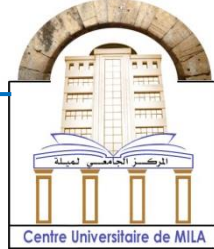


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Ref :

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Ecologie et de l'Environnement

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème :

**Risques de la salinisation des sols irrigués dans la région
de Mila, nord-est de l'Algérie.**

Présenté par :

- Chaker Nihal
- Djamada Sarra

Devant le jury :

Président	Mr	Bouchareb N	MCA	CUM
Promoteur	Mme	Bouaroudj S	MCB	CUM
Examineur	Mr	Sahraoui A	MCB	CUM

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

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

Mes remerciements vont d'abord à Madame Bouaroudj Sara, pour avoir accepté de diriger ce travail, et qui m'a soutenu et conseillé tout au long de celui-ci, je lui adresse mes plus sincères remerciements.

Je profite de cette occasion pour témoigner de mes sincères remerciements et ma grande Reconnaissance à l'égard de mon père, ma mère, et mes frères pour leurs encouragements et leurs soutiens qui m'ont été d'un élan de volonté et de persévérance dans mon travail.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la Réalisation de cette modeste étude.

Merci

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À tous ceux qui m'ont aidé, encouragé et donné la volonté pour continuer à terme le présent travail. Je les porterai tous et pour toujours dans mon cœur, à mes très chers parents.

Mon père Mouloud, qui m'a soutenu et encouragé toute au long de ma vie, je lui dis merci papa.

Ma mère Roukia, source de tendresse et d'amour, l'extrême exemple de ma vie, je lui dis merci maman,

À mes très chères frères Mounir et Djamel eddine et mon très cher frère Yasser et les belles sœurs Hanadi et Abir et notre petite princesse Ayla.

Ma collègue, qui est avant tout mon amie d'enfance, je lui souhaite tout le succès dans son parcours scolaire, professionnel et dans sa vie entière.

*La promotion de master 2 protection de l'écosystème
l'année universitaire.*

2023-2024 - MILA

Sara

Dédicace

En premier lieu. Nous tenons à remercier le bon dieu le tout puissant pour nous avoir donné la force et la patience à réaliser ce travail.

A mon très chère maman tu représente pour moi la source de tendresse ; le symbole de la bonté et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Tes prières m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. A mon très cher papa pour mon éducation ; ma formation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes efforts. Je dédie ce travail à mes très chères frères Anis et Haïtham avec tous mes vœux de bonheur ; de santé et de réussite.

Je dédie ce travail à madame Bouaroudj Sara merci pour votre aide ; je vous souhaite le bonheur. A tous les membres de la famille Chaker avec mon profond respect et mon affection.

A ma très chère amie Sara merci pour notre collaboration fructueuse, notre amitié ; tu as été une source d'inspiration et de motivation pour moi tout long de ce parcours. A tous mes amies et collègues de spécialité protection des écosystèmes.

N. P. Hall

Résumé

En Algérie plus de 20% des sols agricoles sont affectés ou sensible à la salinité. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'alcalinité et la salinité des sols dans la zone de Mila Nord Est de L'Algérie, pour évaluer les effets et le risque de la salinisation sur les caractéristiques physiques et chimiques des sols. 14 sites ont été décrits et leur granulométrie déterminée. La salinité et l'acidité de sols, prélevés dans les horizons de 0 et 30 cm de profondeur.

Les résultats ont montré que la fraction Argilo- limoneuse est la plus représentative pour l'ensemble des profils décrits. Le pH des sols montre que tous les sites d'étude sont de caractère très alcalin. D'autre part, d'après l'échelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique, 12 sites entre 14 sites ont classé comme des sols salés à très salés.

D'après la Classification des sols selon le SAR nous concluons que tous les sols sont de basse alcalinisation.

Mots clés : Salinisation, conductivité électrique, pH, dégradation, sodium échangeable, irrigation.

Abstract

In Algeria, more than 20% of agricultural soils are affected or susceptible to salinity. This study aims to evaluate the alkalinity and salinity of soils in the Mila area in northeastern Algeria, in order to assess the effects and risks of salinization on the physical and chemical characteristics of the soils. 14 sites were described and their particle size determined. Salinity and acidity of soils, sampled in horizons of 0 and 30 cm depth.

The results showed that the clay-silt fraction is the most representative for all the profiles described. The pH of the soils shows that all the study sites are very alkaline in character. On the other hand, according to the salinity scale according to electrical conductivity, 12 sites out of 14 sites are classified as salty to very salty soils.

According to the SAR soil classification we conclude that all soils are of low alkalization.

Keywords: Salinization, electrical conductivity, pH, degradation, exchangeable sodium, irrigation.

ملخص

في الجزائر أكثر من 20% من الأراضي الزراعية متأثرة او حساسة للملوحة. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم قلوية و ملوحة التربة في ولاية ميلة شمال شرق الجزائر من اج لتقييم تأثيرات و مخاطر التملح على خصائص التربة الفيزيائية و الكيميائية . تم وصف 14 موقعا و تحديد نوعية تربتها. تمت دراسة الملوحة و القلوية في التربة المأخوذة من أفاق عمقها من 0 إلى 30 سم.

أظهرت النتائج أن نوعية التربة الطينية الطميية هيا لأكثر تمثيلا لجميع مواقع التربة المدروسة. و أظهرت قيم الأس الهيدروجيني أن جميع المواقع المدروسة تنسم بقلوية عالية جدا. من ناحية أخرى، وبحسب سلم قياس الملوحة بدلالة الناقلية الكهربائية تم تصنيف 12 موقعا منبين 14 موقع على أنها تربة مالحة إلى شديدة الملوحة.

وبحسب تصنيف التربة وفقا لنسبة الصوديوم في التربة نستنتج أن جميع التربة ذات قلوية منخفضة. **الكلمات الرئيسية:** التملح، الناقلية الكهربائية، الأس الهيدروجيني، التدهور، الصوديوم القابل للتبديل، الري.

Sommaire

Sommaire

Remercîment	
Dédicace	
Dédicace	
<i>Résumé</i>	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
<i>Première Partie :Synthèse Bibliographique</i>	
<i>Chapitre I :Irrigation</i>	
1. Différents systèmes d’irrigation	5
1.1. Irrigation de surface.....	5
1.1.1 Irrigation par bassins.....	5
1.1.2. Irrigation par sillons / à la raie	6
1.1.3. Irrigation par planches	6
1.2. Irrigation par aspersion.....	7
1.3. Irrigation localisée (goutte à goutte).....	7
1.4. Exploitation des réseaux d’irrigation	8
<i>Chapitre II :Généralités sur les sols salés</i>	
1. La salinisation des sols.....	10
1.1 Définition.....	10
1.2 Les caractères des sels	11
1.2.1 Le mouvement des sels	11
1.2.2 La solubilité des sels	12
1.3 La description de l’origine de la salinité	13
1.4 Les types de la salinité des sols	14
1.4.1 La salinité primaire (ou naturelle).....	14
1.4.2 La salinité secondaire (ou d’origine humaine).....	14
2. Classification des sols sales.....	15

Sommaire

3. La différence entre la salinisation et la sodisation	16
4. les sols salés dans le monde et en Algérie.....	17
4.1 Dans le monde	17
3.2 En Algérie.....	18

Chapitre III :Les effets de la salinisation des sols

1. Les effets sur les propriétés physico-chimiques des sols.	21
1.1. Les effets sur les propriétés physiques des sols.....	21
1.1.1 Les effets des sels sur la stabilité structurale	23
1.1.2 Les effets des sels sur la perméabilité	24
1.1.3 Les effets des sels sur la rétention en eau	25
1.2. Les effets sur les propriétés chimiques des sols.	25
1.2.1. La conductivité électrique.....	25
1.2.2 Le potentiel hydrique (pH).....	26
1.2.3 Taux de sodium échangeable (ESP)	27
1.2.4 SAR (Sodium Adsorption Ration).....	27
1.2.5 Composition ionique de la solution du sol.....	28
2. Les effets de salinité du sol sur les plantes.....	28
3. La dégradation des sols salés	30
3.1. Dégradation physique et chimique des sols salés.....	30
3.2. Dégradation biologique des sols salés	31
4. Mise en valeur des sols salés.....	32
4.1. État d'évacuation des eaux de drainage.....	32
4.2. Qualité de l'eau d'irrigation et doses de lessivage	34

Deuxième Partie:EtudeExpérimentale

Chapitre I :Matériels et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude	38
1.1 Situation géographique	38
1.2 Climat	38
1.3 Température.....	39

Sommaire

1.4 Précipitation.....	39
1.5 Le relief.....	39
1.6 Hydrographie	40
2. L'Echantillonnage	40
2.1. Points de prélèvements	40
2.3. Protocoles des analyses du sol.....	43
2.3.1 Analyse granulométrie	43
2.3.2 Mesure du pH.....	44
2.3.3 Mesure de la conductivité	45
2.3.4. Dosage des cations (Ca^{+2} , Mg^{+2}).....	46
2.3.5. Dosage des cations (Na^+ , K^+)	49
2.3.6. SAR.....	50
3. Analyses statistiques	51
<i>Chapitre II :Résultat et discussion</i>	
1. Granulométrie.....	53
2. Paramètres physicochimiques	54
2.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)	55
2.2. La conductivité électrique	56
2.3. Le Calcium (Ca^{+2}).....	58
2.4. Le Magnésium (Mg^{2+})	58
2.5. Le Sodium (Na^+).....	59
2.6. Le Potassium (K^+)	60
2.7. SAR « Sodium Adsorption Ration »	62
3. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques des sols irrigués	63
Conclusion générale	66
Références bibliographiques	67

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

Ca²⁺ : Calcium

CE : Conductivité Electrique

CEC : Capacité d'Echange Cationique

Cl : Chlorure

cm: Centimètre

cm² : Centimeter carrés

CO₃²⁻ : Carbonate

Ds: Décisiemense

FAO: Food and Agriculture Organization

g: Gramme

H⁺ : Hydronium

h: Heure

ha: Hectare

HCO₃⁻: Bicarbonate

INRAA : Institut National de Recherche Agricole Algérien

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

K⁺ : Potassium

Kg: Kilogramme

Km: Kilomètre

Km²: kilomètre carré

m : Mètre

Liste des abréviations

m³ : Mètre cube

még/l : Milliéquivalent par litre

mg : Milligram

Mg⁺²:Magnésium

Mha : Million hectare

mm: Millimètre

mmol : Millimol

ml : Millilitre

mS/cm : millisiemens par centimètre

Na⁺ : Sodium

NaCl : Chlorure de sodium

l: Litre

log: Logarithme

ONID: Office National d'Irrigation et de Drainage

pH : Potentiel hydrogène

PSE : Pourcentage de sodium échangeable

SAU : Surface Agricole Utile

SO₄⁻²: Sulfate

USDA : Département de l'Agriculture des États-Unis

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

Liste des figures

Figure 1 : Irrigation par bassins (Aouata, 2015).	6
Figure 2: Irrigation par sillons (Skhiri, 2019).	6
Figure 3: Alimentation des planches par siphons (Ramdani, 2022).	7
Figure 4: Irrigation par aspersion (Kay, 1983).....	7
Figure 5: Irrigation à la goutte à goutte (Aouata, 2015).	8
Figure 6: la salinisation des sols irrigués (SOUGUEH, 2021).....	11
Figure 7: l'endommagement des sols par la salinisation (photo gracieuseté de : India Water Potable).....	11
Figure 8: la chimie de sol ou le mouvement des sels dans le sol (Darshani et al., 2021).	12
Figure 9: diagramme de solubilité d'un sel en fonction du pH et à température constante (Oubenali, 2011).....	13
Figure 10: Le phénomène de salinisation primaire liée aux eaux souterraines (Rouhana, 2007).	14
Figure 11: La salinisation secondaire, exemple du bassin hydrographique de Murray-Darling (Australie) (Murray-Darling Commission, 2008).	15
Figure 12: Répartition des sols salins dans le monde (Wicke et al., 2011).....	18
Figure 13: Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie (FAO 2005).....	19
Figure 14: Schéma synthétique des processus géochimiques des différentes voies de salinisation et leurs impacts sur les propriétés physiques des sols et sur les cultures (Tabet, 1999).....	22
Figure 15: Effet du sodium sur la structure du sol.	24
Figure 16: La perméabilité é d'un sol	25
Figure 17: L'effet de salinisation sur la croissance des plantes et la production végétale (Zemmeli et selmi, 2016).	29
Figure 18: Figure représente le drainage des champs	33
Figure 19: Image représente la salinisation dans la zone racinaire provoquée par le lessivage (Zemmeli et selmi, 2016).	35
Figure 20: Situation géographique de la région de Mila.....	38
Figure 21: Stations de prélèvements des sols irrigués dans la wilaya de Mila.	41
Figure 22: Les 14 échantillons d'étude	42
Figure 23: Le matériel utilisé dans l'laboratoire	43
Figure 24: Classification générale de la granulométrie.....	43

Liste des figures

Figure 25: Schéma du test pour une estimation sommaire de la granulométrie.	44
Figure 26: protocole de mesure le pH	45
Figure 27: Mesure de la conductivité.....	46
Figure 28: Protocole de calibrage colorimétrique de (Ca^{+2})	47
Figure 29: Calibrage colorimétrique de (Mg^{+2})	48
Figure 30: Spectrophotomètre à flamme.....	50
Figure 31: Variation spatiale du pH des sols irrigués dans la région de Mila.	55
Figure 32: Variation spatiale de la conductivité (CE dS/m) des sols irrigués dans la région de Mila.	56
Figure 33: Variation spatiale du calcium (Ca^{+2} méq/100 g) dans les sols irriguer dans la région de Mila.....	58
Figure 34: Variation spatiale du Magnésium (Mg^{+2} méq/100 g) dans les sols irriguer dans la région de Mila.	59
Figure 35: Variation spatiale du sodium (Na^{+} méq/100 g) dans les sols irriguer dans la région de Mila.....	60
Figure 36: Variation spatiale du potassium dans les sols irriguer dans la région de Mila.	61
Figure 37: Variation spatiale du SAR (méq/100 g) dans les sols irriguer dans la région de Mila.	62

Liste des tableaux

Tableau 1: Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008)	17
Tableau 2: Sodium échangeable en fonction des valeurs du pH des pâtes de sol saturé (Boulaine, 1978).....	26
Tableau 3: Nature de la salinisation selon le rapport Cl^-/SO_4^{2-}	28
Tableau 4: stations de prélèvements des sols irrigués dans la wilaya de Mila	40
Tableau 5: analyses granulométriques des sols irrigués dans la région de Mila, au Nord-Est de l'Algérie.	53
Tableau 6: Paramètres physicochimiques des sols irrigués dans la région de Mila, au Nord-Est de l'Algérie.	54
Tableau 7: classification des sols selon le pH (Soltner, 1989)	55
Tableau 8: Echelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (Aubert, 1978).....	57
Tableau 9: Classification des sols selon le SAR (Sevant et al 1966 in BENZHI 1994).....	62
Tableau 10: Corrélations entre les paramètres physico-chimiques des sols irrigués dans la région de Mila.	63

Introduction

Générale



Introduction générale

La gestion des sols en agriculture est perçue comme une priorité pour garantir la durabilité des modes de production. Cette question englobe non seulement les préoccupations relatives à la production et à la qualité des produits, mais aussi la protection de l'environnement. Pour la plupart des systèmes agricoles, c'est la gestion de la fertilisation (notamment azotée et phosphatée), ainsi que la régulation de l'acidité et de la salinité, qui déterminent l'engagement à long terme dans la production agricole.

La salinisation des terres est un problème mondial majeur, affectant déjà au moins 400 millions d'hectares et menaçant gravement une surface équivalente (FAO, 2005). Selon (Szablocs, 1989), 3,2 millions d'hectares subissent des degrés variés de salinisation. Une grande partie de ce phénomène se trouve dans les terres arides et semi-arides, où le processus est exacerbé par des températures élevées presque toute l'année, un drainage limité et des précipitations insuffisantes pour lessiver les sels solubles du sol (FAO, 2005). En Afrique, 80,5 millions d'hectares sont affectés par la salinité selon (Sinoussi, 2001). Pour (Duchaufour, 1983), la salinité dans les régions sèches est due à la remontée capillaire des solutions du sol sous l'effet de l'évaporation, augmentant la concentration des solutions, ce qui provoque la précipitation des sels et la saturation par le sodium d'une fraction de l'humus et des argiles, qui peuvent être déplacés lors de la période humide suivante.

