

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعاما بخميس مليانة

Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la terre

Département des sciences Biologiques



Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème

***Contribution à l'étude de la dynamique du potassium dans
le sol de la région d'EL H'MADNA***

Soutenu le : 11/07/2019

présenté par :

Melle : Nefraoui Amal

Melle : Mellah Soumia

Devant les Membres de Jury :

Président: Mr. Amokrane A.

MAA

UDBKM

Encadreur : Mme. Benaouda L.

MAA

UDBKM

Examineur 1 : Mr. Rata M.

MAA

UDBKM

Examinatrice 2 : Mme. Mostfaoui H.

MAA

UDBKM

Année universitaire : 2018/2019.

Remerciements

De prime abord, il est indispensable de signaler qu'il n'était pas un point facile d'achever ce travail sans l'aide de Dieu tout puissant, notre seigneurs et guide.

*En premier lieu, nos plus sincères remerciements et reconnaissances vont spécialement à mon promotrice **Mme BENAOUA L.** pour accepter de diriger ce mémoire, et pour la qualité de son encadrement et pour sa patience à mon égard et de m'avoir dirigée et orientée avec ses précieux conseils, pour son aide et ses directives qui m'ont permis de mener à terme ce travail.*

*Nos tiens à adresser mes vifs remerciement à **Mr. DAOUD Y.**, professeurs au département de science du sol à l'ENSA d'El-Harrach, pour les diverses connaissances qu'ils m'ont transmis.*

Nous remercions également le directeur de la station d'EL HMADNA pour l'acceptation d'échantillonnage au niveau de la station.

Nous tenons ainsi à remercier les membres de jury pour avoir accepté d'affecter un temps à ce modeste travail et d'attribuer des remarques et des corrections très intéressantes :

***Mr AMOUKRAN A** Maitre-assistant classe " A" à l'université de Khemis*

Miliana, pour avoir accepté honorer par sa présence comme président de notre jury.

***Mr RATA M** Maitre-assistant classe " A" et **Mme MOSTFAOUI H** Maitre-assistant classe " A» pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

Et à tous ceux qui nous ont enseigné tout au long de notre vie scolaire

Nous n'oublions pas bien évidemment nos collègues de promotion «Protection des écosystèmes» en les saluant chaleureusement pour les agréables moments passés ensemble !

Qu'Allah réalise vos vœux



Je dédie ce travail à...

Chers parents, qui sont à l'origine de mon existence, que dieu les protèges, ils m'ont soutenu le long de l'élaboration de ce travail.

A mon très chère mère mon modèle à suivre qui m'a entouré d'amour et de tendresse et m'a appris la patience et le défi.

A mon très cher père disparu trop tôt. Puisse dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

A mes très chères sœurs et leurs enfants ; Abd elillahe, Allaa et Wallaa, Ibtihale, Nihale, Hani Abd elhamide, Mahdi, Islem, Meriem, Wassime.

A mon très cher frère

A tous mes membres de la famille

A mes meilleures amies proche : Ahlem, Aicha, Mouna, Nouhaila, Yousra, Hanane, Soumia, Amel, Fatima zahra, Narimane, Malika, Rachida, Hala, Bassant, Randa, Amani,

A tous mes amis du groupe d'étude protection des écosystèmes

A tous les enseignants du primaire, du moyen, du secondaire et de l'université qui m'ont donné le gout des études.

Amal

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

A ma mère, qui depuis ma naissance, n'a cessé de me bercer avec des bons conseils et sans doute celle qui me reconforte et m'encourage dans les moments les plus difficiles de ma scolarité.

A mon père, celui qui ne se lassait jamais pour aménager tous ses efforts pour que je sois quelqu'un dans la vie.

Pour mes sœurs : Fatima et Aicha

Et pour ma grand-mère

A mes amis proche : Zakia, zahia, Karima et imane.

Soumia

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer les différentes formes du potassium du sol d'une station expérimentale située dans la plaine du bas Chélif, et de voir l'effet de la salinité sur la dynamique de cet élément essentiel à la vie des végétaux.

A la lumière des résultats obtenus, il ressort que le sol de la région d'étude se caractérise par une texture argilo-limoneuse, basique, modérément calcaire, pauvre en matière organique et une capacité d'échange cationique élevée. Le bilan ionique indique que notre sol est caractérisé par un faciès chimique bicarbonaté sodique et potassique. Les rapports K/Ca et K/Mg sont en général inférieurs à 2, donc il n'y a pas un risque d'antagonisme entre les autres cations.

Concernant l'étude des différentes formes de potassium, les résultats montrent que la majorité des échantillons étudiés présentent une teneur en potassium total supérieur à 1 %, sont donc riches en potassium total. Pour les autres formes, les teneurs en potassium assimilable 0,19 à 1,29 meq/ 100 g sol, le potassium soluble présente des teneurs faibles. Plus que la moitié des échantillons étudiés (62,5%), sont pauvres en potassium échangeable. Les variations des différentes teneurs en potassium (assimilable, soluble et échangeable) ne sont pas corrélés avec les variations de la salinité.

Mots clés : sol, dynamique potassium, salinité, bas chélif, formes du potassium.

Abstract

The objective of this work was to evaluate different for my potassium soil of an experimental station YSU sit in plain Cheliff u down, and see the effect of salinity on the dynamics of this essential element in the life of plants .

In the light of the results obtained, it appears that the soil of the study area is characterized by a clay-silty texture, basic, moderately calcareous, poor in organic matter and a high cation exchange capacity. The ionic balance indicates that our soil is characterized by a chemical facies bicarbonate sodium and potassium. The ratios K / Ca and K / Mg are generally less than 2, so there is no risk of antagonism between the other cations.

Regarding the study of the different forms of potassium, the results show that the majority of the samples studied have a total potassium content greater than 1%, and are therefore rich in total potassium. In other forms, the potassium contents assimilable 0.19 to 1.29 meq / 100g soil, potassium soluble has low levels. More than half of the samples studied (62.5%) are low in exchangeable potassium. Variations in the different levels of potassium (assimilable, soluble and exchangeable) are not correlated with changes in salinity.

Keywords : soil, dynamic potassium, salinity, low Cheliff, forms of potassium

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تقييم مختلفة الاشكال لبوتاسيوم التربة في محطة تجريبية تقع في سهل الشلف المنخفض، ومعرفة تأثير الملوحة على ديناميكيات هذا العنصر الضروري في حياة النباتات.

في ضوء النتائج التي تم الحصول عليها، نلاحظ أن تربة منطقة الدراسة تتميز بقوام من الطين الطيني، أساسي، معتدل الجبر، فقير في المواد العضوية وقدرة عالية على تبادل الكاتيون . يشير التوازن الأيوني إلى أن تربتنا تتميز بوجود سوائل كيميائية ثنائية بيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم. تكون نسب بوتاسيوم\ كالسيوم وبوتاسيوم\ مغنيزيوم عموماً أقل من 2، لذلك لا يوجد خطر حدوث عداة بين الكاتيونات الأخرى.

فيما يتعلق بدراسة الأشكال المختلفة للبوتاسيوم، أظهرت النتائج أن غالبية العينات التي تمت دراستها تحتوي على إجمالي محتوى البوتاسيوم يزيد عن 1 %، وبالتالي فهي غنية في البوتاسيوم الكلي. في أشكال أخرى، وتحتوي محتويات البوتاسيوم التي يمكن استيعابها من 0.1 الى 1.29 ميكروغرام / 100 جم تربة، على البوتاسيوم القابل للذوبان يحتوي على محتويات منخفضة. أكثر من نصف العينات التي تمت دراستها (62.5%) منخفضة في البوتاسيوم القابل للتبادل. لا ترتبط التغيرات في محتويات البوتاسيوم المختلفة (قابلة للذوبان، قابلة للذوبان وقابلة للتبادل) بالتغيرات في الملوحة.

كلمات: التربة، ديناميكية البوتاسيوم، الملوحة، الكلف المنخفض، أشكال البوتاسيوم.

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01

Chapitre I. synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur le sol	04
I.1.1. Sol	04
I.1.2. Constituants et propriétés du sol	04
I.2. Salinité des sols	05
I.2.1. Définition et origine de la salinité	05
I.2.2. Sols salés dans le monde et en Algérie	07
I.2.2.1. Salinité dans le monde	07
I.2.2.2. La salinité en Algérie	08
I.2.3. La Sodisation	10
I.2.4. L'alcalinisation	10
I.3. Potassium	10
I.3.1. Propriétés chimiques du potassium	10
I.3.2. Potassium dans le sol	11
I.3.3. Dynamique de potassium dans le sol	12
I.3.4. Forme du potassium dans le sol	13
I.3.4.1. Potassium des minéraux silicatés	13
I.3.4.2. Potassium échangeable	13
I.3.4.3. Potassium rétrogradé	13
I.3.4.4. Potassium associé aux matières organiques	14
I.3.5. Teneur du sol en potassium total	14

I.3.6. Potassium dans les sols salés	14
I.3.7. Critères d'évaluation de la richesse des sols en potassium	15
I.3.7.1. Capacité d'échange cationique (C.E.C)	15
I.3.7.2. Taux de saturation	15
I.3.8. Facteurs de disponibilité du potassium dans le sol	15
I.3.9. Le potassium et la plante	16
I.3.9.1. Alimentation des plantes en potassium	16
I.3.9.2. Phénomène d'antagonisme	17
I.3.9.3. Phénomène de synergie	17
I.3.10. Carence et toxicité potassique	17

Chapitre II : Présentation des zones d'étude

II.1. Présentation du site d'étude	19
II.2. Présentation de la plaine du Bas-Chelif	20
II.3. Le climat	20
II.3.1. La pluviométrie	20
II.3.2. La Température	23
II.3.4. Analyses climatique	24
II.3.4.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen	24
II.3.4.2. Indice de l'aridité de DEMARTONNE (1927)	25
II.3.5. Le vent	25
II.3.6. L'humidité	26
II.3.7. Evapotranspiration	26
II.4. Géologie et géomorphologie	27
II.4.1. Les glaciers colluvionnaires	27
II.4.2. La plaine alluviale	27
II.4.3. Les lits des oueds actuels	28
II.4.4. La Sebkha de Benziane	28
II.4.5. La Gaa	28
II.4.6. La colline de partage	28
II.5. Pédologie	29
II.6. L'occupation des sols	32
II.7. Ressources en eau	32
II.7.1. Les ressource en eaux superficielles	32
II.7.2. Qualité des eaux souterraines	33
II.8. La salinité des sols	34

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. L'objectif de travail	35
III.2. Echantillonnage	36

III.3. Analyse au laboratoire	38
III.3.1. Caractérisation du sol	38
III.3.1.1. Analyse physiques	38
a. Analyse granulométrique	38
b. L'humidité	40
III.3.1.2. Analyse chimiques	40
a. Calcaire total (CaCO ₃)	40
b. Matière organique	41
III.3.1.3. Analyses physico-chimique.....	42
a. pH-eau, pH-KCl	42
➤ Le pH Eau	42
➤ Le pH KCl	42
b. La conductivité électrique CE	43
c. Capacité d'échange cationique	44
III.3.1.4. Le bilan ionique	46
III.3.1.4.1. Les cations solubles	46
a. Calcium et magnésium	46
III.3.1.4.2. Les anions solubles	47
a. Dosage des carbonates et bicarbonates (HCO ₃ ⁻ et CO ₃ ⁻²)	47
b. Dosage du chlore (Cl ⁻)	48
c. dosage de sulfates SO ₄ ⁻²	48
III.3.2. Étude de potassium	49
III.3.2.1. Le potassium total	49
III.3.2.2. Le potassium assimilable	49
III.3.2.3. Le potassium soluble	49
III.3.2.4. Le potassium échangeable	49

Chapitre IV. Résultats et discussion

Introduction	51
IV.1. Caractérisation du sol	51
IV.1.1. La granulométrie	51
IV.1.2. Humidité	54
IV.1.2. Analyse chimiques	55
IV.1.2.1. Calcaire total (%)	55

IV.1.2.2. Matière Organique (%)	56
IV.1.6. La capacité d'échange cationique (CEC)	56
IV.1.3. Analyse physico-chimique	57
IV.1.3. Le pH	57
IV.1.3.2. la conductivité électrique CE (mS/cm)	58
IV.1.4. Le bilan ionique	59
IV.1.4.1. Les cations solubles	60
a. Le calcium Ca ⁺⁺ (meq/100 g)	60
b. Magnésium Mg ⁺⁺ (meq/100 g)	61
c. Le Sodium Na ⁺ (meq/100 g)	61
d. Le potassium K ⁺ (meq/100 g)	62
IV.1.4.2. Anions solubles	63
a. Carbonate et Bicarbonate (meq/100 g)	63
b. Chlorure Cl ⁻ (meq/100 g)	63
c. Les sulfates SO ₄ ⁻² (meq/100 g)	64
IV.2. Etude de potassium	65
IV.2. Les différentes formes de potassium	65
IV.2.1. Le potassium total	65
IV.2.2. Le potassium assimilable	66
IV.2.3. Le potassium soluble	66
IV.2.4. Le potassium échangeable	67
Discussion générale	69
Conclusion générale	71
Referens bibliographiques	
Annexes	

Liste des abréviations

% : Pourcent.

A : Argile.

A.F.E.S : Association Française d'Etude du Sol.

ABH : Agence du Bassin Hydrographique.

AgNO₃: Nitrate d'argent.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

Ca²⁺ : ion calcium.

CaCO₃ : Calcaire total ou carbonate totaux.

CE : Conductivité Electrique.

CEC : Capacité d'échange cationique.

Cl⁻: ion Chlorure.

Cm : centimètre (unité de mesure).

COMIFER : Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée.

EDTA: l'Acide Éthylène Diamintetracétique.

ETP : Évapotranspiration Potentiel.

FAO : Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture.

g : gramme (unité de masse).

H% : taux d'humidité du sol.

H : Horizon.

INRAA : Institut National de Recherche Agricole Algérien.

INSID: Institut National des sols, d'Irrigation et de Drainage.

IPI : International Potash Institute.

IRD : Institut de Recherche pour le Développement.

K⁺: ion Potassium.

L: Limon.

LANO: Laboratoire Agronomique de Normandie.

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

Meq : milli équivalent.

Mg²⁺ : ion magnésium.

MO: Matière Organique.

Na⁺ : ion Sodium.

Na+: ion sodium.

ONID: Office National d'Irrigation et de Drainage.

pH : Potentiel Hydrogène.

S : Sable.

S : Sol.

T°C : température on degré Celsius.

U.S.S.L.S.: United State Salinity Laboratory Staff.

UNIFA : Union des Industries de la Fertilisation.

USDA: United States Department of Agriculture.

WRB: World Reference Base for Soil Resources.

WRI: World Ressources Institute.

Liste des figures

Listes des figures

Figure 01. La composition du sol.....	05
Figure 02. Photo des cas de salinisation dans la station HMADNA	06
Figure 03. Répartition des sols salins du nord de l'Algérie	09
Figure 04. Les interactions entre les formes du potassium du sol	12
Figure 05. Photos des exemples de carence de certaines espèces	18
Figure 06. Localisation de site d'étude	19
Figure 07. Situation géographique de la station d'EL H'MADNA	19
Figure 09. Localisation de la plaine du Bas-Cheliff.	20
Figure 10. Carte des étages bioclimatiques du bassin de Chélif	21
Figure 10. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, Station INRAA d'El H'MADNA Relizane (2000 à 2016)	22
Figure 11. Extraie de la carte pluviométrique du Nord Algérie des précipitations interannuelles	23
Figure 12. Histogramme des Températures moyennes mensuelles (2000 à 2016), Station INRAA d'EL H'MADNA Relizane	24
Figure 13. Diagramme ombrothermique de la station climatique d'EL H'MADNA (2000-2016).....	25
Figure 14. Morphologie de la région	27
Figure 15. Extrait de la carte 1/50000 de l'Algérie	29
Figure 16. Carte des sols du bas Chélif	32
Figure 17. Réseau hydrographique et principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif	34
Figure 18. Carte de la salinité estimée par Krigeage et variogramme local.....	34
Figure 19. Localisation des échantillons prélevés.....	35
Figure 20. Photos de methodologie d'échantillonnage.....	36
Figure 21. Photos des parcelles étudiées.....	37
Figure 22. photos de Broyage et tamisage.....	38
Figure 23. Diagramme de classification détaillée des textures.....	39
Figure 24. Photos de détermination de la granulométrie.....	39
Figure 25. Photos de méthodologie de mesure d'humidité.....	40
Figure 26. Photos de détermination du calcaire total.....	41

Figure 27. Photos de détermination de la matière organique.....	42
Figure 28. Photos de détermination de pH.....	43
Figure 29. Photos de détermination de la conductivité électrique.....	44
Figure 30. Photos de détermination de la CEC.....	46
Figure 31. Photos de détermination de Calcium Magnésium, Sodium, Potassium.....	46
Figure 32. Photos de methodologie de determination decarbonates et bicarbonates.....	47
Figure 33. Photos de méthodologie de détermination de chlorure.....	48
Figure 34. Photos de méthodologie de détermination des formes de potassium.....	50
Figure 35. Les variations de la granulométrie du sol selon les échantillons prélevés (%) de l'horizon (H1)	52
Figure 36. Les variations de la granulométrie du sol selon les échantillons prélevés (%) de l'horizon (H2).....	52
Figure 37. Diagramme de classification détaillée des textures de l'horizon (H1)	53
Figure 38. Diagramme de classification détaillée des textures de l'horizon (H2)	53
Figure 39. Les variations des valeurs de l'humidité du sol des parcelles étudiées	54
Figure 40. Les variations des valeurs du calcaire total du sol des parcelles étudiées.....	55
Figure 41. Les variations des taux de la matière organique du sol des parcelles étudiées.....	56
Figure 42. Les variations des valeurs de la capacité d'échange cationique du sol des parcelles étudiées.....	57
Figure 43. Les variations des valeurs du pH du sol des parcelles étudiées.....	58
Figure 44. Les variations des valeurs de conductivité électrique du sol des parcelles étudiées.....	59
Figure 45. Les variations des valeurs de bicarbonates du sol des parcelles étudiées.....	60
Figure 46. Les variations des valeurs de chlorure du sol des parcelles étudiées.....	61
Figure 47. Les variations des valeurs de sulfates du sol des parcelles étudiées.....	62
Figure 48. Les variations des valeurs de calcium du sol des parcelles étudiées.....	62
Figure 49. Les variations des valeurs de magnésium du sol des parcelles étudiées.....	63

Figure 50. Les variations des valeurs de sodium du sol des parcelles étudiées.....	64
Figure 51. Les variations des valeurs de potassium du sol des parcelles étudiées.....	64
Figure 52. Les variations des valeurs de potassium total du sol des parcelles étudiées	65
Figure 53. Les teneurs en potassium assimilable des échantillons.....	66
Figure 54. Les teneurs en potassium soluble des échantillons.....	67
Figure 55. Les teneurs en potassium échangeable des échantillons.....	68

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 01. Superficie affectée par la salinité dans le monde.....	8
Tableau 02. Les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest du pays.	9
Tableau 03. Caractéristiques de quelques ions chimiques.....	11
Tableau 04. Teneur en K_2O de certains minéraux du sol.....	11
Tableau 05. Niveau de fertilité des sols en K^+	14
Tableau 06. Classes d'état de saturation des sols	15
Tableau 07. Données pluviométriques INRAA d'EL H'MADNA (2000-2016).....	21
Tableau 08. Données de température de la station de l'INRAA d'EL H'MADNA (2000-2016)	23
Tableau 09. Données de vent de la station d'EL H'MADNA (2016- 2017).....	26
Tableau 10. Données de l'humidité de la station d'EL H'MADNA (2016- 2017).....	26
Tableau 11. Données de L'évapotranspiration de la station d'EL H'MADNA 1990/2010.....	26
Tableau 12. Synthèse des sols de la plaine du Bas-Chélif d'après la carte pédologique de McDonald et Bneder (1990).....	30
Tableau 13. Echelle d'interprétation de Calcaire Total.....	40
Tableau 14. Echelles d'interprétation de la Matière organiques.....	41
Tableau 15. Echelles d'interprétation de pH eau.....	43
Tableau 16. Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5.....	44
Tableau 17. Résultats d'analyse granulométrique.....	51

Introduction générale

Introduction générale

Le potassium (K) est un macroélément indispensable pour la vie des plantes, des animaux et la nutrition humaine (**Simonsson et al, 2009**). Il est nécessaire pour le fonctionnement de toutes les cellules vivantes, et est donc présent dans tous les tissus végétaux et animaux. Il est requis en grandes quantités par les plantes, les animaux et les humains car il joue un rôle critique dans la nutrition (**Hamdallah, 2004**).

En effet, de nombreuses plantes absorbent fréquemment plus de potassium que l'azote et le phosphore, Il est extrait en grandes quantités par des systèmes de culture intensive (**Panaullah et al, 2006**) et est donc régulièrement appliqué aux terres agricoles dans de nombreuses régions (**Rangel, 2008**).

Sur le plan quantitatif, le potassium est le deuxième constituant minéral de la plante après le calcium. Sur le plan physiologique, il joue un rôle fondamental dans les processus de croissance et développement végétatif, et dans la synthèse des protéines (**Hellali, 2002**).

Il intervient dans la réduction de la transpiration. Aussi, l'ouverture des stomates est conditionnée par une concentration élevée en K^+ dans les cellules (**Terry et al, 1973**).

En solution, il est à l'état d'ion K^+ pour être soit assimilé par la plante, soit adsorbé sur le complexe adsorbant. D'autre part, Il peut être fortement fixé dans la structure de certains minéraux argileux, donnant lieu à la forme rétrogradée.

Dans le sol, le potassium se présente essentiellement sous forme minérale répartie en quatre compartiments (**Barber, 1995**). Dans la solution du sol, il est à l'état d'ions K^+ que la plante pourrait assimiler. Le potassium échangeable est adsorbé sur le complexe adsorbant sous forme cations K^+ Le potassium rétrogradé est fortement fixé dans la structure de certains minéraux argileux. Le potassium des minéraux primaires est à l'état insoluble.

La distribution du potassium dans le sol entre les différents compartiments caractérise le statut potassique du sol.

Il existe un équilibre entre les différentes formes de potassium. Le potassium se déplace d'une catégorie à l'autre toutes les fois que l'équilibre est troublé en enlevant ou en ajoutant le

potassium. L'équilibre entre le potassium de la solution et le potassium échangeable ou le potassium de la solution est beaucoup plus lent (**Sparks, 1987**).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles. La salinité peut être d'origine naturelle, ou induite par l'homme (**Aubert, 1983**).

A l'échelle de la terre environ 6,5 de la superficie est constituée par des espaces confrontés à des problèmes de salinité. Ces espaces sont généralement confinés en régions sèche, ils sont fréquentes dans la région méditerranéenne. En Algérie, 15% des terres cartographiées sont représentées par des sols salés (**Halitim, 1988**).

Le statut potassique des sols salés est peu connus (**Feignbaum, 1987**), **Laoufi (2010)** montre que lors de la salinisation des sols du Bas-Cheliff, les teneurs en potassium soluble et en potassium échangeable restent relativement constantes dans les différents niveaux de salinité des sols. Le travail de **Feignbaum (1987)** montre que le mouvement descendant du potassium apporté était fonction du niveau de salinité, et que par rapport au bilan calculé du potassium, une partie du potassium apportée n'a pas été retrouvée dans l'extrait à l'acétate d'ammonium. La quantité de potassium disparu augment quand la salinité de l'eau d'irrigation augmentait. Il semble donc que le potassium soit rétrogradé par les minéraux argileux du sol.

L'objectif de notre travail consiste à étudier la dynamique du potassium dans le sol, dans la région d'EL H'MADNA (Relizane), qui sont des sols salins du périmètre du Bas-Cheliff. A cela s'ajoute la texture argileuse de ces sols qui affecte la disponibilité en potassium pour les plantes. Afin de mieux gérer cette ressource (le sol), précieuse et non renouvelable et qui est menacée par la salinisation.

En générale, cette recherche est divisée en quatre chapitres distingués :

- Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail, généralité sur le sol, la salinité et son origine, et le comportement du potassium dans le sol.
- Le second chapitre porte essentiellement sur la présentation de la zone d'étude, il comporte la présentation de la région d'EL H'MADNA de Relizane qui fait partie de la plaine de bas-Chellif.

- Le troisième chapitre est réservé à une étude expérimentale, où nous avons abordé la méthodologie de travail choisie et le matériel utilisé en cours d'expérimentation.
- le quatrième chapitre, nous avons présenté et discuté les résultats obtenus et à leur interprétation.
- Et enfin, une conclusion générale qui résumera les principaux résultats de ce travail.

Chapitre I
Synthèse bibliographique

I.1.Généralités sur le sol

I.1.1. Sol

Le sol est le support des végétaux, le milieu dans lequel, grâce à leur racine, les plantes se procurent l'eau et les éléments nutritifs dont elles ont besoin. Il résulte de la transformation d'une roche mère sous-jacente, sous l'influence de divers processus chimiques et biologiques. Ces horizons différents de la roche mère par certains caractères morphologiques, physiques, chimiques et biologiques.

La première catégorie de matière organique c'est la litière, qui représente une source d'énergie pour les espèces qui les consomment (**Gobat et al, 2003**).

I.1.2. Constituants et propriétés du sol

Les principaux constituants du sol sont de quatre types : constituants organiques (débris végétaux), constituants minéraux (sable, argile), des gaz qui circulent dans les interstices du sol et enfin la solution du sol, formée d'eau et d'ions. A partir de là, un sol va avoir différentes caractéristiques que l'on peut déterminer en effectuant des analyses physico-chimiques :

- Texture : composition granulométrique du sol, c'est à dire la proportion de chacun de ses constituants solides (argiles, sables, graviers), qui ont des tailles différentes ;
- Structure : façon dont ses constituants sont agencés les uns par rapport aux autres.
- Porosité : volume total des espaces laissés libres entre les agrégats ou les particules solides. Elle conditionne la circulation de l'eau, des gaz et de certains animaux dans le sol ;
- La perméabilité du sol : dépend de la structure du sol, c'est sa capacité à laisser passer l'eau vers les couches inférieures ;
- Capacité de rétention en eau : quantité d'eau retenue par le sol et soit utilisable par les plantes, soit liée à des particules solides par des forces physiques qui empêchent cette utilisation ;
- Le pouvoir absorbant : capacité à fixer des ions et à rendre ainsi plus aisé le passage de ces ions de l'humus aux racines des plantes, notamment par la création de complexes argilo-humiques, aussi appelés complexes absorbants, qui fixent des ions positifs. Leur présence dans le sol est un facteur essentiel de sa fertilité.

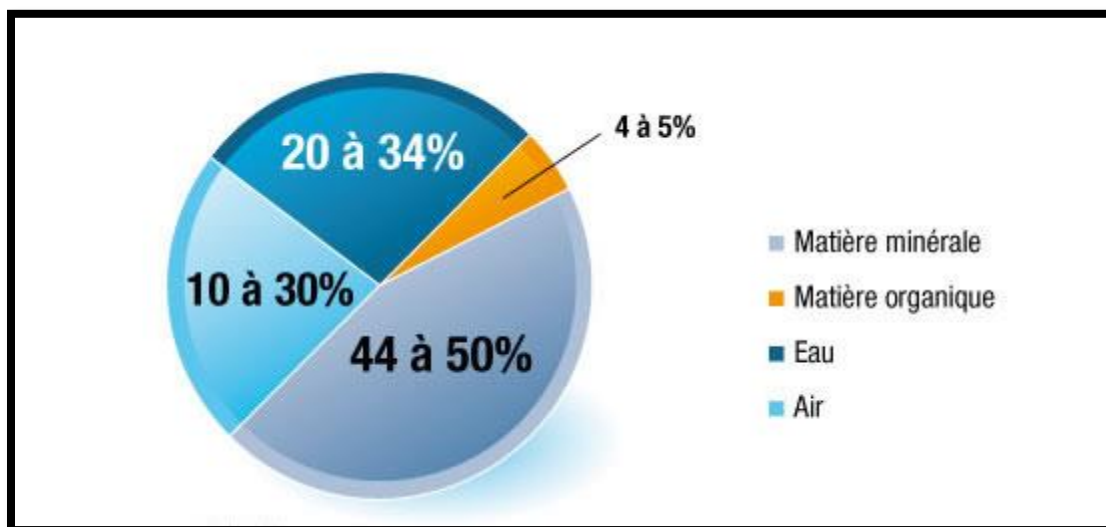


Figure 01. La composition du sol (UNIFA, 2019).

I.2. Salinité des sols

La salinisation est l'un des processus majeurs qui contribuent à la dégradation des terres agricoles (Boualla et al, 2012) et dont les effets se traduisent souvent par une désertification.

I.2.1. Définition et origine de la salinité

D'après Mermoud (2006), la salinisation des sols est le processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol ; il s'ensuit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol. La salinisation se produit généralement lorsque la quantité d'eau perdue par le sol par évapotranspiration dépasse celle provenant de l'infiltration des précipitations.

La salinité peut être définie comme étant la quantité globale des sels contenus dans « la solutions du sol » (Imalet, 1979). Elle constitue l'un des facteurs abiotiques les plus répandus au niveau de la planète et qui limite fortement les rendements agricoles, notamment dans les régions arides et de semi-arides, où les précipitations sont limitées et ne sont pas suffisantes pour transporter les sels du profil racinaire des plantes (Khaless et Baaziz, 2006 et Schulze et al, 2005).



Figure 02. Photo de ca de salinisation dans la station d'EL HMADNA (INRAA, 2019 Cliché par Nefraoui et Mellah).

L'autre processus qui est l'alcalinisation se produit lorsque le pH du sol augmente à des valeurs supérieures à 8,5 (USSL, 1954). Ce processus est souvent accompagné du processus de sodisation lorsque le sodium échangeable est l'élément majoritaire adsorbé sur le complexe colloïdal (IRD, 2008).

La salinité des sols a des sources très variées. Elle provient naturellement par le biais de l'altération des roches mères contenant des minéraux nécessaires à la formation des sels solubles (minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, de produits de l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore, ou de la dissolution des évaporites (IRD, 2008). L'océan peut être une source principale de la salinité, notamment dans les zones côtières (Kloppmann et al, 2011) où le matériau de base est constitué de dépôts marins anciens.

Les eaux salées des nappes phréatiques ou artésiennes peuvent aboutir à la salinité par remontée de la nappe (Ben Hassine, 2005). La remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire (Mermoud, 2006). Ce type de sol est très fréquent dans les zones arides dû à une évapotranspiration potentielle qui dépasse largement la quantité d'eau arrivée au sol (Antipolis, 2003).

La salinité peut être provoquée en conditions anthropiques par l'irrigation par des eaux salées.

La salinisation anthropique est la conséquence de la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation chargée en sels dissous (Bouali et al,

2012). (Marlet 2004) a révélé que plus de 50% des périmètres irrigués du monde sont affectés par la salinisation.

I.2.2.Sols salés dans le monde et en Algérie

I.2.2.1.Salinité dans le monde

La salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation. 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation (Mermoud, 2006).

Les zones arides et semi-arides couvrent une grande partie des pays de la frange méridionale du pourtour méditerranéen. Dans ces régions, la disponibilité des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale (Zid et Grignon, 1991).

La salinité des sols est présente dans la plupart des grands systèmes d'irrigation à travers le monde sous l'effet conjugué d'une mauvaise qualité des eaux d'irrigation, de l'aridité et d'un drainage insuffisant du sol et des aquifères (Marlet et al, 2005). Les superficies irriguées ont connu un accroissement très rapide depuis 1950, elles atteignent aujourd'hui près de 300 millions d'hectares (Marlet et al, 2005).

