

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

SGHIER Imane et FERTASSI Nour El Houda

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité

Gestion conservatoire du sol, l'eau et l'environnement

THÈME

**ETAT DE DÉGRADATION DE STRUCTURE DU
SOL DE MAZAGRAN**

Soutenu publiquement le : 11/06/2017

DEVANT LE JURY

Encadreur : BELGAT Saci

U Mostaganem

Examineur :

U Mostaganem

Président : HADDAD Ahmed

U Mostaganem

Thème réalisé au Laboratoire de : pédagogie

Année Universitaire : 2016/2017

Résumé

L'objectif général de notre recherche est étude l'état de dégradation de structure du sol de région Mazagran et fait une analyse du sol, les tests réalisés dans cette recherche c'est : le pH, l'humidité équivalente, l'humidité du terre, la conductivité, la densité apparente, la granulométrie, et la stabilité structurale; afin de faire une comparaison en composition.

Les résultats des analyses réalisées sont différentes d'une région à une autre, alors que l'humidité du sol 01 est élevé (12.92 %), que le sol 02 (11.87 %).

Le pH du deux sol et basique (au environ de 8). La conductivité du sol et élevé dans la sol 02 (275) par rapport le sol 01 (179.7). La densité apparente du sol 01(2.45 g/cm³) et supérieure que le sol 02 (2.27 g/cm³).

La stabilité structurale du sol 01(0.06%) très élevé par rapport le sol 02 (0.0003%).

La texture des deux échantillons et sablo-argileux.

Mots clés : stabilité structural, agrégat, dégradation du sol, texture.

Abstract

The general purpose of this research is to study the state of degradation and the structure of the ground of the region mazaghran and do the analyses of the ground. The tests done in this research are the pH, the equivalent humidity, the humidity of earth, the conductivity and the apparent density, the granulometry also the structural stability.

In purpose of comparing the composition, the results of the carried out analyses are different from a region to another so the humidity of the 1st ground is high (12.92%) than the second one (11.87%).

The Ph of the two samples of ground is basic (is about 8) the conductivity of the ground is high in the 2nd ground (179.7). The apparent density of the 1st ground (2.45g/cm³) is high than (2.27g/cm³) which is the apparent density of the 2nd one (0.0003) the texture of two samples is clay sand

Key words: stability structural aggregate, degradation of ground, texture.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon père Mokhtar

Ma mère

Mes frères mohamed et Abd el kader

Mes sœurs Assia et Messouda

Les enfants Younes, Rihab, ChoaiB, Hajer

Et Idris

ET Toute ma famille

Mes amis

A tous ceux qui me sont chers

Nour El Houda

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon père Bachir

Ma mère

Mes frères Sid Ahmed et Abdelaziz

Ma sœur OUM HANI

ET Toute ma famille

Mes amis

A tous ceux qui me sont chers

Imane

Remerciement

Nous remercions tout d'abord le bon dieu, d'avoir donné la force de continuer jusqu'au bout.

*Nous remercions en particulier nos encadreur **M.S.BELGAT** d'avoir aidé par ces conseils, ces remarques pertinentes et par sa collaboration effective pour l'élaboration et la réalisation de ce travail.*

*NOUS tenons à remercier également le laboratoire de l'analyse du sol pour l'utilisation importante de leurs matériels et le soutien que j'y ai reçu. Nous remercions **Melle Rachida** la technicienne de ce laboratoire.*

Nous remercions également, les membres de jury d'avoir accepter d'honorer notre soutenance de leur prudence, qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude.

Nous remercions tous qui nous aidés de pré ou de loin

Imane et Nour El Houda

Listes des figures

Figure 01 : Carte de situation de zone d'étude.	07
Figure 02 : profil 01	11
Figure 03 : Profil 02	12
Figure 04 : profil 3	12
Figure 05 : profil 4	13
Figure 06 : profil 5	13
Figure 07 : Profil 6	14
Figure 08 : Plan d'atelier de Mazaghran	14
Figure 09 : prélèvements des échantillons	15
Figure 10 : le séchage des sols étudiés à l'air.	16
Figure 11 : agitation du sol et le pH mètre.	19

Liste du tableau

Tableau 01 : classification des structures.	06
Tableau 02 : la densité apparent	25
Tableau 03 : Humidité équivalente	26
Tableau 04 : le taux d'humidité des deux sols étudiés.	26
Tableau 05 : résultat du pH	26
Tableau 06 : la conductivité	27
Tableau 07 : la granulométrie	27

Sommaire

Résumé	
Introduction générale	01
Chapitre I : Stabilité Structural	
I. Le sol	03
I.1. Définition du sol	03
I.2. Structure du sol	03
I.2.1 Définition	03
II.1. Stabilité de la structure	04
II.2 Les différents niveaux d'association	04
II.3 Description de la structure	05
II.3.1 Le concept d'assemblage des constituants du sol	05
II.3.2 Description morphologique de la structure	05
II.4 Classification des structures	06
Chapitre II : Matériels et Méthodes	
I. Présentation de la zone d'étude	07
I.1. Situation géographique du Mazagran	07
I.1.2. Caractérisation du milieu	07
I.1.2.1. Géologie et Morphologie	07
I.1.2.2. Topographie de la région	08
I.1.2.3. Pédologie de la région	09
a) Sols décalcifiés	09
b) Sols Calcaires	09
c) Sols de Marais	10
d) Sols Dunaires (dépôts sableux éoliens)	10
e) Sols Alluviaux	10
II. Matériels et méthodes	11
II.1. Objectif	11
II.1.1 Les profils	11
II.2. Prélèvement des échantillons	15
II.3. Préparation des échantillons	15
II.4. Analyses du sol	16
II.4.1. Mesure de la densité apparente	16
II.4.2. Humidité équivalent	17
II.4.3. Humidité	18
II.4.4. Détermination du pH	19
II.4.5. détermination de la conductivité électrique (CE)	19
II.4.6. analyse granulométrique	20
II.4.7. la stabilité structural	23
Chapitre III : Résultats et Discussions	
III.1. Résultats	25
III.1.1. La densité apparente	25
III.1.2. Humidité équivalent	26
III.1.3. Le taux d'Humidité	26
III.1.4. Le résultat du pH	26
III.1.5 le résultat de conductivité	27
III.1.6 la granulométrie	27
III.1.7 Stabilité structurale	27
III.2. Discussions	29
Conclusion générale	30

Introduction Générale

Introduction

Le sol se présente comme un filtre complexe. La circulation des fluides à travers ce filtre va être affectée par les irrégularités qu'il présente, et réciproquement les variations d'humidité et la circulation de l'eau vont en modifier la structure. La physique du sol va donc consister tout d'abord à caractériser les propriétés du filtre qu'est le sol puis à partir de ces descriptions à définir les modifications apportées au milieu par un certain nombre de phénomènes en particulier la fixation et la circulation de l'eau et complémentairement celle de l'air (S. Hénin 1976).

