

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

22

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Nom et Prénom e l'étudiant

Bensabeur fawzia

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN BIOLOGIE

Spécialité : phytotechnologies appliquées au sol pollués

THÈME

L'Effet de l'Incorporation de la Matière Organique sur
les Propriétés Physico-Chimique des Sol Salés de la
Plaine de la Mina

(Relizane)

Soutenue publiquement le 27/06/2018

DEVANT LE JURY

Président	M. Reguieg Yssaad H.A	Grade	U. Mostaganem
Encadreur	M Gasem Farid	Grade	U. Mostaganem
Examineurs	M Noury Tayeb	Grade	U. Mostaganem

Thème réalisé au Inside de Matmar(Relizane)

Dédicaces

Avant tout mon dieu le tout puissant qui m'a donné la ténacité pour achever ce travail

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents qui m'ont encouragée, et toujours soutenue ; en m'inculquant le sens de la Responsabilité.

Je remercie mon mari hafid qui m'a soutenu et m'a donné un grand soutien pour ce travail,

Mes sœurs : Fatma, Mahdjouba , Hadjira, Nawal, Hanane ,Fatima, Hamida, Khadidja, Soàd.

Mes frères : Houari, Abdallah, Mokhtar, Ismail.

Ma grande famille Bensabeur, Srir Daouadji, et mes chers amis :Nour, Sabah, Halima, Assia, Hadjira.

Mes enseignants, mes collègues et tout les membres du laboratoire,

Surtout Mr Gacem Farid, Youcef.

Enfin, je dédie ce travail à tout ceux qui me connaissent de apes ou de loin.

Bensabeur fawzia.

Ma grande famille

Remerciements

Je remercie avant tout ALLAH, le tout puissant, de m'avoir guidé et de m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

Avant de présenter les résultats de ce modeste travail, qu'il me soit permis de remercier tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

On ne saurais énumérer ses bienfaits sur nous. On tiens, Mr REGUIGUE, à vous remercier très vivement pour tout. grand Mercie Mr, GACEM FARID tout au long de cette période, vous avez nous encadré, aiguillé, consacré de votre temps, tout en nous laissant une liberté dont nous sommes reconnaissant.

On tiens à remercier chaleureusement les membres de notre jury Mr: NOURY TAYEB d'avoir accepté d'examiner notre thèse, malgré le surcroit de travail que cela occasionne.

Enfin, Mercie a tous les membres du département de biologie et à tout mes collègues de travail de L'INSID et tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de l'incorporation de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques des sols salés de la plaine de la Mina(Relizane). Cette étude a été réalisée en plein champ dans une exploitation agricole privée, située dans la région d'El Matmar (Relizane). Afin de pouvoir mener notre expérimentation nous avons divisé le bloc expérimental en deux parcelles : la première parcelle concerne le « Témoin » et l'autre parcelle concerne la parcelle « Traitée » par le fumier. Nous avons ensuite positionné 03 profils de prélèvements, au niveau de chaque parcelle, pour le suivi de l'expérimentation. Dans chaque profil, à l'aide d'une tarière pédologique, nous avons procédé à des prélèvements des échantillons de sol jusqu'à une profondeur de 01mètre par incréments de 25 cm (0 – 25cm ; 25-50cm, 50-75cm et 75-100cm). Ainsi, 48 échantillons de sols ont été prélevés sur deux campagnes de mesures. Les échantillons ont subi les différentes analyses physiques et chimiques, au niveau du laboratoire de l'INSID d'El Matmar (W. de Relizane).L'interprétation des résultats obtenus a permis de mettre en évidence l'effet positif de l'incorporation du fumier sur les paramètres physiques et chimiques du sol par l'augmentation du taux de la matière organique et de la capacité d'échange cationique (CEC).Par contre aucune modification n'a été observée pour le reste des paramètres étudiés du sol.

Mots clés : Sol, Salinité, Matière organique, Capacité d'échange cationique,

Abstract

The aim of this work is to study the effect of the incorporation of organic matter on the physicochemical properties of the saline soils of the Mina Plain (Relizane). This study was carried out in the field in a private farm, located in the region of El Matmar (Relizane). In order to conduct our experimentation we divided the experimental block into two plots: the first plot concerns the "Witness" and the other plot concerns the "Treated" plot by the manure. We then positioned 03 sample profiles, at the level of each plot, for the follow-up of the experimentation.

In each profile, using a soil auger, we sampled soil samples to a depth of 1 meter in increments of 25 cm (0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm and 75 cm. -100cm). Thus, 48 soil samples were taken from two measurement campaigns. The samples underwent various physical and chemical analyzes, at the INSID laboratory of El Matmar (W. de Relizane). The interpretation of the results obtained made it possible to highlight the positive effect of the incorporation. Manure on the physical and chemical parameters of the soil by increasing the rate of organic matter and cation exchange capacity (CEC) .Bar cons no change was observed for the rest of the parameters studied soil.

Keyword: Soil, Salinity, Organic matter, Cation exchange capacity,

الملخص

الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير دمج المادة العضوية على الخواص الفيزيائية الكيميائية للتربة المالحة لسهل مينا (غليزان). أجريت هذه الدراسة في حقل في مزرعة خاصة ، تقع في منطقة المطمر (غليزان) ، ومن أجل إجراء تجاربنا ، قمنا بتقسيم الكتلة التجريبية إلى قطعتين: أول مؤامرة تتعلق بـ "الشاهد". والمؤامرة الأخرى تتعلق بالمؤامرة "المعالجة" بواسطة السماد. ثم وضعنا 03 نموذجًا للعينات، على مستوى كل قطعة، لمتابعة الاختبار.

في كل ملف تعريف ، باستخدام آلة حفر التربة ، قمنا بتجربة عينات التربة على عمق 1 متر بزيادات 25 سم (0-25 سم ، 25-50 سم ، 50-75 سم و 75-100 سم). وهكذا تم أخذ 48 عينة من التربة من حملتي قياس. خضعت العينات للتحليل الفيزيائية والكيميائية المختلفة، في مختبر INSID في El Matmar (W.de Relizane) ، وقد أتاح تفسير النتائج التي تم الحصول عليها تسليط الضوء على التأثير الإيجابي للتأسيس. روث على المعلمات الفيزيائية والكيميائية للتربة من خلال زيادة معدل المواد العضوية والقدرة على تبادل الكاتيون (Bar). (CEC) سلبية لوحظ أي تغيير لبقية المعلمات دراسة التربة.

الكلمات الدالة: التربة ، الملوحة ، المادة العضوية ، قدرة التبادل الكاتيون

Sommaire :

Introduction générale	1
<u>Partie Bibliographique :</u>	
<u>Chapitre 1 : la matière organique dans le sol.</u>	
I-Généralités sur la salinité	2
1-Définition.....	2
2-Définition de sols salés.....	2
3-Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation.....	3
4- Origine des sols salés	3
4-1- Salinisation primaire.....	3
4-2 -Salinisation secondaire.....	4
5- Classification des sols salés.....	4
5-1 Sols à complexe sodique ou sols alcalins (le solonez).....	4
5-2 Sols salins à complexe calcique (solontchaks).....	5
II- La salinité et les sols.....	6
1-Effets de la salinité sur les sols.....	6
2-Mise en valeur des sols salés.....	7
III-Les matières organiques.....	7
1-Définition.....	7
2-Origine de la matière organique.....	7
3- Composition.....	7
4-Typologie des selon le stade d'évelution.....	8
5-Principaux constituants de la matière organique.....	9
6-Evolution de la matière organique.....	9
6-1-Minéralisation primaire(M1).....	9
6-2-Humification(H).....	10
6-3-Minéralisation secondaire(M2).....	10
7-Actions de la matière organique sur les propriétés du sol.....	10
7-1- Action de la matière organique sur les propriétés physiques du sol.....	10
7-2-Action de la matière organique sur les propriétés chimique du sol.....	11
7-3-Action de la M.O sur les propriétés biologiques du sol.....	11
<u>Chapitre 2 :présentation de la zone d'étude.</u>	
1-Situation géographique	13
2-Synthèse climatique.....	13
2-1-la Précipitation.....	14
2-2-les températures.....	16
2-3-L'évapotranspiration.....	16
2-4-Classification du climat.....	17
2-4-1-Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouuds.....	17
2-4-2-Climagramme d'emberger.....	17
2-5-conclusion.....	18

3-Géologie.....	19
4-Géomorphologie.....	19
4-1-Les glacis de piedmonts.....	19
4-2-Les alluvions.....	19
4-3-Les cônes de déjection des oueds.....	20
5-Réseau hydrographique et ressources en eaux.....	21
6-Les sols.....	22
7-Occupation du sol.....	22
8-Conclusion.....	23

Partie pratique :

Chapitre 3 : Matérielle et Méthodes

1-Méthodologie.....	24
1.2. Analyse des documents de base.....	24
1-3- L'expérimentation.....	24
2. Matériel utilisé.....	25
2-1- Matériel pédologique.....	25
2-2-. Dispositif expérimental.....	26
3. Analyses de laboratoire.....	28
3-1- Paramètres physico-chimiques du sol.....	28
3-2-Préparation des échantillons de sol.....	28
3-3-La Granulométrie	28
3-4-Le pH.....	29
3-5-La Conductivité Electrique.....	29
3-6-. Extrait de la pâte saturée.....	30
3-7-Extrait dilué.....	30
3-8-La matière organique.....	30
3-9-Le Calcaire Total.....	32
3-10- Le Calcaire Actif.....	32
3-11-La capacité d'échange cationique (CEC).....	30

Chapitre 4 : Résultats et Discussions

INTRODUCTION.....	31
Partie I : Résultats d'analyses physico-chimiques du sol.....	31
1-Résultats statistiques des analyses physiques du sol.....	31
1.1. Analyse de la texture.....	31
2- Les résultats statistiques des analyses chimiques de sol	33
2-1- Analyses du potentiel Hydrogène (pH).....	33
2-2-Effet de l'incorporation du fumier sur le pH du sol.....	34
2-3-Analyses statistiques du calcaire total.....	35
2-4-Effet de l'incorporation du fumier sur le calcaire du sol.....	36
2-5- Analyses de la matière organique (M.O).....	37
2-6-Effet de l'incorporation du fumier sur la matière organique du sol.....	38
2-7- Analyses statistiques de la capacité d'échange cationique (CEC)	39
2-8-Effet de l'incorporation du fumier sur la capacité d'échange cationique du sol.....	41
3-Relation entre la MO et la CEC.....	42
4- Caractérisation de la salinité du sol.....	43
4-1-Analyses de la conductivité électrique de la pâte saturée (CE_{ps}) et diluée ($CE_{1/5}$).....	43
4-2-Effet de l'incorporation du fumier sur la CE_{ps} du sol.....	45
4-3-Conductivité électrique de l'extrait dilué ($CE_{d1/5}$).....	46
4-4-Effet de l'incorporation du fumier sur la $CE_{1/5}$ du sol.....	47
Partie II : Discussion générale.....	48
1-Les paramètres physico-chimiques du sol.....	48
Conclusion générale	
Références bibliographique	
Annexes	

Liste des abréviations

CE : Conductivité électrique du sol

CEd : Conductivité électrique de l'extrait dilué du sol (dS.m-1)

CEps : Conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (dS.m-1)

CEC : Capacité d'échange cationique (meq/100g)

ESP : Ex changeable Sodium Pourcentage (en %)

INSID: Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage

ONID: Office National de l'Irrigation et du Drainage

INRA ; Zn, Cl , So4, Hco3, CO3, K, Mg, Ca, NO3

Na : sodium

Ca : calcium

PH : potentiel hydrogène

ONM : office National Météo

Les Unités de Mesure :

KV	Kilo volte
Bar	Unité de mesure de pression
P	Pression
T	Température
Mg/l	Milligramme par litre
M³	Mètre cube
M³/h	Mètre cube par heure
Um	Micro mètre (10⁻⁶ m)

Liste des tableaux

- Tableau 1.** Caractéristiques du fumier des bovins et des ovins (**Koull, 2007**).
- Tableau 2.** Relevés pluviométriques de la station de Relizane (**Période de 1988 à 2006**)
- Tableau 3.** Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Relizane en (mm) pour la période (1988 – 2006).
- Tableau 4.** Précipitations mensuelles, en (mm), de l'année 2012 de la station de l'INRA de H'madna, Relizane.
- Tableau 5.** Moyennes mensuelles des températures (°C) de la station de Relizane pour la période (1988 – 2006).
- Tableau 6.** Evapotranspiration potentielle moyenne en mm, établie selon la formule PENMAN (18 ans). (**Station ONM de Relizane**).
- Tableau 7.** Salinité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane) (**Source. ANRH, 2003**).
- Tableau 8.** Qualité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda(Relizane)(**Source.INSID, Relizane ,2008**).
- Tableau 9.** Répartition des superficies irriguées entre les différentes spéculations pratiquées (**Source : AGID, cité par l'INSID, 2008**).
- Tableau 10.** Répartition de l'occupation du sol, dans le périmètre de la Mina, sur 6000 Ha(**Source, INSID, 2008**).
- Tableau 11.** Les calendriers des prélèvements du sol.
- Tableau 12.** Résultats de l'Argile (en %) de parcelle Témoin.
- Tableau 13.** Résultats de Limon (en %) de parcelle Témoin.
- Tableau 14.** Résultats de Sable (en %) de parcelle Témoin.
- Tableau 15.** Résultats de l'Argile (en %) de la parcelle de traitement.
- Tableau 16.** Résultats de Limon (en %) de la parcelle de traitement.
- Tableau 17.** Résultats de Sable (en %) de la parcelle de traitement.
- Tableau 18.** Résultats du $pH_{1/5}$ de parcelle Témoin (**22/02/2017**).
- Tableau 19.** Résultats du $pH_{1/5}$ de parcelle Témoin (**22/05/2017**).
- Tableau 20.** Résultats du $pH_{1/5}$ de la parcelle de traitement (**22/02/2017**).
- Tableau 21.** Résultats du $pH_{1/5}$ de la parcelle de traitement (**22/05/2017**).
- Tableau 22.** Résultats du calcaire total ($CaCO_3$ en %) de parcelle Témoin (**22/02/2017**).
- Tableau 23.** Résultats du calcaire total ($CaCO_3$ en %) de parcelle Témoin (**22/05/2017**).
- Tableau 24.** Résultats du calcaire total ($CaCO_3$ en %) de la parcelle de traitement (**22/02/2017**).
- Tableau 25.** Résultats du calcaire total ($CaCO_3$ en %) de la parcelle de traitement (**22/05/2017**).

- Tableau 26.** Résultats de la matière organique (en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).
- Tableau 27.** Résultats de la matière organique (en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).
- Tableau 28.** Résultats de la matière organique (en %) de la parcelle de traitement (22/02/2017).
- Tableau 29.** Résultats de la matière organique (en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).
- Tableau 30.** Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin (22/02/2017).
- Tableau 31.** Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin (22/05/2017).
- Tableau 32.** Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement (22/02/2017).
- Tableau 33.** Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement (22/05/2017).
- Tableau 34.** Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} dS/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017)
- Tableau 35.** Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} dS/m) de parcelle Témoin (22/05/2017)
- Tableau 36.** Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} dS/m) de la parcelle de traitement (22/02/2017).
- Tableau 37.** Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} dS/m) de la parcelle de traitement (22/05/2017).
- Tableau 38.** Résultats de la conductivité électrique ($CE_{d1/5}$) de la parcelle Témoin (22/02/2017).
- Tableau 39.** Résultats de la conductivité électrique ($CE_{d1/5}$) de parcelle Témoin (22/05/2017).
- Tableau 40.** Résultats de la conductivité électrique ($CE_{d1/5}$) de la parcelle de traitement (22/02/2017).
- Tableau 41.** Résultats de la conductivité électrique ($CE_{d1/5}$) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Liste des figures

- Figure 1.** La dynamique des sels dans le sol (**Lahlou et al, 2002**).
- Figure 2.** Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation (**Lahlou et al, 2002**).
- Figure 3.** Carte de situation de la plaine de la Mina (Relizane).
- Figure 4.** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles
- Figure 5.** Histogramme du régime saisonnier de la région d'étude.
- Figure 6.** Diagramme ombrothermique de la station de Relizane (**1988-2007**).
- Figure 7.** Diagramme pluviométrique d'Emberger pour la station de Relizane(**1988- 2006**).
- Figure 8.** Carte géologique 1/50000 de Relizane(**Boualla, 2002**).
- Figure 9.** Démarche méthodologique
- Figure 10.** Localisation du site expérimental.
- Figure 11.** Installation du bloc expérimental.
- Figure12.** La pipette de Robinson.
- Figure 13.** Schémas et protocole expérimental de la pâte saturée.
- Figure 14.** Protocole de la pâte saturée.
- Figure 15.** Attaque au froid sur le bain de sable.
- Figure 16.** Séparation des phases.
- Figure 17.** Dosage avec le sel de **Mohr**.
- Figure 18.** Calcimètre de **Bernard**
- Figure.19** Dosage de calcaire actif.
- Figure 20.** Dispositif de la capacité d'échange cationique (CEC).
- Figure 21.** Variation du pH dans la parcelle témoin
- Figure 22.** Effet de l'incorporation du fumier sur le pH
- Figure 23.** Variation du calcaire total dans la parcelle témoin
- Figure 24.** Effet de l'incorporation du fumier sur le calcaire total
- Figure 25.** Variation du taux de matière organique dans la parcelle témoin
- Figure 26.** Variation du taux de matière organique dans la parcelle expérimentale
- Figure27.** Variation de la capacité d'échange cationique dans la parcelle témoin.
- Figure 29.** Corrélation entre MO et CEC pour la parcelle de Traitement de la première campagne.
- Figure 30.** Corrélation entre MO et CEC la parcelle Témoin de la première campagne .
- Figure 31.** Corrélation entre MO et CEC pour la parcelle de Traitement de la deuxième campagne.
- Figure 32.** Corrélation entre MO et CEC pour la parcelle de Témoin de la deuxième campagne.
- Figure 33.** Profils salins moyens.

Figure 34. Variation de la CEps de la parcelle témoin.

Figure 35. Variation de la CEps de la parcelle de traitement.

Figure 36. Variation de la CE_{1/5} dans la parcelle témoin

Figure 37. Variation de la CE_{1/5} dans la parcelle expérimentale

Introduction Générale

La salinisation est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale (Al-karaki, 2000; Baatour et al. 2004), et le rendement agricole (Zid et Grignon., 1991; Zhu., 2001). Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (Munns et al. 2006) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (Mezni et al. 2002). Elle provient également de l'irrigation, le plus souvent mal contrôlée (Ben Naceur et al. 2001).

Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha, soit 23% des terres cultivées dans le monde (Cheverry., 1995). Selon Szabolcs (1994), un milliard d'ha est menacé, dont 3,2 millions d'ha en Algérie (BELKHODJA et Bidai., 2004).

Pour pallier à cette contrainte environnementale, diverses stratégies peuvent être adoptées, par exemple l'application des techniques de drainage des sels en excès, puisqu'elles exigent un volume d'eau important pour lessiver ces sels, cette technique est très coûteuse (Rhodes et Laveday., 1990). La voie organique et l'une des méthodes pouvant être utilisée afin de ralentir, voir d'éliminer la salinisation. C'est dans cette optique que s'inscrit ce travail qui consiste à étudier l'effet de l'ajout de la matière organique sur les caractéristiques des sols salés, dans la plaine de la Mina (Relizane).

Pour ce faire, un suivi des paramètres physico-chimiques de sol ont été réalisés in situ, sur un bloc expérimental comprenant deux parcelles : une parcelle témoin et une parcelle amendée par du fumier d'ovin. L'expérimentation s'est déroulée dans une exploitation privée, située dans la plaine de la Mina (Relizane).

Pour répondre à cet objectif nous avons articulé ce document en quatre parties :

- La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique sur la salinité et la dynamique de la matière organique dans le sol ;
- La deuxième partie, est consacrée à la présentation de la zone d'étude ;
- La troisième partie concerne la méthodologie utilisée dans ce travail;
- La quatrième partie est consacrée à la présentation des résultats ainsi qu'une analyse statistique ;
- Enfin nous terminerons ce travail par une conclusion

Partie Bibliographique

Chapitre 1

« La matière organique dans le sol »

Chapitre I .Synthèse Bibliographique

I. Généralités sur la salinité

1. Définition

Le terme de salinité se rapporte à la présence des principaux solutés inorganiques dissous (essentiellement des ions Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , NO_3^- et CO_3^{-2}) dans des échantillons aqueux. La salinité est quantifiée en termes de la concentration totale de ces sels solubles, ou plus concrètement, en termes de conductivité électrique de la solution, parce que les deux sont étroitement liés (**USSl, 1954**).

La salinisation est l'accumulation des sels solubles (plus solubles que le gypse) à la surface du sol et dans la zone racinaire (**Mermoud, 2006**). La conductivité, inverse d'une résistivité (en ohms), a longtemps été exprimée en mos (en inversant l'ordre des lettres). Dans le système international on se réfère désormais au Siemens (S), et à ses subdivisions (milli = m et micro = μ), pour exprimer une conductivité électrique (**FAO, 1988**) :

- $1 \text{ dS / m} = 1 \text{ mS/cm} = 1 \text{ mmhos / cm} = 0.1 \text{ S/m} = 1000 \mu\text{S/cm}$.

- Conductivité en m mol (+) par litre: $\text{m mol (+) / l} = 10 \times \text{CE (CE en dS/m)}$

Pour l'eau d'irrigation et les extraits de sol dans la gamme 0,1-5 dS / m.

- Conductivité en pression osmotique en bars: $\text{PO} = 0,36 \times \text{CE (CE en dS / m)}$

Pour les extraits du sol dans la gamme de 3 à 30 dS / m.

- Conductivité en mg / l:

$\text{Mg / l} = 0,64 \times \text{CE} \times 10^3$, ou (CE en dS / m)

$$\text{Mg / l} = 640 \times \text{CE}$$

Pour les eaux et extraits de sol ayant une conductivité jusqu' à 5 dS / m.

- m mol / l (analyse chimique) en mg / l.

- Multipliez m mol / l pour chaque ion par son poids moléculaire pour obtenir la somme.

2. Définition de sols salés

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (**Girard et al. 2005**).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et

susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g/l (**Robert, 1996**). Selon **Calvet (2003)** un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 dS/m. les sols sont constitués par deux unités très différentes, les Salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes. Les Sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium, sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (**Bouteyre et Loyer, 1992**).

3. Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation

Selon **Jones et Gouston (1991)**, la salinisation des sols peut être due à la lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui dépose leurs sels dans les sols, et en régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (**Raju et al. 1993**).

4. Origine des sols salés

D'après **Cherbuy (1991)**, la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

4.1. Salinisation primaire

La salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

Salinisation géologique

Les sels solubles peuvent provenir soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques. En région arides et semi-arides, ces sols se concentrant sur place ; dans les dépressions fermées, soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires, ou de l'altération des roches volcaniques (**Servant, 1975**).

Salinisation marine et lagunaire

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines (**Gaucher et Burdin, 1974**).

4.2. Salinisation secondaire

Dans les zones à climat aride et semi-aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire.

Actuellement, on dénombre environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde (**Szablocs, 1994**). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir.

En effet, **Hamdy et al (1995)** ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Cette menace selon **Cheverry (1995)** occasionne, chaque année des pertes de terres, variables selon les auteurs de 10 à 12 millions d'hectares.

5. Classification des sols salés

Selon **Duchaufour (1983)**, deux sous classes de sols halomorphes sont distinguées:

5.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins (les solonetz)

Caractérisés par une saturation marquée en Na et une accumulation des sels en profondeur.

Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de la C.E.C. (Capacité d'Echange Cationique). La conductivité électrique (C.E) ne dépasse pas 4 ds/m à 25°C, et le pH est supérieur à 8,5.

La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines soit provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins ou un résultat d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (**Duchaufour, 1983**).

Ces sols ont un profil peu stable, en raison de la grande facilité de dispersion des argiles, ils sont asphyxiants plutôt que physiologiquement secs.

5.2. Sols salins à complexe calcique (Solontchaks)

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un Phgénéralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des cations en solution (**Dajoz, 1982**). La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation, est supérieur à 4,5 ds/m à 25°C, dans les horizons de surface (25 cm); 15ds/m dans les horizons inférieurs (suivant la texture) (**Duchaufour, 1983**); avec un taux de sodium échangeable (E.S.P) inférieur à 15% de la C.E.C du sol.

Ces sols présentent une structure non dégradée, caractérisés par une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées (**Aubert, 1978**).