Les phénomènes de salinisation provoquent une dégradation des propriétés physique et chimiques et biologique qui a des effets néfastes sur les cultures. Par ailleurs, la forte concentration de la solution du sol en sels solubles induit une augmentation de sa de sa pression osmotique qui limite l'absorption de l'eau par les plantes. Certaines concentrations ioniques peuvent être à l'origine de phénomènes de toxicité pour les cultures, la salinisation des sols et de faiblesse des rendements des cultures (Daoud et Halitim, 1994).

L'irrigation s'accompagne de phénomène de dégradation des sols par salinisation, alcalinisation et sodisation pour lesquels les mécanismes mis en cause et les effets sur la dégradation des sols sont très variées (Cheverry et Bourrie, 1998), l'irrigation extensive par de l'eau potentiellement polluée peut non seulement lessiver le sol, mais aussi détériorer la qualité de l'eau souterraine (Mouassa et al., 2017).

Selon les normes mondiales, où le seuil critique de rareté de l'eau se situe à 1000 m³/an/habitant, l'Algérie est un pays pauvre en eau (Saghir et al., 2000).

L'agriculture en Algérie est la première consommatrice d'eau : plus de 50 % des eaux mobilisée (Dekhil, 1991). La superficie irriguée actuellement dans notre pays est de l'ordre de 712 000 ha (Anonyme, 2011) ha dont 200 000 ha dans les régions sahariennes, et ce, sur une superficie agricole utile de 8 265 259 ha soit près de 8,6 % de la surface agricole utile (SAU). Les 520000 ha irrigués dans le Nord du pays (soit 6,3 % de la SAU) (Messahel et al., 2005). Cette superficie irriguée produit globalement 40% de la production nationale (Cnaid, 1992). L'intensité de la salinisation et en rapport avec la qualité des eaux utilisées (Djili et al., 2003).

La wilaya de Mila compte 20 000 hectares de terres arables irriguées, concentrées dans leur majorité, dans la partie sud de la wilaya. Les eaux d'irrigation utilisé provenant du plan d'eau de Beni Haroun, de forage et de puits.

Le souci qui nécessite une réponse claire réside dans le pouvoir de ces eaux à être toujours utilisées pour l'irrigation, sans affecté les propriétés physicochimiques du sol et surtout en ce qui concerne la salinité et la sodicité.

L'objectif de cette étude expérimentale est d'évaluer les risques de salinisation des sols irrigués dans la wilaya de Mila. Elle vise à réaliser un diagnostic de la salinité actuelle des sols du site étudié.

Cette étude comporte trois grandes parties :

- La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique traitant trois chapitres essentiels : l'irrigation et généralité sur les sols salés et les effets de la salinisation.
 - La deuxième partie illustre le matériel et méthodes utilisés pour la réalisation de cette étude.
 - Enfin, la troisième et la dernière partie est consacrée à la discussion des résultats obtenus.
- Enfin on terminera par une conclusion.

Première Partie :
Synthèse
Bibliographique

Chapitre I : *Irrigation*



La desserte adéquate en eau est essentielle pour la croissance ou le développement végétatif des cultures. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation serait nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures. Il existe actuellement plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. Chaque méthode présente en même temps des avantages et des inconvénients, qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte le mieux aux conditions locales.

La méthode d'irrigation la plus élémentaire consiste à transporter l'eau à partir de la source d'alimentation jusqu'à notre culture avec un minimum possible des pertes d'eau.

1. Différents systèmes d'irrigation

1.1. Irrigation de surface

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches) (Belakhdar et Ghodbane, 2019).

1.1.1 Irrigation par bassins

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau. La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers ; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (12 à 24 heures) (Aouata, 2015).



Figure 1 : Irrigation par bassins (Aouata, 2015).

1.1.2. Irrigation par sillons / à la raie

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltré dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons. Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée. Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'amenée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les berges du canal d'amenée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'amenée (Skhiri, 2019).

**Figure 2:** Irrigation par sillons (Skhiri, 2019).

1.1.3. Irrigation par planches

Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calant ou planches d'arrosage. L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons: soit à l'aide de prises d'eau aménagées sur le canal d'amenée et équipées d'une vannette, soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée. La lame d'eau introduite ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci (Ramdani, 2022).

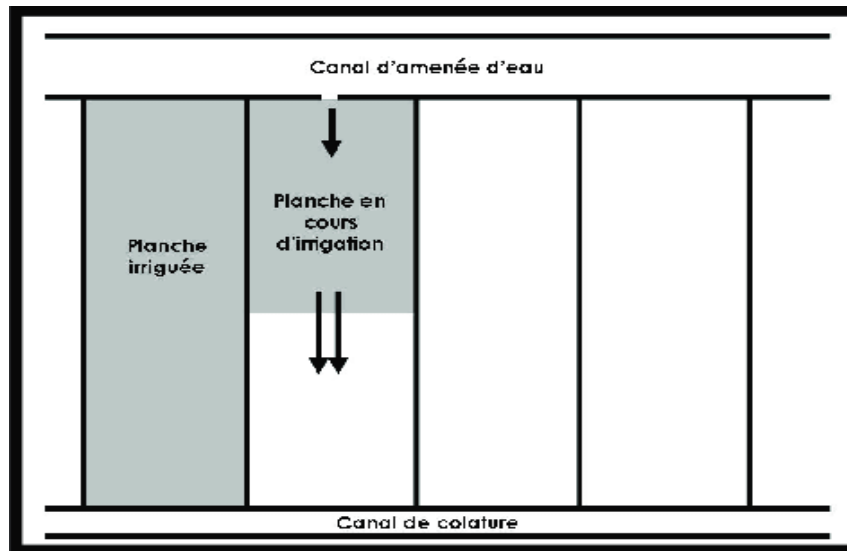


Figure 3: Alimentation des planches par siphons (Ramdani, 2022).

1.2. Irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle (Kay, 1983).



Figure 4: Irrigation par aspersion (Kay, 1983).

1.3. Irrigation localisée (goutte à goutte)

L'irrigation à la goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC ; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent,

cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau. L'irrigation à la goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation (Aouata, 2015).



Figure 5: Irrigation à la goutte à goutte (Aouata, 2015).

1.4. Exploitation des réseaux d'irrigation

Quelle que soit la technique d'irrigation utilisée, le but final est d'avoir une récolte de qualité supérieure et une productivité élevée. Pour cela la bonne conception du réseau, sa bonne exécution et la pratique judicieuse des irrigations sont de première importance. Les travaux d'entretien qui ont pour objet de garder l'infrastructure du réseau et les ouvrages en bon état de fonctionnement sont souvent négligés. Ce fait a toujours amené la baisse du rendement (efficacité) de distribution d'eau et a conduit à la réduction du profit qu'on peut tirer des techniques d'irrigation. Les canaux, les ouvrages et les réseaux de distribution doivent faire l'objet d'un contrôle régulier. La réparation immédiate des ouvrages endommagés et le remplacement des équipements défectueux doivent être les premiers résultats de ce contrôle régulier, Les travaux d'entretien des réseaux d'irrigation par aspersion et à la goutte à goutte sont généralement décrits dans les manuels fournis par les fabricants de ce genre d'équipement (Brouwer, 1990).

Chapitre II :
Généralités sur les
sols salés



1. La salinisation des sols

1.1 Définition

La salinisation au sens large est un terme général caractérisé par une augmentation progressive de la concentration en sel du sol. Cela indique trois processus de salinisation des sols, à savoir : la salinisation (au sens strict), l'alcalinisation et la sodicisation (Gning, 2015).

La salinisation (au sens strict) : désigne le sol riche en tous les processus de salinisation. La teneur et la quantité de sels neutres solubles sont suffisantes pour affecter ses performances agronomiques.

L'alcalinisation : reflète une augmentation du pH du sol suite à l'accumulation de bases faibles. En effet, si l'eau d'irrigation présente une alcalinité résiduelle, c'est-à-dire un excès de carbonate (base faible). La concentration en calcium et l'évaporation de l'eau provoque la précipitation de calcite. Cela se traduit par l'augmentation du pH du sol (Mayer, 1997).

La sodiation : est le processus par lequel le sol est enrichi en sodium échangeable qui endommage d'autres bases échangeables. En effet, la capacité d'échange du sol par les cations sont appelés capacité d'échange cationique (CEC). La sodiation est mesurée en pourcentage de CEC occupée par le sodium. Ce pourcentage est appelé ESP ou PSE (pourcentage de sodium échangeable) (Lacharme, 2001).

Pour les chimistes, les sels sont les produits de l'interaction acides et de bases. Par conséquent, de nombreux produits chimiques sont des sels. Pour les agronomes, le sel est une substance suffisamment soluble dans l'eau pour entraver la croissance des plantes (Legros, 2009). La salinisation est l'accumulation des sels hydrosolubles dans le sol. Ces sels sont le potassium (K^+), le calcium (Ca^{+2}), le magnésium (Mg^{+2}), le chlorure (Cl^-), le sulfate (SO_4^{-2}), le carbonate (CO_3^{-2}), le bicarbonate (HCO_3^-) et le sodium (Na^+). L'accumulation de sodium est également appelée coagulation. Le sel se dissout et se déplace avec l'eau, et lorsque l'eau s'évapore, le sel reste (Legros, 2009).



Figure 6: la salinisation des sols irrigués (SOUGUEH, 2021).



Figure 7: l'endommagement des sols par la salinisation (photo gracieuseté de : India Water Potable).

1.2 Les caractères des sels

1.2.1 Le mouvement des sels

Grace à la circulation de l'eau dans le sol, les sels solubles sont en mouvement ce dernier peut être descendant (lixiviation), ascendant (montée capillaire ou capillarité) ou avec un autre mécanisme de migration appelé thermos-dialyse.

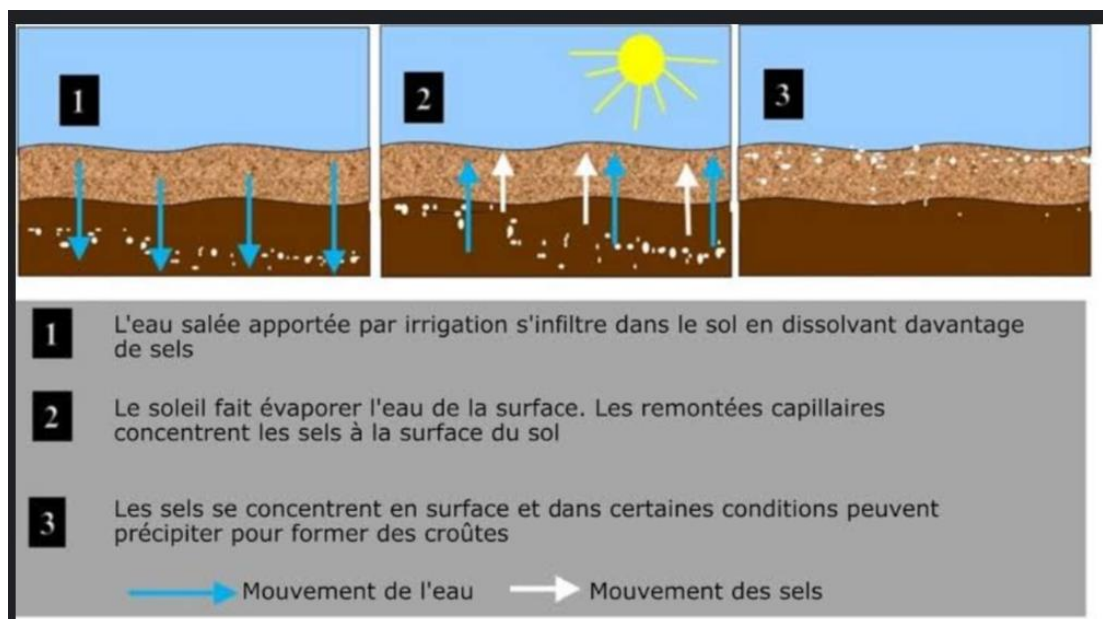


Figure 8: La chimie de sol ou le mouvement des sels dans le sol (Darshani et al., 2021).

1.2.2 La solubilité des sels

La composition de la solution, le pH et la température sont les paramètres qui affectent la solubilité du sel. Le sel se dissout sous différentes formes. En fait, les chlorures sont les plus solubles, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont modérément soluble. En revanche lorsque les sulfates et les carbonates sont combinés au calcium, ils deviennent pratiquement insolubles.

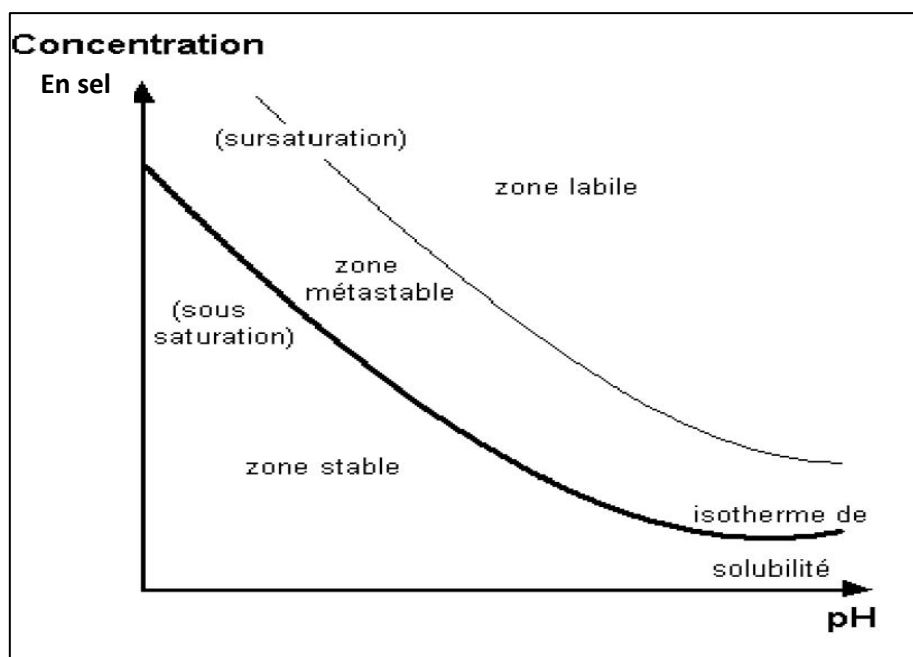


Figure 9: diagramme de solubilité d'un sel en fonction du pH et à température constante (Oubenali, 2011).

1.3 La description de l'origine de la salinité

La salinisation des sols est un processus artificiel, elle est représentée par la teneur en sel (NaCl), c'est un facteur limitant qui inhibe le développement des plantes, seules quelques plantes halophiles peuvent y pousser. Au contraire, le manque de sel gêne le développement de certaine population animale. Nous pouvons donc souligné que la carence en chlorure de sodium dans le sol s'accompagne de conséquences très graves sur la densité de population de campagnols dans les prairies naturelles (Ramade, 2008).

La salinisation est contrôlée par une série de facteurs liés aux conditions d'environnement (climat, hydrologie), l'approvisionnement en eau et aux systèmes de contrôle (irrigation, drainage) et pratiques culturels (types de couvert et densité), caractéristiques de la plante et de l'enracinement. Ces facteurs affectent l'équilibre hydrique du sol et donc le mouvement et l'accumulation des sels.

L'étude d'Abrol (1988) sur l'augmentation de la salinité a montré que l'infiltration d'eau et là plus fréquente le long des canaux d'irrigation, à proximité des réservoirs et étangs agricoles, provoquant la formation de croûtes autour des plantes. Un excès d'eau d'irrigation au-delà de la demande des cultures, les voies de drainage mal entretenues et les fuites peuvent tous causer l'élévation de niveau de l'eau et qui peuvent former une nappe perchée.

1.4 Les types de la salinité des sols

1.4.1 La salinité primaire (ou naturelle)

Qui résulte du processus d'altération des roches. La migration et le dépôt des sels dissous dans l'eau dépendent des caractéristiques du milieu naturel et des précipitations. Dans les régions arides ou semi-arides, le lessivage et le transport en profondeur des sels dissous n'existent plus l'évapotranspiration importante favorise la concentration des sels dans le sol. Dans les régions côtières l'intrusion d'eaux salées et la submersion des terres basses par l'eau de mer provoquent la salinisation de l'eau souterraine et celle des sols (Hafouf, 2022).