La dégradation du sol est un processus qui diminue la capacité actuelle ou potentielle du sol de produire (quantitativement et/ou qualitativement des biens ou de services). Elle n'est pas nécessairement continue, elle peut avoir lieu pendant une période entre deux états d'équilibre écologique. (Lalmi, 2008).

Pour un certain nombre d'auteurs l'étude de la structure consiste essentiellement à décrire des associations de particules constituant des assemblages de tailles croissantes. Au bas de l'échelle se trouveraient suivant cette conception des éléments composites formés de l'assemblage des éléments inertes du squelette par des éléments actifs colloïdaux: (argiles Humus hydroxydes ou gels). Ces petits éléments reçoivent alors le nom d' "agrégats". Ils sont considérés comme des "molécules" de sol. Il serait plus logique de les considérer comme des monomères si l'on suivait la pensée des inventeurs de cette idée. Ces agrégats associés les uns aux autres donneraient naissance à des volumes de taille de plus en plus importante: ce sont les agglomérats et les mottes que l'on peut observer en examinant le terrain en place. De tels volumes ont été parfois nommés "faux agrégats". Pour les partisans de cette conception, les matériaux dont les constituants élémentaires ne sont pas agglomérés par des ciments sont considérés comme étant sans structure ce serait le cas des sables.

Une telle conception nous semble erronée. Une masse de particules se présente nécessairement avec une disposition relative de ses composants, donc avec une structure. Suivant cette théorie, on peut distinguer une microstructure caractérisée par la distribution des agrégats en fonction de leurs tailles, et une macrostructure correspondant à la distribution des mottes résultats de l'association des agrégats en fonction de leurs dimensions Bien entendu, ceci implique que l'on puisse définir les conditions d'existence

Introduction Générale

de ces agrégats et donner des tailles de référence. D'après les méthodes utilisées, la dimension de l'agrégat se situerait vers 50. 250 ou 2.000 μ suivant que l'on considère les données d'un test physico-chimique telle qu'une analyse d'agrégats, ou la taille des particules apparaissant à l'observation sur le terrain. (S. Hénin1976).

Le présent document est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre est réservé à l'étude bibliographique qui porte essentiellement sur une définition du sol, sa structures, stabilité structurale et une classification de la structure.

Le deuxième chapitre est consacré à la caractérisation du milieu physique de mazagran objet de cette étude et une approche méthodologique qui consiste au choix de la méthode adoptée et le matériel utilisé pour la réalisation du présent travail.

Les résultats obtenus et leurs discussions constituent l'essentiel de ce mémoire et sont présentés dans le dernier chapitre.

Enfin, nous terminons ce travail avec une conclusion générale dans laquelle nous présentons l'essentiel des résultats.

Chapitre I:

Stabilité Structurale

I. Le sol :**I.1. Définition du sol :**

Les représentants des animaux et des plantes sont abondants dans les sols. Dans les sols normaux, il apparaît tout une série d'être vivants de dimensions différentes, depuis les rongeurs de grande taille, les vers et les insectes jusqu'aux bactéries minuscules. Le poids total de matière vivante, y compris les racines de plantes, dans un hectare de couche arable d'un sol minéral représentatif peut être évalué à 5.000kg au moins (**Buckman et Brady, 1960**). L'activité des organismes du sol varie depuis désintégration, dans une large mesure physique, des résidus de plantes par l'action des insectes et des vers de terre jusqu'à la décomposition définitive et complète de ces mêmes résidus par l'action des organismes plus petits tels que les bactéries, les champignons et les actinomycètes. Ces processus de décomposition sont accompagnés de la libération de plusieurs éléments nutritifs des combinaisons organique, par exemple de l'azote, du phosphore et du soufre (**Buckman et Brady, 1960**).

I.2. Structure du sol**I.2.1. Définition**

La structure du sol est le résultat, à un moment donné, de l'équilibre entre les phénomènes de tassement (par le passage d'engins agricoles, conditions humides d'intervention), de fragmentation (par le climat, la faune (**Oorts, 2006**) et/ou le travail du sol), d'agrégation (par des compactations modérées ou par le climat et/ou la faune) et de déplacement du sol par le travail du sol (**Roger-Estrade et al., 2000 ; Boizard et al., 2004**).

La structure d'un sol labouré est extrêmement hétérogène. Elle est composée de l'assemblage de sol fin, de mottes compactées ou non (décimétriques), de résidus de cultures répartis le long de la bande de labour, de vides et de fissures issus de l'action de retournement, de déplacement et de fragmentation de la charrue sur la couche de sol labourée (**Roger-Estrade et al., 2004b**).

A l'inverse, la structure d'un sol non travaillé est plus homogène et présente souvent une structure plus massive composée de macro-pores d'origine biologique. Les fissures et les vides sont en général moins importants dans les sols non travaillés ou dans les systèmes de travail du sol réduit du type chisel (**Rasmussen, 1999**). Par ailleurs, les résidus de cultures ne sont pas enfouis en profondeur et sont concentrés en surface ou dans les premiers centimètres de sol, améliorant la stabilité structurale du sol (**Tebrügge et Düring, 1999**).

II.1. Stabilité de la structure

La structure du sol n'est pas nécessairement permanente, elle peut se modifier en fonction des circonstances (pluie, vent, tassement par les engins et le piétinement par les animaux...). Ainsi la stabilité de la structure représente la capacité d'un sol à conserver l'arrangement de sa phase solide et de sa porosité quand il est exposé à des stress (**Kay, 1990**).

La stabilité structurale est une caractéristique importante de la structure du sol. Elle est le plus souvent évaluée à l'échelle des agrégats. 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.

II.2. Les différents niveaux d'association

Une approche très intéressante a été proposée par deux chercheurs australiens, Tisdall et Oades (1982), qui se basant sur de nombreuses données expérimentales, obtenues notamment par des techniques de microscopie, ont identifié cinq niveaux différents. Bien que leurs travaux se réfèrent à un type de sol (qu'ils qualifient de brun – rouge), ils peuvent être considérés les limites de tailles qu'ils utilisent comme des repères dimensionnels susceptibles de varier d'un sol à l'autre mais sans que la démarche de description en soit fondamentalement modifiée. En effet, il est très probable que les différents niveaux envisagés puissent être observés dans la plupart des sols où la matière organique est le principal agent de liaison.

La figure 01 donne une représentation schématique de ces différents niveaux d'assemblage qui correspondent à 4 modalités d'agrégation :

Agrégats $< 0.2 \mu\text{m}$ \rightarrow agrégats $0.2-2 \mu\text{m}$ \rightarrow agrégats $2-20 \mu\text{m}$
 \rightarrow agrégats $20-50 \mu\text{m}$ \rightarrow agrégats $> 2000 \mu\text{m}$

1. Agrégats $> 2000 \mu\text{m}$: ce sont des associations, surtout d'agrégats plus petits de 20 à $250 \mu\text{m}$ de diamètre, mais aussi de particules de sables.

