

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Abderrahmane MIRA – Bejaia**

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement  
Filière : Ecologie de l'Environnement  
Option : Ecologie



Réf : .....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

*Thème*

***Influence du fumier de bovin sur  
l'évolution de la perméabilité d'un sol de  
texture argileuse, soumis à deux épisodes  
de dessiccation***

Présenté par :

**ABIDI Ouarda & SOUFI Hassiba**

Soutenu le : 01/07/2019

Devant le jury composé de :

Mr. RAMDANI. N  
Mr. SIDI.H  
Mr. AHMIM. M

Président  
Encadreur  
Examineur

**Année universitaire : 2018 / 2019**



# Remerciements

---

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu tout puissant, de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme nos études et pouvoir réaliser ce travail de fin de cycle.*

*Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à notre encadreur Mr SIDI Hachemi qui nous a fournis le sujet de ce mémoire et nous a guidés de ses précieux conseils et suggestions, et la confiance qu'il nous a témoignés tout au long de ce travail.*

*Nous tenons à gratifier aussi les membres de jury : Mr AHMIM (examineur) et Mr RAMDANI (président) pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre étude en acceptant d'examiner notre travail.*

*Nos vifs remerciements aussi vont à Mr LAKHDARI Sofiane, et Mr BOUKHALFA Farid chargé de cours à l'Université de Béjaia, pour leur aide, leur disponibilité et pour leurs précieux conseils.*

*Nos sincères et vifs remerciements s'adressent également aux ingénieurs du laboratoire de recherche d'Écologie et Environnement pour leur soutien et leur aide.*

*En fin, on adresse nos sincères sentiments de gratitude et de reconnaissance à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

**Ouarda & Hassiba**

# *Dédicaces*

---

*Je dédis ce mémoire :*

*A mes très chers parents qui m'ont donnés tout leur amour, qui m'a encouragé à aller de l'avant pour continuer mes études. Aucun mot ne saurait exprimer mon amour, mon respect et ma considération pour leurs sacrifices qu'ils ont consentis pour moi. Je vous aime.*

*A la mémoire de mon oncle SAID.*

*A mon frère ALI et sa femme LINDA.*

*A mon frère NABIL*

*A mon petit neveu SAID que j'aime beaucoup.*

*A ma tante CHAFIKA.*

*A ma binôme ouarda et son mari et toute sa famille.*

*A mon amie que j'aime SKIMANI SABRINA et sa famille.*

*A mes deux amies CILIA et MANIA et leurs familles.*

*A toute la promo master II écologie.*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

**HASSIBA**

# Dédicaces

---

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher papa BRAHIM*

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable maman MALIKA*

*A mon cher mari SOFIANE, et ma chère sœur FATIMA ZOHRA qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études, que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur*

*A mon adorable petite sœur SARAH, qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille*

*A mes deux chers frères AZIZ et YUCEF que dieu les protège*

*A ma belle famille (LAKHDARI): Oncle AHMED, tante ZAHOUA, mon adorable belle sœur SOUHILA et mon beau frère YACINE que dieu les bénisse*

*A mes grand-mères, mes oncles, mes cousins, et mes tantes, que dieu leur donne une longue et joyeuse vie*

*A toute les personnes et les amis que j'ai connus, merci pour leur amour et leur encouragement*

*Sans oublier mon binôme HASSIBA pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail et à toute sa famille*

**OUARDA**

## *Liste des figures*

<i>figure</i>	<i>Titres</i>	<i>Pages</i>
<b>01</b>	Les différentes fractions du sol.	<b>05</b>
<b>02</b>	La perméabilité en fonction de la texture du sol.	<b>14</b>
<b>03</b>	Représentation des tétraèdres de silicium et des octaèdres d'aluminium.	<b>17</b>
<b>04</b>	Liaisons possibles de l'eau inter-foliaire.	<b>20</b>
<b>05</b>	Mécanisme d'adsorption de l'eau sur les surfaces argileuses.	<b>21</b>
<b>06</b>	Le complexe argilo-humique.	<b>22</b>
<b>07</b>	pourcentage d'eau utile (disponible) en fonction de la texture du sol	<b>26</b>
<b>08</b>	Situation géographique de l'INRAA de Bejaia.	<b>31</b>
<b>09</b>	Séchage de la terre à l'air libre.	<b>32</b>
<b>10</b>	Broyage de la terre avec un rouleau	<b>32</b>
<b>11</b>	Tamissage de la terre avec un tamis de <b>2 mm</b>	<b>32</b>
<b>12</b>	La terre fine.	<b>33</b>
<b>13</b>	Fumier de bovin à l'air libre	<b>34</b>
<b>14</b>	Fumier de bovin	<b>34</b>
<b>15</b>	Mélange terre/fumier de bovin.	<b>34</b>
<b>16</b>	Echantillon à <b>150 g</b> du Mélange terre/fumier de bovin	<b>35</b>
<b>17</b>	Pots dans une bassine remplie d'eau	<b>36</b>
<b>18</b>	Ressuyage des pots au-dessus d'un tamis	<b>36</b>
<b>19</b>	Dispositif expérimental de la mesure de la perméabilité.	<b>37</b>
<b>20</b>	Schéma du dispositif d'infiltration de l'eau à travers une colonne de terre	<b>39</b>
<b>21</b>	Répartition des fractions minérales du sol limono-argileux ( <b>en %</b> ).	<b>41</b>
<b>22</b>	Le triangle des textures ( <b>USDA</b> )	<b>42</b>
<b>23</b>	Evolution de la perméabilité ( <b>k</b> ) en fonction du temps pour les trois doses de matière organique.	<b>44</b>

## *Liste des tableaux*

<i>Tableaux</i>	<i>Titres</i>	<i>pages</i>
<b>I</b>	les classes granulométriques du sol	<b>07</b>
<b>II</b>	Caractéristiques agronomiques du fumier de bovin	<b>28</b>
<b>III</b>	La classification des perméabilités en fonction du coefficient <b>K</b>	<b>40</b>
<b>IV</b>	Résultats de l'analyse granulométrique du sol	<b>41</b>
<b>V</b>	Résultats analytiques de la perméabilité en fonction du temps.	<b>43</b>

*Liste des abréviations*

<i><b>Abréviation</b></i>	<i><b>Signification</b></i>
<b>A</b>	Argile
<b>C.A.H</b>	Complexe Argilo- <b>H</b> umique
<b>C.C</b>	Capacité au <b>C</b> hamp
<b>C.O</b>	Couche <b>O</b> ctaédrique
<b>da</b>	<b>D</b> ensité <b>A</b> pparente
<b>Dr</b>	<b>D</b> ensité <b>R</b> éelle
<b>F.B</b>	<b>F</b> umier de <b>B</b> ovin
<b>FP</b>	Point de <b>F</b> létrissement <b>P</b> ermanent
<b>I.N.R.A.A</b>	Institut National de la <b>R</b> echerche <b>A</b> gronomique en <b>A</b> lgérie
<b>L.F</b>	<b>L</b> imon <b>F</b> in
<b>L.G</b>	<b>L</b> imon <b>G</b> rossier
<b>M.E.B</b>	<b>M</b> icroscopie <b>E</b> lectronique à <b>B</b> alayage
<b>M.O</b>	<b>M</b> atière <b>O</b> rganique
<b>MPa</b>	<b>M</b> éga <b>P</b> ascal
<b>P</b>	<b>P</b> orosité <b>T</b> otale
<b>pF</b>	<b>P</b> otentiel <b>M</b> atriciel
<b>R.U</b>	<b>R</b> eserve <b>U</b> tile
<b>S.F</b>	<b>S</b> able <b>F</b> in
<b>S.G</b>	<b>S</b> able <b>G</b> rossier





# Sommaire

INTRODUCTION.....	01
-------------------	----

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

1.1. LE SOL.....	03
1.1.1. Définition.....	03
1.1.1.1. Définition agronomique.....	03
1.1.1.2. Définition pédologique.....	04
1.1.1.3. Définition écologique.....	04
1.1.1.4. Définition fonctionnelle.....	04
1.1.2. Les constituants du sol.....	04
1.1.2.1. La phase solide.....	05
1.1.2.2. La phase liquide.....	06
1.1.2.3. La phase gazeuse.....	06
1.1.3. Propriétés physiques du sol.....	06
1.1.3.1. La texture.....	06
1.1.3.2. La structure.....	07
1.1.3.3. La porosité.....	09
1.1.3.4. La perméabilité ou conductivité hydraulique.....	11
1.1.4. L'influence de la texture et de la structure sur la perméabilité.....	12
1.1.5. Les argiles.....	14

<b>1.1.5.1. Définition</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1.5.2. La structure des argiles</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1.5.3 Mécanismes de gonflement / retrait des argiles</b> .....	<b>18</b>
1.1.5.3.1. Le Gonflement au sens physico-chimique.....	18
1.1.5.3.2. Le mécanisme du retrait.....	18
<b>1.1.5.4. Interactions physico-chimique entre l'eau et l'argile</b> .....	<b>19</b>
1.1.5.4.1. Les liaisons hydrogènes.....	19
1.1.5.4.2. Les forces d'attraction de Van der Waals.....	19
1.1.5.4.3. L'hydratation des cations échangeables.....	20
1.1.5.4.4. L'attraction par osmose.....	20
1.1.5.4.5. L'attraction dipolaire (analogie avec un condensateur).....	21
<b>1.1.5.5. Le complexe argilo-humique</b> .....	<b>21</b>
<b>1.1.6. L'eau dans le sol</b> .....	<b>22</b>
1.1.6.1. L'état de l'eau dans le sol.....	23
1.1.6.2. Le Potentiel Matriciel ou Capillaire (pF).....	24
1.1.6.3. Les humidités remarquables dans le sol.....	24
1.1.6.3.1. La capacité au champ (cc).....	24
1.1.6.3.2. Le point de flétrissement permanent (fp).....	25
1.1.6.3.3. La réserve utile (RU).....	25
<b>1.2. LA MATIERE ORGANIQUE</b> .....	<b>26</b>
<b>1.2.1. Définition</b> .....	<b>26</b>
<b>1.2.2. Les différents types de matières organiques</b> .....	<b>27</b>
1.2.2.1. Le fumier.....	27

1.2.2.2. <i>La litière</i> .....	27
1.2.2.3. <i>Le lisier</i> .....	27
1.2.2.4. <i>L'engrais vert</i> .....	28
1.2.2.5. <i>Le Compost</i> .....	28
1.2.3. Les caractéristiques du fumier.....	28
1.2.4. Formes de la matière organique dans sol.....	29
1.2.5. Effets de la matière organique sur les propriétés physiques du sol.....	29
1.2.5.1. <i>Effets sur la structure et la stabilité structurale du sol</i> .....	29
1.2.5.2. <i>Effets sur la rétention en eau</i> .....	30
1.2.5.3. <i>Effets sur la perméabilité dans le sol</i> .....	30

## ***Chapitre II : Matériel et Méthodes***

2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	31
2.2.MATERIEL D'ETUDE.....	31
2.2.1. Echantillonnage de terre.....	31
2.2.2. Préparation de la matière organique.....	33
2.2.3. Le mélange terre /matière organique (F.B).....	34
2.3.METHODES EXPERIMENTALES .....	35
2.3.1. Dispositif expérimental.....	35
2.3.2. Dispositif de mesure de la perméabilité.....	36

<b>2.3.3. Méthodes d'analyse.....</b>	<b>38</b>
<i>2.3.3.1. Analyse granulométrique.....</i>	<i>38</i>
<i>2.3.3.2. Mesure de la perméabilité.....</i>	<i>38</i>

## **Chapitre III : Résultats et Interprétation**

<b>3.1. RESULTATS OBTENUS.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.1. Analyse granulométrique.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.1. Evolution de la perméabilité en fonction du temps pour les trois doses de matière organique.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2. INTERPRETATION DES RESULTATS.....</b>	<b>45</b>
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>49</b>

## INTRODUCTION

Les sols constituent une des ressources naturelles essentielles de la Terre. Ils sont en fait un véritable monde vivant servant de support à presque toute vie terrestre. Les sols et leurs fonctions au sein d'un écosystème varient fortement d'un endroit à un autre à cause de nombreux facteurs comme les différences de climat, les matériaux dont ils sont issus et la position du sol au sein de son environnement.

L'eau retenue dans le sol est d'une grande importance, pour la vie sur terre en général et pour les plantes et la biodiversité en particulier. Elle se trouve en interaction étroite avec le milieu poreux, qu'elle remplit en totalité ou en partie, créant des conditions dites anaérobies ou aérobies favorables au bon développement de la vie. Tous ces phénomènes régissent en grande partie notre survie sur terre.

Dans de nombreux sols, l'eau, temporairement ou en permanence, envahit la totalité de l'espace poral, chassant la plus grande partie de l'air. Le sol est en permanence soumis à des flux hydriques qui s'y infiltrent plus ou moins profondément, qui s'y déplacent latéralement (l'eau de ruissellement) mais aussi verticalement (l'eau de gravité) (**Chossat, 2005**).

La conductivité hydraulique, ou perméabilité, peut être définie comme la capacité du sol à transmettre à travers le milieu poreux qu'il constitue l'eau qui s'y trouve. Ce paramètre hydrodynamique permet de déterminer la quantité de pluie naturelle ou artificielle (irrigation) qui peut pénétrer dans un sol (**Chossat, 2005**). La perméabilité dépend surtout de la structure et, secondairement, de la texture, déterminée par l'analyse granulométrique (**Duchaufour, 1984**).

L'apport des matières organiques dans le sol est une pratique ancienne en agriculture. L'effet de ces éléments organiques ne se résume pas seulement en un enrichissement du sol en quantité d'éléments minéraux disponibles pour les plantes. Leurs spectres d'action est assez large, que ce soit au niveau des propriétés physiques, chimiques ou biologiques du sol (**Belaidi, 2007**).

Du fait de ses propriétés singulières, le fumier de bovin est utilisé en tant qu'amendement organique des sols. Il est destiné à améliorer, ou du moins conserver, les propriétés physico-chimiques des sols et à augmenter leur fertilité minérale, suite à son incorporation dans le sol. En effet, introduit dans le sol, ce fumier se décompose lentement, stimule l'activité biologique et améliore la structure du sol. De même, il apporte au sol des éléments nutritifs et le protège contre l'érosion par la consolidation des agrégats, suite à leur cimentation par les acides humiques. L'introduction du fumier de bovin dans les systèmes culturaux comporte des avantages indéniables sur les plans agronomiques, économiques et bien sûr environnementaux (**Soltner, 1988**).

L'objectif de ce présent travail consiste à étudier l'effet du fumier de bovin sur la perméabilité d'un sol argileux, prélevé dans la station INRAA de Bejaia, en utilisant la méthode de **Henin et al.(1969)**, mesurant la vitesse d'évacuation des eaux de surface, par l'infiltration à travers les pores du sol. Elle permet d'évaluer les rapports entre les eaux de ruissellement et les eaux d'infiltration, qui sont parmi les principaux facteurs engendrant l'érosion hydrique en surface.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres principaux, après une introduction, le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique sur la physique du sol, les argiles, et la matière organique. Le chapitre deux présentera l'endroit où sont réalisés les prélèvements, le matériel, le protocole expérimental et les méthodes utilisées. Le chapitre trois sera consacré à la présentation des résultats obtenus et leurs interprétations. Enfin, nous terminerons par une conclusion générale et perspectives.