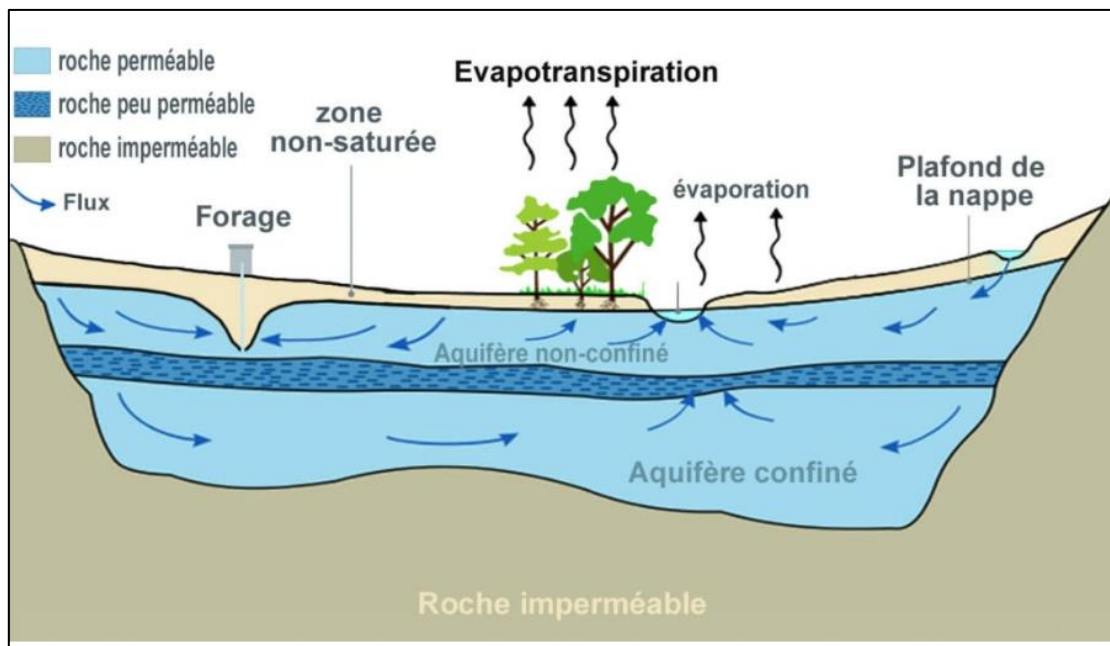


Figure 10: Le phénomène de salinisation primaire liée aux eaux souterraines (Rouhana, 2007).

1.4.2 La salinité secondaire (ou d'origine humaine)

Des sols irrigués due à l'accumulation des sels solubles dans le sol. Elle résulte de divers facteurs causés généralement par l'homme dont les irrigations avec des eaux de mauvaise qualité, un lessivage insuffisant, un drainage, un taux important d'évaporation, des remontées du niveau des nappes. Lorsque les sols reçoivent un excès des sels solubles, il y a échange entre le Na^+ et les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} fixés sur les minéraux argileux. C'est un phénomène d'alcalinisation. Il faut une quantité notable de Na^+ pour qu'il y ait adsorption pour les argiles. Les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} échangés précipiteront quand le produit de solubilité de leurs sels sera dépassé par suite d'évaporation. Au-dessus d'un taux de 15% de Na^+ échangeable on perlera

de sols à alcalis. Il apparaîtra alors une dégradation des propriétés physique du sol (Hafouf, 2022).

(Naseri 2001) a fait des recherches sur l'intrusion d'eau de mer et les eaux souterraines salines fossiles en Iran. Il a remarqué que la surexploitation des eaux souterraines pour des usages urbains ou d'irrigation des périmètres dans la proximité des étendues d'eau salée (mer ou lac) favorise l'intrusion d'eau salée dans les aquifères de l'eau douce. L'augmentation subséquente de niveau de l'eau salée souterraine cause la salinisation du sous-sol, tandis que l'utilisation de la même eau pour l'irrigation entraîne la salinisation des sols de surface. Par exemple, l'élévation du niveau de la mer Caspienne d'eau de mer à la fin des années 1980 est à l'origine de dommage des infrastructures et les structures côtières. En revanche, l'envahissement de l'eau de mer dans les aquifères régionaux favorise également l'utilisation de l'eau pour l'irrigation dans la province du Golestan, Iran (Nommene, 2011).

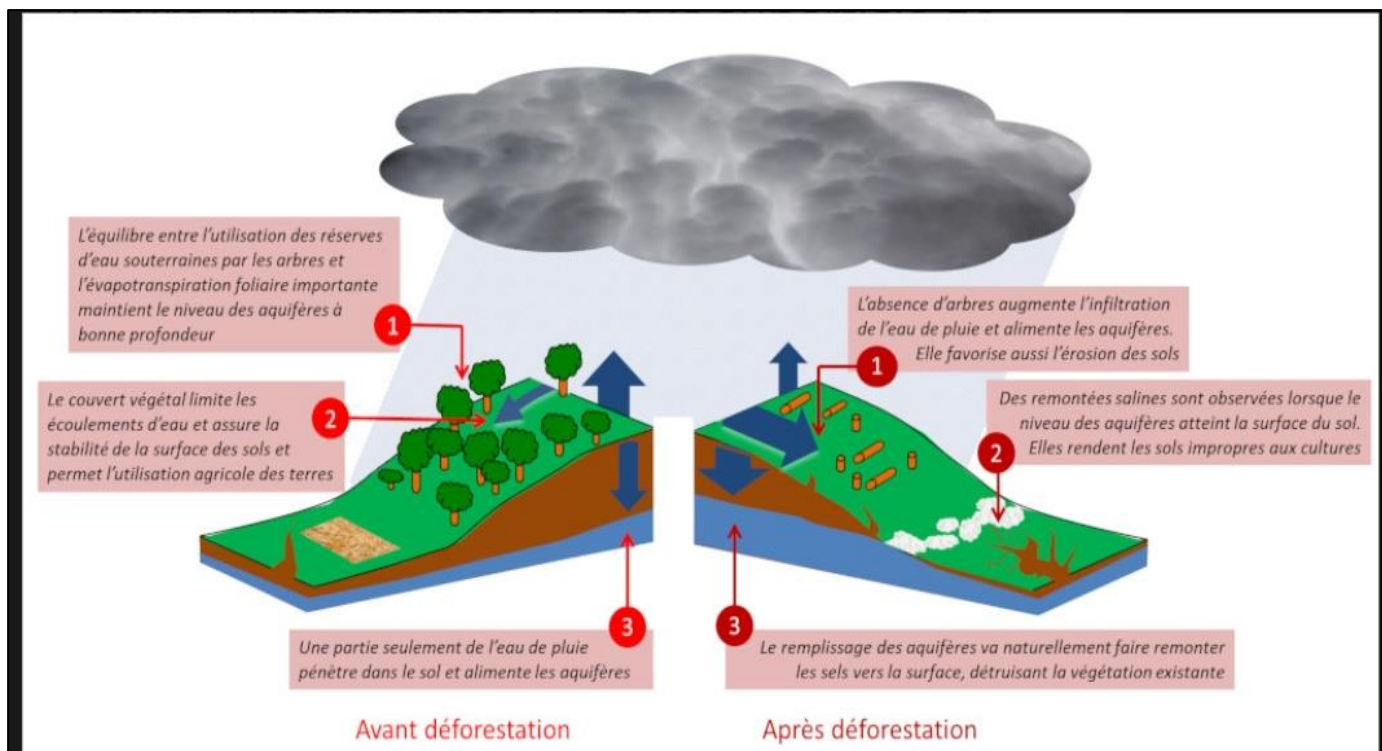


Figure 11: La salinisation secondaire, exemple du bassin hydrographique de Murray-Darling (Australie) (Murray-Darling Commission, 2008).

2. Classification des sols sales

Pour la classification des sols salés, les auteurs utilisent des paramètres de salinité et de sodicité pour obtenir des classes de sols salés basées sur la concentration en sels (CE) et le (ESP). Les sols ont été classifiés comme salin, sodique ou salin-sodique. Les sols salins sont généralement

définis en tant que sols ayant une CE de 4 dS/m ou plus. Les sols sodiques sont définis en tant que sols qui ont un (ESP) supérieur à 15 (Cramer, 2002).

3. La différence entre la salinisation et la sodisation

(François, 2008) définit la sodisation comme une augmentation du taux de sodium échangeable dans le sol due à diverses modifications physico-chimique, conduisent à une défloculation de l'argile et à un colmatage des pores, gênant ainsi la circulation de l'eau. Le sol devient alors imperméable à l'eau et donc infertile.

Les sols sodiques, quant à eux, sont des sols dont la structure est déterminée par leur teneur en sodium. Les principaux types de sols sodiques sont les solonetz, les solontchaks, et les soloths.

Le sodium (Na^+) entraîne un taux d'augmentation élevé de tous les cations associés à la charge négative des particules d'argile qui composent le complexe du sol. Les particules d'argile chargées négativement sont maintenues ensemble par des cations divalents. Lorsque des cations monovalents tels que Na^+ remplacent les cations divalents sur le complexe du sol et que la concentration de sels libres solubles est plus faible, le complexe gonfle et les particules d'argile se séparent.

Si la concentration de sels solubles est suffisamment faible, les minéraux sont convertis en argile sodique par hydrolyse, créant ainsi un sol très alcalin. Un sol alcalin est un sol sodique avec pH élevé du aux carbonates, défini avec un ESP de 15 ou plus et un pH de 8,5 à 10.

Le processus d'alcalinisation est un phénomène complexe qui se produit sur une longue période. Les sels s'accumulent dans les profils pédologiques par dépôt atmosphérique ou altération minérale. La partie argileuse du sol provoque une saturation en sodium. Le lessivage du profil par une pluie prolongée ou une irrigation d'eau douce réduit la concentration d'électrolytes en éliminant les particules d'argile. L'immersion des particules d'argile profondément dans le profil empêche l'eau de s'infiltrer dans les pores (Nommene, 2011).

Dans les environnements semi-arides, le profil du sol est souvent salin ou sodique, et les sels s'accumulent en raison de la faible perméabilité des sous-sols sodique. Les sols salins et les sols sodiques sont largement répartis dans les régions arides et semi-arides du monde. Les sels provenant des précipitations ou des réactions climatiques s'accumulent dans les zones saturées du sous-sol, permettant à l'eau de pénétrer très lentement. la salinité instantanée indique que les variations saisonnières et spatiales de l'accumulation de sel dans la zone racinaire ne sont pas affectées par les processus de la nappe phréatique et la montée des eaux souterraines

(Rengasamy, 2002). La salinité instantanée fluctue avec la profondeur en raison des régimes de précipitations saisonniers. Il domine différents paysages à travers le monde (Haeter et Motis, 2016).

4. les sols salés dans le monde et en Algérie

4.1 Dans le monde

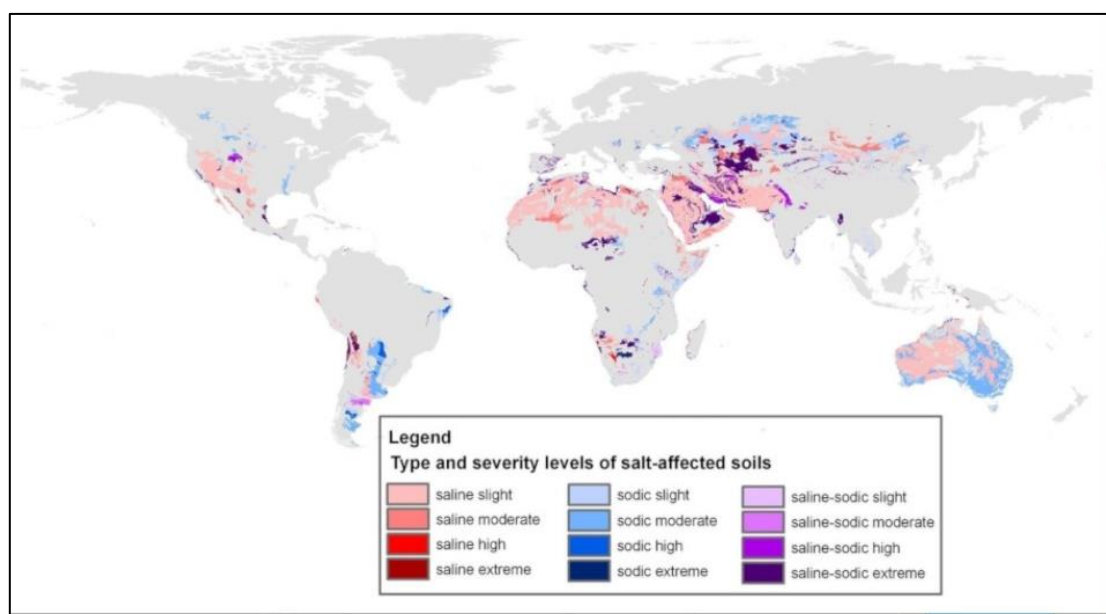
Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2002), la superficie des terres irriguées diminue de 1 à 2 % chaque année. Les zones semi-arides et les zones sèches sont les plus touchées (près d'un quart). Pour un meilleur rendement, une expansion globale de la production et de la superficie irriguée est survenue au cours des années : environ 8,1 million d'hectares irrigués en 1800, 41 million en 1900, 105 million en 1950 et plus de 222 millions d'hectares aujourd'hui (Chennouf et al., 2022).

Cette pratique assure 40% de la production alimentaire mondiale, mais cela n'est pas sans risque : en effet, 21% des terres irriguées souffrent d'engorgement. La salinité et/ou l'alcalinisation réduiront son rendement. Le processus de salinisation est en raison de la mauvaise combinaison d'une évaporation élevée et d'un approvisionnement en eau d'irrigation insuffisant liée à sa teneur en sel dissous. Plus le degré de sécheresse est élevé, plus la quantité d'irrigation est importante (Ruellan et al., 2008).

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture estime que la salinité a affecté au moins 400 millions d'hectares de terres (Legros, 2009). Les sels se trouvent dans les zones arides et semi-arides, en Afrique du Nord, en Asie de l'Est Asie central et du sud (FAO, 2006). Le sol salin est principalement situé dans les zones arides, sa proportion est particulièrement élevée dans les zones (Egypte, Tunisie) et Moyen-Orient (Iran, Pakistan, Bangladesh) Asie centrale (Ouzbékistan), Nord Chine et Argentine. Les sols sodiques sont particulièrement répandus en Australie, mais cela est également vrai dans certains cas précis, comme en Hongrie ou Ouzbékistan. En revanche, les changements de salinité associés aux activités humaines ne concernent que 77 millions d'hectares (Marlet et Job, 2006). Dans les pays du Maghreb, les dommages de la salinisation sont connus, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation (Djili et al., 2003).

Tableau 1: Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008)

Région	Superficie (Mha)
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

**Figure 12:** Répartition des sols salins dans le monde (Wicke et al., 2011).

3.2 En Algérie

En Algérie, la plupart des sols agricoles sont affectés ou sensible à la salinité (Durand, 1983). Les sols salins sont répandus dans les plaines d'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizan, dans les hautes plaines du sud de Sétif et de Constantine, et en bordure de certaines zones courtes comme le chott Melghir. Ils s'étendent également largement dans le Sahara, au sud de Biskra jusqu'à Tugurt, Ouargla (Durand, 1983). Selon (Halitim, 1988) Dans les zones arides,

les sols couvrent environ 25% de la surface cartographique. Soit 3.2 millions d’hectares (Hamdi, 1999) (tableau 02). La teneur en sodium des sols du sud est nettement plus élevée que celle du nord (Saadoune, 2016).

Les classifications climatiques d’Emberger ont été largement adoptées dans la région méditerranéenne. Le bioclimat méditerranéen de l’Algérie est divisé en cinq phases : saharienne, aride, semi-aride, subhumide et humide (figure 13)

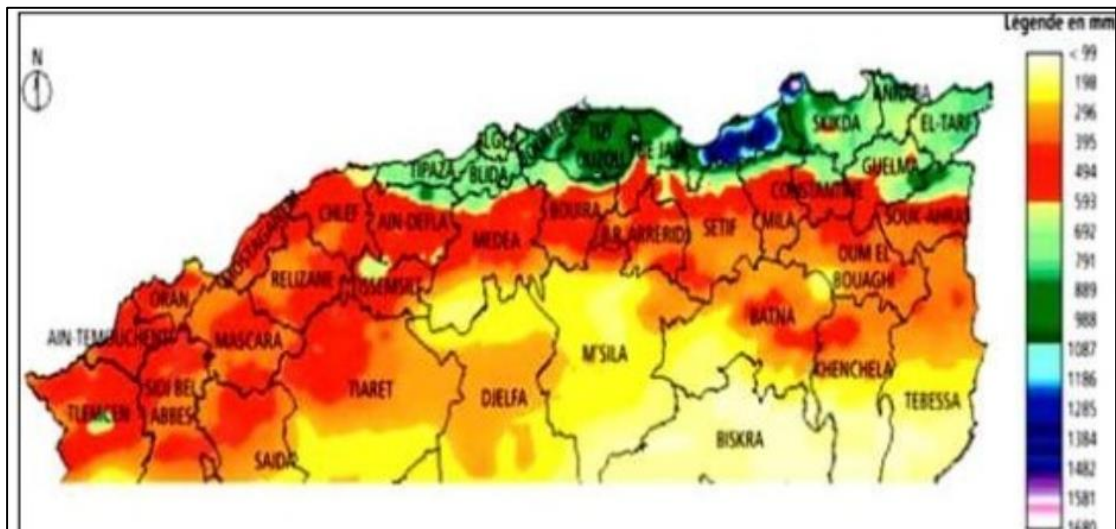


Figure 13: Répartition des précipitations dans le nord de l’Algérie (FAO 2005).

