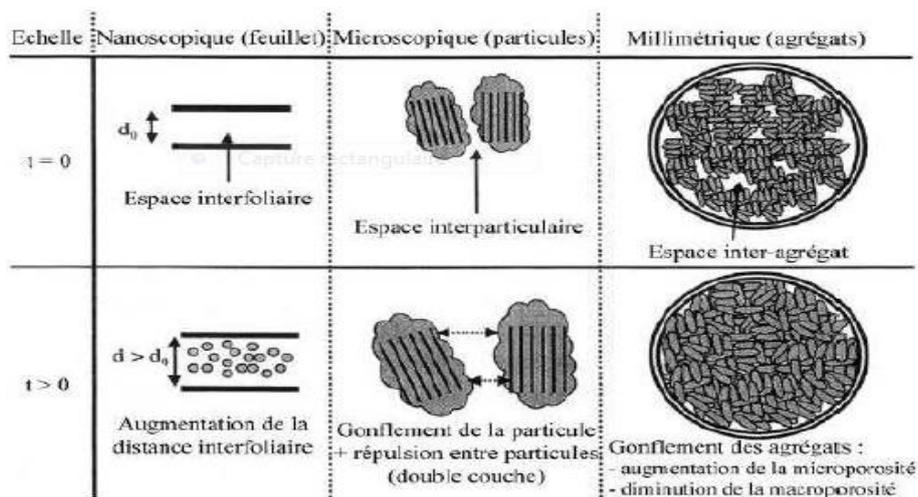


Figure 04 : Mécanismes des causes de gonflement (Gens et Alonso, 1992).

Le gonflement des particules argileuses est une conséquence de leurs propriétés électrochimiques et varie donc énormément d'une famille à l'autre, les argiles les plus gonflantes étant les smectites ; puis viennent les illites et enfin la kaolinite qui gonfle très peu. Deux phénomènes sont généralement avancés pour expliquer le gonflement d'une smectites : le gonflement cristallin au dessus d'une succion de 10 MPA environ et le gonflement osmotique au dessous de cette valeur (Yong, 1999).

Ce gonflement est essentiellement inter-particulaire, c'est-à-dire qu'il prend place au sein des espaces inter-foliaires. Le gonflement cristallin n'est possible que lorsque les liaisons inter-foliaires sont suffisamment faibles pour laisser pénétrer l'eau dans l'espace interfoliaire. Cela n'est réalisable que dans le cas de la montmorillonite sodique où ces liaisons sont très faibles, et dans une moindre mesure pour la montmorillonite calcique (Tessier, 1984 ; Rhaiem *et al.*, 1986).

Le système eau-argile peut être perçu comme un osmomètre (Bolt, 1956). La double couche est en fait un milieu fortement concentré, les cations n'ayant pas la possibilité de s'écarter de la surface de la particule argileuse. Empêchant l'éloignement des cations mais permettant l'arrivée d'eau, la particule argileuse. Joue le rôle d'une membrane semi-perméable. Ainsi, si le milieu environnant est suffisamment dilué, crée une pression osmotique entre le milieu extérieur et l'espace interfoliaire : c'est le gonflement osmotique.

I.4. LE COMPOST

Le compost est un mélange mûré de résidus organiques et minéraux, utilisé pour l'amendement des terres agricoles. Avec la législation française actuelle interdisant la mise en décharge des déchets (2002) le compostage est amené à se développer. Le compostage permet ainsi de recycler les ordures ménagères, les déchets verts et les boues de station d'épuration. Il s'agit de la dégradation microbienne de matériaux organiques solides, impliquant une respiration aérobie et passant par une étape thermophile, en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques (Celerier, 2008)



Figure 05 : photo représentant le compost (Anonyme, 2009).

I.4.1. Les différents types de compost

Sauf usage privé, deux formes de compostage existent : le compostage naturel et le compostage industriel. Le compostage traditionnel, ou naturel, a quasiment disparu, non seulement en raison de la dissociation entre le lieu de production et le lieu de consommation, mais aussi parce que les résidus agricoles, et plus encore urbains, peuvent contenir des métaux lourds.

Les différents procédés utilisés, en compostage industriel, se distinguent seulement par les modes de fermentation : "cellules" ouvertes ou "andains" dans le cas des déchets verts et des boues de station d'épuration, "digesteurs" dans le cas des déchets de l'industrie agroalimentaire.

I.4.1.1. Les composts d'origine urbaine

Les composts d'origine urbaine ont fait l'objet de nombreuses études depuis une cinquantaine d'années. La France produit environ 47 millions de tonnes de déchets municipaux (ensemble des déchets collectés et traités sous la responsabilité des municipalités et leurs groupements), dont environ la moitié est composée de composés biodégradables (Ifen, 2002). La loi Lalonde de 1992 qui prévoyait l'interdiction de mise en décharge des déchets dits non-ultimes (c'est à dire pouvant être traités par recyclage, valorisation biologique, ou incinération), renforcée par les circulaires d'avril 1998 et de juin 2001 du ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire, ont mis en avant le compostage dans le traitement des déchets urbains.

Toutefois, le développement du compostage de déchets urbains est dépendant des débouchés qu'ont les composts, en particulier en agriculture. L'obtention de composts de qualité (valeur agronomique avérée) est donc nécessaire. L'efficacité des traitements des déchets urbains par compostage s'est considérablement améliorée ces dernières années. Cette amélioration est due en partie à la mise en place des collectes sélectives. Développées en France depuis une dizaine d'années, les collectes sélectives multimatériaux concernent près d'un Français sur trois (Ademe, 2000). Ce tri en amont est accompagné d'une efficacité croissante des techniques et matériels utilisés sur les plates-formes de compostage : amélioration du tri (table densimétrique, aimantation, soufflerie) et amélioration des techniques de compostage (suivi continu de la température, de l'humidité,...).

L'engagement croissant des industriels et des exploitants pour produire des composts de qualité, en s'appuyant sur une meilleure connaissance du compostage, participe à cette amélioration. Mentionnons également qu'il existe des différences importantes de compositions des déchets ménagers selon les pays, liées en grande partie aux différences de modes de vie.

Les composts urbains sont élaborés à partir d'une gamme hétérogène de matériaux. Les déchets urbains compostables peuvent être répartis en cinq catégories :

I.4.1.2. Déchets verts

Ensemble de déchets végétaux issus des jardins publics ou privés : tontes d'herbe, élagage, feuilles.

I.4.1.3. Ordures ménagères

Ensemble des déchets ménagers produits par les collectivités ne pratiquant pas la collecte sélective.

I.4.1.4. Ordures ménagères résiduelles

Fraction résiduelle des déchets ménagers obtenue après séparation des papiers, cartons, verres et emballages collectés séparément. Elles sont également appelées ordures ménagères grises du fait de la couleur de la poubelle utilisée par les collectivités qui pratiquent ce type de collecte sélective.

I.4.1.5. Fraction fermentescible (putrescible)

Des ordures ménagères : Déchets organiques biodégradables, ou biodéchets (déchets de cuisine, fleurs, etc.), récupérés lors de collectes sélectives visant à les isoler des autres composés non putrescibles. Les déchets verts des jardins des particuliers sont souvent collectés avec cette fraction. Les déchets de marchés constituent également cette catégorie.

I.4.1.6. Boues de stations d'épuration urbaines

En raison de leur très forte humidité, les boues doivent être mélangées à un structurant pour être compostées. Ce structurant est constitué de déchets verts, ou de palettes de bois.

I.4.2. Les micro-organismes du compost

Bien que le compostage soit un « art » très ancien et couramment utilisé, ce procédé est l'une des biotechnologies les plus complexes qu'il soit, en raison des changements d'états physiques et biologiques innombrables durant le processus. Une bonne compréhension de ces changements exige une étude précise des successions de communautés microbiennes comprenant l'ensemble des micro-organismes présents y compris ceux qui sont en très faible proportion. Selon (Haruta et al. 2005), la microbiologie du compostage doit être étudiée au travers de divers aspects, comme par exemple, la composition et la succession des communautés pendant le processus, les micro-habitats, ainsi que les fonctions des microorganismes au sein de la communauté

Depuis les années 1900, de nombreuses études microbiologiques ont rendu compte des processus de compostage. Elles ont été passées en revue par (Einstein et Morris., 1975). Plus récemment, (Ryckeboer *et al* 2003) ainsi que (Haruta *et al* 2005) ont compilé les différentes études préexistantes et ont établi une liste des espèces isolées pour chacune des phases du compostage en fonction de la température et du pH. Pendant la phase mésophile, les bactéries isolées appartiennent à diverses familles, parmi lesquelles nous pouvons citer *Alcaligenaceae*, *Alteromonadaceae*, *Bacillaceae*,... Pendant la phase thermophile, plusieurs familles de bactéries thermophiles ont été identifiées, dont *Micromonosporaceae*, *Treptomycetaceae*, *Thermoactinomycetaceae*, *Thermomonosporaceae* et *Streptosporangiaceae*. Après cette phase de dégradation, et donc pendant la phase de maturation et de ralentissement de l'activité, la diversité taxonomique microbienne augmente encore (Haruta *et al.*, 2005).