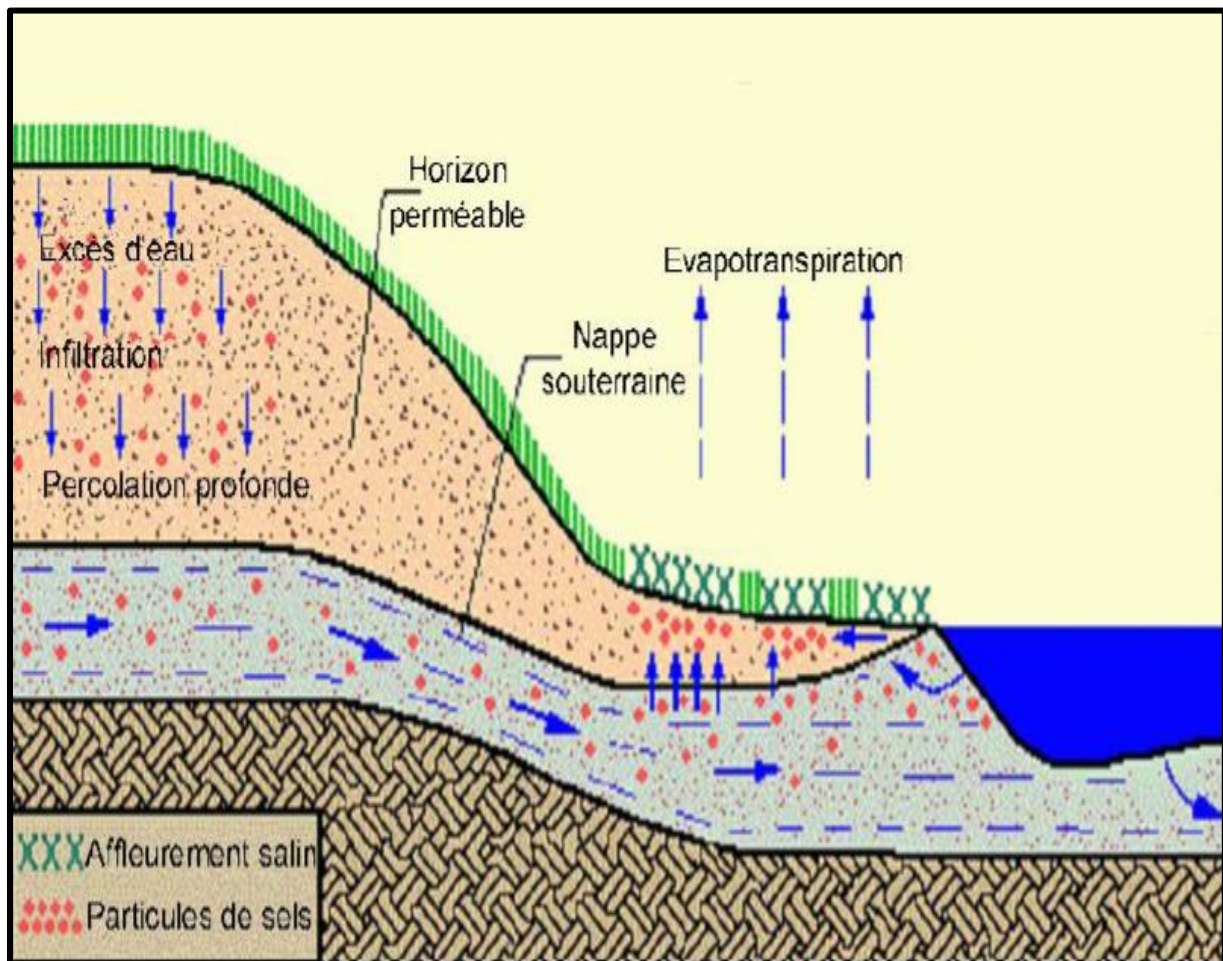


Figure 1. La dynamique des sels dans le sol (**Lahlou et al, 2002**).

II. la salinité et les sols

1. Effets de la salinité sur les sols

Dans les sols salins, la présence excessive de sels solubles neutres floccule la fraction argileuse, mais les maintient stable, alors que dans les sols alcalins, un excès en sodium échangeable favorise la dispersion de l'argile et rend la structure du sol instable. Ces sols sont ainsi sensibles aux encroûtements de surface qui favorisent le ruissellement de surface (Hassan, 2005). Une prise en masse du sol peut également réduire fortement l'infiltration de l'eau dans le sol et conduire à une hydromorphie plus ou moins importante du sol selon sa texture et sa position topographique dans le paysage (Douaoui et al, 2004).

Un taux de sodium échangeable élevé a pour effet une dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de la perméabilité, de la porosité et un tassement des sols. Du point de vue agricole, cela se traduit d'une part par la prise en masse du sol qui devient très compact, dur, difficile à labourer, et d'autre part, par des difficultés de germination, et d'enracinement des plantes. Par ailleurs le sol devient totalement asphyxiant, ce qui s'accompagne d'une atrophie du système racinaire, de son développement de plus en plus superficiel, avec des conséquences défavorables sur la nutrition minérale des plantes, et la baisse considérable des rendements.

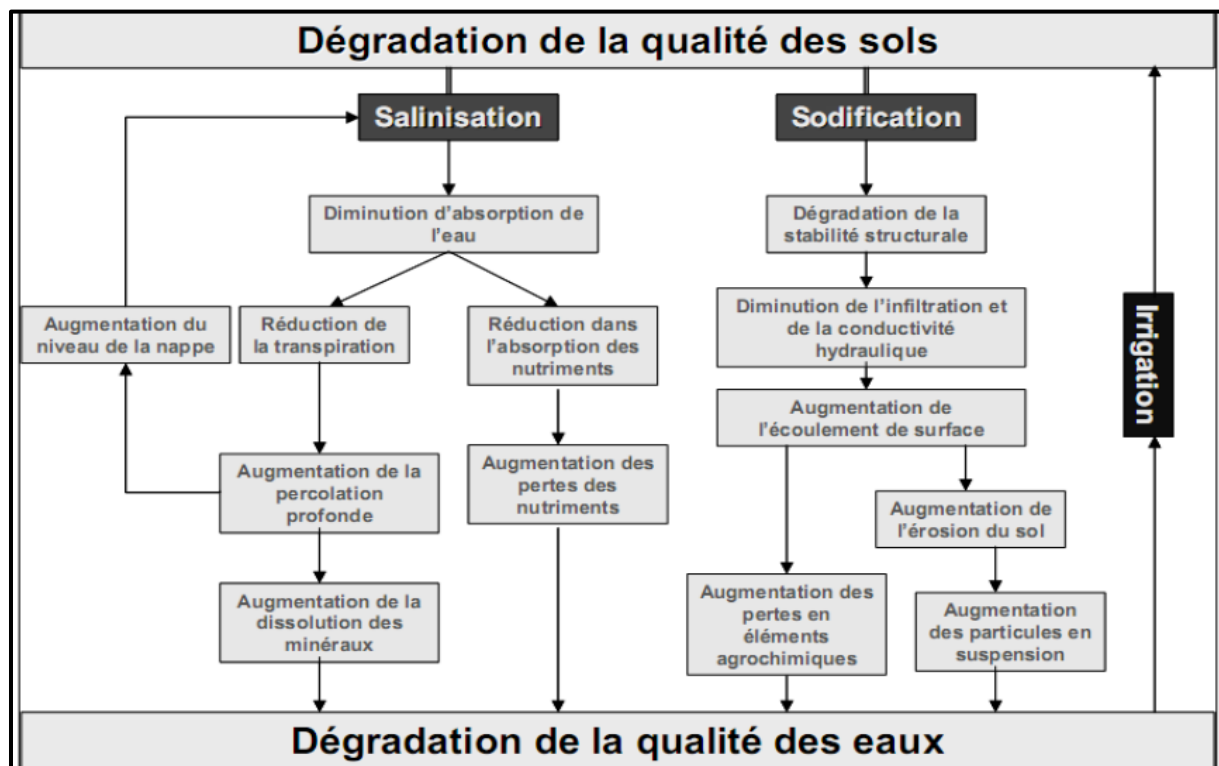


Figure 2. Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation (Lahlou et al, 2002).

2. Mise en valeur des sols salés

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite l'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée).

Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.

L'utilisation des plantes résistantes à la salinité ; La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en calcium échangeable ; Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface (**Girard et al, 2005**).

III -La Matière Organiques

1. Définition

Les matières organiques des sols rassemblent tout ce qui vit ou a été vivant dans les sols, c'est-à-dire des résidus végétaux et animaux à divers stades de décomposition, la faune et la flore du sol ainsi que les racines (**GREGORICH EG. et al, 2003**). Elles comprennent également toutes les substances sécrétées par les racines, telles que des petites molécules, des sucres, des acides organiques exsudés ou excrétés, du mucilage et des cellules.

2. Origines de la matière organique

La M.O du sol comprend l'ensemble des résidus des organismes vivants, animaux et végétaux incorporés dans le sol, sans tenir compte de leur état de décomposition (**Koull, 2007**).

Les engrais de ferme ou fumiers, contiennent des quantités plus ou moins importantes de M.O d'origine animale, mélangées ou non à des litières (paille, sciure, copeaux..).

Ces produits ont une double valeur agronomique en tant que fertilisants azotés, phosphorés et potassique et aussi comme amendement organique et basique (**Koull, 2007**).

L'efficacité agronomique du fumier résulte de sa composition chimique, sa forte teneur en M.O et l'apport convenable en éléments fertilisants surtout (N, P, K) qui varie selon l'espèce animale.

3. Composition

Le climat, la végétation, la roche mère, la topographie, l'utilisation des terres et les pratiques agricoles sont tous des facteurs qui influent sur la composition des matières organiques du sol. On utilise souvent de façon indifférenciée les expressions « matières organiques du sol » ou « carbone organique du sol », car le carbone est la principale composante de ces matières organiques. En effet, le carbone constitue 40 % des matières organiques végétales sèches et

non décomposées ou 50 % des matières organiques du sol, lesquelles contiennent également 40 % d'oxygène, 5 % d'hydrogène, 4 % d'azote et 1 % de soufre. Elles contiennent aussi des éléments secondaires tels que P, K, Ca ou Mg (GREGORICH EG. et al, 2003).

4. Typologie des MO selon le stade d'évolution

Les matières organiques se répartissent en 4 groupes (BEAUCHAMP J., 2003):

- Les **matières organiques vivantes**, végétales et animales, qui englobent la totalité de la biomasse en activité ;
- Les débris d'origine végétale (résidus de végétaux ou exsudats) et animale (déjections de cadavres) regroupés sous le nom de « **matières organiques fraîches** » ;
- Des composés organiques intermédiaires, appelés **matières organiques transitoires**, provenant de l'évolution des matières organiques fraîches ;
- Des composés organiques stabilisés, les matières humiques, provenant de l'évolution des matières précédentes : les **matières organiques stables**

Tableau 1: Caractéristiques du fumier des bovins et des ovins (Koull, 2007).

Caractéristiques du fumier	Valeurs	
	Fumier bovin	fumier ovin
MS (%)	34.12	41.11
ph _{eau(1/5)}	6.83	6.39
CE _(1/5) à 25°C (dS/m)	13.59	14.17
MO (%)	69.81	57.31
C (%)	40,59	33,21
N total (%)	1,57	1,48
C/N	25,85	22,43
Na ⁺ (ppm)	87,50	90,00
K ⁺ (ppm)	57,50	60,00
Ca ⁺² (ppm)	26,42	61,00
Mg ⁺² (ppm)	41,96	23,08
Cellulose (%)	11,00	24,00
Composés humiques totaux (%o) (Meftah, 1988)	-	21,40
Acide humique (%o) (Meftah, 1988)	-	14,85
Acide fulvique (%o) (Meftah, 1988)	-	6,55

5. Principaux constituants de la matière organique

La matière organique du sol est constituée de deux groupes de substances (**Koull, 2007**), des substances humiques : **l'acide fulvique, l'acide humique et l'humine**. Ces substances nouvelles sont reconstruites à partir de certaines M.O transitoires et certaines matières minérales et des composés biochimiques tels que les acides organiques, sucres, lipides et polysaccharides.

6. Evolution de la matière organique

La décomposition de la matière organique est définie comme étant le processus de séparation de matériaux organiques dans le sol de leurs constituants de base.

D'après **Duchaufour(1995)**, l'évolution de la matière organique fraîche (M.O.F) engendre l'humus un peu de la même façon que les minéraux primaires qui donnent naissance à l'argile. Les molécules complexes de la matière organique fraîche subissent une décomposition microbienne qui libère des composés simples le plus souvent solubles.

Une partie subit le processus de minéralisation, c'est-à-dire la transformation en composés minéraux solubles ou gazeux: « c'est la minéralisation primaire ». Certains de ces composés peuvent d'ailleurs se réorganiser au cours de l'humification.

Une partie échappe à la minéralisation et sert de matériau à l'édification de molécules nouvelles, de plus en plus complexe, dont l'ensemble constitue l'humus: c'est « l'humification ». Ces composés humiques contractent des liens plus ou moins étroits avec les composés minéraux (argiles et oxydes) puis ils se minéralisent à leur tour, mais plus lentement que la matière organique fraîche « minéralisation secondaire » (**Koull, 2007**).

6.1 Minéralisation primaire (M1)

C'est la dégradation de la M.O.F, en particulier les composants peu résistants comme les glucides, les protéines et les acides aminés, ainsi que les lipides et les acides nucléiques. Si elle est totale, les produits de la transformation sont des cations, des anions et des molécules simples. Le devenir de ces substances solubles dans la solution du sol est comme suit (**Koull, 2007**) :

- 1-Evacuation dans l'atmosphère du CO_2 , H_2O , NH_4^+ , N_2 , H_2S par échanges gazeux.
- 2-Absorption des cations, anions et H_2O par les végétaux,
- 3-Absorption du CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- et SO_4^{2-} , PO_4^{3-} par les micro-organismes,
- 4-Fixation du K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ et H^+ sur le complexe absorbant,

5-Entraînement du K^+ , Na^+ , Ca^{2+} et NO_3^- par lixiviation.

6.2 Humification (H)

Sous le terme général d'humification se cachent trois voies de synthèse de matière organique stabilisée, formant l'humus (**Koull, 2007**) :

- L'humification par héritage (H_1), qui donne l'humine résiduelle ou héritée,
- L'humification par polycondensation (H_2), qui fournit l'humine d'insolubilisation,
- L'humification par néo synthèse bactérienne (H_3), qui fournit l'humine microbienne,

L'ensemble de ces trois humines (résiduelle, d'insolubilisation et de néosynthèse bactérienne) forme la partie la plus insoluble et la plus stable de l'humus ; l'humine.

6.3 Minéralisation secondaire (M 2)

C'est la plus lente (1 à 3 %) de la matière humifiée par an, mais aboutissant au même résultat que la minéralisation primaire et concernant les molécules organiques préalablement synthétisées par l'humification. Ces molécules sont plus stables et résistent mieux à la dégradation (**Koull, 2007**).

7. Actions de la matière organique sur les propriétés du sol

Les M.O ont de multiples propriétés qui leur confèrent des fonctions primordiales dans les écosystèmes et en font une composante de la fertilité. Les fonctions des M.O participent de façon générale à l'aptitude des sols à la production végétale par l'amélioration de ces propriétés physiques, chimiques et biologiques (**Koull, 2007**).

7.1. Actions de la matière organique sur les propriétés physiques du sol

La M.O grossière, à la surface du sol, atténue le choc des gouttes de pluie et permet à l'eau pure de s'infiltrer lentement dans le sol ; l'écoulement en surface et l'érosion sont ainsi réduits (**Koull, 2007**).

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. Ceci est dû au grand nombre de liaisons électrostatiques et surtout de liaisons faibles que les M.O peuvent assurer (**Koull, 2007**).

Dans les terres manquant de colloïdes minéraux et où l'absence de phénomènes de gonflement « limons ou sables » l'élévation du taux d'humus coïncide avec une certaine tendance à l'agrégation (**Koull, 2007**).

La teinte foncée des terres riche en M.O favorise l'absorption de l'énergie solaire. Ceci se traduit par un réchauffement plus rapide des sols nus (Koull, 2007).

La capacité du sol pour l'eau est en effet liée à la teneur en M.O en raison de l'hydrophilie des colloïdes qui la composent (Koull, 2007). Cette matière retient d'autant mieux l'eau qu'elle est humifiée, elle régularise le bilan de l'eau dans le sol. Selon Monnier et Gras(1965) et Hillel(1974) son affinité pour l'eau se manifeste par une force de succion élevée et des phénomènes de contraction et d'expansions des sols, au cours de leur dessiccation. La quantité d'eau retenue dans le sol est en fonction de la nature du sol et surtout de la teneur en M.O et son degré d'humification.

7.2. Actions de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol

Les M.O contribuent classiquement à la fertilité chimique des sols. Elles sont une réserve d'éléments nutritifs, principalement pour l'azote, le phosphore et le soufre (Koull, 2007).

Elles sont connues dans leur ensemble par leur minéralisation, une source d'aliments de certains éléments nutritifs et la facilité de leur utilisation suite à la libération par oxydation de l'humus et de gaz carbonique. Selon Duthil(1973), cette décomposition progressive est doublement intéressante : D'une part, elle s'étale sur la quasi-totalité de la période de végétation, ce qui correspond bien à une alimentation régulière et continue et évite des pertes par lessivage ou par insolubilisation. D'autre part, elle apparaît « complète » que la destruction microbienne des débris végétaux enfuis libères aussi bien N, P, K, Ca, S que d'autre élément moins connus ou moins évidents Mg, Zn, B, Cu, Fe, Al, Si, etc. Les colloïdes humiques augmentent la capacité d'échange du sol dont un gramme fixe environ 5 fois plus de cations qu'un gramme d'argile. Cette propriété rend la M.O dans certains milieux comme les sols sableux, la principale réserve des bases disponibles (K^+ et Ca^{+2}) (Koull, 2007).

7.3. Actions de la M.O sur les propriétés biologiques du sol

Les apports organiques facilement fermentescibles permettent d'améliorer l'activité biologique (Koull, 2007).

Les M.O représentent un véritable substrat énergétique pour les micro-organismes pour synthétiser leurs propres protéines ainsi que pour former des métabolites (Koull, 2007).

Les matières organiques sont l'aliment des vers de terre et des arthropodes (insectes, acariens...). Les matières organiques jeunes apportent les sucres et les matières azotées nécessaires aux micro-organismes. Les matières organiques, en améliorant la structure et

l'aération du sol, favorisent le développement des bactéries aérobies, indispensables à la minéralisation et aux échanges dans la rhizosphère (**Koull, 2007**).

Par son rôle capital dans la fourniture des éléments majeurs et des oligo-éléments. Les M.O favorisant la croissance et la résistance des plantes aux parasitismes (**Koull, 2007**).

Au contact du substrat minéral, elles ont une grande valeur comme amendement humique, comme « ensemencement microbien » et comme générateur d'enzymes, à ces points de vue, elles sont irremplaçables (**Koull, 2007**).

Chapitre 2

« Présentation de la zone d'étude »

Chapitre II. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

Le périmètre de la mina se trouve dans le bassin inférieur de l'Oued Chélif et couvre une superficie totale de 20000 Ha environ. Il fut créé en 1945 et il est considéré parmi les plus anciens périmètres irrigués de l'Algérie (ANRH, 2003).

La partie centrale du périmètre se trouve dans le Nord de l'Oued Mina, qui coule et se jette dans l'Oued Chélif. La partie Ouest s'étend à gauche et à droite de la route nationale N°4 et comprend le voisinage immédiat de la ville d'El Matmar. La partie Est s'étend à gauche et à droite de la RN°4 et comprend les environs de la ville de Oued Djemaâ (Fig 7).



Figure 3. Carte de situation de la plaine de la Mina (Relizane).

2. Synthèse climatique

Pour estimer rapidement l'influence des principaux éléments, divers systèmes sont proposés. Les plus utilisés en région méditerranéenne sont: le diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gaussen** et le climagramme pluviométrique **d'Emberger**.

Ces deux systèmes résument le bioclimat d'une station donnée par trois éléments fondamentaux du climat: précipitations (mm) - températures maximales et minimales (°C)

Les données climatiques dans la présente étude proviennent de la station météorologique de Relizane et couvrent une période de 19 ans allant de 1988 à 2006.

Ces données recueillies concernent les températures maximales M (°C), les minimales m (°C) et les précipitations P (mm).

Concernant l'évapotranspiration potentielle, les valeurs sont celles de l'ANRH qui ont été calculées avec les données de Seltzer.

2.1 Les précipitations

D'après le **tableau.2**, on remarque que les valeurs des moyennes mensuelles de la pluviométrie indiquent un maximum de sécheresse durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une pluviométrie de 01.5 mm, par contre le mois le plus humide est Novembre avec 39.4 mm. La répartition mensuelle des pluies laisse apparaître une répartition irrégulière de celles-ci. En effet, d'après la **figure.8**, 72.5 mm sont enregistrées, au cours de l'automne soit 28.6 % du total, 90.1 mm, en hiver soit 35.6% du total et 80.1 mm, pendant le printemps, soit 31.6 % du total.

Tableau 2. Relevés pluviométriques de la station de Relizane (**Période de 1988 à 2006**)

Station	Relizane (1982-2005)
Code	13505
Coordonnées : X (Lambert en km) Y	304.3 272.2
Altitude (m)	75
Pluie / Année (mm)	253,3

Tableau 3. Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Relizane en (mm) pour la période (1988 – 2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	T
Pluie (mm)	11.2	21.2	39.4	28.4	30.4	31.2	28.8	27.2	24.2	5.3	1.5	3.8	253.3

Tableau 4. Précipitations mensuelles, en (mm), de l'année 2012 de la station de l'INRA de H'madna, Relizane.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	T
Pluie (mm)	0.7	53.2	86.9	12.5	19.4	66.9	15.1	69.3	4.3	0.1	0.0	0.0	328.5

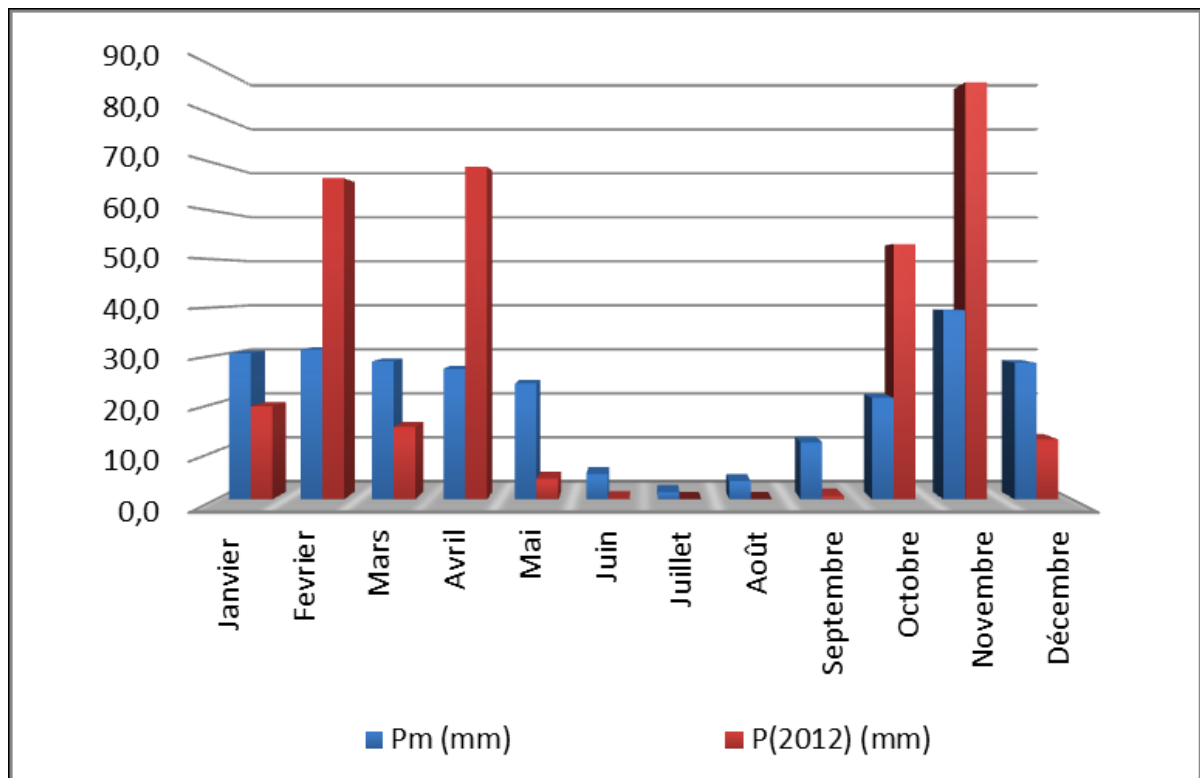


Figure 4. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles

- Pm : précipitations moyennes mensuelles (mm) (station de Relizane - 1988/2006)

-P(2012) : précipitations moyennes mensuelles (mm) de l'année 2012 de la station de l'INRAA, H'madna, Relizane.