2. Agrégats $2 - 20 \mu\text{m}$: ce sont des agrégats en général très stables, constitués par l'assemblage de particules dont les diamètres sont compris entre 2 et $20 \mu\text{m}$

3. Agrégats $2 - 20 \mu\text{m}$: ce sont des agrégats très résistants, riches en minéraux argileux et en matière organique.

4. Agrégats $< 2 \mu\text{m}$: ils sont constitués par des minéraux de la fraction argiles granulométriques et par des particules de minéraux argileux.

II.3. Description de la structure

II.3.1. Le concept d'assemblage des constituants du sol

Les agrégats et les mottes

La description de la structure repose sur l'identification et la caractérisation des assemblages des particules primaires et des particules secondaires. Ce sont les arrangements de ces assemblages qui donnent leur structure aux horizons du sol. Ils apparaissent à l'observation comme des volumes plus ou moins grands délimités par des surfaces de moindre résistances qui prennent naissance sous l'action de perturbation mécaniques d'origine naturelle dues à la pédogénèse ou d'origine artificielle es dues aux passages de divers outils dans le sol.

II.3.2. Description morphologique de la structure

L'observation et la description de la structure peuvent être réalisées soit, de façon très simple, à l'œil nu, soit de façon technologiquement plus élaborée, à l'aide de techniques de microscopie. Dans la première situation, pratiquée sur le terrain, on ne peut évidemment avoir accès qu'à des informations macroscopiques sur la forme et la tailles des éléments structuraux visibles, c'est à dire des gros agrégats et des mottes ; dans ce cas, on parlera de macromorphologie de la structure.

II.4. Classification des structures

① Forme et arrangement des agrégats et des mottes							
	Forme en lamelles	Forme prismatique la dimension verticale est la plus grande		Forme polyédrique et sphéroïdale 3 dimensions approximativement égales			
		Sommets non arrondis	Sommets arrondis	Forme polyédrique faces plane ou incurvées jointives entre les agrégats ou les mottes		Forme sphéroïdale faces plane ou incurvées non jointives entre les agrégats ou les mottes	
				Faces planes vertices anguleux	Faces arrondies et aplaties vertices arrondis	Agrégats ou mottes très peu poreux	Agrégats ou mottes poreux
② taille des agrégats ou des mottes	Structure lamellaire	Structure prismatique	Structure colonnaire	Structure massive	Structure massive émoussée	Structure granulaire non poreuse	Structure granulaire poreuse
1. Structure très fine	< 1mm	< 10 mm	< 10 mm	< 5 mm	< 5 mm	< 1mm	1mm
2. structure fine		10-20 mm	10-20 mm	5-10 mm	5-10 mm	1-2 mm	1-2 mm
3. structure moyenne	1-2 mm	20-50 mm	20-50 mm	10-20mm	10-20mm	2-5 mm	2-5 mm
4. structure grossière	2-5 mm	50-100 mm	50-100 mm	20-50mm	20-50mm	5-10 mm	
5. structure très grossière	5-10 mm	>100 mm	>100 mm	>50 mm	>50 mm	>10 mm	
	>10 mm						

Tableau 01 : classification des structures.

Chapitre II:

Matériels et Méthodes

I. Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique du Mazagan

Mazagan est situé dans la daïra de Hassi Mameche et la wilaya de Mostaganem. Ses habitants sont appelés les Mazaghrani. La ville s'étend sur 20 km² et compte 22 016 habitants depuis le dernier recensement de la population. La densité de population est de 1100,8 habitants par km². La commune est entourée par Hassi Mameche, Stidia et Mostaganem, Mazagan est situé à 4 km au nord-ouest de Hassi Mameche la plus grande agglomération. Située à 129 mètres d'altitude, le chef-lieu de la commune de Mazagan a pour coordonnées géographiques **Latitude:** 35° 53' 44" nord **Longitude:** 0° 4' 17" est.



Figure 01 : Carte de situation de zone d'étude (Google Earth 2017)

1.1.2. Caractérisation du milieu

1.1.2.1. Géologie et Morphologie

D'un point de vue géologique le plateau de Mostaganem est situé dans la partie instable du bassin miocène Nord-Tellien (**Boulaine J., 1955**). Il est constitué essentiellement par du quaternaire ancien (grès marin, formations dunaires, calcaires lacustres) qui repose sur le complexe mio-pliocène généralement marin. Un phénomène de

diapirisme s'observe au niveau d'Ain Nouissy et d'Ain sidi Cherif où affleure du gypse (**BNEDER, 1980**).

La grande diversité des zones morphologiques est le résultat de cette évolution très récente : au Sud l'érosion domine, prenant parfois des aspects grandioses.

Dans le plateau de Mostaganem l'érosion éolienne s'exerce sur les sols sableux décalcifiés : elle se traduit par une grande extension de dunes continentales. La côte est très relevée, bordée par une flexure qui détermine des érosions ; elle est parsemée de dunes marines plus ou moins fixées.

Au Nord-ouest dans la région de Bouguirat et de Sirat les eaux douces du plateau ont constitué jadis dans la zone basse des marécages dont les sols ont été remaniés par l'érosion.

Le plateau de Mostaganem est constitué par des rides anticlinales Sud-Ouest-Nord Est, pliocènes et post-pliocènes recouvertes, soit par la lumachelle calabrienne, soit par des dunes. Pendant le Quaternaire les fleuves ont contourné cette région par l'Ouest (Hillil-Mina) et par le Nord (Chélif), et la prédominance de l'infiltration sur le ruissellement dans des terrains très perméables a été la cause de la formation de nombreux bassins fermés. Par ailleurs, les phénomènes de surcreusement n'ont pas eu lieu en l'absence de formations salifères. Enfin, les matériaux très sableux ont été remis en mouvement par le vent à différentes époques. (**Boulaine J., 1955**).

1.1.2.2. Topographie de la région

La topographie interfère avec les autres facteurs de formation pour modifier la nature des sols. L'altitude moyenne du plateau est de 200 m. Ce plateau présente nombreuses ondulations orientées Nord-est/Sud-ouest qui délimitent des cuvettes à fond parfois marécageux (**BNEDER, 1980**).

Selon Mrabet R. et al. (2012), l'agroforesterie est particulièrement importante dans le cas de terrains accidentés où les activités agricoles peuvent rapidement entraîner une forte érosion du sol.