## 1.1. LE SOL

### 1.1.1. Définition

Le sol, pour **(Lozet et al. 1990 in Chossat, 2005)** est un produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des décharges d'énergie qui s'y manifestent. Il correspond à la zone de contact entre l'atmosphère et la partie supérieure de la couche externe de l'écorce terrestre. C'est un milieu complexe et dynamique, dont les qualités s'acquièrent progressivement sous l'action combinée des facteurs externes issus de l'hydrosphère, de l'atmosphère et la biosphère.

Selon **Hillel. (1984)**, le terme sol se rapporte à la couche extérieure de la surface terrestre qui s'est fragmentée par altération au cours des âges. Il est formé initialement par désintégration et décomposition des roches dans des processus physiques et chimiques, influencés par l'activité et l'accumulation des résidus de nombreuses espèces biologiques.

Au sens large, les sciences du sol englobent d'une part les disciplines centrées sur les sols, leur évolution et les processus qui s'y déroulent, à savoir pédologie, physique du sol, chimie du sol et biologie du sol **(Musy et al. 1991)**. Plusieurs définitions du sol sont donc possibles, en fonction de l'usage que l'on en fait et du rôle qu'on lui assigne. Dans ce cadre, **(Calvet, 2003)** affirme que « le mot sol est un mot banal que chacun utilise très fréquemment, sans être nécessairement conscient de sa signification. Il faut dire qu'elle peut être très différente selon les préoccupations, les cultures, les connaissances, les époques », « c'est pourquoi la science du sol relève en fait d'un ensemble de plusieurs disciplines séparées bien qu'interdépendantes » **(Hillel, 1984)**.

#### *1.1.1.1. Définition agronomique*

Le sol est la partie arable explorée par les racines et les plantes cultivées ou non, zone d'échanges entre la biosphère et la lithosphère, son potentiel de production se traduit par la notion de fertilité **(Camuzard, 2009)**.



### ***1.1.1.2. Définition pédologique***

Le sol une couche mince formant la partie superficielle de la couche terrestre résultant des différents processus de l'altération physique, mécanique ou chimique (**Camuzard,2009**), comme l'a défini le pédologue **Demolon.(1952)**, le sol étant « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques chimiques, biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants».

### ***1.1.1.3.Définition écologique***

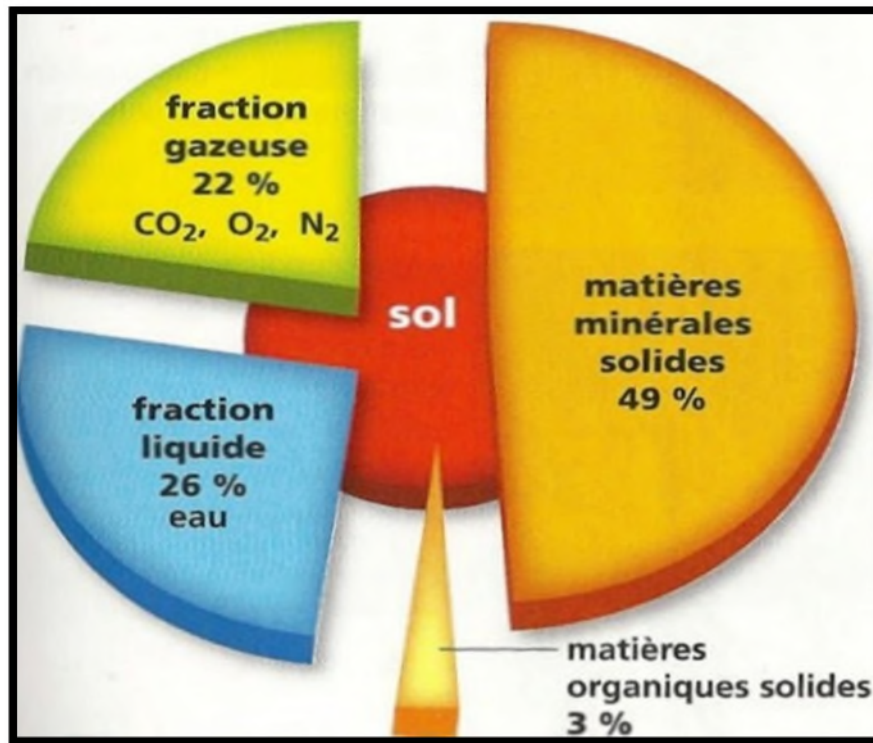
Ecologiquement, le sol est une matrice poreuse, complexe et multiphasique dont ses phases : phase solide, minérale et organique constituent «l'architecture » du sol tout en assurant des échanges dynamiques de matière et d'énergie qui lui donnent ses caractéristiques physique, chimiques et biologiques (**Beauchamp, 2008**). Grâce au pouvoir adsorbant et les capacités d'échanges, le sol demeure un milieu réactif et nutritif essentiel des écosystèmes terrestres (**Camuzard, 2009**).

### ***1.1.1.4. Définition fonctionnelle***

Du point fonctionnel, et selon **Girard et al.(2005)**, le sol est conçue comme un échantillon de la couche supérieure de la croute terrestre formée à partir de l'altération et de la transformation sous l'action combinée du climat, de la biologie (vie animale, vie végétale, microorganismes et homme) et de la géomorphologie sur une roche mère ou un matériau original.

## **1.1.2. Les constituants du sol**

Le sol est un milieu tri phasique composé d'une phase solide (minérale et organique), d'une phase liquide et d'une phase gazeuse (**figure n° 01**).



**Figure n° 01:** les différentes fractions du sol (Hachette, 2010).

### *1.1.2.1. La phase solide*

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportions variables d'un sol à un autre selon le climat, et le couvert végétal.

#### ➤ **La fraction minérale**

Les constituants inorganiques de la phase solide des sols sont des minéraux ; ils sont nombreux et leur nature dépend à la fois des roches sur lesquelles les sols se sont formés et des conditions de cette formation. Ils constituent l'essentiel de la masse de la majorité des sols

#### ➤ **La fraction organique**

Les matières organiques proviennent principalement des résidus végétaux, qui subissent diverses transformations physiques et chimiques et leur abondance dans le sol dépend en premier lieu, du climat mais aussi de la végétation et des modalités d'utilisation des sols.

La teneur en matière organique est variable selon les types de sol et est très étroite reliée aux conditions de la pédogenèse (Calvet, 2003).

#### ***1.1.2.2. La phase liquide***

La phase liquide du sol n'est pas l'eau pure mais est une solution dont la composition est complexe et très variable. On la désigne souvent par l'expression « solution du sol ». Elle contient de très nombreuses substances dissoutes organiques et inorganiques, ionisées et non ionisées, dont la nature et la concentration dépendent de plusieurs phénomènes. D'une façon générale, la solution du sol est difficile à décrire et à étudier, en raison de sa très grande variabilité spatiale et temporelle, de sorte qu'il n'existe pas de composition type (Calvet, 2003).

#### ***1.1.2.3. La phase gazeuse***

La phase gazeuse du sol est encore appelée l'atmosphère du sol. Sa composition est souvent voisine de celle de l'air, mais elle peut être très variable dans l'espace et dans le temps. Elle dépend principalement de deux facteurs, la proximité de l'atmosphère, c'est-à-dire la profondeur dans le sol et l'activité biologique. L'air du sol contient en général les mêmes substances que l'air atmosphérique, mais sa composition peut être très différente en raison particulièrement de l'activité biologique (Calvet, 2003).

### **1.1.3. Propriétés physiques du sol**

#### ***1.1.3.1. La texture***

C'est la composition granulométrique du sol, définie par la proportion de ses éléments classés par catégorie de grosseur (Brahima, 1966).

La texture correspond à la répartition des minéraux classés selon leur diamètre (les particules étant supposées de forme sphérique), indépendamment de la nature et la composition de ces minéraux. La granulométrie fournit donc un renseignement précieux sur la pédogenèse. En effet, son intérêt pratique concernant l'ensemble des propriétés physiques et chimiques du sol est en liaison étroite avec la texture (Duchaufour, 2001).

#### **a) Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique du sol (on dit aussi analyse mécanique), consiste à classer les éléments du sol d'après leurs grosseurs (tableau n° I) selon une classification définie par l'échelle d'Atterberg (Soltner, 1988).

**Tableau n° I** : les classes granulométriques du sol (Baise, 2000)

Fractions	Terrefine					Terregrossière	
	Fraction Limoneuse		Fraction sableuse		Fraction argileuse	Graviers	Cailloux
	Limons Fins	Limons grossiers	Sables Fins	Sables grossiers	Argiles		
Diamètres Des Particules	<2µm à 20µm	20µm à 50µm	50µm à 200µm	200µm à 2 mm	Particules de moins de 2 µm	2mm à 20 mm	>20 mm

### *b) Rôle de la texture*

Quelle soit minérale ou organique, la texture conditionne directement la structure du sol, donc la porosité et le régime hydrique. En particulier, la proportion d'argile influence la formation du complexe argilo-humique, la capacité d'échange cationique, la fertilité et la profondeur d'enracinement. La texture est une propriété stable, ne variant qu'en fonction de l'évolution à long terme, pour laquelle elle est une bonne indicatrice (Gobat *etal.* 2003). Elle renseigne aussi sur les principales propriétés physiques du sol : rétention et circulation de l'eau, cohésion et plasticité, battance, prise en masse, sensibilité à l'érosion...etc.

#### *1.1.3.2. La structure*

Le concept de la structure du sol a connu plusieurs définitions ; elle peut être définie comme le mode d'assemblage des particules ; elle s'observe et se décrit à deux niveaux : à l'échelle macroscopique (structure observable à l'œil nu), et à l'échelle microscopique (microstructure observable en micromorphologie au M.E.B.).

La structure détermine la répartition dans l'espace de la matière solide et des vides (ou pores) dont certains sont occupés par de l'eau, d'autres, les plus grossiers, par de l'air.

Cette répartition conditionne l'ensemble des propriétés physiques fondamentales du sol texture, aération,...etc. (**Duchaufour, 1984**).

Selon **Gobat et al. (2003)**, la structure est un état du sol, variant à court terme, notamment selon les saisons. Elle dépend directement de la texture mais aussi de l'état des colloïdes, de la teneur en eau ou en matière organique et dans une large mesure, de l'activité de la faune.

Les structures résultent de processus de natures variées, biologique, chimique, et enfin, physique et mécanique. La dominance de tel ou tel processus est à l'origine des divers types de structures (**Duchaufour, 2001**).

#### *a) La classification des structures*

Selon **Gauthier (1991)** les principales classes de structure sont :

- **Structure particulière** : éléments non associés entre eux parce qu'il y a peu de colloïde ou des colloïdes non flocculés. Exemple : limon, sable, gravier, tourbe, etc. La structure particulière est « cohérente » lorsqu'il y a une certaine quantité d'éléments colloïdaux qui lie les particules grossières.

- **Structure continue ou massive** : le sol, sur une certaine épaisseur, forme un bloc sans fissures : exemple, masse argileuse compacte dans laquelle sont noyés d'autres minéraux de taille variable. La structure continue est « fragile », lorsqu'elle peut être rompue assez aisément pour donner des fragments. La structure continue et la structure particulière présentent, du point de vue agricole, de nombreux défauts et sont donc défavorables à la culture.

- **Structure fragmentaire** : les constituants du sol sont unis en agrégats de dimensions et formes variées (feuilletés, prismes, polyèdres, sphères, plus ou moins réguliers) qui peuvent être facilement séparés les uns des autres. Dans le sol, généralement, plusieurs types de structure se succèdent avec des transitions à partir de la couche superficielle en allant vers la roche mère.

**b) La stabilité structurale**

La structure du sol n'est pas nécessairement permanente, elle peut se modifier en fonction des circonstances. Ainsi, la stabilité de la structure correspond à la capacité d'un sol à conserver son arrangement entre particules solides et vides, lorsqu'il est exposé à différentes contraintes. Celles-ci peuvent être de différentes natures et différentes intensités, comme par exemple : le travail du sol, les cycles humectation-dessiccation et le passage des engins mécaniques (**Le Bissonais, 1996a in Abiven, 2004**). Cette stabilité peut être appréhendée selon deux approches complémentaires : les facteurs stabilisants qui conditionnent la formation et la stabilité des agrégats et les processus de désagrégation auxquels s'oppose la stabilité (**Annabi, 2005**).

**c) Le rôle de la structure**

Les changements affectant la structure du sol modifient la circulation de l'eau, très rapide dans les structures particulières grossières, moyenne dans les formes grumeleuses, presque nulle en cas de forte compaction. Dans la pratique, la structure est une propriété physique essentielle que l'agriculteur devrait connaître : fréquence de travail, type de labours, machines à utiliser, germination des semis, sont autant d'éléments influençant la structure et influencés par elle. La structure grumeleuse par exemple, est un état fragile du sol agricole, rapidement détruite par un manque de matière organique, l'excès de certains engrais ou un tassement exagéré par des machines trop lourdes (**Gobat et al.2003**).

**1.1.3.3. La porosité**

Elle représente le volume des vides, exprimé en % du volume total, divisé lui-même en deux parties : capacité en air et capacité en eau, qui est la meilleure expression de l'état actuel de la structure. Elle donne les indications essentielles concernant les propriétés physiques, assurant à la plante son alimentation en eau et la respiration de ses racines. Dans les cas limites de faible capacité en air, l'étude du potentiel d'oxydoréduction donne des renseignements complémentaires très importants pour le pédologue et l'écologiste (**Duchaufour, 1984**).

**a) Types de porosité**

Selon la taille des pores la porosité est subdivisée en :

- **Macroporosité** : Représentant les vides dont le diamètre est supérieur à 50µm. Elle peut être remplie par l'eau de gravité, rapidement drainée, souvent colonisée par les racines moyennes. Cette macroporosité est en relation directe avec la structure du sol (**Gobat et al. 2003**).

- **Méso-porosité (porosité capillaire)** : Elle est constituée de vide dont le diamètre se situe entre 0,2µm et 50µm. Elle retient l'eau utile aux plantes, et est en relation avec la texture du sol (**Gobat et al. 2003**).

- **Microporosité** : Représentant les vides dont le diamètre est inférieur à 0,2µm. C'est la porosité qui retient l'eau inutilisable par les plantes (**Gobat et al. 2003**).

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

- L'hétérogénéité du sol, qui a pour conséquence une très grande variabilité spatiale de toutes les caractéristiques de l'espace poral.
- La nature et les teneurs en constituants minéraux et organique de la phase solide.
- La teneur en eau du sol.
- Les diverses actions mécaniques naturelles d'origine biologique, et artificielles d'origine anthropique (**Calvet, 2003**).