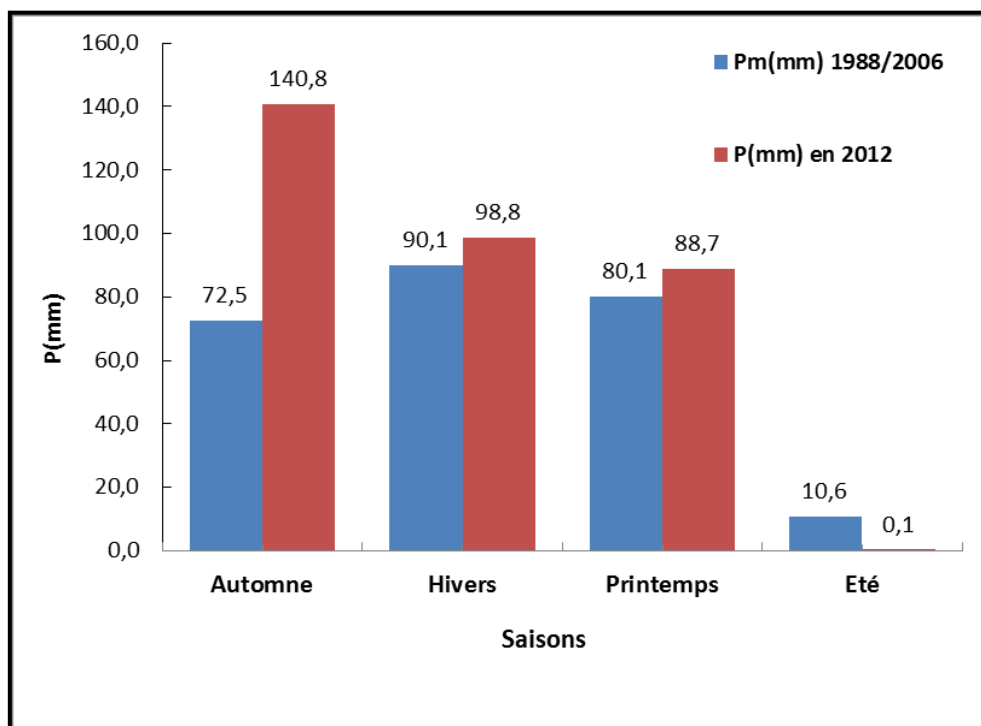


Figure 5. Histogramme du régime saisonnier de la région d'étude.

2.2 Les températures

La caractéristique de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minimums et des maximums, la moyenne mensuelle, le minimum absolu et le maximum absolu ainsi que l'amplitude thermique.

Des fortes variations saisonnières sont enregistrées entre le mois le plus chaude 38.9 °C, en Juillet, et le mois le plus froid 6.1 °C, en Janvier, ou la moyenne annuelle est de 20 °C (Tab.4)

Tableau 5. Moyennes mensuelles des températures (°C) de la station de Relizane pour la période (1988 – 2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Moy
m °C	17	14,5	9	7,7	6,1	6,4	9,4	11,6	15	17	21,1	20,8	13,0
M °C	32,5	27,1	23,1	19,3	17,2	18,9	23	24,2	30,1	34,7	38,9	38,5	27,3
Moy°C	24,2	20,8	15,9	13,6	11,6	12,8	16,1	18,5	22,7	25,8	29,6	29,3	20

- M: moyenne mensuelle des maximums.

- m: moyenne mensuelle des minimums.

- Moy : Moyenne mensuelle.

2.3 L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est très importante au mois d'Août avec 232 mm par contre elle est très faible au mois de Décembre avec 39 mm.

Tableau 6. Evapotranspiration potentielle moyenne en mm, établie selon la formule PENMAN (18 ans). (Station ONM de Relizane).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	T
ETP (mm)	44	60	99	137	174	198	231	232	153	98	55	39	1523

2.4 Classification du climat

2.4.1 Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de **Gaussen et Bagnouls** est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec $P=2T$.

La **figure.10** porte le Diagramme Ombrothermique de la région de Relizane établit à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 19ans. D'après ce diagramme, la saison sèche s'étale sur une période de 07 mois, au cours de l'année. La figure.13 montre la courbe des pluies passant au-dessous de la courbe des températures.

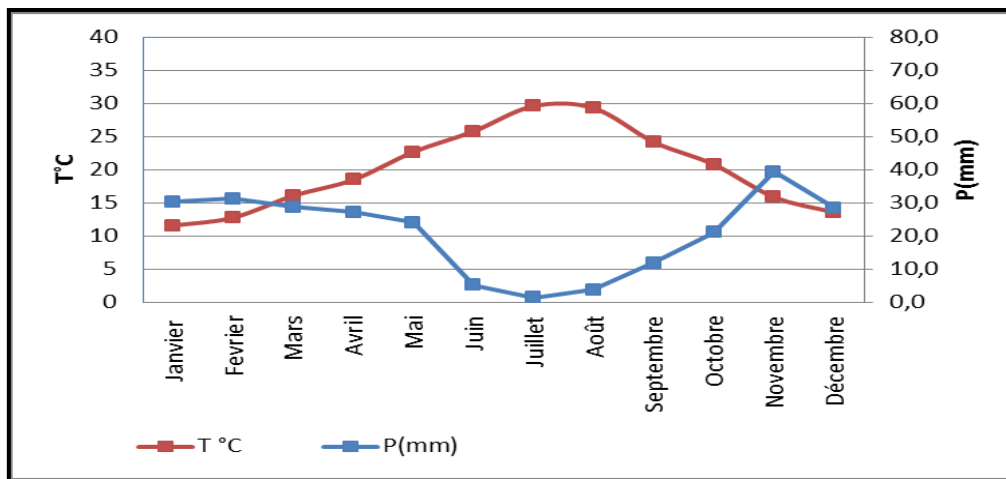


Figure 6. Diagramme ombrothermique de la station de Relizane (1988-2007).

2.4.2 Climagramme d'Emberger

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique de **Stewart (Q)** spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

Ce quotient tient compte des précipitations et des températures est déterminé comme suit :

$$Q = 3.43 \times PM - m$$

- Q : le quotient pluviométrique d'Emberger ;
- P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm = à 253.3 mm
- M : Moyenne maximale du mois le plus chaud = à 38.9°C
- m : Moyenne minimale du mois le plus froid = 6.1°C

Après application de la formule, nous obtenons la valeur de Q égale à 26,5, ce dernier situe Relizane dans l'étage Aride (**Fig.11**).

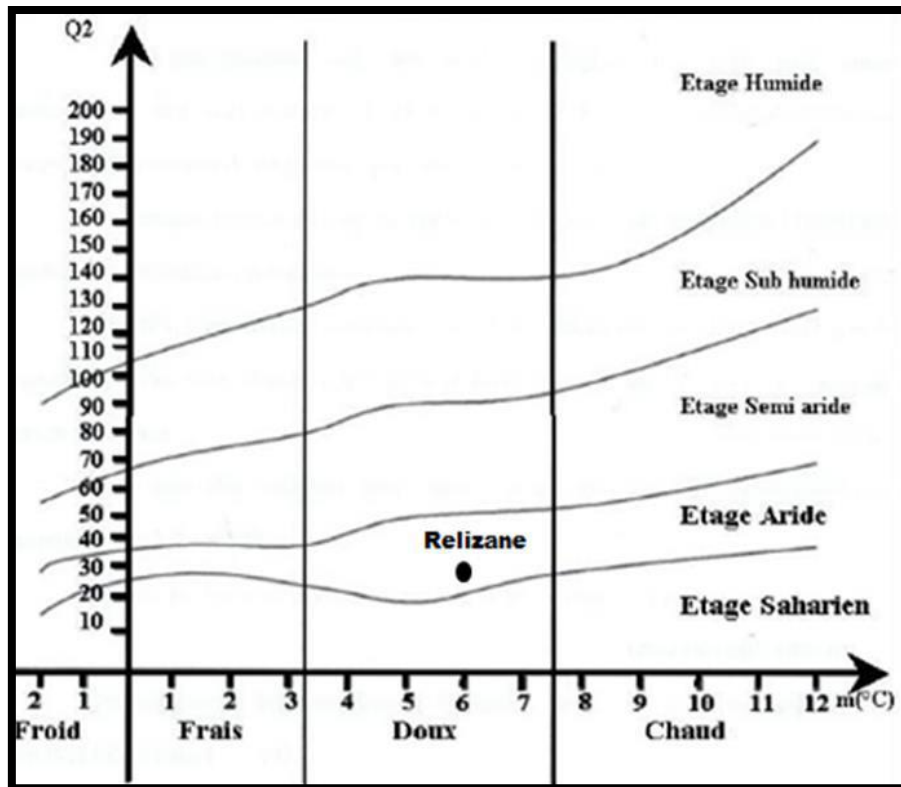


Figure 7. Diagramme pluviométrique d'Emberger pour la station de Relizane(1988- 2006).

2.5. Conclusion

Selon l'analyse climatique, La plaine de la Mina est caractérisée par un climat contrasté, à hiver froid s'étalant de Novembre à Février. Ses caractéristiques essentielles sont : une faible pluviométrie annuelle (328.42mm.), irrégulière d'une année à l'autre (du simple au double, 183mm en 1992, 365mm en 2000 et 272 en 2001), une sécheresse estivale de Mars à Octobre, et souffre d'un déficit pluviométrique de 1194.6 mm/an qui confère à l'irrigation un caractère obligatoire. Grâce au quotient pluviométrique d'Emberger ($Q=26.5$) la zone d'étude se situe dans un étage bioclimatique aride.

3. Géologie

La plaine de la Mina est une zone déprimée dominée au sud, à l'est et l'ouest par des massifs montagneux (ANRH, 2003) :

- **Région de Hillil (Yellel)** : Au nord-ouest, elle est entourée par les monts de Belhacel, qui sont formés de grès pliocène et de sables de désagrégation de ces grès. A l'ouest, on trouve un affleurement de grès recouvert d'une croûte calcaire sur le piedmont. Au sud, les monts de Gerbouça sont formés de grès et marne du pliocène.
- **Région de Touila-Khaourara** : A l'ouest les affleurements sont formés de grès pliocène et de marnes grises du miocène. A l'est, la plaine est séparée de la vallée de la mina par des collines formées de grès et de poudingues.
- **Vallée de la Mina** : Au sud et à l'est, la vallée est bordée de massifs érodés de marnes miocènes (du helvétien) à petits cristaux de gypse. A l'ouest la vallée est bordée par des collines de Relizane, formées de grès et de poudingue encroûtés.
- **Région d'Oued Djemâa** : La partie sud- ouest d'Oued Djemaa est bordée par des affleurements de marnes et d'argiles du miocène qui se raccordent à la plaine de Relizane par un glacis de piedmont ancien, recouvert d'une croûte calcaire.

4. Géomorphologie

Du point de vue géomorphologique, la plaine est caractérisée par quatre types de formations géomorphologiques (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974):

4.1 Les glacis de piedmonts : Ce sont des formations colluviales de piedmonts s'appuyant sur des versants, de topographie régulière ou peu ondulée, se raccordant, en aval à des formations colluviales ou à des alluvions. Elles sont recouvertes d'une croûte calcaire épaisse et durcie du quaternaire ancien.

4.2 Les alluvions : Ce sont des formations déposées par les oueds qui coulent dans la plaine (Hillil, Mina, Malah, Djemâa). Leur texture est variable et est sous la dépendance de la lithologie de l'arrière-pays drainé vers la plaine. Dans les parties basses la texture devient plus argileuse et vers le centre de la plaine, les sols de la rive gauche sont de texture moyenne et deviennent de texture fine et sont mal structurés dans la rive droite. Dans la limite Est, ces formations sont moyennement salées.

- Certains oueds ont raviné des formations géologiques salées (marnes à gypse miocène du bassin versant de la Mina, massif de gypse du trias du bassin versant de l'oued Malah) qui ont déposés dans certaines zones des alluvions salés.

- Ces alluvions salées sont localisées dans la vallée de l'oued Malah, la plaine de Khourara, la vallée de la Mina, et la partie sud de la sebkha de Benziane (action de la nappe phréatique salée dans certaines zones et ravinement de la colline argileuse salée bordant la sebkha de Benziane).

4.3 Les cônes de déjection des oueds : Les bordures géologiques de la zone d'étude sont ravinées par des petits oueds qui déposent un cône de matériaux à l'aval de texture variable : dans la vallée de la mina et la plaine de oued djemaa, le cône de déjection comporte une texture lourde, alors que dans les zones de Khourara et Yellel, la texture est plus légère. Les couvertures sableuses sont caractérisées par des dépôts sableux épais (plus de 2m) d'origine éolienne qui proviennent des ables de désagrégation des grés pliocènes. La topographie est légèrement ondulée à uniforme. Ces dépôts sont localisés dans la plaine de Yellel au pied du massif de Belhacel.

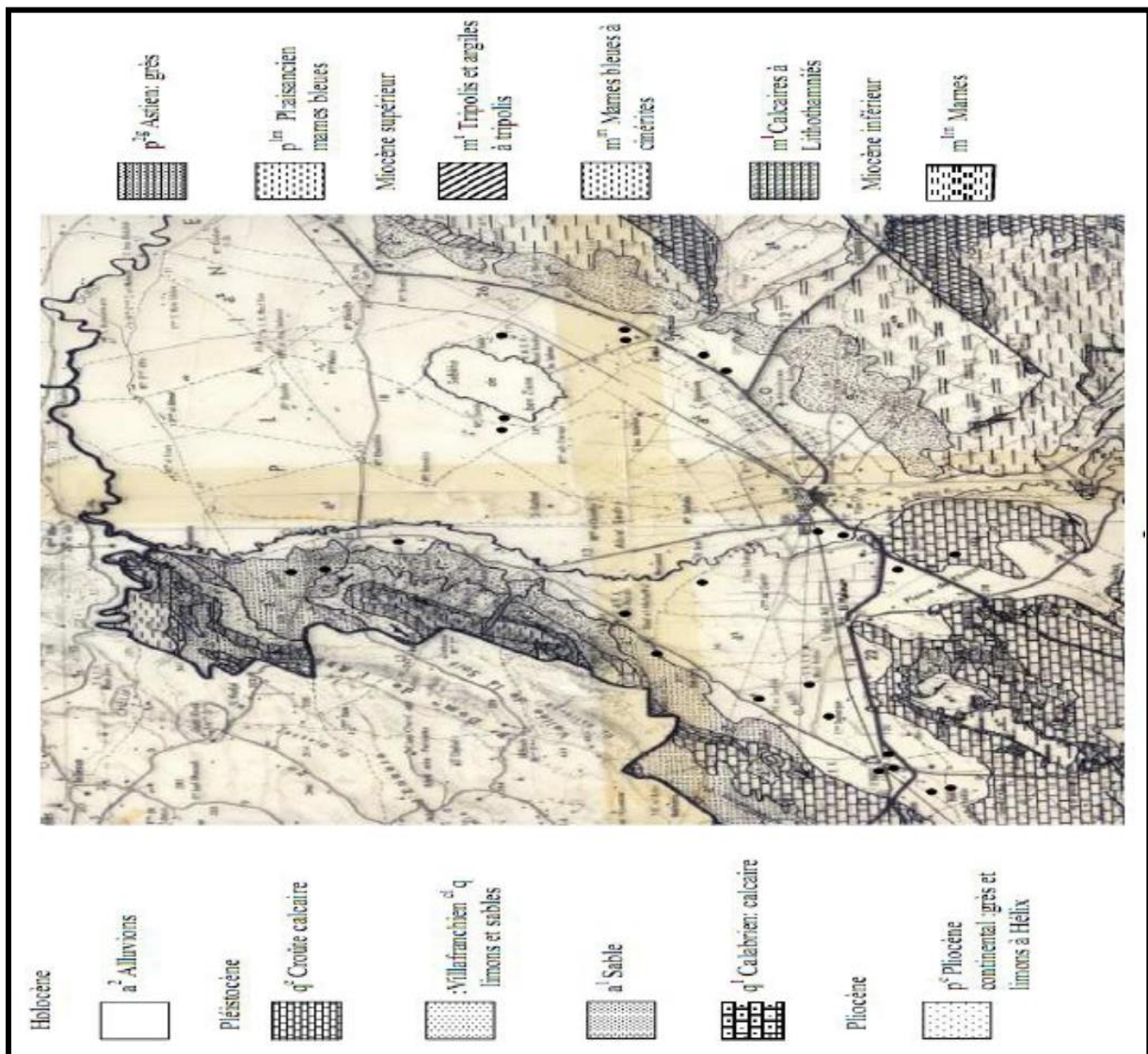


Figure 8. Carte géologique 1/50000 de Relizane(Boualla, 2002).

5. Réseau hydrographique et ressources en eaux

Il existe deux principaux oueds dans la plaine de la Mina : l'oued Yellel à l'est et l'oued Mina au centre qui reçoit un affluent salé au sud du périmètre : l'oued Malah.

Le réseau hydrographique est constitué par l'Oued Mina qui draine les reliefs de l'Ouarsenis et est considéré comme l'un des principaux affluents de l'Oued Cheliff.

La mise en eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda en 1978 avec une capacité de 225 Hm³ a permis l'exploitation du potentiel en eaux de surface de l'Oued Mina pour l'irrigation de la plaine de la Mina. Les **tableaux.7 et 8** montrent la salinité et la qualité de l'eau d'irrigation, au niveau de ce barrage, celle-ci se situe entre 1.28 et 2.02 dS/m (de 1990 à 2002) avec une moyenne générale de 1.47 dS/m (0.94g/l de sel).

Ainsi, l'irrigation avec cette eau présente un risque important de salinisation secondaire sur les sols lourds à drainage déficient.

Le tableau montre la qualité de l'eau d'irrigation au niveau du barrage ainsi que le bilan ionique.

Les résultats analytiques montrent que la qualité de l'eau pour l'irrigation est moyenne à médiocre, elle est à utiliser avec précaution et nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

Tableau 7. Salinité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane) (Source.ANRH,2003).

Année	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02
BSM	1.35	1.39	1.67	2.02	1.28	-	1.28	1.33	1.44	1.64	1.59	1.29	1.3

Tableau 8. Qualité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda(Relizane)(Source.INSID, Relizane ,2008).

Analyses	CL ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	SAR	CE	Class
Unité	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	/	dS/m	/
Décembre 2005	7.6	7.65	0.24	2.2	4.72	6.09	0.19	6.39	2.74	1.71	C3S1

Le réseau d'irrigation mis en place depuis 1938 est constitué par des canaux à ciel ouvert de différents types. Des moyens financiers importants ont été mobilisés par les pouvoirs publics pour la réalisation de travaux de réhabilitation du réseau d'irrigation et de son extension vers les zones les plus éloignées du périmètre.

Les ressources en eaux souterraines sont représentées par l'existence d'une nappe salée à faible profondeur qui a fait que l'orientation vers l'utilisation de cette ressource n'ayant pas été retenue.

6. Les sols

Du point de vue pédologique, la plaine de la Mina est constituée d'apports alluviaux caractérisés par des terres à structure fine, potentiellement salinisables. Ceux déjà irrigués sont effectivement affectés par la salinité (ANRH, 2003). Selon l'étude menée par l'INSID (2008), les sols affectés par une salinité supérieure à 2 dS.m⁻¹, représentent 75 % de la superficie sur les 6000 hectares prospectés, au niveau du périmètre irrigué de la Mina.

Les sols sont regroupés dans différentes classes pédologiques qui sont : les sols peu évolués, les sols halomorphes, les sols hydromorphes, les sols calcimagnésiques et les vertisols (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974).

7. Occupation du sol

L'agriculture dans le périmètre est très diversifiée. Les cultures pratiquées sont les céréales, les fourrages, le maraîchage, l'arboriculture (agrumes, olivier, grenadier et autres fruitiers).

Les superficies irriguées dans le périmètre se situent autour de 3856 Ha qui se répartissent entre les différentes spéculations pratiquées (Tab.8).

Tableau9. Répartition des superficies irriguées entre les différentes spéculations pratiquées (Source : AGID, cité par l'INSID, 2008).

Spéculations	Superficies (Ha)
Agrumes	2772
Oliviers	396
Arbres fruitiers	160
Fourrages verts	50
Pépinières	58
Maraîchages	100
Tomate industrielle	20
Artichaut	250
Pomme de terre	50
Totale	3856

Les sols très salés abandonnés sont couverts par une végétation halophyte dont la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et dans le temps.

Le **tableau.10** et la **figure.13** montrent la répartition de la superficie de l'occupation du sol du sol, au niveau du périmètre, sur une superficie de 6000 Ha (**INSID, 2008**).

Tableau 10. Répartition de l'occupation du sol, dans le périmètre de la Mina, sur 6000 Ha (**Source, INSID, 2008**).

Occupation du sol	Superficie (%)
Agrumes et arbres fruitiers	33
Oliviers	8
Céréales / Jachère	46
Maraîchages	4
Pépinières	1
Végétation naturelle (halophyte)	7
Totale	Sur 6000 Ha

8. Conclusion

Le milieu physique doit son originalité à la combinaison d'un relief en cuvette, d'un climat à sécheresse saisonnière accentuée, d'eaux courantes peu abondantes, de terres parfois salées et d'une végétation d'halophytes couvrant certaines zones de la plaine.

Ces conditions naturelles défavorables à la mise en valeur agricole a conduit les pouvoirs publics à suppléer à l'insuffisance des précipitations par l'installation d'un réseau d'irrigation, alimenté à partir du barrage de Sidi M'Hamed Benaouda.

Chapitre 3

« Matériel et méthodes »

Chapitre III. Matériel et méthodes

Cette partie est consacrée à la description de la parcelle expérimentale, de la méthodologie utilisée, des techniques analytiques et des différentes méthodes de traitement des données.

1. Méthodologie

Dans le cadre de cette étude, la démarche utilisée comporte quatre étapes importantes :

- Analyse des documents de base.
- L'expérimentation
- Les analyses de laboratoire.
- Le traitement des données.

1.2. Analyse des documents de base

Cette étape concerne l'examen des documents disponibles ainsi que les études réalisées dans la zone d'étude. Elle concerne l'étude sur « la caractérisation de l'état actuel de la salinité dans le périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha » réalisée par l'INSID en 2008.

1.3. L'expérimentation

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de l'incorporation du fumier ovin sur les paramètres physiques et chimiques des sols salés.

Afin de répondre à cet objectif, il était nécessaire de localiser une parcelle se trouvant sur une zone salée. A cet effet, nous avons procédé à la localisation de la zone d'étude sur la carte de salinité du sol établie par l'INSID en 2008. Nous avons par la suite, réalisé une sortie sur terrain pour une récolte des données existantes concernant :

- la salinité au niveau de la parcelle ;
- le niveau de la nappe ;
- le travail du sol ;
- les cultures pratiquées ;
- la conduite de l'irrigation et le réseau de drainage.

Après la géo localisation de la parcelle expérimentale, par le biais d'un GPS de navigation de type GARMIN, nous avons procédé à sa délimitation, par le biais d'une corde et d'un ruban-mètre. Nous avons ensuite divisé en deux cette parcelle afin de pouvoir mener notre expérimentation. Les deux parcelles obtenues concernent la parcelle « Témoin » et l'autre parcelle concerne la parcelle « Traitée » par le fumier ovin. Ces deux parcelles sont séparées

par un vide de 01m. Nous avons ensuite procéder à une préparation du sol pour l'incorporation de 210 kg de fumier d'origine ovine.

Nous avons ensuite positionné 03 profils de prélèvements, au niveau de chaque parcelle, pour le suivi de l'expérimentation. Dans chaque profil et à l'aide d'une tarière pédologique nous avons procédé à des prélèvements des échantillons de sol jusqu'à une profondeur de 01mètre (0– 25cm ; 25-50cm, 50-75cm et 75-100cm).

Deux campagnes de mesures ont été réalisées pour le suivi de l'expérimentation.