I.4. 2.1. Les bactéries

Parmi les bactéries, un sous-groupe a une grande importance au sein du compost : les actinomycètes. Ce sont des bactéries formant des filaments multicellulaires agissant plus tardivement que les autres. Ils apparaissent aussi bien lors de la phase thermophile que pendant la phase de maturation du compostage (Tuomela *et al.*, 2000). Les actinomycètes tolèrent des pH légèrement basiques mais leur croissance est lente. Ils peuvent cependant dégrader la cellulose et la lignine comme certains champignons tout en tolérant des températures et un pH plus élevés que les champignons. Ainsi, les actinomycètes sont des agents essentiels de la lignocellulolyse pendant la phase thermophile, bien que leur capacité

de dégrader la cellulose et la lignine ne soit pas aussi étendue que celle des champignons (Tuomela *et al.*, 2000). Les genres *Streptomyces* et *Nocardia* représentent plus de 90 % de leur biomasse selon (Mustin, 1987).

I.4.2.2. Les champignons

La température est l'un des plus importants facteurs affectant la croissance fongique devant les sources de carbone et d'azote et le pH. Un niveau modérément élevé de l'azote est nécessaire pour la croissance fongique bien que quelques champignons, dits de la pourriture blanche, se développent à des taux d'azote bas. En effet, un milieu pauvre en azote est souvent un préalable à la dégradation de lignine (Dix et Webster, 1995). Cependant, ces auteurs affirment qu'une carence en azote est un facteur limitant pour la dégradation de la cellulose. La plupart des champignons préfère un environnement acide mais tolère un large éventail de pH, excepté les *Basidiomycotina* qui se développent moins bien au-dessus de pH 7,5. Les espèces de *Coprinus* sont les seules *Basidiomycètes* préférant un environnement alcalin (Dix et Webster, 1995). La majorité des champignons est mésophile et se développe entre 5 et 2237°C, avec une température optimale de 25-30°C (Dix et Webster, 1995).

Cependant, le processus de compostage, engendrant des élévations de température importantes, octroie une grande importance au petit groupe de champignons thermophiles dans la biodégradation de la matière organique. Les capacités ligninocellulolytiques de tous les champignons thermophiles ne sont pas déterminées. Cependant, la plupart d'entre eux sont connus pour dégrader la lignine, la cellulose ou les hémicelluloses (Tuomela *et al.*, 2000). Les plus importantes capacités de dégradation de la lignine sont rencontrées chez *Basidiomycotina* (Mouchacca, 1997). Ceux-ci sont mésophiles mais quelques-uns d'entre eux se développent à des températures plus élevées. Par exemple, *Phanerochaete chrysosporium* qui est un champignon de la pourriture blanche, ayant fait l'objet de nombreuses études pour ses capacités de production d'enzymes actives dans la dégradation de la cellulose et de la lignine, a des températures optimales de 36 à 40°C avec des températures maximales de 46 à 49°C (Mouchacca, 1997).

I.4.2.2. Les macro- organismes du compost

Les macro- organismes sont très diversifiés dans le processus du compostage .les lombrics du compost, par exemple, agissent au début du processus, sur des éléments peu décomposés (après la phase thermophile). Les grands lombrics quant à eux entraînent dans leurs terriers des fragments de feuilles ou même des feuilles entières. Ils intègrent ainsi un mélange de débris organiques et leurs excréments constituent un milieu idéal pour les activités microbiologiques du sol qui conduisent à l'élaboration du compost mûr. Beaucoup d'autres macro- organismes apparaissent, surtout dans la phase de maturation du compost .les principaux macro- organismes du compost sont les vers de compost ou de fumier (de plusieurs genres) les insectes, les acariens, les gastéropodes, les myriapodes, les cloportes, etc. (Chenni et Maghlouche, 2013).

I.4.3. Les Avantages du compost

Le compost, une fois termine, sera utilisé comme amendement de sol. Sur votre potager bien sûr, mais également sur vos parterres de fleurs, sous vos arbres fruitiers, ou encore dans vos jardinières et plantes d'intérieur (Anonyme, 2014).

Les propriétés formidables du compost sont principalement dues à la formation des complexes colloïdaux argilo-humiques. L'utilisation du composts est intéressante à plusieurs points de vu :

I.4.3.1. Effets sur les caractéristiques physico-chimiques du sol

Le compost permet une amélioration de la structure du sol par l'augmentation des agrégats (pénétration des racines facilitée et exploitation du sol favorisée), ainsi qu'une meilleure perméabilité à l'air et une bonne rétention d'eau. Il agit aussi sur la rétention de l'effet du gel, de l'érosion (de l'eau et du vent) et la diminution de la dessiccation par ventilation. Le compost de couleur foncée, augmente l'absorption des rayons solaire (réchauffement). En se minéralisant, le compost fournit des substances nutritives progressivement assimilables par les plantes. Un compost bien mûr, évite une acidification du sol ou corrige l'acidité d'un sol par effet tampon (Anonyme, 2014).

I.2.4.2. Effets sur la biologie

La présence de micro-organismes divers dans le compost, augmente l'activité biologique du sol qui fixe par exemple l'azote de l'air ou rend assimilable par les plantes du soufre, du phosphore, de certains oligo-éléments contenu dans les roches. Cette activité biologique favorisée, répercute elle-même ces effets sur la structure du sol et ces capacités physiques et chimiques. L'activité microbienne limite le développement d'organismes pathogènes, directement dans le sol ou dans les plantes par absorption par celle-ci de substances actives, d'hormones ou d'antibiotiques (Anonyme, 2014).

Chapitre II
Présentation de
la zone d'étude

II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La station **INRAA** de Bejaia est un hameau situé à 13Km à l'ouest du chef lieu de wilaya en empruntant la route nationale n°12. La station de Bejaia intègre la circonscription d'Oued-Ghir et occupe une superficie de 22 ha, dont **1** ha recouvert par la végétation, **15** ha d'espace investi et **6** ha d'espace vierge.

Le centre **INRAA** d'oued-Ghir été crée par le décret ministériel en date de **30 juin 1999** Hérité du centre de formation professionnel et d'orientation agricole, qui est dissous par l'ordonnance exécutive **N089.179** au **24/02/1998**.

L'institut national de la recherche agronomique a pour but principal d'effectuer des activités de recherche en relation avec l'agriculture des zones montagneuse, en d'autre terme il s'agit d'étudier le meilleur moyen de valorisation des potentialités de la région par :

- La définition d'un système de production répondant aux aspirations socioéconomique des agriculteurs et spécifique a la zone considérées.
- L'identification, la caractérisation et l'évaluation sur le plan agronomique des ressources phylogénétiques locales.
- Introduction des techniques culturales les plus performantes.
- Développer tout types d'élevage et de procéder a l'amélioration des productions locales.