La porosité est mesurée sur un échantillon du sol, de volume connu, prélevé sans modification de sa structure et pesé après dessiccation à 105 °C. La porosité totale (P), égalant la somme de la macroporosité, la méso-porosité et la microporosité, peut être déduite par les mesures de la densité apparente (da) et la densité réelle (dr), à travers la formule suivante :

$$P = \frac{(dr-da)}{dr} \times 100$$

Où :

**P** : porosité en %

**dr** : densité réelle

**da** : densité apparente

**b) *Le rôle de la porosité***

L'intérêt de connaître la densité apparente du sol est manifeste, car elle nous renseigne directement sur l'état poral du sol, qui évolue rapidement selon l'état d'humidité du moment, mais aussi selon l'état de compaction du sol, induite par des agressions externes comme le piétinement des animaux ou le poids des engins de labours.

La porosité renseigne sur les capacités hydriques ou atmosphériques d'un sol, en volume ou en flux (**Gobat et al.2003**).

**1.1.3.4. *La perméabilité ou conductivité hydraulique***

Traditionnellement, les phénomènes de transfert de l'eau dans les sols relevaient de la perméabilité, dont le terme traduit la facilité ou la difficulté qu'a l'eau de traverser un massif de sol (**Chossat, 2005**). La perméabilité est la propriété d'un matériau à se laisser traverser plus au moins facilement par un fluide. Cette propriété est facilitée par la présence d'une multitude de pores de diamètre et d'orientation très variables. L'interconnexion entre cette multitude de pores constitue virtuellement des canaux qui sont empruntés par le fluide qui passe à travers le sol (**Medjo Eko, 1999**).

Selon (**Duchaufour, 2001**), la perméabilité d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau de gravité en cm/s (ou par heure, si la vitesse est lente). Les géologues et hydrologues ont appelé ce paramètre **k** : **coefficient de perméabilité (Chossat, 2005)**. Le coefficient **k** est mesuré selon la méthode de **Henin**, basée sur la loi de Darcy :

$$Q = k \cdot s \cdot H / h$$

**Où :**

**Q** : Débit (en **cm<sup>3</sup> /h**)

**k** : Perméabilité (en **cm/h**)

**S** : section de la colonne de sol (en **cm<sup>2</sup>**)

**H** : Hauteur de la colonne d'eau (en **cm**)

**h** : hauteur de la colonne de sol (en **cm**)



❖ Pour les sols saturés en eau (après une forte pluie) :

- **Sols sableux** : **k** est compris entre 5 et 10 cm /heure
- **Sols limoneux** : **k** varie de 2 à 50 cm/heure dans un horizon A selon le type d'humus.  
Il est de l'ordre de 1 mm/heure dans les horizons B enrichis en argiles.

❖ pour les sols non saturés (pluies faibles, air présent dans la porosité de sol), **k** est beaucoup Plus faible (**ex** : 0,1 mm/heure pour un limon) (**Duchaufour, 1984**).

Une couche est réputée imperméable pour des valeurs de **k** de l'ordre de  $10^{-9}$  m/s. Si la pluie est forte, le sol ne peut pas absorber toute l'eau tombée, la partie supérieure du sol devient saturée, mais le transfert vers la profondeur n'est pas assez rapide. Lorsque la surface du sol est imperméable, le ruissellement apparaît si tôt que les dépressions du sol ont été remplies (**Beauchamp, 2006**).

La perméabilité du sol à l'eau varie avec le temps, ce qui est en rapport avec la saturation par l'eau, le gonflement des colloïdes du sol, le changement de sa structure. A complète saturation du sol par l'eau, la perméabilité prend une valeur plus ou moins constante, qui détermine le processus de filtration. La perméabilité à l'eau dépend de la composition chimique et mécanique du sol, de sa structure, de sa porosité, de sa densité et de son humidité. Les limons et les sols argileux d'une structure grumeleuse-granuleuse résistante à l'eau, ainsi que les sols sableux et les limons sableux sont très perméables à l'eau. Les sols d'une structure motteuse-pulvérulente sont peu perméables. La connaissance de la valeur et du caractère de la perméabilité à l'eau est d'une grande importance pour l'appréciation agronomique des sols et pour leur bonification (**Kaouritchev, 1983**).

#### **1.1.4. L'influence de la texture et de la structure sur la perméabilité**

La perméabilité ou la vitesse de percolation, dépend de la texture mais surtout de la structure du sol. La perméabilité d'un sol est d'autant plus élevée que sa macroporosité est plus forte : Plus le sol est formé d'élément arrondis et de même taille, plus il est perméable, que ses éléments soient des grains de sables ou des agrégats. Plus il est formé d'éléments

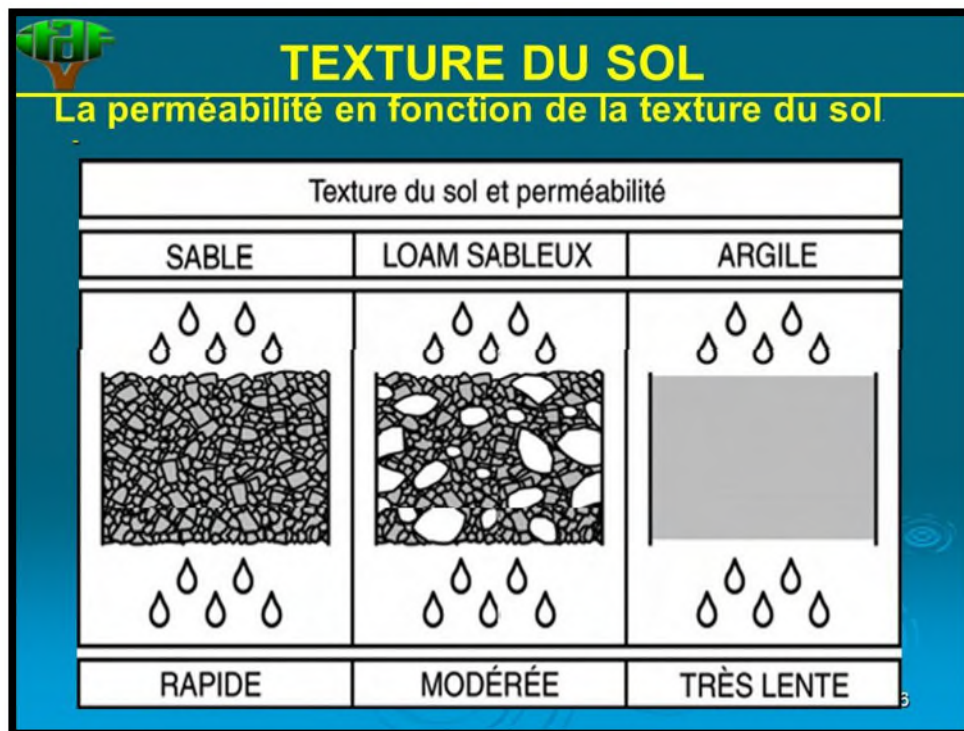
de taille différentes imbriqués les uns dans les autres, plus il est imperméable(Anonyme 2, 2013).

**Les sols perméables sont :**

- Soit des sols à texture grossière, où dominant les sables et graviers peu enrobés de colloïdes. Il s'agit de sols filtrants.
- Soit des sols à texture fine, mais structure fragmentaire, surtout grumeleuse. Cette structure, rendue possible par un taux suffisant d'argile, doit être stabilisée par un taux appréciable d'humus et de calcium, après infiltration rapide des premières pluies, les colloïdes subissent une dispersion qui freine de plus en plus la percolation.
- Soit des sols humifères après une période sèche. La réhumectation très lente de l'humus, substance peu « mouillable » explique leur excellente perméabilité. Mais à l'état humide, ils se gonflent et retiennent beaucoup d'eau.

**Les sols imperméables sont au contraire :**

- Soit des sols à texture fine, très riche en limons mais pauvre en argiles et en humus. Faute de colloïdes, les éléments fins se tassent et le sol devient battant, surtout en surface sous l'effet des pluies. Le même phénomène se produit lorsque des sables de différentes grosseurs sont associés: les éléments les plus fins obstruent les espaces entre les plus gros.
- Soit les sols où domine les argiles, surtout en l'absence du calcaire et d'humus. L'imperméabilité de ces sols, souvent à structure massive, peut cependant être améliorée par des amendements calcaires et humifères et par des techniques appropriées de travail du sol.
- Soit des sols reposant sur un horizon imperméable, sans lequel la perméabilité serait bonne



**Figure n° 02** :La perméabilité en fonction de la texture du sol(Djidjik, 2016).

### 1.1.5. Les argiles

Le mot argile aurait deux origines, l'une grecque par le mot « Argos » qui veut dire blanc, l'autre latine par le mot « Argilla ». L'argile est un matériau naturel qui a été utilisé par l'homme depuis très longtemps, notamment dans l'antiquité, pour la poterie. Son intérêt est considérable dans divers domaines en raison, à la fois de son abondance et ses propriétés. En agriculture, étant donné que tous les sols cultivés en contiennent plus ou moins, mais parfois en grandes quantités. On sait depuis longtemps que les sols argileux sont fertiles mais souvent difficiles à travailler, en raison de leurs propriétés mécaniques. Ces mêmes propriétés font des roches argileuses des substrats difficiles pour le génie civil. Ce sont aussi des matériaux très utilisés dans l'industrie de la céramique. (Calvet, 2003).

### ***1.1.5.1. Définition***

Argiles, matériaux argileux, substrat argileux, roches argileuses : ces mots et expressions sont des synonymes et désignent un matériau naturel qui se trouve sous forme de gisement mais aussi en quantité plus ou moins grandes dans les sols et les sédiments. Ce matériau est soit constitué par un seul minéral soit, le plus souvent, par un mélange de minéraux appelés minéraux des argiles (**Calvet, 2003**).

Les argiles sont des silicates d'aluminium plus ou moins hydratées, microcristallins, à structure en feuillets (phylites) ; elles sont douées de propriétés particulières, par leurs charges négatives, elles retiennent des cations sous la forme échangeable. Certaines ont la capacité d'absorber de l'eau entre les feuillets (argiles gonflantes), ce qui provoque d'importante variation de volume entre les saisons sèches et humides. Comme des colloïdes, elles peuvent se trouver dans le sol à l'état dispersé(en milieu fortement alcalin par exemple), ou à l'état floculé(en présence de cations polyvalents floculants,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) et joue de ce fait un grand rôle dans la formation d'agrégats dont elles constituent, avec la matière organique, les ciments(**Duchauffour, 1984**).

La définition et la classification des minéraux argileux ont fait l'objet de nombreuses discussions qui ont abouti à un consensus total, du moins à un accord sur les principaux aspects. Selon**Calvet (2003)**, le caractère argileux d'un minéral repose sur quatre caractéristiques:

- La petite dimension des particules de minéraux, inférieure à 2  $\mu m$ .
- La dissymétrie des particules de forme généralement lamellaire ce qui rend compte de propriétés mécaniques comme la plasticité et de propriétés physico-chimiques comme la rétention de molécules d'eau.
- La possibilité, pour ces particules de pouvoir donner des suspensions aqueuses plus ou moins stables.
- Leur composition chimique : se sont des silicates.

### 1.1.5.2. La structure des argiles

Les phyllosilicates sont formés d'un assemblage de particules fines dont les unités de base sont des feuillets bidimensionnels élémentaires et organisés en plusieurs couches superposées (**Caillere et Hénin, 1959**). On distingue deux types de couches :

- **Couche Tétraédrique (Te)** : Chaque tétraèdre étant occupé par un atome de silicium, encadré par des atomes d'oxygènes ; les tétraèdres, assemblés par leur sommets, forment un réseau hexagonal.
- **Couche Octaédrique (Oc)** : Formé d'octaèdres, occupé par des atomes d'aluminium, et encadré par des groupements (OH). La liaison avec les tétraèdres étant assurée par les oxygènes).

Les argiles sont des empilements de couches octaédriques et tétraédriques qui se lient en feuillets. Les ions oxygène libres des sommets de la couche tétraédrique s'intègrent dans certains ions hydroxydes de la surface inférieure de la couche octaédrique. Les feuillets des argiles sont de deux types :

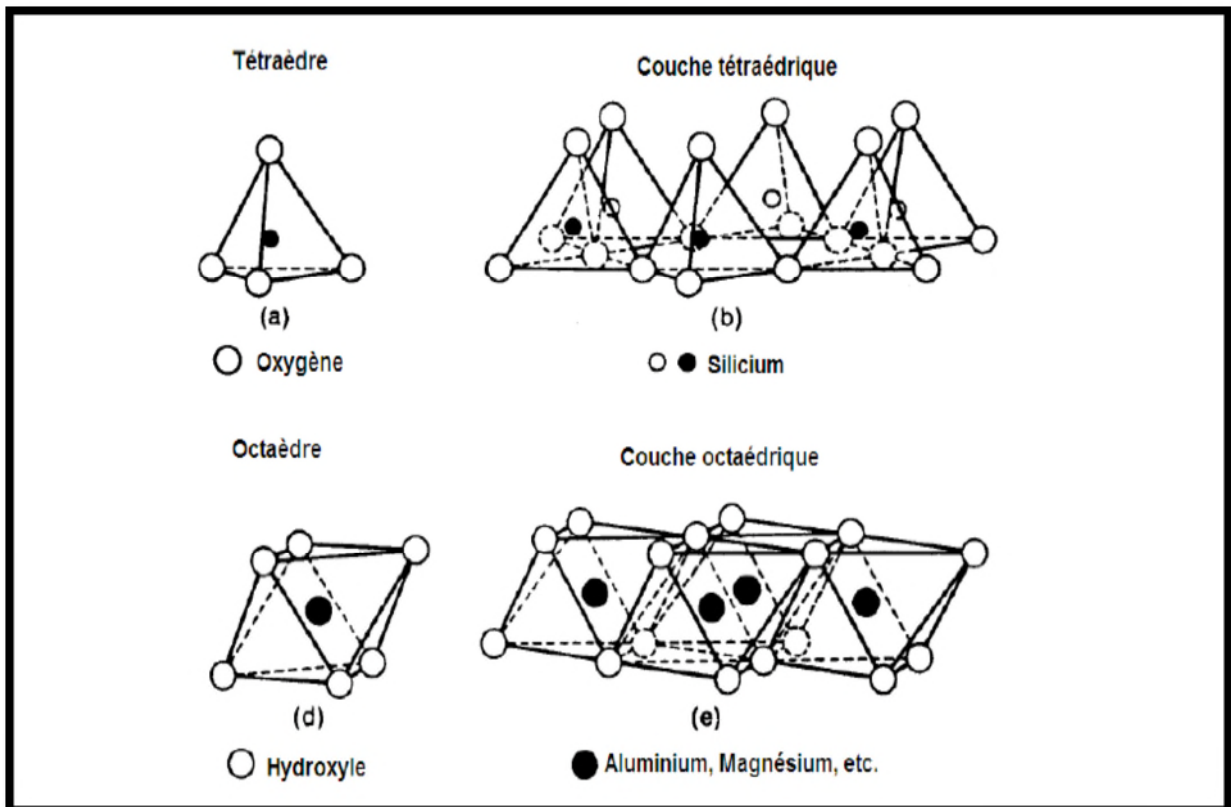
- Type Te/Oc (argile de type 1 :1 telle que la Kaolinite) qui associent deux couches : une couche octaédrique est attachée à une seule couche tétraédrique par l'intermédiaire d'atomes d'oxygène.
- Type Te/Oc/Te (argile de type 2 :1 telle que la Montmorillonite), qui contiennent trois couches, la couche octaédrique est attachée de la même manière à deux couches tétraédriques, une de chaque côté.