Au Pakistan, plus de 25% des surfaces irriguées sont salinisées, en Tunisie 25%, aux USA 23%, en Inde près de 17 %, en Chine près de 15% et en Afrique de Sud près de 9%(FAO, 2006)

Tableau 01. Superficie affectée par la salinité dans le monde

Région	Superficie (ha)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,7
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du centre et du Nord	211,7
Asie du sud	87,6
Total	954,8

Source : (FAO, 2008).

I.2.2.2. La salinité en Algérie

En Algérie, on évalue aujourd'hui à 1,5 million d'hectares la superficie des sols salés (MADR, 2004) dont 49 milles se situent, dans le sud de pays. Selon (Douaoui et Hartani, 2007), environ 20% des sols irrigués en Algérie sont concernés par le problème de salinité.

Ce problème a été observé dans plusieurs régions de l'Algérie (Chélif, Relizane, Mohamadia, Sig, Ain Temouchent, Hautes plaines de Sétif et de Constantine).

Dans l'ouest algérien, plusieurs périmètres irrigués (Tableau02) sont soumis à de graves problèmes de salinisation et de la remontée de la nappe qui se traduisent par une dégradation des sols et une baisse de productivité.

Tableau 02. Les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l’Ouest du pays.

Périmètres irrigués	Superficies irrigables	Superficies affectées	Pourcentage %
Haut Cheliff	20 200	6 400	32
Moyen Cheliff	21 800	8 700	40
Bas Cheliff	22 500	15 000	67
Mina	9 600	4 190	44
Habra	19 600	8 100	41
Sig	8 600	3 200	37

Source : (ONID, 2003).



Figure 03. Répartition des sols salins du nord de l’Algérie (INSID, 2005).

I.2.3. La Sodisation

D'après **FAO (2006)**, la sodisation est l'augmentation de la proportion de sodium dans les sols jusqu'à un seuil de saturation du complexe d'échange donnant des sols sodique. Le sodium déplace les autres ions sur le complexe adsorbant et l'argile se disperse (**Halitim, 1988**). Un sol est généralement qualifié de sodique si son ESP est supérieur à 15 % de la capacité d'échange cationique tel que défini par le «**US Salinity Laboratory Staff** » en 1954 (**Essington, 2004**).

Le processus de sodisation provoque la dispersion de l'argile et une instabilité structurale ainsi que la circulation de l'eau dans le sol sera inhibée d'où une croissance des plantes du fait des concentrations toxiques de Na^+ (**FAO, 2006**).

I.2.4. L'alcalinisation

L'alcalinisation indique une augmentation de pH, les réactions alcalines fortes de plusieurs sols sodiques et de sol salins sodiques sont dues à la présence de concentrations appréciables de CO_3^{2-} et HCO_3^- dans la solution du sol (**Cheverry et Robert, 1998**).

Un sol sodique alcalin est formé si l'eau d'irrigation contient un excès de CO_3^{2-} et HCO_3^- par rapport à Ca^{2+} et Mg^{2+} présents. Cet excès est appelé Residual Sodium Carbonate (RSC) ou alcalinité résiduelle (meq/l) (**Ayers et Westcot, 1994**).

Afin de connaître la concentration en anions solubles (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et en cations solubles (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+), une analyse chimique est effectuée sur extrait de pâte saturée ou sur extrait aqueux dilué. Elle sert à classer le type de salinisation selon le diagramme de PIPER ou autre classification. Elle sert aussi à calculer le SAR (Sodium Adsorption ratio) qui exprime le pouvoir de sodisation de la solution du sol.

I.3. Potassium

I.3.1. Propriétés chimiques du potassium

Le potassium est l'élément chimique de numéro atomique 19, de symbole K (du latin kalium). C'est un métal alcalin mou, d'aspect blanc métallique, légèrement bleuté, que l'on trouve naturellement lié à d'autres éléments dans de nombreux minéraux. Il s'oxyde rapidement au contact de l'air et réagit violemment avec l'eau. Il ressemble chimiquement au sodium.

Cet élément représente environ 2,58 % du poids total de la croûte terrestre, dont il est un des sept éléments les plus abondants.

Le rayon hydraté détermine l'aptitude de l'ion à se localiser dans les cavités inter-foliaires des minéraux argileux (Tableau 03).

Tableau 03. Caractéristiques de quelques ions chimiques

Ions	Rayon atomique (nm)	
	Non Hydraté	Hydraté
K^+	0.27	0.53
NH_4^+	0.29	0.54
Na^+	0.20	0.76
Mg^{++}	0.16	0.64

Source : (Mhiri, 2002).

I.3.2. Potassium dans le sol

Le potassium est l'un des minéraux les plus abondants de la croûte terrestre, constituant approximativement 2,5% de la lithosphère. (Clarkson et Hanson, 1980)

Les quantités de potassium prélevées dans les terres agricoles augmentent également et doivent être compensées afin de maintenir la fertilité et la capacité de production des sols. Ces apports sont indispensables pour sécuriser une production alimentaire pérenne (IPI, 2013).

Tableau 04. Teneur en K_2O de certains minéraux du sol.

Type d'argile	Muscovite (mucoblanc)	Hydro-muscovite	Biotite	Illite	Vermiculite	Smectite
$K_2O\%$	8	9	6-10	6-8	0-2	0.5

Source : (Mhiri, 2002).

I.3.3. Dynamique de potassium dans le sol

La dynamique du potassium dans le sol est régie par l'ensemble des processus qui commandent le passage du potassium d'un compartiment à un autre (dissolution, altération, échange, fixation) ou d'un horizon à un autre (lixiviation, remontée capillaire) et par l'adsorption racinaire. C'est le bilan de l'ensemble de ces processus qui détermine, à un instant donnée, le statut du potassium dans le sol (**Mhiri, 2002**).

De nombreux facteurs influencent la dynamique du potassium dans le sol, dont les principaux sont la CEC, le pH, les apports d'engrais, l'assimilation par le végétal (**Sparks, 1987**).

Selon **Boyer (1973)**, le potassium échangeable, fixé sur des sites d'échange préférentiels peu nombreux du complexe adsorbant, n'est pas une donnée statique dans les sols, il se régénère à partir des réserves de potassium non échangeable.

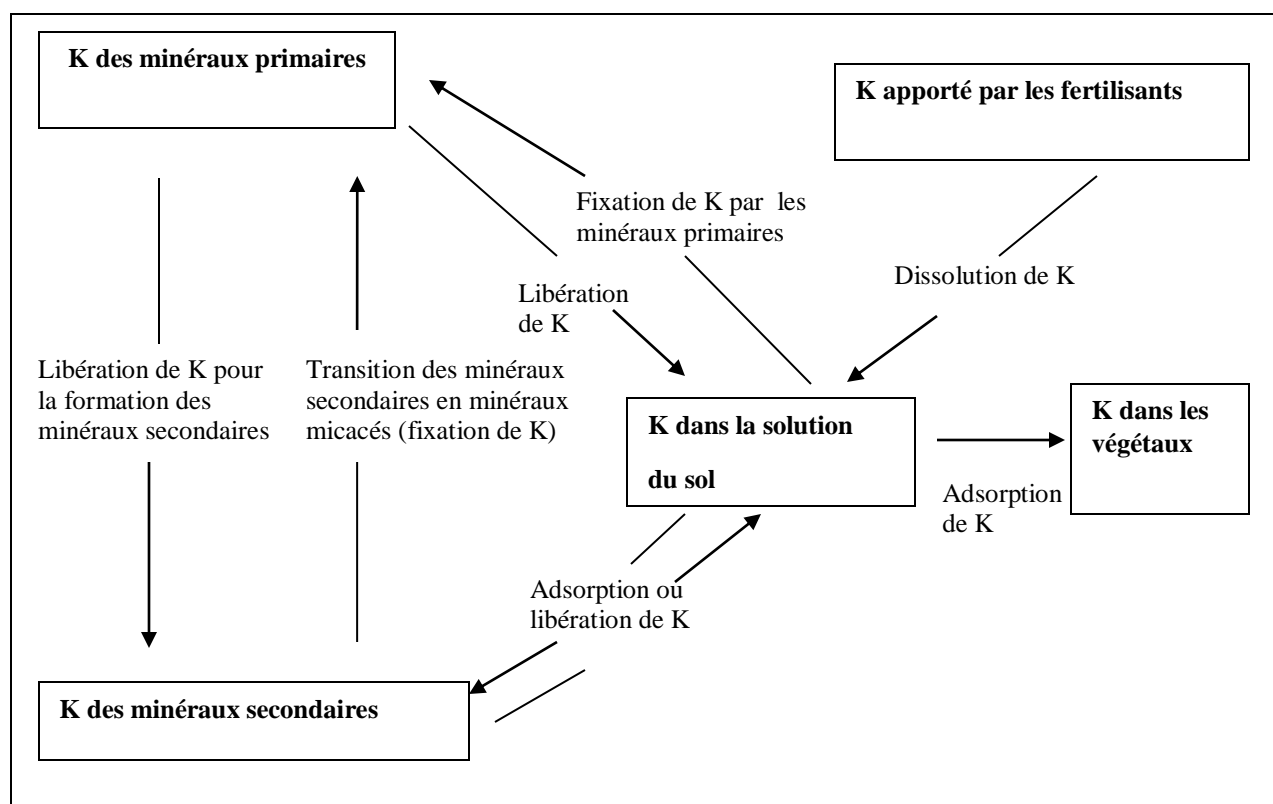


Figure 04. Les interactions entre les formes du potassium du sol (**Van Diest, 1978**).

I.3.4. Forme du potassium dans le sol

Selon UNIFA (2019), le potassium est présent exclusivement sous forme minérale. On le trouve dans le sol sous quatre formes :

- ✓ Entrant dans la constitution des minéraux de la roche mère.
- ✓ Inclus entre les feuillets des argiles, et donc peu échangeable.
- ✓ Adsorbé à la surface des particules d'argile et d'humus : il sert à compenser les prélèvements effectués par les racines dans la solution du sol.
- ✓ En solution dans l'eau du sol

I.3.4.1. Potassium des minéraux silicatés

Le potassium est plus rencontré dans les minéraux silicatés : les micas, les feldspaths potassiques et certaines argiles comme les illites sont très riches en K^+ . Cette forme de potassium constituant des matériaux silicatés représente 98 % du poids total de cet élément dans les sols (Mhiri, 2002). Selon Li and al, (2015) ; les minéraux argileux constituent à la fois, le principal réservoir et le piège à potassium dans les sols si bien que la teneur en potassium est utilisée comme critère de distinction des minéraux d'altération ;

I.3.4.2. Potassium échangeable

Le potassium échangeable représente la forme facilement accessible aux plantes (Boyer, 1973). Il est à la fois le potassium solubilisé et le potassium adsorbé sur les colloïdes argilo-humiques. Les plantes peuvent utiliser aussi bien le potassium libre de la solution du sol que le potassium adsorbé sur le complexe adsorbant ;

I.3.4.3. Potassium rétrogradé

Le potassium est rétrogradé quand les ions K^+ passent de la surface externe des argiles pour s'emprisonner à l'intérieur, entre les feuillets d'argile de type 2/1 comme, surtout les montmorillonites et les illites (Boyer, 1973) et cette rétrogradation a lieu en période de dessiccation ou quand le pH est élevé (Sountoura, 2011). Le phénomène de rétrogradation est contraire de la libération du potassium qui s'effectue à partir de la phase solide du sol en période d'humectation (UNIFA, 2005) ;

I.3.4.4. Potassium associé aux matières organiques

Lorsque le potassium est lié aux matières organiques, il est particulièrement facile à utiliser par les végétaux. Une liaison particulière du potassium avec les matières organiques existe lorsque le K^+ est adsorbé sur la paroi bactérienne ou encore lorsque les bactéries intègrent cet élément au cours de leur métabolisme (**Gierth and Mäser, 2007**). Selon **Assaha et al, (2017)**, ces bactéries restituent le potassium sous une forme particulièrement utilisable, après leur mort.

I.3.5. Teneur du sol en potassium total

Cette teneur est très variable selon la texture et la minéralogie des argiles, elle peut atteindre 2% en masse de la terre sèche (**Mhiri, 2002**). La teneur est estimée souvent à 20000 ppm dans la composition structurale du sol (**Prajapati et Modi, 2012**). Les sols à texture fine sont potentiellement plus riches en potassium total tandis que les sols sableux sont généralement pauvres. La capacité d'échange cationique des sols (C.E.C meq/100g de sol) est un indicateur de richesse potentielle en potassium total.

Tableau 05. Niveau de fertilité des sols en K^+ .

Niveaux de fertilité	K soluble en mg /l
Très faible	< 2
Faible	2 - 4
Moyen	4 - 20
Elevé	20 - 40
Très élevé	< 40

Source : (**Mhiri, 2002**).

I.3.6. Potassium dans les sols salés

L'irrigation avec l'eau saumâtre, dans laquelle les concentrations en calcium, en magnésium, et en sodium sont élevées, conduit à une augmentation de la libération et de la désorption du potassium. Ce potassium est potentiellement assimilable par les racines des plantes, mais il est également facilement lixivié loin de la zone racinaire (**Feigenbaum et Meiri, 1988 ; Jalali et Merrikhpour, 2008**).

Les premières réactions chimiques qui réagissent le transport et la disponibilité du potassium pour les plantes sont les échanges avec les autres cations et la rétrogradation par les minéraux

argileux. En effet, (Laoufi, 2010) a montré que le comportement du potassium dans les sols salés est conditionné par le phénomène d'échange ionique ; les phénomènes de précipitation chimique sont secondaires en raison de la forte solubilité des sels du potassium (Daoud, 1993).

La fixation du potassium des sols salés par les minéraux argileux reste peu connue (Sparks, 1987).

Par ailleurs, (Bar-Tal et al, 1991) ont montré que la croissance de la salinité ne réduisait pas par les concentrations du potassium dans la matière sèche du végétal. La salinité n'affecterait l'assimilation du potassium par les plantes. En effet, (Feignbaum et al, 1990) ont montré que la fertilisation potassique des sols induit une augmentation de la teneur en potassium et une diminution du rapport Na/K dans les tissus végétaux.

I.3.7. Critères d'évaluation de la richesse des sols en potassium

I.3.7.1. Capacité d'échange cationique (C.E.C)

Les sols argileux présentent des CEC élevées tandis que les sols à texture sableuses ont des CEC faibles. De même la présence de la matière organique fait augmenter la capacité du sol à retenir plus d'éléments chimiques sur les sites d'échanges ;

I.3.7.2. Taux de saturation

Le pourcentage de saturation du complexe adsorbant en bases échangeables est le deuxième critère d'évaluation de la richesse du sol en K. (Le tableau 06) représente les classes de richesse en cet élément.

Tableau 06. Classes d'état de saturation des sols.

Classe	S/T	Sol
Très pauvre	< 70	Forestier
Pauvre	70 - 95	Forestier
Potentiellement riche	> 95	Calcaires argileux

(Source : Mhiri, 2002).

I.3.8. Facteurs de disponibilité du potassium dans le sol

Selon Kronzucker et al, (2008) ; Li and al, (2016) différents facteurs contrôlent la disponibilité du potassium dans le sol comme :

- La vitesse de passage du potassium du complexe adsorbant vers la solution du sol lorsque celle-ci est appauvrie par les prélèvements des racines ;

- La teneur du sol en éléments fins qui est un facteur influant non seulement la vitesse de transfert du potassium, mais aussi sur la détermination du nombre de sites d'échange de cet élément dans le sol ;
- La nature des cations présents dans le sol dont certains sont susceptibles d'inhiber les mouvements du potassium échangeable sur le complexe absorbant. La présence du NH_4^+ induit une diminution du potassium échangeable. Selon **Barbier, (2001)** ; les hydroxydes de fer et d'aluminium sont à mesure de neutraliser les sites d'échange du potassium ;
- La présence de l'aluminium surtout dans les sols acides sous forme échangeable occupe les sites potentiels du potassium en plus de diminuer sa mobilité. Les sols de $\text{pH} < 6$ sont considérés comme déficients en K^+ . Le calcium peut jouer un rôle analogue à celui de l'aluminium, lorsque le sol est alcalin ;
- Le potassium est un élément mobile, donc susceptible de migrer dans les horizons plus profonds, ainsi que d'être entraîné en dehors de la parcelle (pertes par lessivages importantes en sol sableux).

I.3.9. Le potassium et la plante

Dans la majorité des cas, le potassium est en quantité plus grande dans une plante que les autres éléments, y compris l'azote. Le potassium joue un rôle majeur dans la capacité des plantes à résister au stress induit, comme la sécheresse, le gel, l'excès de luminosité et attaque de parasite.

Le potassium est aussi l'élément essentiel intervenant dans de nombreuses fonctions majeures, y compris l'activation d'enzymes, le transport, le stockage des sucres dans la plante, la production de protéine et la photosynthèse.

On le trouve partout dans la plante. La part la plus importante du potassium des plantes se trouve dans la sève, où il assure la rigidité des cellules.

I.3.9.1. Alimentation des plantes en potassium

Des échanges entre la phase solide et la phase liquide (solution) du sol ont lieu en permanence, permettant le prélèvement de cet élément par les racines. On estime que seulement 10 à 20% de la nutrition des cultures est assurée à partir du K^+ échangeable (en solution et adsorbé) (**Kaiser et al, 2016**). Le reste des besoins de la plante en potassium est donc assuré par les autres sources

disponibles (libération par les matières organiques, par l'écartement des feuillets d'argile, par l'altération des minéraux silicatés potassiques).

I.3.9.2. Phénomène d'antagonisme

Même si le potassium est indispensable au pour la vie du végétal, des surdoses peuvent entraîner des effets néfastes pour la culture, par phénomènes d'antagonisme, selon divers mécanismes (**Tomas and Thomas, 2009**) :

- antagonisme par concurrence ionique : une augmentation de la concentration de la solution du sol en potassium induit une augmentation d'absorption de potassium par la racine au détriment du magnésium et du calcium. De même, un excès de disponibilité en potassium accentue les phénomènes chlorotiques en sols sensibles en limitant la disponibilité du fer et manganèse ;
- appauvrissement du complexe par déplacement d'ions : les ions K^+ en excès prennent la place des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sur le complexe argilo-humique. Ces derniers sont alors exposés au lessivage : c'est l'action décalcifiante et anti-magnésienne des engrais potassiques.

I.3.9.3. Phénomène de synergie

Selon **Oosterhuis et al, (2014)**, il existe une interaction entre azote et potassium, dans le sens où la plante mieux nourrie en azote aura plus de besoin en potassium. L'azote a pour effet d'augmenter l'indice foliaire d'une culture. Pour maintenir la turgescence de cette surface foliaire et des tiges et racines, la plante a besoin d'une plus grande quantité de potassium. Il faut de plus noter le phénomène d'absorption sélective des ions par les racines : les végétaux semblent « préférer » les ions K^+ aux ions Ca^{++} .

I.3.10. Carence et toxicité potassique

Une carence en potassium se présente souvent sous forme de nécroses au bout des feuillets ou sur les bordes, des cultures peuvent être présentées carencées en potassium sans présenter des symptômes visibles, c'est ce que l'on appelle la carence cachée ou (faim cachée). Lorsque des symptômes apparaissent, il peut y avoir des effets significatifs sur le rendement et la qualité ; ces effets peuvent être réduits par application immédiate d'engrais potassiques, sans résoudre totalement le problème (**IPI-2013**).

Le maintien d'une réserve suffisante de potassium disponible dans le sol ne vise pas uniquement à éviter les effets négatifs dans la plante, mais c'est également essentiel pour assurer un approvisionnement et une utilisation efficace des autres éléments.

Les carences en potassium ont un impact sur le rendement, la taille et la qualité des fruits (**Rogiers and al, 2017**). Les carences en potassium réduisent également la capacité des plantes à résister aux agressions extérieures (maladies, parasites) et aux stress climatiques tels que la sécheresse et le froid.



La carence chez la pomme de terre.



La carence chez le maïs



La carence chez la pomme



La carence chez la menthe

Figure 05. Potos des exemples de carence de certaines espèces (**Ain defla, 2019** cliché par **Nefraoui et Mellah**).

Chapitre II
Présentation de la zone
d'étude

II.1. Présentation du site d'étude

La zone d'étude est la station expérimentale de l'Institut National de Recherche Agronomique d'EL H'MADNA INRAA. D'une superficie de 77 ha, elle est située à 3km de la partie nord-ouest de la ville d'EL H'MADNA. Elle se trouve dans la plaine du Bas-Cheliff au nord-ouest de l'Algérie. Elle se trouve à 35°54°Nord et 0°45°avec une altitude maximale de 79m.



Figure 06. Localisation de site d'étude (Source : Google Earth, 2019).



Figure 07. Situation géographique de la station d'EL H'MADNA (Source : Google Earth, 2019).

II.2. Présentation de la plaine du Bas-Cheliff

La plaine du Bas-Chélif est l'une des trois plaines composant la vallée du Chélif (Haut, Moyen et Bas-Chélif). Elle fait partie du bassin versant du Chélif et occupe sa partie ouest. Ce même bassin versant du Chélif est traversé par le plus grand oued d'Algérie sur une longueur de 750 km et fait partie du grand bassin versant « Chélif-Zahrez », qui couvre une superficie d'environ 56 227 km² (soit plus de 22 % de la superficie de l'Algérie du nord).

La plaine du Bas Chélif fait environ 50 km de longueur sur une largeur variant de 6 à l'est à plus de 20 km à l'ouest, avec une surface pratiquement plate, d'une altitude moyenne de 70 m. La plaine s'étend sur 65 000 ha.

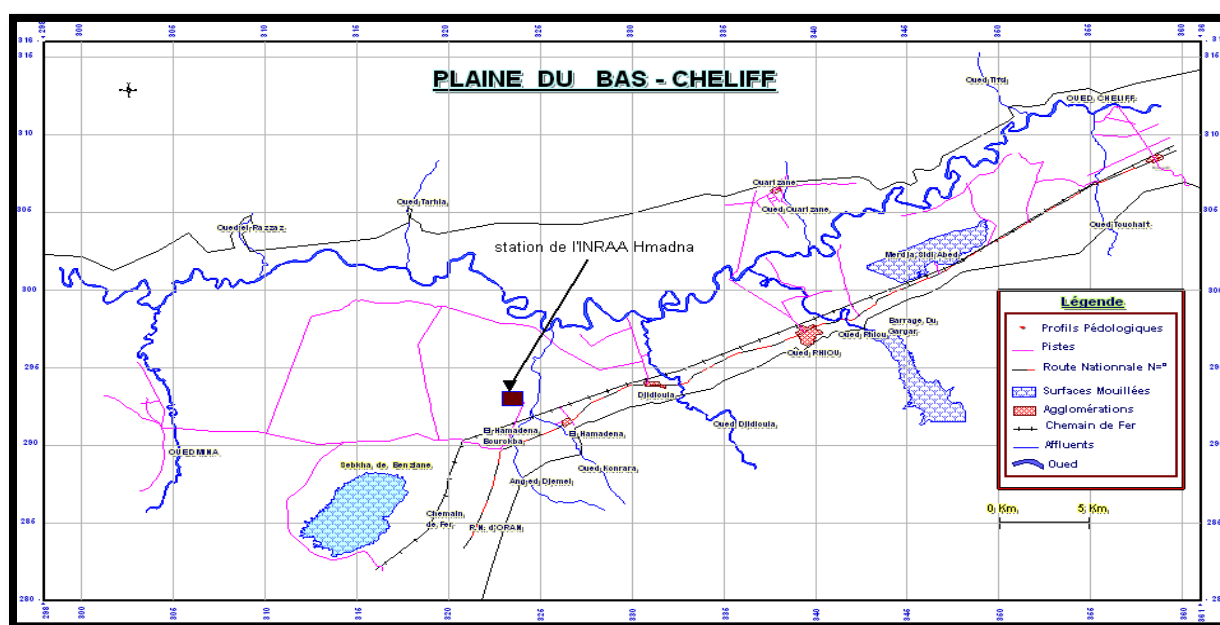


Figure 08. Localisation de la plaine du Bas-Cheliff. (Source : RATA, 2002).

II.3. Le climat

Le climat des plaines du Chélif, et tout particulièrement celui du Bas-Chélif, est un climat spécifique, rude et contrasté, avec des étés très chauds et des températures basses en hiver. Cette particularité lui a aussi valu des qualificatifs célèbres, tels que « le four du tell » ou encore « une portion du Sahara égarée dans le tell » (Yacono, 1955 ; Boulaine, 1957).

Le climat de la région d'EL H'MADNA est spécifique, contrasté, caractérisé par des étés très chauds et des températures basses en hiver. D'après la carte des étages bioclimatiques du bassin du Chélif (figure 09), l'étage bioclimatique de la région d'EL H'MADNA est aride (indiqué dans

la figure 09 en point rouge). Selon l'INSID (2005), l'évapotranspiration potentielle annuelle de la région est de l'ordre de 1600 mm/an.

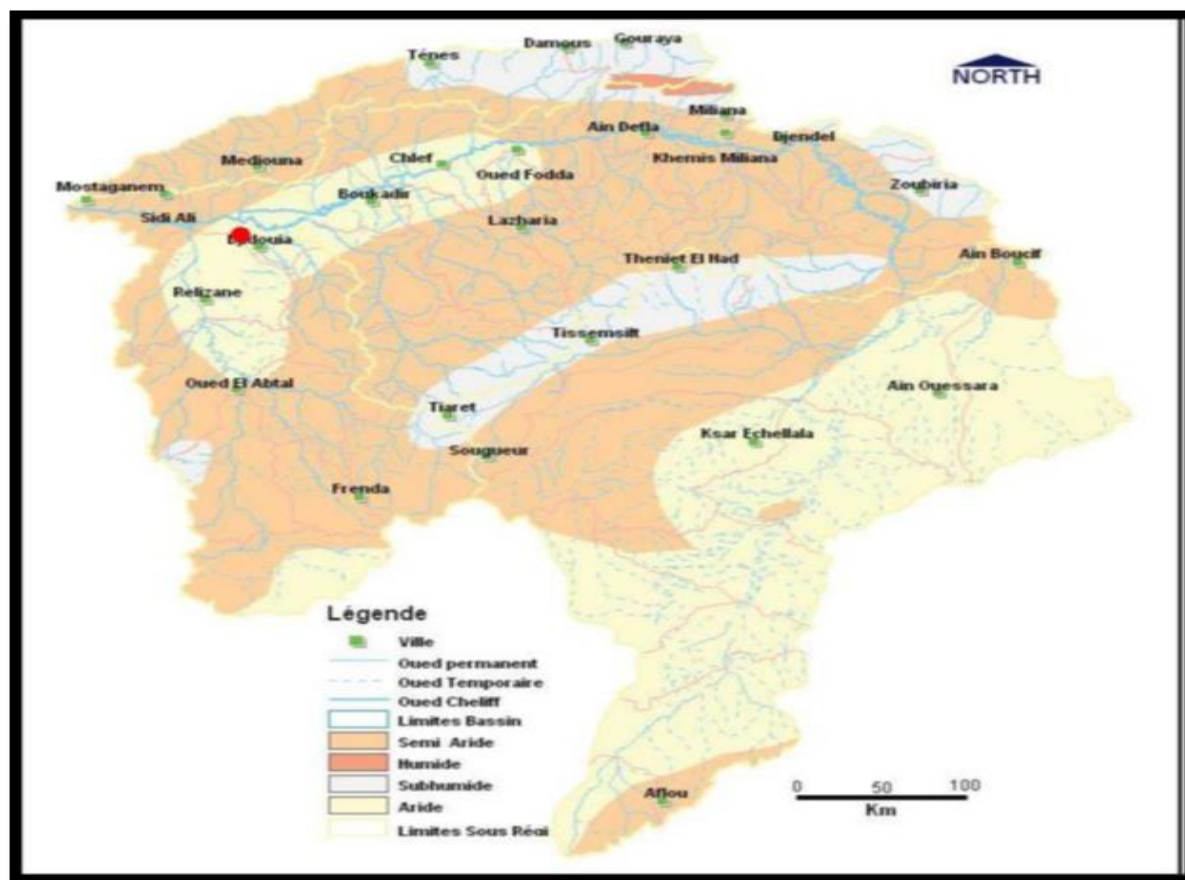


Figure 09. Carte des étages bioclimatiques du bassin de Chélif (Source : INSID, 2005).

II.3.1. La pluviométrie

En ce qui concerne les précipitations, on note une diminution de la hauteur des pluies, dans la vallée du Chélif d'Est en Ouest. Le tableau 07 représente les précipitations moyennes mensuelles de la région d'EL H'MADNA, calculée sur une période allant de 2000 à 2016.

Tableau 07. Données pluviométriques INRAA d'EL H'MADNA (2000-2016).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	39.72	38.63	30.28	36.54	24.53	2.35	0.57	3.37	14.45	30.49	58.71	34.79

L'analyse du tableau 07, montre que le mois de novembre est celui le plus pluvieux avec 58,71mm, alors que la faible pluviosité est enregistrée durant le mois de juillet avec une pluviométrie égale à 0,57 mm. La pluviométrie totale annuelle est de 314,44 mm, dont 93.4% tombent entre octobre et mai. En général, le climat de la région d'EL H'MADNA est caractérisé par une faible pluviosité avec une répartition irrégulière durant toute l'année.

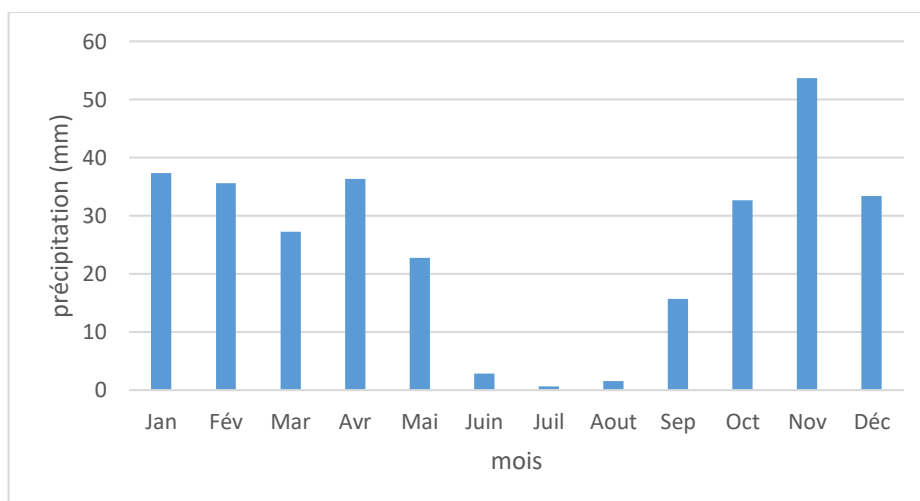


Figure 10. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, Station INRAA d'El H'MADNA Relizane (2000 à 2016).

La figure 10, montre clairement la répartition des précipitations au niveau de la région d'étude, elles sont au maximum durant le mois de novembre, la plus faible valeur est enregistrée pendant le mois de juillet.