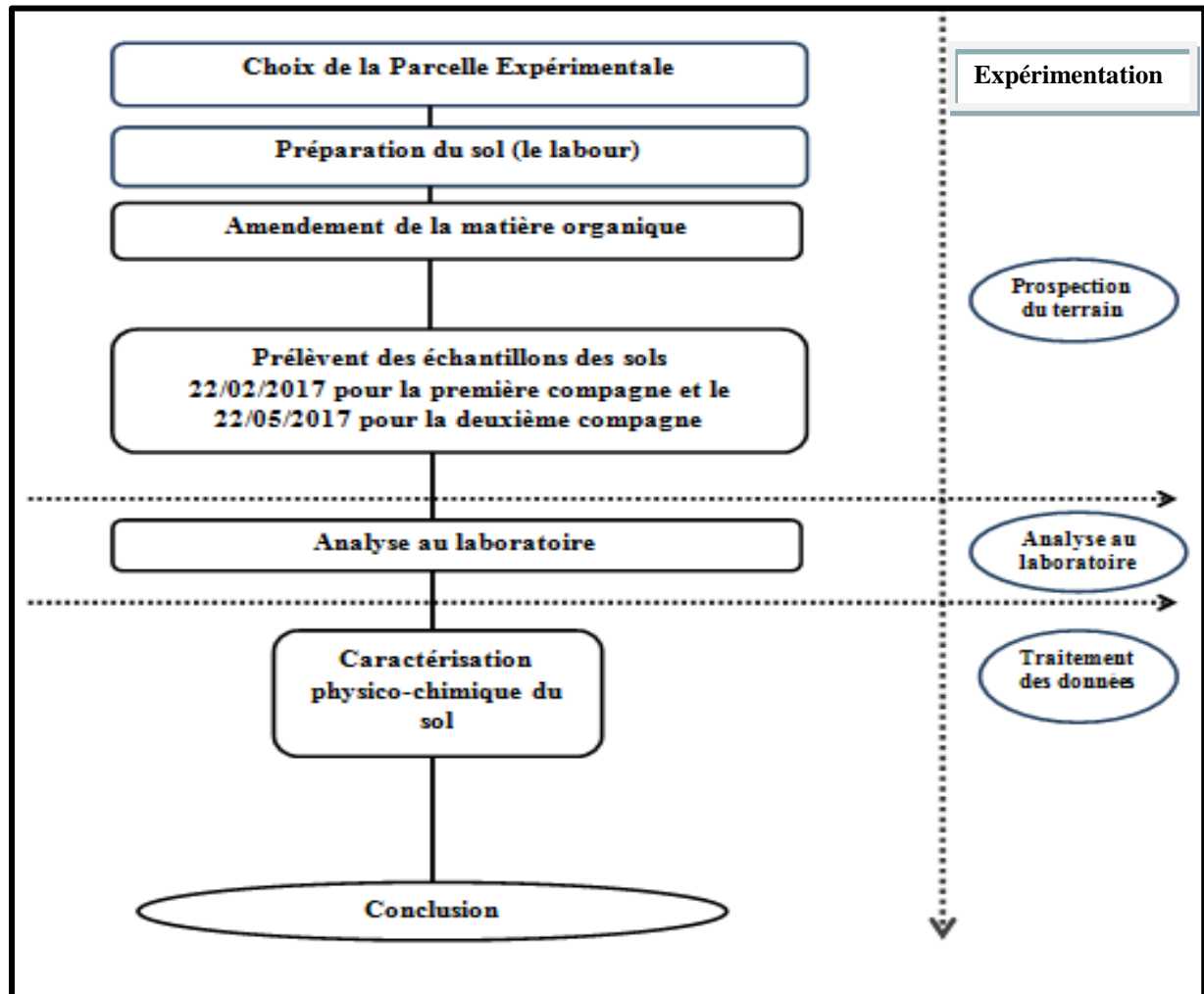


Figure 9. Démarche méthodologique

2. Matériel utilisé

2.1. Matériel pédologique

Les échantillons du sol ont été prélevés à partir du site expérimental, située à 10km à l'ouest de la ville de Relizane et à 05 km à l'est de la ville ElMatmar, entre 0°29'35'' et 0°29'46'' de longitudes et 35°43'56'' et 35°44'9'' de latitudes.

L'étude du sol s'est basée sur les analyses de laboratoire des échantillons prélevés sur quatre profondeurs (0-25 cm ; 25-50cm ; 50-75cm et 75-10cm). Les paramètres physico-chimiques utilisés sont, la granulométrie, le pH, la conductivité électrique 1/5, la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée, la matière organique, le calcaire total et actif, la CEC.

Les méthodes d'analyses utilisées sont celles exposées, par **Aubert (1978)**.

2.2. Dispositif expérimental

L'expérimentation s'est déroulée sur un bloc de deux parcelles (figure.11) : la parcelle « Témoin » et la parcelle « Traitée » par un amendement organique par l'incorporation du fumier de ferme décomposé de type ovin. La quantité de fumier incorporée est de 210 kg sur les sillons de labour.

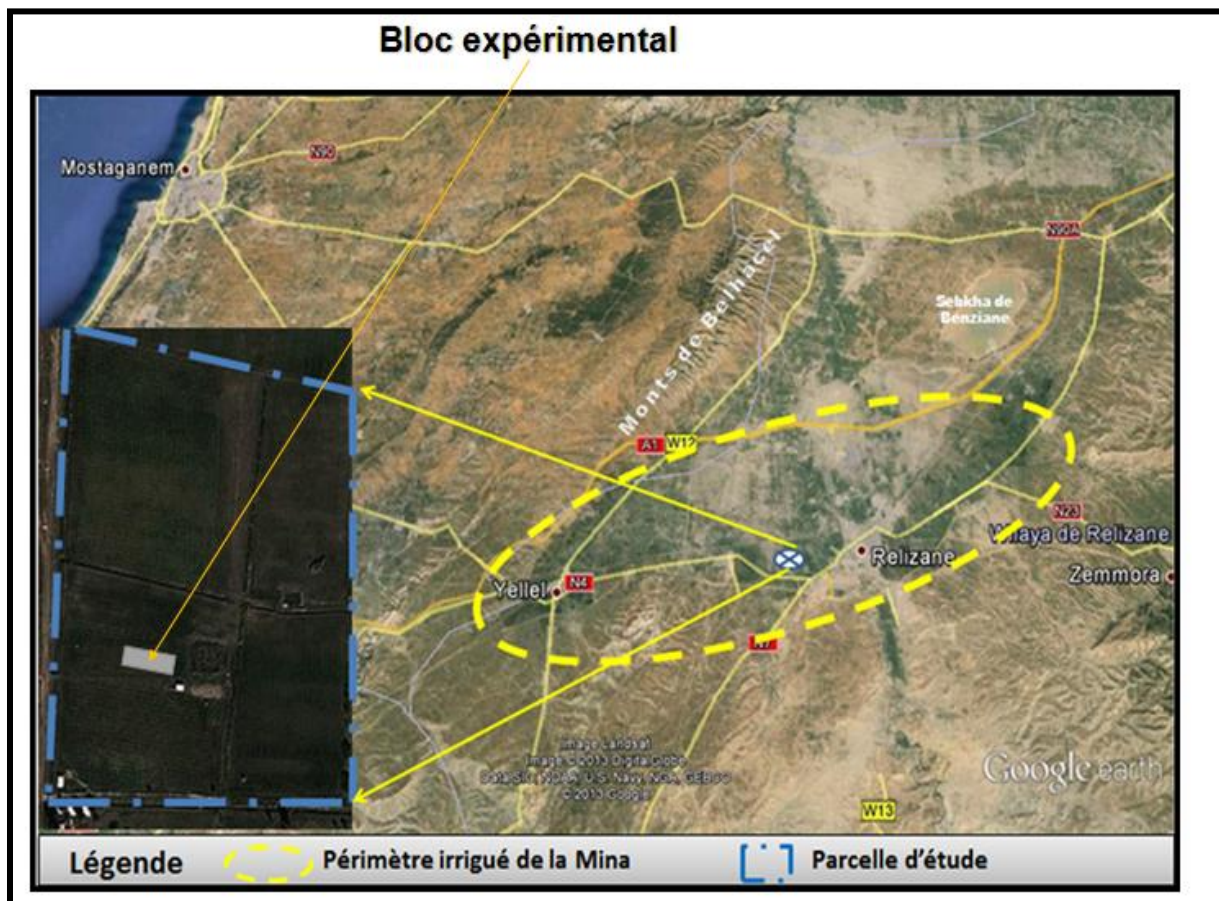
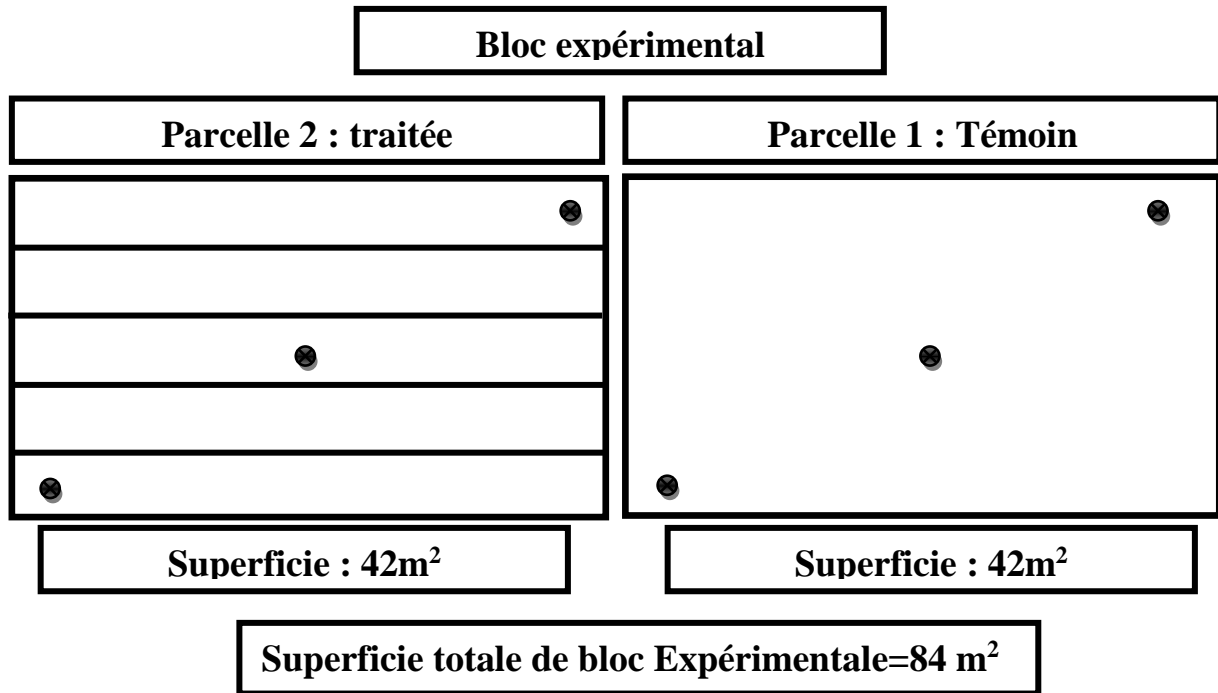


Figure 10. Localisation du site expérimental.



- Parcelles du bloc expérimental
- Profils de prélèvements des échantillons de sols



Figure 11.Installation du bloc expérimental

Tableau 11. Les calendriers des prélèvements du sol.

Date de prélèvement	Nombre d'échantillons de sol
22/02/2017	24
22/05/2017	24
Total échantillons	48

3. Analyses de laboratoire

3.1. Paramètres physico-chimiques du sol

Les analyses physico-chimiques du sol sont réalisées au niveau du laboratoire régional ouest de l'INSID d'ElMatmar (Relizane).

3-2-Préparation des échantillons de sol

Au niveau du laboratoire, les échantillons du sol prélevés sont étalés et séchés à l'air libre.

Les cailloux, graviers et débris organiques grossiers sont éliminés et le reste est broyé puis tamisés à 2mm. La fraction du sol <2 mm a été utilisée pour les analyses physico-chimiques.

3-3-La Granulométrie

L'analyse granulométrique est réalisée par la méthode internationale de la **pipette de Robinson**, la granulométrie exprime la teneur en argile, limon fin limon grossier, sable fin, sable grossier du sol.

**Figure12.** La pipette de Robinson.

3-4-Le pH

L'accumulation des sels solubles dans le profil d'un sol, réduit son pH mais dans le cas d'un sol alcalin, le pH augmente avec la salinité à cause de la présence des bicarbonates et des carbonates (Gupta et al, 1990).

D'après Khartir en 2008, les sols salés ont un pH généralement supérieur à 7, il peut atteindre des valeurs nettement supérieures à 8.5 quand il y a une forte abondance et une diversité en espèce chimique des sels.

En fonction de la valeur de pH d'un sol, on peut classer les sols selon l'échelle suivante :

pH 4.5 : sols très acides.

4.5 pH 6 : sols faiblement acides.

6 pH 7 : neutres, sols équilibrés permettant une bonne alimentation des plantes.

pH 7 : sols calcaires (alcalins, basiques).

20 g de terre (<2 mm) séchée à 40 C° sont pesés et ajoutés dans un bécher avec une quantité de 50 ml d'eau distillée. L'agitation est effectuée pendant quelques minutes puis on laisse reposer une heure. Les mesures du pH sont effectuées à l'aide d'une électrode plongée dans le liquide surnageant.

3-5-La Conductivité Electrique

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol. Elle exprime approximativement la concentration des solutés ioniques présentes dans l'échantillon, c'est à dire son degré de salinité.

Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques augmentent.

La conductivité électrique (CE) est exprimée en mmho.cm⁻¹ ou dS. m⁻¹ à une température de 25 C°. C'est la conductance mesurée dans des conditions spécifiées entre les faces opposées d'un cube unité matérialisé par une cellule conductimétrique composée de deux électrodes de 1 cm² de surface distance de 1 cm.

Pour extraire les sels solubles et apprécier la salinité du sol, deux méthodes peuvent être utilisées :

3-6-. Extrait de la pâte saturée

Cette méthode a été mise au point par l'U.S. Salinité Laboratoire. Pour extraire les sels, on amène le sol préalablement séché à saturation, c'est à dire à sa limite de liquidité d'**Atterberg** par malaxage avec de l'eau distillée. En opérant ainsi, on cherche à se rapprocher au mieux de ce qui se passe dans le sol, tout en opérant dans des conditions standardisées. Cette façon de faire permet notamment de se rapprocher d'une réalité agronomique, l'humidité étant à proximité de la capacité de rétention, la plus efficiente pour la plante (**Le Brusq et Loyer, 1982**).



Figure 13. Schémas et protocole expérimental de la pâte saturée.

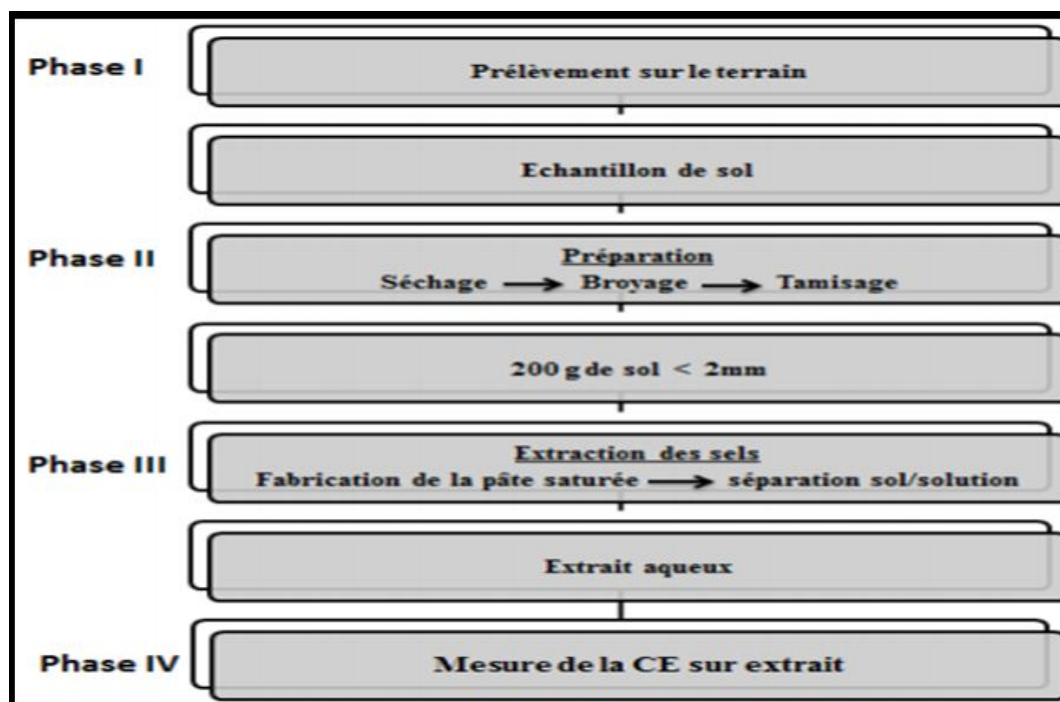


Figure 14. Protocol de la pâte saturée.

3-7-Extrait dilué

Dans cette méthode, une quantité d'échantillon de sol est mélangée avec une quantité d'eau suffisante pour obtenir de fortes dilutions. Le rapport poids sol/poids eau est en général de 1/5 ou 1/10.

Cette méthode est plus facile à réaliser et permet ainsi de faire un grand nombre d'échantillons qui est au contraire difficile, par la pâte saturée.

3-8-La matière organique

La méthode utilisée est la méthode **Anne** où le carbone organique contenu dans un échantillon de sol est oxydé dans des conditions définies en utilisant une quantité d'un mélange oxydant : le bichromate de potassium en milieu sulfurique.

On effectue un dosage en retour, l'excès de bichromate de potassium non utilisé pour l'oxydation est dosé à l'aide d'une solution réductrice de **sel de Mhor**.

Il n'est pas nécessaire de connaître le titre exact de la solution oxydante, en effet pour tenir compte des conditions expérimentales de l'oxydation, on effectue un dosage témoin, sans terre ou sur sable calciné, avec une quantité de bichromate de potassium identique à celle utilisée dans le dosage du carbone du sol.

Le pourcentage de la matière organique est obtenu en multipliant le taux de carbone organique obtenu par **1.72**.



Figure 15. Attaque au froid sur le bain de sable. **Figure 16.** Séparation des phases.



Figure 17. Dosage avec le sel de Mohr.

3-9-Le Calcaire Total

Le taux de calcaire total est déterminé par acidimétrie, on ajoute à l'échantillon de l'acide chlorhydrique (10 %). Le volume de gaz carbonique dégagé est mesuré à l'aide d'un **Calcimètre de Bernard** et comparé au volume produit par du carbonate de calcium pur.

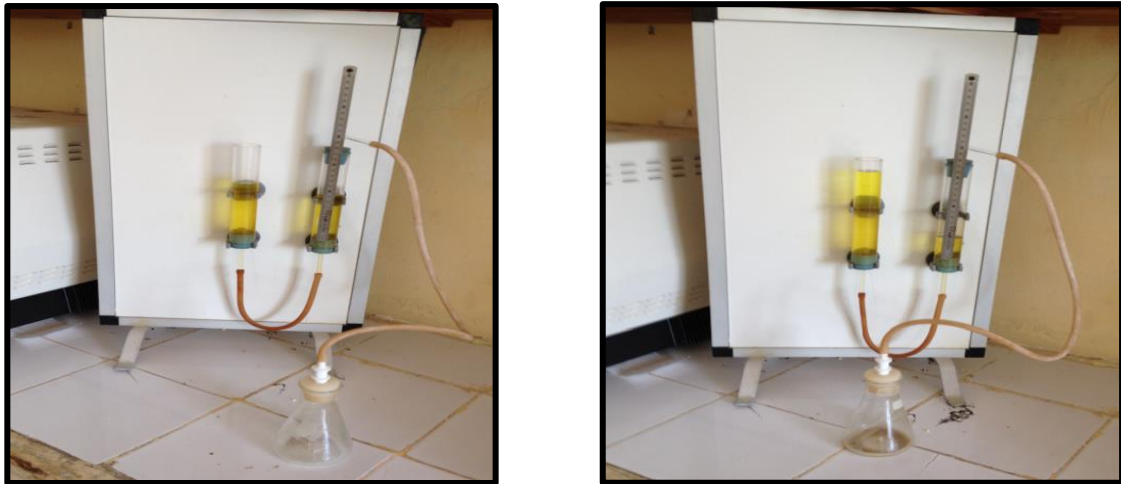


Figure 18. Calcimètre de Bernard

3-10- Le Calcaire Actif

Le dosage du calcaire actif fait par la méthode de **Drouineau –Galet**, elle correspond au calcaire fin, facilement solubilisé.

Au contact d'une solution d'oxalate d'ammonium, ce calcaire fin se transforme en oxalate insoluble, le reliquat de solution d'oxalate non utilisé est dosé par une solution de permanganate de potassium, le calcaire actif correspond à l'oxalate de calcium précipité.

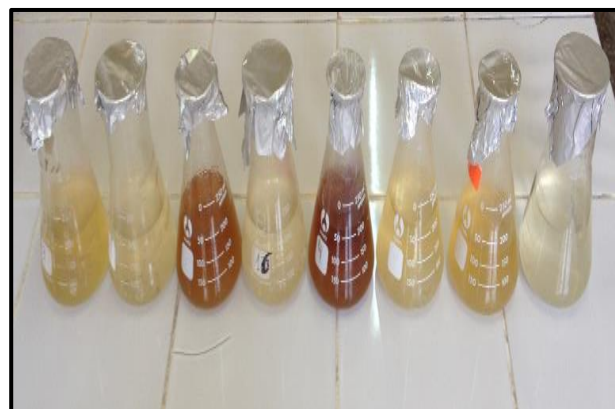


Figure 19. Dosage de calcaire actif.

3-11-La capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol est la quantité totale de cations (ions⁺) que ce sol peut absorber sur son complexe et échanger avec la solution environnante dans des conditions de pH bien définies.

La mesure de la capacité d'échange cationique dans notre cas (sol salé) est déterminée par la méthode **BOWER** qui comporte 3 phases :

1-le lavage et le déplacement des cations échangeables et l'hydrogène du complexe absorbant avec une solution mono-ionique, l'acétate de sodium (CH_3COONa , M 82.03g/l à PH =7).

2-le lavage avec l'éthanol pour enlever l'excès en cations saturant. Le lavage s'effectue avec le méthanol puis par l'éthanol si la CE <20 μcm .

3-le déplacement des cations échangeables et l'hydrogène du complexe absorbant avec une solution généralement tamponnée à pH déterminé (l'acétate d'ammonium).

A la fin, le filtrat est recueilli contenant tous les cations et l'hydrogène déplacés par la solution mono-ionique. C'est à partir de ce filtrat que l'on déterminera les cations échangeables.

Les mesures de la concentration en cations sont effectuées par le spectrophotomètre d'absorption atomique pour le Ca^{++} et Mg^{++} et le spectrophotomètre à flamme pour le Na^+ et K^+ .



Figure 20.Dispositif de la capacité d'échange cationique (CEC).

Chapitre 4

« Résultats et discussions »

INTRODUCTION

Ce chapitre organisé en deux parties, qui est consacrée à la présentation et à la discussion des résultats. Dans la première partie nous présentons les caractéristiques des paramètres physico-chimiques du sol étudié, y compris ceux relatifs à la salinité. La deuxième partie est réservée à la discussion des résultats.

Partie. Résultats d'analyses physico-chimiques du sol

Dans cette partie, nous présentons une description statistique des données du sol relative à la texture, au calcaire total et au calcaire actif, à la matière organique, à la capacité d'échange cationique, au pH, et la conductivité électrique de la pâte saturée et diluée 1/5.

Les analyses ont été effectuées sur 48 échantillons provenant de 6 profils de sols, réalisés sur deux campagnes et sur quatre profondeurs (0-25cm), (25-50cm), (50-75cm), (75-100cm).

Pour l'interprétation des résultats, nous avons utilisé le coefficient de variation, pour décrire et étudier la variabilité des propriétés physico-chimiques du sol. Cette approche fournit un outil moderne pour comprendre le modèle de variabilité spatiale des propriétés du sol dans les deux parcelles pour les deux campagnes de mesures. Cinq classes, basées sur la valeur du coefficient de variation (CV en %), sont proposées par **Nolin et al, 1997**, pour qualifier l'intensité de la variabilité des sols (Tableau 1, Annexe).

1. Résultats statistiques des analyses physiques du sol

1.1. Analyse de la texture

D'après les **Tableaux 12, 13, 14, 15, 16 et 17** nous remarquons que les fractions granulométriques prédominantes sont les fractions limoneuses et argileuses dans les deux parcelles avec une fraction sableuse peu présente dans les horizons de surface ; Pour les horizons profonds les fractions granulométriques sont plus homogènes.

Dans la parcelle témoin, les fractions limoneuses sont plus présentes par rapport aux fractions argileuses et sableuses, le taux de sable augmente vers la profondeur par contre on remarque une diminution de taux des argiles, le pourcentage des limons varie entre 44.99 % et 39.98% dans l'horizon de surface et dans l'horizon profonds ; les argiles varient aussi entre 39.43% et 22.25% pour l'horizon de surface et dans l'horizon profonds.

Dans la parcelle de traitement la fraction argileuse et limoneuse et sableuse sont homogènes à la surface et aux profondeurs, sauf s'il y a une dominance du taux des limons dans l'horizon (0-25cm). Le pourcentage des argiles varie, il est de 36.67% pour l'horizon de surface, et il est de 32.02 % pour l'horizon profond ; le pourcentage des limons varie, il est de 47.99 % pour l'horizon de surface, il est de 35.08% pour l'horizon profond.

Pour la fraction sableuse leur taux est en augmentation vers la profondeur pour les deux parcelles, avec des valeurs entre (15.35 % à 35.88%) pour la parcelle témoin et entre (15.34 % à 33.04 %) pour la parcelle de traitement.

Pour la fraction argileuse le coefficient de variation est très élevée pour la plupart des horizons ,sauf l’horizon (0-25cm) et (75-100cm) pour la parcelle témoin et l’horizon (0-25cm) de la parcelle de traitement qui ont un coefficient de variations modérées avec des valeur respectivement de l’ordre de (18.66 % ,25.09 % et 31.45 %) ,et aussi l’horizon (25-50cm) de la parcelle témoin qui a un coefficient de variation élevé d’une valeur de 48.41% .

Pour la fraction limoneuse la variabilité est faible <15% pour les horizons (0-25cm) et (75-100cm) dans la parcelle témoin et l’horizon (25-50cm) dans la parcelle de traitement avec des valeur respectivement de l’ordre de (7.47%,12.25%,14.84%) ;la variabilité est modéré dans les horizons (25-50cm) et (50-75cm) pour la parcelle témoin et l’horizon (0-25cm) , pour la parcelle de traitement avec des valeur respectivement de l’ordre de (22.30% , 26.71% , 15.02%) ; pour les horizons (50-75cm) et (75-100cm) de la parcelle de traitement la variabilité est élevée avec des valeur respectivement de l’ordre de 40.71% et 35.04% .