1.1.2.3. Pédologie de la région

D'un point de vue physique, l'étude de la pédologie du plateau de Mostaganem a été inspirée par **M^r. Boulaine Jean (1955)**. Les sols du plateau est constitués de ;

A) Sols décalcifiés

L'ancienneté des surfaces qui constituent la majeure partie du plateau fait que des sols très anciens, ayant évolué sous l'action des divers climats qui se sont succédé au cours du quaternaire, recouvrent encore de grandes surfaces.

➤ **Sols décalcifiés lessivés** : Ce sont des sols totalement décarbonatés en surface, très généralement rubéfiés et dont les horizons supérieurs recouvrent des horizons à nodules, des encroûtements, ou des carapaces calcaires parfois recouverts d'une croûte de ruissellement. Ces formations sont très anciennes et datent probablement des époques, antérieures. Ces sols ont subi des évolutions diverses.

Sur le plateau de Mostaganem, les formations sableuses dunaires ou gréseuses ont subi au cours du quaternaire un lessivage intense : les horizons de surface ont été remaniés par l'érosion éolienne lorsque le complexe argilo-humique n'a pas joué son rôle agrégateur, des dunes secondaires se sont formées qui ont empâté les reliefs et qui ont évolué secondairement toujours dans le sens du lessivage.

B) Sols Calcaires

Ils sont caractérisés par un seul horizon différencié et se forment sur les roches-mères calcifères ; leur horizon de surface est légèrement plus riche en calcaire que l'horizon sous-jacent.

➤ **Association sol décalcifié - sol calcaire** : En fait, l'évolution pédologique des surfaces anciennes ayant été très complexe et très longue, il n'est pas possible, de déterminer tous les sous-types de sols et toutes les variétés qui ont pu se réaliser. L'évolution du complexe adsorbant, l'érosion en nappe, des apports éoliens et la transformation des matériaux argileux ont eu le temps de créer sur ces surfaces une mosaïque de sols qu'il est délicat de cartographier même à échelle moyenne. L'association sol décalcifié - sol calcaire correspond donc à des régions complexes généralement caractérisées par la présence d'une

carapace calcaire en profondeur ; lorsque celle-ci a été amenée en surface par l'érosion, des sols calcaires, peut-être calciques.

➤ **Associations sol décalcifié - sol dunaire ou sol dunaire - sol décalcifié** : se trouvent sur le plateau de Mostaganem, dans les zones où il n'était pas possible de distinguer les deux sols à l'échelle employée.

C) Sols de Marais

Ces sols sont caractérisés par leur couleur noire due à l'accumulation des matières organiques et à la prédominance des composés réducteurs :

➤ **Sols de marais du plateau de Mostaganem** : Ce sont des sols gris à noir, riches en matières organiques, qui occupent les bas-fonds du plateau de Mostaganem. Ils sont généralement sableux et peuvent parfois être constitués à partir de matériaux éoliens et hydriques.

D) Sols Dunaires (dépôts sableux éoliens)

➤ **Sols dunaires basiques** : Ce sont les dunes du littoral, calcaires et recouvertes d'une maigre végétation.

➤ **Sols dunaires acides** : Les dunes du plateau de Mostaganem résultant du remaniement des sols décalcifiés sont parfois acides. Cessols peuvent être corrigés par le marnage comme les sols décalcifiés.

E) Sols Alluviaux

Les alluvions des oueds forment des sols profonds, limoneux ou argileux généralement très riches. Ces sols peuvent porter des cultures très riches et sont souvent irrigués. De ce fait, la composition de matériaux alluvionnaires est souvent très indépendante des matériaux constituant les formations des pentes et plateaux qui complètent le paysage.

Du point de vue environnemental, les impacts liés à l'agroforesterie sont nombreux, et surtout, ils sont tous positifs. Une parcelle de ce type vient renforcer la dynamique agro-écologique due à la présence des arbres en contribuant à la protection contre l'érosion et la

fertilisation des sols, à l'amélioration de la biomasse, à la sauvegarde de la biodiversité et à la protection des eaux souterraines (Liagre F., 2011).

II. Matériels et méthodes

II.1. Objectif

Un total de deux échantillons a été prélevé de la même région (Mezaghran) en 2017 pour réaliser des analyses et pour apprendre des techniques dans le domaine des sciences de l'environnement et du sol.

II.1.1. les profils

Profil 1 :

Avec le ruban mètre on a mesuré le profil à 60 cm

Horizon 1 :

De 0 à 20 cm sol homogène riche en matière organique, structure grumeleuse avec des cailloux moyenne arrondie de 1.5 cm de diamètre, forte macroporosité due à la forte densité des racines (racinaires secondaires) en zones superficielles (enracinement chealus à 20 cm) et une forte effervescence à l'acidité chlorhydrique.

Horizon 2 :

De 20 à 60 cm sol homogène avec des structure massive à profondeur, absence des racines, pas d'activité biologique et d'une effervescence faible à l'acide chlorhydrique.



Figure 02 : profil 01

Profil 2 : 30 cm

0 à 10 cm terres fine avec une croute diaclase à des cailloux calcaire de 6 cm de diamètre 10 à 20 cm la terre aussi fine avec une structure polyédrique moyenne induré, absence des racines et d'une effervescence forte de l'acide chlorhydrique.



Figure 03 : Profil 02

Profil 3 : 30 cm

Une croute plus dur ediaclasée.

0 à 4 cm la terre fine la structure est polyédrique moyenne.

4 à 12 cm la terre fine avec une croute diaclasée.

La profondeur fine de structure indurée et d'une effervescence très forte à l'acide chlorhydrique.



Figure 04 : profil 3

Profile 4 : 30 cm

Structure polyédrique massive jusqu'à 25 cm très dur et compacte, la croûte à 25 cm et d'une effervescence faible à l'acide chlorhydrique.



Figure 05 : profil 4

Profile 5: 30 cm

Sol homogène avec une structure grumeleuse très dur, d'une bonne activité biologique, présence des racines de plantes herbacées et d'une effervescence faible à l'acide chlorhydrique.



Figure 06 : profil 5

Profil 6 : 30 cm

Sol homogène avec une structure grumeleuse dur et d'une effervescence faible à l'acide chlorhydrique.