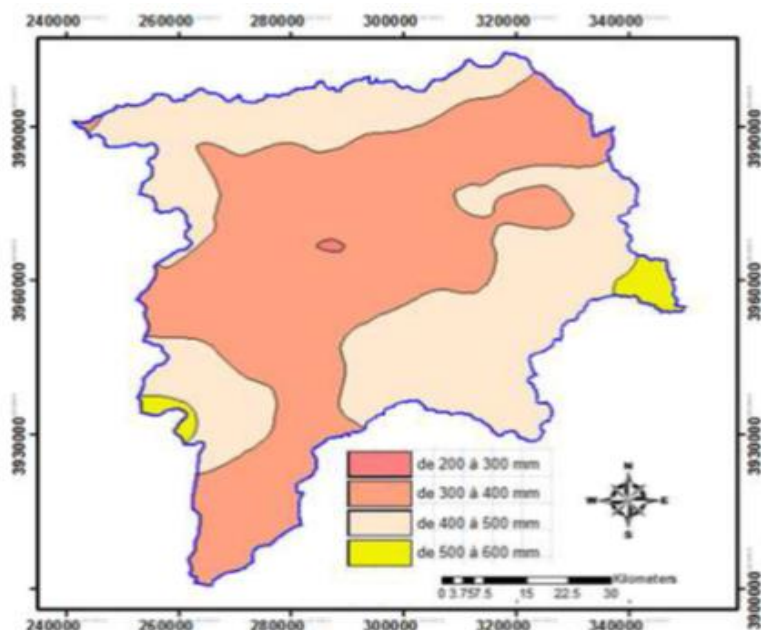


Figure 11. Extraie de la carte pluviométrique du Nord Algérie des précipitations interannuelles ANRH (1968-2011).

II.3.2.La Température

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août (voir le tableau ci-dessous), où elles atteignent un maximum de 30.47°C en moyenne, ce qui correspond à une forte évaporation et une remontée capillaire de la nappe qui se trouve parfois à un mètre de profondeur.

Les basses températures se manifestent au mois de janvier avec une température moyenne de 10,97 °C.

Tableau 08. Données de température de la station de l'INRAA d'EL H'MADNA (2000-2016).

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T(C°)	10,97	12,11	14,70	17,74	22,03	27,24	30,47	30,34	26,11	22,03	15,25	12,14

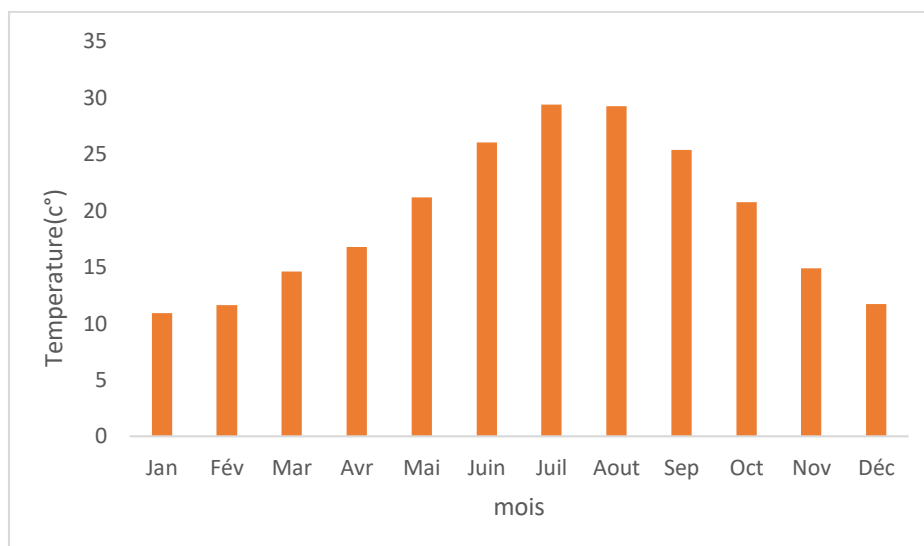


Figure 12. Histogramme des Températures moyennes mensuelles (2000 à 2016), Station INRAA d'EL H'MADNA Relizane.

Les données de températures illustrées par la figure 12, montrent que le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et basses en hiver.

II.3.4. Analyses climatique

II.3.4.1. Diagramme ombrothermique de Gausson

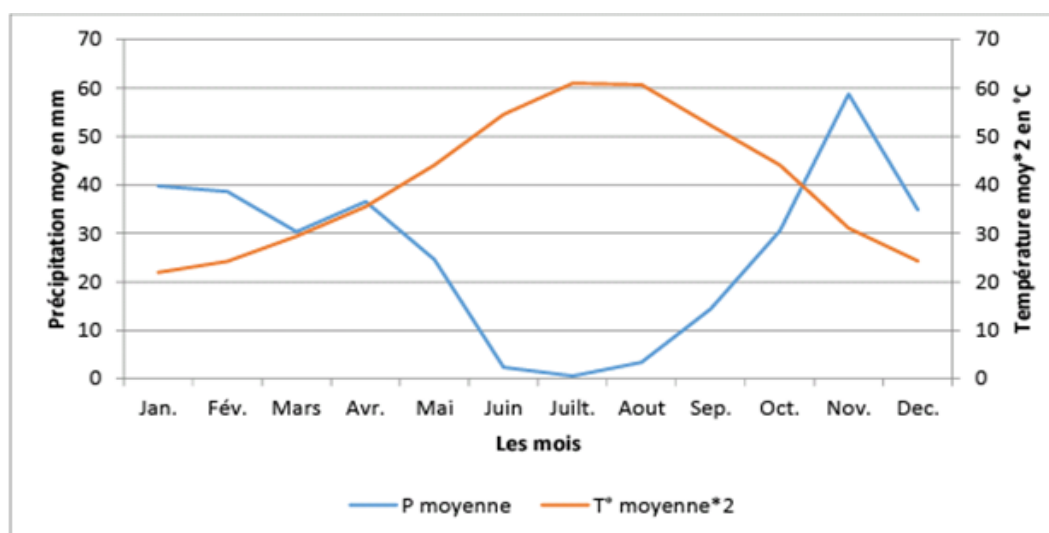


Figure 13. Diagramme ombrothermique de la station climatique d'EL H'MADNA (2000-2016).

D'après les résultats de Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnols, de la station d'El H'MADNA on remarque une longue période de sécheresse est révélée, elle s'étale sur sept mois, allant de mi d'Avril à mi d'Octobre.

Bagnols et Gaussen (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation $P \leq 2T$, avec :

P : moyenne mensuelle des précipitations en (mm).

T : moyenne mensuelle des températures en (°C) avec $T = (M+m)/2$.

II.3.4.2. Indice de l'aridité de DEMARTONNE(1927)

Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température, selon l'équation suivante :

$$I_a = \frac{P \text{ (mm)}}{T \text{ } ^\circ\text{C} + 10}$$

Où

P : les hauteurs annuelles des précipitations en mm.

T : les températures moyennes annuelles en °C.

10 : constante, utilisée pour éviter les valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0°C.

Dans la région d'EL HMADNA cet indice est de 10.44 de la période (1990-2014). Des valeurs d'indices d'aridité ($10 < I < 20$) caractérisent les régions à climat semi-aride. Donc la région d'EL H'MADNA appartient à un climat semi-aride.

II.3.5. Le vent

Selon **Mokhtari (2009)** ; d'après les observations effectuées à la station d'EL H'MADNA, il ressort que le vent dominant est le vent d'ouest. Sa vitesse moyenne varie de 13 à 33 Km/h, jouant le rôle de la dégradation mécanique du sol et agit sur l'amplitude de la température.

Il constitue ainsi un agent d'érosion efficace dans les régions à couverture végétale faible à nulle, surtout durant la période sèche où beaucoup de sols acquièrent une structure micro- polyédrique (pseudosables) à la surface voire poudreuse dans d'autres cas (**Douaoui, 2005**). Le vent agit soit directement par une action mécanique sur le sol et les végétaux, soit indirectement en modifiant l'humidité et la température (**Ozenda, 1982**).

D'après les observations effectuées à la station du d'EL H'MADNA (Tableau 09), il ressort que le vent dominant est le vent de l'ouest. Sa vitesse moyenne varie de 6,1 à 11,9 Km/h, jouant le rôle de la dégradation mécanique du sol et agit sur l'amplitude de la température.

Tableau 09. Données de vent de la station d'EL H'MADNA (2016- 2017).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
V(Km/h)	9,8	11,9	9,6	8,7	9,9	11	10,6	10	8,9	8,3	10,7	6,1

II.3.6. L'humidité

L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée le matin pour tous les mois ; elle est de l'ordre de 60 à 85 % en automne et l'hiver et entre de 35 à 60 % en printemps et l'été. Elle peut compenser en un certain degré l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes.

Le tableau suivant nous rapporte les données concernant l'humidité dans la région d'étude.

Tableau 10. Données de l'humidité de la station d'EL H'MADNA (2016- 2017).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
H %	54,9	66,5	84,2	76,5	67,2	63,6	61,6	48,1	36,6	39,2	43	44,5

II.3.7. Evapotranspiration

Elle est définie comme étant la valeur maximale possible de l'évapotranspiration dans des conditions climatiques données. Elle résulte de deux phénomènes l'un physique : l'évaporation, l'autre biologique : la transpiration. L'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de Thorntwait est de 1000 mm/an.

Tableau 11. Données de L'évapotranspiration de la station d'EL H'MADNA 1990/2010.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
ETP (mm)	16	18,5	39,0	55,4	105,7	159,3	215,9	206,0	121,1	79,3	32,8	19,3

II.4. Géologie et géomorphologie

La plaine du Bas-Chélif est un synclinal traversé par le lit de l'oued Chélif qui occupe, à l'instar des autres plaines du Chélif, le fond de bassins de sédimentation où s'accumulent les sédiments (**Boulaine, 1957**). Elle est comblée d'alluvions du quaternaire et encadrée au nord et au sud par des piémonts du Dahra et de l'Ouarsenis de l'âge Miocène et Pliocène (tertiaire), qui lui fournissent le matériau par érosion. L'existence de la sebkha de Benziane située sur le plateau de Benziane au sud-ouest de la plaine lui confère un caractère particulier (figure 14).

La plaine est relativement jeune parce qu'elle date seulement du quaternaire, c'est un synclinal comblé dur harbien (quaternaire) encadré au Nord et au sud par des collines de l'âge Miocène pliocène (tertiaire). En conséquence, ces bordures fournissent directement par érosion les alluvions de la plaine du Bas-Chélif (**McDonald et Bneder, 1990**).

Vers le sud, l'oued Rhiou et l'oued Djidouia traversent les collines, comprennent de schistes et de marnes salés, ce qui justifie la haute salinité des sols alluviaux de la plaine ainsi que le niveau de la salinité des eaux de la retenue du barrage Gargar (**McDonald et Bneder 1990**).

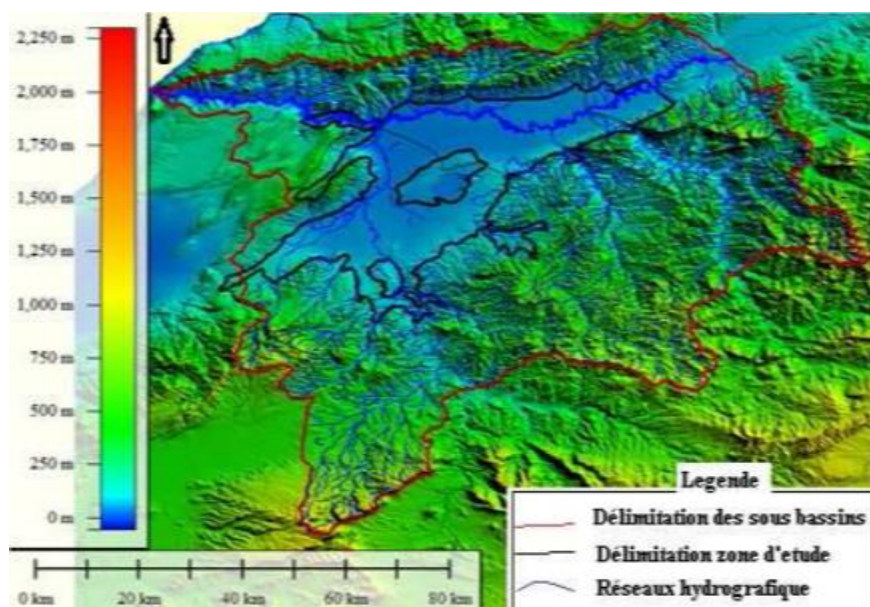


Figure 14. Morphologie de la région (Source : MIGUEL Edilasio Augusto Capapelo, PAIM Paulo Jorge da Costa, 2015).

II.4.1. Les glaciers colluvionnaires

Assez étroits de 3 % à 5 % qui se retrouvent en bordure de la plaine où les formations récentes sont dominantes. La présence des croûtes calcaires qui caractérisent les formations plus anciennes est peu fréquente. Dans le cas échéant, on les retrouve par conséquent sur les piémonts

du Sud des villes tel que : Oued Rhiou et de Djidiouia. Ils sont constitués par des matériaux en provenance des calcaires du Miocène supérieur ;

II.4.2. La plaine alluviale

Le Bas-Chélif est une plaine alluviale datant du Rharbien. Les alluvions qui la constituent sont d'une épaisseur considérable (plusieurs dizaines de mètres), les matériaux récents originaires des bassins versants du Chélif, de l'oued Rhiou et de l'oued Djidiouia sont ces constituants principaux (dominance des schistes et des marnes du Miocène et du Pliocène souvent riches en sels) ;

II.4.3. Les lits des oueds actuels

Les lits d'oueds sont encaissés dans la terrasse alluviale du Rharbien à un niveau inférieur à 10 mètres. Les bords sont très escarpés et très abrupts.

L'oued Chélif est le principal oued de la plaine, il la traverse d'Est en Ouest. Au moment des grandes crues, il déborde sur les terrasses récentes en déposant en bordure de ses berges des bourrelets alluviaux le plus souvent sableux connus sous le nom de formations actuelles et qualifiés de formations modernes par (**Gaucher, 1947**) ;

II.4.4. La Sebkhia de Benziane

C'est une dépression naturelle, cavée dans la région de Benziane au Nord de la ville d'Oued El Djemaa. **Boulaine (1957)** avait retenu l'hypothèse que la sebkhia a été formée par déflation éolienne d'une zone où s'étaient formés des sols salés à la suite de mouvements tectoniques par la combinaison d'un creusement au centre du bassin et d'une accumulation en bordure d'un bourrelet éolien ;

II.4.5. La Gaa

C'est une dépression fermée, couverte par des formations récentes très argileuses, elle se trouve dans la rive droite de l'oued Mina. On y retrouve des petits cours d'eau qui constituent des artères permettant une circulation d'eau vers le centre de la dépression où les eaux stagnent sur pratiquement toute l'année provoquant dans ceci une hydromorphie et une salinisation importante des sols (**Douaoui, 2005**) ;

II.4.6. La colline de partage

C'est un relief caractéristique dans cette partie des plaines du Chélif qui domine Merdjet Sidi Abed d'une dizaine de mètres. Cette formation marque la limite entre la plaine du Bas-Chélif et

la plaine du Moyen-Chélif. Cette colline fait partie d'une série d'autres collines qu'on retrouve dans les autres plaines du Chélif (Moyen et Haut-Chélif).

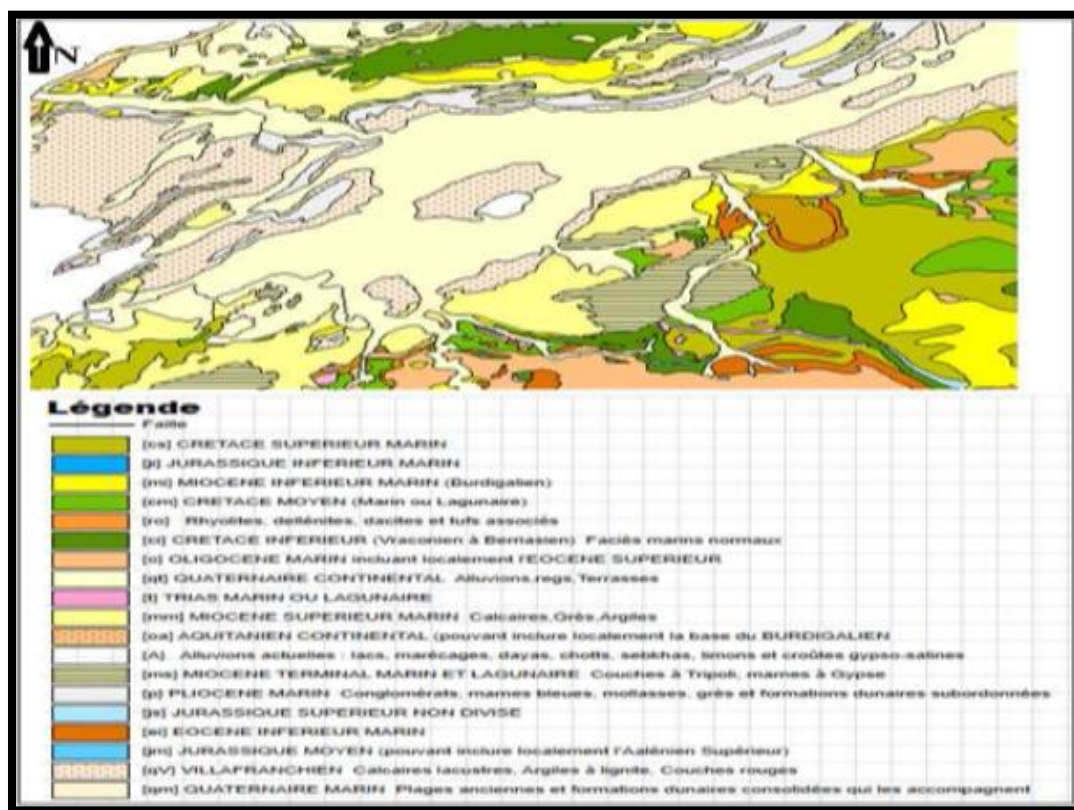


Figure 15. Extrait de la carte 1/50000 de l'Algérie (Louis David ; M Bouillon, 1958).

II.5. Pédologie

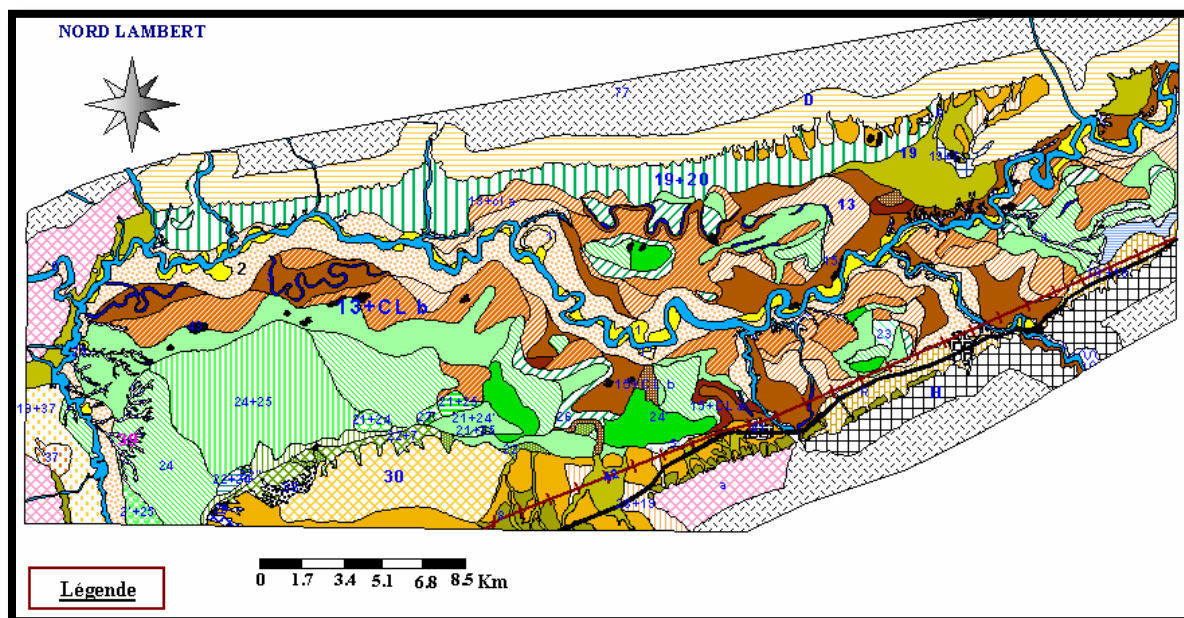
Les travaux réalisés par **Durand (1956)** ont montré que les sols du site d'EL H'MADNA sont tous des solontchaks solonetz à caractère sodique magnésique et calcique (figure 15). Ils présentent pour la grande majorité une texture très fine en surface et des textures à dominance limoneuse dans les horizons sous-jacents. L'analyse des résultats morphologiques et analytiques fait par **Hadj Miloud (2010)** sur un profil situé dans la station d'El H'MADNA a montré qu'il correspond à : Hypersalic Vertic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic), selon la classification mondiale de la **WRB (2006)**.

Au périmètre du Bas Chélif, selon **Boulaine (1957)**, ces sols peuvent être classés en deux principaux types généraux et Six classes :

- Les sols légers et non salés qui se trouvent sur le plateau de Benziane et les périphéries de la plaine ;
- Les sols lourds et salés qui occupent la partie centrale de la plaine.

Tableau 12. Synthèse des sols de la plaine du Bas-Chélif d'après la carte pédologique de McDonald et Bneder (1990).

Type de sol	Caractéristiques
Les sols peu évolués	<p>- Les sols peu évolués d'apport alluvial : Ce sont des sols de granulométrie et des caractéristiques physico-chimiques très variées. On les rencontre le plus souvent sur les terrasses des lits de l'oued. Ils sont généralement profonds.</p> <p>- Les sols peu évolués d'apport colluvial: Ils sont caractérisés le plus souvent par des dépôts de cailloux et de graviers à la surface et en profondeur du profil. Leur texture peut être très variée. Localisés au bord de la plaine.</p>
Les vertisols	Riches en argiles gonflantes (smectites). C'est des sols à mauvais drainage. On les retrouve sur les alluvions des terrasses Rharbiennes. Ils présentent souvent le caractère salin avec une hydromorphie en profondeur.
Lessols calcimagnésiques	Ces sols sont présents le long des limites Nord et Sud de l'aire d'étude. Ce sont des sols d'apport alluvial et colluvial. Ils sont plus ou moins différenciés et présentent parfois des calcaires continus sous forme d'encroûtement et de croûte.
Les sols Hydromorphes	Ce sont des sols profonds avec un drainage imparfait dû à la position basse qu'ils occupent formant généralement des dépressions fermées telles que les sols de la GAA. On les rencontre un peu partout dans le Bas Chélif.
Les sols isohumiés	Moins fréquents dans le Bas-Chélif, ils sont de couleur marron et présentent, parfois, le caractère vertique des accumulations discontinues de calcaire. Localisés sur les colluvions de la partie sud de la plaine et sur le plateau de Bouziane
Les sols Salsodiques	Appelés halomorphes : sont des sols dont l'évolution est influencée par la présence de sels solubles et du pourcentage du sodium échangeable. Lorsque la conductivité électrique dépasse les 4 dS/m par la méthode de la pâte saturée, ils sont appelés sols salés (U.S.S.L.S, 1954).



1 : sols alluviaux non évolués des dépôts sableux des lits majeurs des oueds	21 : Solontchaks lessivés ou solonetz par ablation éolienne (sols des dayas des zones salés)
1' : fréquemment inondés	22 : Solontchaks vifs
1'' : salés par ruissellement latéral	22'' : Solontchaks vifs défloculés
2 : sols alluviaux non évolués des dépôts sableux des bourrelets des oueds	23 : Solontchaks inertes avec plus de 0,18 % et moins de 0,5 % de Cl en surface
2' : peu épais	24 : Solontchaks inertes avec plus de 0,18 % de chlore en surface
3 : sols hydromorphes non salés des réseaux d'écoulement des eaux superficielles des plaines	24' : Solontchaks inertes avec plus de 0,18 % de Cl en surface et plus de 0,5 % de Cl en profondeur
4 : sols hydromorphes permanents	25 : Hyposolontchaks avec 0,07 à 0,18 % de Cl en surface + accumulation de Chlorure en profondeur
5 : sols hydromorphes temporaires, à nappes phréatiques non salées	26 : Hyposolontchaks avec 0,07 à 0,18 % de Cl en surface
7 : sols hydromorphes à inondations temporaires hivernales	27' : Eosolonetz de lunettes érodées
8 : sols calciques formés sur carapace calcaire	28 : sols partiellement décalcifiés à accumulation progressive de calcaire
13 : sols alluviaux complexes à horizon d'accumulation des sulfates	30 : sols partiellement décalcifiés à accumulation brusque du calcaire
13+cla : sols alluviaux complexes à horizon d'accumulation des sulfates et chlorures	37 : sols dunaires rouges décalcifiés
13+clb : sols alluviaux complexes à horizons d'accumulation des sulfates+accumulation de chlorures en profondeur (>0,18 %)	38 : sols dunaires de la bordure nord de l'auréole de la sebkha Benziane
15 : sols alluviaux complexes évolués	39 : griffe d'érosion

15+cla : sols alluviaux complexes +accumulation de chlorures en profondeur (<0,18%)	42 : voie ferrée
15+clb : sols alluviaux complexes +accumulation de chlorures en profondeur (>0,18 %)	43 : villages, douars, canneaux, etc...
18+18' : sols colluviaux provenant des massifs calcaires, pente assez forte	77 : Massif (Dahra, Ouarsenis)
19 : sols colluviaux provenant des massifs gréseux et des formations quaternaires anciennes	a : Association des sols à carapace calcaire
20 : sols colluviaux et alluviaux provenant des massifs marneux et argileux	D : Association des sols jeunes formés sur grès et marnes
	H : Association des sols formés sur les calcaires tendres
	R : Route nationale n°

Figure 16. Carte des sols du bas Chélif (Source : Boulaine, 1956. RATA, 2010).

II.6. L'occupation des sols

L'occupation du sol dans la plaine des Bas Cheliff variée par de type de végétation agricole est naturelle comme les halophytes :

-Dans le périmètre des oueds Rhoiu, Djédiouia et Ouarizane les cultures localise généralement sont : vergers d'agrumes et d'oliviers ; sur les sols calcima gnésiques du plateau de Benziane les céréalières en sec comme culture principale avec 22%. (**Douaoui, 2005**).

On les retrouve également dans les périmètres irrigués : Selon l'étude de **McDonald et Bneder (1990)**, les cultures suivantes : orge 20 %, blé 8,5 %, olivier 3,6 %, melon, pastèques et artichaut 6,7 % de la surface agricole utile ;

-les cultures maraîchères irriguées de 10 % (melon, pastèque, artichaut, oignon...) sont cultivées dans les périmètres irrigués et se concentrent au bord des lits d'oueds.

Selon (**Douaoui, 2005**) les sols très salé sont couvert par la végétation halophyte de 43% et principalement dans la région de Gaa, et une variation sur la résistance à la salinité. Et on trouve aussi des sols labourés de pourcentage 3%.1% par l'arboriculture, 21 % par la jachère, 43 % par la végétation halophyte.

II.7. Ressources en eau

La plaine du Bas-Chélif comporte des potentialités importantes en eau, mais comme c'est les cas de plusieurs régions d'Algérie la plaine n'en profite pas (**Douaoui, 2005**).

II.7.1. Les ressource en eaux superficielles

Les deux principales ressources en eau sont constituées par deux retenues :

- Le barrage de Gargar sur Oued Rhiou : d'une capacité théorique de 450Hm³, il est l'un des plus grands barrages d'Algérie ;
- La retenue de la Merdjet Sidi Abed, un réservoir hors cours d'eau d'une capacité de 50Hm³, elle remplit en hiver essentiellement par dérivation des eaux de l'oued Chlef, ainsi elle était dévasée en 2005.

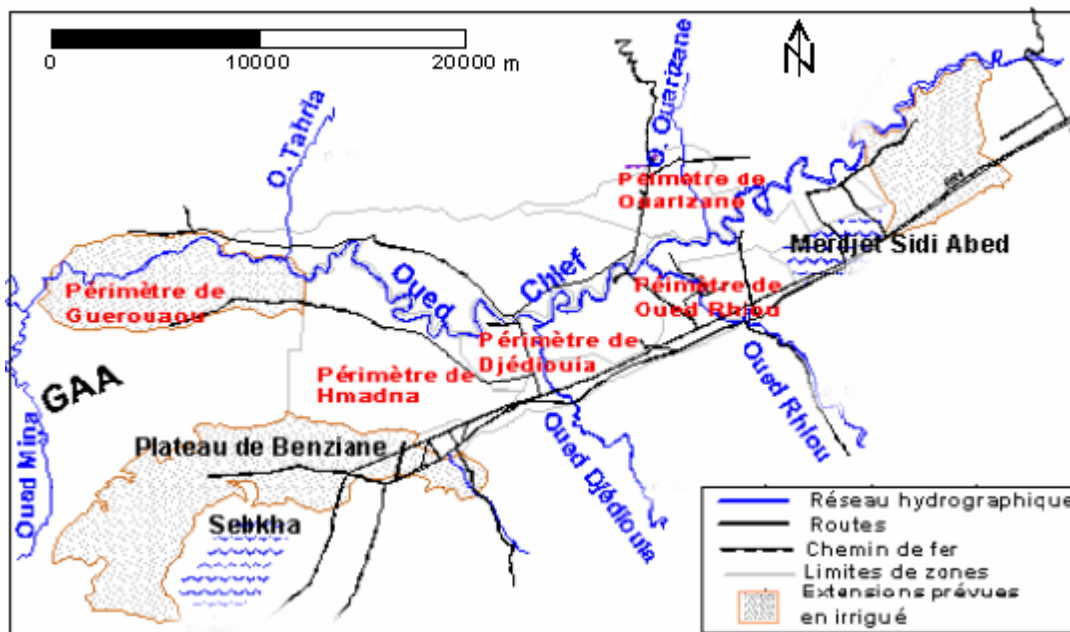


Figure 17. Réseau hydrographique et principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif
(Source : Douaoui, 2005).

La qualité de l'eau des cours d'eau dans le bassin de Chélif est aussi eue discutée, elle est en général plutôt médiocre. La salinité de l'eau dans l'oued Rhiou varie entre 0,5g/l environ pour les débits les plus forts et 2g/l pour les débits d'étiage. La figure 17 nous renseigne sur la qualité des eaux du barrage de Gargar et de Merdjet Sidi Abed pour l'année 2002.

II.7.2. Qualité des eaux souterraines

La viabilité de la plupart des exploitations agricoles de la plaine du Bas-Cheliff est conditionnée par l'existence d'un forage (Hartani et Lakehal, 1999).

II.8. La salinité des sols

La carte établie par **Douaoui (2005)** a montré que les superficies dont la salinité est supérieure à 25 dS/m, sont localisées essentiellement dans la partie ouest de la plaine. D'un autre côté, les superficies ayant une salinité inférieure à 4 dS/m n'apparaissent pratiquement qu'au niveau du plateau de Benziane et de la colline de partage. Par ailleurs, les sols qui se trouvent de part et d'autre de l'oued Chélif sont dominés par la classe de la salinité comprise entre 4 et 8 dS/m suivie par la classe 8-16 dS/m (figure 18).