Pour la fraction sableuses la variabilité est modéré dans l’horizon (75-100cm) dans la parcelle témoin avec une valeur de 28.62 % ,elle est élevée pour les horizons (0-25cm) ,(50-75cm) dans la parcelle témoin et l’horizon (0-25cm) dans la parcelle de traitement avec des valeur respectivement de l’ordre de (36.33% ,47.22% ,36.01%).; la variabilité est très élevée pour les horizons (25-50cm) dans la parcelle témoin et les horizons (25-50cm) et (75-100cm) dans la parcelle de traitement avec des valeur respectivement de l’ordre de (79.15% ,71.61% ,91.47 %) ;Pour l’horizon 50-75cm de la parcelle de traitement le coefficient de variabilité est extrêmement élevée avec une valeur de 10.78 % .

Tableau 12.Résultats de l’Argile (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	39,43	33,34	25,14	22,25
CV%	18,66	48,41	70,58	25,09

Tableau 13.Résultats de Limon (en %) de parcelle Témoin

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	44,99	41,10	39,98	41,87
CV%	7,47	22,30	26,71	12,25

Tableau 14.Résultats de Sable (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	15,35	25,54	34,89	35,88
CV%	36,33	79,15	47,22	28,62

Tableau 15.Résultats de l'Argile (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	36,67	33,65	33,13	32,02
CV%	31,45	58,78	77,89	78,39

Tableau 16.Résultats de Limon (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	47,99	36,91	34,94	35,08
CV%	15,02	14,84	40,71	35,04

Tableau 17.Résultats de Sable (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	15,34	29,44	31,92	33,04
CV%	36,01	71,61	100,78	91,47

2. Les résultats statistiques des analyses chimiques de sol

2.1. Analyses du potentiel Hydrogène (pH)

Les tableaux 18, 19, 20, 21 montrent que le pH moyen du sol est supérieur à 7.97 avec une moyenne variante entre 7.97 à 8.51, l'étude des moyennes de pH du sol indique que ce paramètre est en augmentation avec la salinité, ces valeurs indiquent que notre sol est basique, et se caractérise principalement des sols calcaires et des sols salés et confirme notre résultat de calcaire total et de la conductivité électrique.

Le coefficient de variation est faible <15% dans les deux parcelles et pour les deux campagnes, il varie entre (0.28 % < CV < 4.08 %).

Tableau 18.Résultats du pH_{1/5} de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	7,97	8,20	8,48	8,37
CV%	1,34	1,29	1,43	0,28

Tableau 19.Résultats du pH_{1/5}de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	8,12	8,22	8,44	8,42
CV%	3,95	1,33	1,65	1,22

Tableau 20.Résultats du pH_{1/5}de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	8,09	8,41	8,44	8,41
CV%	0,75	1,41	1,48	0,48

Tableau 21.Résultats du pH_{1/5}de la parcelle de traitement (22/05/2017).

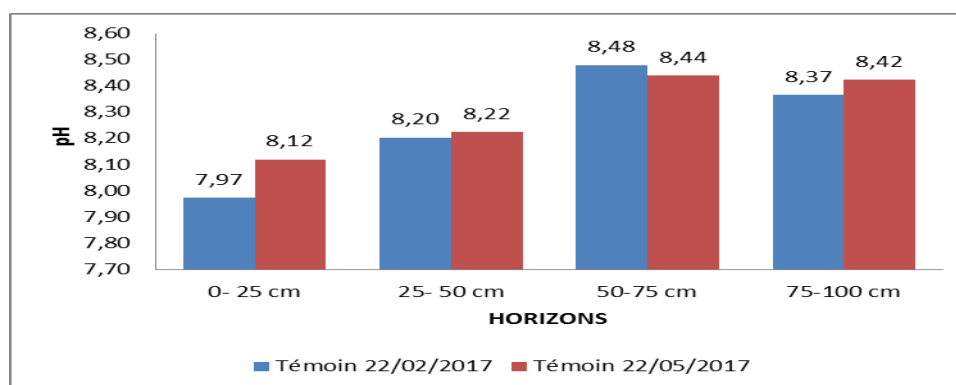
Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	8,03	8,24	8,51	8,45
CV%	4,08	1,85	3,65	1,79

2.2. Effet de l'incorporation du fumier sur le pH du sol

Pour la parcelle témoin les valeurs du pH ont subi une augmentation au niveau des horizons (0-25cm), (25-50cm) et (75-100cm), et une diminution dans l'horizon (50-75cm) dans la parcelle témoin dans la campagne du 22/05/2017 (figure 21).

Pour la parcelle expérimentale, les valeurs du pH ont subi une augmentation au niveau des horizons de profondeur (50-75cm) et (75-100cm), et une diminution dans les l'horizon de surface (0-25 cm) et (25-50cm) dans la campagne du 22/05/2017 (figure 23).

L'analyse de la variance des valeurs du pH de la parcelle traitée et non traitée montre une différence non significative (< 0,05 %) dans tous les horizons et pour les deux campagnes) (Annexe, Tableau 53-54-55-56).

**Figure 21.** Variation du pH dans la parcelle témoin

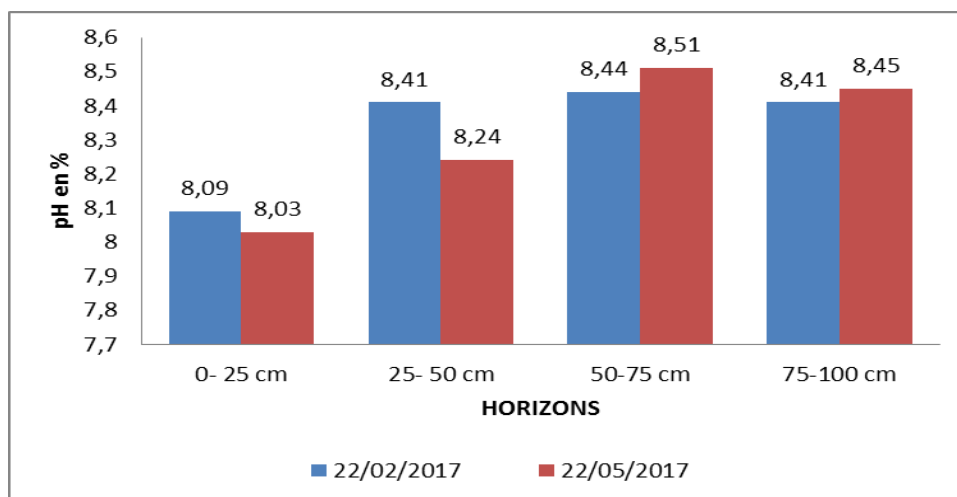


Figure 22. Effet de l’incorporation du fumier sur le pH

2-3-Analyses statistiques du calcaire total

Les tableaux 22, 23,24, 25 montrent que les teneurs en calcaire total sont homogènes au niveau des horizons et dans les deux campagnes, la moyenne varie de 18.40 % à 25.90 %, avec un faible coefficient de variabilité (CV< 15%) varie entre 1.13% et 11.97%.

Tableau 22.Résultats du calcaire total (CaCO₃ en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	21,37	20,52	20,94	21,93
CV%	1,13	3,17	8,19	9,75

Tableau 23.Résultats du calcaire total (CaCO₃ en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	20,66	21,37	21,51	19,81
CV%	11,32	11,97	6,01	1,22

Tableau 24.Résultats du calcaire total (CaCO₃ en %) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	18,96	18,96	19,53	18,40
CV%	3,44	5,63	12,10	8,72

Tableau 25. Résultats du calcaire total (CaCO_3 en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	21,93	22,64	25,90	23,92
CV%	8,95	2,14	1,64	8,94

2-4-Effet de l'incorporation du fumier sur le calcaire du sol

Pour la parcelle témoin les valeurs du calcaire total ont subi une augmentation au niveau des horizons (25-50cm), (50-75cm), et une diminution dans les horizons (25-50 cm) (75-100 cm) dans les deux campagnes (figure 25).

Pour la parcelle traitée les valeurs du calcaire total ont subi une augmentation au niveau de tous les horizons des deux campagnes (figure 26).

L'analyse de la variance à un critère des valeurs des taux de calcaire de la parcelle expérimentale avant traitement (22/02/2017) et après traitement (22/05/2017) a montré une différence significative pour tous les horizons sauf pour l'horizon (0-25cm) où la différence est non significative ($< 0,05\%$), (Annexe, Tableau 69-70-71-72).

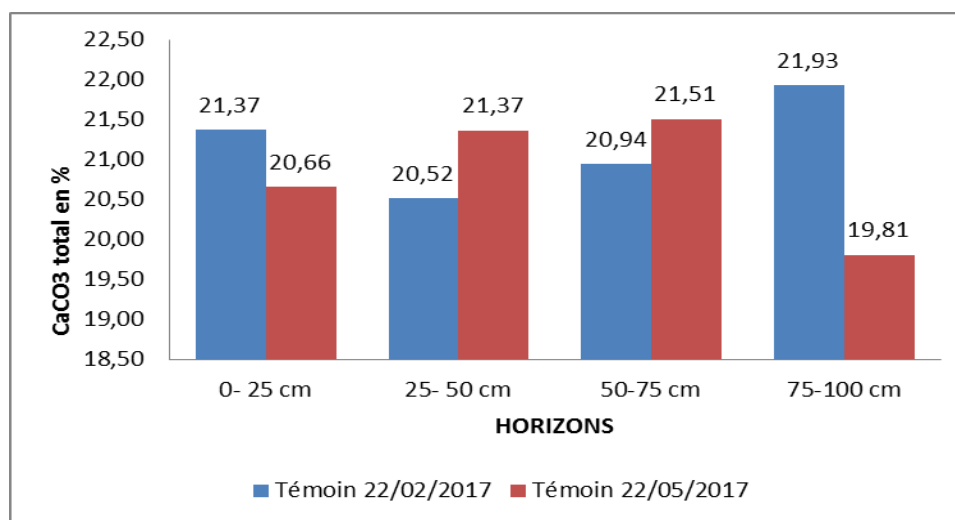


Figure 23. Variation du calcaire total dans la parcelle témoin

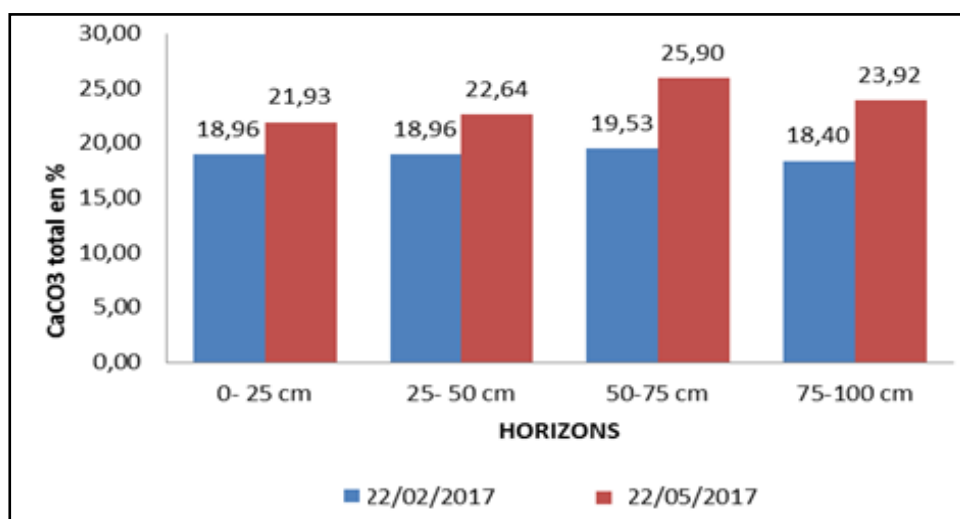


Figure 24. Effet de l'incorporation du fumier sur le calcaire total

2-5- Analyses de la matière organique (M.O)

Les tableaux 26,27, 28,29 montrent que le taux de la matière organique diminue avec la profondeur. Pour la parcelle témoin et pour les deux campagnes, la moyenne diminue avec la profondeur. Elle varie de 1.69% dans l'horizon de surface à 0.63%, dans l'horizon de profondeur. Ces valeurs indiquent que les valeurs de la matière organique sont faibles, en surface, et très faibles en profondeur. Pour la parcelle de traitement de la première campagne, le taux moyen de la matière organique varie de 2.01% dans l'horizon de surface à 0.36%, dans l'horizon de profondeur. Ces valeurs indiquent que les valeurs de la matière organique sont moyennes, en surface, et très faibles en profondeur. Pour la parcelle de traitement de la deuxième campagne, une forte augmentation du taux de la matière organique est observée, pour les horizons (0-25cm et 25-50cm) avec des valeurs moyennes respectives de l'ordre de 5% et 3.31%. Par contre pour les horizons profonds (50-75cm et 75-100cm), il a été observée une légère augmentation du taux de matière organique, avec des valeurs respectives de l'ordre de 1.06% et 0.50%.

Pour la parcelle témoin le coefficient de variation est modéré dans les horizons (25-50cm) et (50-75cm) pour les deux campagnes ainsi que dans l'horizon (75-100cm) de la deuxième campagne. Le coefficient de variation est par contre élevé pour les horizons (0-25cm) et (75-100cm) de la première campagne et très élevé pour l'horizon (0-25cm) de la deuxième campagne.

Pour la parcelle de traitement, le coefficient de variation est faible dans l'horizon (25-50cm) de la deuxième campagne et modéré dans les horizons (0-25cm) des deux campagnes. Il est par contre très élevé dans l'horizon (50-75cm) de la première campagne et l'horizon (75-

100cm) de la deuxième campagne et extrêmement élevé dans les horizons (25-50cm) et (75-100cm) de la première campagne et l'horizon (50-75cm) de la deuxième campagne.

Tableau 26.Résultats de la matière organique (en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,69	1,2	0,88	0,63
CV%	48,85	20,21	30,26	43,93

Tableau 27.Résultats de la matière organique (en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,58	1,27	0,88	0,63
CV%	50,42	22,17	25,38	29,17

Tableau 28.Résultats de la matière organique (en %) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,01	0,64	0,67	0,36
CV%	15,92	101,48	65,25	119,79

Tableau 29.Résultats de la matière organique (en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	5,00	3,31	1,06	0,50
CV%	26,11	12,80	113,57	74,72

2-6-Effet de l'incorporation du fumier sur la matière organique du sol

L'analyse de la variance à un critère des valeurs des taux de matière organique de la parcelle expérimentale avant traitement (22/02/2017) et après traitement (22/05/2017) a montré une différence significative ($p \leq 0.001$) pour les horizons (0-25cm) et (25-50cm). Pour les couches (50-75cm) et (75-100cm), la différence est non significative ($p \leq 0.05$), (Annexe, Tableau 74-75-76-77).

Concernant la parcelle témoin les taux de matière organique sont peu variables (figure 25).

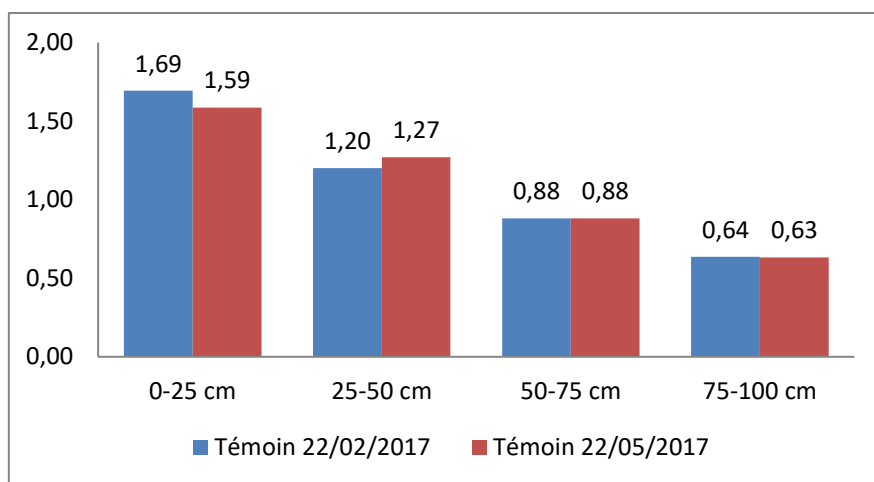


Figure 25. Variation du taux de matière organique dans la parcelle témoin

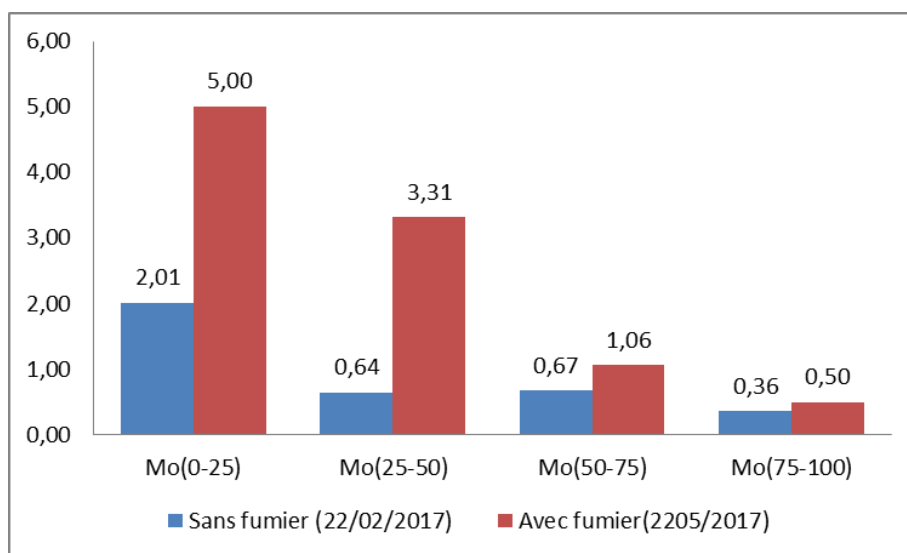


Figure 26. Variation du taux de matière organique dans la parcelle expérimentale

2-7- Analyses statistiques de la capacité d'échange cationique (CEC)

Les tableaux 30, 31, 32, 33 montrent que la capacité d'échange cationique (CEC) est en diminution vers la profondeur. Pour la parcelle témoin de la première campagne, les valeurs moyennes varient entre (17.54 et 12.98 meq/100g). Pour la parcelle témoin de la deuxième campagne les valeurs de la capacité d'échange cationique ont diminué par rapport à la première campagne avec des valeurs moyennes variant entre 14.48 et 8.49 meq/100g.

Pour la parcelle de traitement de la première campagne les valeurs moyennes de la capacité d'échange cationique varient entre (14.72 et 11.5 meq/100g) ; Pour la parcelle de traitement de la deuxième campagne, il est observé une forte augmentation des valeurs moyennes de la capacité d'échange cationique varient entre (17.50 et 12.82 meq/100g). Cette augmentation est surtout remarquée dans les horizons (25-50cm) et (50-75cm).

Pour la parcelle de témoin le coefficient de variation est faible $< 15\%$ dans tous les horizons pour les deux campagnes, sauf les horizons (50-75cm) et (75-100cm) de la première campagne et l'horizon (25-50cm) de la deuxième campagne qui ont un coefficient de variation modéré avec des valeurs moyennes respectives de l'ordre de (23.45 %,24.25 % et 15.69 %).

Pour la parcelle de traitement, la variabilité est faible dans les horizons (0-25cm) pour les deux campagnes, avec des valeurs respectives de l'ordre de (11.02% et 5.40%). Elle est cependant modérée dans les horizons (25-50cm) pour les deux campagnes et dans l'horizon (50-75cm) de la deuxième campagne, avec des valeurs moyennes respectives de l'ordre de (23.90% 19.47% ,18.47%). La variabilité est par contre élevée dans l'horizon (50-75cm) de la première campagne et dans les horizons (75-100cm) pour les deux campagnes, avec des valeurs moyennes respectives de l'ordre de (45.75% ,39.10% et 42.14%).

Tableau 30.Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	17,54	15,24	14,17	12,98
CV%	4,32	10,92	23,45	24,25

Tableau 31.Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	14,48	15,65	10,33	8,49
CV%	14,48	15,65	10,41	8,51

Tableau 32.Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	14,72	11,29	10,79	11,15
CV%	11,02	23,90	45,75	39,10

Tableau 33.Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	17,50	16,20	15,30	12,82
CV%	5,40	19,47	18,47	42,14

2-8-Effet de l'incorporation du fumier sur la capacité d'échange cationique du sol

L'analyse de la variance à un critère des valeurs de la CEC de la parcelle expérimentale avant traitement (22/02/2017) et après traitement (22/05/2017) n'a montré aucune différence significative (Annexe, Tableau 73-74-75-76).

Concernant la parcelle témoin les valeurs de la CEC ont subi une diminution au niveau des horizons (0-25cm), (50-75cm) et (75-100cm), pour la campagne du 22/05/2017 (figure29).

Contrairement, les valeurs de la CEC dans la parcelle expérimentale, ont subi une augmentation pour la campagne du (22/05/2017). Cette augmentation est observée dans tous les horizons, cependant les résultats statistiques demeurent non significatifs. Cela peut s'expliquer par le fait que l'évolution de la matière organique, sur une période de 03 mois, vers des composés humiques stables pour la formation des complexes argilo-humiques est lente.

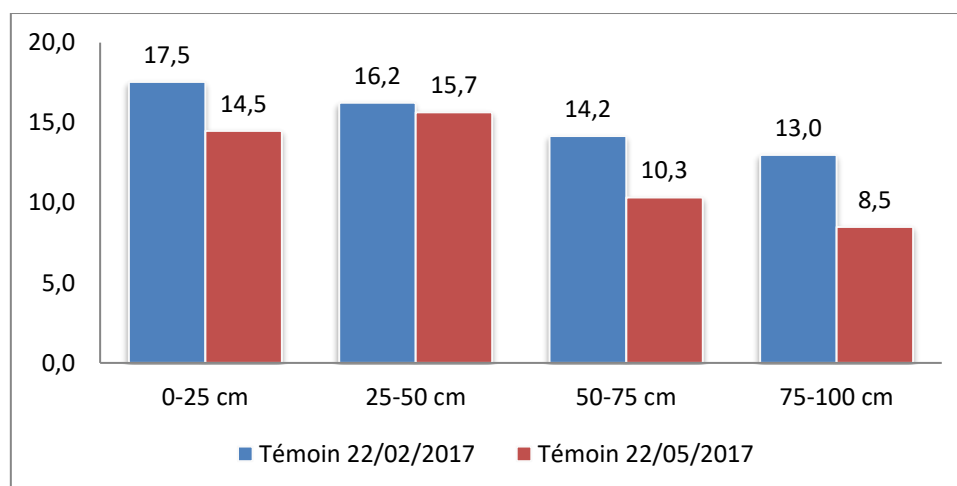


Figure27. Variation de la capacité d'échange cationique dans la parcelle témoin

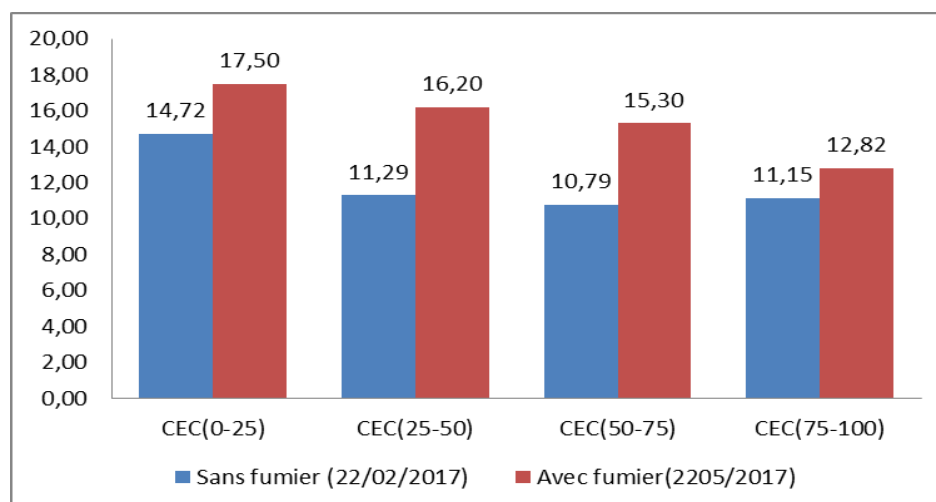


Figure28. Variation de la capacité d'échange cationique dans la parcelle expérimentale

3-Relation entre la MO et la CEC

L'analyse de la corrélation entre les valeurs moyennes de la matière organique et de la capacité d'échange cationique CEC (meq/100g) de la parcelle témoin et la parcelle de traitement pour les deux campagnes sa montré une bonne corrélation ($r^2 > 0.8$) qui est statiquement hautement significative.