Chapitre III :
Les effets de la
salinisation des sols



1. Les effets sur les propriétés physico-chimiques des sols.

Dans les sols salins, l'abondance de sels solubles neutres entraîne la floculation de la fraction argileuse, préservant ainsi sa stabilité. En revanche, dans les sols alcalins, un excès de sodium échangeable provoque la dispersion de l'argile, fragilisant la structure du sol. Ces conditions rendent les sols sensibles à la formation de croûtes de surface, favorisant le ruissellement. De plus, une compactation du sol peut considérablement réduire l'infiltration d'eau et entraîner une hydromorphie variable en fonction de la texture et de la topographie du sol dans le paysage environnant (Douaoui et al., 2004).

Un niveau élevé de sodium échangeable provoque la dispersion des agrégats, entraînant une diminution de la perméabilité et de la porosité du sol, ainsi qu'un tassement. Sur le plan agricole, cela se traduit par une compaction sévère du sol, le rendant difficile à labourer, et entravant la germination et l'enracinement des plantes. De plus, le sol devient totalement anoxique, ce qui nuit au développement racinaire en provoquant son atrophie et superficialité croissante. Ces effets ont des conséquences négatives sur l'absorption des nutriments par les plantes, entraînant une baisse significative des rendements :

- Difficulté de germination et de levée
- Stress hydrique de la plante
- Perturbation de la croissance
- Formation de croûtes de surface
- Imperméabilisation de la surface

L'excès de sels dans un sol modifie les propriétés physiques et chimiques. Cette altération des conditions édaphiques constitue un stress indirect pour la croissance des plantes (Gregory, 2005).

1.1. Les effets sur les propriétés physiques des sols.

Les sols salés sont extrêmement vulnérables et souvent sujets à la dégradation, ce qui diminue leur stabilité structurelle lorsque le taux de sodium échangeable atteint 12 à 15% de saturation de la capacité d'échange cationique (Duthil, 1971).

Une salinité élevée réduit le gonflement et la désagrégation des agrégats, ainsi que la dispersion des particules du sol. En revanche, une forte teneur en sodium entraîne un gonflement et une dispersion des particules colloïdales (Gupta et al., 1990). Des études ont montré que le

gonflement de l'argile est lié à la taille et au nombre des pores, tandis que la conductivité hydraulique dépend uniquement de la taille des constituants (Halitim, 1985).

(Tessier 1984) a souligné l'impact différencié des contraintes physiques et des conditions physico-chimiques sur la rétention d'eau et la conductivité hydraulique.

(Sigala et al., 1988), ont observé que le sodium échangeable affecte le taux de dispersion des argiles, ce qui modifie profondément l'évolution du sol, influençant notamment les relations sol-eau, les propriétés physique telles que la structure, la porosité et la perméabilité, ainsi que l'état physique des éléments en solution, en pseudo-solution ou en dispersion, et par conséquent leurs possibilités de migration.

Jusqu'à présent, les recherches sur les effets des sels sur les propriétés des sols ont principalement porté sur la perméabilité et la stabilité structurale.

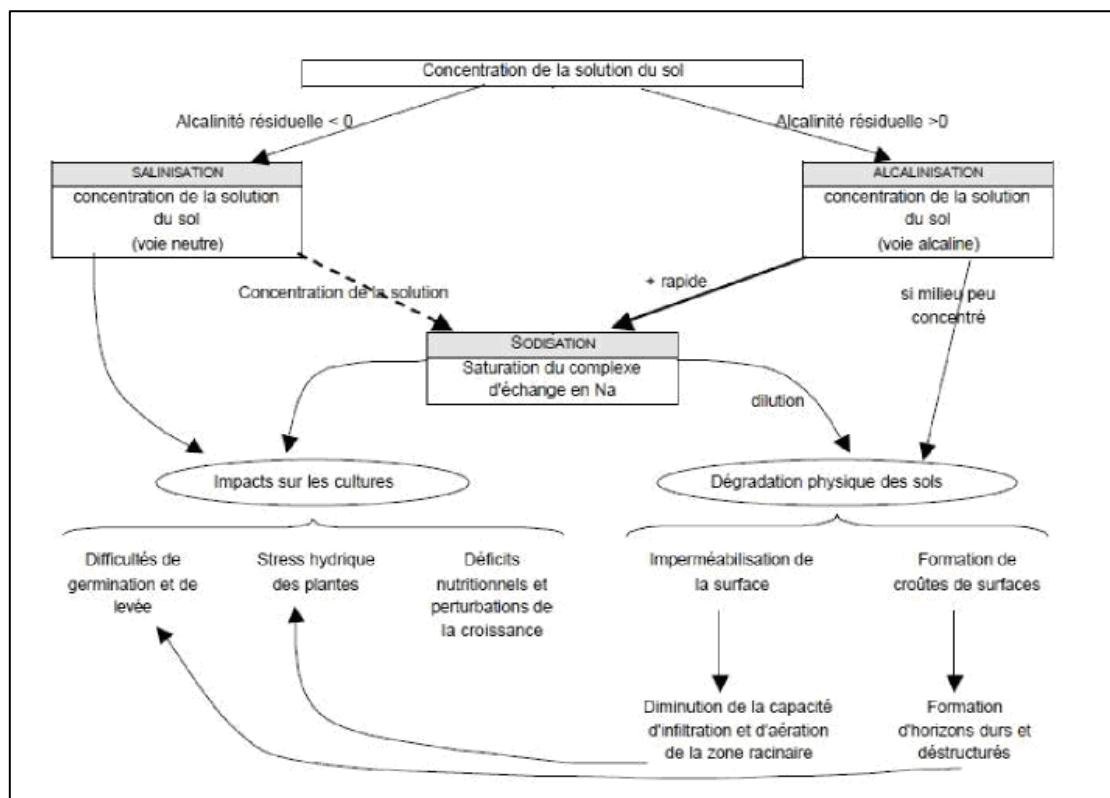


Figure 14: Schéma synthétique des processus géochimiques des différentes voies de salinisation et leurs impacts sur les propriétés physiques des sols et sur les cultures (Tabet, 1999).

1.2. Les effets des sels sur la stabilité structurale

La dégradation de la structure de sol par la salinisation modifie la circulation de l'eau de pluie ou d'irrigation ou de ses solutions.

La stabilité d'un sol dépend des cations impliqués dans la saturation du complexe et le taux de la réduction d'agrégats stables dépend des cations immobilisés sur le complexe absorbant $\text{Ca}^{+2} < \text{Mg}^{+2} < \text{K}^{+} < \text{Na}^{+}$. Une fois que les niveaux de sodium augmentent, la stabilité structurale du sol diminue et l'échangeabilité atteint 12 à 15% (Duthil, 1973). Le rapport $\text{Na}^{+}/\text{Ca}^{+2}$ affecte la dispersion colloïdale.

Cette dispersion se produit lorsque la quantité de sodium échangeable dépasse la quantité de calcium échangeable : c'est-à-dire lorsque le rapport $\text{Na}^{+}/\text{Ca}^{+2}$ dépasse la valeur 1 (Derodour, 1981). Na^{+} réduit la macroporosité grâce à ses capacités de gonflement et de dispersion de l'argile.

(Haining et al., 1969) ont constaté un transfert plus important des ions Na^{+} dans les sols riches en solution il a une capacité plus grande que le sol environnant et est relativement enrichi en ions K^{+} après modification structure. Par conséquent, le rapport des granulats stabilisants est lié à la charge ionique et au type d'argile. La stabilité est liée au potentiel électrique.

De plus, (Marin 1991) explique ce lien comme suit :

- Lorsque le potentiel électrique est élevé, les particules se repoussent, se dispersent davantage et le niveau d'agrégats stable est considérablement réduit, en particulier dans les complexes à faible teneur en Na^{+} .
- Si le potentiel électrique reste faible, les particules s'attirent et s'agrègent, sous une forme feuilletée, il s'agit d'un phénomène de floculation qui produit des granulats stables (complexes saturés en Ca^{+2}). L'eau pure ne convient à l'irrigation que si le sol est sans sel ou moins salé. S'il est à base de sodium et d'argile, il devient imperméable.

Dans cette situation, une eau fortement minéralisée, comme l'eau de mer par exemple, peut être employée pour éliminer la majeure partie du sodium de la capacité d'échange cationique (CEC). Ensuite, à long terme, on opte pour une irrigation avec une eau idéalement légèrement salée et riche en calcium. Il est préférable d'éliminer le sodium de la CEC en plusieurs étapes, car cela s'avère plus efficace et nécessite moins d'eau. Entre deux irrigations lessivant l'équilibre avec

la solution du sol se rétablit, entraînant la désorption du sodium. Ainsi cet ion en solution peut être éliminé plus facilement lors de l'apport d'eau suivant (Legros, 2007).

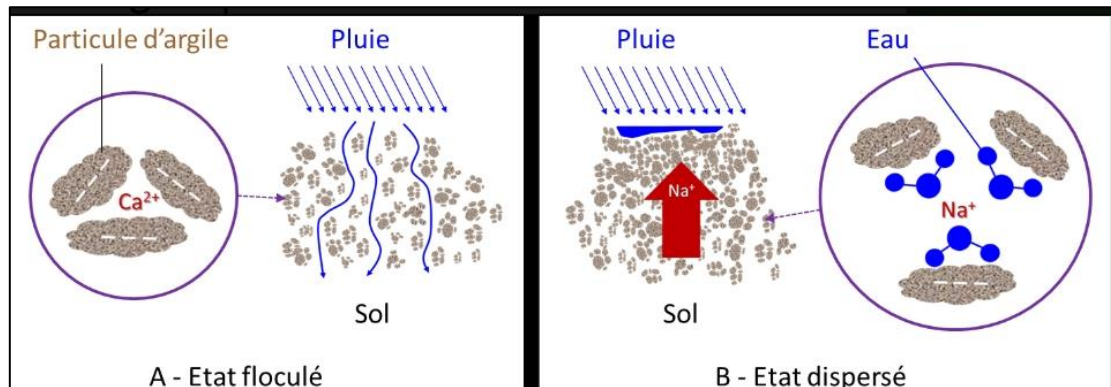


Figure 15: Effet du sodium sur la structure du sol (Schneider, 2010).

1.3. Les effets des sels sur la perméabilité

La conductivité hydraulique est l'une des propriétés physique importantes en agriculture, cette propriété dépend des conditions chimiques de la solution de sol. La perméabilité dépend principalement de : la texture, la structure, type de cations absorbés et le niveau de matière organique. La diminution de la perméabilité des sols salins-alcalins est un résultat direct des colloïdes dispersés par les ions Na^+ (Derdour, 1981). La perméabilité commence à augmenter avec l'augmentation de la salinité en raison de la formation d'agrégats, le sel floccule puis reste constant (Demelon, 1966).

La perméabilité réduite des sols salins est une conséquence directe de la diffusion des colloïdes avec le sodium échangeable. Cette réduction dépend des ions qui l'accompagnent, elle diminue dans le sens suivant : $\text{CO}_3^{-2} > \text{HCO}_3^{-2} > \text{SO}_4^{-} > \text{Cl}^-$.

En 1971, Servant notait que le sodium diminue la percolation tandis que le potassium l'augmente. En revanche, les sols saturés par le calcium ont une perméabilité supérieure à ceux saturés par le sodium et le potassium.

Selon Richards (1954), deux facteurs influencent ou contrôlent la réduction de perméabilité :

- Les particules d'argile gonflent, entraînant une diminution de la taille des macropores dans le système
- La dispersion de l'argile peut provoquer le blocage des pores et des canaux du sol.

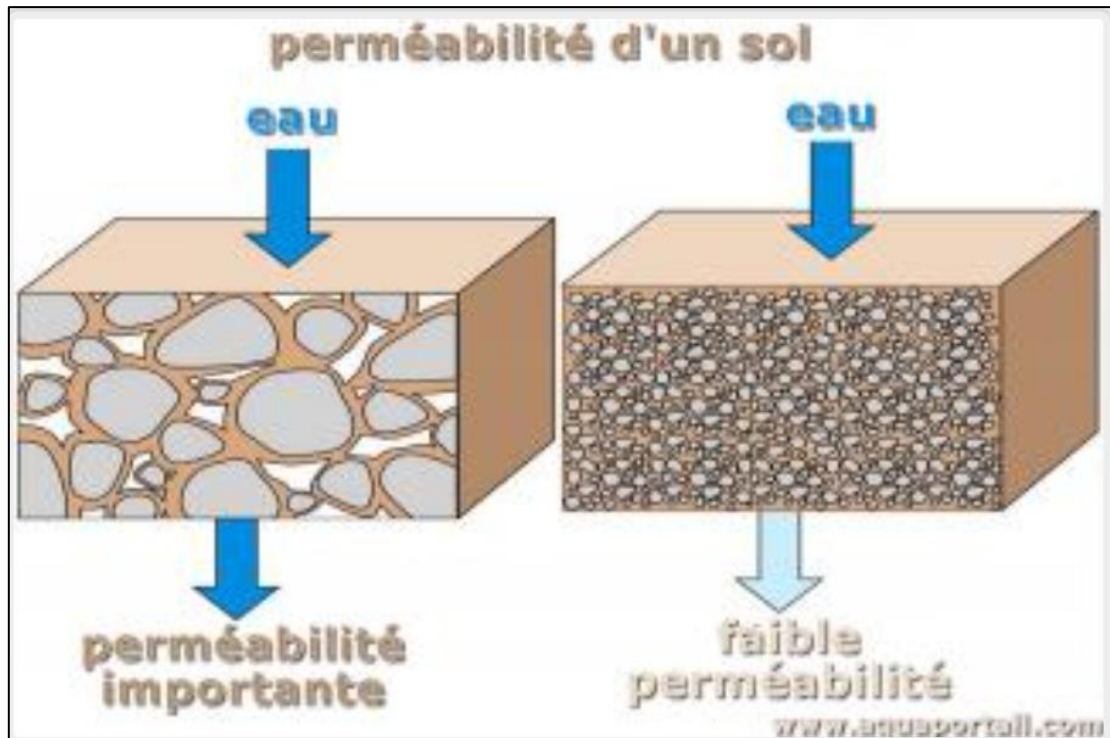


Figure 16: La perméabilité é d'un sol

1.1.4. Les effets des sels sur la rétention en eau

Le sol salin contient des éléments hygroscopiques qui le maintiennent humide même dans des environnements secs, mais selon Halitim (1973) en raison du potentiel osmotique de la solution du sol, de telles réserves d'eau ne sont pas toujours disponibles.

1.2. Les effets sur les propriétés chimiques des sols.

Un sol salé contient des sels sous forme soluble tel que les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}), et les carbonates (HCO_3^-). Par ailleurs, il contient aussi des cations tels que le calcium (Ca^{+2}), le sodium (Na^+), et en teneur moins abondante du potassique (K^+) (Doummergues et Mangenot, 1970).

1.2.1. La conductivité électrique

La conductivité d'une solution est mesurée entre deux électrodes d'une surface de 1 cm^2 . Elle détermine la salinité globale de l'extrait pate saturée. Elle est exprimée en ds.m^{-1} (Baize, 1988).

CE représente la quantité totale de sel dans la solution du sol ; selon (Calvert 2003), plus la concentration en sels dissous est élevée, plus la CE de la pâte saturée est élevée.

Il est généralement accepté qu'un sol dont la conductivité électrique de l'extrait de pate saturée est égale ou supérieure à 4 ds.m^{-1} est qualifié de salé (Boulaine, 1978).

L'échelle agronomique développée par le laboratoire de salinité des Etats- Unis (U.S.S.L) est calibrée selon les valeurs de la conductivité électrique, allant de 0 à 16 ds.m^{-1} .

1.2.2 Le potentiel hydrique (pH)

Le pH d'une solution est le nombre d'ions H^+ libres qu'elle contient (Soltner, 1982). $\text{pH} = 1/\log(\text{H}^+)$. le pH est mesuré sur une suspension de terre fine (Robert, 1996).

L'accumulation des sels solubles dans un sol modifie son pH. Dans les sols alcalins, la présence de bicarbonates et de carbonates de sodium entraine une augmentation du pH avec la salinité, comme le soulignent (Gupta et al., 1990). Ainsi une relation entre la sodicité du sol et le pH de l'extrait de pate saturé a été établie par (Boulaine 1978) exprimée en termes de sodium échangeable en fonction du pH.