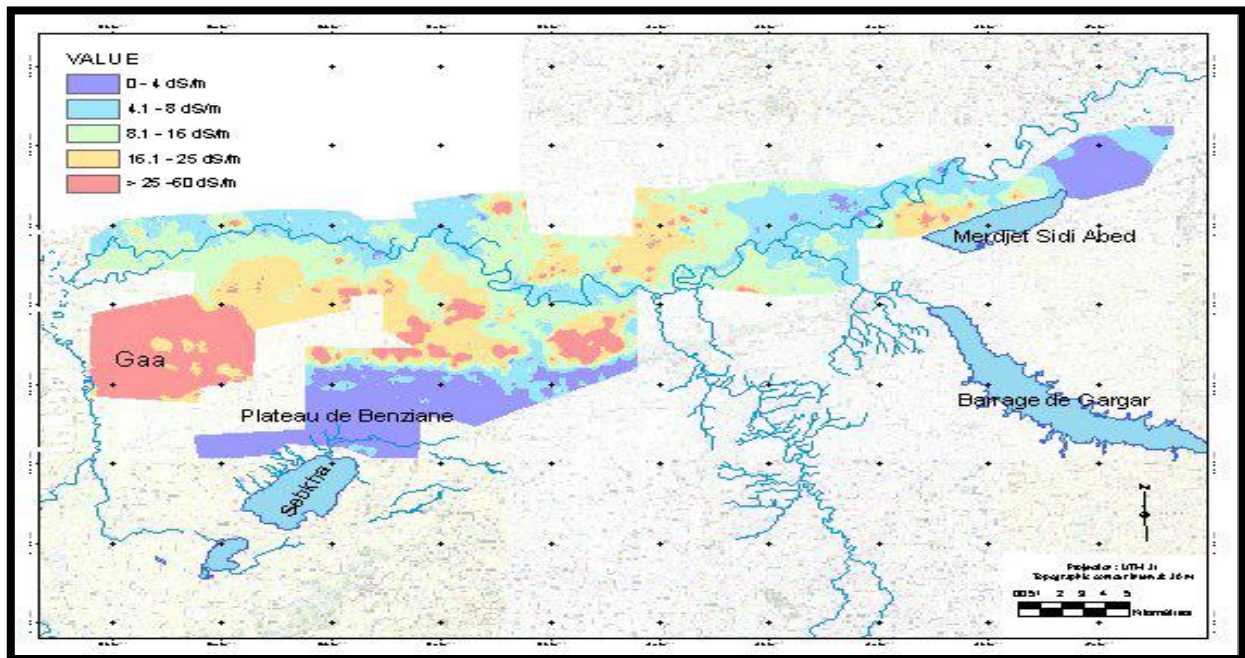


Figure 18. Carte de la salinité estimée par Krigeage et variogramme local (**Douaoui, 2005**).

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1. L'objectif de travail

L'objectif de cette recherche est l'étude de la dynamique du potassium dans le sol de la région d'EL H'MADNA. Ce sont des sols salins du périmètre du Bas Chélif. Pour la réalisation de ce travail nous avons adopté la démarche suivante:

- Premièrement, sur le terrain, où nous avons prélevé des échantillons du sol sur quatre parcelles à différents niveaux de salinité, sur deux horizons (H1 : 0 – 20 cm, H2 : 20 – 40 cm). Trois points sont choisis, constituant un échantillon représentatif pour chaque parcelle;
- Deuxièmement, nous avons procédé à une série d'analyse au laboratoire dans le but d'établir une :
 - Caractérisation physico-chimique des sols de la région, les analyses ont porté sur la détermination de texture, l'humidité hygroscopique, le pH, le calcaire total, la matière organique, la capacité d'échange cationique, la conductivité électrique et le bilan ionique.
 - Ensuite, l'analyse du potassium total, assimilable et soluble pour l'étude de la dynamique de cet élément dans le sol.



Figure 19. Localisation des échantillons prélevés (Google Earth, 2019).

Dont les coordonnées géographiques des parcelles étudiées représentées par la figure 17, sont comme suit :

Sol 01 : N : 35°55'.518

E : 00°45'.014

Sol 02 : N : 35°55'.521

E : 00°44'.965

Sol 03 : N : 35°55'.466

E : 00°44'.809

Sol 04 : N : 35°55'.773

E : 00°44'.809

Pour l'étude des différentes corrélations entre l'effet de la salinité et les formes du potassium nous avons utilisé le logiciel STATISTICA.

III.2. Echantillonnage

La période de prélèvement est très importante pour l'étude agro-pédologique des sols. Les meilleures périodes de prélèvement sont lorsque les sols ont des teneurs en eau légèrement à la capacité au champ (Mathieu et Pieltain 2003). Le prélèvement de nos échantillons a été effectué le 03 – 04 – 2019.



Figure 20. Photos de methodologie d'échantillonnage.



Photo : Sol 01



Photo : Sol 02



Photo: Sol 03



Photo: Sol 04

Figure 21. Photos des parcelles étudiées. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

Les échantillons ont été prélevés par l'utilisation de la tarière, ensuite ils ont été séchés dans un endroit sec à l'air libre pendant 5 à 8 jours. Après séchage, les échantillons de sol sont tamisés à 2 mm pour séparer la terre fine de la terre grossière et conservés dans des sacs en plastique bien fermés, jusqu'au moment des analyses.

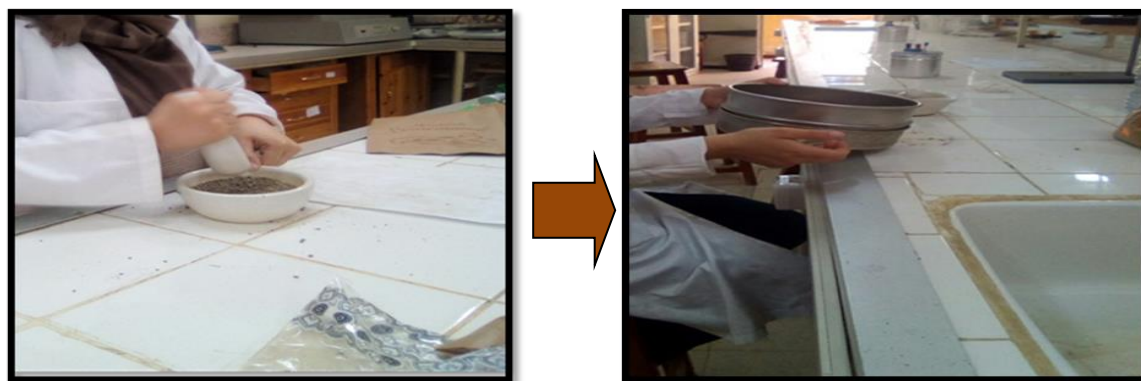


Figure 22. photos de Broyage et tamisage. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

III.3. Analyse au laboratoire

III.3.1. Caractérisation du sol

III.3.1.1. Analyse physiques

a. Analyse granulométrique

Elle a été faite sur des échantillons de terre fine (inférieur à 2 mm) séchée à l'air libre, selon la méthode internationale à la pipette de Robinson. Dont la séparation des différentes classes de particule se fait par la sédimentation et prélèvement à des temps échelonnés pour les fractions les plus fines ($\leq 50 \mu\text{m}$) et par tamisage pour les fractions supérieur (**Aubert, 1978**). Après décarbonatation et destruction de la matière organique puis la dispersion des particules par un dispersant énergétique (hexamétaphosphate de sodium) et par agitation mécanique. Puis effectuer des prélèvements à l'aide de la pipette de Robinson, en appliquant la loi de Stokes (**Aubert, 1978**).

La répartition des diamètres d'après **Atterberg** est la suivante :

Argiles $d < 0.002 \text{ mm}$

Limons fins $0.002 < d < 0.02 \text{ mm}$

Limons grossiers $0.02 < d < 0.05 \text{ mm}$

Sables fins $0.05 < d < 0.02 \text{ mm}$

Sables grossiers $0.02 < d < 2 \text{ mm}$

La texture est définie à l'aide du triangle texturale.

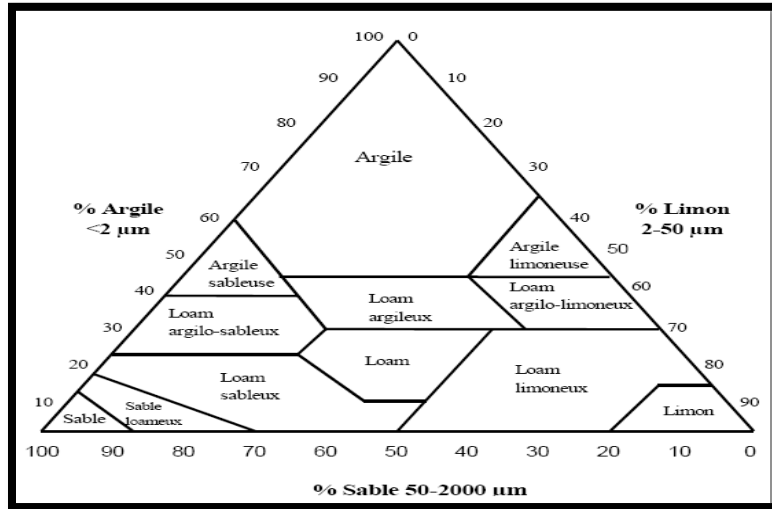


Figure 23. Diagramme de classification détaillée des textures (US Taxonomy 1976 et clé de la Taxonomie des sols, 1986) (in AOUAM, 2007.)

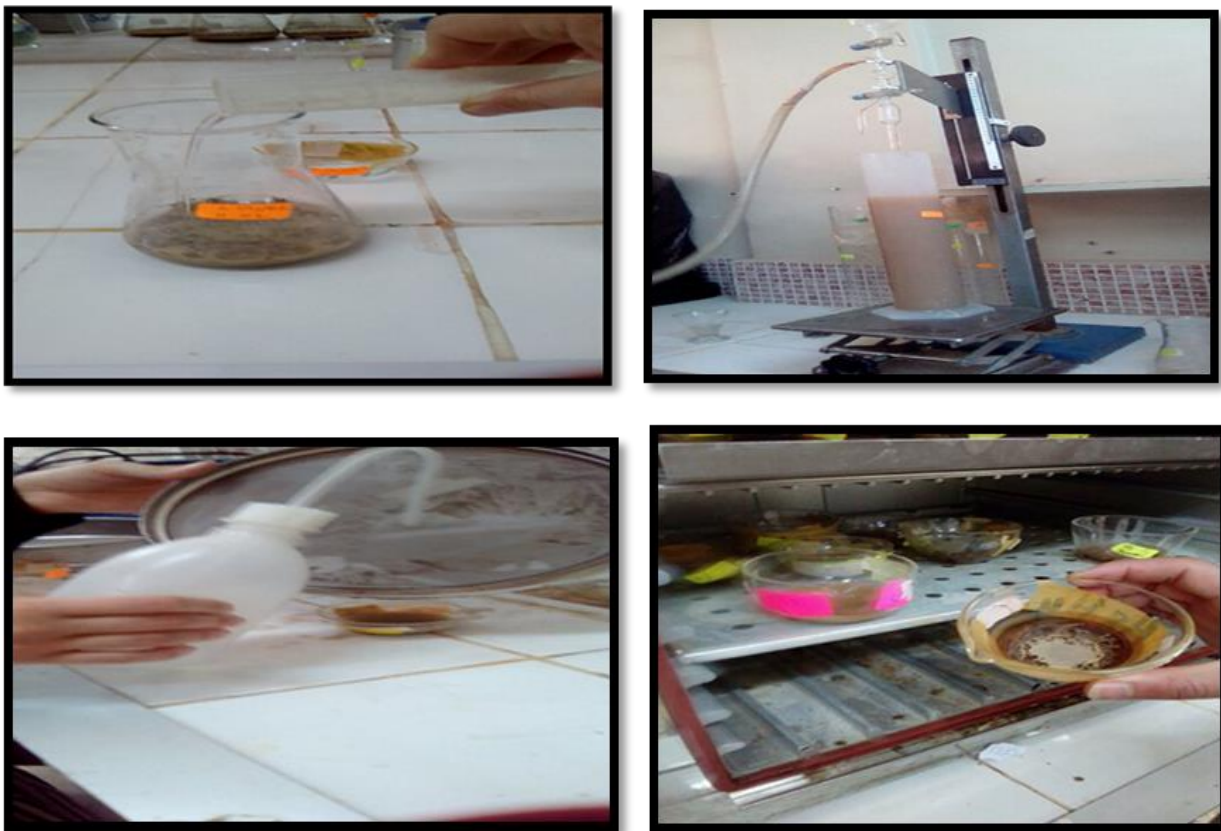


Figure 24. Photos de détermination de la granulométrie. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

b. L'humidité

Conformément à la norme internationale ISO 16586 (Meynard et al, 1997), l'humidité est obtenue par différence de poids d'un échantillon de sol avant et après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 h.



Figure 25. Photos de méthodologie de mesure d'humidité. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

III.3.1.2. Analyse chimiques

a. Calcaire total (CaCO₃)

Il a été déterminé par calcimétrie volumétrique à l'aide d'un calcimètre de Bernard, on utilisant la propriété du carbonate de calcium de se décomposer sous l'action d'un acide chlorhydrique (HCl), en eau et gaz carbonique, ce dernier est recueilli, dans un tube gradué en millilitres (Aubert, 1978).



Tableau 13. Echelle d'interprétation de Calcaire Total (Baise, 2000).

CaCO ₃ (%)	Sol
CaCO ₃ < 1%	Non calcaire
1 < CaCO ₃ < 5%	Peu calcaire
5 < CaCO ₃ < 25%	Modérément calcaire
25 < CaCO ₃ < 50%	Fortement calcaire
50 < CaCO ₃ < 80%	Très fortement calcaire

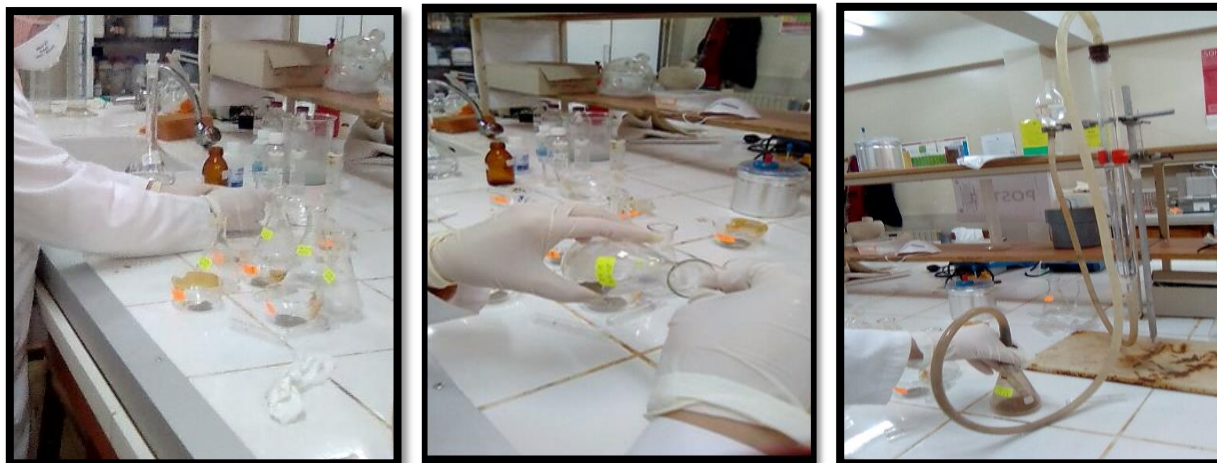


Figure 26. Photos de détermination du calcaire total. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

b. Matière organique

La détermination de la matière organique est effectuée, par la méthode de ANNE : le carbone organique est oxydé par du bichromate de potassium en milieu sulfurique (**Petard, 1993**).

Le calcul du pourcentage de carbone organique se fait par le titrage direct de bichromate de potassium avec la solution de Mohr (sulfate double d'ammonium et de fer). La classification du sol selon la MO% est donnée par le Tableau (14).

Tableau 14. Echelles d'interprétation de la Matière organiques (I.T.A, 1975 in HAFOUDA, 2005).

MO (%)	Sol
MO < 1	Très pauvre
1 < MO < 2	Pauvre
2 < MO < 4	Moyen
MO > 4	Riche



Figure 27. Photos de détermination de la matière organique. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

III.3.1.3. Analyses physico-chimique

a. pH-eau, pH-KCl

La méthode la plus exacte pour mesurer le pH d'un sol consiste à utiliser un « pH mètre » électrique qui donne directement la valeur du pH quand on plonge des électrodes en verre dans une solution obtenue en mélangeant une part d'échantillon du sol avec deux parts d'eau distillée (Duchauffour, 2001).

> Le pH Eau

C'est la mesure de l'acidité d'une suspension de terre dans de l'eau, avec un rapport terre/eau normalisé (1/2.5).

Le travail consiste à former une suspension de 20 g de sol mélangé à l'aide d'un agitateur pendant 30 minutes dans 50 ml d'eau distillée. Après l'agitation la lecture du résultat se fait après 5 minutes de repos de la solution avec « pH-mètre ».

➤ **Le pH KCl**

Il exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle. C'est un indice d'expression des degrés de saturation du complexe adsorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés. Avec un rapport terre /solution normalisé. (Delcour, 1981).

Le travail consiste à former une suspension de 20 g de sol mélangé à l'aide d'un agitateur pendant 30 minutes dans 50 ml de solution de KCl 0.02N. Après l'agitation la lecture du résultat se fait après 5 minutes de repos de la solution avec « pH-mètre ».

Tableau 15. Echelles d'interprétation de pH eau : extrait 1/2.5 (Baize, 2000).

$\text{pH} \leq 5$	fortement acide
$5 < \text{pH} \leq 6$	franchement acide
$6 < \text{pH} \leq 6.6$	légèrement acide
$6.6 < \text{pH} \leq 7.4$	Neutre
$7.4 < \text{pH} \leq 7.8$	légèrement alcalin ou légèrement basique
$\text{pH} > 7.8$	alcalin ou basique

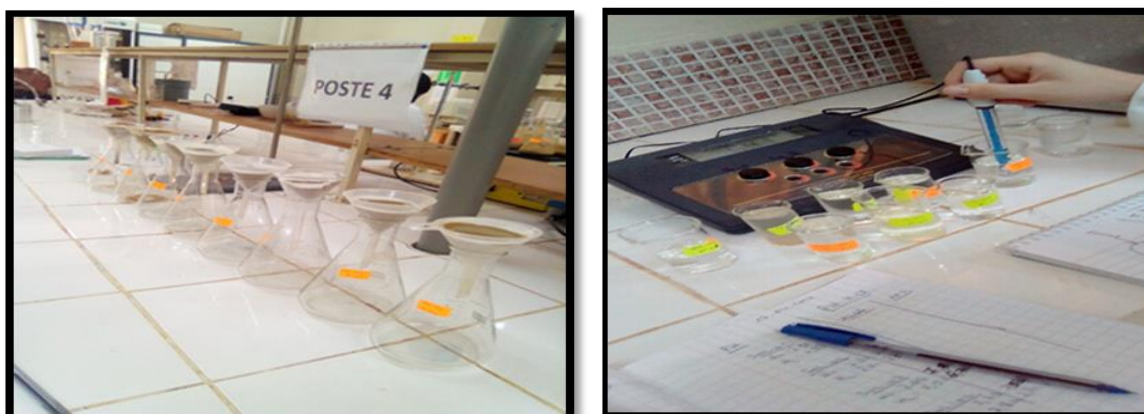


Figure 28. Photos de détermination de pH. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

b. La conductivité électrique CE

La conductivité électrique c'est une moyenne d'apprécier la teneur globale en sels dans la solution du sol. Elle a été déterminée par le conductimètre sur un extrait avec un rapport de (sol/eau) de 1/5 à une température de 25°C (Aubert 1978).

Tableau 16. Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 (Aubert, 1978).

CE mS/cm à 25°C	Degrés de salinité
$CE \leq 0,6$	Sols non salés
$0,6 < CE \leq 1,2$	Sols peu salés
$1,2 < CE \leq 2,4$	Sols salés
$2,4 < CE \leq 6$	Sols très salés
$CE > 6$	Sols extrêmement salés

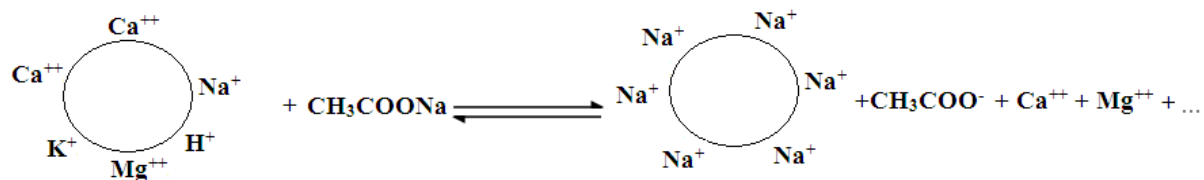


Figure 29. Photos de détermination de la conductivité électrique. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

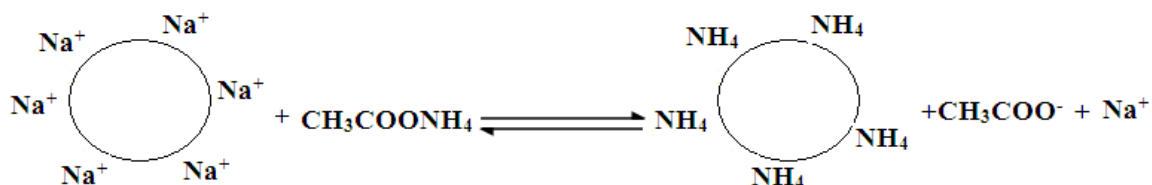
c. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique (CFC) est la capacité à fixer de façon réversible les cations échangeables (Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+}) (Baize, 2000). Les cations sont liés aux feuillets d'argile par des forces de nature électrostatique et possèdent la propriété d'être échangeables. Ces cations échangeables se fixent à la surface des feuillets et assurent la liaison entre eux (Calvet, 2003).

On introduit dans une colonne à percolation le sol à analyser et on percole lentement une solution saline convenablement choisie. Cette extraction est faite par percolation sur colonne. Si on choisit par exemple la solution d'extraction l'acétate de sodium, les cations Na^+ en excès déplacent les cations échangeables etaturent le complexe absorbant selon l'équilibre :



L'excès d'ions Na^+ déplace l'équilibre vers la droite (voir formule), et pour déterminer la capacité totale d'échange on doit d'abord éliminer par lavage à l'alcool, la solution saline en excès ; les cations Na^+ sont, seuls retenus par le complexe absorbant, qu'il faudra ensuite déplacer par percolation à l'aide d'une solution d'acétate d'ammonium suivant la réaction suivante :



Le sodium ainsi recueilli est dosé par photométrie d'émission à flamme et sa concentration est égale à la capacité d'échange cationique du sol étudié.

Si $T < 5$ meq/100 g de sol → capacité d'échange cationique très faible

Si $5 < T < 10$ meq/100 g de sol → capacité d'échange cationique faible

Si $10 < T < 15$ meq/100 g → capacité d'échange cationique moyenne

Si $15 < T < 20$ meq/100 g → capacité d'échange cationique élevée

Si $T > 20$ meq/100 g → capacité d'échange cationique très élevée



Figure 30. Photos de détermination de la CEC. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

III.3.1.4. Le bilan ionique

Le bilan ionique est effectué sur extraits du rapport (terre/eau) de 1/5 il consiste à analyser les anions Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- et SO_4^{2-} et les cations Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ K^+ (Aubert, 1978).

III.3.1.4.1. Les cations solubles

a. Calcium et magnésium

Le calcium et le magnésium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A à pH entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence du Murexide et noire Eriochrome (NET), l'E.D.T.A réagit tout d'abord avec les ions calcium, magnésium libres puis avec les ions (Ca^{2+}), (Mg^{2+}) combinés avec les indicateurs coloré qui vire alors respectivement de la couleur rouge au violet, et de noire au bleu.

Le sodium et le potassium sont dosés par photométrie à flamme.



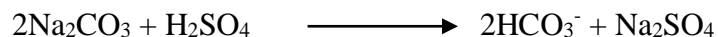
Figure 31. Photos de détermination de Calcium Magnésium, Sodium, Potassium. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

III.3.1.4.2. Les anions solubles

a. Dosage des carbonates et bicarbonates (HCO_3^- et CO_3^{2-})

Par titration à l'acide sulfurique H_2SO_4 en présence des indicateurs. La fin de réaction est indiquée par le changement de couleur soit un virage.

Lors d'une attaque acide, les carbonates se décomposent en deux étapes :



En présence d'indicateurs, la fin de la réaction est indiquée par un changement de couleur, soit un virage.

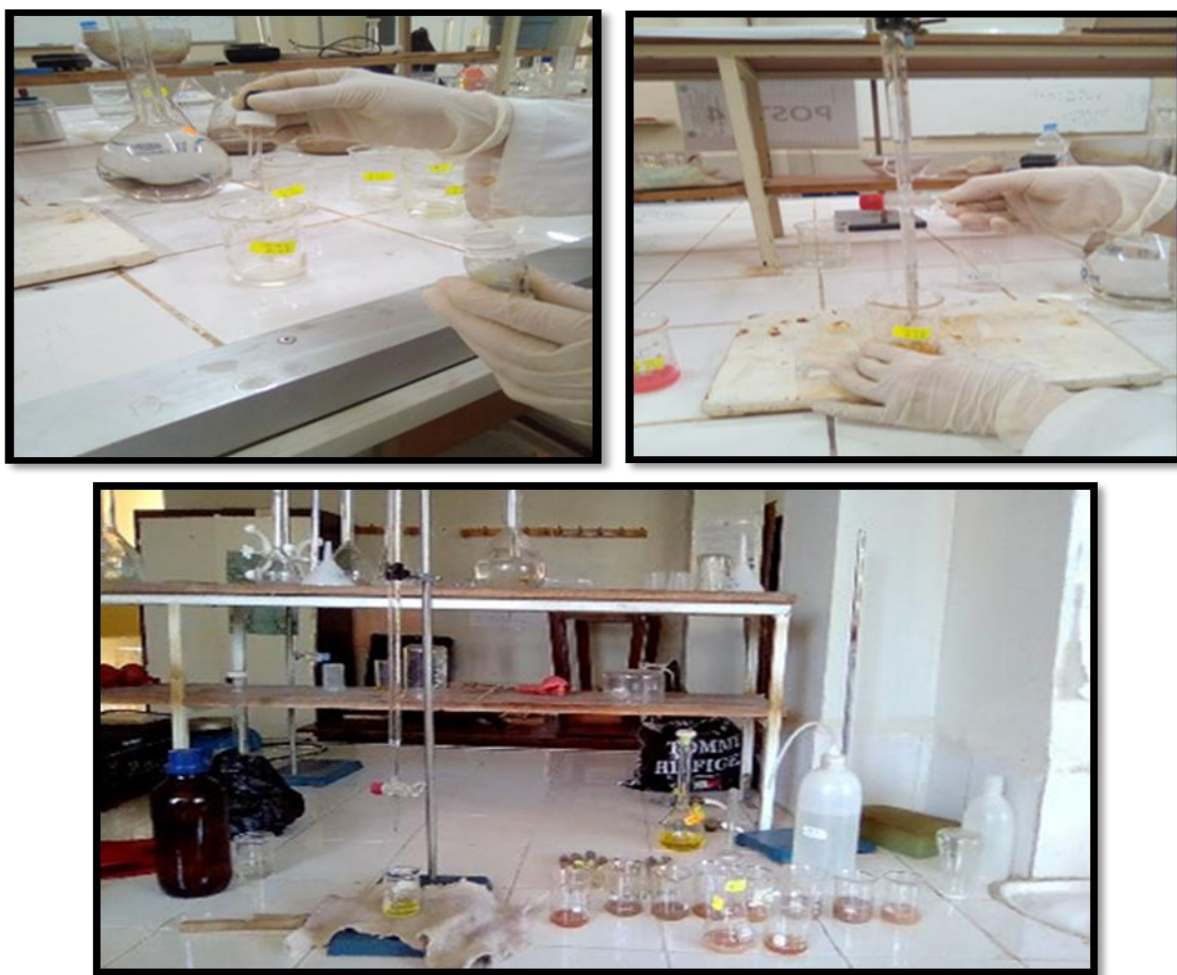


Figure 32. Photos de methodologie de determination decarbonates et bicarbonates. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

b. Dosage du chlore (Cl⁻)

Dosage du chlore s'effectue par la méthode de MOHR basée sur la titration de l'extrait de sol par nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. En présence de chlore il y a apparition d'un précipité rouge.



Figure 33. Photos de méthodologie de détermination de chlorure. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

c. dosage de sulfates SO₄²⁻

Le dosage du gypse a été effectué selon la méthode chimique, les ions SO₄²⁻ libérés après un attaque aux carbonates d'ammonium et précipitation sous forme de chlorure de baryum (Coutinet, 1965).

III.3.2. Étude de potassium

Le principe de la méthode consiste à extraire le potassium assimilable et échangeable à l'acétate d'ammonium 1N à pH 7. Le potassium échangeable est déplacé par l'ammonium et il est libéré dans la solution d'extraction. Le potassium extrait, qui constitue le potassium assimilable, est dosé par spectrophotométrie. Toutes les analyses sont réalisées en 3 répétitions.

III.3.2.1. Le potassium total

Attaque à l'acide fluorhydrique (**Jackson, 1965**). Addition de 10ml d'acide perchlorique et 20ml d'acide fluorhydrique à 1 g de sol. Porter à ébullition pendant 15 minutes, filtrer. L'échantillon de sol est d'abord minéralisé, et le K total est déterminé des différentes formes de potassium.

III.3.2.2. Le potassium assimilable

Extraction à l'acétate d'ammonium : 5g de terre + 50ml d'acétate d'ammonium 1 N à pH 7. On agite pendant 1 heure, on laisse reposer une nuit, on agite à nouveau pendant 5 minutes, et puis on filtre.

III.3.2.3. Le potassium soluble

Extraction à l'eau distillée. On ajoute 50 ml d'eau distillée à 5 g de terre, on agite pendant 4 heures, on filtre.

III.3.2.4. Le potassium échangeable

Le potassium échangeable est calculé à partir du potassium assimilable et du potassium soluble (Le potassium échangeable = le potassium assimilable – le potassium soluble).

Les différentes formes de potassium sont dosées par photométrie de flamme. Ce dosage a nécessité des points de gamme préparés à partir d'une solution de KCl.



Figure 34. Photos de méthodologie de détermination des formes de potassium. (Cliché par Nefraoui et Mellah).

Chapitre IV

Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre nous allons interpréter et discuter les résultats obtenus, permettant d'évaluer les propriétés physico-chimiques des analyses. (Les résultats obtenus sont présentés dans l'annexe).

IV.1. Caractérisation du sol

IV.1.1. La granulométrie

Les résultats de la texture sont présentés dans le tableau 17 et dans les figures (35, 36, 37, 38).

Tableau 17. Résultats d'analyse granulométrique.

		Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
A %	H1 :0-20 cm	36,10	27,35	40,28	61,48	41,30
	H2 :20-40 cm	48,79	38,93	54,34	72,43	53,62
L %	H1 :0-20 cm	34,63	46,82	25,67	17,92	31,26
	H2 :20-40 cm	43,50	46,82	33,83	21,06	36,30
S %	H1 :0-20 cm	36,68	29,14	34,04	20,59	30,11
	H2 :20-40 cm	16,58	14,24	11,15	6,5	12,11

La granulométrie permet la séparation des constituants minéraux du sol, et par conséquent les classés selon leurs diamètres, les résultats sont présentés dans le graphique ci-dessous :

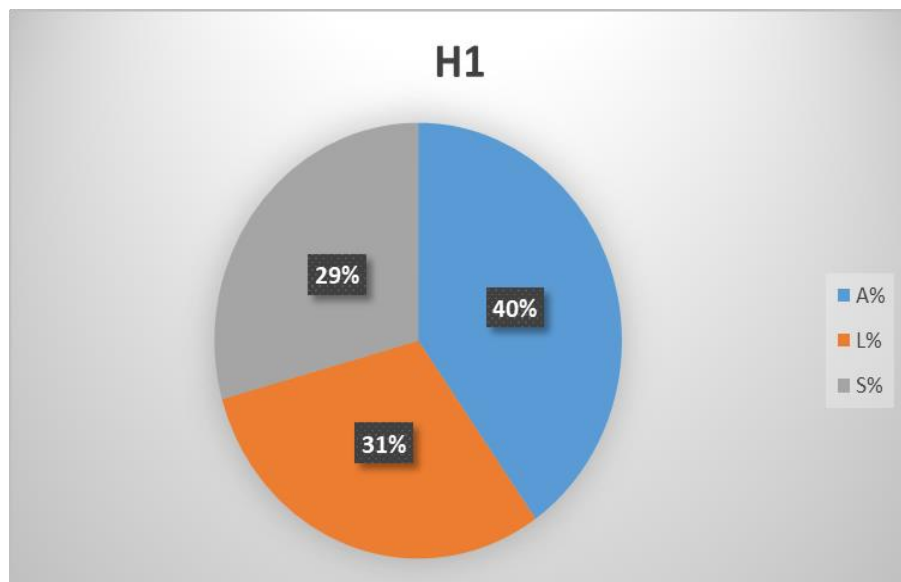


Figure 35. Les variations de la granulométrie du sol selon les échantillons prélevés (%) de l'horizon (H1).

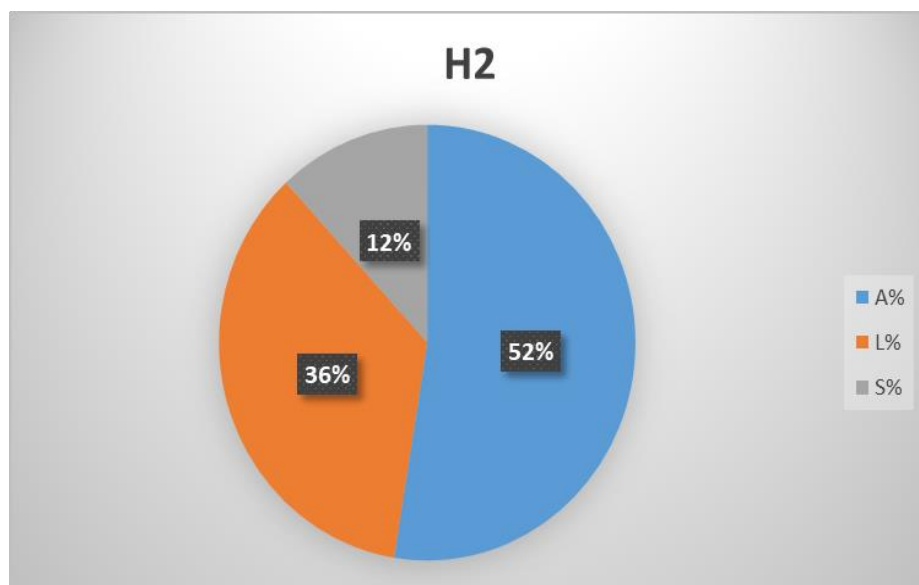


Figure 36. Les variations de la granulométrie du sol selon les échantillons prélevés (%) de l'horizon (H2).

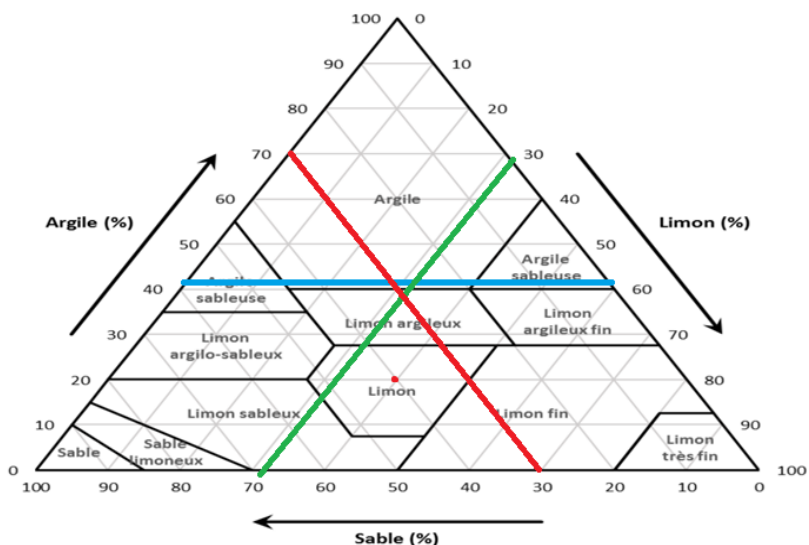


Figure 37. Diagramme de classification détaillée des textures de l’horizon (H1)

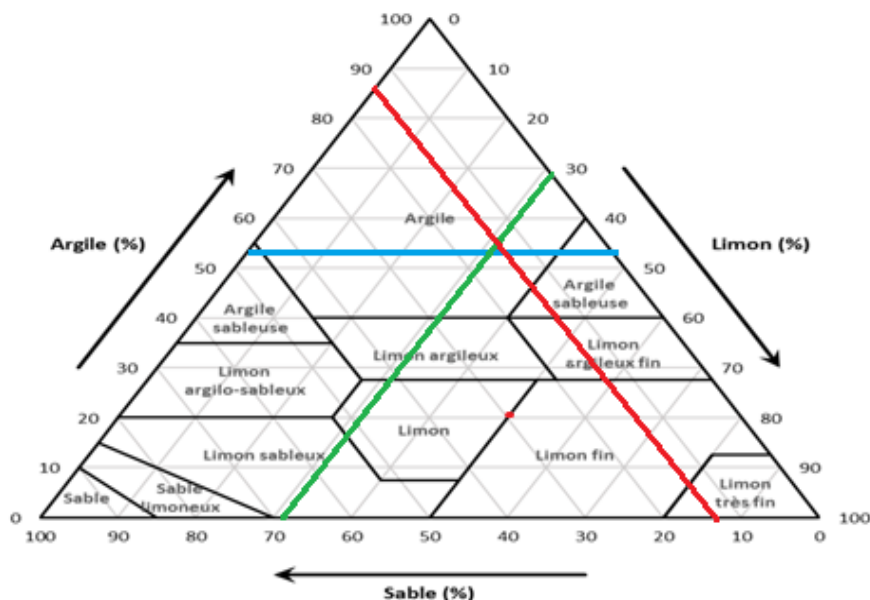


Figure 38. Diagramme de classification détaillée des textures de l’horizon (H2).

L'analyse granulométrique des échantillons est reportée en fonction des pourcentages des argiles, des limons et des sables dans le triangle textural pour déterminer les classes de texture (f). Les valeurs obtenus sur les quatre stations montrent que le pourcentage des argiles ($\emptyset < 0,002$

mm) varie entre 40% pour le premier horizon et 52% pour la deuxième, le pourcentage des limons ($0,002 < \varnothing < 0,05$ mm) varie entre 31% pour le premier horizon et 36 % pour la deuxième, le pourcentage des sables ($0,05 < \varnothing < 2,0$ mm) est faible et varie entre 29% et 12% respectivement pour H1, H2. Nous nous sommes référés à la classification américaine des textures des sols (**Eswaran et al, 2002**) pour marquer les moyennes des valeurs granulométriques dans le triangle textural, où nous enregistrons que la texture la quasi-majorité des couches de sol étudiées sont argileux à argilo limoneux.

En effet, **La Chaussée (1950)** cite qu'un tel taux élevé en argiles est à l'origine du phénomène d'imperméabilité du sol et de stagnation des eaux en surface.

D'après le triangle textural notre sol est caractérisé par une texture argilo limoneux.

IV.1.2. Humidité

La teneur en eau du sol est un paramètre important à déterminer sur le sol, car elle permet de préserver la vie de la faune du sol, d'améliorer la germination et la croissance des végétaux, l'eau dans le sol est indispensable à la vie.

Les résultats concernant les mesures de l'humidité de notre sol sont comme suit :

Ces résultats sont illustrés par la figure 39.

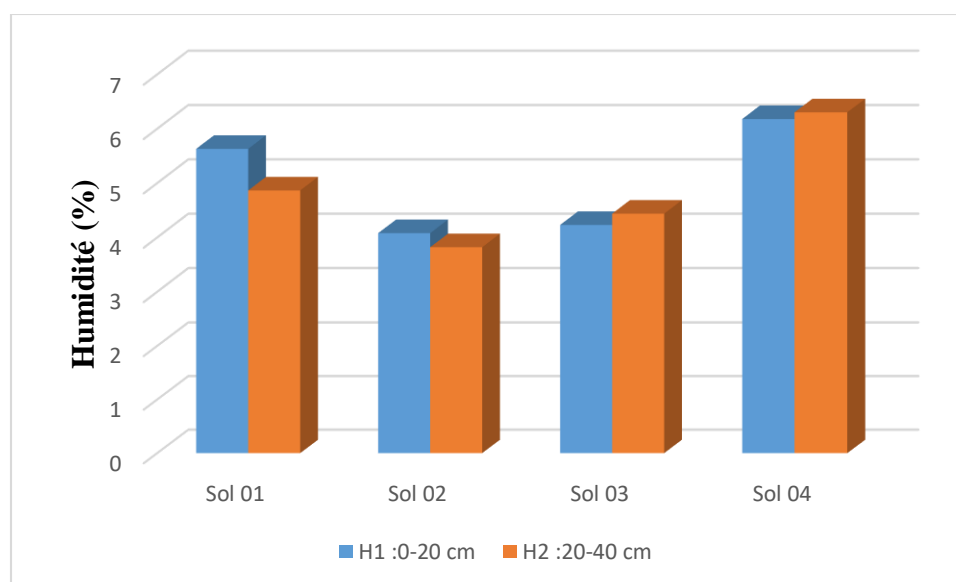


Figure 39. Les variations des valeurs de l'humidité du sol des parcelles étudiées.

D'après la figure 39 ; on observe une augmentation de l'humidité de la surface vers la profondeur de ces sols.

En général, on n'enregistre pas de variations importantes concernant les résultats de l'humidité pour les quatre stations et pour les deux horizons.

IV.1.2. Analyse chimiques

IV.1.2.1. Calcaire total (%)

Le calcaire total est l'ensemble du calcaire de sol représente sous toutes dimensions (toutes les tailles). Sa quantité dans le sol peut être déterminée après sa dissolution par un acide moyennement concentré.

La teneur en calcaire totale du sol étudié est mentionnée dans le graphique ci-dessous :

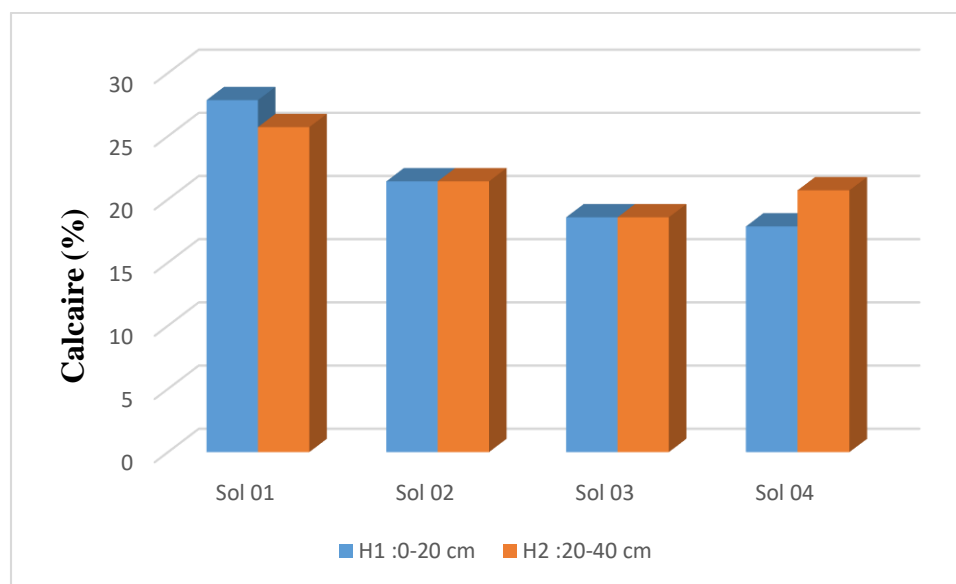


Figure 40. Les variations des valeurs du calcaire total du sol des parcelles étudiées.

D'après ces résultats, nous remarquons qu'il n'y a pas une grande différence du taux de calcaire total entre les deux horizons.

Le taux du calcaire total varie entre 17,85% et 27,85%. D'après la classification de **Baize (2000)**, les quatre types du sol d'EL HMADENA est considéré comme modérément calcaire.

IV.1.2.2. Matière Organique (%)

La matière organique du sol a pour origine les débris animaux et végétaux de toute sorte, les exsudats racinaires et la biomasse microbienne. Elle peut subir une évolution selon les processus de la minéralisation et de l'humification.

La teneur en matière organique du sol étudié est présentée dans le graphique ci-dessous :

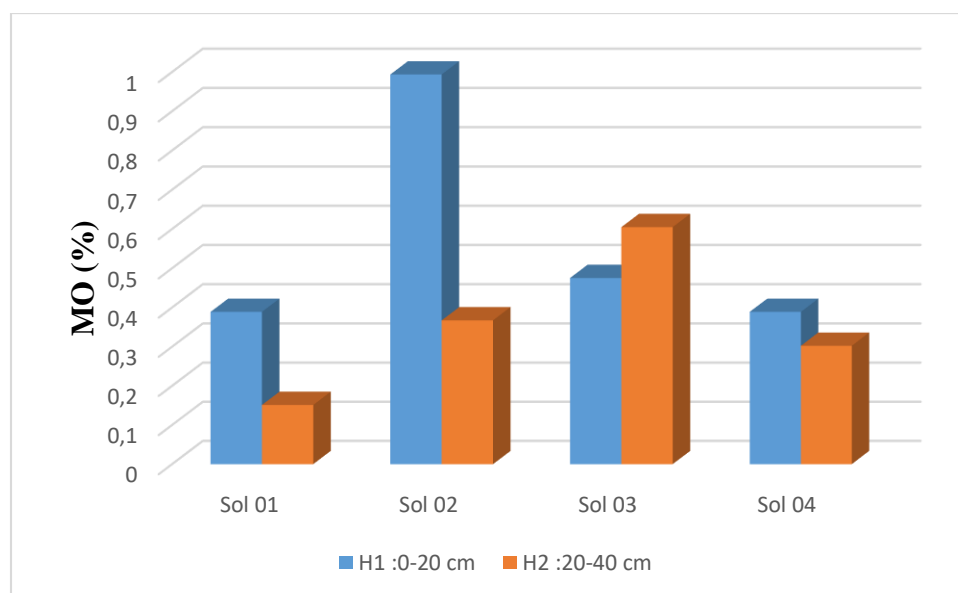


Figure 41. Les variations des taux de la matière organique du sol des parcelles étudiées.

D'après la figure 41 ; nous remarquons que la teneur la plus élevée est obtenue par le sol peu salé dans l'horizon de surface (sol 02). Les moyennes de la matière organique sont comprises entre 0,35% et 0,56% (voir annexe).

Suivant la classification des sols en fonction du pourcentage de matière organique adoptée par (I.T.A, 1975 in HAFOUDA, 2005), les sols analysés présentent un taux inférieur à 1%, donc ils sont très pauvres en matière organique.

IV.1.6. La capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) est une mesure du pouvoir d'un sol à retenir et échanger des cations. Il s'agit d'un indicateur relatif du potentiel de fertilité d'un sol. Les sols ayant une CEC élevée peuvent retenir davantage de cations et possèdent une plus grande capacité à les échanger que les sols ayant une faible CEC (Kessel, 2015).

Les résultats d'analyses de la CEC du sol donnés par la figure 42 ; montrent que les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le sol 04 (très salé), pour les deux horizons (23,13 – 24,20 meq/100 g sol). La valeur la plus faible est enregistrée au niveau du sol 01 (non salé). Avec une moyenne de 20,68 meq/100 g pour le H01 et 21,30 meq/100 g sol pour H02.

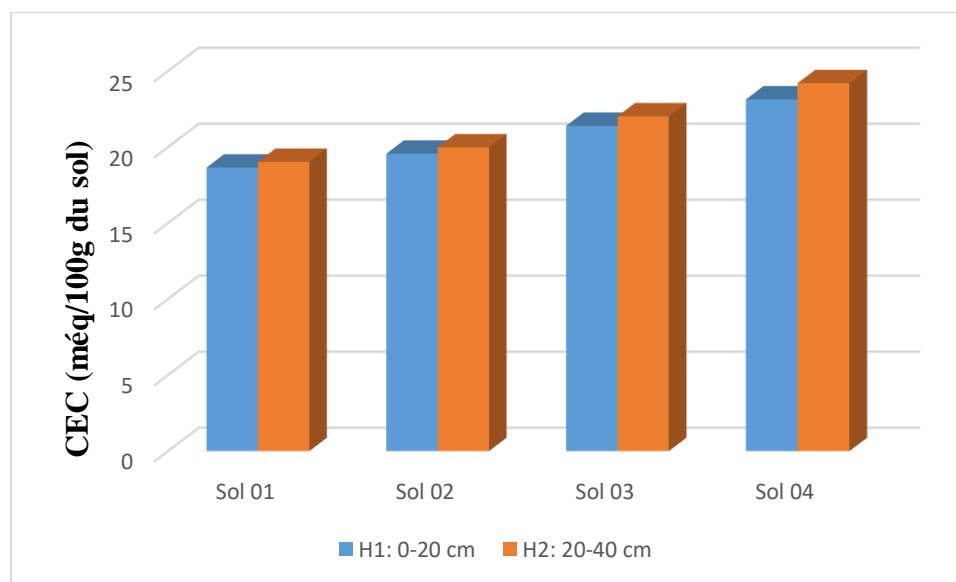


Figure 42. Les variations des valeurs de la capacité d'échange cationique du sol des parcelles étudiées.

D'après les résultats obtenus et les normes d'interprétation de **LANO (2019)**, les valeurs sont comprises entre 15 et 25 meq/100 g sol, donc notre sol se caractérise par une capacité d'échange cationique élevée.

IV.1.3. Analyse physico-chimique

IV.1.3.1. Le pH

Le pH du est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité des sols. Il est considéré comme l'une des principales variables dans les sols, car il contrôle de nombreux processus chimiques qui se déroulent dans ce sol. Ce potentiel Hydrogène affecte spécifiquement la disponibilité des éléments nutritifs des plantes, en contrôlant les formes chimiques des nutriments.

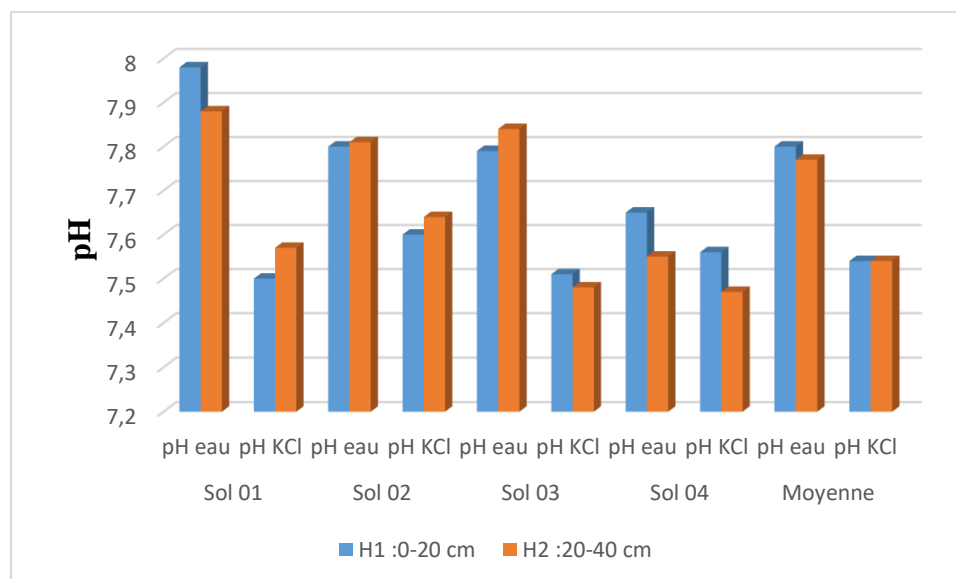


Figure 43. Les variations des valeurs du pH du sol des parcelles étudiées.

On observe, d'après la figure 43, que la valeur du pH varie entre 7,48 et 7,98. Avec une moyenne de 7,54.

A partir de la classification de **Baize (2000)**, le sol de notre zone d'étude dans les deux horizons de surface est basique. Ces valeurs correspondent à une réaction du sol relativement alcaline, caractéristique principale des sols calcaires et des sols salés.

Concernant les résultats du pH-KCl qui indique d'acidité potentielle ou l'acidité d'échange, les valeurs sont supérieures à 7,47. Le pH KCl est toujours plus acide (faible) que le pH eau. Selon **Wouters et Lorent (2002)**, le pH KCl donne une idée de la capacité d'échange du sol, il donne une image précise de la richesse chimique du sol et des réserves disponibles dans le complexe adsorbant. Plus le pH KCl est faible, moins le sol est riche en éléments minéraux, étant donné que le complexe est fortement chargé en H^+ et inversement pauvres en éléments minéraux.

IV.1.3.2. la conductivité électrique CE (mS/cm)

La conductivité électrique permet de mesurer la salinité d'un sol (**Aubert, 1978**). La salinité d'un sol est l'accumulation des sels solubles dans les horizons de surface.

Cette accumulation des sels peut modifier l'environnement immédiat des cultures dont le développement en est alors perturbé. Les accumulations des sels solubles transforment profondément les propriétés physiques et chimiques du sol (**Lambers, 2003**).

Les valeurs données par le conductimètre sont mentionnées dans le graphique ci-dessous :

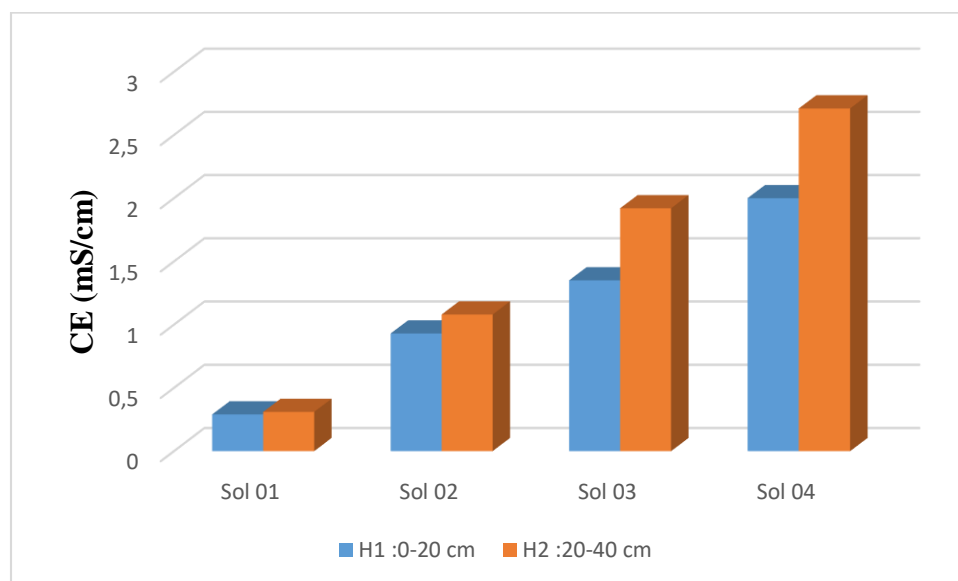


Figure 44. Les variations des valeurs de conductivité électrique du sol des parcelles étudiées.

Pour notre essai, notre choix s'est porté sur quatre parcelles à différents niveaux de salinité. Selon l'échelle de la C.E. citée par **Baize (2000)**, nous constatons que les sols de la région sont en général salés.

S1 : $0,2 \leq 0,6$ → Sols non salés ;

S2 : $0,6 < 1,08 \leq 1,2$ → Sols peu salés ;

S3 : $1,2 < 1,93 \leq 2,4$ → Sols salés ;

S4 : $2,4 < 2,7 \leq 6$ → Sols très salés ;

IV.1.4. Le bilan ionique

Les sels solubles dans le sol sont déterminés en analysant les cations et les anions dans un extrait aqueux. Les méthodes d'extraction des sels les plus utilisées sont l'extrait de pâte saturée et l'extrait dilué selon un rapport de 1/5.

Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et aux anions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} .

IV.1.4.1. Les cations solubles

a. Le calcium Ca^{++} (meq/100 g)

Le calcium est un élément nutritif indispensable aux végétaux. Généralement abondant dans le sol, il est prélevé sous forme du cation Ca^+ par les racines. Ses fonctions principales sont de : participer à la constitution des parois cellulaires des plantes en les rigidifiant, activer différents enzymes dont la nitrate réductase assurant la réduction du nitrate en ammonium dans les feuilles et favoriser la croissance des jeunes racines en synergie avec les autres éléments (UNIFA, 2016).

La teneur en calcium du sol étudié est mentionnée dans le graphique ci-dessous :

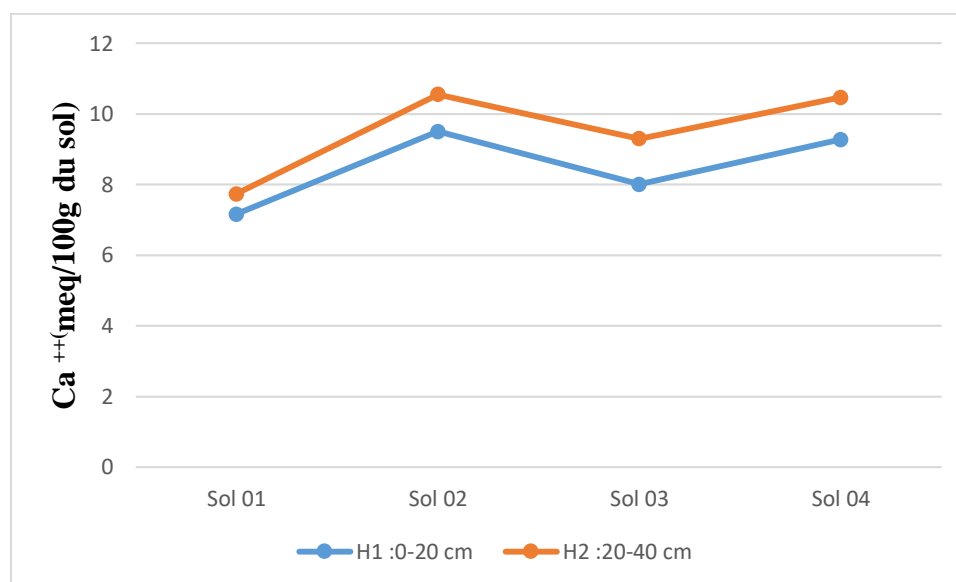


Figure 45. Les variations des valeurs de calcium du sol des parcelles étudiées.

Les résultats représentés par la figure montrent que la variation de Ca^{2+} est parallèle entre les deux horizons avec une moyenne de (8,49 meq/100 g sol) pour l'horizon 01, et (9,51 meq/100 g sol) pour l'horizon 02.

Les résultats des mesures effectuées sur le sol indiquent que il y a une augmentation de la concentration de calcium du sol peu salé jusqu'à le sol très salé.

b. Magnésium Mg^{++} (meq/100 g)

Le magnésium est, avec l'azote, le composant essentiel du noyau de chlorophylle, une autre protéine complexe. Il a de très nombreuses autres fonctions dans la plante.

La teneur en Magnésium du sol étudié est mentionnée dans le graphique ci-dessous :

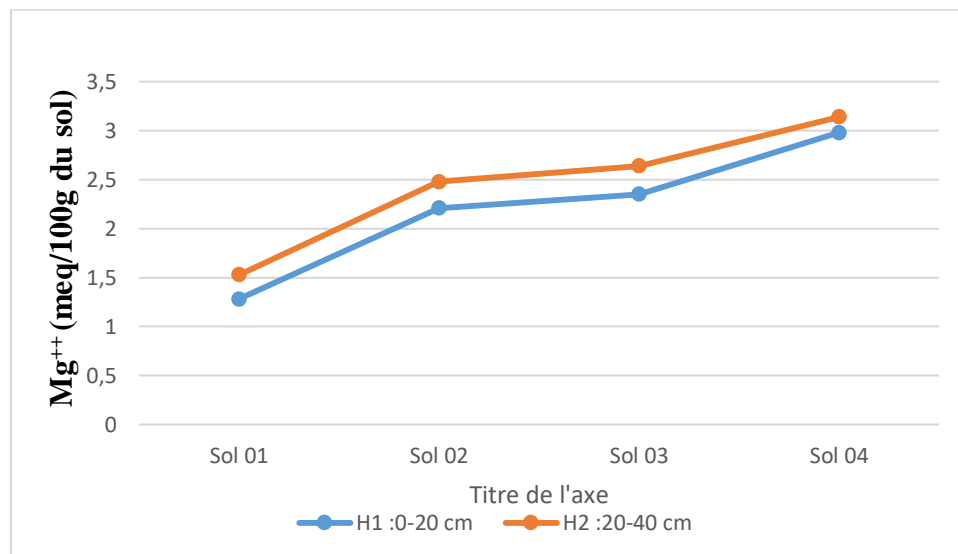


Figure 46. Les variations des valeurs de magnésium du sol des parcelles étudiées.

D'après les résultats il ressort que les teneurs du magnésium augmentent avec l'augmentation de la salinité. Les teneurs les plus élevées sont données par l'horizon H2.

c. Le Sodium Na^+ (meq/100 g)

Selon **RIEU (1981)**, la présence du sodium en grande concentrations dans le sol provoque la dispersion des particules par conséquent la dégradation de la structure. Ce dernier peut aussi influencer la disponibilité du potassium pour les plantes.

La teneur en sodium du sol étudié est mentionnée dans le graphique ci-dessous :

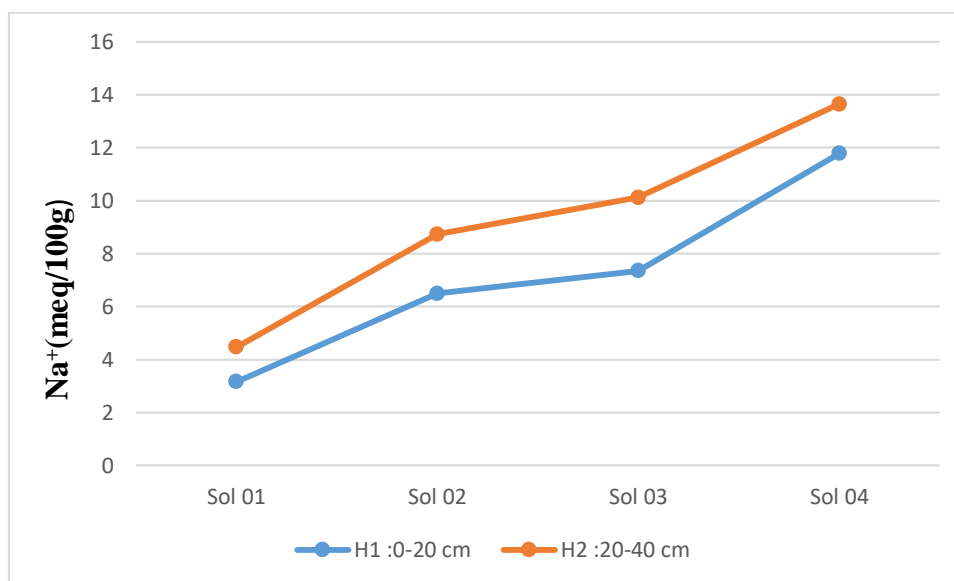


Figure 47. Les variations des valeurs de sodium du sol des parcelles étudiées.