Ces feuillets sont séparés entre eux par un espace inter- foliaire. Comme tous ces éléments sont à l'état ionique, le matériau doit rester globalement neutre. S'il y a équilibre entre les charges, le feuillet est neutre. Ces derniers sont alors maintenus entre eux par des liaisons hydrogène ou des liaisons de Van der Waals. L'espace inter- foliaire est vide. Cependant la structure des argiles est généralement compliquée par des substitutions partielles :

Si<sup>4+</sup> substitué par Al<sup>3+</sup> dans la couche (Te)

Al<sup>3+</sup> par Mg<sup>2+</sup> ou Fe<sup>2+</sup> dans la couche (Oc).

Ces substitutions entraînent un déficit de charges positives. Dans ce cas, la neutralité électrique des feuillets n'est plus réalisée. La neutralité globale est obtenue par l'adsorption de cations dans l'espace inter- foliaire qui se garnit de cations  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ , eux-mêmes secs ou hydratés. Selon leur nature et celle de l'argile, ces ions adsorbés sont plus ou moins liés et échangeables. Certaines argiles ont donc la capacité de fixer et d'échanger des ions (Uspuna Usan, 2010).



**Figure n° 03:** Représentation des tétraèdres de silicium et des octaèdres d'aluminium (Djellali, 2016).

### ***1.1.5.3. Mécanismes de gonflement / retrait des argiles***

#### *1.1.5.3.1. 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 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 (**Serratrice et Soyez, 1996**). Il est à noter que l'augmentation de la teneur en eau lors d'une imbibition, ne provoque pas toujours une augmentation de volume suivant la nature du matériau. En effet, un sol sec essentiellement sableux ou siliceux 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 inter-foliaire (gonflement inter-foliaire ou gonflement cristallin),
- **La répulsion entre les particules**, soit l'augmentation de la porosité inter foliaire et inter particulaire pouvant affecter toutes les argiles (gonflement inter particulaire ou gonflement osmotique).

#### *1.1.5.3.2. Le mécanisme du retrait*

Au cours de la dessiccation, les particules argileuses suivent en sens inverse le processus d'humidification, qui est réversible mais non symétrique pour un sol argileux. La dessiccation tend à augmenter le nombre de feuillets par empilement élémentaire, au contraire du gonflement qui les divise. Cependant, la réorganisation de la phase solide dépend fortement des niveaux de succion appliquée (**Tessier, 1984 ; Wilding et Tessier, 1988 in Chrétien, 2010**). Ainsi, d'après (**Tessier, 1991 in Chrétien, 2010**), trois étapes successives peuvent être considérées au cours de la dessiccation d'une montmorillonite

calciq. Tout d'abord entre 0 et 1 MPa, l'augmentation de succion provoque le départ d'eau située entre les empilements élémentaires, ce qui a pour effet de diminuer la distance inter-foliaire. Ce phénomène se poursuit entre 1 et 5 MPa environ où l'eau de l'espace inter-foliaire tend à être éliminée, la distance inter-foliaire diminue et le nombre de feuillets par particule augmente. Au-delà de 5 MPa, l'état d'hydratation de l'espace inter-foliaire change, l'eau inter-foliaire tend à s'éliminer. Le nombre de feuillets par empilement élémentaire continue de croître.

Le départ progressif de l'eau provoque ainsi une réduction de volume de la particule argileuse par diminution de la distance inter-foliaire. Cette réduction du volume des particules argileuses produit une contraction macroscopique du matériau : c'est le phénomène de **retrait**.

#### *1.1.5.4. Interactions physico-chimique entre l'eau et l'argile*

Au sein même d'une couche ou entre deux couches successives d'un même feuillet, les liaisons interatomiques sont des liaisons de valence primaire très fortes. Entre deux feuillets successifs, les liaisons sont en général 10 à 100 fois moins fortes que les précédentes en raison des cations adsorbés. En effet, différents mécanismes d'interaction vont pouvoir s'établir dans l'espace inter-foliaire (ou au voisinage de la surface externe d'une particule), entre les feuillets chargés négativement et l'eau. Ces mécanismes sont les suivants (**Low, 1961; Mitchell, 1993 in Chretien, 2010**) :

##### *1.1.5.4.1. Les liaisons hydrogènes*

Entre les molécules d'eau et les oxygènes ou hydroxyles situés à la surface du feuillet. En effet, les atomes d'oxygène sont susceptibles d'attirer les pôles positifs de la molécule d'eau, de la même manière que les groupements hydroxyles attirent le pôle négatif de l'eau. (**Figure n°04**)

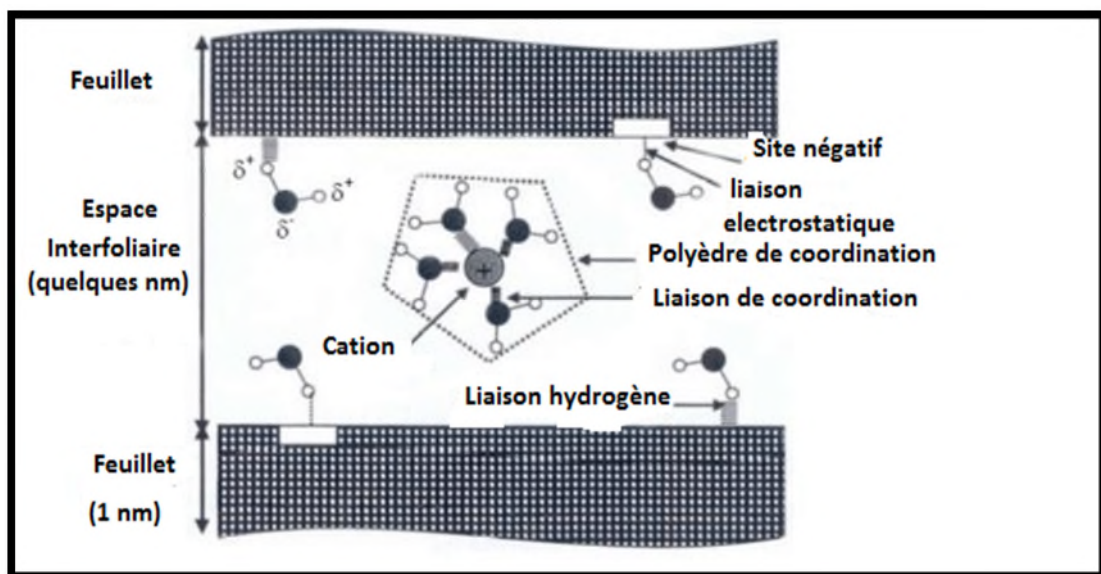
##### *1.1.5.4.2. Les forces d'attraction de Van der Waals*

Du fait de la charge négative diffuse du feuillet, des liaisons électrostatiques du type Van der Waals (attractives) peuvent s'établir entre l'eau et les sites où les charges négatives manifestent leur action attractive. (**Figure n°04**)



#### 1.1.5.4.3. L'hydratation des cations échangeables

Les cations présents dans l'espace inter-foliaire deviennent des sites privilégiés dans lesquels viennent se fixer les molécules d'eau, l'ensemble formant un polyèdre de coordination (Fripiat et Gatineau, 1984 in Chrétien, 2010). Une illustration schématique de ces trois modes de liaisons possibles de l'eau inter-foliaire est présentée à la **figure n° 04**.



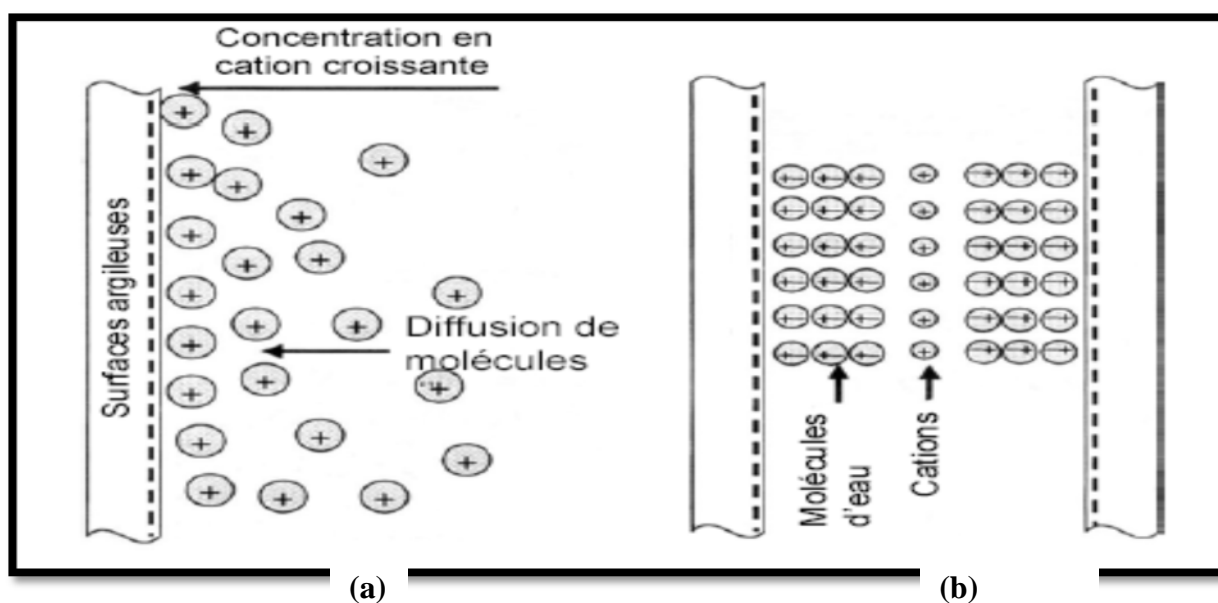
**Figure n° 04:** Liaisons possibles de l'eau inter-foliaire (Morel, 1996)

#### 1.1.5.4.4 L'attraction par osmose

Plus on se rapproche de la surface chargée négativement du feuillet, plus la concentration en cations augmente. Afin d'annihiler ce gradient de concentration, les molécules d'eau ont tendance à se diffuser vers la surface (**Figure n° 05a**) ; notons que la concentration en cations adsorbés décroît exponentiellement au fur et à mesure que la distance par rapport à la surface d'argile augmente.

#### 1.1.5.4.5 L'attraction dipolaire (analogie avec un condensateur)

Les surfaces argileuses peuvent être considérées comme le pôle négatif d'un condensateur. Les molécules d'eau orientent alors leurs pôles positifs en direction des surfaces négatives. Au milieu de l'espace inter-foliaire, les cations compensateurs vont s'interposer afin d'éviter d'avoir des pôles négatifs de l'eau adjacents l'un à l'autre (Figure n° 05b).



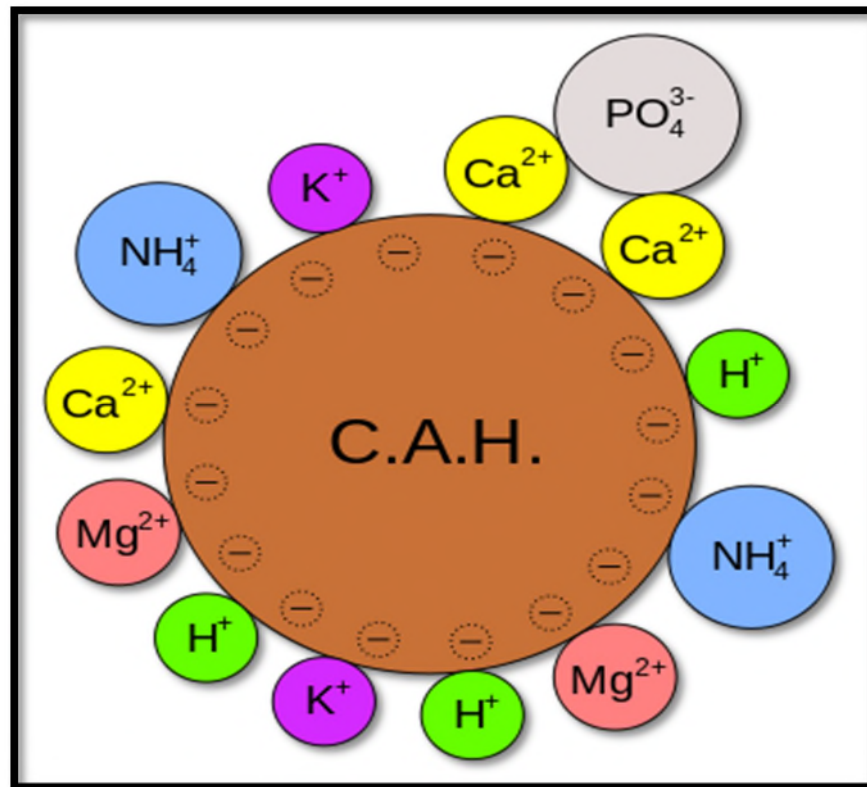
**Figure n° 05** : Mécanisme d'adsorption de l'eau sur les surfaces argileuses :

- a) Attraction par osmose, b) Attraction dipolaire (Mitchell, 1993 in Chrétien, 2010).

#### 1.1.5.5. Le complexe argilo-humique

Le complexe argilo-humique (CAH), ou complexe adsorbant est le résultat de l'association de l'humus et des argiles. Ces deux substances s'associent par l'intermédiaire de ponts calciques, de ponts constitués d'hydroxydes de fer et d'aluminium et de ponts aluminium positionnés aux points de rupture des feuillets d'argile. Le CAH présente une charge globale négative qui lui permet de fixer des cations, et dans une moindre mesure des anions. Les ions sont retenus sous forme échangeable et sont en équilibre avec la solution du sol. Lorsque la concentration en ions est modifiée dans la solution du sol (prélèvement

par les racines des plantes, par exemple), certains ions fixés sur le CAH passent en solution (désorption) et sont remplacés par d'autres ions présents auparavant dans la solution du sol (adsorption) (Gobat *et al.* 2010).



**Figure n° 06.** Le complexe argilo-humique(Anonyme 1, 2011).

### 1.1.6. L'eau dans le sol

L'eau est un élément constamment présent dans le sol, en plus ou moins quantité. L'importance du système sol/eau dans la nature et dans la vie de l'homme a été reconnu depuis l'aurore de la civilisation, et depuis que l'homme a pris conscience de ses relations avec son milieu. Le sol et l'eau sont les deux ressources fondamentales de notre environnement naturel ainsi que de notre agriculture (Hillel, 1984).