Tableau 2: Sodium échangeable en fonction des valeurs du pH des pâtes de sol saturé (Boulaine, 1978).

pH	ESP en %.	Observation
pH > 8,5	> 15 toujours	Présente de carbonate d'alcalino-terreux.
$7,5 < \text{pH} < 8,5$	> 15 pas toujours	Présence ou non présence de carbonate d'alcalino-terreux.
$7 < \text{pH} < 7,5$	< 15	Pratiquement pas de carbonate d'alcalino-terreux.
pH < 7	Très faible	Quantité significative de Na^+ échangeable

Selon (Khatir, 2000), les sols salés présentent généralement un pH supérieur à 7 pouvant même atteindre des valeurs nettement supérieures à 8,5 en cas d'abondance et de diversité élevée des espèces chimiques des sels. Le pH d'un sol permet de le classer selon l'échelle d'alcalinité suivante :

- pH<4,5 : sol acide.
- 4,5<pH<6 : sol légèrement acide.
- 6<pH<7 : un sol neutre et équilibré fournit de bons nutriments.
- pH>7 : sol calcaire (alcalin, basique)

1.2.3 Taux de sodium échangeable (ESP)

L'ESP représentant la concentration de sodium Na⁺ échangeable (exprimée en méq.100g⁻¹) par rapport à la capacité d'échange cationique (CEC) qui représente la quantité totale de cations (ions⁺) dans le sol qui peuvent être adsorbés sur ses complexes ou échanger avec une solution de sol.

$$ESP = (Na^+ / CEC) \cdot 100.$$

Selon le degré de contamination du sol provoqué par le sodium échangeable, on peut le classer comme l'état de dégradation du sol selon la valeur ESP est suivant (F.A.O, 1984) :

- ESP< 5% : légère alcalinité.
- ESP de 5 à 20% : alcalinité modérée.
- ESP de 20 à 45% : alcalinité grave.
- ESP> 45% : alcalinité très grave.

1.2.4 SAR (Sodium Adsorption Ration)

Dans une étude des mécanismes de sodiation, l'USDA (Riverside, 1969) a utilisé paramètres précis qui définissent la composition d'une solution de sol ou d'une couche de sel. Il s'agit de SAR (Mathieu et Pieltaine, 2003). La formule de calcul du SAR est l'expression suivante :

$$SAR = Na / \sqrt{\frac{Ca^{+2}}{2} + \frac{Mg^{+2}}{2}}.$$

Na⁺, Ca⁺², Mg⁺² représentent des concentrations en milliéquivalents par litre dans solution de sol ou eau d'irrigation. Le SAR donne des instructions sur les risques d'alcalinisation de l'environnement.

Si le SAR < 10 Le risque est faible, si SAR est compris entre 10 et 18 le risque est moyen, si SAR > 18 est élevés, et si SAR > 26 le risque est très élevé.

Remarque : il existe diverses relations empiriques entre le SAR et l'ESP. La méthode classique utilisée est basée sur des mesures effectuées en 1954 par l'U.S.S.L réalisé sur 59 types de sols différents.

$$\text{ESP (\%)} = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \times \text{SAR})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \times \text{SAR})}$$

1.2.5 Composition ionique de la solution du sol

Pour déterminer la concentration en anions soluble (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et les cations soluble (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+), une analyse chimique est réalisée sur l'extrait de pate saturée ou sur un extrait aqueux dilué. Cette analyse vise à classifier le type de salinisation en se basant sur le diagramme de PIPER ou une autre classification similaire. Par exemple, le rapport $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ est utilisé pour catégoriser les solutions du sol (Servant, 1966).

Tableau 3: Nature de la salinisation selon le rapport $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$

$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	> 5	Salinisation Chlorurée
	1 - 5	Salinisation Chlorurée-sulfatée
	0,2 - 1	Salinisation Sulfato-chlorurée
	< 0,2	Salinisation Sulfatée

2. Les effets de salinité du sol sur les plantes

Les effets de sel sur la physiologie des plants ont été reconnus par :

- Effets osmotiques généraux qui réduisent la disponibilité de l'eau quelle que soit la nature de sel.
- Effets éventuellement toxiques d'ions spécifiques auxquels les symptômes sont attribués.
- Accumulation d'ions spécifique dans les plantes ou apparition de troubles nutritionnels causée par l'effet de certains ions sur l'absorption et le métabolisme des nutriments basique.

La salinisation retarde ou inhibe le développement des plantes cultivées. Cela limite l'absorption de l'eau et les nutriments par les racines (Houle, 2001).

L'augmentation de la teneur en sel du sol entraîne une augmentation de la pression osmotique des solutions de sol qui réduisent la quantité d'eau disponible pour les plantes. Réduire la croissance des plantes est une fonction linéaire de l'augmentation de la pression osmotique de solution de sol. Par conséquent, la pression osmotique du milieu extérieur augmente la succion du sol et empêche la pénétration de l'eau jusqu'aux racines (Katerji et al., 1991).

Par conséquent, On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend entre autres de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (Hopkins, 2003).

Le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement aux ions Na^+ et Cl^- dans la rhizosphère et dans de l'eau (Paradia et Das, 2005), le stress salin déclenche à la fois un stress osmotique et un stress ionique (Flowers et al., 1988 ; Flowers, 2004).

L'accumulation excessive de sels dans le sol a d'autres effets que l'osmose. Lorsque la salinité élevée, l'absorption des ions est déséquilibrée, provoque une phytotoxicité (Katerji, 1995). Les ions les plus toxique sont Cl , Na , B .

Selon (Ayers et Westcot, 1985), les plantes sensibles ont une $\text{ESP} < 15\%$, les plantes semi – tolérantes $15-40\%$, mais généralement les sols avec une $\text{ESP} > 30\%$ ont une structure qui ne favorise pas une bonne production.

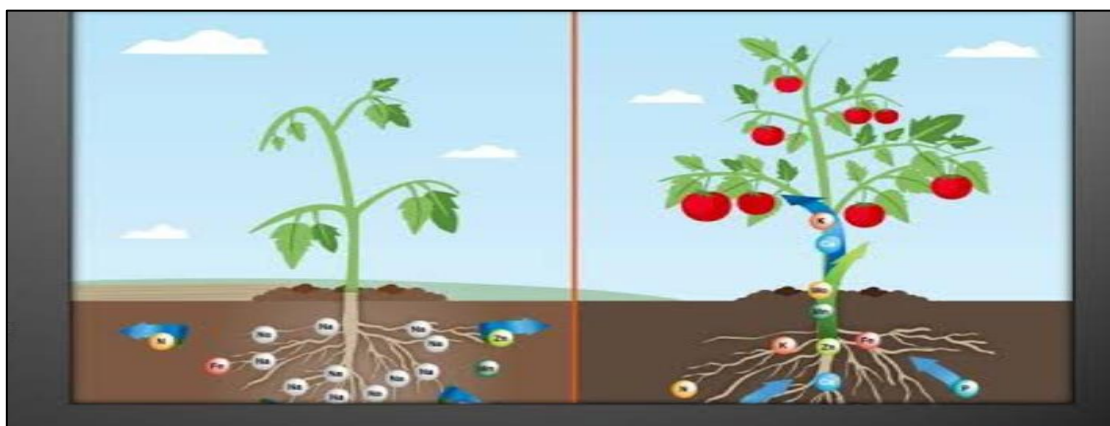


Figure 17: L'effet de salinisation sur la croissance des plantes et la production végétale (Zemmeli et selmi, 2016).

3. La dégradation des sols salés

La salinisation a conduit à l'abandon des très anciens périmètres irrigués (Bouteyre et Loyer, 1992). Actuellement, les remontées salines et la salinisation des sols sont citées parmi les principales causes de la perte de productivité de nombre élevé de périmètres irrigués dans le monde (Boivin, 1999). La dégradation des sols sous l'effet de la salinité est due à la mauvaise gestion des superficies irriguées et l'absence de drainage (Abdeljaouad, 1999). En effet, la qualité de l'eau d'irrigation suivant la texture et les possibilités de drainage des sols influence largement la vitesse de dégradation du sol (Badraoui et al., 1998). Selon (Chebbani et al., 1999), La croûte de salinisation témoigne d'une dégradation très avancée de la surface du sol, la structure est de type spongieuse, la surface est recouverte par une pellicule très mince qui recouvre une zone de transition formée de pseudo sable. Pour (Gaouar et al., 1999), l'ESP est la principale caractéristique de dégradation des sols suivie par les limons et la salinité. Enfin, (Lasram et al., 2001) ont montré que la salinisation est la cause majeure de la dégradation des terres, et elle est étroitement liée à la désertification la salinisation progressive engendre le phénomène de la désertification et vice-versa (Masoudi, 2012).

3.1. Dégradation physique et chimique des sols salés

Les ions sodium présents dans l'eau sont en équilibre avec ceux fixés sur les argiles, constituants majeurs du sol. Cette liaison confère de bonnes propriétés physique, car le sodium, présent à la fois dans l'eau et sur les argiles, agit comme un flocculant, maintenant les argiles sous forme d'agrégats ou mes racines peuvent trouver de l'eau et de l'air malgré la présence de sel. Le terme salinité est utilisé lorsque le sodium domine dans l'eau, tandis que sodicité est employée lorsque le sodium domine sur les argiles.

Cependant, dans certains sols, lorsque la concentration en sodium diminue dans l'eau en raison de l'irrigation avec de l'eau pure, les ions sodium du milieu extérieur disparaissent tandis que ceux accrochés aux argiles restent et s'hydratent, formant une fine couche d'eau à l'échelle moléculaire, agissant comme un lubrifiant. Cela crée une suspension où chaque particule flotte indépendamment, formant une masse compacte semblable à du béton une fois que l'eau s'évapore. Ce béton salé, bien qu'il se fissure sous l'effet de la sécheresse, devient impropre à la croissance des plantes car les racines ne peuvent plus pénétrer le sol desséché, rendant l'irrigation et le dessalement inefficaces.

Pour remédier à cette situation, l'irrigation avec de l'eau chargée en sulfate de calcium permet de remplacer le sodium par du calcium des argiles, préservant ainsi la flocculation. La

dégradation des sols salée est souvent causée par des processus chimiques, ou les ions sodium libérés par l'altération des roches sont équilibrés par les ions carbonates provenant de l'air (Gaham, 2016).

La sécheresse entraîne une concentration des eaux, ce qui augmente la concentration des ions présente. Par exemple, le carbonate de sodium (Na_2CO_3), également connu sous le nom de bicarbonate en pharmacie, est un sel formé à partir d'un acide faible et d'une base forte, induisant une réaction basique. Il est couramment utilisé pour traiter les brûlures d'estomac, ce qui entraîne une augmentation du pH dans les sols salés, parfois jusqu'à des valeurs de 10 ou plus, provoquant ainsi la mort des plantes et créant des sols alcalins. Un pH élevé dans le sol est souvent associé à une salinité élevée. La composition complexe des ions présents dans le sol conduit à leur co-précipitation. Le pH du sol est principalement déterminé par les ions les plus résistants à la précipitation, qui sont à la fois abondants et solubles. Selon les circonstances, cela peut conduire à la formation de différents sels tels que des chlorures, des sulfates, des carbonates, parfois des nitrates, et une variabilité extrême du pH, pouvant aller de 3 à 10.

3.2. Dégradation biologique des sols salés

La pression osmotique dans les sols salins s'accroît proportionnellement à la concentration en sels, ce qui entrave l'absorption d'eau par les plantes et les microorganismes (Robert, 1996). De plus, une forte salinité inhibe l'activité des microorganismes.

Dans le sol, la présence de sel ralentit l'évolution et la dégradation de la matière organique, ce qui affecte l'activité biologique du sol, la nature des produits humiques formés et le cycle biochimique des éléments minéraux (Gallali, 1980). Les sols deviennent un environnement défavorable pour de nombreux microorganismes en raison des sels solubles qui entraînent une augmentation de la pression osmotique, un pH basique et une structure dégradée et asphyxiant du sol.

Par exemple, les bactéries fixatrices d'azote ne se multiplient pas ou meurent lorsque la teneur en sel varie de 2 à 5, et des teneurs en sel supérieures à 0,5% nuisent à la fixation d'azote par les azotobactères et les clostridiés.

Selon (Dellal et al., 1992), la densité des microorganismes est plus élevée dans les sols non salés, tandis que dans les sols excessivement salés (22 dS.m⁻¹), il est observé une chute brutale de la population microbienne, ainsi qu'une diminution significative du nombre de germes nitrifiants et ammonifiants. Dans les sols atteignant ce seuil de la salinité excessive, certains

processus microbiens, notamment la nitrification, sont inhibés. Une forte salinité entraîne une inhibition de l'activité des microorganismes dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la maturation de la matière organique (Benzahi, 1994).

De plus, d'autres chercheurs ont noté que les nématodes phyto-parasites sont également euryhalins, ce qui signifie que la concentration en sel du sol a un impact important sur leurs mortalités, mais stimule à l'inverse la reproduction chez d'autres espèces.

4. Mise en valeur des sols salés

La restauration et la valorisation des sols salins nécessitent des investissements très élevés. Il est important qu'il soit évalué afin de justifier la rentabilité de l'investissement nécessaire à différentes étapes (Oustani, 2006).

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- Éliminer l'excès de sel (lixiviation) et supprimer les sources de sodium (drainage des salines). Ces exercices seront plus faciles s'il y a suffisamment de terrain, et qu'il soit perméable à l'eau (eau de pluie, eau d'irrigation), et que l'eau est suffisante et de bonne qualité.
- Utilisez des plantes tolérantes au sel.
- Restaurer la fertilité grâce à des amendements organiques et minéraux.

4.1. État d'évacuation des eaux de drainage

Mettre en œuvre des plans standards pour améliorer les systèmes de drainage le développement de la communauté est passé par quatre étapes principales :

- Lancement
- Planification
- Faire des réserves
- Entretien

Les deux premières étapes revêtent une importance cruciale, car elles déterminent la trajectoire des actions à venir. Le lancement d'un programme visant à améliorer le système d'évacuation des eaux peut être motivé par la prise de conscience au sein de la communauté de la nécessité d'optimiser l'existant, notamment suite à une inondation grave ou à des améliorations observées dans d'autres quartiers. Cependant, souvent le déclencheur est externe, provenant d'une municipalité, d'une parti politique, d'une organisation non gouvernementale ou d'un individu

engagé au sein de la communauté, tel qu'un enseignant ou un professionnel de la santé, soucieux de son bien être.

Problème et la solution envisagée, ainsi que la mise en place d'un comité spécial, même si Cette étape implique l'identification des besoins, la création d'un consensus sur la portée de ce n'est que temporaire. Lorsque l'initiative provient d'une intervention extérieure, il est probable qu'un effort d'information soit également nécessaire auprès de la communauté pour sensibiliser aux problèmes et mobiliser son soutien (Cairncross, 1986).

Selon l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le drainage est une technologie d'élimination naturelle ou artificielle des polluants. L'excès d'eau souterraine et les sels de surface se dissolvent dans la terre pour augmenter les rendements agriculture. Sous le drainage naturel, l'excès d'eau s'écoule des champs vers les lacs, ruisseaux et rivières dans systèmes artificiels ou l'excès d'eau souterraine ou d'eau de surface est éliminé par des canalisations souterraines ou de surface (FAO, 1945).

Le drainage a pour le but de :

1. Evacuez l'excès d'eau de pluie par les drains de surface flux superficiel.
2. Contrôler la profondeur de la nappe phréatique et infiltrer le sel dans la rhizosphère.
3. Transporter l'eau récupérée dans les drains secondaires jusqu'au collecteur.
4. Transporter l'eau du collecteur d'eau jusqu'à la sortie du système ou au lieu d'évacuation.



Figure 18: Figure représente le drainage des champs

4.2. Qualité de l'eau d'irrigation et doses de lessivage

La qualité du sol se détériore après une irrigation même avec une eau peut charger en sel, ce qui constitue une menace sérieuse pour la durabilité des systèmes d'utilisation des terres. Il est bien connu qu'une gestion non optimale du développement agricole irrigué dans les régions semi-arides et arides contribuent le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols (Badraoui et al., 1998).