Figure 7 : Profil 6

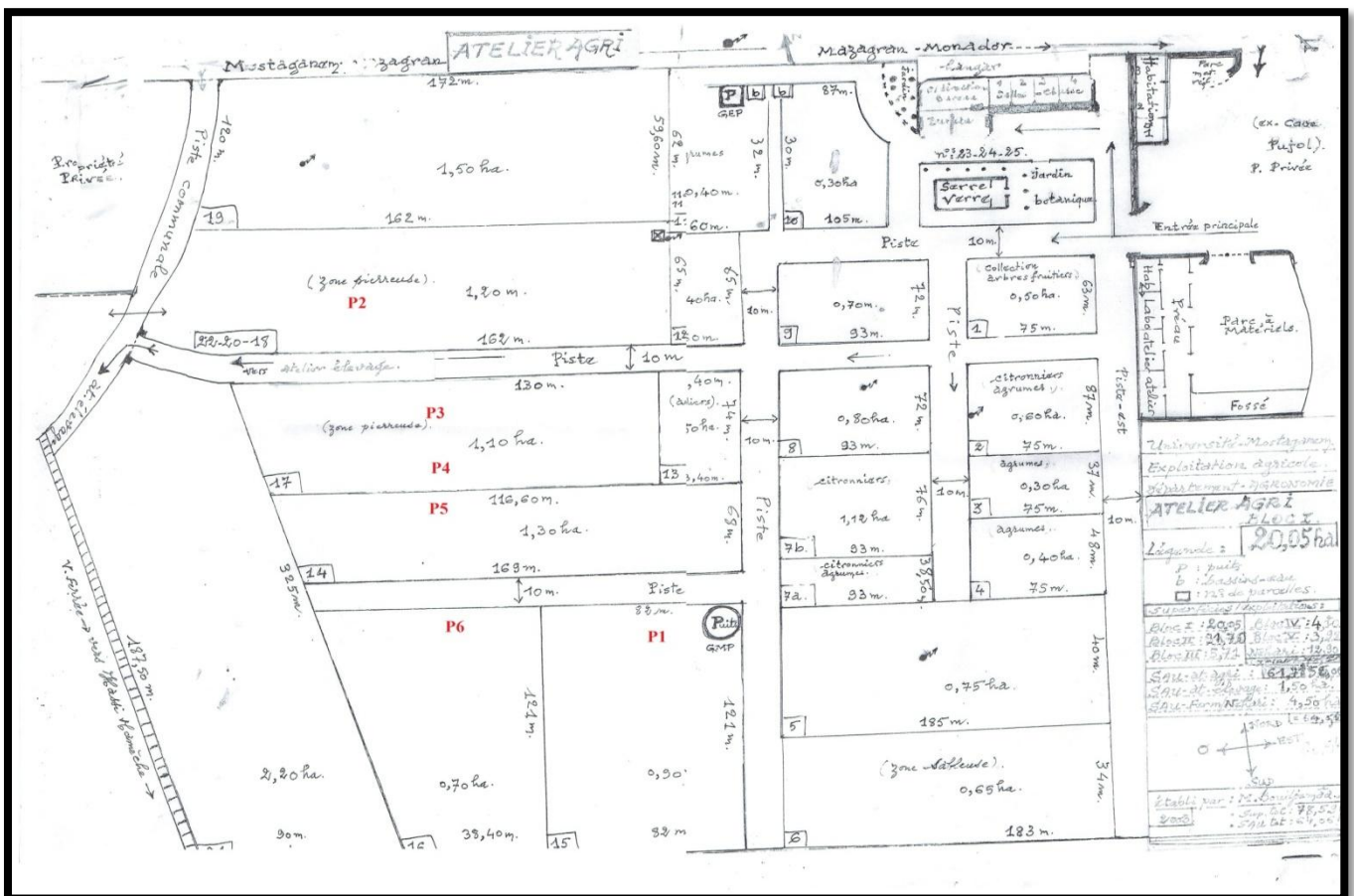


Figure 8 : Plan d'atelier de Mazagran

II.2. Prélèvement des échantillons :

Le prélèvement de l'échantillon de sol a été effectué:

- Sol 01 et 02 a été prélevé le 19-04-2017, il appartient de la région de Mazagran, wilaya de Mostaganem (Figure 02);



Figure 09 : prélèvements des échantillons

Echantillon 01 de surface : (0 à 10 cm)

Echantillon 02 de surface : (10 à 25 cm)

Les analyses chimiques ont été effectuées dans le laboratoire de pédologie de l'université de Mostaganem.

II.3. Préparation des échantillons :

Les échantillons de sols sont déballés et séchés à l'air libre sans être exposés au soleil. En même temps on copie les étiquettes joignant les échantillons dans un cahier d'enregistrement (Figure 02) (Keita et Van der pol, 1988).



Figure 10: le séchage des sols étudiés à l'air.

II.4. Analyses du sol :

On a réalisé les analyses suivantes : l'humidité du sol, l'humidité équivalente, la stabilité structurale du sol, la conductivité électrique, la texture et le pH du sol.

II.4.1. Mesure de la densité apparente

a) Principe

On mesure la densité apparente par enfoncement d'un cylindre de volume connu dans le terrain, et par détermination du poids sec de cet échantillon.

b) Méthode de travail

On enfonce dans le terrain, au milieu de la couche qu'on veut analyser, un cylindre de section connue dont l'extrémité est taillée en biseau et dont les parois sont relativement peu épaisses.

C'est une opération assez délicate, car le sol peut être comprimé par frottement contre la paroi du cylindre, ce qui changerait son volume apparent. Il est bon de vérifier que le niveau de la terre à l'intérieure du cylindre est le même que celui de la terre à l'extérieur.

Pour niveler la terre à la partie inférieure du cylindre on attaque le sol nettement en dessous avec une bêche ou un couteau. On soulève l'ensemble sol cylindre et l'on arase la terre au ras de celui-ci avec la lame d'un couteau. On ferme soigneusement les deux cotée du cylindre avec des couvercles pour le transport au laboratoire, mais il faut prendre soin de nettoyer l'extérieur des boite avant de les fermer autrement les couvercles s'enlèvent difficilement.

Mettre le cylindre, sans le couvercle supérieur, dans l'étuve pendant 15 heures à 105°C.

Retirer le cylindre tout en mettant le couvercle, laisser refroidir dans un dessiccateur et peser.

Peser la terre (cylindre avec les deux couvercles, sans terre).

c) Calcul

$$\text{Densité apparente} = \frac{\text{poids du sol sec}}{\text{volume de la terre en place}}$$

$$\text{Densité apparente} = \frac{(\text{poids du cylindre} + \text{sol séché}) - (\text{tare})}{\text{volume du cylindre } (h * r^2\pi)}$$

II.4.2. Humidité équivalent

a) Principe

On soumet un échantillon de terre fine, saturée avec de l'eau, à une force de rétention égale à pf_3 . On mesure ensuite par pesée, avant et après séchage à 105°C, l'humidité de l'échantillon ainsi traité.

b) Méthode de travail

On remplit à moitié un tube à essai filtrant avec de la terre fine, ensuite on met le tube à essai filtrant dans un bécher dans lequel on trouve quelques millilitres d'eau.

Ainsi l'échantillon est humidifié jusqu'à saturation complète pendant une durée d'eau moins 12 heures.

Puis on soumet l'échantillon durant ½ heure à une force égale à 100 g dans une centrifugeuse (1000 g = 1000*9.6 m/sec correspondant à 3600 tours/ minute) si on utilise la centrifugeuse et si on remplit les tubes à moitié avec de la terre.