Bien que représentant un volume d'eau douce négligeable à l'échelle planétaire, l'eau du sol revêt une importance toute particulière, d'une part elle intervient dans la nutrition des

plantes, à la fois directement (alimentation hydrique) et indirectement en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous (alimentation minérale), d'autre part, c'est un des principaux facteurs de la pédogenèse, qui conditionne la plupart des processus de formation des sols.

Les sources principales de l'eau du sol, sont d'une part *l'eau de précipitation*, et aussi, dans certaines stations, *l'eau souterraine* (nappe phréatique permanente, alimentée souterrainement) (**Duchaufour, 1984**).

#### ***1.1.6.1. L'état de l'eau dans le sol***

Qu'elle soit d'origine météorique ou souterraine, l'eau peut se retrouver dans la porosité du sol sous différentes formes (**Vauthier, 2010**) :

- **L'eau de ruissellement**, superficielle ou (hypodermique), lorsqu'elle circule au sein des horizons supérieurs, parallèlement à la surface (cette seconde forme est l'agent de l'appauvrissement, entrainement latéral des particules les plus fines, limons et argiles) ; le ruissellement n'est pas constant et n'affecte que les surfaces en pente (même faible), soumises à des pluies violentes (**Duchaufour, 1984**).
- **L'eau de gravité**, également nommée eau libre, circule verticalement dans les pores grossiers et moyens de diamètre équivalent supérieur à 10  $\mu\text{m}$ . C'est elle qui alimente les nappes et les aquifères par drainage profond. En fonction du diamètre poral, on distingue deux types d'eau de gravité (**Vauthier, 2010**) :
  - **L'eau de gravité rapide** qui circule dans les pores grossiers, de diamètre supérieur à 50  $\mu\text{m}$ , c'est-à-dire dans la porosité structurale.
  - **L'eau de gravité lente** qui circule dans les pores moyens, c'est à dire de diamètre compris entre 10 et 50  $\mu\text{m}$
- **L'eau retenue par le sol**, également nommée eau de rétention, correspond à l'eau fixée dans la porosité. Elle se trouve dans les pores fins et très fins (de diamètre équivalent inférieur à 10  $\mu\text{m}$ . On distingue deux types d'eau de rétention:

- **L'eau capillaire** qui occupe les pores fins (diamètre équivalent compris entre 0,2 et 10  $\mu\text{m}$ ) et forme des ménisques entre les particules du sol. Cette forme d'eau peut-être absorbée par les racines des végétaux.
- **L'eau liée**, ou eau d'adsorption, se trouve à la surface des particules du sol sous la forme d'une fine pellicule, mais également dans les pores de très petit diamètre (inférieur à 0.2  $\mu\text{m}$ ). Cette eau, très fortement liées aux particules du sol, n'est pas mobilisable et n'est donc pas absorbable par les racines des végétaux (**Vauthier, 2010**).

#### ***1.1.6.2. Le Potentiel Matriciel ou Capillaire (pF)***

Diverses forces peuvent agir sur l'eau du sol et son état énergétique. Elles sont généralement exprimées sous la forme de potentiels, les potentiels négatifs indiquant des forces ayant tendance à retenir l'eau dans le sol tandis que les potentiels positifs représentent par convention des forces ayant tendance à expulser l'eau du sol (**Vauthier, 2010**).

L'eau retenue dans le sol, dans la matrice poreuse ou dans les capillaires, aux points de contact entre les grains et autour des particules, échappe à l'action de gravité. Son énergie libre diminue donc par rapport à celle de l'eau libre. C'est cette diminution qu'on appelle potentiel matriciel. Il est en relation avec l'ensemble des forces de capillarité et d'adsorption de la matière solide (force de suction). D'après (**Callot et al, 1982**), le potentiel matriciel correspond aux forces d'attraction exercées par la phase solide sur les molécules d'eau. L'eau de rétention du sol est soumise à des forces de tension superficielle qui sont bien souvent très supérieures aux forces de gravité. Lorsque la plante doit extraire l'eau des sols, elle fournit un travail destiné à vaincre essentiellement les forces de tension superficielle qui ont pour origine les forces de liaison intermoléculaires dans les liquides.

#### ***1.1.6.3. Les humidités remarquables dans le sol***

##### ***1.1.6.3.1 La capacité au champ (cc)***

Elle est définie comme la teneur en eau atteinte, au champ, lorsque la gravité naturelle a vidé les pores les plus gros par drainage. On trouve aussi dans la littérature le terme de capacité de *rétention* ou même d'humidité équivalente (**Chossat, 2005**).

La capacité au champ correspond au maximum d'eau retenue par le sol (eau capillaire et eau liée), d'après la définition, elle est mesurée sur le terrain, après une période de pluies, et un ressuyage de trois jours, le sol étant protégé contre l'évaporation (**Duchaufour, 1984**).

Selon **Baize, (1988)**, c'est bien l'humidité du sol en place qui intéresse les praticiens, c'est donc la capacité au champ qui sera préférée à toute autre détermination. Elle servira de stockage pour l'eau, et donc sert à estimer les réserves en eau. En outre, la capacité au champ fournit une bonne évaluation de la contenance maximale du réservoir d'eau que constitue le sol, lorsque la macroporosité est occupée par l'air.

#### *1.1.6.3.2. Le point de flétrissement permanent (fp)*

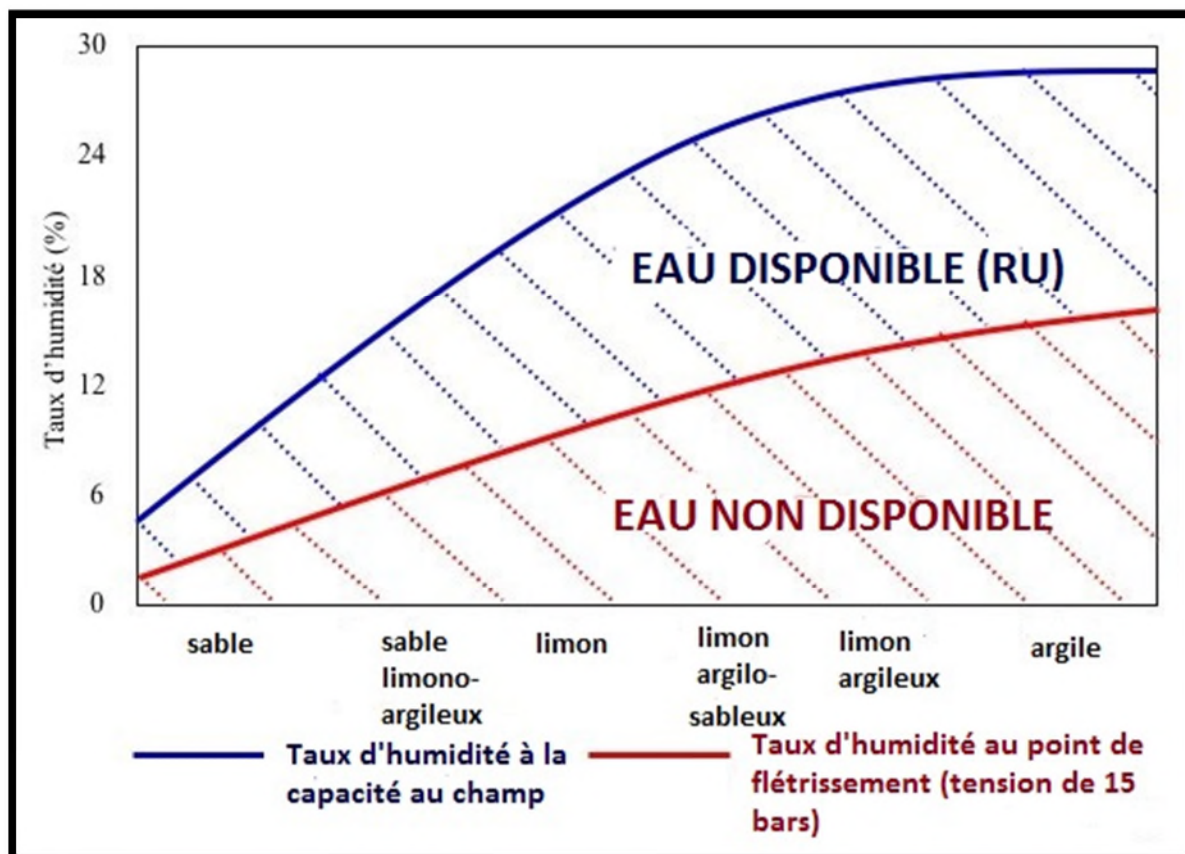
Il est défini comme la teneur en eau pour laquelle les plantes ne peuvent plus extraire l'eau du sol. En fait, cette valeur est certainement différente pour chacune des espèces ou des familles de plantes (**Chossat, 2005**).

Selon **Robert, (1996)**, le point de flétrissement permanent représente le taux d'humidité du sol au-dessus duquel les forces d'absorption surpassent celles que la plante peut générer pour extraire l'eau nécessaire à sa croissance. En deçà de ce point de flétrissement, le végétal flétri et meurt à la suite de dégâts physiologiques irréversibles. La valeur du potentiel matriciel généralement admise pour le flétrissement est égale à 15 bars correspondant à un  $p_f = 4,2$ .

#### *1.1.6.3.3. La réserve utile (RU)*

La réserve utile (RU) est l'eau du sol utilisable par les plantes. Elle correspond donc à la quantité d'eau stockée dans un certain volume de sol (volume exploité par les racines) entre des valeurs d'humidité limites correspondant à la capacité au champ (cc) et au point de flétrissement permanent (fp). D'après Duchaufour, l'humidité massique à la capacité au champ ( $H_{cc}$ ) est obtenue à  $pF=2$  tandis que l'humidité massique au point de flétrissement permanent ( $H_{fp}$ ) est obtenue à  $pF= 4.2$ . La réserve utile est donnée sous forme d'humidité massique par la différence ( $H_{cc} - H_{fp}$ ). La figure, montre l'évolution de  $H_{cc}$  et  $H_{fp}$  en fonction de la texture. Ainsi, on constate que la texture du sol joue un rôle déterminant sur

sa réserve utile. Elle est très faible pour les sables, maximale pour les limons et décroît dans les textures argileuses.



**Figure n° 07** : pourcentage d'eau utile (disponible) en fonction de la texture du sol  
(Chamayou et Legros, 1991)

## 1.2. LA MATIERE ORGANIQUE

### 1.2.1. Définition

La définition de la matière organique du sol diffère d'un auteur à un autre. D'après **Duchaufour (1977)**, la matière organique est l'ensemble des composés carbonés et azotés issus de la dégradation des produits de la faune et de la flore, de surface et du sous sol. Elle présente une gamme de substances très différentes et à des stades d'évolution très variés.

Selon **Calvet (2003)**, la matière organique correspond à toutes les substances organiques particulières et moléculaires contenues dans le sol, autrement dit, il s'agit de tous les constituants organiques non vivants. Les résidus végétaux font partie de la matière organique du sol quand ils lui sont incorporés mécaniquement, soit par l'action de la faune et de la microfaune, pour les litières, soit par les travaux du sol pour les sols cultivés.

La matière organique est le fruit de l'activité biologique tant animale que végétale du sol. Elle englobe ainsi toute substance organique, vivante ou morte, fraîche ou décomposée, simple ou complexe à l'exclusion toutefois des animaux vivants dans le sol et des racines vivantes (**Musy et al. 1991**).

## **1.2.2. Les différents types de matières organiques**

### ***1.2.2.1. Le fumier***

C'est un mélange plus ou moins décomposé de litière carbonée (par exemple : pailles, bagasse) et de déjections (fèces et urine) de bovin. C'est une matière brune, plus ou moins pailleuse et compacte, hétérogène, à odeur caractéristique, relativement humide.

(**Chabalier et al. 2006**).

### ***1.2.2.2. La litière***

Les débris végétaux de toute nature, feuilles, rameaux morts, qui sous une végétation permanente, tombent sur le sol et constituent la source essentielle de la matière organique du sol. Ils forment la litière, qui subit une transformation essentiellement d'origine biologique, appelée humification. Elle donne naissance à l'humus, au sens propre du terme, formé d'un ensemble de composés organiques colloïdaux de couleur foncée, le plus souvent résultant de néoformation microbienne et ayant contracté des liaisons plus ou moins stables avec les éléments minéraux du sol (Argiles, hydroxydes de fer et aluminium) (**Duchaufour, 1983**).

### ***1.2.2.3. Le lisier***

Constitué par les urines et les excréments des animaux, c'est un engrais dont la production s'accroît rapidement du fait de l'extension des étables à lisier (bovin-porcins). Le lisier de



bovin contient en moyenne 3% d'azote, 2% d'acide phosphorique et 6% de potasse (Pontailler, 1982).

#### ***1.2.2.4. L'engrais vert***

Correspond à une culture de végétation rapide enfouie sur place et destinée avant tout à améliorer la fertilité du sol. Ce type d'engrais a un effet important sur la protection du sol. On le considère comme une source de matière organique jeune; source d'éléments nutritifs pour les plantes essentiellement en azote (Soltner, 2003).

#### ***1.2.2.5. Le Compost***

Le compost est un produit stable, riche en humus, issu de la décomposition rapide de toutes les matières organiques : fumiers, résidus de récolte, déchets agro-industriels, déchets animaux, déchets ménagers (Mustin, 1987).

### **1.2.3. Les caractéristiques du fumier**

Les Caractéristiques agronomiques du fumier de bovin sont consignées dans le tableau suivant :

**Tableau n° II**: Caractéristiques agronomiques du fumier de bovin (Chabalier et al, 2006).

<b>Caractéristiques physico-chimiques de la matière organique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- C/N : 13 à 15</li> <li>- ISB : 40 à 60</li> <li>- K1 : 20 à 40</li> <li>- PH : 7 à 8 (plutôt neutre)</li> </ul>
<b>Coefficients d'équivalence engrais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N : 0,1 à 0,4</li> <li>- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 1</li> <li>- K<sub>2</sub>O : 1</li> <li>- CaO : 1</li> <li>- MgO : 1</li> </ul>

**Où :**

**C/N :** le rapport Carbone organique/ Azote total

**ISB :** Indice de stabilité biologique (ISB)

**K<sub>1</sub> :** Coefficient isohumique

**N :** Azote organique

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> :** Phosphore total

**K<sub>2</sub>O :** Potassium total

**CaO :** Calcium total

**MgO :** Magnesium total.

#### **1.2.4. Formes de la matière organique dans sol**

Généralement les matières organiques se trouvent au niveau du sol sous quatre formes :

- La matière organique vivante, animale, végétale et microbienne, qui englobe la totalité de la biomasse en activité.
- Les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats), animale (déjections, cadavres) et microbienne (cadavres, exsudats) appelés «matière organique fraîche».
- Des composés organiques intermédiaires, appelés matière organique transitoire (évolution de la matière organique fraîche).
- Des composés organiques stabilisés, les matières humiques ou humus, provenant de l'évolution des matières précédentes (**Duchaufour, 1976**).