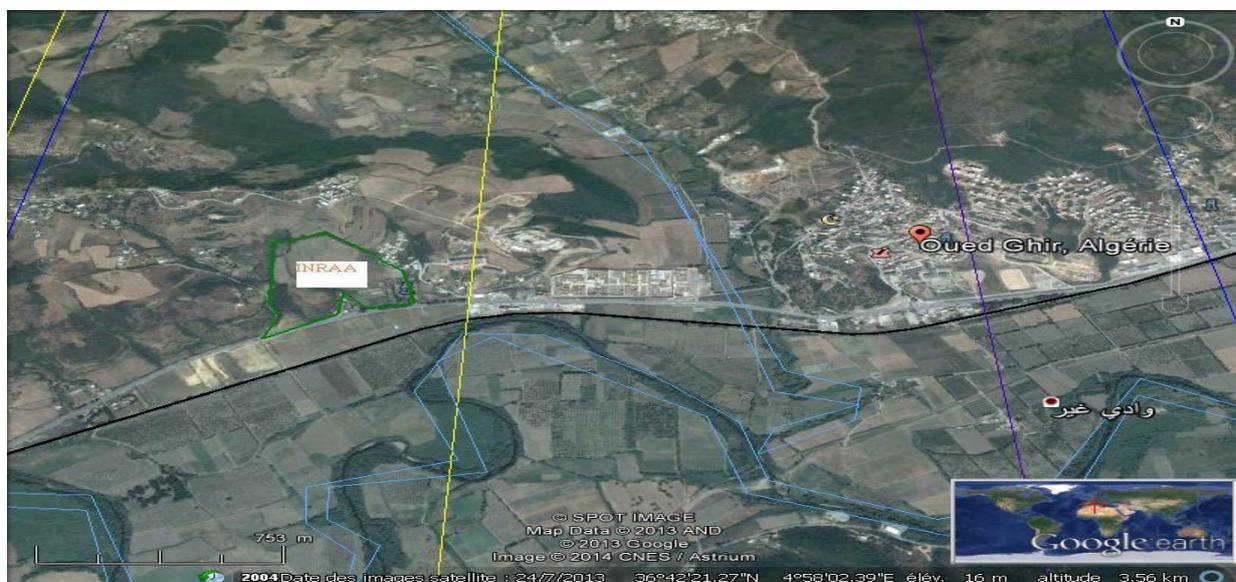


Figure 06 : Situation géographique de l'INRAA de Bejaïa (Google earth, 2014).

II.2. GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Du point de vue géologique, la région Nord-Algérienne est constituée de plusieurs structures tectoniques, avec :

- Au Nord, le massif kabyle, la chaîne calcaire et les flysch sud et nord kabyles ;
- Au Sud, le tell méridional, auquel appartiennent les chaînons des Bibans et des babor, ainsi ; la vallée de l'oued-Soummam forme la frontière entre le tell septentrional au Nord et le tell méridional au Sud de la région de Bejaia. En effet cette vallée, présente une grande complexité. Cette dernière est due à la superposition d'ensembles géologiques appartenant à deux domaines : le domaine interne et le domaine externe caractérisant la géologie de l'Algérie du Nord. En effet, l'édifice géomorphologique de la région résulte d'un assemblage de plusieurs unités structurales initialement distinctes, ultérieurement déformés, par de nombreuses phases tectoniques qui les ont affectés durant le cycle orogénique alpin, ce qui leur a donné un caractère complexe.

La nature de la roche géologique du site de l'INRAA d'Oued-Ghir est constituée de grès siliceux numidien.

II. 3. CARACTERISTIQUE DU SITE D'ECHANTILLONNAGE

Les sols de station de INRAA de Bejaia sont très variés, ils sont généralement divisés en huit(08) profils pédologiques, chacun profil avec son caractérisation, donc on a fait l'échantillonnage sur le profil 01 et caractérise par :

- La pente est pratiquement nulle, la profondeur du sol est de 75 cm, présence de calcaire à l'état diffuse (sans concrétions), la structure est grumeleuse moyenne en surface et devient polyédrique sub angulaire en profondeur. La texture est limono-argileuse en surface, puis argilo- limoneuse en profondeur.
- La Présence de taches de couleur bleuâtres verdâtres d'origine hydro morphique ; en effet, cette parcelle est située en bas de pente, est constamment inondée en

hiver et les eaux pluviales s'accumulent en surface pendant de longues durées à cause de l'absence totale du système de drainage.

- Un réseau de drainage pour la collecte des eaux doit être mis en place pour remédier au problème de l'hydromorphie. Le sol de ce profil de il est variable du point du vue de leur composition granulométrique, de sa couleur et sa profondeur. Le pH varie entre 8.00 et 8.25.

II.4. LE CLIMAT

Le climat est l'ensemble des conditions météorologiques qui caractérisent l'atmosphère en un lieu donné. Parmi les facteurs climatiques qu'on peut distinguer, on trouve les facteurs énergétiques, constitués par la lumière et les températures, les facteurs hydrologiques (précipitation et hygrométrie) et les facteurs mécaniques (vent, enneigement) (Ramade, 1994). C'est un facteur essentiel du développement des plantes, de la formation et de l'évolution des sols (Greco, 1966).

Selon Greco (1966), le climat algérien, qui est de type méditerranéen, est caractérisé par :

- La concentration des pluies à l'époque froide de l'année ;
- La coïncidence de la sécheresse avec les mois chauds.

II.4.1. Pluviométrie

Dans la région d'étude, les précipitations décroissent au fur et à mesure que nous nous éloignons de la mer. Cette décroissance est due essentiellement à l'orographie et aux effets de continentalité (Benhamiche, 1997). la moyenne annuelle calculer sur 34 ans (1978 – 2012) qui est de (793,05 mm), le maximum étant enregistré en décembre (134.43mm) et le minimum en juillet (5.55mm) (tableau IV).

Tableau III : Les précipitations moyennes mensuelles de la station de Bejaia (1978 -2012).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total Annuel Moyen
P (mm)	109.95	88.76	79.50	71.18	42.11	15.04	5.55	9.98	57.98	75.36	103.12	134.43	793.05

II.4.2. Température

De part sa position géographique littoral méditerranéen sud, la région traverse des hivers pluvieux et doux et des étés secs et chauds, Ainsi, sur la base des données, consignées dans le(tableau IV), recueillies sur une période de 34 ans (1978 à 2012), on déduit globalement une température moyenne annuelle de 18.18C°, avec des minimums de 7.44C°, (moyenne mensuelle minimale), Correspondant au mois le plus froid (janvier), et de 30.23C° (moyenne mensuelle maximale), correspondant au mois le plus chaud (aout).

Tableau IV : Moyennes des températures mensuelles de la station de Bejaia (1978 /2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne Annuelle
M	16.47	16.95	18.60	20.32	22.88	26.36	29.53	30.23	28.11	25.26	20.75	17.57	22.76
m	7.44	7.66	9.02	10.84	13.95	17.65	20.39	21.21	19.04	15.75	11.73	8.68	13.61
(M+m)/2	11.95	12.05	13.81	17.41	18.41	22.00	24.96	25.72	23.57	20.50	16.24	13.12	18.18

(Station météorologique, sise Aéroport de Bejaia)

M: Moyennes mensuelles des températures maximales.

m : Moyennes mensuelles des températures minimales

(M+m)/2 : Valeur des températures mensuelles moyennes

II.4.3. L'humidité

Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de la région de Bejaïa, pour une période de 05ans (2009-2013) sont consignées dans le tableau ci- dessous :

Tableau V : Les moyennes mensuelles de l'humidité de la région de Bejaïa (2009-2013).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne Annuelle
Humidité (%)	79,6	79,2	79	81	79,8	78,4	76,8	77,4	80	77,8	79,2	76,4	78,7

D'après le Tableau ci-dessus, que nous constatons que la valeur moyenne la plus élevée de cette humidité est notée au mois Avril (81%), alors que la valeur moyenne la plus basse est de Décembre (76.4%). Les valeurs moyennes de l'humidité fluctuent autour de (78,7%) et attestent de l'influence du milieu marin.

II.4.4. Le vent

Tableau VI : la vitesse moyenne de vent en m/s de la région de Bejaia (1993-2013).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Vent (m/S)	3,9	3,7	3,5	3,3	3,1	3,1	3,1	3,3	3,1	3,3	3,7	3,9	3,4

(Station météorologique, sise Aéroport de Bejaia).

Selon les données de la station météorologique, sise à l'aéroport de Bejaia, la région reçoit la vitesse de vent moyen en m/s avec la dominance de vents Sud-ouest à Ouest.

La vitesse moyenne mensuelle le plus élevées et notée pendant le mois de Janvier et Décembre. Le vent à une action indirect sur l'érosion du sol, il agit en abaissant ou l'augmentant de la température.

II.4.5. Synthèse climatique

De nombreux indices climatiques sont proposés. Les plus courants sont basés essentiellement sur la pluie et la température. C'est le cas du quotient pluviothermique d'Emberger et de l'indice xérothermique de Bagnouls et Gausson qui sont utilisés.

II.4.5.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme est conçu de telle sorte que la pluviométrie (P) exprimée en millimètre est égale au double de la température moyenne mensuelle (T), exprimée en degré Celsius, soit $P=2T$. D'après Bagnouls et Gausсен (cité par Dajoz, 1971), il y a sécheresse lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous. Ainsi, le diagramme établi avec les données de la période (1978- 2012) dans la région de Bejaia, montre l'existence d'une période humide, s'étalant de fins septembre à fin mai, et une période sèche durant les quarts mois restants.