Les teneurs en sodium sont plus élevées dans l'horizon H2 avec une moyenne de 9,24 meq/100 g sol. Les teneurs sont moins élevées au niveau du premier horizon (7,20 /100 g sol). Les valeurs les plus importantes sont enregistrées dans le sol très salé.

d. Le potassium K^+ (meq/100 g)

La teneur en potassium du sol étudié est mentionnée dans le graphique ci-dessous :

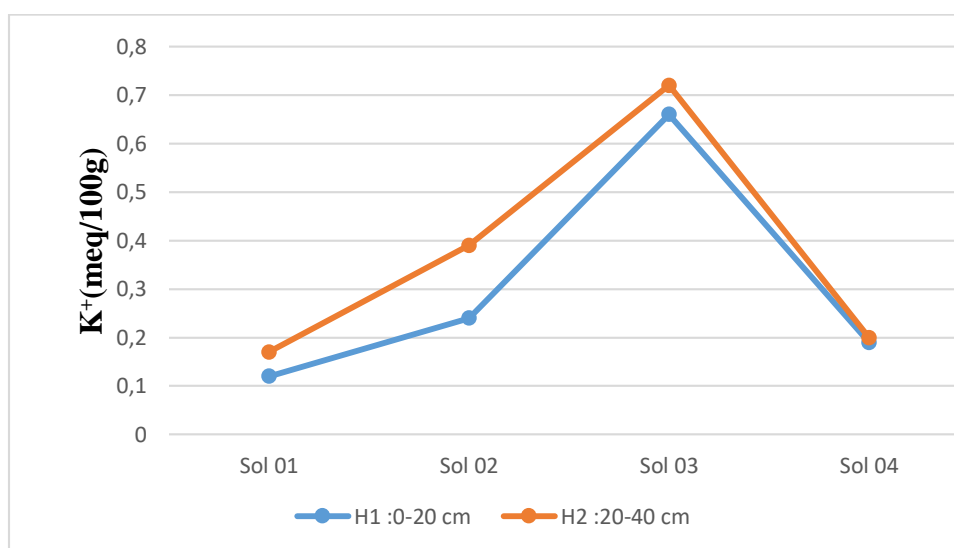


Figure 48. Les variations des valeurs de potassium du sol des parcelles étudiées.

Les résultats représentés par la figure montrent que la variation de K^+ est parallèle entre les deux horizons avec une moyenne de (0,42) pour l'horizon 1, et (1,49) pour l'horizon 2.

Les résultats des mesures effectuées sur le sol indiquent que il y a une diminution de la concentration de potassium du sol peu salé jusqu'à le sol très salé.

IV.1.4.2. Anions solubles

a. Carbonate et Bicarbonate (meq/100 g)

Les résultats obtenus indiquent que notre sol ne contient pas de carbonates, par contre on a enregistré la présence des bicarbonates dont les valeurs sont représentées par la figure suivante :

Les valeurs de la concentration de bicarbonate sont mentionnées dans le graphique ci-dessous :

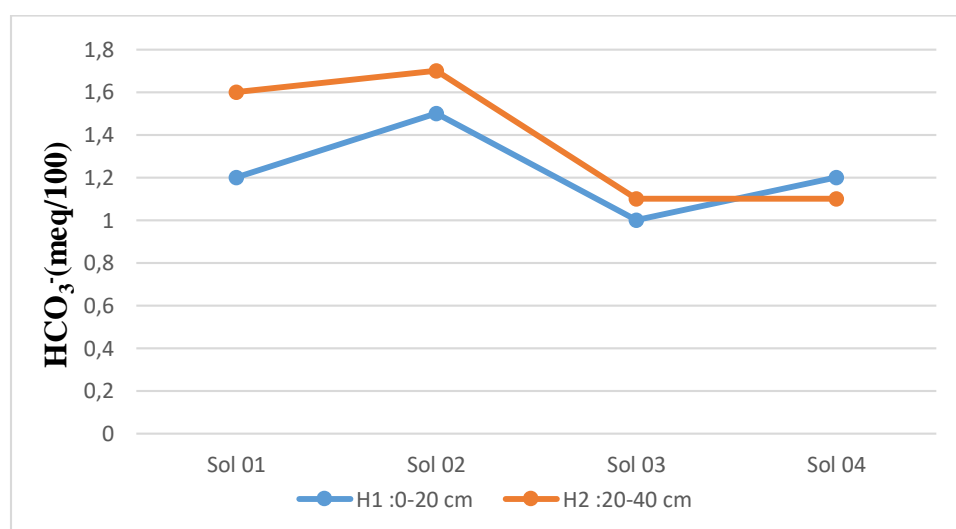


Figure 49. Les variations des valeurs de bicarbonates du sol des parcelles étudiées.

A partir des résultats obtenus par la figure ci-dessous on remarque qu'il y a une grande différence. On enregistre que la teneur la plus élevée est enregistrée dans le sol le peu salé.

b. Chlorure Cl^- (meq/100 g)

Les chlorures sont extrêmement mobiles dans les sols où ils sont essentiellement présents sous forme d'ion chlorure Cl^- (Coughtery et al, 1983 ; Bentley et al, 1986). Son comportement semble être affecté par les hydroxydes de fer et d'aluminium et par la matière organique avec

laquelle il formerait des complexes. Il n'y a pas de données concernant la capacité des sols à absorber ou à retenir le chlore gazeux.

Les résultats concernant les valeurs de chlorure obtenus sont représentés par la figure suivante :

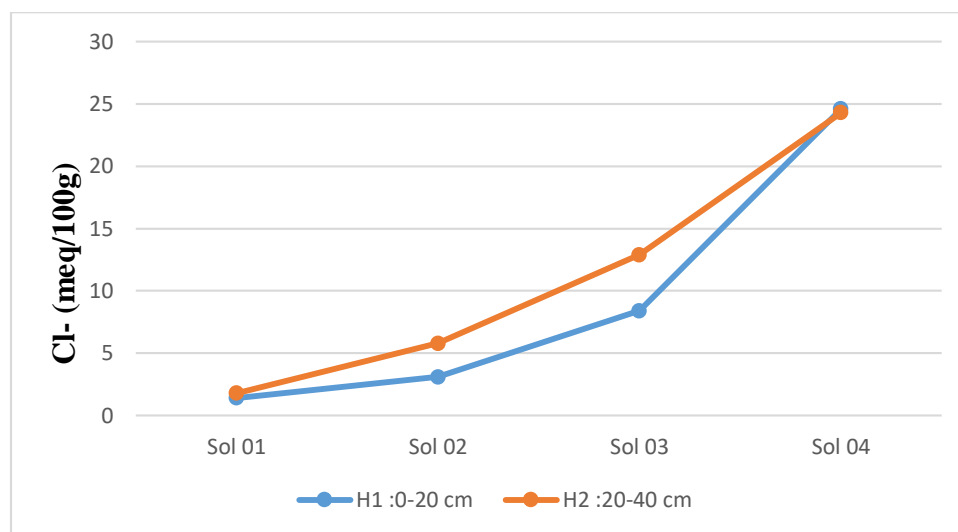


Figure 50. Les variations des valeurs de chlorure du sol des parcelles étudiées.

A partir des résultats donnée par la figure 50, nous remarquons que les valeurs des chlorures dans le sol 1 est 1,4 meq/100g du sol pour H1 et 1,8 meq/100 g du sol pour H2 et 24,6 meq/100 g du sol pour H1 de sol 04 et 24,3 meq/100 g du sol pour H2, Ceci expliqué une augmentation de la teneur en chlorure selon la répartition de salinité.

c. Les sulfates SO_4^{-2} (meq/100 g)

Les résultats obtenus sont représentés par la figure suivante :

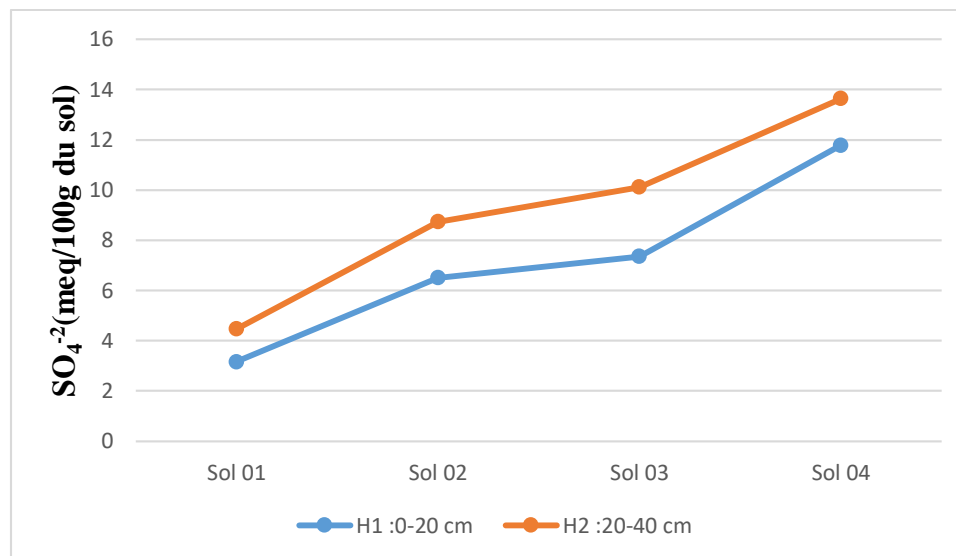


Figure 51. Les variations des valeurs de sulfates du sol des parcelles étudiées.

Selon la figure 51, nous remarquons qu'il y a une augmentation très importante de la teneur en sulfates au niveau du sol de la parcelle très salée.

Toujours les valeurs les plus élevées sont obtenues par l'horizon H2 avec une moyenne de 9,24 meq/100 g sol. L'horizon H1 enregistre une moyenne 7,20 meq/100 g sol.

IV.2. Etude de potassium

IV.2. Les différentes formes de potassium

Les résultats obtenus sont présentés dans l'annexe.

IV.2.1. Le potassium total

La figure suivante montre que les teneurs en potassium total varient de 22,34 à 34,23 meq/100g de terre avec une moyenne de 23,75 meq/100 g de terre. La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau du sol peu salé pour les deux horizons (S2H1, S2H2).

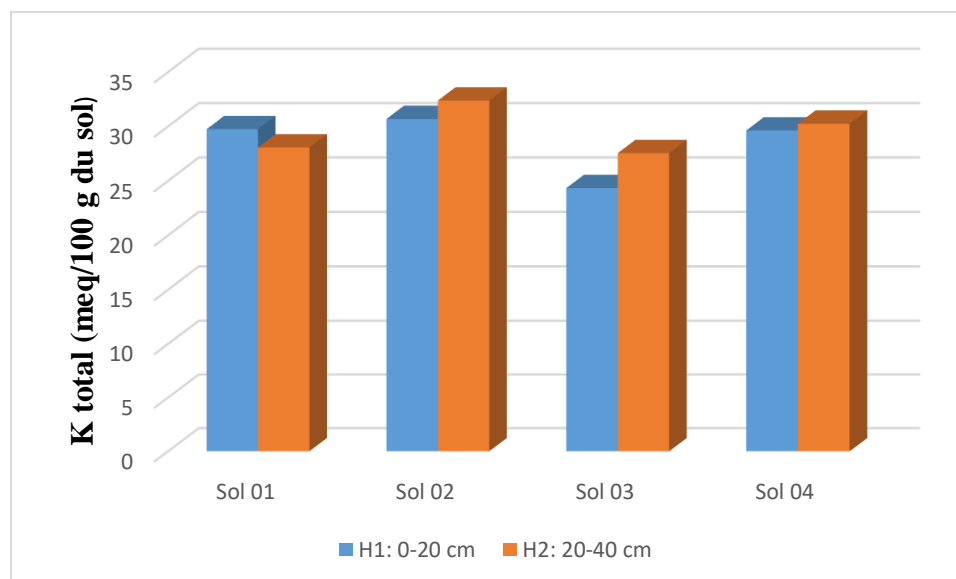


Figure 52. Les variations des valeurs de potassium total du sol des parcelles étudiées.

La majorité des échantillons étudiés présentent des teneurs en potassium supérieures à 1 %. Ces échantillons seraient riches en potassium total selon les normes de **Schroeder (1978)**. Deux échantillons (S1H1 et S3H1), présentent des teneurs en potassium total inférieures à 1%, ils sont pauvres en potassium total (voir annexe).

IV.2.2. Le potassium assimilable

Le potassium assimilable représente la somme du potassium soluble et du potassium échangeable. En générale seule une partie du potassium échangeable est facilement assimilable, en effet, lorsque la teneur en potassium échangeable est faible, le complexe adsorbant retient énergiquement le potassium et ne le libère pas dans la solution du sol où les racines des végétaux peuvent l'absorber. L'interprétation du résultat d'analyse du potassium assimilable doit être réalisée en tenant compte de la valeur obtenue et du taux d'argile du sol.

Les résultats d'analyses sont présentés par la figure suivante.

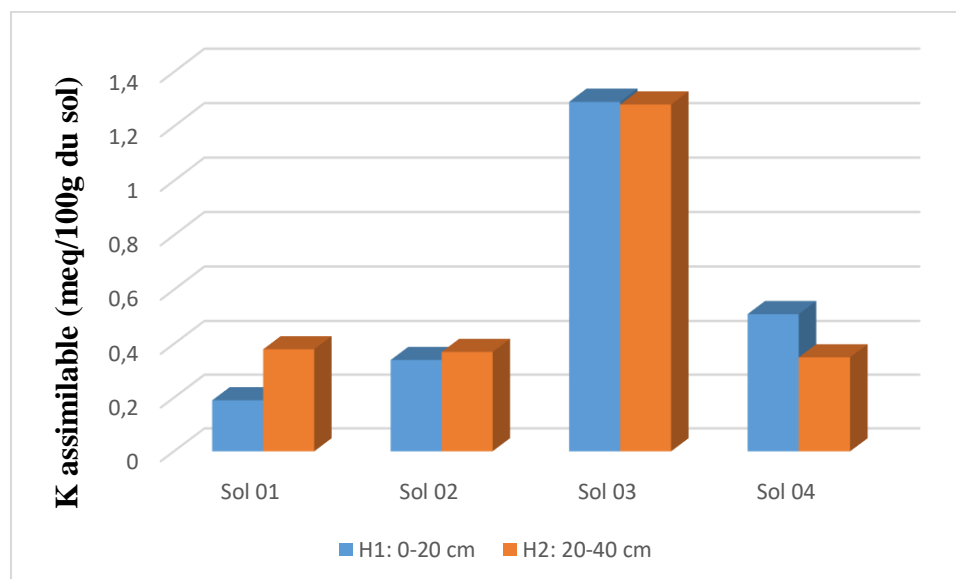


Figure 53. Les teneurs en potassium assimilable des échantillons.

D'après la figure les teneurs en potassium assimilable varient de 0,19 à 1,29 meq/ 100 g sol. Les normes de **Gros (1979)** (K^+ assimilable inférieur à 0,25 meq/ 100 g sol faible, entre 0,25 à 0,50 meq/ 100 g sol les teneurs sont moyennes), indique que les teneurs sont faibles à moyennes.

Le coefficient de corrélation ($r = 0,30$) et $p = 0,15$ ($p > 0,05$), indiquent une relation non significative entre les variations de la salinité et le potassium assimilable (voir annexe).

IV.2.3. Le potassium soluble

Cet état de potassium représente la forme immédiatement assimilable par les racines.

Les teneurs en potassium soluble varient de 0,12 à 0,72 meq/100 g sol (figure 54). La valeur la plus faible est enregistrée au niveau du sol non salé, horizon 01, la valeur la plus élevée est donnée par le sol salé (sol 03, horizon 02).

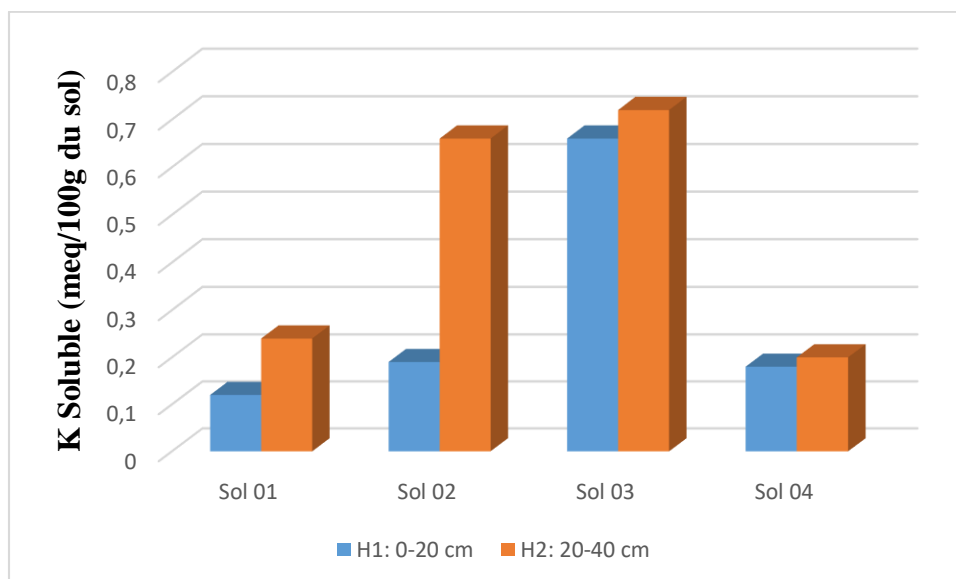


Figure 54. Les teneurs en potassium soluble des échantillons.

D'après les normes de **Vedie (2008)**, les échantillons étudiés présentent des teneurs faibles en potassium soluble.

Les variations des teneurs en potassium soluble ne sont pas corrélées avec les variations de la salinité. Le coefficient de corrélation ($r = 0.22$) et $p = 0,29$ ($p > 0,05$) (voir annexe).

IV.2.4. Le potassium échangeable

Les des teneurs en potassium échangeable sont représentés par la figure suivante.

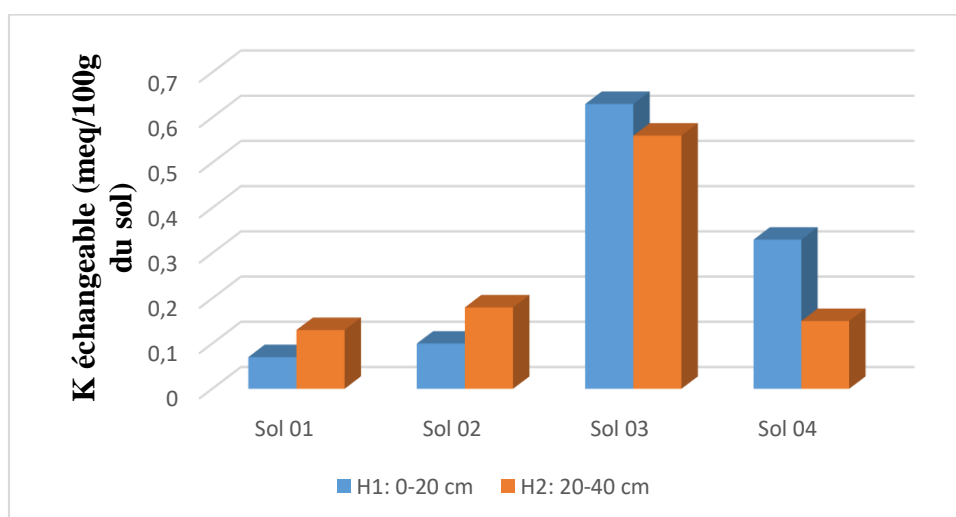


Figure 55. Les teneurs en potassium échangeable des échantillons.

Selon la figure 55, les teneurs en potassium échangeable varient de 0,07 à 0,63 meq/100 g de sol. La valeur la plus élevée est donnée par le sol 03 (salé), pour les deux horizons (0,63 et 0,56 meq/100 g sol). La valeur la plus faible est marquée au niveau du sol 01 (non salé) pour le premier horizon avec une valeur de 0,07 meq/100 g sol.

D'après les normes de **Diehl (1975)** citées par **Daoud et Dogar (1985)**, un sol ayant une teneur en potassium échangeable inférieure à 10 mg/100 g sol est un sol pauvre, si elle est entre 10 et 25 mg/100 g sol est moyennement pourvu. Plus que la moitié des échantillons étudiés (62,5%), possèdent des teneurs inférieures à 10 mg/100 g sol et sont donc pauvres en potassium échangeable, 37,5 % ont des teneurs qui varient de 10 à 25 mg/100 g sol et sont donc moyennement pourvus en potassium échangeable.

Le coefficient de corrélation ($r = 0,33$) et $p = 0,10$ ($p > 0,05$), indiquent une relation non significative entre les variations de la salinité et le potassium échangeable (voir annexe).

Il n'existe pas une corrélation entre le potassium échangeable et le taux d'argile ($r = 0,12$; $p = 0,55$).

Discussion générale

Le sol étudié est développé sur les alluvions de l'oued Chélif **Hadj Miloud (2010)**, notre étude s'est portée sur la caractérisation physique et chimique du sol de la station expérimentale de l'INRAA, El H'MADNA suivie d'une analyse de différentes formes de potassium. D'après les résultats obtenus on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les sols de la région d'étude se caractérisent par une texture argilo-limoneuse ;
- Les valeurs du pH indiquent que notre sol est basique, ce type de pH peut influencer la disponibilité en éléments nutritifs pour les plantes. Le pH influence la dynamique des éléments minéraux dans le sol ;
- Concernant le taux de matière organique, les sols de notre zone d'étude ont des teneurs faibles à moyennes, ce qui peut influencer la fertilité de ces sols, car la matière organique constitue un facteur très important,
- En dosant le calcaire, les résultats montrent que notre sol est modérément calcaire,
- Selon **Tessier (1999)** la capacité d'échange cationique augmente avec la teneur en argile du sol. Notre sol est à texture généralement fine ce qui explique cette CEC élevée. Selon **Faucher (2017)**, la rétention du K dans le sol dépend de la capacité d'échange cationique (C.E.C.) qui est en lien direct avec le pourcentage d'argile et de matière organique.
- Pour la conductivité électrique, nous avons quatre niveaux de salinité du sol (non salé, moyennement salé, salé, excessivement salé),
- Le bilan ionique indique que Les résultats des mesures effectuées sur le sol indiquent que il y a une augmentation de la concentration des sels solubles du sol peu salé jusqu'à le sol très salé. La valeur du SAR (1,90) indique qu'il n'y a pas un risque de sodisation. D'après le diagramme de Piper donnant le faciès chimique de la solution du sol, notre sol présente une salinisation bicarbonatée sodique et potassique ; bicarbonates et le sodium peuvent conduire à l'augmentation de pH.
Selon **Garcia (2019)**, des teneurs élevées en calcium et en magnésium peut provoquer une carence en potassium ; les rapports K/Ca et K/Mg doivent toujours être maintenus au-dessus de 2. Notre sol présente des rapports en général inférieurs à 2, donc il n'y a pas un risque d'antagonisme entre les autres cations.
- La majorité des échantillons étudiés sont riches en potassium total,

- Potassium assimilable présentent des teneurs de faibles à moyennes,
- Les échantillons étudiés présentent des teneurs faibles en potassium soluble, qui ne sont pas corrélées avec la salinité,
- Pour le potassium échangeable, les résultats indiquent que notre sol a des teneurs faibles à moyennes. Les variations de la salinité et de l'argile n'influencent pas les variations du potassium échangeable, car il n'y a aucune corrélation entre ces éléments.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre travail consiste à étudier la dynamique du potassium dans le sol, dans la région d'EL H'MADNA (Relizane), ces sols se caractérisent par une variation de la salinité. A cela s'ajoute la texture argileuse de ces sols qui affecte la disponibilité en potassium pour les plantes.

A partir des résultats de caractérisation du sol il ressort que les sols de la région d'étude se caractérisent par une texture argilo-limoneuse, sont basiques, ils ont des teneurs faibles à moyennes. Les résultats montrent que notre sol est modérément calcaire avec une CEC élevée. Les résultats des mesures effectuées sur le sol indiquent qu'il y a une augmentation de la concentration des sels solubles avec l'augmentation de la salinité. Les rapports K/Ca et K/Mg sont inférieurs à 2, donc il n'y a pas un risque d'antagonisme entre les autres cations. . La valeur du SAR ($1,90 < 10$) indique qu'il n'y a pas un risque de sodisation.

En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de la salinité, dans la partie nord-ouest de l'Algérie, la plaine du Bas-Chélif se situe dans la zone la plus touchée. Le risque de salinisation est accentué par une texture fine souvent lourde et des risques d'inondation lors des grandes averses (**Douaoui et Hartani, 2007**).

Notre étude qui a porté sur l'influence de la salinité sur la dynamique du potassium sur le sol de la région d'El H'MADNA montre clairement que ces sols sont riches en potassium total, ils ont des teneurs en générale faible à moyenne en potassium assimilable, des teneurs faibles en potassium soluble et moyennes en potassium échangeable. Les résultats obtenus confirment les travaux de **Boussoussa (2012)**, **Ait Mechedal et al, (2011)**

Malgré que ces sols soient riches en potassium total, les formes disponibles pour l'alimentation des plantes sont faibles. Les carences en potassium peuvent avoir des effets sur les plantes en fonction de l'intensité de la carence et des exigences de chaque espèce.

Ces faibles teneurs en formes disponibles pour les plantes (potassium assimilable, potassium soluble et potassium échangeable), peuvent être dues au pH du sol qui est basique, car le pH régit toutes les réactions chimiques au niveau du sol. A cela s'ajoute la texture fine, ce sol présente une texture argilo-limoneuse, en ces condition il y a des risques de blocage du potassium par rétrogradation qui selon **Lerot (2006)**, cette rétrogradation se fait quand le pH du sol augmente et en période de dessiccation.

La salinité peut influencer les formes du potassium disponibles pour les plantes quand la sodicité et l'alcalinité augmentent dans le sol.

Les relations statistiques entre les différentes formes du potassium dans le sol étudié et la salinité indiquent qu'il n'y a pas de corrélations significatives entre les paramètres étudiés. Ces variations peuvent être expliquées par autres facteurs comme le pH et la texture.

Toute plante a besoin pour vivre d'un apport d'éléments nutritifs, pour remédier aux faibles teneurs du potassium disponible pour les plante on a recours à l'enrichissement du sol par apport d'engrais potassiques (très considérable en sols très argileux), ces apports doivent respecter en premier lieu le sol et l'environnement. Effectuez aussi des apports de matière organique, comme le compost et le fumier (en se décomposant, ils libèrent du potassium disponible).

La protection de l'environnement et la sécurité alimentaire sont désormais deux préoccupations majeures des pays développés. L'utilisation inconsidérée de fertilisants peut avoir un impact sur l'environnement. Développée depuis les années 1980, la fertilisation raisonnée a des effets positifs sur l'environnement (**Ignazi, 2019**). L'objectif de la fertilisation raisonnée est de satisfaire les besoins nutritionnelles des plantes en complément de l'offre du sol en éléments minéraux dans des conditions économiquement rentable et dans le respect de l'environnement (**COMIFER, 1995 in UNIFA, 2019**).

Afin de préserver cette ressource (le sol), précieuse et non renouvelable et qui est menacée par la salinisation, l'apport du potassium est indispensable pour assurer un bon développement des végétaux en appliquant une fertilisation raisonnée. On peut procéder aussi au lessivage des sels par l'apport de dose supplémentaires par irrigation, pour minimiser les effets des sels sur la dégradation du sol.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- ❖ **ABH C-Z, 2009.** Agence du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez. Rapport de synthèse : Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau (PDARE).
- ❖ **Ait Mechdal M, Ouamer A K, Daoud Y, 2015.** évaluation du statut potassique des sols du Bas-chellif. Mémoire ingénieur, ENSA El Har rach, 45p.
- ❖ **Antipolis S, 2003.** Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens. Les cahiers du plan bleu, Vol.2 :44-49.
- ❖ **Assaha DVM, Ueda A, Saneoka H, Al-Yahyai R, Yaish MW, 2017.** The Role of Na⁺ and K⁺ Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes. *Front Physiol.* 18;8: 509.
- ❖ **Aubert G, 1978.** Méthode d'analyse des sols. C.R.D.P., Marseille, 546p.
- ❖ **Aubert G., 1983.** Observation sur les caractéristique, la dénomination et la classification des sols salés ou sal sodiques. Congres de l'Association internationale de science du sol, New Delhi, février 1983. Cah. Orstom, sér. Pédol., xx, 1, pp. 73-78.
- ❖ **Ayres R.S et Westcot D.W., 1994 :** Qualité de l'eau en agriculture Bulletin d'irrigation et de drainage n° 29 revue 1.FAO, Rome 180p.
- ❖ **Baize, D, 2000.** Guide des analyses en pédologie, techniques et pratique, Ed INRA,Paris.
- ❖ **Barber S. A., 1995.** Soil nutrient bioavailability : a mechanistic approach. J. Wiley, New York. 414p.
- ❖ **Barbier J.** Occurrences naturelles de l'arsenic en France: roches, sols, milieux associés. Les Techniques de l'industrie minérale, 2001, vol. 11, pp. 51-66.
- ❖ **Bar-Tal A, Feigenbaum S. and Sparks D.L., 1991.** Potassium-salinity interactions in irrigated corn, *Irrigation Science* 12, pp. 27-35
- ❖ **Ben Hassine H., 2005.** Effets de la nappe phréatique sur la salinisation des sols de cinq périmètres irrigués en Tunisie. *Étude et Gestion des Sols*, Vol.12, pp 281-300.
- ❖ **Bentley HW, Philips F et Davis SN (1986).** Chlorine-36 in the terrestrial environment. In Fritiz P,Fontes JC(ed) .Handbook of environmental Isotope Geochemistry Vol. 2, Elsevier, London,427-480p.
- ❖ **Boualla N., Benziane A., Derrich Z., 2012.** Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'léta (bordure sud du bassin sebkha Oran). *Journal of Applied Biosciences*, vol.53, pp 3787-3796.