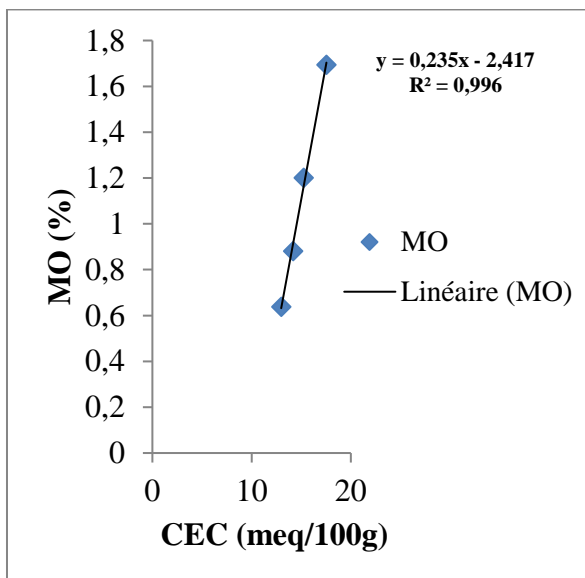


Figure 29. Corrélation entre MO et CEC pour la parcelle de Traitement de la première campagne.

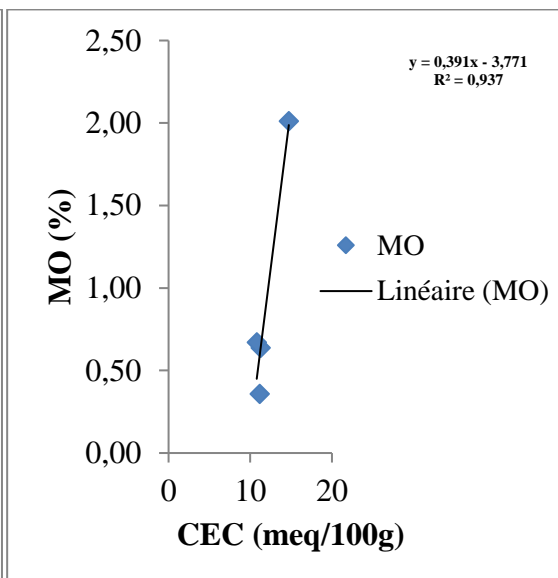


Figure 30. Corrélation entre MO et CEC pour la parcelle Témoin de la première campagne.

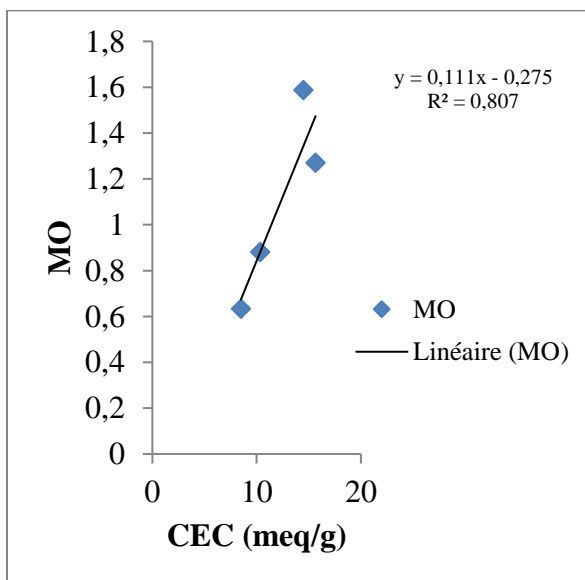


Figure 31. Corrélation entre MO et CEC pour la parcelle de Traitement de la deuxième campagne.

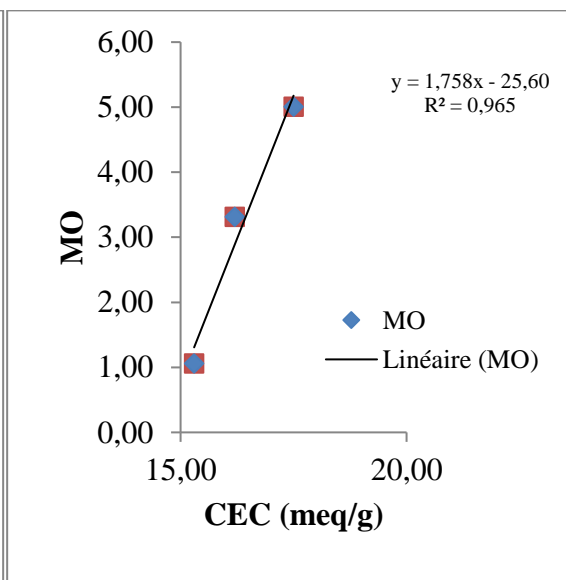


Figure 32. Corrélation entre MO et CEC pour la parcelle de Témoin de la deuxième campagne.

4- Caractérisation de la salinité du sol

4-1-Analyses de la conductivité électrique de la pâte saturée (CE_{ps}) et diluée ($CE_{1/5}$)

Les tableaux 34, 35, 36,37 montrent que la conductivité électrique moyenne de la pâte saturée est en augmentation progressive vers la profondeur. Ceci est expliqué par la concentration élevée en sels solubles au niveau de cette couche.

Pour la parcelle témoin les moyennes de la conductivité électrique ont subi une légère diminution dans la deuxième campagne par rapport à la première campagne dans les horizons (25-50cm, 50-75cm et 75-100cm), par contre une légère augmentation est observée dans l'horizon (0-25cm) avec des valeurs moyennes variant de 11.52dS/m à 15.38dS/m. ceci pourrait être expliqué par les remontées capillaires dues à l'évaporation élevée.

Pour la parcelle de traitement les moyennes de la conductivité électrique sont plus variables, elles affichent respectivement une légère augmentation entre les deux campagnes, dans la couche superficielle (0-25cm) avec une valeur moyenne passant de (15.94 dS/m) à (19.94dS/m). Pour les horizons (25-50cm) et (50-75cm) les valeurs moyennes de la conductivité électriques sont plus homogènes dans les deux campagnes de mesures avec des valeurs de l'ordre (21.20dS/m et 22.99dS/m) pour l'horizon (25-50cm), (20.12dS/m et 22.86dS/m) pour l'horizon (50-75cm) et (24.73dS/m et 23.63dS/m) pour l'horizon (75-100cm).

La salinité moyenne de la couche (0-100cm) révèle que la salinité se situe dans la partie inférieure du profil, ce type de profil salin a été qualifié de descendant par (Servant ,1975) (Fig. 35).

Pour la parcelle témoin, le coefficient de variation est faible pour la plus part des horizons, sauf pour les horizons (0-25cm) et (50-75cm) de la première campagne qui ont un coefficient de variation modéré avec des valeurs respectivement de l'ordre de 32.53 % et 26.17%, et l'horizon (0-25cm) de la deuxième campagne qui a un coefficient de variation très élevé avec une valeur de 60.95%.

Pour la parcelle de traitement la viabilité spatiale est faible ($CV < 15\%$) pour les horizons (75-100cm) de la première campagne et les horizons (0-25cm) de la deuxième campagne ; modéré dans les horizons (0-25 cm) de la première campagne et les horizons (25-50 cm),(50-75cm) et (75-100cm) de la deuxième campagne ; Elevé pour les horizons (25-50cm) et (50-75 cm) de la première campagne .

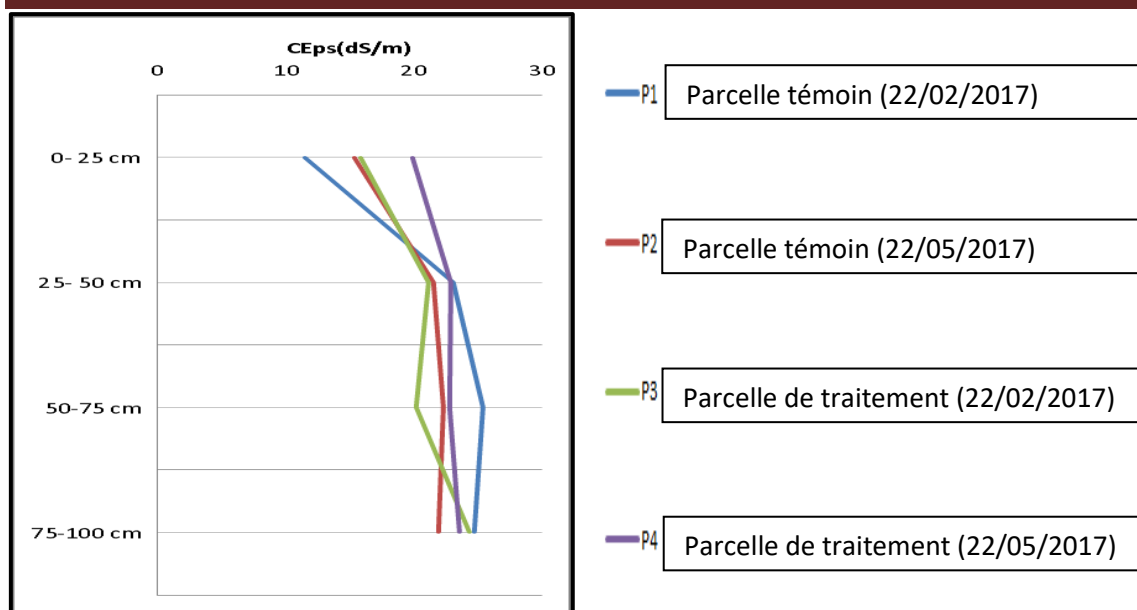


Figure 33. Profils salins moyens

Tableau 34. Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} dS/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017)

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	11,52	23,15	25,43	24,79
CV%	32,53	4,25	26,17	2,62

Tableau 35. Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} dS/m) de parcelle Témoin (22/05/2017)

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	15,38	21,62	22,39	22,00
CV%	60,95	9,45	11,76	5,77

Tableau 36. Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} dS/m) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	15,94	21,20	20,25	24,37
CV%	21,19	37,32	46,12	9,37

Tableau 37. Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} dS/m) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19,94	22,99	22,86	23,63
CV%	14,98	22,43	17,94	17,11

4-2-Effet de l'incorporation du fumier sur la CEps du sol

L'analyse de la variance à un critère des valeurs de la Ceps de la parcelle expérimentale avant traitement (22/02/2017) et après traitement (22/05/2017) n'a montré aucune différence significative (Annexe, Tableau 61-62-63-64).

Concernant la parcelle témoin les valeurs de la **Ceps** ont subi une diminution au niveau des horizons (25-50cm), (50-75cm) et (75-100cm), et une augmentation au niveau de l'horizon (0-25cm) de la campagne du 22/05/2017 (figure 36).

Contrairement, les valeurs de la **Ceps** dans la parcelle expérimentale, ont subi une augmentation pour la campagne du (22/05/2017). Cette augmentation est observée dans tous les horizons, sauf pour l'horizon de profondeur (75-100cm) où la Ceps a légèrement diminué (figure 37).

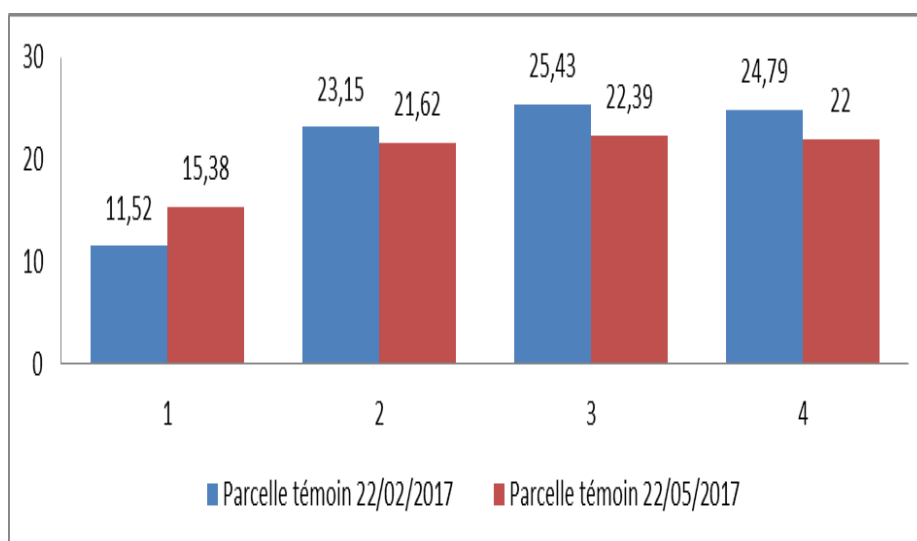


Figure 34. Variation de la CEps de la parcelle témoin

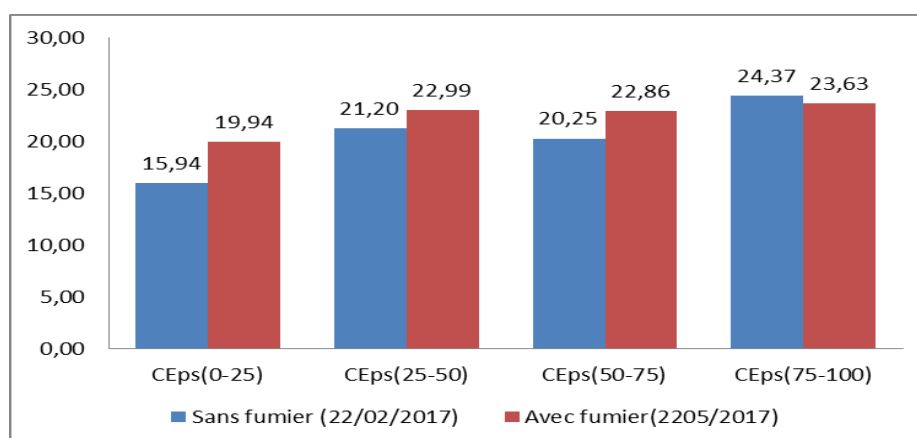


Figure 35. Variation de la CEps de la parcelle de traitement

4-3-Conductivité électrique de l'extrait dilué (CEd_{1/5})

Les tableaux 38,39,40,41 montrent que la salinité est en augmentation progressive vers la profondeur, pour la parcelle témoin les valeurs moyennes passent de 1.95 ds/m pour l'horizon de la surface à 2.80 ds.m⁻¹ pour l'horizon profond dans la première campagne, et de 2.83 ds.m⁻¹ pour l'horizon de surface à 3.58 ds.m⁻¹ pour l'horizon profond dans la deuxième campagne.

Pour la parcelle de traitement la conductivité CEd_{1/5} passe de 1.66 ds.m⁻¹ pour l'horizon de surface à 3.14 ds.m⁻¹ pour l'horizon profond dans la première campagne, et de 3.29 ds.m⁻¹ dans l'horizon de surface à 4.59 dans l'horizon de profondeur ,dans la deuxième campagne.

Les résultats des tableaux révèlent que la conductivité électrique de l'extrait dilué CEd_{1/5} pour l'ensemble des horizons se situe entre 1.66 ds.m⁻¹ et 4.59 dS/m

Pour la parcelle témoin de coefficient de variation et faible < 15% pour les horizons (50-75cm) et (75-100cm) de la deuxième campagne avec des valeurs respectivement de l'ordre de 4.42% et 2.79% ; Modéré pour le reste des horizons des deux campagnes sauf l'horizon (0-25cm) de la première campagne qui a une variabilité élevé avec une valeur de 41.03 %.

Pour la parcelle de traitement la variabilité et faible pour tous les horizons sauf les horizons (50-75cm) et (75-100cm) de la première campagne qui ont un coefficient de variation modéré avec des valeur respectivement de l'ordre de 34.29% et 34.75 %,et l'horizon (0-25cm) qui a une variation élevé avec une valeur de 42.27 % .

Tableau 38.Résultats de la conductivité électrique (CEd_{1/5}) de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,95	2,57	2,65	2,80
CV%	41,03	27,33	23,32	18,42

Tableau 39.Résultats de la conductivité électrique (CEd_{1/5}) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,83	3,94	3,99	3,58
CV%	26,68	28,46	4,42	2,79

Tableau 40.Résultats de la conductivité électrique (CEd_{1/5}) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,66	2,28	2,62	3,14
CV%	42,27	1,77	34,29	34,75

Tableau 41. Résultats de la conductivité électrique ($CE_{1/5}$) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	3,29	3,92	3,90	4,59
CV%	6,79	2,22	0,51	7,36

4-4-Effet de l'incorporation du fumier sur la $CE_{1/5}$ du sol

L'analyse de la variance à un critère des valeurs de la $CE_{1/5}$ de la parcelle expérimentale avant traitement (22/02/2017) et après traitement (22/05/2017) a montré une différence significative pour les horizons (0-25cm) et (25-50cm) et non significative pour les autres horizons (Annexe, Tableau 57-58-59-60).

Concernant la parcelle témoin les valeurs de la $CE_{1/5}$ ont subi une augmentation au niveau de tous les horizons (figure 36).

De même que pour la parcelle témoin, les valeurs de la $CE_{1/5}$ dans la parcelle expérimentale, ont subi une augmentation pour la campagne du (22/05/2017). Cette augmentation est cependant significative pour les horizons (0-25cm) et (25-50cm), ce qui signifie que l'incorporation du fumier provoqué une augmentation significative de la $CE_{1/5}$.

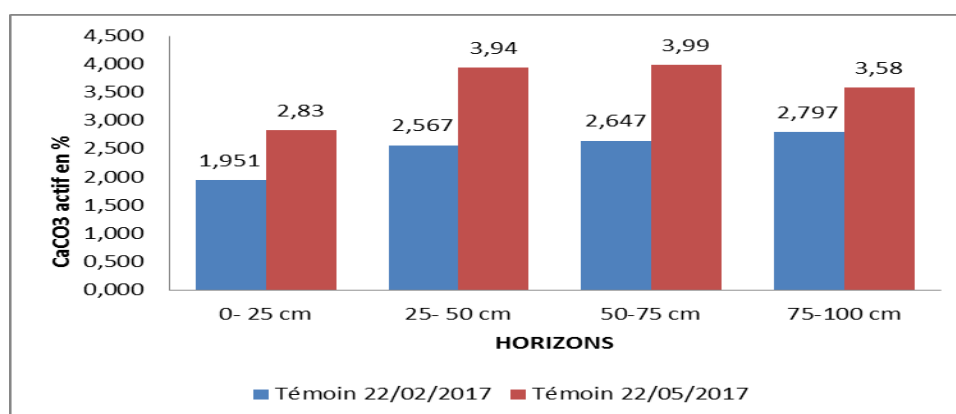


Figure 36. Variation de la $CE_{1/5}$ dans la parcelle témoin

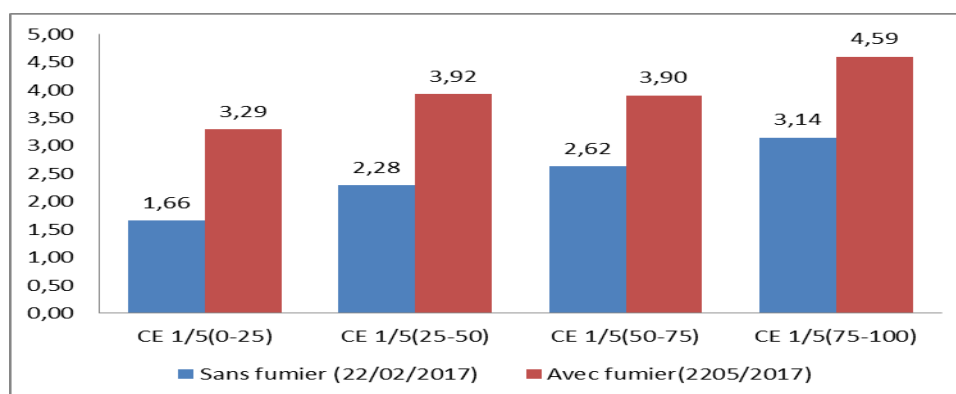


Figure 37. Variation de la $CE_{1/5}$ dans la parcelle expérimentale

Partie II. Discussion générale

1. Les paramètres physico-chimiques du sol

L'étude expérimentale de ce travail de recherche qui a été effectuée au plein champ, avait pour objectif principal d'étudier l'effet de l'incorporation du fumier sur les propriétés des sols salés. Cette étude nous a permis de tester l'efficacité de la fumure organique dans les sols salés par le suivi de quelques paramètres physiques et chimiques du sol.

L'analyse granulométrique montre la dominance de la fraction argileuse et limoneuse, donc comme résultat nous sommes dans un sol lourd, et comme la parcelle est une zone de dépression, ça explique le taux de salinité élevé et aussi la présence d'une nappe perchée à faible profondeur.

L'apport organique a diminué le pH du sol, sans pour autant le rendre neutre. La diminution concerne l'horizon de surface (0-25) et l'horizon (25-50cm).

La matière organique ovin a diminué le pH, avec un minimum de diminution (7,62) obtenu dans l'horizon (0-25cm) et avec une moyenne de 8,03. Pour l'horizon (25-50cm) ces valeurs sont de (8.11) pour le minimum et (8.24) pour la moyenne.

Ce décroissement est dû à la libération des acides organiques des matières organiques apportées dans ces deux horizons (**SCHINZER et KHAN, 1985 in CHAMAYOU et LEGROS, 1989**). Selon **MUSTIN (1987)**, le pH dépend de la concentration en ions H^+ provenant de l'oxydation du carbone de la matière organique.

L'étude du calcaire total a démontré une augmentation significative de **4 %** dans presque tous les horizons de la parcelle de traitement dans la deuxième campagne, sous l'effet du remaniement par le labour.

Pour la matière organique, les taux diminuent vers la profondeur et varient entre (2% <MO<5%) pour les couches superficielles et (MO < 1%) pour les couches profondes. Pour la parcelle témoin les taux de matière organique demeurent faibles et ont très peu changé avec le temps. Par contre ceux de la parcelle expérimentale ont fortement augmenté pour atteindre des valeurs moyennes de 5%, pour l'horizon de surface et de 3.31% pour l'horizon (25-50cm) à la fin de l'expérimentation.

La matière organique contribue et facilite l'obtention d'un état structural stable (**Morie,1995 cité par Roula ,2005**) par conséquent, il y aurait une meilleure porosité, une bonne perméabilité, une meilleure aération et un meilleur réchauffement du sol. Comme elle joue un rôle important dans la rétention de l'eau (**Jaunes et Jacodsen ,2001**). Aussi sous l'action de microorganismes du sol, elle libère les éléments minéraux qui sont indispensables à la nutrition et au développement des plantes (**Bollag et al.,1998**) .

La capacité d'échange cationique exprime l'aptitude d'un matériau à retenir des cations sous forme échangeable. C'est une propriété des sols à la fois utile et intéressante (**CALVET, 2003**).

D'après **BOCKMAN et al (1990)**, certains sols (particulièrement sableux légers), ont une faible capacité d'échange en cations. L'application de la matière organique à ce type de sol contribue donc à l'augmentation de la capacité d'échange cationique de ces terres (**CHARREAU, 1975**).

La capacité d'échange cationique présente une différence non significative avec le type de matière organique apportée.

D'après les analyses statistiques, la capacité d'échange cationique a augmenté dans tout le profil, dans la parcelle traitée par l'apport du fumier. Celle-ci passe de 14,72 méq/100g de sol à 17,5 méq/100g de sol pour l'horizon (0-25cm), de 11,29 méq/100g de sol à 16,2 méq/100g de sol pour l'horizon(25-50cm), de 10,79 méq/100g de sol à 15,3 méq/100g de sol pour l'horizon(50-75cm) et de 11,15 méq/100g de sol à 12,82 méq/100g de sol pour l'horizon(75-100cm).

Contrairement à ces valeurs, la capacité d'échange cationique a diminué ; dans la parcelle témoin. Celle-ci passe de 17,54 méq/100g de sol à 14,48 méq/100g pour l'horizon (0-25cm), de 16,24 méq/100g de sol à 15,65 méq/100g de sol pour l'horizon(25-50cm), de 14,17 méq/100g de sol à 10,33 méq/100g de sol pour l'horizon(50-75cm) et de 12,99 méq/100g de sol à 08,50 méq/100g de sol pour l'horizon (75-100cm).

Nos résultats confirment ceux trouvés par **TOURIÉS et al (2000)** qui ont indiqué que la fertilisation organique conduit à une augmentation de la capacité d'échange cationique. L'augmentation de la capacité d'échange cationique de la matière organique est due à l'existence des groupements carboxyles (-COOH) (**CHARREAU, 1975 et BAIZE, 2000**).

Selon **BAIZE (2000)**, la capacité d'échange cationique augmente avec le degré d'humification. Elle présente une grande variation avec le mode d'humification de la matière organique (**BONNEAU et COLL, 1968 in MUSTIN, 1987**).

Les résultats de la capacité d'échange cationique montrent que l'apport organique améliore de façon non significative la capacité d'échange cationique en libérant des composés organiques générateurs d'électronégativité et permettant de fixer les cations.

La conductivité électrique permet d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous; elle ne s'applique qu'aux terres salées et aux terres à taux de fertilisation très élevé. (**AUBERT, 1978**).

Il est bien connu qu'une fertilisation organique contribue à la mise en valeur des sols influencés par la salinité (**MONNIER, 1965, HENIN et al, 1969, HALITIM, 1973...**). Ces effets dépendent de la nature et de la quantité de la matière organique utilisée.

Dans notre travail expérimental nous avons effectué un suivi de la teneur en sels dissous à l'aide de la conductivité électrique, dans les quatre horizons du sol de la parcelle témoin et de la parcelle traitée par le fumier.