Les principaux impacts sont :

- Salinisation secondaire des sols
- Reconstitution de la nappe phréatique par les eaux usées salins
- La remontée de la nappe salée ;
- La stagnation d'eau en surface dans le cas de sols à mauvais assainissement et drainage. Le besoin en lessivage est calculé en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation, l'ET, les pluies et le niveau de salinité possible de la solution du sol, lui-même fonction du type de culture à mettre en place et le type de sol :

$$L = (ET - P) [C_i / (f \cdot C_{sm} - C_i)]$$

L : besoin en lessivage (mm) ;

ET: évapotranspiration (mm)

P : pluviométrie (mm)

C_i : CE de l'eau d'irrigation (dS.m-1)

C_{sm} : CE de l'extrait de pâte saturée du sol (dS.m-1)

F : efficacité du lessivage.

Cet indicateur représente le rapport entre la salinité d'eau de drainage et celle de la solution du sol. Ce coefficient varie en fonction de la texture du sol : 0,4 pour les sols argileux, 0,6 pour les sols limoneux et 0,8 pour les sols sableux. Le lessivage est efficace lorsqu'une eau de drainage salée est évacuée à travers des systèmes de drains souterrains qui l'acheminent hors de la zone racinaire. Il peut également être efficace en l'absence de drains souterrains lorsque le drainage naturel est adéquat et n'entraîne pas une élévation du niveau de la nappe phréatique avoisinante. Il est recommandé de pratiquer le lessivage lorsque le sol est peu humide et que la nappe phréatique est suffisamment basse.

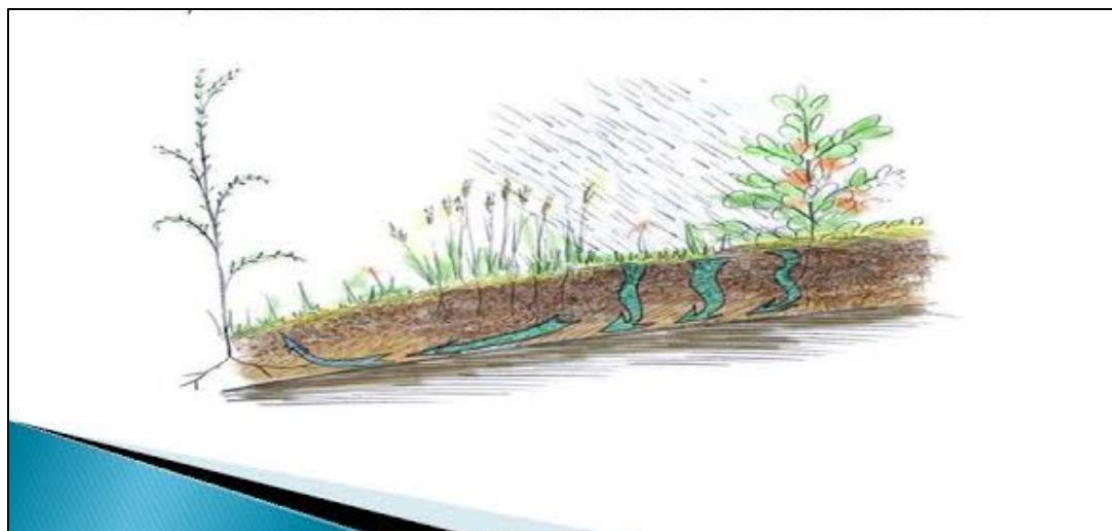


Figure 19: Image représente la salinisation dans la zone racinaire provoquée par le lessivage (Zemmeli et selmi, 2016).

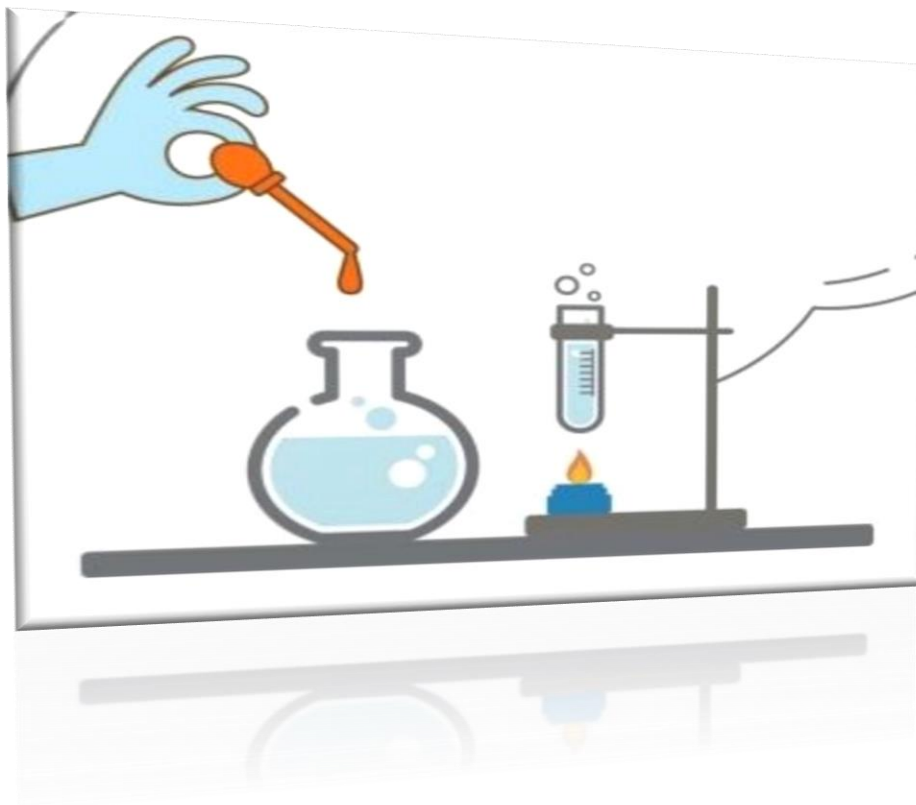
Deuxième Partie :

Etude

Expérimentale

Chapitre I :

Matériels et méthodes



1. Présentation de la zone d'étude

1.1 Situation géographique

La wilaya de Mila est située dans le Nord-Est Algérien à 464 m d'altitude, et à 70 km de la mer Méditerranée". Elle est aussi dans la partie Est de l'Atlas tellien, une chaîne de montagnes qui s'étend d'Ouest en Est sur l'ensemble du territoire nord du pays (ANDI, 2013).

La wilaya de Mila est limitée :

- Au Nord-Ouest par la wilaya de Jijel.
- Au Nord Est par la wilaya de Constantine.
- A l'Ouest par la wilaya de Sétif.
- A l'Est par les wilayas de Constantine et Skikda.
- Au Sud Est par la wilaya d'Oum El Bouaghi.
- Au Sud par la wilaya de Batna.

La wilaya de Mila s'étend sur une superficie de 9373km² (ANIREF, 2011).



Figure 20: Situation géographique de la région de Mila.

1.2 Climat

Le climat de la wilaya de Mila est caractérisé par un hiver doux et pluvieux et une période estivale longue chaude et sèche qui se prolonge du mois de Mai au mois d'Octobre avec une variation saisonnière et spatiale. C'est un climat typiquement méditerranéen (Soukehal et Cherrad, 2011).

On distingue trois microclimats, sur les trois zones morphologiques :

- Climat humide, pour les reliefs montagneux du Nord et de la partie médiane, qui s'étend de Bouhatem à Aïn Tine.
- Climat semi-aride à subhumide, pour la partie médiane de la wilaya (ses versants).
- Climat semi-aride, pour les « hautes plaines » (ANDI, 2013).

1.3 Température

La wilaya de Mila est caractériser par une température méditerranéenne modérée durant les mois de l'Automne, l'Hiver et le Printemps. Pendant l'été la température augmente rapidement surtout, à l'intérieur de la wilaya là où on a enregistré des pics allant jusqu' à 49° à Beni-Guecha (le 23 juillet 2009) (Boulbair et Soufane, 2011). Quoiqu'il en soit la température est favorable pour les cultures autant en Été qu'en Hiver. Elle joue un rôle très important dans la croissance des plantes et la maturation des céréales et de fruits (Peguy, 1989).

1.4 Précipitation

Les précipitations sont des facteurs climatiques essentiels en ce qui concerne le cycle écologique, le régime hydrographique et l'activité agricole. La variation de précipitations annuelles est le fait marquant dans cette wilaya. La pluviométrie à Mila est inégalement répartie à travers les mois de l'année et les précipitations sont, naturellement, cantonnées dans le semestre frais qui débute en Novembre et se termine en Mars. Le manque ou l'abondance des précipitations agissent sensiblement sur les réserves en eau ; quantités mobilisées et quantités exploitées. La sécheresse agit directement sur le comportement de la population de cette zone (Godard et Tabeaud. 2002).

1.5 Le relief

Le relief de la wilaya de Mila est structuré en trois ensembles morphologiques :

- **Au nord** : un ensemble de hautes montagnes, caractérisé par les altitudes très élevées et des pentes excessivement marquées.
- **Au centre** : un ensemble associant vallées – collines et piémonts, voire même quelques hauts versants (ANDI, 2013).
- **Au sud** : un ensemble de hautes plaines (plaines et collines).

1.6 Hydrographie

La wilaya abrite un important réseau hydrographique composé des rivières et de barrages le plus grand barrage d'eau au niveau national, barrage de Béni-Haroun qui alimente une grande partie de l'est algérien en eau potable et en eau d'irrigation, ainsi que le Barrage d'Oued Athmania, et celui d'Oued Segouène. Les Oueds Rhumel et Oued Endja (Oued El Kebir) sont les principales sources d'alimentation du barrage de Béni Haroun.

On dénombre au niveau de la wilaya 415 sources d'eau ; 57 puits et 87 forages situés dans la partie méridionale de la wilaya (Soukehal et Cherrad, 2011).

Le barrage de Béni Haroun situé au cœur d'un immense complexe hydraulique, d'une capacité de stockage de 960 millions de mètres cubes, et d'une hauteur de 120 mètres. (Seddiki et al., 2013).

Il constitue la plus grande retenue Artificielle algérienne et la seconde du continent africain (après le barrage d'Al Sad El Alli en Egypte) avec une réserve de 1 milliard de m³ d'eau atteinte en février 2012 (soit 40 Millions de m³ au-delà de sa capacité d'objectif), répartis sur 3 900 hectares. Situé sur L'oued el Kébir, il est alimenté par deux bras principaux, avec les oueds Rhumel et Endja (Seddiki et al., 2013).

2. L'Echantillonnage

2.1. Points de prélèvements

Les prélèvements de sol sont effectués pendant le mois de Mars 2024, à partir de 14 points différents de la wilaya de Mila, suivants les indications de la Direction de l'Agriculture qui ont précisé les grands périmètres irrigués dans la wilaya. Les sites de prélèvements et leurs caractéristiques sont mentionnés dans le tableau (04) et la figure (21).

Tableau 4: stations de prélèvements des sols irrigués dans la wilaya de Mila.

Site	lieu	Source d'irrigation	Méthode d'irrigation
S1	Chelgoum Laid (Bekhbakha)	Forage	Pulvérisation
S2	Tadjenanet (FidhNafaa)	Forage	Pulvérisation
S3	DerrahiBousselah (El Kherba)	Oued Bousselah	Pulvérisation
S4	Tassadane (Lantia)	Oued el Kébir	Canaux

S5	Ain Beida Ahriche (Tissout)	Oued oumecherrak	Pulvérisation
S6	BenyahiaAbdRahmane (Mechta Kentra)	Forage	localisée (goutte à goutte)
S7	Bouhatem (Mordj El Kebir)	OuedMordj El Kébir	Pulvérisation
S8	Yahia Beni Guecha (Ain Khechba)	Forage	Pulvérisation
S9	Ferjioua (Lamzait)	Oued Bouselah	Pulvérisation
S10	Telaghma(El Charra)	Barrage Ben Haroun	Pulvérisation
S11	Athmania	Barrage Ben Haroun	Pulvérisation
S12	MinarZarza (Tamoula)	Oued kébir	Pulvérisation
S13	AyadiBerbes (Ouled Tag)	Oued kébir	Pulvérisation
S14	AmiraArres (Bou Ghardayen)	forage	Goutte à goutte

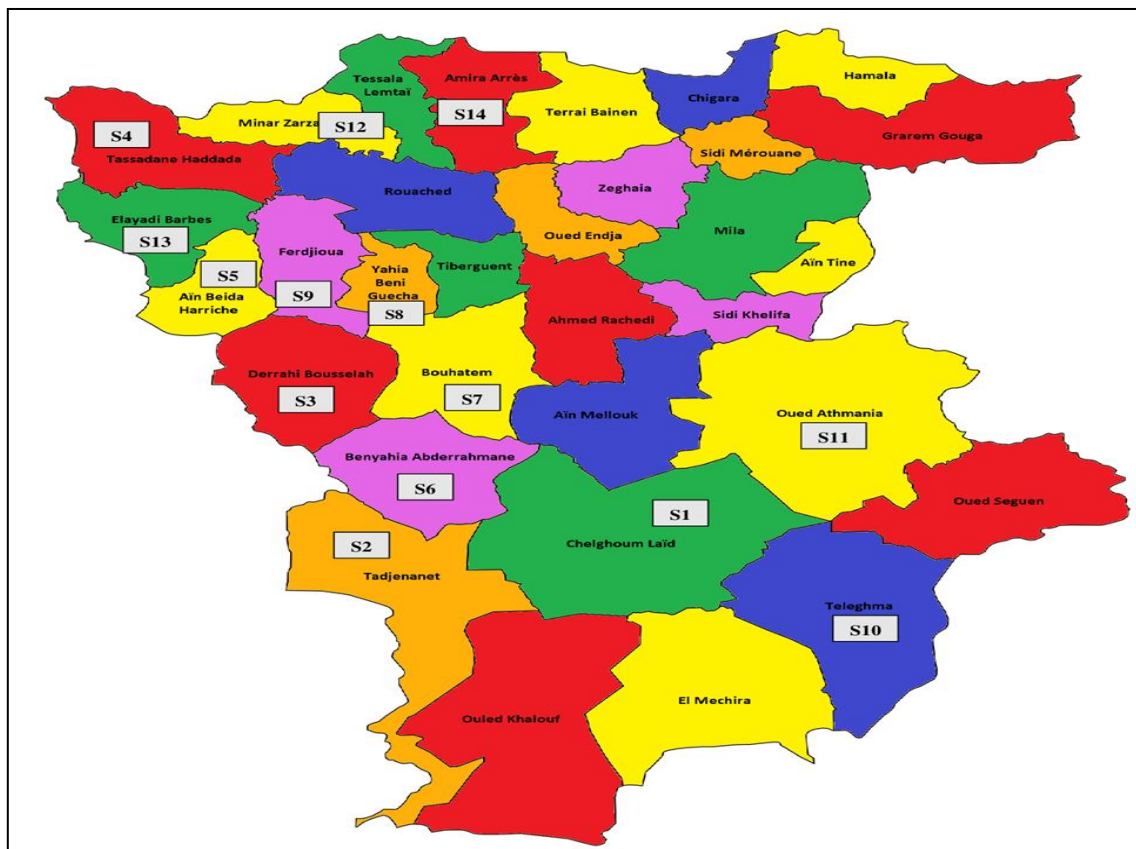


Figure 21: Stations de prélèvements des sols irrigué dans la wilaya de Mila.

2.2. Méthodes d'échantillonnage

Ce type d'échantillonnage consiste en un échantillonnage systématique à la tarière par tranche de 30 cm de profondeur, chaque échantillon d'environ 1,5 kg. La quantité de terre obtenue est étalée pour écarter les éléments grossiers (cailloux, feuilles, racines, coquilles d'escargots, etc.). La notion de sol sec est basée sur la référence d'un séchage effectué à l'air, en couche mince, à une température ambiante et à l'abri de la lumière, tout en remuant journallement la terre. Et pour éliminer toute l'eau, il sera nécessaire de procéder par un séchage à l'étuve à 105 °C durant 24 h (Lozet et Mathieu, 2002).

On mit à part la partie des échantillons destinés aux analyses de granulométries, Ensuite les sols sont broyés dans un mortier en porcelaine ou en Agate. Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques (pH, CE, Na^+ ; Ca^{+2} ; Mg^{+2} ; K^+ , CEC) sont tamisés à 2 mm.