#### **1.2.5. Effets de la matière organique sur les propriétés physiques du sol**

##### ***1.2.5.1. Effets sur la structure et la stabilité structurale du sol***

Les matières organiques fraîches, à la surface du sol, atténuent le choc des gouttes des pluies et permettent à l'eau pure de s'infiltrer lentement dans le sol. L'écoulement en surface et l'érosion sont ainsi réduits (**Balesdent, 1996**). Les M.O. assurent la cohésion des autres constituants du sol entre eux et contribuent à la structuration du sol et à la stabilité de la structure. Ainsi, la matière organique apportée au sol joue un rôle central dans sa structuration et participe à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique (**Citeau et al, 2008**).

#### ***1.2.5.2. Effets sur la rétention en eau***

Durant toutes les étapes de l'évolution de la matière organique, celle-ci agit comme régulateur de l'humidité du sol. Elle augmente sa porosité et favorise sa conductivité hydraulique. Grâce à son caractère hydrophile, la matière organique par le biais de son humus contribue à enrichir le sol en eau et par la suite à augmenter sa résistance à la sécheresse (**Demolon, 1968 ; Chareau, 1975 ; Mallouhi, 1982; Citeau et al, 2008**).

Ainsi, L'humus absorbe très facilement l'humidité et ne la perd que lentement de sorte que le sol reste humide longtemps, pendant la période sèche. Les matières organiques sont de 2 à 5 fois plus absorbantes que les meilleures argiles (**Gobat et al, 1998**).

#### ***1.2.5.3. Effets sur la perméabilité dans le sol***

La matière organique est un facteur qui fait augmenter la perméabilité (l'infiltration de l'eau) et l'aération du sol (**Belaidi, 2007**).

La matière organique joue un rôle dans l'amélioration de la structure des sols par l'augmentation des agrégats et des espaces poreux, dont la conséquence directe est une meilleure porosité à l'air et à l'eau (**Culot, 2005 in Amari, 2009**).

## 2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Notre étude expérimentale a portée sur des échantillons représentant une terre cultivée de texture argileuse, prélevées sur la station **INRAA** de Bejaia (Algérie).



**Figure n° 08:** Situation géographique de l'INRAA de Bejaia (Google earth, 2018).

## 2.2. MATERIEL D'ETUDE

### 2.2.1. Echantillonnage de terre

L'étude porte sur des échantillons de terre cultivée de texture argileuse, prélevées sur la station **INRAA** de Bejaia. Le choix de la texture argileuse est motivé, par la grande sensibilité de ces types de sols lourds, en ce qui concerne les variations des autres paramètres physiques (stabilité structurale, richesse en matière organique, densité apparente, porosité...), ainsi que l'impact du niveau hygrométrique du sol sur leur transformation physique.

Des prélèvements d'échantillons de terre ont été effectués, à une profondeur de **5 à 10 cm**, à l'aide d'une petite pioche et une pelle. Les échantillons de terre prélevés, sont mis dans

des sachets en plastique et transportés au laboratoire pour les sécher et préparer la terre fine sur laquelle se fera l'expérimentation.

Après le prélèvement *in situ*, cette terre a été préparée au laboratoire de la façon suivante :

-Séchage à l'air libre, en étalant la terre sur du papier-journal, pendant **4 jours**.



**Figure n° 09:** Séchage de la terre à l'air libre.

- Ensuite, celle-ci a été broyée et tamisée à travers un tamis de **2 mm** pour récupérer la terre fine.



**Figure n° 10 :** Broyage de la terre avec un rouleau



**Figure n° 11 :** Tamisage de la terre avec un tamis de **2 mm**



**Figure n° 12:** La terre fine prête à l'emploi ( $\varnothing < 2\text{mm}$ ).

Après tamisage de la terre, elle a été stockée dans le laboratoire pour effectuer l'expérimentation, avec les différents mélanges avec la matière organique.

### **2.2.2. Préparation de la matière organique**

Le type de matière organique choisi pour ce travail expérimental est le **fumier de bovin (F.B)**. Ce choix a été motivé par la grande disponibilité de ce type de matière organique dans les fermes de la wilaya de Bejaia, ainsi que le temps de maturation de celle-ci, qui est relativement rapide si les conditions de biodégradation sont favorables (taux d'humidité acceptable et température assez élevées).

Cette matière organique a été ramenée de la ferme de **DJERBA** dans la région de **BOULIMAT**, celle-ci a été préparée au laboratoire, avant d'être mélangée aux échantillons de terre, à différentes doses préalablement choisies. Cette préparation consiste à un séchage à l'air libre sur du papier-journal, ensuite découpée en petits morceaux afin de la tamiser à **2 mm**.



**Figure n° 13 :** Fumier de bovin à l'air libre



**Figure n° 14:** Fumier de bovin tamisé

### 2.2.3. Le mélange terre /matière organique (F.B)

Une fois séchée, broyée et tamisée à **2 mm**, la terre a été mélangée avec la matière organique (**M.O.**) préalablement préparée (séchage, broyage et tamisage) selon les doses choisies.



**Figure n° 15 :** Mélange terre/fumier de bovin.

Les apports de fumier incorporé à la terre ont été effectués selon les doses suivantes :

- **0%** du fumier (témoin) ;
- **2%** du fumier ;
- **5%** du fumier ;

Nous avons procédé à des mélanges terre /fumier, pour constituer des échantillons pesant environ **150g**, qui sont mis dans des pots en plastique, préalablement troués par le fond afin d'assurer un drainage régulier par gravité.



**Figure n°16** : Echantillon à **150 g** du Mélange terre/fumier de bovin

- Pour les échantillons sans apport de fumier (**témoin**) : chaque échantillon contient **150 g** de terre fine.
- Pour les échantillons enrichis à **2 %** de fumier : chaque échantillon contient **3 g** de fumier et **147 g** de terre fine.
- Pour les échantillons enrichis à **5 %** de fumier : chaque échantillon contient **7,5 g** de fumier et **142,5 g** de terre fine.

## 2.3. METHODES EXPERIMENTALES

### 2.3.1. Dispositif expérimental

Les pots du mélange terre/fumier ainsi constitués, sont mis, dans une bassine remplie d'eau, afin de les humidifier. Ensuite on les laisse égoutter au-dessus d'un tamis jusqu'à l'arrêt total du ressuyage. Les échantillons terre/MO sont soumis à une dessiccation prolongée de **60 jours** au laboratoire, et des prélèvements effectués à **0, 15, 30 et 60 jours**.





**Figure n°17 :** Pots dans une bassine remplie d'eau



**Figure n°18 :** Ressuyage des pots au dessus d'un tamis

L'expérimentation a duré **60 jours**, durant laquelle des prélèvements ont été effectués selon le calendrier suivant :

- Prélèvements à **0 jour (T0, témoin)**
- Prélèvements après **15 jours (T15)**
- Prélèvements après **30 jours (T30)**
- Prélèvements après **60 jours (T60)**

Pour chaque prélèvement, Trois répétitions ont été effectuées, c'est-à-dire pour chaque prélèvement on trouve :

- **3 pots à 0% de M.O**
- **3 pots à 2% de M.O**
- **3 pots à 5% de M.O**

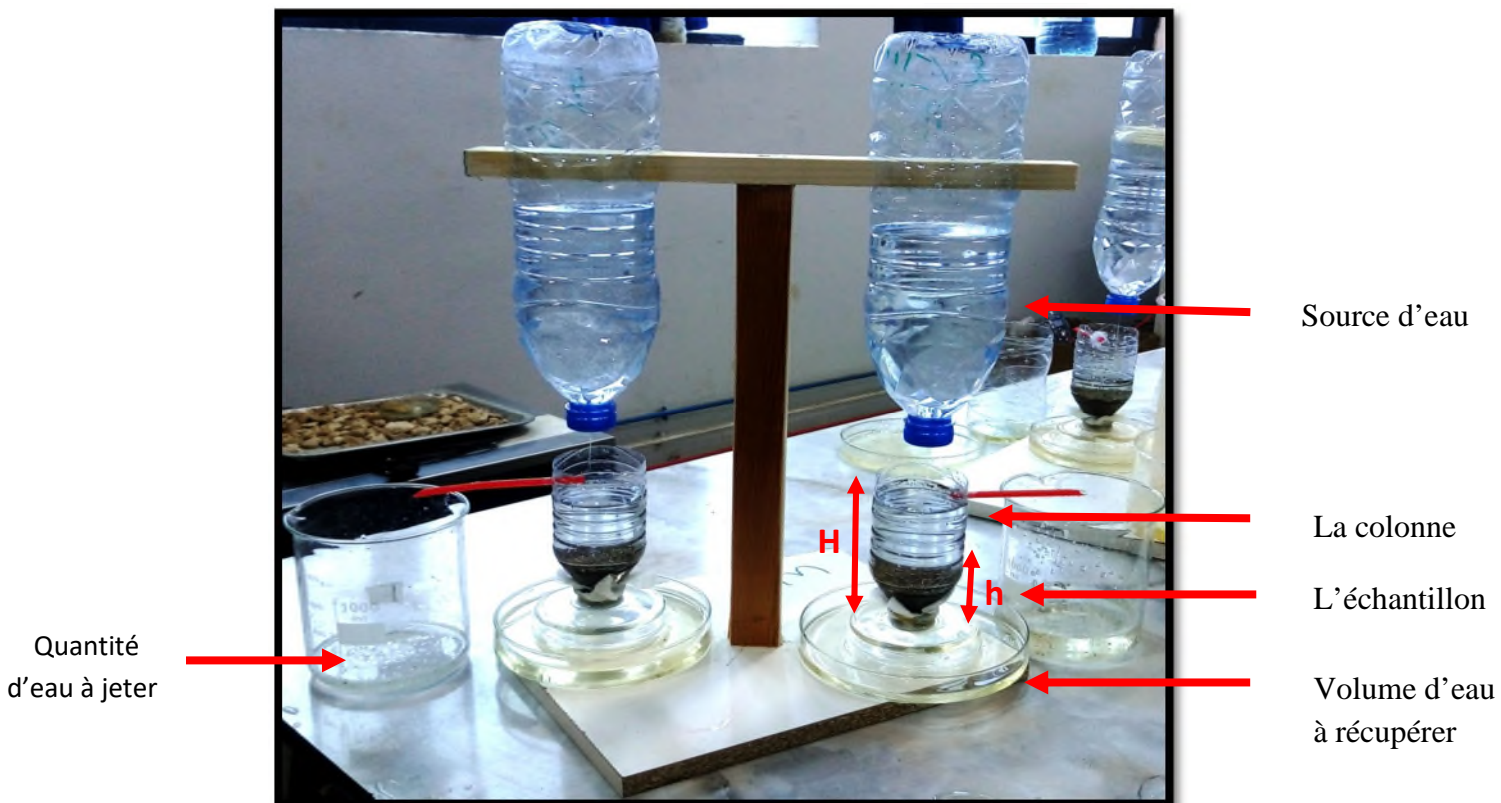
Donc le nombre totale d'échantillons est de :

$$3 \text{ (Doses)} \times 3 \text{ (répétitions)} \times 4 \text{ (prélèvements)} = 36 \text{ échantillons}$$

### 2.3.2. Dispositif de mesure de la perméabilité

Une fois le dispositif de filtration en place (colonne graduée, alimentation en eau, récipient de récupération d'eau d'infiltration, récipient pour récupérer l'excès d'eau à jeter), on a suivi le mode opératoire suivant :

- Peser **50g**de nos échantillons de terre préalablement séchée à l'étuve à **105°C**, puis les introduire dans la colonne (**Figure n° 11**).
- Mettre la colonne remplie de terre sous-alimentation en eau pour avoir un niveau d'eau constant du dispositif, et laisser filtrer pendant **5 mn**. Jetez l'eau du filtrat récupérée durant ces **5** premières mn
- Reprendre l'infiltration dans les mêmes conditions durant **01h**.
- Mesurer le volume d'eau (**V**) qui s'est écoulé durant ce temps en  $\text{cm}^3$ .
- Mesurer la hauteur de l'échantillon de terre (**h**) en cm.
- Mesurer la hauteur de la colonne d'eau (**H**) en cm.



**Figure n°19** : Dispositif expérimental de la mesure de la perméabilité

### 2.3.3. Méthodes d'analyse

#### 2.3.3.1. Analyse granulométrique

Celle-ci a pour but de donner la composition du sol en particules élémentaires, en classant les particules minérales en groupes correspondant à des dimensions définies, ce qui permet de déterminer la texture de sol.

Les fractions granulométriques sont données selon une classification définie par l'échelle d'Atterberg qui détermine les classes des différentes fractions granulométriques selon leurs diamètres (**Bonneau & Souchier, 1979 ; Baize & Jabiol, 1995**). Cette classification d'Atterberg est la suivante :

- Argiles (**A**) :  $\emptyset < 2\mu\text{m}$ .
- Limons Fins (**L.F.**) :  $2\mu\text{m} < \emptyset < 50\mu\text{m}$ .
- Limons Grossiers (**L.G.**) :  $50\mu\text{m} < \emptyset < 200\mu\text{m}$ .
- Sables Fins (**S.F.**) :  $200\mu\text{m} < \emptyset < 500\mu\text{m}$ .
- Sables Grossiers (**S.G.**) :  $500\mu\text{m} < \emptyset < 2\text{mm}$ .

L'analyse granulométrique a été effectuée par la méthode Internationale, avec la pipette de Robinson, dont le protocole se résume en trois étapes suivantes :

- Destruction de la matière organique par l'addition de l'eau oxygénée (**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**) à **20** volumes.
- Dispersion des agrégats par le pyrophosphate de sodium à **4%**.
- Remise en suspension, prélèvement après un temps de sédimentation des particules fines (argiles et limons), et récupération des fractions grossières de  $\emptyset > 50\mu\text{m}$  (**S.G**, **S.F** et **L.G**) par tamisage après élimination des fractions fines (**A**, **L.F**).

#### 2.3.3.2. Mesure de la perméabilité

La perméabilité **k** d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau. Elle est mesurée par la loi de Darcy :

$$Q = k.s.H/h$$

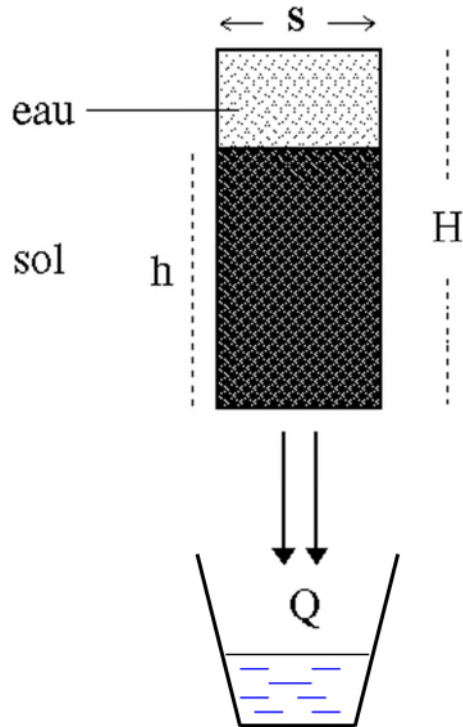
Avec :

**Q** : Débit (cm<sup>3</sup>/h).

**s** : Section de la colonne de terre (cm<sup>2</sup>).

**H** : Hauteur de la colonne d'eau (cm).

**h** : Hauteur de la colonne de sol (cm).



$$Q = k.s. H/h$$

**Q** : débit (cm<sup>3</sup>/h)

**s** : section de la colonne de terre (cm<sup>2</sup>)

**H** : hauteur de la colonne d'eau (cm)

**h** : hauteur de la colonne de sol (cm)

**Figure n° 20:** Schéma du dispositif d'infiltration de l'eau à travers une colonne de terre

Le tableau n° III ci-dessous, montre les normes utilisées pour classer les perméabilités en fonction de leurs vitesses de percolation.