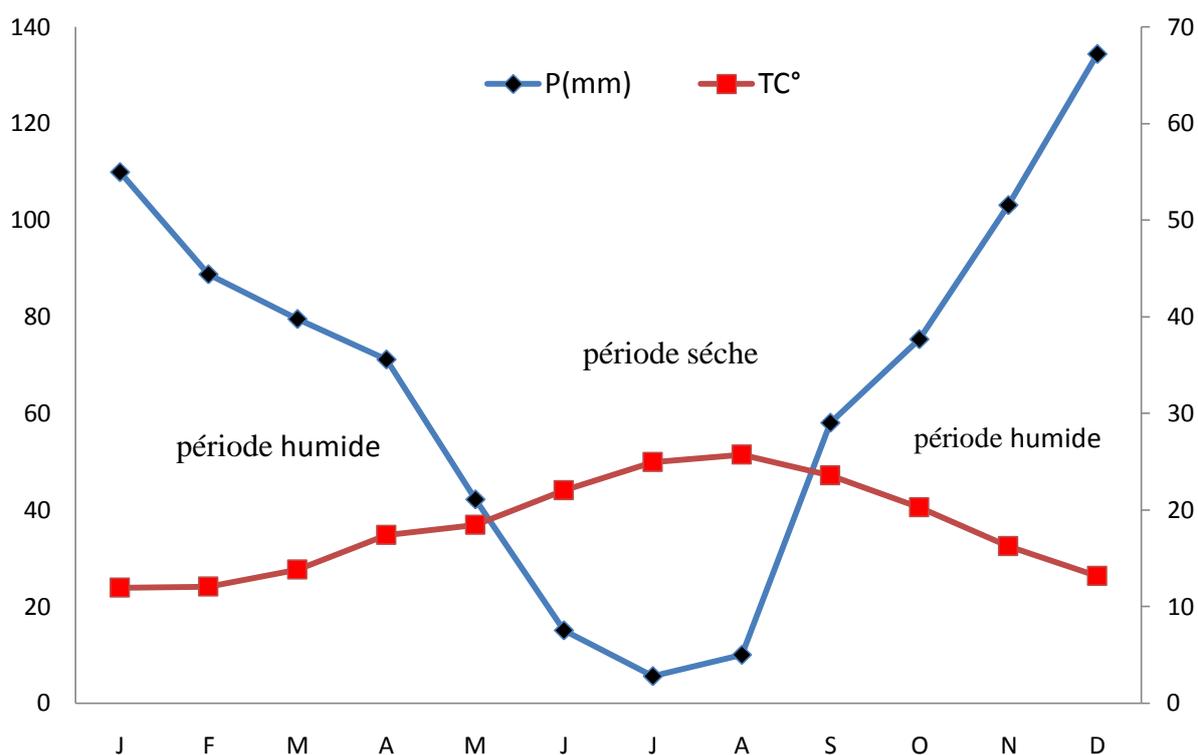


Figure 07 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Bejaia (1978-2012).

II.4.5.2. Climagramme d'Emberger

Emberger a défini un quotient pluviométrique qui permet de faire la distinction entre les différentes nuances du climat méditerranéen. Il permet de la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond (Dajoz, 1971). Le Q2 est donné par la formule suivante :

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

Ou :

P : précipitations annuelles exprimés en mm.

M : moyenne des températures Max du mois le plus chaud (k°).

m : moyenne des températures Min du mois le plus froid (K°).

Ce quotient a été adapté au climat du territoire nord-africain (Maroc, Algérie et Tunisie) :

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

Ou :

P : précipitation annuelle moyenne.

M : maximum annuel de la température.

m : minimum annuel de la température.

Calcul de Q₂ de la région de Bejaia :

P : 793, 05mm

M : 30, 23C°

M : 7, 44C°

Q₂=119.36

$$Q_2 = 3.43 \frac{793,05}{30.23 - 7,44} \rightarrow Q_2 = 119,3$$

En rapportant ce quotient sur le Climagramme d'Emberger (modifié par Stewart, 1969), et en tenant compte de la température minimale, il en résulte que la région de Bejaia se situe dans l'étage bioclimatique sub- humide à hiver chaud.

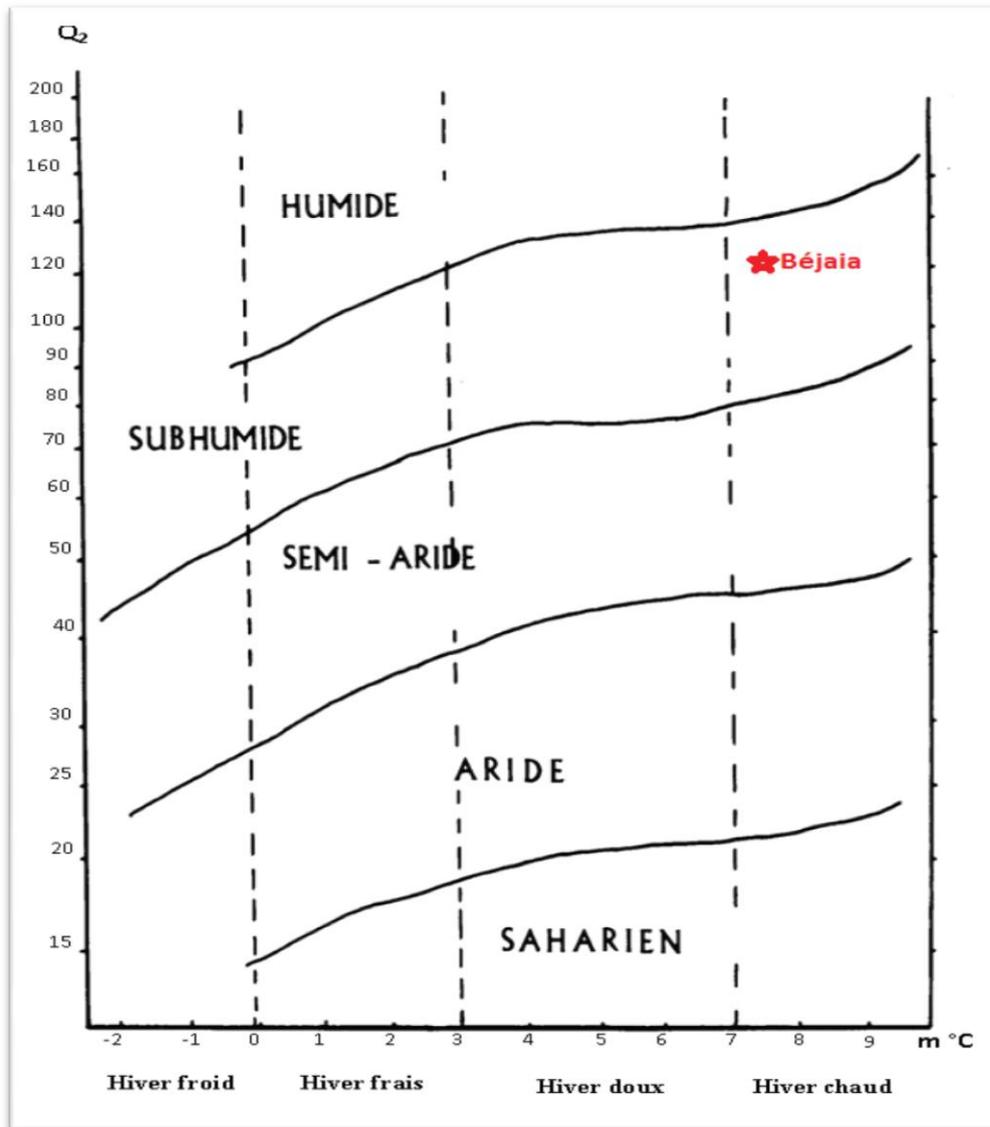


Figure08 : Situation bioclimatique de la région de Bejaia sur le Climagramme D'EMBERGER modifié par Stewart en 1969 (Leutreuche-Belarouci, 1991).

Chapitre III
Matériels et
méthodes

III. MATERIELS ET METHODES

III.1. L'ECHANTILLONNAGE

La parcelle choisie pour les prélèvements des échantillons de terre est occupée par les mauvaises herbes, et représente un seul type de sol sur le plan textural de type argileux, qui présente des comportements très contraignants en ce qui concerne la dynamique de l'eau

III.1.1. Echantillonnage du sol

Après désherbage, on a effectué des prélèvements de terre à une profondeur de 05 à 10 cm. Les échantillons de terre prélevés sont mis dans les sachets en plastique et transportés au laboratoire.