Figure 22: Les 14 échantillons d'étude

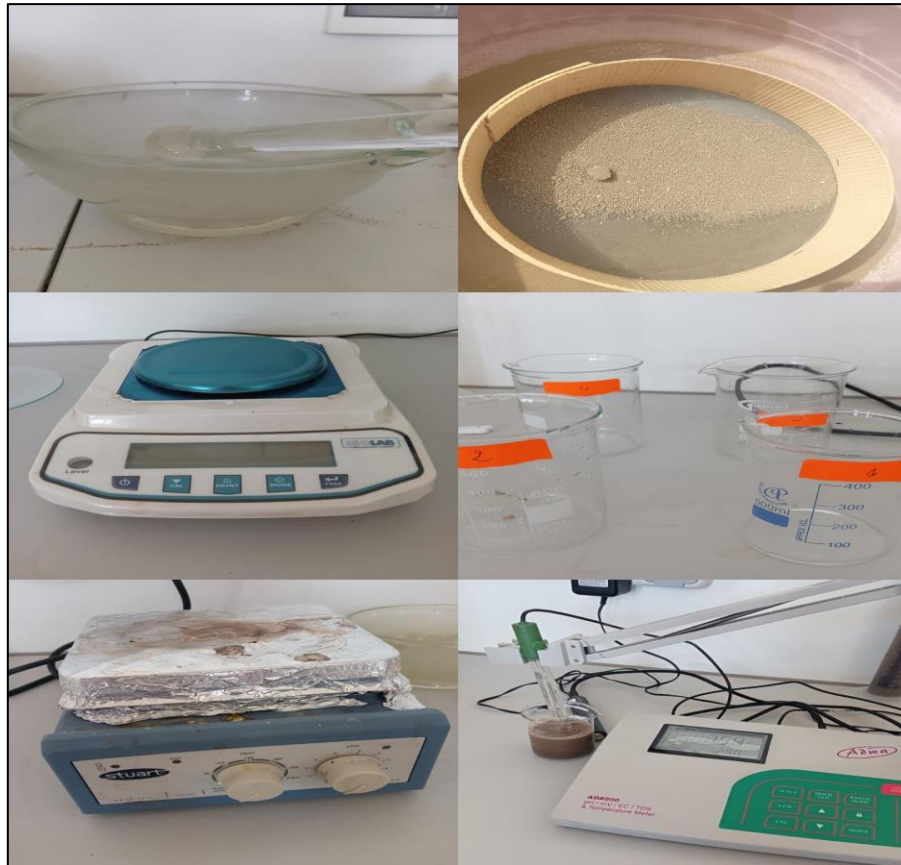


Figure 23: Le matériel utilisé dans l’laboratoire

2.3. Protocoles des analyses du sol

2.3.1 Analyse granulométrique

La granulométrie c’est la proportion des particules minérales du sol inférieur à 2mm (Appelées aussi terre fine $\phi < 2\text{mm}$), classées par catégories de grosseurs. Les propriétés agricoles d’un sol sont largement déterminées par sa texture.

Généralement, on admet la classification granulométrique suivante :

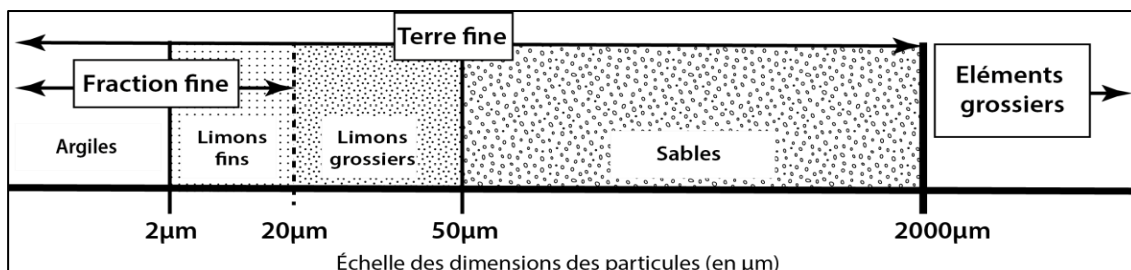


Figure 24: Classification générale de la granulométrie

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la granulométrie d’un sol. La méthode la plus simple est de laisser un échantillon de la terre fine d’un sol reposer dans de l’eau distillée (Martinez et Claudia, 2012).

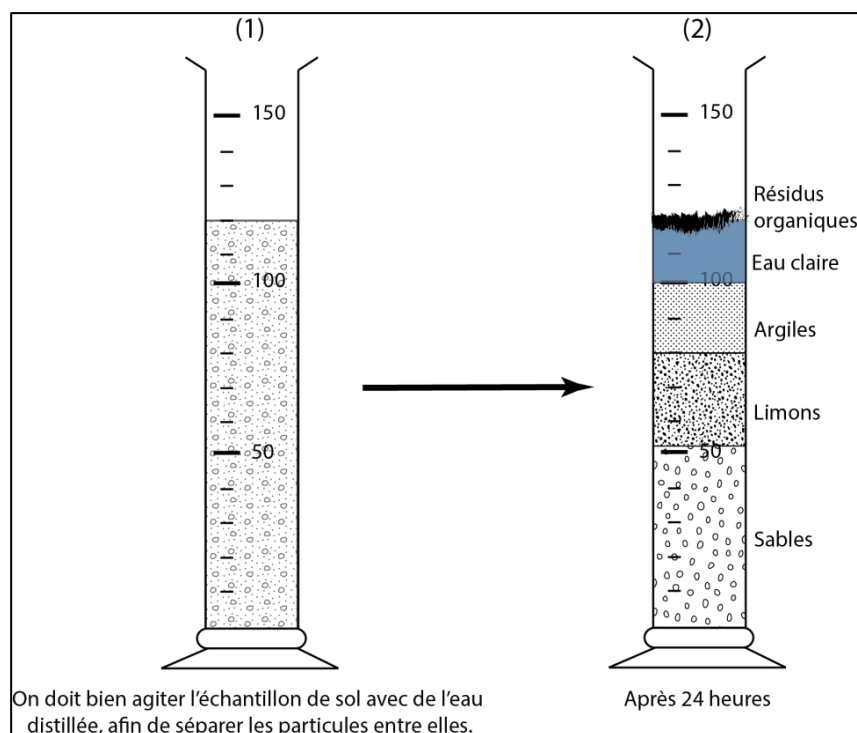


Figure 25: Schéma du test pour une estimation sommaire de la granulométrie.

Comment réaliser le test :

- On pèse un échantillon de sol.
- On tamise cet échantillon en utilisant un tamis à 2mm. On pèse le refus pour déterminer le taux des éléments grossiers.
- Du tamisa (Terre fine) on prend un échantillon de 150g et on le met dans une éprouvette.
- On remplit l'éprouvette jusqu'à submersion totale (voir Figure 25)
- On remue énergiquement l'éprouvette pendant 3mn
- On laisse reposer pendant 30 mn
- On remue une deuxième fois pendant 3mn
- On laisse reposer pendant 24 heures afin que les particules d'argiles les plus fines puissent se reposer.

Comment déterminer les proportions sable-limon-argile :

- Avec une règle plate on mesure la hauteur totale du sol dans l'éprouvette
- On mesure la hauteur du sable puis des limons puis des argiles.
- On calcule, en appliquant la règle de trois, les proportions de chaque fraction.

2.3.2 Mesure du pH

La mesure du pH se fait sur une suspension pâteuse du sol (rapport sol /solution=1 /2,5). On pèse au trébuchet 20 g de sol, passé au tamis de 2 mm, dans un bêcher de 100 ml, puis on ajoute 50 ml d'eau distillée. On laisse en contact une heure en agitant de temps en temps, puis on agite

énergiquement pendant quelque minute à l'aide d'un agitateur électrique. Après étalonnage du pH mètre, introduire avec précaution l'électrode de verre dans la suspension, on note les valeurs indiquées (AFNOR 1996).

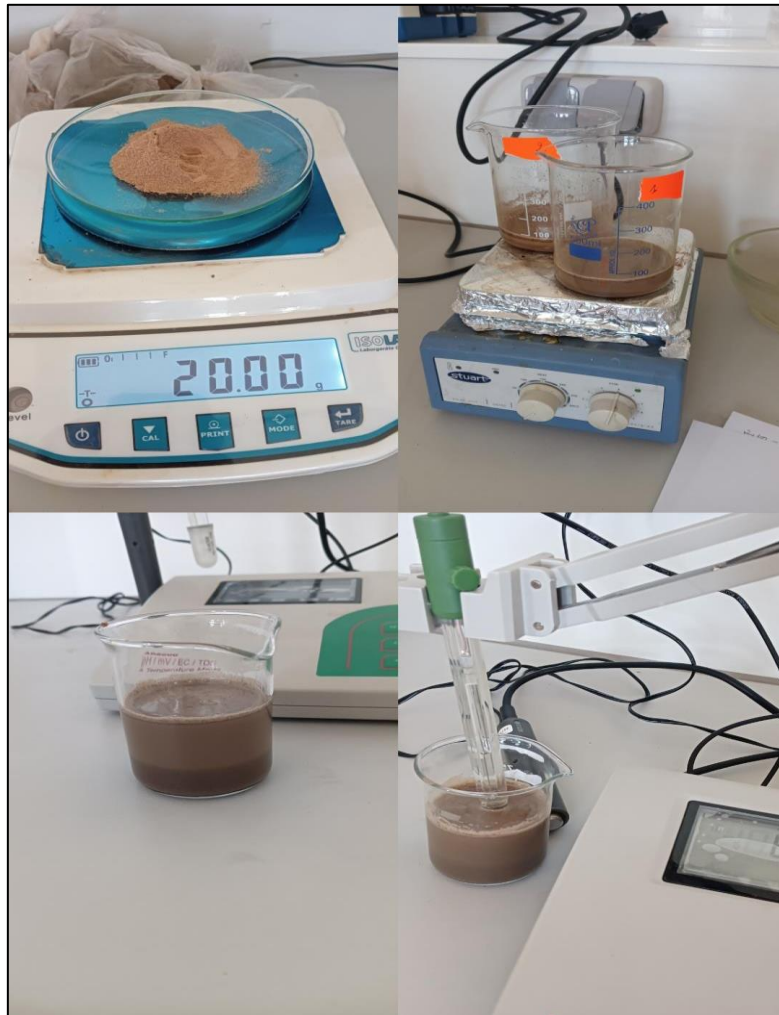


Figure 26: Protocole de mesure le pH

2.3.3 Mesure de la conductivité

La conductivité électrique (EC) d'un liquide est en fonction de sa concentration en électrolytes. En pratiquant des extraits aqueux de sols (rapport sol /eau =1 /5), la conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur en sels dissous. Les mesures sont effectuées à l'aide d'un conductimètre (AFNOR 1996).



Figure 27: Mesure de la conductivité

2.3.4. Dosage des cations (Ca^{+2} , Mg^{+2})

* Dosage de Ca^{+2}

Les réactifs

- EDTA Na_2 ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- NaOH à 2N.
- Murexi de (puparate d'ammonium).
- En pratiquant des extraits aqueux de sols (rapport sol /eau = 1 /5), puis on agite énergiquement pendant quelque minute à l'aide d'un agitateur électrique. Filtrer la solution avec un papier filtre, Prélever 50 ml de solution à doser.
- Ajouter 3 ml de NaOH à 2N.
- Ajouter la murexi de (quelques grains), on obtient une couleur rose bonbon.
- Titrer l'EDTA à N/50 jusqu'à passage à une couleur violet pourpre Soit V cette mesure (AFNOR 1996).

* Expression des résultats

Pour une prise d'essais de 50 ml :

$$[\text{Ca}^{+2}] \text{ méq/l} = 0,02 * V * 1000 * 5/50$$

V : volume de l'EDTA titré.

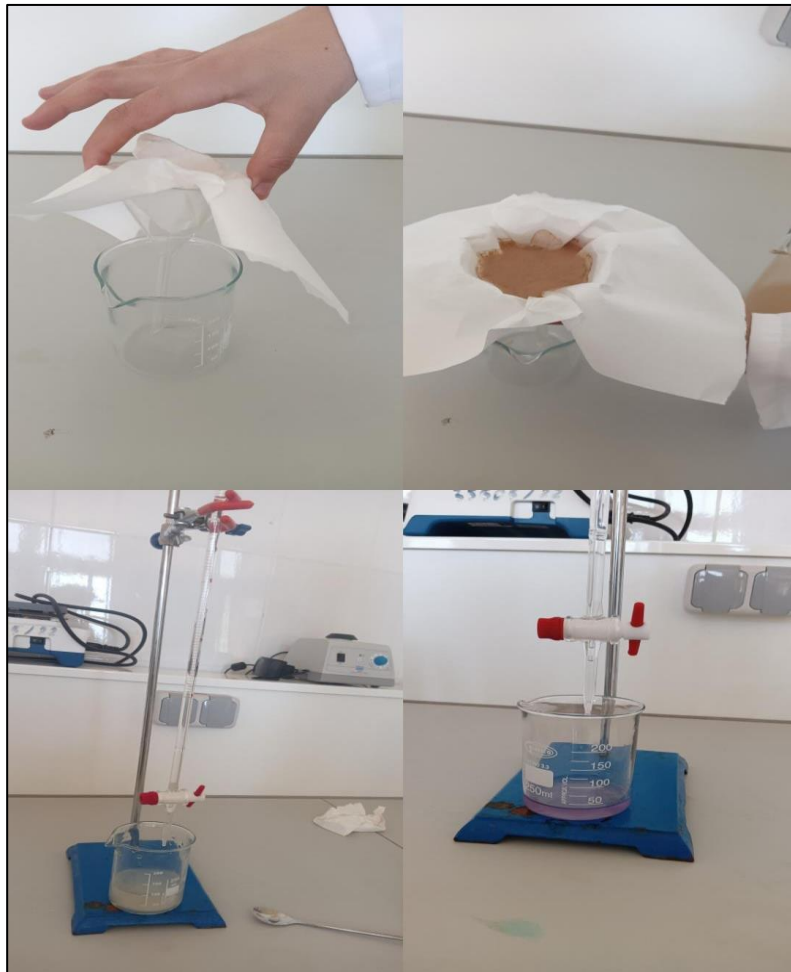


Figure 28: Protocole de calibrage colorimétrique de (Ca^{+2})

*Dosage de Mg^{+2}

- On a effectué le dosage de (Ca^{+2} , Mg^{+2})
- les concentrations de Mg^{+2} sont calculées par la formule suivante :

$$[\text{Mg}^{+2}] \text{ méq/l} = [\text{Mg}^{+2} + \text{Ca}^{+2}] - [\text{Ca}^{+2}].$$

*Les réactifs

- EDTA Na_2 ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- Tampon ammoniacal.
- Noir Eriochrome T (NET).

*** Mode opératoire**

- Prélever 50 ml de solution à doser.
- Faire chauffer à 60°C.
- Ajouter le tampon ammoniacal : 5 ml.
- Ajouter Noir d'Eriochrome (quelque grain).
- Titrer avec l'EDTA à N/50 jusqu'à obtention d'une couleur bleu cobalt. Soit V cette mesure (AFNOR 1996).

***Expression des résultats**

Pour une prise d'essais de 50 ml

$$[\text{Mg}^{+2} + \text{Ca}^{+2}] \text{ méq/l} = 0,02 * V * 1000 * 5 / 50$$

V : volume de l'EDTA titré.



Figure 29: Calibrage colorimétrique de (Mg^{+2})

2.3.5. Dosage des cations (Na⁺, K⁺)

Par spectrophotométrie d'émission de flamme En pratiquant des extraits aqueux de sols (rapport sol /eau =1 /5), puis on agite énergiquement pendant quelque minute à l'aide d'un agitateur électrique. Filtrer la solution avec un papier filtre (AFNOR 1996).

Dosage du Potassium (K⁺)*Réactifs**

Etablissement de la courbe d'étalonnage

Solution mère : à 1 g/l : dissoudre 0.477 g de Chlorure de potassium pur déshydraté dans 500 ml d'eau distillée.

Solution fille : à partir de la Solution mère à 1 g/l préparer 4 à 5 dilutions

2 mg/l prélever 2 ml

4 mg/l prélever 4 ml

6 mg/l prélever 6 ml

8 mg/l prélever 8 ml

10 mg/l prélever 10 ml

Mesures

Faire passer les dilutions au spectrophotomètre à flamme et noter les valeurs de Readout et tracer la courbe d'étalonnage. La courbe doit être une droite passant par l'origine. Faire passer ensuite les échantillons et noter les valeurs de Readout en la projetant sur le graphe et on détermine la concentration du potassium. Si la concentration en potassium dépasse 10 mg/l. Procéder à la dilution de l'échantillon.

Dosage du Sodium (Na⁺)*Réactifs**

Etablissement de la courbe d'étalonnage

Solution mère à 1 g/l : dissoudre 0.634 g de Chlorure de sodium pur déshydraté dans 500 ml d'eau distillée. Solution fille : à partir de la Solution mère à 1 g/l préparer 4 à 5 dilutions

2 mg/l prélever 2 ml

4 mg/l prélever 4 ml

6 mg/l prélever 6 ml

8 mg/l prélever 8 ml

10 mg/l prélever 10 ml

Mesures

Faire passer les dilutions au spectrophotomètre à flamme et noter les valeurs de Readout et tracer la courbe d'étalonnage. La courbe doit être une droite passant par l'origine.