**Tableau n° III:** Classification des perméabilités en fonction du coefficient **k**.  
(Mathieu & Pieltain, 1998).

Valeurs de k (cm/h)	Vitesses de filtration
0,1	Très lente
0,1-0,5	Lente
0,5-2	Assez lente
2-6,5	Moyenne
6,5-12,5	Assez rapide
12,5-25	Rapide
>25	Très rapide

### 3.1.RESULTATS OBTENUS

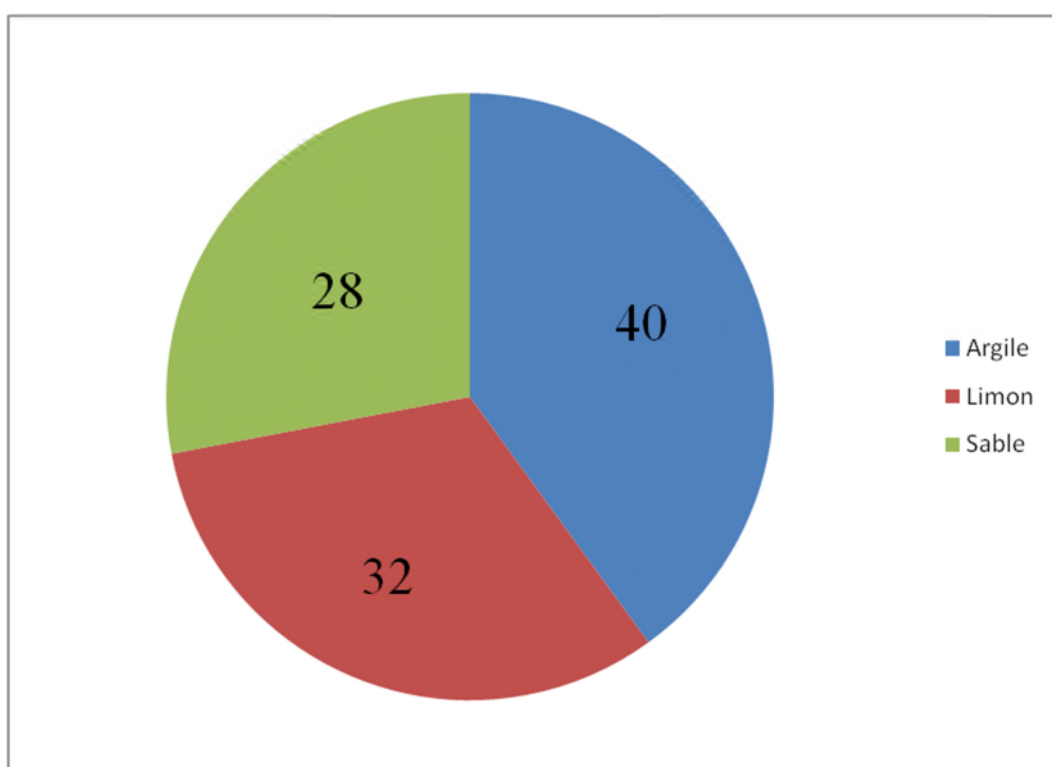
#### 3.1.1.Analyse granulométrique

Les résultats de la granulométrie obtenus sont consignés dans le tableau n°IV ci-dessous :

**Tableau n° IV** :Résultats de l'analyse granulométrique du sol

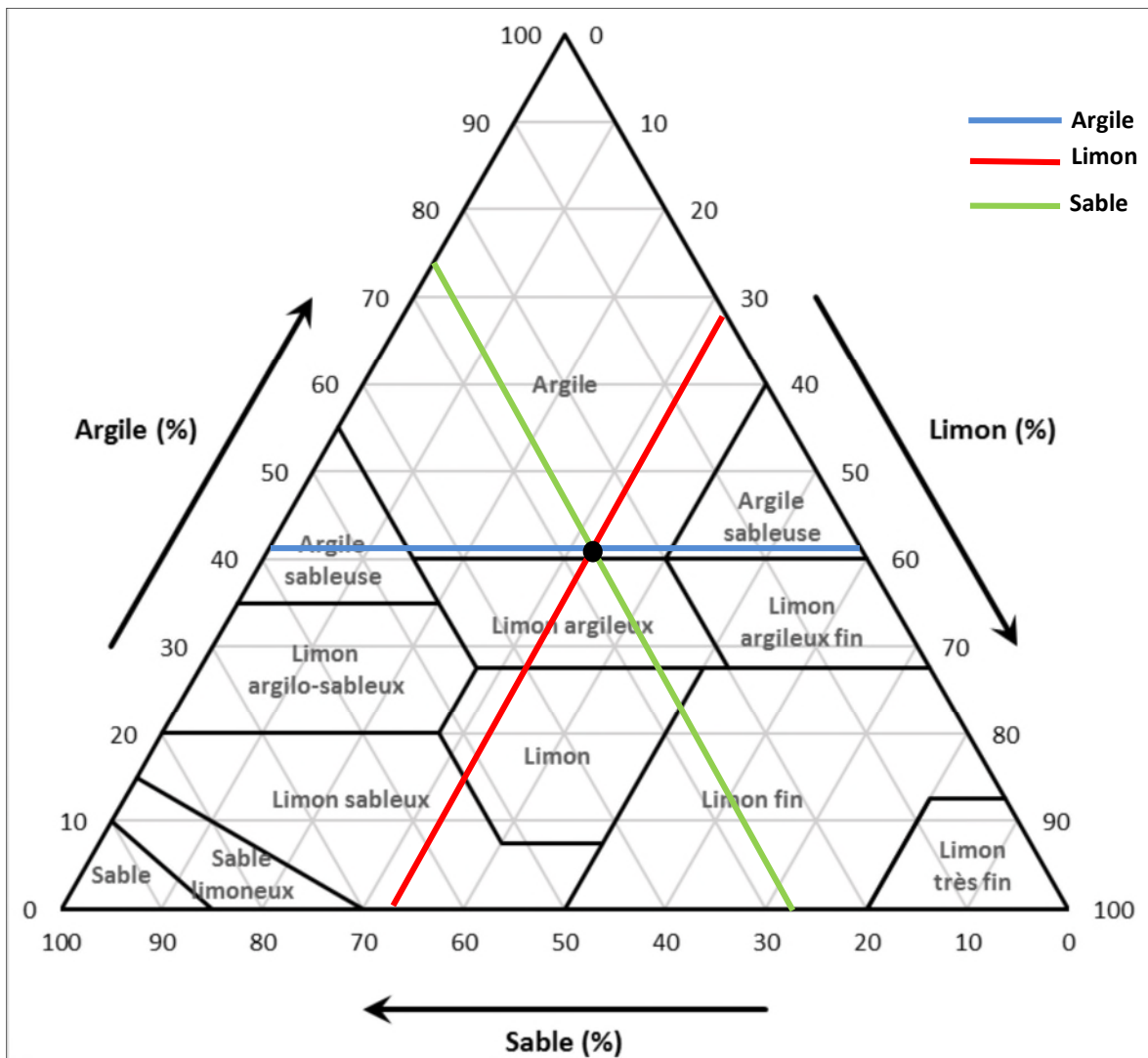
	Analyse granulométrique					Texture
Fractions	Argile(%)	Limon (%)		Sable(%)		<b>Limono-argileux</b>
Minérales		Fin	Grossier	Fin	Grossier	
Pourcentages	<b>40</b>	<b>29</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	

Les résultats obtenus sont convertis en diagramme ci-dessous :



**Figure n° 21**: Répartition des fractions minérales du sol (en %).

D'après les résultats de l'analyse granulométrique, présentés dans le tableau n° IV, nous pouvons déduire, par le biais du triangle des textures (USDA), que le sol est de texture argileuse, avec **40 %** d'argile et **32 %** de limon. La présence de limon en quantité élevée dans ce type de sol, peut colmater les espaces lacunaires et donc limiter sa perméabilité.



**Figure n° 22** : Le triangle des textures (USDA)

### 3.1.2. Evolution de la perméabilité en fonction du temps pour les trois doses de matière organique

Les résultats analytiques de la vitesse d'écoulement de l'eau, sont consignés dans le tableau n°V ci-dessous.

**Tableau n° V** : Résultats analytiques de la perméabilité en fonction du temps.

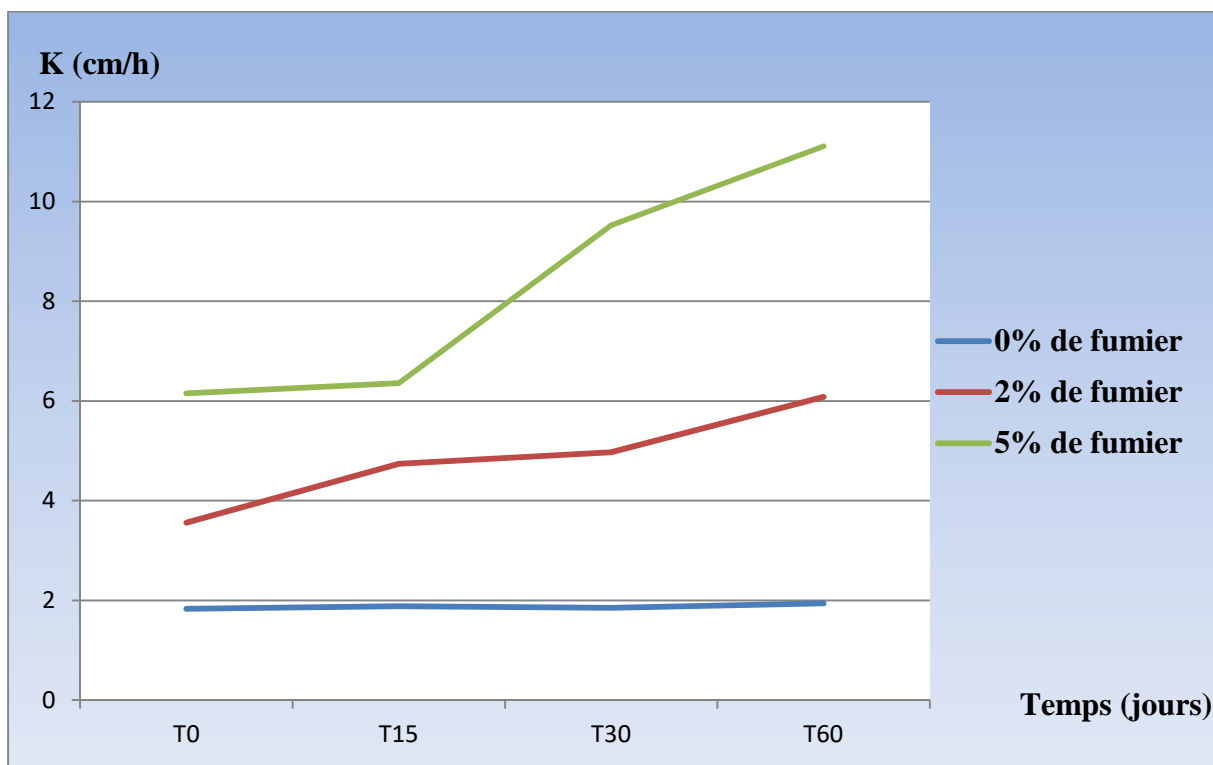
Type du sol	Argileux			
	0 Jour	15 jours	30 Jours	60 Jours
Durée Dose de fumier				
0% (témoin)	1,83 (cm/h)	1,88 (cm/h)	1,85 (cm/h)	1,94 (cm/h)
2%	3,56 (cm/h)	4,74 (cm/h)	4,97 (cm/h)	6,08 (cm/h)
5%	6,15 (cm/h)	6,36 (cm/h)	9,52 (cm/h)	11,11 (cm/h)

A travers les résultats consignés dans le **tableau n°V**, nous remarquons que pour les échantillons enrichis à **2%** de fumier, les vitesses d'écoulement de l'eau sont respectivement : **3,56 cm/h, 4,74 cm/h, 4,97 cm/h** et **6,08 cm/h** pour les temps : **0**jour, **15** jours, **30** jours et **60** jours d'évolution.

Pour les échantillons enrichis à **5%** de fumier, elles sont nettement plus élevées. Elles sont respectivement de **6,15 cm/h, 6,36 cm/h** et **9,52 cm/h** et **11,11 cm/h** pour **0, 15, 30** et **60** jours du début de l'expérience. Nous remarquons que par rapport aux échantillons à **0%** de fumier (témoins), il y a une nette amélioration de la vitesse de l'écoulement de l'eau dans le sol.



Cela est visualisé de façon très nette à travers le graphique, représenté dans la **figure n°13**. Nous observons que les courbes des deux doses **2%** et **5%** de fumier suivent la même allure d'évolution (croissante), alors que la courbe du témoin (**0%** de fumier) reste pratiquement constante.



**Figure n°23 :** Evolution de la perméabilité(k) en fonction du temps pour les trois doses de matière organique.

Les courbes nous montrent que cette texture argileuse présente une perméabilité assez lente de **1,83 cm/h**, pour l'échantillon témoin sans apport de fumier. L'apport de fumier améliore nettement celle-ci, selon la dose incorporée. De **1,83 cm/h** (témoin 0% de fumier) elle passe à **3,56 cm/h** (2% de fumier) et à **6,15 cm/h** (5% de fumier) au début de l'expérimentation (T0). Après **15 jours**, la perméabilité passe de **1,88 cm/h** (témoin) à **4,74 cm/h** (2% de fumier) et à **6,36 cm/h** (5% de fumier). Cela démontre que pour les sols de texture lourde, comme celle de nos échantillons argileux, le taux de matière organique permet d'améliorer nettement la vitesse d'écoulement de l'eau.

Cela est encore plus visible, pour les échantillons prélevés après **30 et 60 jours** d'évolution, où la perméabilité est devenue assez rapide et elle passe respectivement de **1,85 cm/h (témoin)** à **4,97 cm/h (2% de fumier)** puis à **9,52 cm/h (5 % de fumier)**, et de **1,94 cm/h (témoin)** elle passe à **6,36 cm/h (2% de fumier)** et à **11,11 cm/h (5% de fumier)**.