III.1.2. Echantillonnage de la matière organique (compost)

La matière organique utilisée est un mélange de fumier d'ovins riche en potasse, de caprins et de paille. Cette matière organique est utilisée comme apport organique supplémentaire, visant à rétablir la réserve organique du sol.



Figure 09 : Photo représente le compost utilisé

III.2. PREPARATION DES ECHANTILLONS

III.2.1. Les échantillons de terre

La terre prélevée a été ramenée au laboratoire où elle a été étalée sur du papier journal pour le séchage à l'air libre. Ensuite, les échantillons de terre sont tamisés avec un tamis de diamètre 2 mm pour récupérer les agrégats inférieurs à 2 mm (terre fine).



Figure 10 : Photo représente terre étalée pour séchage



Figure 11 : Photo représente terre tamisée à 2mm

III.2.2. La matière organique (le compost)

Le fumier a été prélevé à l'état frais, mais présente une maturation peu évoluée au moment de son prélèvement. Après l'avoir séché à l'air libre et broyé, nous avons récupéré par tamisage la fraction calibrée de diamètre compris entre 0,5 et 2mm.



Figure 12 : Compost à l'air libre



Figure 13 : Compost tamisé (0,5 et 2mm)

III.2.3. Le mélange terre /matière organique

Nous avons constitué des échantillons de 150g (contenance maximale des pots utilisés pour l'expérimentation). Ces échantillons de terre sont mis dans des pots en plastique avec un processus de drainage par le bas.

Les apports de matière organique ont été faits de la même façon pour tous les pots, selon les trois doses de compost suivantes :

- Sans apport de compost (témoin).
- 2% de compost
- 5% de compost
- 10% de compost



Figure 14 : Représentation du mélange terre /compost

III.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

III.3.1. Présentation du dispositif

Les pots de mélange terre /compost ainsi constitués sont placés au niveau du laboratoire, avec une humidité maintenue constante par un arrosage des pots tous les trois ou quatre jours, pour restituer l'eau perdue par évaporation durant l'expérimentation.

L'expérimentation s'est étalée sur 60 jours, durant laquelle des prélèvements espacés ont été effectués selon le calendrier suivant :

- Prélèvement après 30 jours
- Prélèvement après 60 jours

A chaque prélèvement, quatre pots de chaque mélange seront sacrifiés, pour mesurer la teneur en eau à la capacité au champ. Comme il n'y a qu'un seul type de sol et deux prélèvements différents dans le temps, le nombre de pot de chaque traitement est donc multiplié par deux (2), puis par (3) :

- Trois pots de (terre sans M.org) x deux prélèvements = 6 pots.
- Trois pots de (terre + 2% M.org) x deux prélèvements = 6 pots.
- Trois pots de (terre + 5% M.org) x deux prélèvements = 6 pots.
- Trois pots de (terre + 10% M.org) x deux prélèvements = 6 pots.



Figure 15 : Pots du premier mois



Figure 16 : Pots du deuxième mois

Le nombre total d'échantillons est donc de :

$$4 \text{ (doses)} \times 3 \text{ (répétitions)} \times 2 \text{ (prélèvements)} = 24$$

III.3.2. Notation des échantillons

Les abréviations utilisées dans la notation sont comme suit :

A : 0 % de compost

B: 2 % de compost

C: 5 % de compost

D: 10 % de compost

Exemple :

A0 : Terre argileuse mélangée avec 0 % de compost à 0 jours d'évolution.

Pour les temps de prélèvement, nous les avons notés : 1-2 correspondant respectivement à : 30 et 60 jours d'évolution.

Tableau VII : Notation des prélèvements

temps de prélèvement	Taux de compost			
	0 %	2 %	5 %	10 %
30 jours	A1	B1	C1	D1
60 jours	A2	B1	C2	D2

III.4. METHODES D'ANALYSE

III.4.1. Mesure de l'humidité à la capacité au champ

Dans notre cas, vu le manque de moyens, nous avons utilisé une méthode traditionnelle qui est beaucoup plus simple, mais non la plus rapide.

Afin de mesurer la teneur en eau à la capacité au champ, nous avons d'abord :

- ✓ Introduire Les mélanges dans des pots en plastique pouvant contenir jusqu'à 150grs de terre ;
- ✓ plonger les pots dans un réservoir d'eau (cuvette);
- ✓ laisser l'eau monter par capillarité, jusqu'à saturation de la terre ;
- ✓ récupérer les pots pour les laisser ressuyer spontanément par drainage, jusqu'à ce que le ressuyage s'arrête ;
- ✓ Après ressuyage, peser tous les pots ;
- ✓ En apportant tous les 3 jours la quantité d'eau qui se serait évaporée durant ce laps de temps ; Cela peut se faire par la différence de poids de l'échantillon ($P_1 - P_0$) ;
- ✓ A la fin de 30 jours (1^{er} mois) prendre une quantité de sol (20g) dans les les creusets en verre à la température de 105°C jusqu'à stabilisation de la masse ;
- ✓ Repeser l'échantillon à sec (p_2) ;
- ✓ Les échantillons de terre, sont pesés avant (x) et après (x')

- ✓ de leur passage à l'étuve. La perte du poids subie par représente le poids d'eau évaporée pendant le s
- ✓ Calculer l'humidité à la capacité au champ

$$H^{\circ}(\%) = \frac{H^{\circ}(g)}{X'} \times 100$$

Où :

X : poids humide X' : poids sec H° : l'humidité à la capacité au champ (x - x') g

Chapitre IV
Résultats
et Discussions

IV.1. LES RESULTATS OBTENUS

IV.1.1. Rétention de l'eau à la capacité au champ à 1 mois d'expérimentation

Dans le tableau VIII ci-dessous, nous avons consigné les résultats de l'humidité à la capacité au champ pour les différentes doses de compost utilisées (0, 2, 5 et 10%). Nous signalons que trois essais (répétitions) ont été effectués pour chaque dose de matière organique. A partir des résultats obtenus, il apparaît clairement que plus la dose de compost augmente, plus la rétention de l'eau à la capacité au champ du sol s'améliore. Elle augmente d'environ 10% pour les essais enrichis à 5% de matière organique et de 12% environ pour les essais enrichis à 10% de matière organique.

Tableau VIII : Rétention à la capacité au champ en fonction des doses de compost durant le 1^{er} mois.

N° d'essais les doses	0%	2%	5%	10%
1	43,37 %	42,75 %	53,37 %	57,23 %
2	42,65 %	45,66 %	51,51 %	53,96 %
3	42,65 %	46,62 %	50,26 %	50,48
Moyennes	42,89%	45,01%	51,61%	53,89%

IV.1.2. Rétention de l'eau à la capacité au champ à 2 mois d'expérimentation

Les résultats de l'humidité à la capacité au champ sont représentés dans le tableau IX ci-dessous, pour les différentes doses de matière organique mélangées à la terre (0, 2, 5 et 10%). Nous remarquons également, comme pour les prélèvements après un mois d'expérimentation, une nette augmentation de la rétention en eau à la capacité au champ. Il faut signaler toutefois, que celle-ci est beaucoup plus remarquable, car elle s'améliore nettement avec la dose de compost utilisée, et cela dans les trois essais effectués. Par exemple, dans le premier essai, elle passe de 36,51% pour la dose de 0% de compost à 57,23% pour la dose à 10%. Cela fait une amélioration de la rétention en eau à la capacité au champ d'environ 20%, ce qui représente une augmentation considérable en rapport avec les 36,51% de départ.