- ❖ **Boulaine J, 1957.** Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'état de l'Université d'Alger.
- ❖ **BoulineJ., 1957.** Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'Etat de l'Université d'Alger, 582 p.4 caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif .Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct d'état, INA Alger, 233 p.
- ❖ **Boussoussa Y, 2012.**Evaluation du statut potassique des sols salés du Bas-Chellif. Mémoire magister en science agronomique.ENSA El-Harrach, pp 24.
- ❖ **Boyer J., 1973.** Comportement du potassium dans les sols tropicaux cultivés. Compte Rendu du10e Colloque de l'Institut International de la Potsse, Abdjan/Cote d'Ivoire, pp 83-102
- ❖ **Boyer J., 1973.** Comportement du potassium dans les sols tropicaux cultivés. Compte Rendu du 10 e Colloque de l'Institut International de la Potasse, Abidjan, Côte d'Ivoire. pp. 83-102.
- ❖ **Calvet R., 2003.** Le sol propriétés et fonction. Tom I et II. Ed.Dunod.
- ❖ **Charkson, DT et Hanson, JB (1980)** la nutrition minérale des plantes supérieures. Annual Review of plant des physiology, 31, 239-289.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.001323>.
- ❖ **Charkson, DT et Hanson, JB (1980).** La nutrition minérale des plantes supérieures. Annula Review of Plant physiology, 31, 239-298.
- ❖ **Cheverry et Robert., 1998.** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau. Revue Etude et gestion des sols5, 4. 217-228p.
- ❖ **Cheverryet Robert, 1998 .** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau. Revue Etude et gestion des sols5, 4. 217-228p
- ❖ **Comifer, 1995.** Aide au diagnostic et à la prescription de la fertilisation phosphatée et potassique des grandes cultures,, <https://www.arvalis-infos.fr> (institut du végétal).
- ❖ **Coughtrey PJ, Jackson D et Thorne MC (1983).** Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecosystems Vol. 3. Rotterdam, 77-101p.
- ❖ **Coutinet S, 1965.** Méthode de mesure des mesures des caractéristiques physiques des sols utilisées par le service pédologique de l'IRAT. L'Agronomie tropicale.Série 3.<http://agritop.cirad.fr>.

- ❖ **Daoud Y. et Dogar A.M., 1985.** Le régime du potassium dans quelques types de sols de Hodna (Algérie). Revue de la potasse I.I.P. Berne, n°6. pp. 1-7.
- ❖ **Daoud Y., 1993.** Contribution à l'étude des sols des plaines du Chéouiff. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doct d'état, INA Alger, 233 p.
- ❖ **Delcoul F., 1981.** Initiation à la pédologie, Fac, Sc, Agron. Gembloux 78p. des états de surface en milieu salin (Le Bas-Chéouiff).
- ❖ **Diehl R., 1975.** Agriculture générale Ed. J.B. BAILLÈRE. Paris 6, pp 205-211.
- ❖ **Douaoui A. et Hartani T. (2007).** Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chéouiff. Actes du troisième atelier régional du projet Sirma, Nabeul, Tunisie, 4-7 juin. Cirad, Montpellier, France, colloques-cédérom. 5 p.
- ❖ **Douaoui A., 2005.** Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chéouiff. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct. D'état, INA – Alger, 245p.
- ❖ **Douaoui A., 2005.** Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chéouiff. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct. d'Etat, INAAlger, 230 p.
- ❖ **Douaoui A., 2005.** Variabilité Spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du BasChéouiff .Apport de la géostatistique et de la télédétection, Thèse Doctorat d'état, INA d'Alger, 258p.
- ❖ **Douaoui A., 2005.** Variabilité Spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chéouiff .Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct d'état, INA Alger, 233 p.
- ❖ **Douaoui A., Hartani, 2007.** Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine de Bas-Chelliff.Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du troisième atelier régional du projet Sirma, 5p.
- ❖ **Duchaufour P., 2001.** Introduction à la science du sol, sol végétation et Env, 6^{ème}
- ❖ **Duchaufour P., 2001.** Pédologie : sol, végétation, environnement.
- ❖ **Durand J, 1956.** Les sols de la station d'étude des sols salins d'El Hmadena. France-Alger editions, Paris, 29 p

- ❖ **EH, Meisner CA (2006).** Nutrient uptake and apparent balances for rice-wheat sequences. III. Potassium. *J. Plant Nutr.* 29:173-187.
- ❖ **Essington T.E., 2004.** Getting the right answer from the wrong model :Evaluating the sensitivity of multispecies fisheries advice to uncertain species interactions, *Bull.Mar.Sci.*74 : 563-581p.
- ❖ **Eswaran H., T. Rice, R. Ahrens & B.A. Stewaet. CRC., 2002.** Press, Boca Raton. Soil classification: *a global desk reference.* 2002, 263p.
- ❖ **F.A.O, 2008.** Annuaire statistique de la FAO
- ❖ **F.A.O, 2006.** Conférence électronique sur la salinisation extension de la salinisation et stratégies de prévention et réhabilitation, organisée et coordonnée par le programme international pour la technologie et la recherche en irrigation et drainage.12p.
- ❖ **F.A.O., 2006.** Conférence électronique sur la salinisation extension de la salinisation et stratégies de prévention et réhabilitation, organisée et coordonnée par le programme international pour la technologie et la recherche en irrigation et drainage.12p.
- ❖ **Faucher Y, (2017).** Parlons potassium.
<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/monteregie/articles/production/Pages/Parlonspotassium.aspx>
- ❖ **Feigenbaum S. et Meiri A., 1988.** The effect of potassium fertilization on cotton response and potassium distribution under irrigation with saline water, BARD Report 1-630-83, pp. 88-110.
- ❖ **Feigenbaum S., 1987.** The volcane centre, organisation de recherche agronomique, Bet dagan / Israël, institut international de potasse, n° 2 sujet 1, 15p.
- ❖ **Feigenbaum S., Bar-Tal A. and Sparks D. I., 1990.** Dynamics of soil potassium in multicationic systems. 22nd Colloquium Int. Potash Institute, Bern, pp. 145-161.
- ❖ **Garcia I. (2019),** L'interaction des nutriments. 8 p. http://www.canna.ca/fr-ca/linteraction_des_nutriments- Servat et Servat (1966)
- ❖ **Gaucher G, 1947.** Méthodes actuelles d'étude des terrains salés en Afrique du Nord. Conférence de Pédologie Méditerranéenne, AFES, Paris.
- ❖ **Gierth M, and Mäser P, 2007.** Potassium transporters in plants--involvement in K⁺ acquisition, redistribution and homeostasis. *FEBS Lett.* 25;581(12):2348-56.

- ❖ **Gobat J-M., Aragno M., Matthey W, (2003).** Le sol vivant. Deuxième édition revue et augmentée, pp 9-13.
- ❖ **Gros A, (1979).** Engrais. Guide pratique de la fertilisation. Edition Maison Rustique. Paris, 430 p.
- ❖ **Hadj Milloud S, 2010.** Morphologie et propriétés des Solonchaks références.
- ❖ **Hadj Miloud S, 2010.** Morphologie des propriétés des solonchks référence de la Mina. Mémoire de magister. ENSA, El Harrach, Alger, 110p.
- ❖ **Hafouda L, 2005.** Caractérisation et quantification de la salinisation du sol et de la nappe dans la vallée d'Oued Rhir, Thèse de magister INA. Alger.
- ❖ **Halitim M., 1988.** Les sols des régions arides d'Algérie .Office des publications Universitaires. Alger, 384p.
- ❖ **Halitim A, 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p
- ❖ **Hamdallah G (2004).** Plant, Animal and Human Nutrition: An Intricate Relationship. Expert Consultation on Land Degradation and Plant, Animal and Human Nutrition, ACSAD, Damascus, Syria.
- ❖ **Hartani T., Lakehal M., 1999.** Analyse des facteurs de salinisation dans le périmètre irrigué du bas cheliff. La maîtrise de l'irrigation et du drainage pour une gestion durable des périmètres irrigués méditerranéens. Rabat, Maroc
- ❖ **Hellali R., 2002.** Rôle du potassium dans la physiologie de la plante. Atelier sur la gestion de la fertilisation potassique, acquis et perspective de la recherche, Tunisie, 7p.
- ❖ <http://www.googleearth.com/>
- ❖ **Ignazi J., Daujat J.C., Hebert J. et Eveillard P. (2019),**
Engrais. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/engrais/6-fertilisation-sante-et-environnement/>
- ❖ **Imalet R., 1979.** Influence de différentes concentrations de sels (NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄) des eaux d'irrigation de l'agriculture sur le rendement du haricot. Thèse Ing, INA, ELHarrach, 43p.
- ❖ **INSID, 2005.** Problématique de la salinité dans le périmètre irrigué du Bas Cheliff : Besoins en formation, en recherche-développement et en transferts de technologies. 25 p.
- ❖ **IPI (International Potash Institute) 2013.** La carence en potassium, www.ipipotash.org.22p

- ❖ **IRD, 2008.** Les dossiers thématiques de l’Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles. 21p.
- ❖ **IRD, 2008.** Les dossiers thématiques de l’Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles. 21p.
- ❖ **Jackson, M.L., 1965.** Soil chemical analysis. New Delhi.
- ❖ **Jalali M. and Merrikhpour H., 2008.** Effects of poor quality irrigation waters on the nutrient leaching and groundwater quality from sandy soil, Environ. Geol. 53, pp. 1289-1298.
- ❖ **Kaiser DE, Rosen CJ., and Lam J A, 2016.** Potassium for Crop Production. From Regents of the University of Minnesota
website: www.extension.umn.edu/agriculture/nutrientmanagement/, 9p.
- ❖ **Kessel C, (2015).** Capacité d'échange cationique. Manuel de fertilité des sols, IPNI, 2p.
- ❖ **Kkhales A et Baaziz M., 2006.** Etude des peroxydases d'écotypes d'*Opuntia Ficus indica* L en relation avec le développement dans les conditions de stress Salin. Congrès international de Biochimie, Agadir: pp. 133-136.
- ❖ **Kloppmann W., Bourhane A., Asfirane F., 2011.** Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau, BRGM, Orléans, 123p.
- ❖ **Kronzucker HJ, Szczerba MW, Schulze LM, Britto DT, 2008.** Non-reciprocal interactions between K⁺ and Na⁺ ions in barley (*Hordeum vulgare* L.). J Exp Bot. 59(10) :2793-801.
- ❖ **Lachaussée, E.** Revue Forestière Française. Les sols sous la dominance de l'eau et la forêt. Vol 5, 1950, 246-273pp.
- ❖ **Lambers H, (2003).** Introduction, Dryland Salinity: A Key Environmental Issue in Southern Australia. Plant and Soil 257(2): pp: 5 – 7, December 2003.
- ❖ **LANO (2019).** Capacité d'échange Cationique / C.E.C. programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie, 1 p.
- ❖ **Laoufi, H., 2010.** Les processus géochimiques de la salinisation des sols du Bas-Chellif. Mémoire de magister. ENSA, El Harrach, Alger, 99p.

- ❖ **Lerot B, (2006).** Les éléments minéraux. Document développement durable, fertilisation des terres et des sols. https://www.doc-developpement-durable.org/file/Fertilisation-des-Terres-et-des-Sols/Chimie-des_sols/ElementsMineraux.pdf
- ❖ **Li T, Wang H, Wang J, Zhou Z, Zhou J, 2015.** Exploring the potential of phyllosilicates minerals as potassium fertilizers using sodium tetraphenylboron and intensive cropping with perennial ryegrass. *Scientific Reports*, 7p.
- ❖ **Li.T, Wang H, Zhou Z, Chen X Zhou J, 2016.** Anr w grading system for plant-avaible potassium using exhaustive cropping techniques combined with chemical anlyses of soils .*Scientific Reports*, 9p.
- ❖ **Louis David ; M Bouillon, 1958.** Carte géologique de l'Algérie 1 :50,000.101,Gambetta service de la carte géologique de l'Algérie d'une banque de données, these de magister, université de chleff, 89p.
- ❖ **Marlet S, 2004.** Evolution des systèmes d'irrigation et gestion de la salinité des terres irriguées. Projet INCO-WADEMED, Actes du séminaire Modernisation de l'agriculture irriguée, 11p.
- ❖ **Marlet S, Vincent B, Vidal A, Bouarfa S, WU J, Yang J, NdiayeM.K, Kuper M, Zimmer D., 2005.** Gestion de l'eau et de la salinité et redistribution des sels dans les périmètres irrigués.Congress, Symposium R .12 .international commission on irrigation and drainage .Beijing. Revue 12-18p.
MASSON editeur 120, boulevard Saint germain 72380 paris cedex 06.
- ❖ **Mathieu C, Pieltain. F, 2003.** Analyse chimique des sols, méthodes choisies. Ed. Tec & Doc, Lavoisier. 388p.
- ❖ **Mc Donald et Bneder. 1990.** (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural), Etude de l'avantprojet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkhath Benzian et du réaménagement du Bas Chélif.
- ❖ **McDonald, Bneder, 1990.** Etude de l'avant-projet détaillé des extentions de Guerouaou et de Sebkhath Benziane et du réaménagement du Bas-Chélif. Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.
- ❖ **McDonald, Bneder, 1990.** Etude de l'avant-projet détaillé des extentions de Guerouaou et de Sebkhath Benziane et du réaménagement du Bas-Chélif. Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.

- ❖ **Mehiri A 2002.** Le potassium dans les sols de la Tunisie .Atelier sur la gestion de la fertilisation potassique, acquis et perspective de la recherche, Tunisie
- ❖ **Mermoud A, 2006.** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de lausanne, 23p.
- ❖ **Mermoud A., 2006.** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de lausanne, 23p.
- ❖ **Meynard, Leonard A, 1997.** Angalis, livre edition illustrée : Nutrition animale (7^{ème} ed). McGraw-Hill, New York.
- ❖ **Mhiri A., 2002.** Le potassium dans les sols de Tunisie. Atelier sur la gestion de la fertilité potassique, acquis et perspective de la recherche, Tunisie.
- ❖ **Miguel Edilasio Augusto Capapelo, PaimPaulo Jorge da Costa, 2015.** Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Bas Cheliff Application de la méthode DRASTI.Memoire de master, Sciences de la terre et de l'univer, Université Djilali BOUNAAMA de Khemis Miliana, 6p.
- ❖ **MiguelEdilasio Augusto Capapelo, Paim Paulo Jorge da Costa, 2015.** Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Bas Cheliff Application de la méthode DRASTI.Memoire en master, Sciences de la terre et de l'univer, Université Djilali BOUNAAMA de Khemis Miliana, 11p.
- ❖ **Mokhtari D., Douaoui A, Yahiaoui I. 2012.** Geomatics use in the evaluation of surface qualities degradation in saline area (The case of the lower Cheliff plain).Journal of Energy Procedia. Issue 18 (2012). 1557–1572 p.
- ❖ **Mokhtari Djamel Eddine (2009).** Apport de la télédétection dans l'évaluation de la dégradation des états de surface en milieu salin (Le Bas-Chélif).
- ❖ **ONID-2003 :** Office national de l'Irrigation et du drainage. (2003.) Carte d'occupation des sols du Périmètre du Haut-Cheliff
- ❖ **Oosterhuis DM, Loka DA, Eduardo M.Kawakami EM, Pettigrew WT, 2014.** The Physiology of **Rogiers SY, Coetzee ZA, Walker RR, Deloire A, Tyerman SD, 2017.**Potassium in the Grape (*Vitis vinifera* L.) Berry: Transport and Function. Front Plant Sci. 27;8:1629.Potassium in Crop Production. Advances in Agronomy Volume 126, Pages 203-233.
- ❖ **Ozenda P., 1982.** Les végétaux dans la biosphère. Ed : Edoin, Paris, p431.

- ❖ **Panaullah J, Timsina MA, Saleque ABMBU, Pathan DJ, Connor PK, Shaha MA, QuayyumEH, Meisner CA (2006).** Nutrient uptake and apparent balances for rice-wheat sequences. III. Potassium. *J. Plant Nutr.* 29:173-187.
- ❖ **Petard J., 1993.** Les méthodes d'analyse. Tome 1. Analyses de sols. Laboratoire commun d'analyse. L'institut français de recherche scientifique pour le développement et coopération. 200p.
- ❖ Potassique, acquis et perspectives de la recherche, Tunisie, IIP.
- ❖ **Prajapati K and Modi HA, 2012.** The importance of potassium in plant Growth- A Review. *Indian Journal of Plant Sciences*, pp177-186.
- ❖ **Rangel Y 2008.** Quantifying mineral sources of potassium in agricultural soils. Phd Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, P 103.
- ❖ **Rata M, 2002.** Cartographie numérique des états des surfaces de sol dans le plan de bas Cheliff mémoire ingénieur d'état.
- ❖ **Rata, 2010.** Variabilité spatio-temporelle de la salinité des sols dans la plaine du bas chelif établissement
- ❖ **RIEUM. 1981.** Sodium adsorption ratio et estimation du pouvoir alcalinisation des eaux. O.R.O.S.T.O.M. XVIII. n° 2, pp 123-128.
- ❖ **Schroeder D., 1978.** Structure and weathering of potassium containing minerals. Potassium Research-Review and Trends. 11th Congress of the international potash institute, Bern, pp. 43-63.
- ❖ **Schulze E.D et al., 20050.** Plant ecology. Edition Springer Berlin, Heidelberg, p692.
- ❖ **Simonsson M, Hillier S, Öborn I 2009.** Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long-term field experiments. *Geoderma.* 151(3):109-120.
- ❖ **Sountoura F., 2011.** Influence du potassium sur les rendements et les caractéristiques Technologiques de la fibre de cotonnier conventionnel dans les zones cotonnières est et ouest du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du Développement Rural, UPB, Burkina Faso, 49p.
- ❖ **Sparks D.L., 1987.** Potassium dynamics in soils, *Adv. Soil Sci.* V. 6, pp. 1-63.
- ❖ **Terry N., A. Ulrich, 1973.** Effets de la carence en potassium sur la photosynthèse et larespiration des feuilles de betteraves à sucre. *Plant J. Physiol*, 51: 783-786.

- ❖ **Tessier D, (1999)**. La capacité d'échange cationique et son importance pour la gestion actuelle des sols. Extrait des comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France, Tome p85.
- ❖ **Tomas TC and Thomas AC (2009)**. Vital role of potassium in the osmotic mechanism of stomata aperture modulation and its link with potassium deficiency. *Plant Signal Behaviour* 4(3)240–243.
- ❖ **U.S.S.LS, 1954**. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture. Handbook n°60, U.S. Gov. Print. Office, Washington DC.160p
- ❖ **U.S.SALINITY LABORATORY STAFF., 1954**. Diagnostic and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Handbook, n 60, 160p.
- ❖ **UNIFA (2016)**. Potassium – K. <http://fertilisation-edu.fr/nutrition-des-plantes/le-role-des-éléments-nutritifs/potassium.html>. 07/05/2016.
- ❖ **UNIFA, 2005**. Les principaux éléments fertilisant
- ❖ **UNIFA, 2019**. Le sol, ses constituants. 12 p. <https://fertilisation-edu.fr/le-sol/ses-constituants.html>
- ❖ **UNIFA, 2019**. Le raisonnement de la fertilisation. <https://fertilisation-edu.fr/le-raisonnement-de-la-fertilisation.html>
- ❖ **US Taxonomy 1976 et clés de la Taxonomie des sols, 1986 (in AOUAM, 2007)**. Diagramme de classification détaillée des textures
- ❖ **Van Diest, 1978**. Factors affecting the availability of potassium in soils. *Potassium Recherche-Review and Trends*. 11th Congress of the International Potash Institute, Bern, pp. 75-98.
- ❖ **Vedie H. (2008)**. Fertilité chimique des sols : savoir interpréter les analyses pour gérer les apports d'éléments majeurs (phosphore, potasse, magnésie) en maraichage biologique. *Maraichage bio info*, n° 56, septembre – octobre 2008, 4 p.
- ❖ **Wouters P. et Lorent V. (2002)**. Le pH eau et le pH KCl du sol. *Ecologie*, fiche technique n°05. Réussir sa forêt, 2 p.
- ❖ **Yacono, X. 1955**. Colonisation des plaines du Chélif (de Lavigerie au confluent de la Mina). Tome1, Imprimerie Imbert, Alger.

- ❖ **Zid, E. et Grignon, C. (1991).** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. Aupelf-Uref. John Libbey. Eurotext, Paris, pp. 91-108.

Annexes

Annexe 01 :

Tableau 01 : Les analyses du sol effectué au laboratoire.

Paramètres mesurés	Méthodes de mesure des analyses
Potentiel D'hydrogène (pH)	rapport (1/2,5) ; pH-mètre
Conductivité électrique (CE)	Extrait dilué (1/5) ; Conductimètre
Matière organique (M.O)	Méthode ANNE
Calcaire totale	Calcimètre de Bernard
Granulométrie	Méthode de STOCKS (par pipette de ROBINSON)
Humidité	Séchage à l'étuve à 105°C
Dosage des cations solubles	
Ca²⁺ et Mg²⁺.	l'extrait dilué (1/5) Méthodes volumétriques.
Na⁺ et K⁺	l'extrait dilué (1/5) Photomètre à flamme
Dosage des Anions solubles	
Cl⁻ et CO₃⁻², HCO₃⁻	l'extrait dilué (1/5) Méthodes volumétriques.
SO₄⁻²	l'extrait dilué (1/5) Dosage par photométrie
K⁺ assimilable	l'extrait dilué (1/5) par l'acétate d'ammonium
K⁺ total	Attaque triacide selon la méthode Jackson (1965)

Annexe 02 : Matériels utilisés

- Balance de précision ;
- Agitateur à plusieurs postes ;
- Plaques chauffantes ;
- pH mètre ;
- Conductimètre ;
- Spectrophotomètre absorption à flamme ;
- Etuve ;
- Capsules;

- Pipette de Robinson
- Calcimètre de Bernard

Annexe 03 : photos des appareillages

3.2. Matériels utilisés dans l'échantillonnage



Photo : Tarière, outils de crouse et
Sachets plastique étiqueté

Photo : G.P.S

Figure 01. Les matériels utilisés dans l'échantillonnage.



Figure 02. Photo de séchage à l'air libre.

3.2. Matériels utilisés dans laboratoire

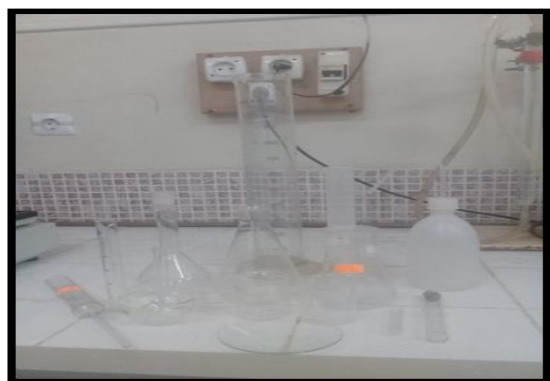


Photo : des verreries



Photo : Tamis de 2 mm



Photo : de mortier



Photo : de balance de précision



photo : de ph mètre



Photo : de conductimètre



Photo : de spectrophotomètre à flamme

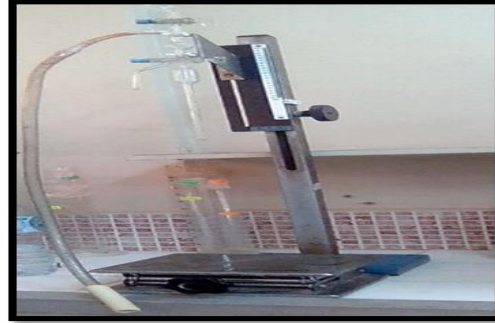


Photo : de pipette de Robinson



Photo : de calcimètre de Bernard

Figure 03. photos utilisé dans laboratoire.

Annexe 04 : Préparation de l'extrait dilué 1/5

Peser 10g de terre tamisée à 2 mm et les transférer dans une fiole d'agitation ;

Ajouter 50 ml d'eau distillée ;

Agiter pendant une demi-heure et laisser reposer. Si l'échantillon contient du gypse, il est nécessaire d'ajouter un cristal de thymol et de laisser reposer une nuit pour permettre la dissolution du gypse ;

Filtrer la suspension, si le filtrat est trouble, recommencer la filtration ou centrifuger ;

Mesurer le pH et la conductivité électrique et réaliser le bilan ionique

Annexe 5 : résultats des analyses

Tableau 01. Résultats d'analyse granulométrique.

		Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
A %	H1 :0-20 cm	36,10	27,35	40,28	61,48	41,30
	H2 :20-40 cm	48,79	38,93	54,34	72,43	53,62

L%	H1 :0-20 cm	34,63	46,82	25,67	17,92	31,26
	H2 :20-40 cm	43,50	46,82	33,83	21,06	36,30
S%	H1 :0-20 cm	36,68	29,14	34,04	20,59	30,11
	H2 :20-40 cm	16,58	14,24	11,15	6,5	12,11

Tableau 02. Résultats d'analyse de l'Humidité.

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	5,630	4,079	4,231	6,179	5,029
H2 :20-40 cm	4,865	3,820	4,438	6,303	4,856

Tableau 03. Résultats d'analyse de pH.

	Sol 01		Sol 02		Sol 03		Sol 04		Moyenne	
	pH eau	pH KCl	pH eau	pH KCl	pH eau	pH KCl	pH eau	pH KCl	pH eau	pH KCl
H1 :0-20 cm	7,98	7,50	7,80	7,60	7,79	7,51	7,65	7,56	7,80	7,54
H2 :20-40 cm	7,88	7,57	7,81	7,64	7,84	7,48	7,55	7,47	7,77	7,54

Tableau 04. Résultats d'analyse de conductivité électrique.

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	0,29	0,93	1,35	2,00	1,14
H2 :20-40 cm	0,31	1,08	1,92	2,71	1,50

Tableau 05. Résultats d'analyse de matière organique.

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	0,388	0,993	0,604	0,388	0,561
H2 :20-40 cm	0,151	0,367	0,475	0,302	0,356

Tableau 06. Résultats d'analyse de calcaire.

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	27,85	21,42	18,57	17,85	21,46
H2 :20-40 cm	25,71	21,42	18,57	20,71	21,64

Tableau 07. Capacité d'échange cationique

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	18,65	19,56	21,39	23,13	20,68
H2 :20-40 cm	19,02	19,98	22,02	24,20	21,30

Tableau 08. Résultats d'analyse de chlorure Cl⁻.

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	1,4	3,1	8,4	24,6	9,37
H2 :20-40 cm	1,8	5,8	12,9	24,3	11,2

Tableau 09. Résultats d'analyse de bicarbonates (meq/100g du sol).

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	1,2	1,5	1,0	1,2	1,22
H2 :20-40 cm	1,6	1,7	1,1	1,1	1,37

Tableau 10. Résultats d'analyse des sulfates (meq/100 g du sol).

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	3,16	6,50	7,35	11,78	7,19
H2 :20-40 cm	4,47	8,73	10,12	13,64	9,24

Tableau 11. Résultats d'analyse du calcium (méq/100 g).

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	7,16	9,50	8,01	9,28	8,49
H2 :20-40 cm	7,74	10,55	9,30	10,47	9,51

Tableau 12. Résultats d'analyse du magnésium (meq/100 g)

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	1,28	2,21	2,35	2,98	2,21
H2 :20-40 cm	1,53	2,48	2,64	3,14	2,45

Tableau 13. Résultats d'analyse de Sodium Na⁺ (meq/100 g)

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	3,16	6,50	7,35	11,78	7,20
H2 :20-40 cm	4,47	8,73	10,12	13, 64	9,24

Tableau 14. Résultats d'analyse de potassium K⁺ (meq/100 g)

	Sol 01	Sol 02	Sol 03	Sol 04	Moyenne
H1 :0-20 cm	0,12	0,24	0,66	0,19	0,42
H2 :20-40 cm	0,17	0,39	0,72	0,20	1 ,49

Tableau 15. Résultats des différentes formes de potassium (meq/100 g).

Echantillons	Potassium total		Potassium soluble		Potassium assimilable		Potassium échangeable	
	Teneurs	Moy.	Teneurs	Moy.	Teneurs	Moy.	Teneurs	Moy.
S1H1p1	22,34	23,75	0,15	0,12	0,19	0,19	0,04	0,07
S1H1p2	24,54		0,12		0,17		0,05	
S1H1p3	24,39		0,11		0,23		0,12	
S1H2p1	26,17	28,07	0,28	0,24	0,34	0,38	0,06	0,13
S1H2p2	28,18		0,22		0,42		0,20	
S1H2p3	29,87		0,25		0,38		0,13	
S2H1p1	30,76	30,69	0,20	0,19	0,29	0,34	0,09	0,10
S2H1p2	29,41		0,18		0,25		0,07	
S2H1p3	31,91		0,34		0,49		0,15	
S2H2p1	34,23	32,38	0,20	0,66	0,41	0,37	0,21	0,18
S2H2p2	32,44		0,18		0,35		0,17	
S2H2p3	30,48		0,19		0,37		0,18	
S3H1p1	24,78	24,34	0,60	0,66	1,01	1,29	0,41	0,63
S 3H1p2	23,55		0,54		0,98		0,44	
S3H1p3	24,70		0,84		1,88		1,04	
S3H2p1	27,39	27,55	0,49	0,72	1,11	1,28	0,62	0,56
S3H2p2	26,55		0,99		1,49		0,50	
S3H2p3	28,73		0,68		1,26		0,58	
S4H1p1	30,62	29,63	0,22	0,18	0,77	0,51	0,55	0,33
S4H1p2	25,66		0,16		0,43		0,27	
S4H1p3	32,63		0,18		0,35		0,17	
S4H2p1	29,18	30,25	0,28	0,20	0,31	0,35	0,03	0,15
S4H2p2	30,32		0,17		0,29		0,12	
S4H2p2	31,27		0,15		0,46		0,31	

Echantillons	Potassium total		Potassium soluble en meq/100 g sol	Potassium assimilable en meq/100 g sol	Potassium échangeable	
	meq/100 g sol	%			meq/100 g sol	mg/100 g sol
S1H1	23,75	0,92	0,12	0,19	0,07	2,73
S1H2	28,07	1,09	0,24	0,38	0,13	5,07
S2H1	30,69	1,19	0,19	0,34	0,10	3,9
S2H2	32,38	1,26	0,66	0,37	0,18	7,02
S3H1	24,34	0,94	0,66	1,29	0,63	24,57
S3H2	27,55	1,07	0,72	1,28	0,56	21,84
S4H1	29,63	1,15	0,18	0,51	0,33	12,87
S4H2	30,25	1,17	0,20	0,35	0,15	5,85

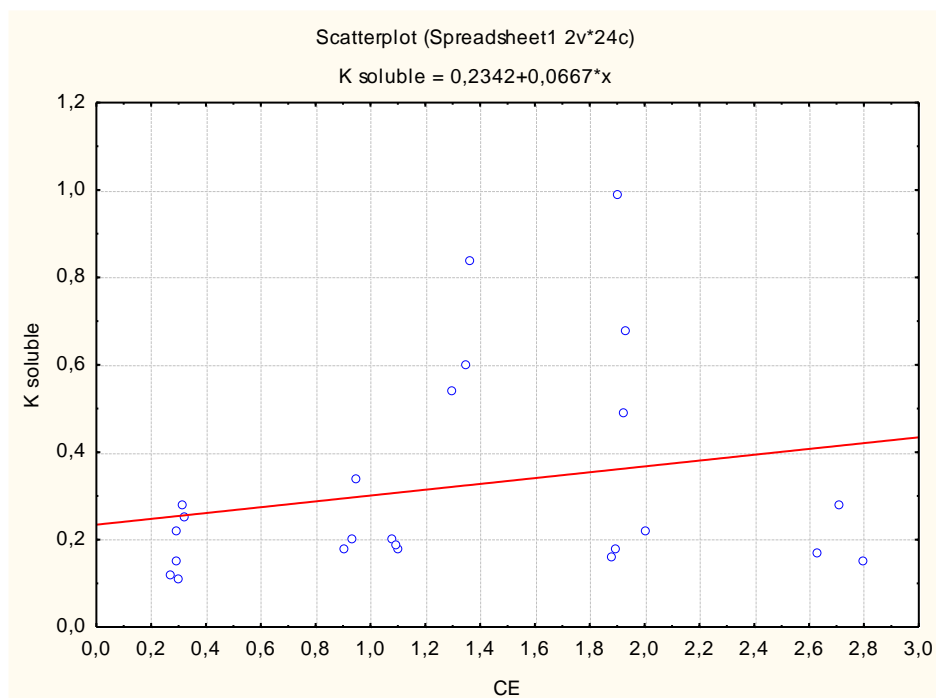


Figure 04. Relation entre le potassium soluble et la conductivité électrique.