L'analyse de la variance montre un effet significatif, sur la conductivité électrique de l'extrait dilué ($CE_{1/5}$), par l'utilisation du fumier organique, avec une moyenne de 3,29 et 3,92 dS/m respectivement pour l'horizon (0-25cm) et (25-50cm). Pour les horizons (50-75cm) et (75-100cm) et malgré une augmentation de la conductivité électrique (moyenne respective de 3.83 et 4.59 dS/m), l'analyse de la variance montre un effet non significatif.

La conductivité électrique varie de façon significative avec l'apport de la matière organique. **MALLOUHI (1979)** a indiqué que dans les sols salés, la matière organique fraîche améliore la stabilité structurale et par conséquent facilite le lessivage des sels.

Nous remarquons que l'augmentation de la conductivité électrique est importante entre le premier et le deuxième prélèvement ceci s'explique par une minéralisation de la matière organique. **TOUTAIN (1979)** a indiqué que dans les sols sahariens, la matière organique étant détruite rapidement en climat chaud sous irrigation.

Conclusion Générale

Les sols salés sont réputés posséder des caractéristiques aussi bien physiques que chimiques très particulières et posent des problèmes agronomiques et environnementaux. De ce fait, il est impératif de raisonner convenablement les apports organiques comme amendement pour améliorer la situation dégradée de ces sols. C'est dans ce contexte que nous avons essayé de déterminer l'effet d'un amendement organique (fumier ovin) sur quelques propriétés physiques et chimiques d'un sol salé. Notre expérimentation a été réalisée dans une parcelle expérimentale, en conditions climatiques semi-arides de la région de Relizane.

Durant cet essai, il s'est avéré que sous l'effet de l'amendement, quelques propriétés physiques et chimiques du sol paraissent s'améliorer, mise à part la salinité.

L'analyse de l'ensemble des paramètres étudiés permet de tirer les conclusions suivantes :

- **L'apport organique a légèrement diminué le pH du sol**, sans pour autant le rendre neutre. La diminution concerne l'horizon de surface (0-25) et l'horizon (25-50cm). Le pH minimal obtenu à la fin de l'expérimentation est de 7,62, dans l'horizon (0-25cm) avec une moyenne de 8,03. Pour l'horizon (25-50cm) ces valeurs sont de 8.11 pour le minimum et de 8.24 pour la moyenne.
- **En ce qui concerne la conductivité électrique**, la matière organique a augmenté la salinité du sol grâce à la minéralisation de ces constituants organiques. La conductivité électrique croît pendant l'essai avec des valeurs situées entre 3.29 et 4.59 mS/cm obtenues à la fin de l'expérimentation dans les différents horizons la parcelle traitée.
- **L'étude du taux de calcaire** a montré que l'utilisation du fumier n'a aucun effet sur le taux de calcaire.
- **L'étude de la matière organique** a montré que l'utilisation du fumier comme amendement est très positive. On constate une nette amélioration de la matière organique ou le meilleur résultat est obtenu est de 5% dans l'horizon (0-25cm) et 3.31% dans l'horizon (25-50cm).
- **L'étude de la capacité d'échange cationique** a montré que l'utilisation du fumier comme amendement est positive. On constate une légère amélioration de la capacité d'échange cationique ou le meilleur résultat est obtenu est de 17,5 méq/100g de sol dans l'horizon (25-50cm) et 16.2 méq/100g de sol dans l'horizon (25-50cm).
- **L'analyse de la corrélation** entre les valeurs moyennes de la matière organique et de la capacité d'échange cationique CEC (meq/100g) de la parcelle témoin et la parcelle de

traitement pour les deux campagnes a montré une bonne corrélation ($r^2 > 0.8$) qui est statistiquement hautement significative.

Au terme de cette étude, nous pouvons dire que l'amendement par le fumier ovin influe sur quelque propriété du sol. Les propriétés du sol salé paraient relativement corrigées à l'exception de la salinité qui augmente.

Références bibliographiques

- Abiven S., 2004.** Relation entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et l'évolution de la stabilité structurale du sol. L'agro compagne. Rennes. INRA.262p.
- AFNOR., 1977.** Aliments des animaux. Dosage des cendres brutes.NFV.18-101.2p. **AFNOR., 1992.** Sol : reconnaissances et essais. Norme française. 16p.
- AFNOR., 1993.** Produits agricoles et alimentaires. Détermination de la cellulose brute. NF V 03-040. 12p.
- AFNOR., 1996.** Sol : reconnaissance et essais. Norme française. 15p.
- Aubert G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. Edit.C.R.D.P.Marseille.189p.
- Ayers [RS.](#) et Westcot D.W., 1988.** La qualité d'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage. N° 29 FAO. Rome. 180p.
- Baize D., 2000.** Guide des analyses en pédologie. Choix. Expression. Présentation. Interprétation. 2^{ème} Ed. INRA. Paris. 257p.
- Balesdent J., 1996.** Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. Etude et gestion des sols. INRA.(afes). Vol 3 N°4. Paris. pp 245-260.
- Barry J.P., Faurel L., Baumgatner N., Belin B., Celles J.C. et Kada A., 1968.** Carte de la végétation de l'Algérie, feuille de Ghardaia (1/500 000). Inst de cart de l'Univ d'Alger.

Barry J.P., Faurel L., Baumgatner N., Belin B., Celles J.C. et Kada A., 1973. Notice du feuille de Ghardaia : carte de la végétation de l'Algérie à 1/500 000. . Mém. Soc. Inst. Nat. Afr N°11.1254p.

Birch H., 1988. The effect of soil drying on humus and nitrogen availability. Plant and soil, 10. pp 9-32.

Bockman O.C., Karsted O., Lie O.H. et Richard I., 1990. Agriculture et fertilization-les engrais leur avenir. Edit. Taugen Grafiste. Centre. Oslo.258p.

Boissezon P., 1977. Essai de determination du role des matières organiques dans la capacité d'échange des sols ferraliques. Science du sol. Vol 2. pp 61-68.

Bodet J.M., Hacala S., Aubert C. et Texigr C., 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme. IE.ITVAI, ITCF, ITP. Paris.104p.

Calvet R., 2003. Le sol propriétés et fonctions. Tome 1. Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Edit. France Agricole. 455p.

Callot G., Chamayou H., Maertens C. et Salsac L., 1982. Les interactions sols racines. Incidences sur la nutrition minérale. INRA. Paris. 325p.

Castany G., 1983. Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed.DUNOD. Paris. pp 33 -228.

Chamayou H. et Legros J.P., 1989. Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Technique vivante. Presses universitaires de France. Paris. pp 212-213.

Charreau G., 1975. Matière organique et biochimique du sol dans les zones tropicales sèches d'Afrique occidentale. Bullet. Pédol. FAO. N° 27. Rome. pp 303-323.

Dambébé Y., Somé L., Zomboudré G. et Diabri S., 1999. Irrigation de complément du riz pluvial sur des sols sableux conditionnés avec de la matière organique au Sud-Ouest du Burkina Faso. *Sécheresse*. 10 (2). pp 143-149.

Daoud Y. et Halitim A., 1994. Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse*. 5(3). pp151-160.

Davet P., 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. INRA. Paris. 383p.

Delas J., 1971. Évolution des propriétés d'un sol sableux sous l'influence d'apport massif et répété de matières organiques de différentes origines. *Ann. Agr.* vol 5 (22). pp 585-610.

Donahy R., 1958. Nature des sols et croissance végétale. Ed. D'organisation. Paris. 312p.

Douadi F. et Sahraoui K., la palmeraie de l'ITAS. Etude et possibilité d'aménagement. Mém. Ing. ITAS. Ouargla.

Dresh J., 1975. Mémoires et documents. Serv. Doct et de Cart. Géogra. Ed CNRS. Vol 17. 291p.

Dridi B. et Toumi C., 1999. Influence d'amendements organiques et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. Etude et gestion des sols, 6(1).pp 7-14.

Dubief J., 1950. Évaporation et coefficient climatiques au Sahara. Tra. Inst. Rech. Sci. Paris. Tome 6.344p.

Dubief J., 1963. Le climat du Sahara. Mém. Inst. Rech. Saha. Alger. Tome I. 298p.

Dubost D., 1991. Écologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse. Doct. Univ. Géo et Amén. Univ François Rablais. Tours. 290p.

Dubost D., 1992. Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis Algériennes. Sécheresse. 2(3). pp85-96.

Duchaufour Ph., 1965. Précis de pédologie. Masson. Paris. 481p.

Duchaufeur Ph., 1977. Pédologie. Pédogenèse et classification. Edit. Masson. Paris. Tome 1. 477p.

Duchaufour Ph., 1979. Pédologie, constituants et propriétés du sol. Ed Masson. Paris. 480p.

Duchaufour Ph., 1995. Abréges pédologie : sol, végétation, environnement. 4^{ème}Ed. Masson. Paris.324p.

Durant J.H., 1954. Les sols d'Algérie. S.E.S. Alger. 244p.

Durant J.H., 1959. Les sols rouges et les croûtes en Algérie. SES. Alger. 187p.

Durand J.H., 1983. Les sols irrigables. Etude pédologique. Edit. Imprimerie. Boudin. Paris.339p.

Duthil J., 1973. Elément d'écologie et d'agronomie. Tome II. Exploitation et amélioration du milieu. Ed.J.B. Baillièrè. Paris. 265p.

Dutil P., 1971. Contribution à l'étude des sols et des paléosols du sahara. Thèse doct d'état. Faculté des sciences de l'université de Strasbourg. 346p.

Feller C., 1994. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 :1 : recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse de Doctoral. Univ. Strasbourg (ULP).190p.

Gary M., Zenshi P., Thamas Sims-George J. et Vance F., 1994. Soil and environmental quality. CRC. Press. 313p.

Gaucher G., 1968. Traité de pédologie, agricole, le sol et ces caractéristiques agronomiques.éd DUNOD. Paris. 578p.

Gobet J.M., Aragno M. et Mathey W., 1998. Le sol vivant, bases de pédologie des sols. Ed. Presses Polytechnique et Universitaire. Ramandes. 519p.

Grim R.E., 1953. Cly mineralogy. Toronto. Londres. 384p.

Grissa H. et Ben Khedher M., 2000. Culture Maraîchère. Principes de base en agriculture biologique. Centre Technique de l'agriculture biologique.33p.

Hadjaidji-Ben Seghir F., 2002. Contribution à l'étude de l'avifaune nicheuse de la palmeraie de la cuvette de Ouargla. Mémoire magistère. Inst.N.A. EL Harrech. Alger.187p.

Halilat M.T., 1993. Etude de la fertilisation azoté et potassique sur le blé dure (variété Aldura) on zones sahariennes (région de Ouargla). Mémoire. Magis. Batna. 130p.

Halilat M.T., 1998. Étude expérimentale de sable additionné d'argile, comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques. Thèse. Doct. I.N.R.A. I.N.A. Paris. Grigon. 229p.

Halilat M.T., Dogar M.A. et Badraoui M., 2000. Effet de l'azote, du potassium et de leur interaction sur la nutrition du blé sur sol sableux du désert algérien. Revue. Homme, terre et eaux. Vol.30 (115). pp 32-39.

Halitim A., 1973. Étude expérimentale de l'alimentation des sols sodiques de l'Algérie. Thèse Doct.U.E.R.des sciences biologiques.170 p.

Halitim A., 1988. Sols de régions arides d'Algérie. Alger. 384p.

Hamdi-Aissa B. et Ferodoff N., 1997. Salt affected soil functioning at the Ouargla Oasis (Northern Sahara of Algéria) In: International Symposium on Sustainable Management of Salt affected Soil. Ed. EL Gala.A. Blum. W.E.H. ISSS-FAO. pp 153-154.

Hamdi Aissa B. et Girard M., 2000. Utilisation de la télédétection en régions sahariennes pour l'analyse et l'exploitation Spatiale des pédopaysages. Sécheresse. Vol 11(3). pp 179-188.

Hamdi-Aissa B., 2001. Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Thèse. Doct. Inst. Nati. Agr. Grignon. 194p.

Hakimi M., 1976. Contribution à la prospective d'une agriculture irriguée dans les régions Nord Sahariennes. Première conférence régionale Afro-Asiatique de la C.I.I.D. 45p.

Henin S. et al., 1970. Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Ed. Masson et C.I.E. 128p.

Hillal D., 1974. L'eau et le sol : principes et processus physiques. Poly Académie. Press. Neuyourk.357p.

Jacquin F., Mallouhi N. et Gallati., 1979. Étude sur l'intensité du transfert de matière organique sous l'influence de la salinité. C.R.A.D. So. Paris. Pp 1229-1231.

Jourdan O., 1983. Contribution à l'étude de la capacité de rétention en eau des sols, cas de deux sols MALGACHES. Thèse. Doct. 136p.

Lahmar F., 1992. Cartographie des sols de l'exploitation de INFSAS (Ouargla). Etude pédologique et thématique. Mém. Ing. INFSAS. Ouargla.50p.

Lasnier-Lachaise L., 1973. Agronomie nouvelle. Flammarion. Paris. 284p.

LE Houerou H.N., 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique (diversité biologique, développement et désertification). Options méditerranéennes. Série B.N°10. Montpellier.396p.

Mallouhi N., 1979. Contribution à l'étude d'évolution du compost urbain dans les sols salés carbonatés. Thèse. Doct. Ing. 104p.

Margat J., 1990. Les gisements d'eau souterraine. La recherche. pp221, 590-596.

Margat J., 1992. Quelles ressources en eau les grands Aquifères offrent-ils ? Observatoire du Sahara et du Sahel, le craie.14p.

Meftah H., 1988. Influence d'un apport de litière de volailles et de fumier ovin en sol saharien nu et irrigué de la région de Ouargla, dynamique du carbone et humification. Thèse. Ing. Uni. Ouargla. 58p.

Monniers G., 1965. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Ann. Agron. 16 (4 et 5). pp 327-534.

Moreau R., 1983. Evolution des sols sous différents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière et pré forestière. Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédol. 20 (4). pp 311-325.

Morril L.G., Mahilum B.C. et Mohiuddin S.H., 1982. Organic compounds in soils: sorption, degradation and persistence. Science. Publisher. 326p.

Mustin M., 1987.Le composte, gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc. Paris. 954p.

O.N.M., 2006. Données météorologiques de Ouargla.4p.

Oustani M., 1993. Contribution à l'étude de l'influence certains amendements organiques (palmes de dattier, crottes du dromadaire) sur les propriétés biologiques et chimiques d'un sol salé de la région de Ouargla. Thèse d'Ing. INFSAS. Ouargla. 128p.

Ozenda P., 1983. Flore du sahara. Ed. Centre. Nati. Rech. Sci. Paris.622p.

Parr J.F., 1973. Nature and significance of inorganic transformation in tile drained soil. Soil and fertilizers. N°32. pp 411-415.

Passager P., 1957. Ouargla (Sahara constantinois). Etude géographique et médicale. Arch. Inst. Pasteur. Alger. 35 (2) : pp 99-200.

Pochon J. et Deberjac H., 1958. Traité de microbiologie du sol. Application agronomique. Ed. DUNOD. Paris. 685p.

Poget M., 1980. Les relations sol végétation dans les steppes Sud-algéroises. O.R.S.T.O.M. Paris. 555p.

PNUD-UNESCO., 1972. Projet Reg 100. Étude des ressources en eau du Sahara septentrionalRaport sur les résultats du projet. U.N.E.S.C.O. Paris.20p.

Prévot A.R., 1970. Humus, biogenèse biochimie biologie. Edit. Tourelle. Saint-Mandé.342p.

Ribiero R.M., Moureaux C. et Novicoff A., 1976. Etude comparative de l'altération microbienne des différents minéraux constituants d'une diabase. Cah. O.R.S.T.O.M. Vol XIV. N°2. pp 161-168.

Rognon P., 1994. Les principaux sols du Maghreb. In « Désertification et aménagement ». Med. Compus N°8. Cours de séminaire Mednin (Tunisie). Agadir (Maroc. Caen).pp 89-112.

Rouvilois-Brigol M., 1975. Le pays de Ouargla (Sahara Algérien). Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Ed. Publ. Dépar. Géol. Univ. Sorbonne. Paris. Tome 2.316p.

Sarag ., 1985. Étude méthodologique de la matière organique des sols. Cas de matière organique des sols de semi-aride du Hodna. Ann. Inst. Agr. d'Alger. 9(1). pp 100-125.

Sahnoune M., 1986. Contribution à l'étude des litières de volailles comme amendement organique en culture maraîchère sous trois étages bioclimatiques. Thèse. Mag. I.N.A. Alger. 65p.

Soltner D., 2003. Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et Techniques Agricoles.23^{ème}. Ed. Paris. 472p.

Thuriès L., Arrufat A., Dubois M., Feller C., Herrmann P., Larré-Larrouy M.C., Martin C., Pansu M., Rémy J.C. et Viel M., 2000. Influence d'une fertilisation organique et de la solarisation sur la productivité maraîchère et les propriétés d'un sol sableux sous abri. Etude et gestion du sol. 7 (1). pp 73-88.

Toutain G., 1979. Élément d'agronomie saharienne De la recherche au développement. I.N.R.A. Paris.276p.

Vanghan D. et Malcolm R.E., 1985. Soil organic matter and biological activity. Development in plant and soil sciences. Martinus Nijhoff. Vol. 16. 469p.

Vilain H., 1999. Méthodes expérimentales en agronomie (pratique et analyse). Edit : Tec et Doc. Paris.337p.

Wilczynki A.W., Renger M., Jozefaciuk G., Hajnos M. et Sokoloska Z., 1993. Surface area and C.E.C as related to qualitative and quantitative change of forest soil organic matter after liming. *Zpflanz Bodenk.* 156 (3). pp 235-238.

Annexe :

1. Les tableaux

Tableau2. Classes d'intensité du coefficient de variabilité (Nolinet al, 1997).

Intensité de la variabilité	Coefficient de variation (%)
Faible	<15
Modérée	15-35
Elevée	35-50
Très élevée	50-100
Extrêmement élevée	>100

Tableau 3.Interprétation des valeurs du PH du sol,Norme d'après (AFES, INRA ,1988).

Classe de réaction du sol	PH eau
Hyper acide	<3.5
Très acide	3.5-5
Acide	5-6.5
Neutre	6.5-7.5
Basique	7.5-8.5
Très basique	>8.5

Tableau 4.Conductivité électrique de l'extrait aqueux au 1/5 (ds/m), Norme ISO 11265.

Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
C.E Extrait 1/5(ds/m)	0.6	1.2	2.4	6

Tableau 5.Conductivité électrique de la pâte saturée (ds/m)

Echelle de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (dS.m⁻¹ à 25° C.)				
<i>L. A. Richards, 1954. United States Salinity Laboratory Staff – USDA.</i>				
<i>Les effets de la salinité sont négligeables</i>	<i>Les rendements des cultures très sensibles peuvent être limités</i>	<i>Les rendements de nombreuses cultures limités</i>	<i>Seules les cultures tolérantes donnent des rendements satisfaisants</i>	<i>Seules quelques cultures très tolérantes donnent des rendements satisfaisants</i>
Non salé	Peu salé	Salé	Fortement salé	Extrêmement salé
0	2	4	8	16
CE_{ps} en dS.m⁻¹				

Tableau 6. Interprétation des résultats d'analyse de la matière organique (Achkar, non daté)

Intervalle (%)	Jugement	Dose de fumier recommandée (T/ha)
Sols argileux et limoneux : AA, A, AS, ASS, AL, ALS, LA, LSA, L, LS, et LL		
≥3	Large ment satisfaisant	-
≤2-3	Satisfaisant	-
≤1,7-2	Moyenne	-
≤1,6-1,7	Moyennement faible	20
≤1,4-1,6	Moyennement faible	30
≤1,15-1,4	Faible	40
≤1-1,15	Très faible	50
≤0,8-1	Très faible	60
≤0,60-0,80	Excessive ment faible	70
≤0,40-0,60	Excessive ment faible	80
<0,40	Excessive ment faible	100
Sols sableux : SA, SAL, SL, S, et SS		
≥2	Large ment satisfaisant	-
≥1,75-2,00	Satisfaisant	-
≥1,5-1,75	Moyenne	-
≥1,25-1,50	Moyennement faible	20
≥1,00-1,25	Faible	30
≥0,86-1,00	Faible	40
≥0,70-0,85	Très faible	50
≥0,60-0,70	Très faible	60
≥0,50-0,60	Excessive ment faible	80
≥0,40-0,50	Excessive ment faible	90
<0,40	Excessive ment faible	100

Tableau 7. Interprétation des niveaux de calcaire total et calcaire actif (Achkar, non daté).

Calcaire total (%)	Jugement	Commentaires
0	Nul	-
<0-1	Très faible	Aucun risque de chlorose
<1-4	Faible	Aucun risque de chlorose
<4-10	Moyenne	Risque de chlorose très faible
<10-15	Moyennement élevé	Risque de chlorose faible
<15-30	Elevé	Risque de chlorose important
<30-45	Très élevé	Très fort risque de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.
>45	Excessivement élevé	
Calcaire actif (%)		
<0-3	Faible	Risque de chlorose très faible
<3-7	Moyenne	Risque moyen de chlorose
<7-15	Elevé	Risque élevé de chlorose, il faut faire des apports foliaires en oligo-éléments Cu, Zn, B, Fe, et Mn.
>15	Très élevé	Risque très élevé de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.

Tableau 8. Capacité d'échange cationique (CEC) des différents types de sol, adapté de Doucet (1992) cite dans collection (2001).

Type de sol	CEC (meq/100g)				
	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
Sableux	<4	4-6	6-8	8-10	10
Limoneux	<10	10-15	15-20	20-25	25
Argileux	<25	25-30	30-35	35-40	40

Tableau 9. Echelle d'appréciation du degré de richesse en K soluble (mg k⁺/l).

Degrés de richesse	K soluble en
Très faible	<2
Faible	2-4
Moyen	4-20
Elevé	20-40
Très élevé	>40

Tableau 10. Résultats statistiques de la granulométrie pour les deux parcelles.

Texture									
Code	Argile	Limon	Sable	OBS	code	Argile	Limon	Sable	OBS
T ₁ MOH ₁	47,88	42,22	9,20	AL	P ₁ MOH ₁	48,94	42,06	9	AL
T ₁ MOH ₂	51,52	41,14	7,35	AL	P ₁ MOH ₂	56,46	37,9	5,64	A
T ₁ MOH ₃	45,61	35,25	19,15	AL	P ₁ MOH ₃	62,42	35,64	1,91	A
T ₁ MOH ₄	16,21	38,34	45,45	L	P ₁ MOH ₄	60,81	36,76	2,83	A
T ₂ MOH ₁	35,91	44,02	20,08	LA	P ₂ MOH ₁	35	45,9	19,1	LAF
T ₂ MOH ₂	20,71	31,92	47,31	L	P ₂ MOH ₂	23,23	31,01	45,76	L
T ₂ MOH ₃	15,51	32,48	52,01	LS	P ₂ MOH ₃	13,74	20,38	65,89	LS
T ₂ MOH ₄	23,33	39,51	37,15	L	P ₂ MOH ₄	14,7	22,03	63,27	LS
T ₃ MOH ₁	34,49	48,73	16,77	LAF	P ₃ MOH ₁	26,06	56,01	17,93	LF
T ₃ MOH ₂	27,78	50,25	21,97	LA	P ₃ MOH ₂	21,26	41,83	36,91	L
T ₃ MOH ₃	14,29	52,2	33,51	LF	P ₃ MOH ₃	23,23	48,8	27,97	L
T ₃ MOH ₄	27,22	47,75	25,03	LA	P ₃ MOH ₄	20,56	46,44	33,01	L

Tableau 11. Résultats statistiques de la granulométrie d'argile de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	34,49	20,71	14,29	16,21
Maximum	47,88	51,52	45,61	27,22
Ecartype	7,36	16,14	17,74	5,58

Tableau 12.Résultats statistiques de la granulométrie de limon de parcelle la Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	42,22	31,92	32,48	38,34
Maximum	48,73	50,25	52,2	47,75
Ecartype	3,36	9,17	10,68	5,13

Tableau 13.Résultats statistiques de la granulométrie de sable de la parcelle témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	9,2	7,35	19,15	25,03
Maximum	20,08	47,31	52,01	45,45
Ecartype	5,58	20,22	16,47	10,27

Tableau 14.Résultats statistiques de la granulométrie d'argile de la parcelle de traitement .

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	26,06	21,26	13,74	14,7
Maximum	48,94	56,46	62,42	60,81
Ecartype	11,53	19,78	25,81	25,10

Tableau 15.Résultats statistiques de la granulométrie de limon de la parcelle de traitement .

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	42,06	31,01	20,38	22,03
Maximum	56,01	41,83	48,8	46,44
Ecartype	7,21	5,48	14,22	12,29

Tableau 16.Résultats statistiques de la granulométrie de sable de la parcelle de traitement .