Tableau IX : Réention à la capacité au champ en fonction des doses de compost
Après le 2^{ème} mois

N°d'essais les doses	0%	2%	5%	10%
1	36,51 %	41,09%	45,56 %	57,23 %
2	38,02%	42,14%	46,30 %	50,03 %
3	36,23%	43,67 %	47,38%	50,60 %
Moyennes	36,92%	42,58%	46,41%	52,62%

IV.2. INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.2.1. Réention de l'eau à la capacité au champ à 1 mois d'expérimentation

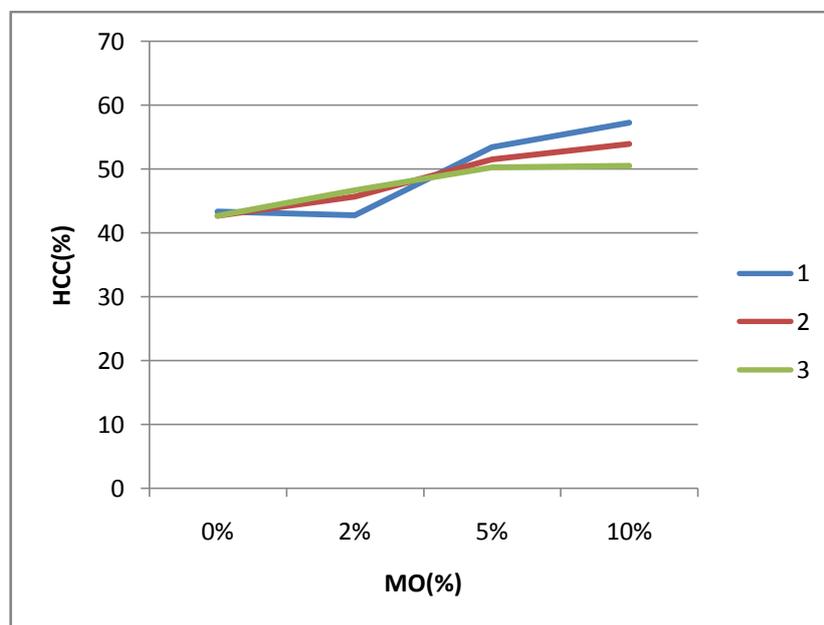


Figure 17 : Réention à la capacité au champ en fonction des doses de compost
durant le 1^{er} mois.

Selon les courbes de la figure n° 09, dont les résultats analytiques sont représentés dans le tableau VIII, nous remarquons des augmentations assez irrégulières de la rétention en eau durant les 30 premiers jours de l'expérimentation. Nous retenons toutefois, que la tendance est la même, à savoir une augmentation significative de l'humidité à la capacité au champ à 1 mois dans tous les essais.

Cela concorde avec les expériences de la plupart des auteurs. Il apparaît visiblement que l'impact de la présence de matière organique n'est apparent qu'à partir de 5%. Car si l'on compare les résultats des essais à 1 mois et à 2 mois d'expérimentation, ils sont relativement proche les uns des autres. Cela voudrait dire que la matière organique utilisée (compost) n'a pas vraiment d'incidence sur la rétention au tout début, surtout pour les doses faibles (0% et 2%).

IV.2.2. Rétention de l'eau à la capacité au champ à 2 mois d'expérimentation

Pour le graphe de la figure n° 10, qui représente l'évolution de la rétention d'eau à la capacité au champ en fonction de doses de MO durant 60 jours d'expérimentation, nous constatons que les courbes des trois essais augmentent régulièrement jusqu'à la fin de l'expérimentation.

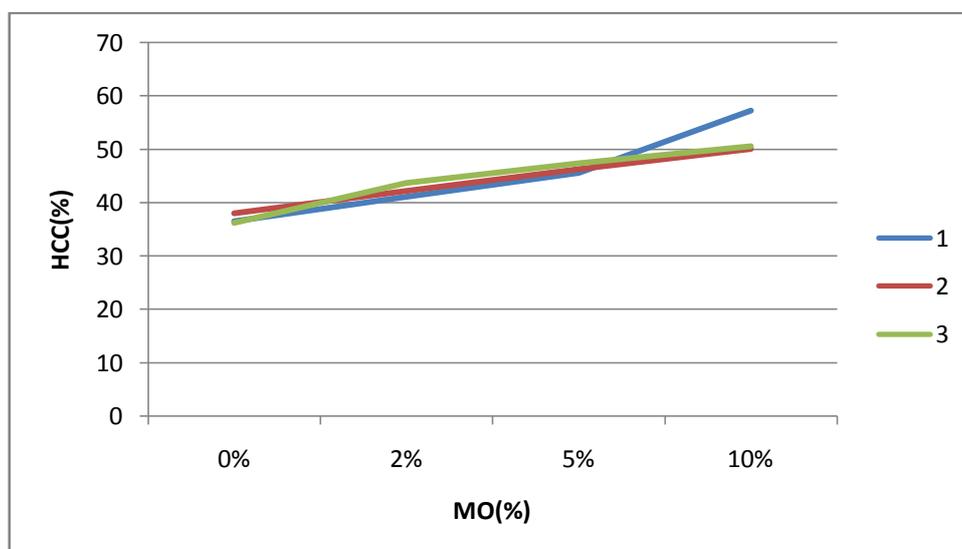


Figure 18 : Rétention à la capacité au champ en fonction des doses de compost durant le 2^{ème} mois.

D'après les courbes de la figure n°10, dont les résultats analytiques sont consignés dans le tableau IX, l'amélioration de la rétention en eau est assez constante pour tous les essais effectués, mais elle apparaît plus nettement pour la dose de 10% de matière organique, où on observe une moyenne de 52,62 % avec une amélioration de presque 16% par rapport à la dose du témoin (0% de matière organique) au départ. Cela montre bien l'influence de la dose de matière organique qui montre des rétentions nettement plus améliorées que les échantillons non enrichis en compost, mais aussi l'influence du degré de maturation de la matière organique, où l'on observe des rétentions plus importantes pour les essais après 2 mois d'expérimentation que ceux prélevés après 1 mois (Voir tableaux VIII et IX).

Cela démontre encore une fois, l'importance de la maturation de l'humus dont la rétention est intimement liée au degré de maturation de celui-ci, qui se comporte comme une éponge vis-à-vis de l'eau. En plus du fait que l'abondance de matière organique stimule l'activité bactérienne du sol qui améliore encore plus la rétention par la sécrétion des mucus bactériens (polysaccharides) qui jouent aussi un rôle dans la restructuration du complexe organo-minéral du sol.

IV.2.3. Comparaison de l'évolution de la capacité au champ après 1 mois et 2mois

D'après les résultats des teneurs en eau à la capacité au champ représentés par les courbes de la figure 11, nous constatons que celles-ci varient, d'une part en fonction du temps, et d'autre part en fonction des doses de matière organique appliquées.

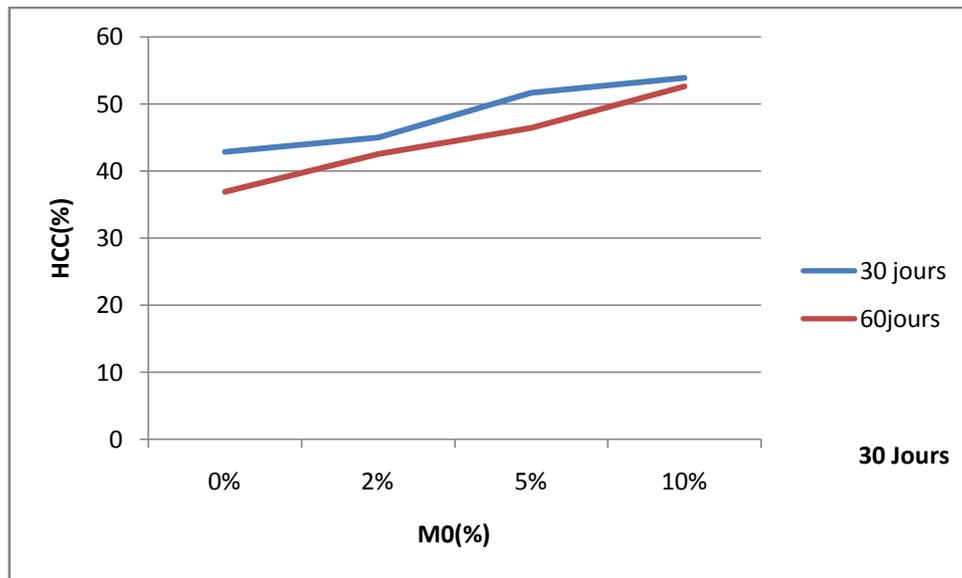


Figure 19 : Comparaison des évolutions moyennes de la rétention d'eau à la capacité au champ entre 1 mois et 2 mois d'expérimentation.

Le graphe présenté par la figure 11, nous montre que la rétention en eau à la capacité au champ ne suit pas la même allure d'évolution pour les doses de compost au cours de l'expérimentation.

Les mélanges de toutes les doses suivent la même allure générale d'évolution au de l'expérimentation, à savoir une légère augmentation de la capacité au champ durant toute la période d'expérience.

Cela relève une augmentation graduelle de la teneur en eau à la capacité au champ, liée à la présence du taux de matière organique (compost) plus important, mais aussi à une activité microbienne plus élevée stimulée par cet apport de produit organique, et secrétant des mucus bactériens, capable d'augmenter d'autant plus la rétention en eau du sol.