On met quelque gramme de la terre ainsi traitée dans une boîte en métal d'un poids connu et on pèse rapidement.

Puis on sèche l'échantillon dans une étuve à 105°C pendant la nuit.

On retire la boîte en mettant le couvercle, on laisse refroidir dans un dessiccateur et on pèse de nouveau. (Institut de technologie agricole mostaganem.,1975).

c) Calcul

A = tare de la boîte + terre après la centrifugation

B = tare de la boîte + terre séchée à 105° C

C = tare de la boîte

H. E (%) = (quantité d'eau / terre sèche) * 100% = (A - B) / (B - C) * 100%

II.4.3. Humidité

a) Principe

L'eau retenue par la terre après le séchage à l'air libre et après le séchage à 65°C est déterminée ; en mesurant la perte du poids après séchage à l'étuve à 105°C (**Keita et Van der pol, 1988**).

b) Technique

Peser environ 5g de sol séché à l'air libre dans une boîte en aluminium avec couvercle, tarée d'avance (PT). Noter le poids exact (PH). Passer à l'étuve à 105°C pendant une nuit. Enlever les échantillons de l'étuve, mettre les couvercles, laissé refroidir pendant 30mn, dans un dessiccateur et peser (PS) (**Keita et Van der pol, 1988**).

c) Calcul

On a appliqué l'équation suivante (**Bonneau et Souchier, 1994**):

$$H_i \% = (P_i - P_{is}) * 100 / P_{is}$$

On a :

P_i-P_{is} : teneur en Eau H % au temps t_i de ressuyage.

P_{is} : poids sec de l'échantillon.

II.4.4. Détermination du pH

a) Principe

Le pH à l'eau et au KCl (1 N) a été mesuré à l'aide d'une électrode de verre ; soit sur pate de sol, soit avec un rapport sol-solution défini. La solution peut être constituée par de l'eau ou par du KCl 1N (**Dugain, 1961**).

b) Technique

Peser 20 g de sol séché à l'air libre transférer dans un flacon et ajouter 50mL d'eau distillée (ou 50mL KCL 1 M, si le pH (KCL) est à déterminer). Agiter mécaniquement pendant 2 heures. Juste avant de mesurer le pH, agiter les flacons à la main. Mettre les électrodes dans la suspension et faire la lecture lorsque la valeur s'est stabilisée (glissement <0.01/10 sec) noter les valeurs à 0.1 près (figure 12) (**Keita et Van der pol, 1988**).

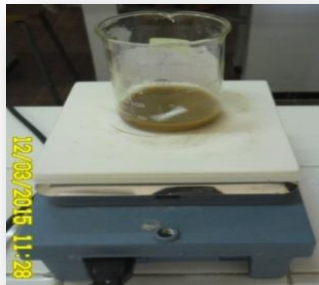


Figure 11 : agitation du sol et le pH mètre.

II.4.5. détermination de la conductivité électrique (CE)

a) Principe

Détermination de la conductivité électrique d'un extrait aqueux d'un échantillon de sol de matières amendâtes.

En mesure la conductivité électrique pour détermination de la salinité du sol.

L'échantillon de sol est extrait dans un rapport d'extraction de 1,5 (m/v) c'est-à-dire 10g du sol et 50ml d'eau déminéralisé, afin de dissoudre les électrolytes. La conductivité spécifique de l'extrait est mesurée.

b) Technique

- Peser 20 g de sol séché à l'air libre, transférer dans un bécher et ajouter 50mL d'eau distillée
- Placer le bécher à l'horizontale sur l'agitateur et agiter pendant 5 minutes
- Rinçage des électrodes à l'aide de l'eau distillée et essuyer les électrodes avec papier joseph
- Plonger les électrodes combinées dans la suspension d'échantillon
- Laisser le conductimètre prendre sa position d'équilibre avant d'effectuer la lecture
- Faire la mesure et répéter l'essai sur deux échantillons
- (iso 11265 : 1994- qualité du sol_ détermination de la conductivité électrique spécifique)

II.4.6. Analyse granulométrique

a) Principe

Une analyse granulométrique nous donne les pourcentages des différents groupes granulométriques dans un échantillon de terre. On discerne ces groupes selon le diamètre des particules :

Argile.....	< 0.002	mm	} Terre fine
Limon fin	0.002 à 0.02	mm	
Limon grossier.....	0.02 à 0.05	mm	
Sable fin	0.05 à 0.2	mm	
Sable grossier.....	0.2 à 2	mm	

Cailloux..... 2 mm à 2 cm

Pierres> 2 cm

Les 4 dernières groupes (diamètre > 0.05 mm) sont séparés à l'aide de tamis, d'ouvertures de mailles différentes, et pesés. Pour les particules < 0.05 mm les tamis ne sont plus efficaces. Pour leur séparation on se base sur la différence de dépôt dans l'eau des particules de diamètre différent. On met la suspension contenant ces particules dans un cylindre et on l'agit afin de les bien répartir.

b) Technique

- Eau oxygénée B 30 volumes (250 cc d'H₂O pure a 1 litre).
- Acide chlorhydrique environ N (80 cc HCl par litre),
- Pyrophosphate de sodium à 50 g par litre, ou hexamétaphosphate de Sodium à 50 g/l.

Mode opératoire - 20 g de terre (10 g pour les sols argileux),

L'échantillon est additionné de 50 cc d'eau oxygénée, dans un bécher de 830 cc de forme haute - on laisse l'attaque s'effectuer d'abord à froid, puis à chaud, Elle est terminée lorsque la terre a pris une couleur claire et que l'échantillon colle au fond du bécher, Pour les sols très organiques, il convient de répéter l'attaque et aussi de chauffer modérément afin d'éviter que la mousse ne déborde du bécher. Quelques gouttes d'alcool en diminuant la tension superficielle suffisent parfois à éviter cet accident,

2) Traitement à l'acide chlorhydrique.

Afin d'achever la défloculation, on traite l'échantillon par 50 cc d'acide chlorhydrique N et on remplit le bécher d'eau distillée. On laisse décanter jusqu'à ce que le liquide surnageant soit clair. Celui-ci est alors siphonné; puis on remplit à nouveau le bécher et on recommence de façon à éliminer une grande partie de l'acide chlorhydrique,

Deux ou trois décantations suffisent et on fait passer la terre dans une allonge de sédimentation,

3) Dispersion.

Après addition de 10 cc de solution de pyrophosphate, ou d'hexamétaphosphate on ajuste à 200 cc environ, et les allonges sont alors agitées mécaniquement sur agitateur rotatif pendant 30 minutes (30 tours minutes environ).

4) Sédimentation prélèvements.