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	9	5,64	1,91	2,83
Maximum	19,1	45,76	65,89	63,27
Ecartype	5,52	21,08	32,17	30,22

Tableau 17.Résultats du pH _{1/5}.

pH _{1/5}					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ MOH ₁	8,03	7,93	P ₁ MOH ₁	8,03	7,81
T ₁ MOH ₂	8,09	8,16	P ₁ MOH ₂	8,27	8,11
T ₁ MOH ₃	8,42	8,28	P ₁ MOH ₃	8,3	8,19
T ₁ MOH ₄	8,38	8,31	P ₁ MOH ₄	8,38	8,34
T ₂ MOH ₁	8,04	8,49	P ₂ MOH ₁	8,15	8,41
T ₂ MOH ₂	8,22	8,16	P ₂ MOH ₂	8,48	8,21
T ₂ MOH ₃	8,62	8,53	P ₂ MOH ₃	8,48	8,54
T ₂ MOH ₄	8,38	8,45	P ₂ MOH ₄	8,45	8,38
T ₃ MOH ₁	7,85	7,94	P ₃ MOH ₁	8,08	7,88
T ₃ MOH ₂	8,3	8,35	P ₃ MOH ₂	8,47	8,41
T ₃ MOH ₃	8,4	8,51	P ₃ MOH ₃	8,54	8,81
T ₃ MOH ₄	8,34	8,51	P ₃ MOH ₄	8,41	8,62

Tableau 18.Résultats statistiques du pH _{1/5} de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	7,85	8,09	8,4	8,34
Maximum	8,04	8,3	8,62	8,38
Ecartype	0,11	0,11	0,12	0,02

Tableau 19.Résultats statistiques du pH _{1/5} de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	7,93	8,16	8,28	8,31
Maximum	8,49	8,35	8,53	8,51
Ecartype	0,32	0,11	0,14	0,10

Tableau 20.Résultats statistiques du pH _{1/5} de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	8,03	8,27	8,3	8,38
Maximum	8,15	8,48	8,54	8,45
Ecartype	0,06	0,12	0,12	0,04

Tableau 21.Résultats statistiques du pH _{1/5} de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	7,81	8,11	8,19	8,34
Maximum	8,41	8,41	8,81	8,62
Ecartype	0,33	0,15	0,31	0,15

Tableau 22.Résultats statistiques du calcaire total.

CT%					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ MOH ₁	21,23	23,35	P ₁ MOH ₁	18,25	20,80
T ₁ MOH ₂	21,23	21,65	P ₁ MOH ₂	19,10	22,92
T ₁ MOH ₃	22,92	21,23	P ₁ MOH ₃	19,95	25,90
T ₁ MOH ₄	21,65	19,95	P ₁ MOH ₄	19,53	24,20
T ₂ MOH ₁	21,23	19,10	P ₂ MOH ₁	19,10	24,20
T ₂ MOH ₂	20,38	18,68	P ₂ MOH ₂	17,83	22,92
T ₂ MOH ₃	19,95	22,92	P ₂ MOH ₃	16,98	26,32
T ₂ MOH ₄	19,95	19,53	P ₂ MOH ₄	16,56	25,90
T ₃ MOH ₁	21,65	19,53	P ₃ MOH ₁	19,53	20,80
T ₃ MOH ₂	19,95	23,77	P ₃ MOH ₂	19,95	22,92
T ₃ MOH ₃	19,95	20,38	P ₃ MOH ₃	21,65	25,47
T ₃ MOH ₄	24,20	19,95	P ₃ MOH ₄	19,10	21,65

Tableau 23.Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	21,23	19,95	19,95	19,95
Maximum	21,65	21,23	22,92	24,2
Ecartype	0,24	0,65	1,71	2,14

Tableau 24.Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	19,1	18,68	20,38	19,53
Maximum	23,35	23,77	22,92	19,95
Ecartype	2,34	2,56	1,29	0,24

Tableau 25.Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	18,25	17,83	16,98	16,56
Maximum	19,53	19,95	21,65	19,53
Ecartype	0,65	1,07	2,36	1,61

Tableau 26.Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	20,8	22,92	25,47	21,65
Maximum	24,2	22,92	26,32	25,9
Ecartype	1,96	0,00	0,43	2,14

Tableau 27. Résultats statistiques du calcaire active.

CA %					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ MOH ₁	5,50	5,5	P ₁ MOH ₁	6,13	5,75
T ₁ MOH ₂	5,38	5,625	P ₁ MOH ₂	5,50	5,125
T ₁ MOH ₃	5,25	5,25	P ₁ MOH ₃	5,63	6
T ₁ MOH ₄	4,13	4,5	P ₁ MOH ₄	5,63	5,625
T ₂ MOH ₁	4,75	4,75	P ₂ MOH ₁	4,88	4,625
T ₂ MOH ₂	3,00	3,25	P ₂ MOH ₂	2,88	2,125
T ₂ MOH ₃	1,88	2,25	P ₂ MOH ₃	1,75	1,125
T ₂ MOH ₄	2,88	2,625	P ₂ MOH ₄	1,75	1
T ₃ MOH ₁	4,38	4,75	P ₃ MOH ₁	5,50	5,75
T ₃ MOH ₂	3,63	4,25	P ₃ MOH ₂	3,50	2,625
T ₃ MOH ₃	4,50	4,5	P ₃ MOH ₃	3,63	3,25
T ₃ MOH ₄	4,38	4,375	P ₃ MOH ₄	3,38	3,5

Tableau 28. Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,38	3	1,88	2,88
Maximum	5,5	5,38	5,25	4,38
Ecartype	0,57	1,23	1,77	0,80

Tableau 29. Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,75	3,25	2,25	2,62
Maximum	5,5	5,62	5,25	4,5
Ecartype	0,43	1,19	1,56	1,05

Tableau 30. Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,88	2,88	1,75	1,75
Maximum	6,13	5,5	5,63	5,63
Ecartype	0,63	1,37	1,94	1,95

Tableau 31.Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle de traitement
(22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,62	2,12	1,12	1
Maximum	5,75	5,12	6	5,62
Ecartype	0,65	1,61	2,45	2,31

Tableau 32.Résultats statistiques de la matière organique.

MO%					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T₁MOH₁	2,22	2,33	P₁MOH₁	2,33	3,91
T₁MOH₂	1,06	1,48	P₁MOH₂	1,38	3,38
T₁MOH₃	0,85	0,95	P₁MOH₃	1,16	2,43
T₁MOH₄	0,85	0,74	P₁MOH₄	0,85	0,85
T₂MOH₁	2,12	1,69	P₂MOH₁	2,01	4,65
T₂MOH₂	1,48	1,38	P₂MOH₂	0,21	2,86
T₂MOH₃	0,63	0,63	P₂MOH₃	0,32	0,21
T₂MOH₄	0,74	0,74	P₂MOH₄	0,11	0,11
T₃MOH₁	0,74	0,74	P₃MOH₁	1,69	6,45
T₃MOH₂	1,06	0,95	P₃MOH₂	0,32	3,70
T₃MOH₃	1,16	1,06	P₃MOH₃	0,53	0,53
T₃MOH₄	0,32	0,42	P₃MOH₄	0,11	0,53

Tableau 33.Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle Témoin
(22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	0,74	1,06	0,63	0,32
Maximum	2,22	1,48	1,16	0,85
Ecartype	0,83	0,24	0,27	0,28

Tableau 34.Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle Témoin
(22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	0,74	0,95	0,63	0,42
Maximum	2,33	1,48	1,06	0,74
Ecartype	0,80	0,28	0,22	0,18

Tableau 35.Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	1,69	0,21	0,32	0,11
Maximum	2,33	1,38	1,16	0,85
Ecartype	0,32	0,65	0,44	0,43

Tableau 36.Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	3,91	2,86	0,21	0,11
Maximum	6,45	3,7	2,43	0,85
Ecartype	1,31	0,42	1,20	0,37

Tableau 37.Résultats statistiques de la capacité d'échange cationique.

CEC meq/100g					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ MOH ₁	18,26	17,01	P ₁ MOH ₁	15,17	18,57
T ₁ MOH ₂	19,13	17,41	P ₁ MOH ₂	14,38	19,63
T ₁ MOH ₃	17,88	10,09	P ₁ MOH ₃	16,27	18,38
T ₁ MOH ₄	16,62	8,71	P ₁ MOH ₄	16,03	18,75
T ₂ MOH ₁	17,62	9,92	P ₂ MOH ₁	12,92	16,77
T ₂ MOH ₂	13,32	13,87	P ₂ MOH ₂	9,38	15,56
T ₂ MOH ₃	13,16	10,33	P ₂ MOH ₃	6,69	12,82
T ₂ MOH ₄	11,03	8,02	P ₂ MOH ₄	7,64	11,53
T ₃ MOH ₁	16,75	16,51	P ₃ MOH ₁	16,07	17,17
T ₃ MOH ₂	16,27	15,67	P ₃ MOH ₂	10,12	13,42
T ₃ MOH ₃	11,47	10,58	P ₃ MOH ₃	9,41	14,71
T ₃ MOH ₄	11,31	8,76	P ₃ MOH ₄	9,78	8,18

Tableau 38.Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	16,75	13,32	11,47	11,03
Maximum	18,26	19,13	17,88	16,62
Ecartype	0,76	2,91	3,32	3,15

Tableau 39.Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	9,92	13,87	10,09	8,02
Maximum	17,01	17,41	10,58	8,76
Ecartype	3,96	1,77	0,25	0,41

Tableau 40.Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	12,92	9,38	6,69	7,64
Maximum	16,07	14,38	16,27	16,03
Ecartype	1,62	2,70	4,94	4,36

Tableau 41.Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	16,77	13,42	12,82	8,18
Maximum	18,57	19,63	18,38	18,75
Ecartype	0,95	3,15	2,83	5,40

Tableau 42.Résultats de la conductivité électrique $_{1/5}$ (ds/m) .

CE 1/5 (ds/m)					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T₁MOH₁	2,62	3,70	P₁MOH₁	3,7	3,20
T₁MOH₂	1,84	4,86	P₁MOH₂	4,86	3,82
T₁MOH₃	2,92	3,89	P₁MOH₃	4,84	3,90
T₁MOH₄	3,31	3,48	P₁MOH₄	4,81	4,64
T₂MOH₁	2,17	2,49	P₂MOH₁	2,49	2,54
T₂MOH₂	2,62	2,69	P₂MOH₂	2,69	3,98
T₂MOH₃	1,94	4,19	P₂MOH₃	3,36	3,88
T₂MOH₄	2,8	3,68	P₂MOH₄	2,54	4,90
T₃MOH₁	1,064	2,31	P₃MOH₁	2,31	2,12
T₃MOH₂	3,24	4,26	P₃MOH₂	4,26	3,96
T₃MOH₃	3,08	3,88	P₃MOH₃	3,78	3,92
T₃MOH₄	2,28	3,58	P₃MOH₄	3,38	4,23

Tableau 43.Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	1,064	1,84	1,94	2,28
Maximum	2,62	3,24	3,08	3,31
Ecartype	0,80	0,70	0,62	0,52

Tableau 44.Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	2,31	2,69	3,88	3,48
Maximum	3,7	4,86	4,19	3,68
Ecartype	0,76	1,12	0,18	0,10

Tableau 45.Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	1,24	2,26	1,78	2,42
Maximum	2,47	2,33	3,57	4,40
Ecartype	0,70	0,04	0,90	1,09

Tableau 46.Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	3,12	3,82	3,88	4,23
Maximum	3,54	3,98	3,92	4,9
Ecartype	0,22	0,09	0,02	0,34

Tableau 47.Résultats de la conductivité électrique de la pâte saturé (ds/m) .

CE ps (ds/m)					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ MOH ₁	15,38	20,02	P ₁ MOH ₁	18,63	22,39
T ₁ MOH ₂	24,07	23,92	P ₁ MOH ₂	12,15	22,76
T ₁ MOH ₃	32,4	25,34	P ₁ MOH ₃	23,02	18,24
T ₁ MOH ₄	25,33	22,95	P ₁ MOH ₄	23,71	21,40
T ₂ MOH ₁	11,27	4,59	P ₂ MOH ₁	12,15	16,61
T ₂ MOH ₂	23,84	20,02	P ₂ MOH ₂	24,63	28,26
T ₂ MOH ₃	19,14	20,29	P ₂ MOH ₃	9,84	24,29
T ₂ MOH ₄	24,98	20,56	P ₂ MOH ₄	22,49	28,30
T ₃ MOH ₁	7,9	21,53	P ₃ MOH ₁	17,05	20,81
T ₃ MOH ₂	22,45	20,91	P ₃ MOH ₂	26,81	17,95
T ₃ MOH ₃	24,75	21,53	P ₃ MOH ₃	27,89	26,06
T ₃ MOH ₄	24,07	22,50	P ₃ MOH ₄	26,91	21,20

Tableau 48.Résultats statistiques de la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	7,9	22,45	19,14	24,07
Maximum	15,38	23,84	32,4	25,33
Ecartype	3,75	0,98	6,66	0,65

Tableau 49.Résultats statistiques de la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,59	20,02	20,29	20,56
Maximum	21,53	23,92	25,34	22,95
Ecartype	9,37	2,04	2,63	1,27

Tableau 50.Résultats statistiques de la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	5,49	12,15	9,84	22,49
Maximum	18,63	26,81	27,49	26,91
Ecartype	7,17	7,91	9,18	2,28

Tableau 51. Résultats statistiques de la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	16,61	17,95	18,24	21,2
Maximum	22,39	28,26	26,06	28,3
Ecartype	2,98	5,15	4,10	4,04

Tableau 52. Coefficient de corrélation linéaire (Table r de Bravais Pearson).

v / α	0.10	0.05	0.02	v / α	0.10	0.05	0.02
1	0.9877	0.9969	0.9995	16	0.4000	0.4683	0.5425
2	0.9000	0.9500	0.980	17	0.3887	0.4555	0.5285
3	0.8054	0.8783	0.9343	18	0.3783	0.4438	0.5155
4	0.7293	0.8114	0.8822	19	0.3687	0.4329	0.5034
5	0.6694	0.7545	0.8329	20	0.3598	0.4227	0.4921
6	0.6215	0.7067	0.7887	25	0.3233	0.3809	0.4451
7	0.5822	0.6664	0.7498	30	0.2960	0.3494	0.4093
8	0.5494	0.6319	0.7155	35	0.2746	0.3246	0.3810
9	0.5214	0.6021	0.6851	40	0.2573	0.3044	0.3578
10	0.4973	0.5750	0.6581	45	0.2428	0.2875	0.3384
11	0.4762	0.5529	0.6339	50	0.2306	0.2732	0.3218
12	0.4575	0.5324	0.6120	60	0.2108	0.2500	0.2948
13	0.4409	0.5139	0.5923	70	0.1954	0.2319	0.2737
14	0.4259	0.4973	0.5742	80	0.1829	0.2172	0.2565
15	0.4124	0.4821	0.5577	90	0.1726	0.2050	0.2422
				100	0.1638	0.1946	0.2301

V : le degré de liberté. $v=n-p-1$ avec n : le nombre d'observation.

P : le nombre de variables explicatives. α : le risque d'erreur.

La table indique le seuil inférieur de signification du coefficient de corrélation linéaire. Elle exprime la limite supérieure qui peut être imputée au hasard. Pour que la relation soit significative avec un risque d'erreur α , il faut que r calculé dépasse la valeur de la table au seuil α et au degré de liberté égal à $v = n - p - 1$ (n: le nombre d'observations, p: le nombre de relations considérées ou de variables explicatives). Dans le cas d'une corrélation simple on a $p = 1$ d'où on tire : $v = n - 2$.

Tableau 53. Interprétation des niveaux de calcaire total Norme d'après (AFES, INRA ,1988).

CaCO ₃	Teneur
<2	Trace
2-10	Faible
10-25	Moyen
25-55	Fort
>55	Très forte

Tableau 54. Analyse de variance du ph

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,265	8	0,033				
VAR.FACTEUR 1	0,019	2	0,01	0,236	0,79792		
VAR.RESIDUELLE 1	0,245	6	0,041			0,202	2,52%

Tableau 55. Analyse de variance du ph.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,167	8	0,021				
VAR.FACTEUR 1	0,07	2	0,035	2,149	0,19738		
VAR.RESIDUELLE 1	0,097	6	0,016			0,127	1,54%

Tableau 56. Analyse de variance du ph

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,262	8	0,033				
VAR.FACTEUR 1	0,008	2	0,004	0,096	0,90967		
VAR.RESIDUELLE 1	0,254	6	0,042			0,206	2,43%

Tableau 57. Analyse de variance du ph

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,06	8	0,007				
VAR.FACTEUR 1	0,01	2	0,005	0,576	0,59389		
VAR.RESIDUELLE 1	0,05	6	0,008			0,091	1,09%

Tableau 58. Analyse de variance de la conductivité électrique diluée 1/5 .

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6,88	8	0,86				
VAR.FACTEUR 1	4,514	2	2,257	5,723	0,04097		
VAR.RESIDUELLE 1	2,366	6	0,394			0,628	27,31%

Tableau 59. Analyse de variance de la conductivité électrique diluée 1/5 .

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5,593	8	0,699				
VAR.FACTEUR 1	4,591	2	2,295	13,735	0,00636		
VAR.RESIDUELLE 1	1,003	6	0,167			0,409	13,98%

Tableau 60. Analyse de variance de la conductivité électrique diluée 1/5 .

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5,582	8	0,698				
VAR.FACTEUR 1	3,201	2	1,601	4,034	0,07743		
VAR.RESIDUELLE 1	2,381	6	0,397			0,63	20,61%

Tableau 61. Analyse de variance de la conductivité électrique diluée 1/5 .

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	8,575	8	1,072				
VAR.FACTEUR 1	5,429	2	2,715	5,178	0,04954		
VAR.RESIDUELLE 1	3,146	6	0,524			0,724	20,63%

Tableau 62. Analyse de variance de la conductivité électrique de la pate saturée Ceps

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	175,186	8	21,898				
VAR.FACTEUR 1	106,439	2	53,219	4,645	0,06047		
VAR.RESIDUELLE 1	68,747	6	11,458			3,385	21,43%

Tableau 63. Analyse de variance de la conductivité électrique de la pate saturée Ceps

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	188,427	8	23,553				
VAR.FACTEUR 1	8,523	2	4,262	0,142	0,87004		
VAR.RESIDUELLE 1	179,903	6	29,984			5,476	24,29%

Tableau 64. Analyse de variance de la conductivité électrique de la pate saturée Ceps

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	336,898	8	42,112				
VAR.FACTEUR 1	40,25	2	20,125	0,407	0,68566		
VAR.RESIDUELLE 1	296,648	6	49,441			7,031	30,78%

Tableau 65. Analyse de variance de la conductivité électrique de la pate saturée Ceps

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	46,022	8	5,753				
VAR.FACTEUR 1	2,067	2	1,034	0,141	0,87089		
VAR.RESIDUELLE 1	43,955	6	7,326			2,707	11,15%

Tableau 66. Analyse de variance de la matière organique MO.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	25,003	8	3,125				
VAR.FACTEUR 1	20,017	2	10,008	12,043	0,00855		
VAR.RESIDUELLE 1	4,986	6	0,831			0,912	31,41%

Tableau 67.Analyse de variance de la matière organique MO.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	13,26	8	1,658				
VAR.FACTEUR 1	11,948	2	5,974	27,325	0,00131		
VAR.RESIDUELLE 1	1,312	6	0,219			0,468	27,24%

Tableau 68.Analyse de variance de la matière organique MO.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3,629	8	0,454				
VAR.FACTEUR 1	0,225	2	0,112	0,198	0,82593		
VAR.RESIDUELLE 1	3,404	6	0,567			0,753	86,69%

Tableau 69.Analyse de variance de la matière organique MO.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,915	8	0,114				
VAR.FACTEUR 1	0,118	2	0,059	0,443	0,66486		
VAR.RESIDUELLE 1	0,797	6	0,133			0,364	73,38%

Tableau 70.Analyse de variance du calcaire total.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	23,639	8	2,955				
VAR.FACTEUR 1	14,966	2	7,483	5,177	0,04956		
VAR.RESIDUELLE 1	8,673	6	1,445			1,202	5,79%

Tableau 71.Analyse de variance du calcaire total.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	24,066	8	3,008				
VAR.FACTEUR 1	20,47	2	10,235	17,078	0,00386		
VAR.RESIDUELLE 1	3,596	6	0,599			0,774	3,74%

Tableau 72.Analyse de variance du calcaire total.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	84,558	8	10,57				
VAR.FACTEUR 1	67,143	2	33,571	11,566	0,00936		
VAR.RESIDUELLE 1	17,415	6	2,903			1,704	7,70%

Tableau 73.Analyse de variance du calcaire total.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	70,368	8	8,796				
VAR.FACTEUR 1	46,912	2	23,456	6	0,03737		
VAR.RESIDUELLE 1	23,456	6	3,909			1,977	9,23%

Tableau 74. Analyse de variance de la capacité d'échange cationique CEC.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	23,92	8	2,99				
VAR.FACTEUR 1	15,72	2	7,86	5,751	0,04058		
VAR.RESIDUELLE 1	8,201	6	1,367			1,169	7,05%

Tableau 75. Analyse de variance de la capacité d'échange cationique CEC.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	99,927	8	12,491				
VAR.FACTEUR 1	48,58	2	24,29	2,838	0,13519		
VAR.RESIDUELLE 1	51,348	6	8,558			2,925	20,07%

Tableau 76. Analyse de variance de la capacité d'échange cationique CEC.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	119,883	8	14,985				
VAR.FACTEUR 1	33,079	2	16,54	1,143	0,38091		
VAR.RESIDUELLE 1	86,804	6	14,467			3,804	28,34%

Tableau 77. Analyse de variance de la capacité d'échange cationique CEC.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	122,401	8	15,3				
VAR.FACTEUR 1	6,19	2	3,095	0,16	0,85575		
VAR.RESIDUELLE 1	116,211	6	19,368			4,401	35,73%

2. Les figures

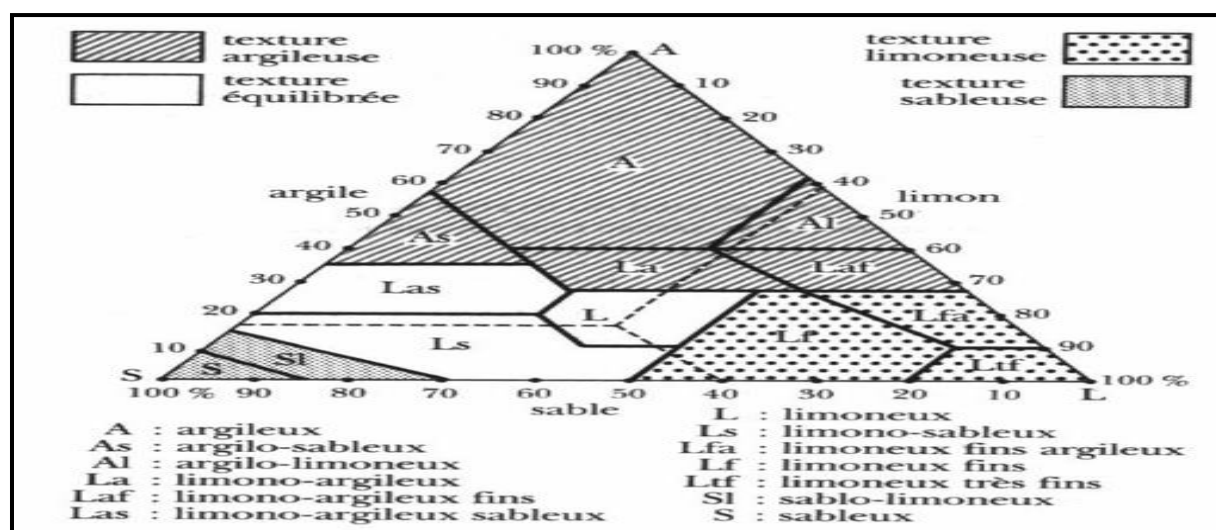


Figure 1. Triangle de texture d'après U.S. département of agriculture.

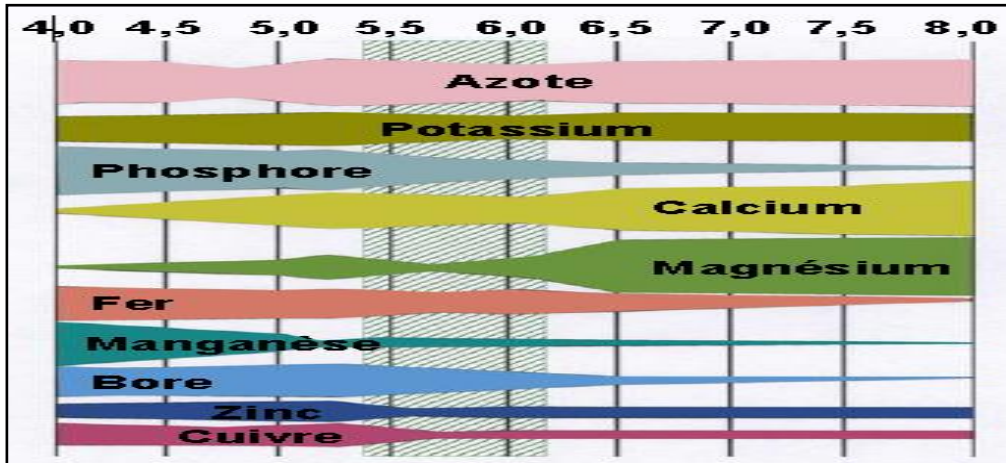


Figure.2. Disponibilité des éléments minéraux selon le pH de la solution du sol.