Nous constatons qu'il est évident que l'apport de la matière organique (compost) a une grande influence sur la capacité des sols à retenir l'eau surtout pour les sols argileux. Il faut noter encore une fois que le temps est un facteur très important, car il permet une plus grande maturation et stabilisation de la matière organique dans le sol, et son intégration dans le complexe argilo-humique permet une amélioration de la capacité au champ. C'est se qui ressort des chiffres enregistrés après le 1^{er} mois et après le 2^{ème} mois d'expérimentation.

Cette expérience donne des indications intéressantes concernant l'impact de la matière organique en général sur la rétention de l'eau dans le sol, malgré que l'expérimentation n'ait duré que 2 mois. Cela aurait été plus intéressant de prolonger ce type d'essai sur une plus longue durée, ce qui pourrait donner des corrélations plus étroites et une éventuelle modélisation de cette dynamique du compost. Cela permettrait aussi d'avoir une idée sur l'amélioration de la capacité du sol à emmagasiner l'eau par l'apport de compost en étudiant la dynamique de cette rétention sur une longue période au niveau de l'humidité à la capacité au champ et de l'humidité au point de flétrissement permanent, afin d'estimer la réserve utile du sol.

Conclusion

CONCLUSION

L'objectif visé par ce travail est le suivi de l'évolution de la rétention en eau à la capacité au champ d'un sol, selon son état textural, en fonction de la richesse en matière organique qui influe beaucoup sur la réserve en eau du sol. Nous voulions ainsi montrer le degré d'influence de cette matière organique (compost) sur la rétention en eau à la capacité au champ d'un sol argileux durant une certaine période.

Dans cette optique, nous avons incorporé quatre doses différentes (0%, 2%, 5% et 10%) de compost, calibré (0,5 et 2mm) à nos sol. Ces échantillons ont évolué pendant 60 jours. Au cours de cette période, deux prélèvements ont été effectués pour suivre la cinétique des composés organiques et des propriétés physiques, particulièrement la rétention en eau à la capacité au champ en fonction du temps de l'expérimentation.

Plusieurs remarques peuvent être déduites des résultats obtenus durant notre expérimentation. Nous observons tout d'abord que les rétentions d'eau à la capacité au champ présentent des évolutions cinétiques différentes, qui dépendent essentiellement des teneurs en compost ajoutés, et du temps de maturation de ce dernier durant l'expérimentation.

L'analyse des résultats concernant les humidités à la capacité au champ, nous a permis de mettre en évidence l'effet joué par le compost sur les sols à texture argileuse, en augmentant sa rétention en eau, par une réorganisation structurale, qui découle de la présence d'humus provenant du compost ajouté et qui donne au sol une meilleure capacité à absorber l'eau et la retenir avec des forces plus élevées. Cela étant lié au potentiel matriciel qui augmente avec le taux d'argile mais aussi avec le taux de matière organique présente dans le sol et le degré de sa maturation. Cela apparaît nettement, surtout au 2^{ème} mois de prélèvement, où l'on remarque une très forte augmentation de la rétention en eau à la capacité au champ, provenant à l'effet

synergique de la dose de compost plus importante (5 et 10%) et une plus grande maturation du compost à ce moment.

Il serait très intéressant de mener cette étude sur une plus longue durée, de l'ordre d'une année, pour mettre en évidence l'effet du compost plus mature, qui pourrait donner des corrélations plus étroites et essayer d'établir une modélisation de la dynamique du compost. Cela permettrait aussi d'avoir une idée sur l'amélioration de la capacité du sol à emmagasiner l'eau par l'apport de compost en étudiant la dynamique de cette rétention sur une longue période au niveau de l'humidité à la capacité au champ et de l'humidité au point de flétrissement permanent, afin d'estimer la réserve utile du sol.

Il serait également utile de penser à faire des essais sur les autres humidités caractéristiques des sols, comme le point de flétrissement, ou même d'établir des courbes de pF à chaque point de prélèvement, pour estimer l'évolution du complexe organo-minéral durant la maturation de la matière organique au cours de l'expérimentation.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Abiven S., (2004) - Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse de doctorat de l'ENSAR, 262p.

Ademe., (2000) - Les déchets municipaux les chiffres clés, 2^{ème} édition, 12p.

Anonyme ., (2009) - Encyclopedie libre Wikipedia 2009: <http://fr.wikipedia.org>.

Auboin J., Brousse R. et Lehman J.P., (1968) - Précis de géologie: pétrologie- dunod, Paris.

Audiguier M. et Marcel M., (1979) - Contribution à l'étude du comportement de l'eau dans les sols en fonction de leur texture. Mémoire de DEA, centre de géologie d'ingénieur. Ecole National Supérieure des Mines de Paris, 248p.

Baize D., (1988) - Guide des analyses courantes en pédologie. Ed. Lavoisier. 172p.

Baize D. et Jabiol B., (1995) - Guide pratique de la description des sols. Ed. INRA, Paris, 375p.

Baize D. et Girard M.C., (1995) - Référentiel pédologique, paris, 332p.

Baize D., (2000) - Guide des analyses courantes en pédologie. Ed. INRA. Paris, 257p.

Baldock J.A. et Nelson P. N., (1999) - Soil Organic Matter. Pp. B25-B 167 In (Malcoml, Sumner Ed), Handbook Soil Science. CRC Press, N.Y.

Benhamiche N., (1997) - Modélisation de la pluie-relief en vue de la cartographie pour krigeage : cas du bassin versant de la Soummam. Thèse de magister en science Agronomique. Opt : Aménagement et mise en valeur. I.N.A. Alger, 158p.

Beniston M., (2009) - Changement climatique et impacts et impacts. De l'échelle globale à l'échelle locale, 1^{er} édition, presses polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), 243p.

Benkhanouche N., (2005) - Etude de l'évolution de la stabilité des terrasses de la vallée de la Soummam en fonction de la couverture végétale. Relation avec leurs capacités de filtration des eaux pluviales. Mémoire magister de l'Université A/Mira de Bejaia, 126p.

Benrhaen H., Tessier D. et Pons C.H., (1986) - Comportement hydrique et évolution structurale des montmorillonites au cours d'un cycle de dessiccation-humectation : Partie I. Cas montmorillonites calciques. Clay Minerals 21, pp 9-29.

Berthelin J. et Morel J.L., (2004) - Sol et environnement. Ed. Dunod, Paris. 816pp.

Bolt G.H., (1956) - physico-chemical analysis of the compressibility of pure clays. *Geotechnique* **8**: pp 86-90.

Bruand A. et Zimmer D., (1992) - Relation entre la capacité d'échange cationique et le volume poral dans les sols argileux : incidences sur la morphologie de la phase argileuse à l'échelle des assemblages élémentaires. *C.R. Acad. Sci.*, 315, 223-228.

Caillere S. et Henin S., (1959) - La classification des argiles congrès, géologique. International, Mexico, pp1-8.

Chenni K. et Maghlouche Y., (2013) - Compostage des déchets : Cas de la station Biocompost d'EL- KSEUR. Mémoire, Université ABDRRAHMANE MIRA de Bejaia, 71p.

Chretien M., (2010) - Compréhension des mécanismes de retrait- gonflement des sols argileux : Approche sur site expérimental et analyse de sinistres sur constructions individuelles. Thèse doctorat, Université Bordeaux I science techniques au Service de l'homme et de l'environnement, 315p.

Cosentino D.J., (2006) - Contribution des matières organiques à la stabilité de la structure des sols limoneux cultivés. Effet des apports organiques a court terme. Thèse doctorat, INA paris-Grignon, 186p.

Cornet N., (1980) - Observations sur la capacité de rétention, ses relations avec les valeurs de potentiel et la texture des sols sableux du Nord Sénégal. ORSTOM. Paris. Sér. Biol. N°: 42. 53- 59.

Diaz-Zorita M., Perfect E. et Grove J. H., (2002) - Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil and tillage research.* 64: 3-22.

Dix N. et Webster J., (1995) - *Fungal Ecology*, Chapman et Hall Eds, Cambridge, 549p.

Duchaufour P., (1984) - *Abrégé de pédologie*. Ed. Masson, 212p.

Duchaufour P., (1995) - *Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement*. Ed. Masson, 291p.

Duchaufour P., (2001) - *Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement*. 6^{ème} édition. Dunod, Paris, 331p.

Dutartre P., Bartoli F., Andreux F., Portal J.M. et Ange A., (1993) - Influence of content and nature of organic matter on the structure of Somme sandy soils from west Africa. *Gegderma* **56**: pp 459-478.