Après dilution à 1 litre, les allonges sont laissées au repos, et on procède aux prélèvements à la pipette, Ces prélèvements sont basés sur le principe que les particules mises en suspension, tombent avec une vitesse constante dès le début, et en fonction de leur diamètre, Cette vitesse qu'On peut calculer d'après la formule de Stokes, en supposant réalisées certaines conditions, permet de décider par exemple qu'à une température de 20° C :

- Les particules de diamètre égal à 10μ tombent de 18 cm en 4 min, 48 secs,
- Les particules de diamètre égal à 2μ tombent de 10 cm en 8 heures.

On agite donc la suspension pour la rendre homogène et d'après les tables, on calcule en fonction de la température le temps que mettront les particules pour descendre de 10 cm, A ce moment, les 10 cm à partir de la surface ne contiendront plus que des particules de diamètre inférieur à

20μ c'est-à-dire par définition des particules (Argile + Limon), Le même prélèvement effectué au bout de 8 heures (correction de la température) permet de prélever un aliquote de la fraction $< 2\mu$ c'est-à-dire 1' argile,

On utilise, pour les prélèvements, la pipette de Robinson, d'une contenance de 20 cc, Toutefois, au lieu d'une pipette fixe sous laquelle on amène les allonges, ces dernières sont disposées sur une paillasse au-dessus de laquelle la pipette se déplace (fig, I), on évite ainsi les perturbations dues au déplacement des allonges, -

Les 20 cc de suspension prélèvement à la pipette sont évaporés dans une capsule tarée et le résidu est pesé,

5) La suspension est décanté par ciphonnage, de façon à ne garder au fond de l'allonge que les particules de diamètre supérieur à 20μ , Pour cela un trait est gravé sur l'allonge à 10

cm du fond et la suspension est amenée à ce niveau. En adoptant le même temps de sédimentation que pour argile et limon, on parvient en siphonnant à 2 cm du fond, à obtenir la fraction des sables après 3 ou 4 décantations, Cette fraction, séchée dans une capsule est tamisée à 0,2 mm (tamis module 24 AFNOR); les fractions ainsi séparées correspondent aux sables fins et aux sables grossiers.

c) CALCULS : En partant d'un poids de terre de 20 g - et en prélevant 20 cc,

Argile +Limon : soit p1 en g le poids du résidu sec contenu dans la capsule; p1 ce poids diminue de 0,01 g correspondant au poids de pyrophosphate, ou d'Héxamétaphosphate

$$\% A+L = p'1 \times 1000/20 \times 100/20 = (P1 \times 250)$$

Argile, soit p'2 le poids du résidu sec diminué de 0,01 g pour le pyrophosphate-

$$\% A = p'2 \times 250,$$

D'où par différence le % de limon,

- On peut ne pas tenir compte du pyrophosphate, on obtiendra la même valeur pour le limon, mais il faudra diminuer de 2,5% en valeur absolue le taux d'argile trouvé.

Sables : quel que soit le mode opératoire adopté pour la détermination des sables, la fraction obtenue doit être multipliée par 5 pour obtenir le pourcentage correspondant. (Institut de technologie agricole mostaganem.,1975).

II.4.7. la stabilité structural

1. Chaque prise d'essai de 10g est déposée au fond d'un bécher de 250 ml
2. Dans le bécher n° 1 la terre est humectée par 10 ml d'alcool éthylique.
3. Dans le bécher n°2, on ajoute 10 ml de benzène, le bécher n°3 lui, est brutalement rempli d'eau distillée. Au bout de 5 minutes, les bécher 1 et 2 sont également remplis d'eau.
4. L'ensemble est alors laissé au repos.

5. Au bout de 30 minutes, on transvase le contenu du bécher dans un erlenmeyer de 750 ml sur lequel est marqué un repère à 300 ml. Pour cette opération, on peut s'aider d'un jet de pissette dirigé de façon à ne pas détruire d'agrégats.
6. Le volume est amené à 300 ml, l'erlenmeyer bouché et on agité 20 fois par retournements.
7. Le contenu de l'erlenmeyer est alors jeté sur un tamis de 200 μ , de 10 cm de \emptyset , déposé dans une capsule de porcelaine de 1 litre. On s'aide d'un jet de pissette avec les mêmes précautions que précédemment.
8. On tapote le tamis sur le fond de la capsule pour chasser l'air emprisonné et on imprime 20 fois de suite au tamis un mouvement hélicoïdal aller et retour (amplitude 120°). Pour éliminer de cette opération le facteur personnel, FEODOROFF a imaginé un appareil permettant de mécaniser le tamisage.
9. Les agrégats restés sur tamis sont recueillis dans une capsule, séchés et pesés. (Institut de technologie agricole mostaganem.,1975).

a) Expression des résultats

Le coefficient retenu est le suivant

$$S = \frac{(\text{argile} + \text{limon})\% \text{ maximum}}{\text{moyenne arith du \% d'agrégats} > 200\mu - 0.9 \text{ de sable grossier} \%}$$

Chapitre III :

Résultats et Discussions

III. Résultats et discussion

III.1. Résultats

III.1.1. La densité apparente

La densité apparente supérieure dans l'échantillon 1 que l'échantillon 2

Tableau 02 : la densité apparent

	Avant le séchage	Après le séchage
Echantillon 01	549.72 g	535.49 g
Echantillon 02	511.42 g	503.3 g

Volume de cylindre

$$D = 8 \text{ cm}$$

$$H = 5 \text{ cm}$$

$$V = h * r^2 \pi$$

$$V = 125.6 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densité apparente} = \frac{(\text{poids du cylindre} + \text{sol séché}) - (\text{tare})}{\text{volume du cylindre} (h * r^2 \pi)}$$

$$Da_1 = \frac{535.49 - 226.89}{125.6}$$

$$Da_1 = 2.45 \text{ g/cm}^3$$

$$Da_2 = \frac{503.3 - 216.95}{125.6}$$

$$Da_2 = 2.27 \text{ g/cm}^3$$

III.1.2. Humidité équivalent

Le résultat de l'analyse d'humidité équivalent présenté que le sol de l'échantillon 1 et humide que le sol 2

Tableau 03 : Humidité équivalente

Humidité équivalent %	
Echantillon 01	12.92 %
Echantillon 02	11.87%

III.1.3. Le taux d'Humidité

L'analyse de l'humidité des deux sols représente différentes valeurs (tableau 3), alors que le sol 02 et un peut humide que le sol 01.

Tableau 04 : le taux d'humidité des deux sols étudiés.

Humidité	
Echantillon 01	78.33%
Echantillon 02	78.59%

III.1.4. Le résultat du pH

Les résultats du pH ont mentionnés dans le tableau 4, où les valeurs varient entre 8.20 et 8.42.