### 3.2. INTERPRETATION DES RESULTATS

A partir des résultats obtenus, on peut constater que les sols de texture argileuse présentent une faible perméabilité due aux très fines particules d'argile, qui assurent une grande cohésion de tous les éléments du sol (microporosité). La porosité est constituée essentiellement des microtubules capillaires, qui exercent sur l'eau des forces de succion importantes diminuant sa vitesse de circulation dans le sol.

La matière organique joue un rôle dans l'amélioration de la structure des sols par l'augmentation des agrégats et des espaces poreux, dont la conséquence directe est une meilleure porosité à l'air et à l'eau (**Culot, 2005 in Amari, 2009**).

Nous remarquons que les doses de fumier incorporées dans le sol (**2 % et 5 %**), apportent une amélioration sensible de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol, en probablement par le fait que la matière organique n'est pas bien mature, avec beaucoup de débris organique non décomposés et très peu d'humus, qui est la substance qui agit dans la consolidation des agrégats du sol.

Les conditions d'amélioration des propriétés physiques, entre autre la perméabilité, par l'humus ne sont pas réunies car la durée de l'expérimentation est courte, ne permettant pas à la matière organique incorporée de bien se décomposer pour produire cet humus capable de consolider la structure des agrégats et d'améliorer la porosité structurale du sol.

L'amélioration de la perméabilité après l'apport de la matière organique, est donc à relier à ces débris organiques, lesquels en se mélangeant aux particules minérales argileuses,

augmentent ainsi la macroporosité du sol, induisant donc une plus grande capacité de circulation de l'eau. La décomposition de la matière organique par les microorganismes, dans les conditions favorables (humidité, température), ne donne pas un humus mature qu'au bout de plusieurs mois d'évolution. L'humus, qui se lie aux argiles pour la formation du complexe argilo-humique, pourrait améliorer à long terme la structure des agrégats et le drainage du sol par l'augmentation de la porosité structurale des agrégats, particulièrement de la macroporosité, facilitant ainsi l'infiltration et l'évacuation de l'eau en excès.

## CONCLUSION

Ce travail s'était donné comme objectif le suivi de la perméabilité d'un sol de texture lourde (argileuse), prélevé au niveau de la station **I.N.R.A.A.** de la localité d'Oued-Ghir dans la wilaya de Bejaia. Un autre volet d'étude, qui sera pris en considération, sera l'observation de l'impact de différentes doses de matière organique (fumier de bovin) sur l'évolution de la perméabilité en fonction du temps. Ces apports de fumier de bovin, se feront directement sur la terre fine ( $\emptyset < 2\text{mm}$ ), à des doses de **2** et **5%**. Ce travail est motivé par le constat que la matière organique, globalement, impacte considérablement les propriétés physiques des sols, particulièrement la perméabilité et la stabilité structurale. Ce qui nous intéresse surtout, c'est de mettre en évidence l'intensité de l'amélioration de la perméabilité, en relation avec les doses de matière organique.

Cette expérimentation s'inscrit dans l'objectif d'établir une relation directe, sur une période de **60 jours**, entre différentes doses de fumier de bovin apportées au sol et la perméabilité. Les échantillons de terre sont soumis à une dessiccation prolongée (**60 jours**), car cela permet de consolider la structure des agrégats et d'influer sur la porosité du sol, donc sur la perméabilité.

A travers cette étude basée sur une expérimentation de **60 jours**, les résultats montrent clairement que le fumier de bovin améliore considérablement la vitesse d'infiltration (perméabilité) du sol, surtout pour la dose élevée de fumier de bovin.

Les mesures de la perméabilité (**k**), effectuées selon la loi de Darcy, dans des conditions de saturation des échantillons du sol, avec ou sans apport de matière organique, nous permettent d'émettre les conclusions suivantes :

Les échantillons enrichis en matière organique à différentes doses (**2 % et 5 % de fumier**) présentent toujours une perméabilité supérieure aux échantillons témoins (**0 % de fumier**).

Les résultats obtenus ont montré que la perméabilité dépend de la richesse en matière organique. Elle augmente au fur et à mesure que la dose de fumier apportée au sol croît, surtout dans des conditions favorables d'une biodégradation et de maturation de ce dernier, impliquant un complexe argilo-humique plus développé et plus stable avec une amélioration d'autres propriétés physiques du sol, telles que la structure, la porosité et donc la perméabilité qui en dépend.

### **Perspectives**

Il serait très intéressant de mener cette étude sur une plus longue durée, pour mettre en évidence l'effet du fumier plus mature, qui pourrait donner des corrélations plus étroites et essayer d'établir une modélisation de la dynamique de cette matière organique assez facilement biodégradable.

Les analyses de laboratoire doivent venir comme un complément à des expérimentations *in situ* sur des parcelles agricoles cultivées, pour répondre à des questions bien précises.

Vu le rôle important joué par le fumier de bovin dans l'amélioration des propriétés physiques, en particulier la perméabilité, vu ses avantages sur le plan agronomique (fertilisant bio), économique (moins coûteux), et écologique (engrais naturel respectueux de l'environnement), nous recommandons d'utiliser cette matière organique comme alternative aux produits chimiques.

## *Références bibliographiques*

**Abiven S. (2004).** Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décompositions et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse Doctorat. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes. 243 p.

**Amari D. (2009).** Impact des vers de terre sur les propriétés physiques des sols, stabilité structurale et perméabilité. Thèse d'ingénieur en Ecologie. Université de Bejaia. 66 p.

**Annabi M. (2005).** Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de Doctorat INA. Paris-Grignon : 270 p.

**Anonyme 1. (2011).** Le complexe argilo-humique. Encyclopédie Wikipédia 2011 : <[https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Complexe\\_argilo-humique.svg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Complexe_argilo-humique.svg)>(consulté le 15/06/2019).

**Anonyme 2. (2013).** Perméabilité du sol <[http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706f/x6706f09.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706f/x6706f09.htm)>(consulté le 09/06/2019).

**Baize D. (1988).** Guide des analyses courantes en pédologie. Ed. INRA. Paris. 172 p.

**Baize D. (2000).** Guide des analyses en pédologie: choix, expression, présentation, interprétation. Ed : rev. et augm. INRA. Tome 2. Paris. 257p

**Baize D & Jabiol B (1995).** Guide pratique de la destruction des sols. Ed. INRA. 375 p.

**Balesdent J. (1996).** Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. INRA. Paris. pp 245-260.

**Beauchamp J. (2006).** Pédologie. L'eau et le sol. Université de Picardie. JULES VERNE. 30 p.

**Beauchamp J. (2008).** Propriétés des sols. Cours pédologie. Université de Picardie Jules Verne.

**Belaidi A. (2007).** Etude de l'évolution de la matière organique de diverse nature après 06 mois d'incubation, corrélation avec certains paramètres physique du sol. Thèse magister de la bio-conservation et écodéveloppement. 68p.

**Bonneau et Souchier. (1979).** Pédologie 2, constituants et propriétés du sol. Ed. Masson et Cie, Paris. 459 p.

**Brahima G. (1966).** Principe fondamentale d'agriculture générale. Ed : VIGNOT, frères. Paris. 388 p.

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

**Calvet R. (2003).** Le sol Propriétés et fonctions : constitution et structure, Phénomènes aux interfaces, Éditions France Agricole. Tome 1. 456 p.

**Callot G ; Chamayou H ; Maertens C ; Salsac L. (1982).** l'interaction sols-racines. Incidence sur la nutrition minérale. INRA. Paris. 325 p.

**Camuzard J.P. (2009).** Le sol, un milieu complexe au pouvoir épurateur limité. ENGREF Paris.

**Chabaliere F.P. (2006).** Guide de la fertilisation organique à la réunion. 301p.

**Chamayou H; Legros J.P.(1991).** Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol, Technique vivantes. P.U.F.594p.

**Chareau C. (1975).** Matière organique et propriétés biochimiques du sol dans la zone tropicale sèche d'Afrique occidentale. Bull, pédologique de la FAO. n0 27, Rome. pp 305-323.

**Chossat J.C. (2005).** La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols, Choix des méthodes. Ed : Lavoisier, Tec & Doc. 720 p.

**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. sciences techniques au Service de l'homme et de l'environnement.315p.

**Citeau L ; Bardy M ; King D ; Bispo A. (2008).** Gestion durable des sols. Ed : Quae. 336p.

**Demolon A. (1952).** Guide pour l'étude expérimentale du sol. Ed: Gauthier-Villars. Tome 2. 251 p.

**Demolon A. (1968).** Principe d'agronomie, croissances des végétaux cultivés.

Edit: Dunod. Paris. 576 p.

**Djellali B. (2016).** Elaboration et caractérisation d'une céramique diélectrique à base de palygorskite. Thèse Master. Université de Boumerdes. P 74.

**Djidjik A. (2016).** Analyse des sols Moyen Tangible pour une fertilisation rationnelle et économique <<https://slideplayer.fr/slide/15154941>>. (Consulté le 16/04/2019).

**Duchaufour P. (1976).** Atlas écologique des sols du monde. Ed : Masson. Paris. 178 p.

**Duchaufour P. (1977).** Pédologie. Pédogenèse et classification. Ed : Masson. Paris. Tome 1. 477p.

**Duchaufour P. (1983).** Pédologie et classification. Ed. Masson. 491p

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

**Duchaufour P. (2001).** Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement. Ed. Dunod. Tome 6. Paris. 331p.

**Gauthier J. (1991).** Notion d'Agriculture, le sol, les cultures, les élevages, l'économie et la gestion. Ed : Lavoisier TEC & DOC. Paris Cedex08. 574p.

**Girard M.C ; Berthelin J ; Rémy J.C ; Walter C. (2005).** Sols et environnements. Collection: Sciences sup. 816 p

**Gobat J.M ; Aragnon M ; Matthey W. (1998).** Le Sol vivant. Bases de pédologie biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes Lausanne. 519p.

**Gobat J.M ; Aragnon M ; Matthey W. (2003).** Le sol vivant. Bases de pédologie. Biologie des sols. Ed : Presses polytechniques et universitaires romandes. 571p.

**Gobat J.M; Aragnon M ; Matthey W. (2010).** Le sol vivant : Bases de pédologie- Biologie des sols. Ed : presses polytechniques et Universitaires Romandes. 817p.

**Hachette. (2010).** Les conditions de formation d'un sol <<http://sites.google.com/site/bamtegnies/seconde/chapitre-3-unité-2>> (consulté le 02/04/2019).

**Henin S ; Gras R & Monnier G.** L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Ed : Masson. 288 p.



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

**Kaouritchev I. (1983).** Manuel pratique de pédologie. Ed Mire. Moscou. 279p

**Mallouhi N. (1982).** Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur l'évolution de la matière organique. Thèse doctorat. INPL. Nancy. 127 p.

**Mathieu C et Pieltain F. (1998).** Analyse physique des sols. Méthodes choisies. Editions TEC & DOC. Paris. 275

**Medjo Eko. (1999).** Compactage de l'argile sainte-Rosalie : étude expérimentale dans un cadre élastoplastique et analyse numérique par la méthode des éléments finis. thèse philosophiae Doctor. Université Laval. Québec.

**Morel R. (1996).** Les sols cultivés, 2ème édition, paris : Technique documentation, ISBN : 2-7430-149-6.

**Mouroux P ; Pinte J.C ; Margron P. (1988).** La construction économique sur les gonflants : Manuels et méthodes **14** : BRGM.

**Mustin M. (1987).** Le compost, gestion de la matière organique, Ed : François Dubusc. Paris, 951p

**Musy A ; Soutter M. (1991).** Physique du sol. Edit. Presses polytechniques et universitaires romandes. 331p.

**Pontailier S. (1982).** engrais et fumure. 4eme édition. Presses Universitaires De rance (PUF). Collection Que Sais-Je. 126p.

**Robert M. (1996).** Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. paris Ed : 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. Tome 1. 73p.

**Soltner D. (2003).** Les bases de la production végétale.. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et Techniques Agricoles. 23ème. Ed. Paris. Tome 1. 472p.

**Uspuna Usan G.(2010).** Analyse du phénomène de retrait/gonflement des milieux argileux: impact environnementale et impact de la sécheresse sur le bâti. Thèse doctorat. Université de Barcelone.

**Vauthier Q. (2010).** Estimation des réserves utiles des sols de Seine-et-Marne. Rapport de stage. Université Henri Poincaré. Nancy. P27.

## Résumé

Ce travail s'était donné comme objectif, l'étude de l'effet du fumier de bovin sur la perméabilité d'un sol argileux, soumis à deux épisodes de dessiccation, prélevé au niveau de la station **I.N.R.A.A.** de la localité d'Oued-Ghir dans la wilaya de Bejaia. Pour cela, nous avons utilisé la méthode de **Henin, (1969)**, mesurant la vitesse d'écoulement des eaux de surface, par l'infiltration à travers les pores du sol. Elle permet d'évaluer les rapports entre les eaux de ruissellement et les eaux d'infiltration, qui sont parmi les principaux facteurs engendrant l'érosion hydrique en surface.

A travers ce travail, nous avons suivi l'évolution de la perméabilité du sol étudié, soumis à des apports de matière organique (fumier de bovin) à différentes doses sur une période de 60 jours. Ce travail est motivé par le constat que la matière organique, globalement, impacte considérablement les propriétés physiques des sols, particulièrement la perméabilité et la stabilité structurale. Ce qui nous intéresse surtout, c'est de mettre en évidence l'intensité de l'amélioration de la perméabilité, en relation avec les doses de matière organique.

Les résultats obtenus montrent clairement que la perméabilité dépend de la richesse en matière organique. Elle augmente au fur et à mesure que la dose de fumier apportée au sol croît, surtout dans des conditions favorables d'une biodégradation et de maturation de ce dernier.

La matière organique (fumier de bovin) joue un rôle très important dans l'amélioration des propriétés physiques du sol, telles que : la structure, la porosité et donc la perméabilité qui en dépend.

**Mots clés :** fumier de bovin, perméabilité, propriétés physiques, matière organique, sol argileux, dessiccation.

## Abstract

The objective of the study was to study the effect of cattle manure on the permeability of a clay soil subjected to two episodes of desiccation, collected at the I.N.R.A.A station from the locality of Oued-Ghir in the wilaya of Bejaia, using the method of Henin, (1969), measuring the rate of flow of surface water, through infiltration through the pores of the soil. It assesses the relationship between runoff and seepage water, which are among the main factors causing surface water erosion.

Through this work, we followed the evolution of permeability of the studied soil, subjected to inputs of organic matter (cattle manure) at different doses over a period of 60 days. This work is motivated by the observation that organic matter; globally, considerably impact the physical properties of soils, particularly permeability and structural stability. What interests us above all is to highlight the intensity of the improvement off the permeability, in relation with the doses of organic matter.

The results obtained clearly show that the permeability depends on the richness of organic matter. It increases as the amount of manure delivered to the soil increases, especially under favorable conditions of biodegradation and maturation of the latter.

Organic matter (cattle manure) plays a very important role in improving the physical properties of the soil, such as: structure, porosity and therefore the permeability that depends on it.

**Key-words:** cattle manure, permeability, physical properties, organic matter, clay soil, desiccation.