Eddy M., (2014) - *Le compostage, c'est facile !*, www.compostage.info

Foucault A. et Raoult J. F., (2001) - *Dictionnaire de géologie*, 5 Ed. Paris: Dunod.

Gens A. et Alonso E., (1992) - Framework for the behaviour of unsaturated expansive clays, *can. Geotechnical* 29: pp 1013-1032.

Girald M.C., Walter C., Remy J.C., Berthin J. et Morel J.L., (2005) - Sol et l'environnement. Ed. Dunod, paris, 45-397p.

Gobat M. J., Aragnon M. et Matthey W., (2010) – Le sol vivant : Bases de pédologie-Biologie des sols 3^{ème} édit, presses polytechniques et Universitaires Romandes, 817p.

Gollany H.H., Schumacher T.E., Evenson P.D., Lindstron M.J. et Lemme G D., (1991) - Aggregate stability of an eroded and resurfaced topic Argiustoll. Soil Science society of America journal **55 (3)**:811-816.

Greco J., (1996) - L'érosion, la défense et la restauration des sols. Le reboisement en Algérie. Publication du ministère de l'agriculture et de la reforme, agraire Alger, 393p.

Guggenheim S Adams J.M., Bain D.C., Bergaya F., Brigati M. F., Drits V.A., Formoso M.L.L., Galan E., Kagure T. et Stanjek H., (2006) - Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy: Report of the association international pour l'étude des argiles (AIPEA) Nomenclature committee For (2006), clays and clay Minerals 54(6): 761-772.

Haruta S., Nakayama T., Nakamura K., Hemmi H., Ishii M., Igarashi Y. et Nishino T., (2005) - Microbial diversity in biodegradation and reutilization processes of garbage. Journal of Biosciences and Bioengineering 99: 1-11.

Henin S., Gras R. et Monnier G., (1969) - L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Ed. Masson et C^{ie}. Paris, 332p.

Hillel D., (1984) - L'eau et le sol. Principe et processus physique. Cobaye, libraire-éditeur, Louvain la Neuve, 288p.

Homand F. et Duffaut P., (2000) - Manuel de mécanique des roches. Tome1 : Fondements, Editions CFMR, presses ENSMP, paris.

Hubert F., (2006) - Modalisation des diffractogramme de Minéraux Argileux en assemblages complexes dans deux sols de Minéralogie et pédologique. Thèse de doctorat des sciences fondamentales et appliquées, université de Poitiers, 205p.

Ifen., (2002) - L'environnement en France. (Eds la Découverte), 600p.

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 télédétection spatiale. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 151p.

Le Bissonnais Y., (1996) - Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of soil science 47(4): 425-437

- Le Bissonais Y., (2002)** - Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff Model: Sealing and transfer by runoff and erosion related to agricultural management. *Catena* 46 (2): 189-205.
- Lesaignoux A., (2010)** - Estimation de l'humidité de surface des sols nus à partir de l'imagerie hyperspectrale à haute résolution spatiale, sur le domaine optique 0.4- 14 μm . Thèse doctorat, l'Institut Supérieure de l'Aéronautique et l'Espace 203p.
- Li .X.L. (1999)** - Comportement hydromécanique des sols fins : de l'état saturé à l'état non saturé. Thèse doctorat en science de l'ingénieur, Université de Liège, 359p.
- Maubec N., (2010)** Approche Multi- Echelle du traitement des sols a la chaux : Etudes des interactions avec les argiles. Thèse de doctorat, faculté des sciences et des techniques, Université de Nantes, 217p.
- Morel R., (1996)** - Les sols cultivés, 2^{ème} édition, paris : Technique et documentation, ISBN : 2-7430-149-6.
- Mouroux p., Margon P et Pince J.C., (1988)** - La construction économique sur les gonflants : Manuels et méthodes **14** : BRGM.
- Mustin M., (1987)** - Le compost, gestion de la matière organique, F Dubux, Eds, paris, 957p.
- Parrens M., (2013)** - Assimilation des données SMOS dans un modèle des surfaces continentales : mise en œuvre et évaluation sur la France. Thèse de doctorat , Université de Toulouse , 141p.
- Pope L. J., Paskevich V. F., Hathaway J. C. et Blackwood D. S., (2001)** - A laboratory Manuel for x-ray powder diffraction. U. S Geological Survey, Open- File Report 01-041.
- Quirk J.P., (1994)** - Interparticle force: a basis for the interpretation of soil physical behavior. *Advances in agronomy*, 53, 121-183.
- Ramade F., (1994)** - Elément d'écologie fondamentale. Ed. Dunod, Paris, 688p.
- Robert M., (1996)** - Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement, paris : Masson.
- Serratrice J.F. et Soyez B., (1996)** - Les essais de gonflement, *Bull. labo. p. et ch.*, n°204 : pp 65-85.
- Soltner D., (1988)** - Les bases de la production végétale. Le sol, le climat, la plante. Tome 1. 16^{ème} édition. Coll. Science et technique agricoles. Paris, 466p.
- Schoeller H., (1955)** - « hydrologéologie ». Ecole Nat. Sop. Pétrole, technique, paris, 2 : 443p.

- Six J., Feller C., Deny K., Ogle S. M. et Moraes SA J. C., (2002)** - Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no- tillage. *Agronomy* 22: 755- 775.
- Sparks D. L., (2003)** - Environnemental Soil chemistry. Second Edition, Elsevier Science, 367p.
- Stengel P., (1979)** - Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol in situ. *Ann. Agrau .v.30* : 27- 49.
- Stengel P., Gelis S et Coord., (1998)** - Sol : interface fragile. Paris. INRA. 222P.
- Stengel P., Bruckler L et Balesdent J., (2009)** - Le sol. Paris. INRA. 183p.
- Tessier D., (1984)** - Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux – hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de réhumidification, Thèse doctorat, université de paris VI, 362pp.
- Tessier D. et Pedro G., (1987)** - Mineralogical characterization of 2 :1 clays in soils : importance of the clay texture. In: Proceedings of the international clay conference, Denver, 1985 (Ed. L. G. Schultz, H. van Olphen & F.A. Mumpton), The Clay Minerals Society, Bloomington, IN.pp.78-84.
- Tessier D., Bruand A., Le Bissonnais Y. et Dambrine E., (1996)** - Qualité chimique et physique des sols : variabilité spatiale et évolution. *Etude et gestion des sols* : 229-244.
- 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.
- Tuomela M., Vikman M., Hatakka A. et Itavaara M., (2002)** - Biodegradation of lignin in a compost environment: review. *Bioresource technology* 72: 169-183.
- Vauclin M., (1983)** - L'humidité des sols en hydrologie : intérêt et limites de la télédétection. *I.A.H.S. publ. n° 145*: 511 - 527.
- Veihmeyer R. J. et Hendrickson A.H., (1949)** - Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soils- *soil sci-68*, 75-94.
- Velde B., (1995)** - Composition and mineralogy of clay minerals, in voelde B., Ed., origin and mineralogy of clays: New York, Springer. Overlay, pp.8-42.
- Vilain M., (1989)** - La production végétale : La maîtrise technique de la production. Vol. 2, Ed. Lavoisier, 361.
- Yong R. N., (1999)** - Overview of modeling of clay microstructure and interactions for prediction of waste isolation barrier performance, *engineering geology* 54: 83- 91.

Résumé

L'humidité du sol est une variable clé, aussi bien en Hydrologie qu'en Agronomie. En effet, l'eau du sol permet la croissance de la végétation, à savoir la germination et le développement du système racinaire. Après 60 jours, nous avons constaté que les rétentions d'eau à la capacité au champ augmentent au fur et à mesure que la dose de compost apportée au sol croît. La matière organique (compost) peut améliorer la rétention d'eau plus durablement et de manière plus intense. L'application de compost a également des effets bénéfiques sur la capacité de stockage de l'eau utilisable par les plantes, ce qui constitue un atout considérable pour le sol.

Mots-clés : Humidité, Sol, Capacité au champ, Agronomie, Compost, Végétation.

Abstract

Soil humidity is a key variable to Hydrology that the Agronomy. In fact, the soil humidity allows vegetation growth such as the germination and the development of root system. After 60 days, we found that water retention at field capacity increased progressively as the dose of compost added to the soil increase. The organic matter (compost) can improve the retention of water more sustainable and more intense, at condition to provide the amendements in organic matter of manner regular. The application of compost has also beneficial effects on the storage capacity of the water used by the plants, which constitute, significant an advantage to the soil.

Keywords: Humidity, Soil, Capacity to field, Agronomy, Compost, vegetation.