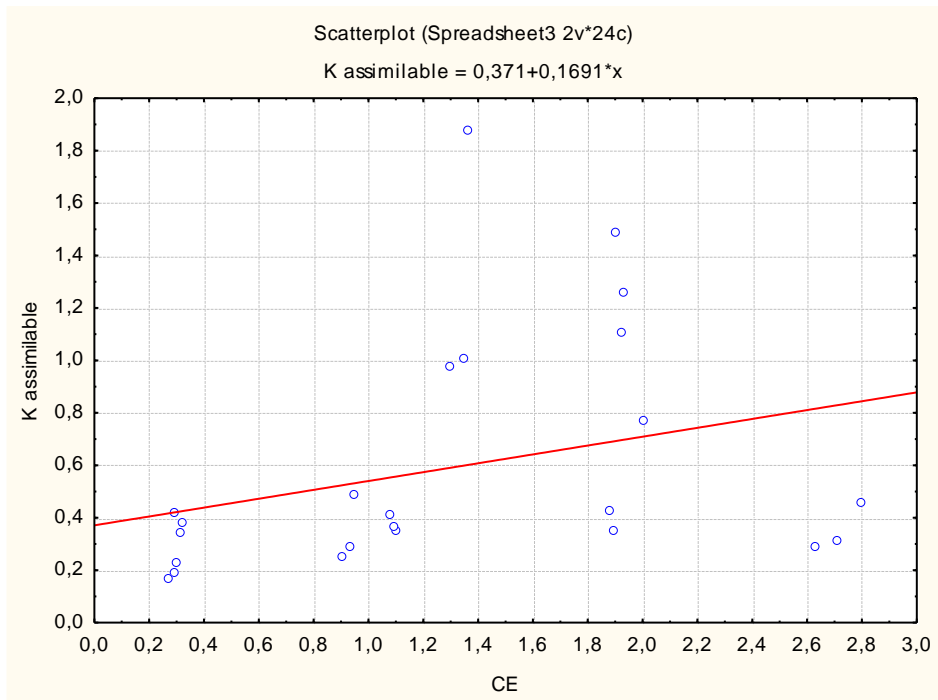


Figure 05. Relation entre le potassium assimilable et la conductivité électrique.

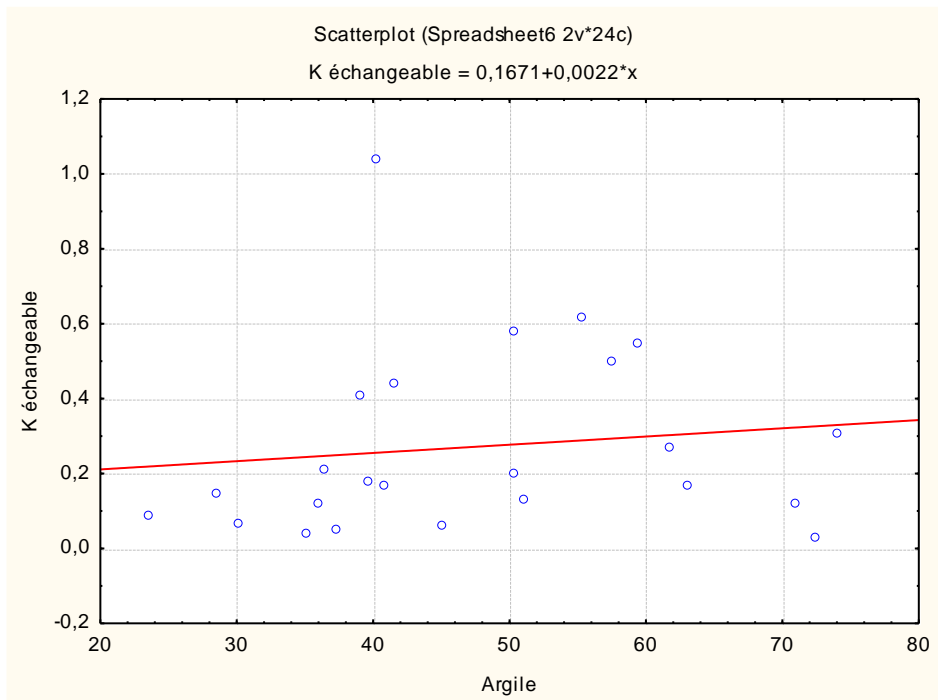


Figure 06. Relation entre le potassium échangeable et la teneur en argile.

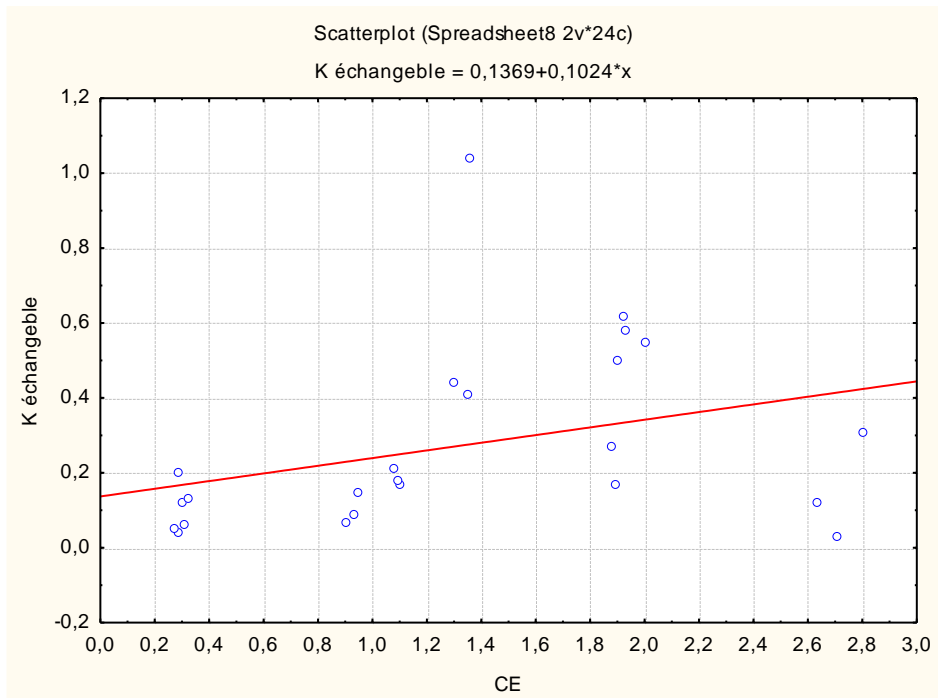


Figure 07. Relation entre le potassium échangeable et la conductivité électrique.

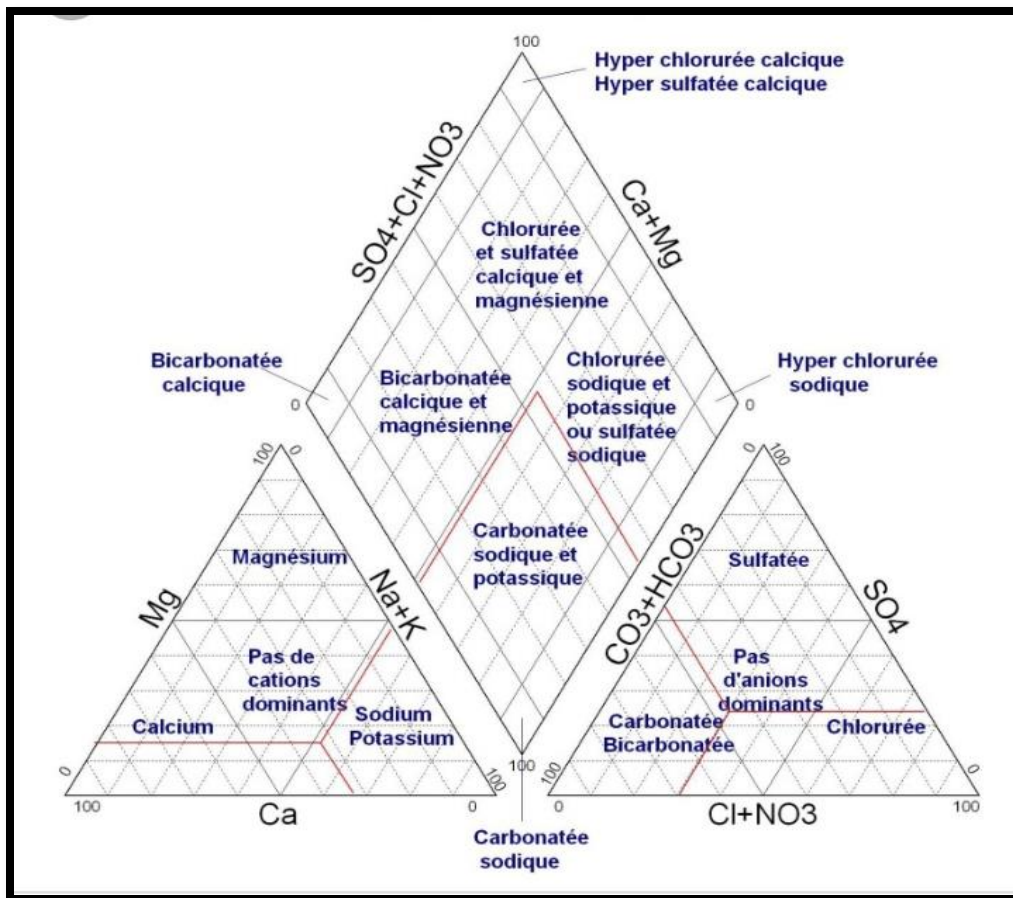


Diagramme de piper

Annexe 06 : Les modes opératoires

➤ L'analyse granulométrique du sol

Réactifs

Solution d'un oxygénée à 5% (=20 volumes H₂O₂)

Solution d'hexamétaphosphate de sodium 50g dans un litre d'eau distillée.

Solution de permanganate de potassium KM_nO₄ N/10

Solution de chlorure de potassium KCL N/10 et N/100, ammoniaque pure, acide chlorhydrique HCl 12N.

Mode opératoire

❖ Premier jour

- ❖ On tamise le sol dans un tamis de 2mm pour séparer les éléments grossiers et fins.
- ❖ On Prendre 10 g de sol fin (2mm) dans un bécher

Verser dans un même bécher 50ml de l'eau oxygénée (H₂O₂) à 30%.

Laisser macérer pendant une nuit (on le met dans un grand bucher).

❖ Deuxième jour

- On chauffe le bécher sur agitateur à température 100 °C jusqu'à disparition de la Mousse.
- On Prendre le bucher et On Ajoute 20 ml de H₂O₂ (on ajoute ces gouttes après l'échauffement de bécher).
- On arrête l'opération lorsqu'il y a arrêt de l'effervescence
- On ajoute le contenu dans un grand bécher + 40 ml Hexamétaphosphate à 4%.
- Laisser agiter pendant 2 heures dans l'agitateur mécanique avec une vitesse de 30 à 50 tours / min.
- Mettre un entonnoir avec tamis de (0,05 mm) sur le cylindre et tamiser la suspension. laver avec de l'eau distillée jusqu'à ce que toutes les particules < 0,05 mm passent à travers le tamis dans le cylindre.
- Remplir le cylindre avec l'eau distillée jusqu'au trait ajusté au 1000 ml
- Mettre le sable : restant dans le tamis dans une capsule de poids connu et sécher dans l'étuve à 150 °C pendant 15 heures.
- Mesure de la température des solutions qui se retrouvent dans le cylindre.

Mesure avec la pipette de ROBINSON

- Avant de commencer les mesures, il faut agiter plusieurs fois avec un pied spécial.
- Pour la fraction totale < 0,05 mm (LG + LF + A + sels solubles), on agite le cylindre et on prend immédiatement un prélèvement de 10 ml du milieu du cylindre. dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
 - Pour la fraction < 0,02 mm (LF + A + sels solubles) on agite le cylindre et prend un prélèvement à 10 cm après 4 min 40 sec. dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
 - Pour la fraction < 0,002 mm (Argile (A) + sels solubles) on agite 10 fois par le pied le
- Cylindre et on prend un prélèvement à 6 cm qui correspond à la température de solution après 4 h et 39 min. dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu. On met ces capsules des poids connus dans l'étuve à 105 °C pendant 15 heures pour le séchage. On

laisse refroidir également le sable et on le pèse. Ensuite, on tamise à sec à l'aide de deux tamis superposés de 0,250 mm et 0,075 mm.

- On récupère les deux quantités dans des capsules de poids connu et on pèse ces capsules pour déterminer la sable fin (S F) et sable grossier (S G).

➤ **Mesure de l'humidité du sol**

Mode opératoire

- Peser la capsule vide ;
- Introduire à peu près 20g de l'échantillon dans la capsule ;
- Peser avec précision la capsule et la terre ;
- Sécher à l'étuve à 105°C pendant 24 heures ;
- Après séchage peser à nouveau.

➤ **Mesure de la salinité du sol (conductivité électrique)**

Elle traduit la concentration saline totale de la solution. Elle est directement proportionnelle à la somme des ions en solution. D'après l'U.S.S.L (1954), la relation entre la conductivité électrique (CE) et la somme des cations ou des anions (en meq/l) est la suivante :

$$CE \text{ en } dS/m \text{ à } 25^{\circ}C = 12 \cdot \text{somme des cations} = 12 \cdot \text{somme des anions}$$

La relation entre la CE et la charge saline en g/l (U.S.S.L, 1954) est la suivante :

$$\text{Charge saline en g/l} = CE (dS/m) \cdot 0,58$$

5.2. Produits

Solution standard de KCl 0.02N : dans une fiole de 1000 ml faire dissoudre 1.491 g de KCl séché à 105°C.

Acide sulfurique 0.02N pour activer éventuellement l'électrode.

5.3. Mode opératoire

- Etalonner l'appareil de mesure : mesurer la température et la conductivité électrique de la solution de KCl 0,02 N. Pour la correction manuelle de l'effet de la température, multiplier la valeur de conductivité lue par $f(t)$.
- Mesure de la conductivité électrique de la solution extraite : rincer l'électrode avec cette solution, mesurer la température de la solution et régler l'appareil sur cette valeur, mesurer la conductivité électrique de l'extrait.

➤ **Détermination du pH du sol**

Matériel et produit nécessaire

- PH-mètre ;
- Agitateur ;
- solution 1N de KCl (74,5g de KCl/ litre), ou avoir du KCl pur en poudre ;
- solutions tamponnées à pH 7 et à pH 9;
- Eau distillée;
- Flacons d'agitation de 100 à 250 ml.

Mode opératoire

Mesure du pH-eau

- Peser 20 g de terre tamisée à 2 mm et les introduire dans le flacon d'agitation ;
- Ajouter 50 ml d'eau distillée ;
- agiter pendant 1 heure environ et laisser reposer ;
- Etalonner le pH-mètre avec les solutions d'étalonnage à pH 7 et pH 9 ;
- Agiter la suspension à la main, mesurer le pH en plongeant l'électrode dans la suspension. Lire la valeur quand la lecture s'est stabilisée (cela demande 30 à 60 secondes).

Mesure du pH-KCl

Deux alternatives sont possibles :

- Soit, peser 20g de terre tamisée à 2 mm, ajouter 50 ml de la solution du KCl 1N, agiter pendant une heure environ et mesurer le pH-KCl après avoir étalonner le pH-mètre.
- Soit, dans la suspension qui a été utilisée pour mesurer le pH-eau, ajouter 3.725g de KCl, agiter la suspension pendant une heure, et mesurer le pH-KCl après avoir étalonner le pH-mètre.

Remarque : l'électrode doit être rincée à l'eau, mais le bout de l'électrode ne doit jamais être essuyé, il ne doit jamais toucher le bord ou le fond du flacon, car une rayure réduit considérablement la sensibilité de l'électrode et fausse les résultats.

➤ Dosage du calcaire total dans le sol

. Réactifs

- Solution d'acide chlorhydrique HCl 6N.
- Calcaire pur et sec (CaCO_3).

Mode opératoire

Etalonnage de l'appareil

- Introduire 0.3 g de CaCO_3 pur et sec (séché à l'étuve) au fond de l'erlenmeyer ;
- Mettre 5 ml d'HCl 6N dans un petit tube et l'introduire dans l'erlenmeyer en évitant de faire couler l'acide ;
- Boucher convenablement l'erlenmeyer en le raccordant au calcimètre ;
- La pince étant ouverte, ajuster la position de l'ampoule mobile jusqu'à ce que le niveau du liquide coloré soit au niveau zéro de la colonne graduée. Maintenir l'ampoule à ce niveau, fermer la pince et incliner l'erlenmeyer pour verser l'HCl sur le CaCO_3 ;
- Agiter pour favoriser la réaction, le CO_2 dégagé comprime le liquide de la colonne ;
- Abaisser l'ampoule mobile et ramener au même niveau la hauteur du liquide dans l'ampoule et dans la colonne, noter le volume en ml de CO_2 dégagé.

➤ Dosage du calcaire de l'échantillon

- Faire un essai avec des prises de terre de 1 à 10 g de sol pour déterminer la prise de terre qui dégagerait un volume de CO_2 suffisant en opérant de la même façon que précédemment mais en utilisant l'échantillon de terre au lieu du CaCO_3 ;
- Faire le dosage sur la prise de terre retenue, noter le volume de CO_2 dégagé.

➤ Dosage de la matière organique du sol

Réactifs

- Bichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ à 8% ;
- Acide sulfurique H_2SO_4 concentré ;
- Diphénylamine baryum sulfonate ;
- Acide phosphorique H_3PO_4 ;
- Sel de MOHR.

Mode opératoire

➤ Pour l'échantillon

- -On pèse 1g de sol (0.2mm) et on met dans un bécher.
- On ajoute 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ + 20ml d'acide sulfurique concentré.
 - -On mélange la solution et reposer 30minutes
 - **Pour le témoin**
 - -Dans un bécher on met 10ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ + 20ml d'acide sulfurique concentré.

- Laisser reposer 30 minutes.
- Mettre chaque opération dans des fioles de 250 ml et compléter avec l'eau distillée.
- Prélever 20ml de chacun des deux béchers (échantillon et témoin) et on ajoute 1 ml de H_3PO_4 + 3 gouttes de Diphéramine et laisser agiter pendant 5 minutes dans un agitateur rotatif.
- **Titration**
- On titre avec sel de Mohr à 0.2N
- On met le sel de Mohr dans une burette de titrage.
- On titre les deux solutions jusqu'à ce qu'il y a virage du bleu foncé vers le vert,
- On prend le volume descend sur la burette pour le témoin et aussi pour l'échantillon

➤ **Dosage des cations solubles**

➤ **Dosage du calcium et du magnésium**

.Le dosage au spectrophotomètre d'absorption atomique

- Faire passer les solutions de la gamme d'étalonnage ;
- Pour les échantillons, dans des tubes à essai, introduire 2 ml de l'extrait à analyser, ajouter 2 ml de la solution de Lanthane, homogénéiser et faire passer au spectrophotomètre à des longueurs d'ondes de 442.7 nm, pour le calcium et à 285.2 nm, pour le magnésium.

- **Dosage du sodium et du potassium**

- **Le dosage au spectrophotomètre à flamme**

- Faire passer les solutions de la gamme d'étalonnage ;
- Pour les échantillons, dans des tubes à essai, introduire 2 ml de l'extrait à analyser, ajouter 2 ml de la solution de Cs/Al, homogénéiser et faire passer au spectrophotomètre à flamme

➤ **Dosage des anions solubles**

Dosage du chlore

Mode opératoire

- Prélever une prise d'essai de 10 à 50 ml de l'extrait ou de l'échantillon d'eau et les transférer dans une capsule en porcelaine.
- Ajouter 5 à 10 gouttes de la solution saturée de chromate de potassium.
- Titrer avec $AgNO_3$ 0.1N, jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge due à la précipitation de Ag_2CrO_4 .
- Effectuer un essai témoin avec de l'eau distillée

➤ **Dosage des carbonates et bicarbonates**

Mode opératoire

- Prélever une prise d'essai de 10 à 50 ml de l'extrait ou de l'échantillon d'eau à analyser (V) ;
- Ajouter 5 à 10 gouttes de phénolphthaléine, en présence de carbonates, la couleur devient rouge. Si la couleur rouge n'apparaît pas, l'échantillon ne contient pas de carbonates, passé alors au dosage des bicarbonates ;
- Si l'échantillon contient des carbonates, titrer à l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de la couleur, noter le volume d'acide utilisé (V1);
- Dans la même prise d'essai ajouter 5 à 10 gouttes de méthyle orange et titrer à l'acide sulfurique jusqu'à l'apparition de la couleur orange, noter le volume d'acide utilisé (V2).
- Effectuer un essai témoin sur l'eau distillée, le volume d'acide sulfurique utilisé pour doser les bicarbonates contenus dans l'eau distillée est V3

➤ **Dosage des sulfates**

Mode opératoire

- Prélever de l'extrait ou de l'eau à analyser 10 à 50 ml et les transférer dans un béchers de 250 ml ;
- Porter à douce ébullition à 60 – 65°C dans un bain-marie ou sur un bain de sable ;
- Faire précipiter les sulfates à chaud en ajoutant aux goutte à goutte à la pipette la solution de chlorure de baryum. Quand il ne se forme plus de précipités, ajouter quelques gouttes de chlorure de baryum en excès ;
- Laisser les béchers dans le bain-marie jusqu'à ce que les sulfates soient complètement déposés ;
- Filtrer le surnageant en utilisant du papier filtre sans cendre ;
- Ajouter 30 à 40 ml d'eau distillée bouillante, laisser les béchers dans le bain-marie jusqu'au dépôt des sulfates ;
- Filtrer le surnageant et répéter cette opération 3 fois ;
- Faire passer le précipité sur le filtre à l'aide d'eau bouillante ;
- Laver le précipité à l'eau bouillante jusqu'à l'élimination complète des chlorures (faire le test à AgNO_3) ;
- Transférer le filtre contenant le précipité dans une capsule tarée ;
- Faire sécher à l'étuve à 105°C pendant 1 heure ;
- Transférer la capsule dans un four à moufle, calciner à 500°C, pendant 1 heure ;
- Laisser refroidir la capsule dans le four, ensuite, dans un dessiccateur, peser après refroidissement.

➤ **Détermination de la capacité d'échange cationique**

Mode opératoire

préparation de la colonne

- Peser 10 g de terre fine ;
- Mettre dans la colonne de percolation 0.5 g de coton hydrophile (qualité chirurgicale) pour obturer la base de la colonne, introduire au-dessus du coton 10 g de sable de mer calciné ;
- Introduire l'échantillon du sol ;
- Couvrir la terre d'une couche de sable calciné (10 g).
- **déplacement des cations échangeables**
- Placer une fiole jaugées de 150 ml sous la colonne ;
- Effectuer une percolation lente et progressive à l'aide de 250 ml d'une solution d'extraction (Acétate de sodium, pH = 8.2), pour imbiber le contenu de la colonne ;
- Retirer la fiole après la fin de la percolation (la durée moyenne de cette opération est de 3 heures).
- L'échantillon est ainsi saturé en Na^+ , un poursuit par une seconde percolation à l'alcool éthylique.
 - **Déplacement du cation saturant pour la détermination de la C.E.C**
- Laver le sol est entraîné les ions Na^+ non fixés par le complexe absorbant (le volume d'alcool nécessaire est environ 100 ml),
- Eliminer le percolat ou le conserver pour récupérer l'alcool par distillation ;
- Après lavage à l'alcool ; ;
- Placer une fiole jaugée de 250 ml surmontée d'un entonnoir avec papier filtre sous la colonne à percolation et percoler à nouveau par 250 ml d'acétate d'ammonium à pH = 7 ; le percolat durer 3 heures.
- Compléter le percolat ainsi obtenu à 250 ml avec de l'eau distillée et homogénéiser.

- Ce dernier percolat renferme Na^+ (ayant saturé le complexe absorbant), qu'on dosera par photométrie d'émission à flamme. Il est comparé à des solutions étalons.

Préparation de la gamme étalon Na^+

- A partir de la solution à 1000 ppm de Na, préparer des solutions-étalons de 0 à 1.68 meq Na/l selon le tableau 02 suivant :

N° fiole (50 ml)	0	1	2	3	4
Solution à 1000 ppm de Na (ml)	0	0.25	0.50	1.25	2.0
Solution d'acétate d' NH_4N à pH 7 (ml)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Eau distillée (ml)	37.5	37.25	37	36.25	35.5
C] finale de Na meq/l	0	0.21	0.42	1.05	1.68

- Prélever 10 ml du percolat et les mettre dans une fiole de 50 ml, compléter à volume avec de l'eau distillée.
- Présenter les solutions-étalons Na^+ et la solution du sol
- Tracer la courbe d'étalonnage Na^+ (lectures f [Na])
- Déterminer sur cette courbe la concentration **Z** en Na^+ de la solution du sol étudié, sachant la lecture correspondante.

Annexe 07 : Les formule des calcules

➤ L'humidité :

$$H\% = (PH-PS/PS)*100$$

2. Calcul de la conductivité électrique de la solution ou de l'eau à analyser

- Soit :
- C.E.3 = conductivité électrique de la solution à analyser lue sur l'appareil de mesure à la température « t ».
- C.E = conductivité électrique de la solution ou de l'eau à analyser à 25°C.

$$C.E. \text{ ds/m à } 25^\circ\text{C} = C.E.3 \times f(t)/K$$

Tableau. Coefficient de correction de l'effet de température f(t).

Températures °C	F(t)
15	1.25
16	1.22
17	1.19
18	1.16
19	1.14
20	1.11
21	1.09
22	1.06
23	1.04
24	1.02
25	1.00

26	0.98
27	0.96
28	0.94
29	0.93
30	0.91
31	0.89
32	0.87
33	0.86
34	0.84
35	0.83

Tableau. Echelles de salure pour l'interprétation des résultats obtenus sur des extraits de la solution du sol (C.E en ds/m).

Classe de salure type d'extrait	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé
1/5	< 0.6	0.6 – 1.4	1.4 – 2.4	2.4 - 6
1/10	< 0.25	0.25 – 0.5	0.5 - 1	1 - 2
Pâte saturée (USSS, 1954)	< 2	2 – 4	4 - 8	8 - 16
Pâte saturée (DURAND, 1958)	< 0.75	1.75 – 3.5	3.5 - 7	7 - 14

TEMPS DE CHUTE

Densité moyenne du sol 2.6

Température °C	Temps de chute Particules < 20 µm A + L Profondeur 10 cm	Profondeur de chute particules < 2 µm A après six heures
20	4 mn 48	7.5 cm
20.5	4 mn 45	7.6
21	4 mn 41	7.7
21.5	4 mn 38	7.8
22	4 mn 34	7.9
22.1	4 mn 33	7.9
22.2	4 mn 33	7.9
22.3	4 mn 32	8.0
22.4	4mn 32	8.0
22.5	4 mn 31	8.0
22.6	4 mn 30	8.0
22.7	4 mn 30	8.0
22.8	4 mn 29	8.1
22.9	4 mn 29	8.1
23	4 mn 28	8.1
23.5	4 mn 25	8.2
24	4 mn 22	8.25
24.5	4 mn 19	8.35
25	4 mn 15	8.45
25.5	4 mn 13	8.55
26	4 mn 10	8.65
26.5	4 mn 07	8.75
27	4 mn 04	8.85

➤ . La granulométrie :

- Argiles plus limons fin :

- $A+L\% = [P_{a+lf} - P_1] * (1000 * 100) / (20 * P_e)$
- P_{a+lf} : poids de la boîte à tare + argiles+limons
- P_1 : poids de la boîte à tare vide
- P_e : prise d'échantillon

- Argiles :

- Le calcul est identique au précédent.
- Soit :
- P_b : poids de la capsule vide.
- P_a : poids de la capsule + argiles.
- $A\% = [(P_a) - (P_b)] * (1000 * 100) / (20 * P_e)$

- Limons fins : LF

$$LF\% = (A+L)\% - A\%$$

Sables grossiers : SG

Soit en g :

t₁ : poids de la tare.

t₂ : poids de la tare plus les sables grossiers.

$$\text{SG}\% = (t \times t_f) \times 100 / P_e$$

Sables fins : SF

Soit en g :

t : poids de la tare.

t_f : poids de la tare plus les sables fins.

$$\text{SF}\% = (t_f \times t) (100 / P_e)$$

Limons grossiers : LG

Les limons grossiers sont obtenus par différence.

$$\text{LG}\% = 100\% - (\text{A}\% + \text{LF}\% + \text{SG}\% + \text{SF}\%)$$

➤ **Calcul de matière organique**

Pour faire disparaître le bichromate en excès il V cm³ de sel de MOHR

Pour le témoin il faut V' cm³ de sel de MOHR pour faire disparaître l'excès de bichromate ;

La quantité de bichromate qui a réagi avec le C correspond alors à un volume (V' - V) de sel de MOHR.

$$\text{C}\% = (V' - V) \times 0.3$$

$$\text{MO}\% = \text{C}\% \times 0.72$$

P : Poids du sol égale 1 gramme

➤ **Calcul de calcaire total :**

V : volume en ml de CO₂ dégagé par 0.3 g de CaCO₃ pur

U : volume en ml de CO₂ dégagé par l'échantillon

P : prise d'essai en g.

On obtient :

$$\text{CaCO}_3 \text{ total en \%} = (0.3 * U * 100) / V * P$$

➤ **Calcul du chlore**

$$\text{Cl en meq/l} = \frac{(V - V') \cdot n \cdot D \cdot 1000}{U}$$

V : volume d'AgNO₃ utilisé pour titrer l'échantillon ;

V' : volume d'AgNO₃ utilisé pour titrer le témoin (l'eau distillée) ;

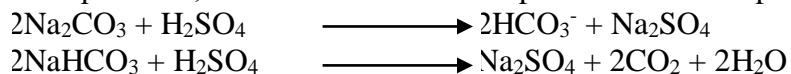
U : volume de la prise d'essai ;

D : inverse du rapport de dilution de la solution titrée ;

n : normalité d'AgNO₃ utilisé pour la titration.

➤ **calcul des carbonates et bicarbonates**

Lors d'une attaque acide, les carbonates se décomposent en deux étapes :



Calculs

$$\begin{array}{l} \text{CO}_3^{--} \text{ en meq/l} = 2 \times V1 \times 0.1 \times 1000 \times D/V \\ \text{HCO}_3^- \text{ en meq/l} = (V2 - V3) \times 0.1 \times 1000 \times D/V \end{array}$$

D : Inverse du rapport de dilution

V : volume de la prise d'essai.

➤ **8. Calcul des sulfates**

$$\text{SO}_4^- \text{ en meq/l} = B \times 8.56 \times 1000 \times D/V$$

B: poids de BaSO₄ précipité ;

V : volume de la prise d'essai ;

D : inverse du facteur de dilution.

Calcule CEC

$$\text{CEC (még/100 g)} = Z.50.250.100 / 100.10.10 = 12.5 Z$$

Calcule de Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺

$$\text{Ca}^{++} \text{ (mg/L)} = V1 \times N_{\text{EDTA}} \times \text{MCA}^{++} \times 1000 / \text{P.E}$$

$$\text{Mg}^{++} \text{ (mg/L)} = (V2-V1) \times N_{\text{EDTA}} \times F \times \text{MMg}^{++} \times 1000 / \text{P.E}$$