Tableau 05 : résultat du pH

pH	
Echantillon 01	8.42
Echantillon 02	8.20

III.1.5. le résultat de conductivité

L'analyse de conductivité représente différentes valeurs, alors elle est élevée dans l'échantillon 02 (275) par rapport à l'échantillon 01 (179.7).

Tableau 06 : la conductivité

Conductivité	
Echantillon 01	179.7
Echantillon 02	275

III.1.6. la granulométrie

Le tableau 06 représente la quantité d'argile, limon et sable dans le sol alors le pourcentage de sable est élevé par rapport à l'argile et le limon dans les deux échantillons.

Tableau 07 : la granulométrie

Granulométrie%		
Echantillon	01	02
Argile + limon	1.77	0.01
Argile	1.75	0.009
Sable grossier	6.5	3.9
Sable fin	69.5	70.4

III.1.7. Stabilité structurale

Les résultats de la stabilité structurale représentent différentes valeurs alors que le sol 01 (0.06%) est plus stable que le sol 02 (0.0003%).

$$S = \frac{(\text{argile} + \text{limon})\% \text{ maximum}}{\text{moyenne arith du \% d'agrégats} > 200\mu - 0.9 \text{ de sable grossier } \%}$$

Agrégats				Moyen agrégat	
Echantillon 01	13.43	19.8	15.75	16.32	33.32%
Echantillon 02	19.22	19.11	23.33	20.55	32.44%

	Argile+limon %	0.9 Sable grossier %
Echantillon 01	1.77 %	5.85
Echantillon 02	0.01%	3.51

Echantillon 01

$$S = \frac{1.77}{33.32 - 5.85}$$

S = 0.06 %

Echantillon 02

$$S = \frac{0.01}{32.44 - 3.51}$$

S = 0.0003 %

III.2. Discussions:

Le pH des échantillons varie dans l'ensemble entre 8.20 et 8.42. Ainsi, distingue – t – on des sols franchement acides ($5,0 < \text{pH} < 6,0$), légèrement acides ($6,0 < \text{pH} < 6,6$), légèrement neutres ($6,6 < \text{pH} < 7,4$) et des sols basiques ($7,4 < \text{pH} < 7,8$) selon la classification de Mallouhi (1997). Donc les deux sols qu'on a utilisés ont considérés comme sol basique.

Les résultats de l'humidité du sol et diffèrent d'un sol à un autre, alors que le sol 01 est le plus humide (12.92 %), que le sol 02 (11.87 %).

Dans les deux cas le sol a une capacité au champ moyenne. La rétention de l'eau du fait de sa texture sablo-argileuse est favorable notamment aux arbres fruitiers.

La conductivité du sol 02 (2,75 mmhos/cm) est supérieure que le sol 01 (1,797mmhos/cm).

Ces sols ne sont pas marqués par la salinité même si le sol N° 2 est à la frontière des sols peu salés. Quant au sol N°1 sa conductivité électrique est somme toute normale et ne présente aucun danger pour les plantes.

La densité du sol 01 (2.45 g/cm^3) et élevé par rapport le sol 02 (2.27 g/cm^3).

D'après la classification des terre le sol des échantillons 01 et 02 et sablo-argileux.

L'instabilité structurale (IS) des échantillons variés entre 0.06 et 0.0003%.

L'instabilité structurale classe ces sols parmi les sols très stables. Cette stabilité est déterminée par le taux du calcaire total et actif élevés de ces sols. Le calcaire joue le rôle de ciment entre les agrégats et supplée au faible taux de matière organique de ces sols.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion :

Les deux types des sols étudiés sont le sol 01 et le sol 02 de la région de Mazargues, à l'analyse en laboratoire de ses échantillons a fait ressortir une légère différence en ce qui concerne l'humidité, la densité apparente, la conductivité et le pH du sol 01 a un taux élevé en comparaison avec le sol 02. La stabilité structurale représente un taux décroissant dans le sol 02 ensuite par rapport au sol 01.

La texture des deux sols est sablo-argileux.

Compte tenu du taux d'humidité au champ Ces deux sols présentent des caractères favorables à l'arboriculture fruitière et notamment aux espèces et variétés adaptées aux sols alcalins et légèrement salés.

Les agrumes nous semblent correspondre parfaitement à ce type de sol profond et gardant une humidité ce qui permet d'espacer les irrigations et ainsi faire des économies d'eau.

Référence Bibliographique

Référence bibliographique

(Boulaine J., 1955). Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'Algérie au 1/200000 : feuille de Mostaganem n °21,05-13p.

(BNEDER, 1980). Analyse de l'organisation actuelle des coopératives (structures de l'OAIC)

Bonneau Maurice et Souchier Bernard, 1994. Constituants et propriétés du sol, p 622.

Buckman et Brady, 1960: the nature and propertive of soils

Dugain, F., 1961. les méthodes d'analyses utilises au laboratoire de physico-chimie des sols. p 27

Institut de technologie agricole mostaganem.,1975. Laboratoires du sol méthodes d'analyse physiques et chimiques du sol 3ème et 4 ème année.

Iso 11265 : 1994- qualité du sol_ détermination de la conductivité électrique spécifique)

(Liagre F., 2011). R. (2011). Key policy changes that made agroforestry adoption possible in France. In Ashton, S.F., Workman, S.W., Hubbard, W.G. and Moorhead, D.J. (réd.), Agroforestry : A profitable land use. Proceedings, 12th North American Agroforestry Conference (p.135), Athènes, 4-9 juin 2011

Kay,1990. Quantitative modellig of the st. George basin, bering sea, Alaska using one and two dimensional basin models; Columba, south Carolina, university of south Carolina, M.S. thesis, 142 p.

Keita et Van der pol, 1988. Méthodes d'analyse des sols, plante et eaux.

Mrabet R. et al., (2012),Moussadek,R. Potentiel de restauration de la qualité des sols sous agri-culture de conservation au Maroc. In: Du chauffour, H., Rose, E.(Eds.), Proceedings of the Conference on Soilan Water Conservation Management and Restoration of the Tropical Soil's Productivity, Port au Prince, Haiti, AUF Publishing, in press. Nebras,

Oorts, 2006) Effect of tillage system on soil organic matter stocks and C and N fluxes in cereal cropping systems on a silt loam soil in Northern France, PhD thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.

Rasmussen, 1999) Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil et Tillage Research* 53:3-14.

Roger-Estrade *et al.*, 2000; Modelling structural changes in tilled topsoil over time as a function of cropping systems. *European Journal of Soil Science* 51:455-474.

Roger-Estrade *et al.*, Boizard *et al.*, 2004). Roger-Estrade, J., Richard, G., Boizard, H., Defosse, P., Manichon, H., et Caneill J., 2004a. SISOL: Un modèle d'évolution de l'état structural des couches de sol cultivées. *Etude et Gestion des Sols* 11:33-46.

Tebrügge et Düring, 1999). Reducing tillage intensity -- a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53:15-28.