Faire passer ensuite les échantillons et noter les valeurs de Readout en la projetant sur le graphe et on détermine la concentration du potassium. Si la concentration en potassium dépasse 10 mg/l. Procéder à la dilution de l'échantillon.

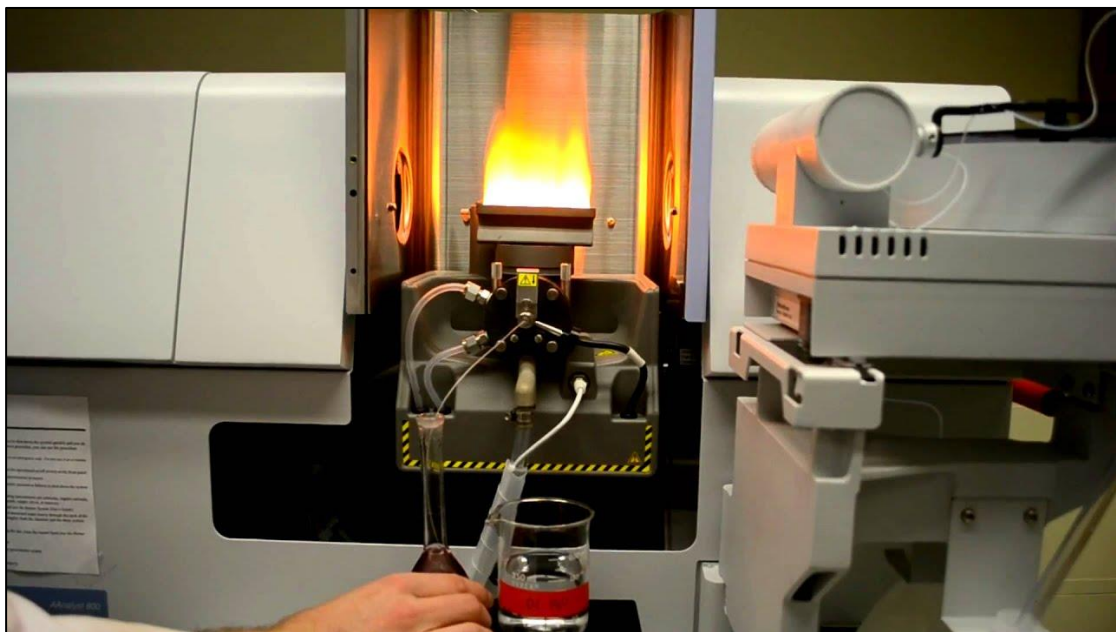


Figure 30: Spectrophotomètre à flamme

2.3.6. SAR

(Sodium absorption ration): il s'agit d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau de l'alcalinisation de la solution du sol (Hammia, 2012).

$$SAR = Na^+ / \sqrt{(Ca^{+2} + Mg^{+2})/2} \quad ; (Na^+, Mg^{+2}, Ca^{+2}) \text{ méq/l}$$

3. Analyses statistiques

Nos paramètres étudiés sont soumis à un test statistique effectué par la corrélation suivie par l'analyse de la variance à l'aide du logiciel EXCEL (2016).

Chapitre II :

Résultat et discussion



Cette section du travail se concentre sur l'analyse des données concernant la conductivité électrique, le pH et la concentration en sels dans les sols irrigués des 14 sites sélectionnées pour notre étude. Les résultats des analyses granulométriques sont représentés dans le tableau (05), alors que les résultats des paramètres physico-chimiques sont mentionnés dans le tableau (06).

1. Granulométrie

Tableau 5: analyses granulométriques des sols irrigués dans la région de Mila, au Nord-Est de l'Algérie.

Stations	Argiles %	Limons %	Sable %	Texture
	Moy±Et	Moy±Et	Moy±Et	
S1	53,30 ±2,12	40,21± 1,72	6,49 ± 0,93	Argilo- limoneuse
S2	49,25 ± 1,96	42,81 ± 1,45	7,94 ± 0,45	Argilo- limoneuse
S3	51,90 ± 1,91	42,77 ± 1,39	5,33 ± 0,42	Argilo- limoneuse
S4	52,25 ± 2,06	42,41 ± 0,96	5,34 ± 0,18	Argilo- limoneuse
S5	50,2 ± 2,1	43,30 ± 1,55	6,5 ± 0,9	Argilo- limoneuse
S6	52,55 ±1,93	43,20 ± 0,88	4,25 ± 0,08	Argilo- limoneuse
S7	49,41 ±2,01	41,85 ± 0,45	8,74 ± 0,59	Argilo- limoneuse
S8	51,10 ±1,8	41,84 ± 1,34	7,06 ± 1,02	Argilo- limoneuse
S9	52,49 ±1,79	41,73 ± 0,76	5,78 ± 0,76	Argilo- limoneuse
S10	50,41 ±2,03	40,40 ± 0,6	9,19 ± 1,12	Argilo- limoneuse
S11	50,33 ±1,94	41,32 ± 1,78	8,35 ± 0,89	Argilo- limoneuse
S12	51,26 ±2,3	41,25 ± 2,2	7,49 ± 0,78	Argilo- limoneuse
S13	53,91 ±2,5	41,25 ± 1,5	4,84 ± 0,34	Argilo- limoneuse
S14	53,25 ±2,09	43,11 ± 1,58	3,64 ± 0,11	Argilo- limoneuse

L'étude granulométrique a pu montrer que la texture des sols, qui est définie suivant les proportions de sable, limon et argile (**Martinez Chois, 2012**), est Argilo- limoneuse.

2. Paramètres physicochimiques

Tableau 6: Paramètres physicochimiques des sols irrigués dans la région de Mila, au Nord-Est de l'Algérie.

stations	pH	CE ms/cm	Na ⁺ méq/100g	K ⁺ méq/100g	Ca ⁺² méq/100g	Mg ⁺² méq/100g	SAR
S1	8,61	3,12	11,34	3,9	23,5	19,1	2,45
S2	8,33	3,46	12,8	4,6	17,1	10,5	3,45
S3	8,26	3,17	11,8	2,9	22,7	11,6	2,85
S4	8,34	1,22	7,4	1,8	18,67	9,7	1,96
S5	8,43	4,23	9,4	2,7	17,56	12,9	2,41
S6	8,58	2,16	13,08	2,8	23,1	9,7	3,23
S7	8,50	1,82	7,9	1,9	19,45	7,9	2,14
S8	8,70	3,78	7,8	2,45	24,6	11,9	1,82
S9	8,20	2,48	10,03	3,1	18,7	10,2	2,63
S10	8,70	3,25	8,6	1,8	19,1	9,3	2,28
S11	8,12	2,00	9,08	2,67	27,1	10,8	2,08
S12	8,80	3,45	8,9	2,6	17,3	7,6	2,52
S13	8,35	3,08	13,8	3,13	24,3	10,8	3,30
S14	8,10	2,76	10,2	3,4	17,9	11,13	2,68

2.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)

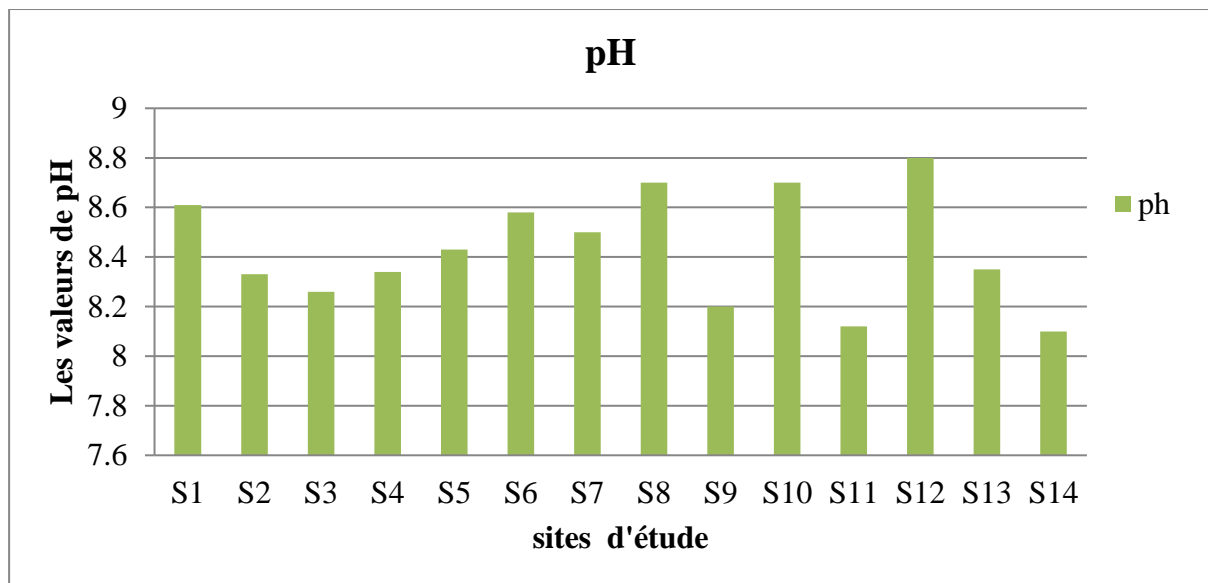


Figure 31: Variation spatiale du pH des sols irrigués dans la région de Mila.

Les résultats obtenus montrent que le pH varie entre une valeur maximale de 8,80 et valeur minimale de 8,12

La valeur maximale a été enregistrée dans le site d'étude S12 (Tmaula), alors que la valeur minimale a été enregistrée dans le site S11 (Athmania).

Tableau 7: classification des sols selon le pH (Soltner, 1989)

pH	Classes
5 à 5.5	Très acide
5.4 à 5.9	Acide
6 à 6.5	Légèrement acide
6.6 à 7.2	Neutre
7.3 à 8	Alcaline
>8	Très alcaline

Les résultats ont montré que les sites d'étude sont tous caractérisés par un pH >8. En les comparant à la classification indiquée au tableau (07), on remarque que la plupart des sols sont de caractère très alcaline.

Les changements du pH du sol dépendent du pH des eaux utilisées pour l'irrigation (Khan et al., 2008), L'étude de (Schipper et al., 1996) indique que le pH du sol augmente à la suite d'une longue période d'irrigation. Ils attribuent cette hausse à la composition chimique d'effluents en cations tels que Na, Ca et Mg. Le pH du sol irrigué décroît suite à l'oxydation des composés organiques et la nitrification de l'ammonium (Mohammad et Mazahreh, 2003). Des résultats similaires ont été aussi rapportés par (Alhands et al., 1995).

Nos résultats corroborent avec celle de (Nan et al., 2000) où le pH du sol variait de 7,7 à 9,3, valeur moyenne 8,5.

2.2. La conductivité électrique

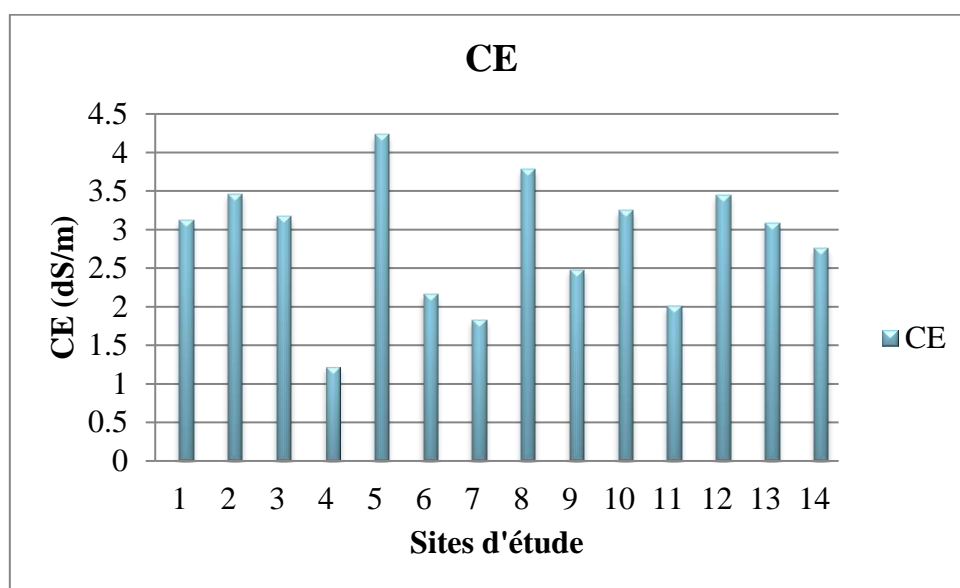


Figure 32: Variation spatiale de la conductivité (CE dS/m) des sols irrigués dans la région de Mila.

Les résultats obtenus montrent que pour l'extrait 1/5 la valeur de CE varie entre une valeur maximale de 4,23 dS/m et une valeur minimale de 1,22 dS/m.

La valeur de CE la plus élevée a été enregistrée dans le sol irrigué de site 5 (Tissout), alors que la valeur la plus faible a été enregistrée dans le sol irrigué de site 4 (Lantia).

Tableau 8: Echelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5
(Aubert, 1978)

CE (ds/m) à 25°C	Degré de salinité
CE < 0.6	Sol non salé
0.6 < CE < 02	Sol peu salé
02 < CE < 2.4	Sol salé
2.4 < CE < 06	Sol très salé
CE > 06	Sol extrêmement salé

En comparant nos résultats avec l'échelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (Aubert, 1978) décrit dans le tableau (08) on peut classer les sols étudiée trois catégories :

-sols peu salés dans les sites (S4) et (S7) car la CE est situé entre $0.6 < CE < 02$.

-sols salés dans les sites (S11) et (S6) car la CE est situé entre $02 < CE < 2.4$.

-sols très salés pour le reste des sites (S9), (S14), (S13), (S1), (S3), (S10), (S12), (S2), (S8), (S5) car la CE est situé entre $2.4 < CE < 06$.

L'augmentation de la salinité des sols irrigués est due, essentiellement à la qualité des eaux chargées en sels, à l'évapotranspiration très intense durant la saison estivale, à l'absorption de l'eau par les plantes et aussi à la grande quantité d'eau épandue.

La gestion de l'irrigation doit, donc, considérer leur lessivage au-dessous de la rhizosphère, pour éviter que leur accumulation dans la couche superficielle du sol n'affecte pas la croissance des plantes et la productivité du sol (Papadopoulos, 1995). Le lessivage des sels est lié à leurs solubilités (les sels de sodium sont les plus solubles), l'intensité d'irrigation, la migration des ions, la perméabilité du sol et d'autres facteurs (Tedeschi et Dell 'Aquila, 2005).

L'irrigation a fait augmenter la CE du sol ; Nos résultats sont similaires à ceux de (Tunc et Sahin, 2015 ; Hasan et al., 2014).

2.3. Le Calcium (Ca^{+2})

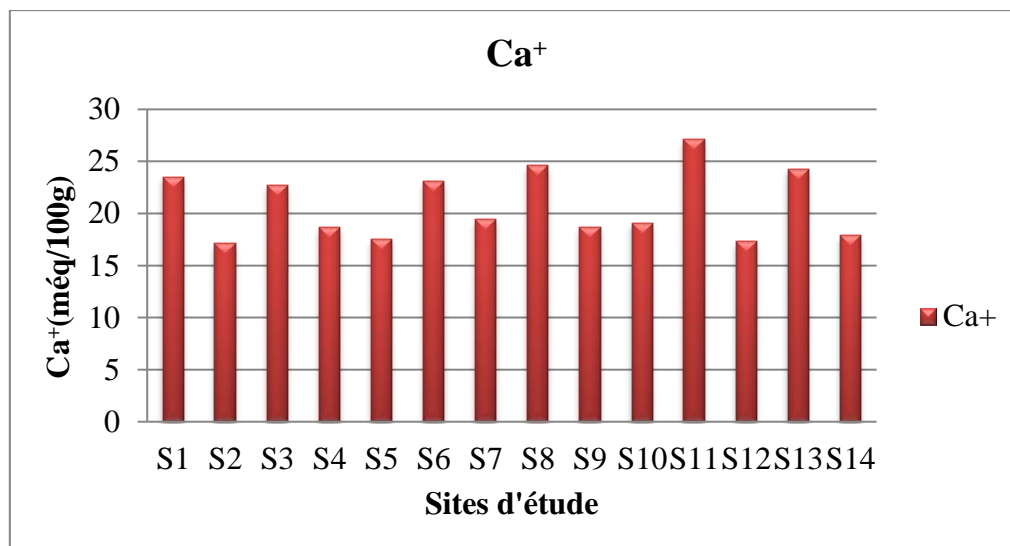


Figure 33: Variation spatiale du calcium (Ca^{+2} méq/100 g) dans les sols irriguer dans la région de Mila.

Le calcium est le cation majoritaire échangeable dans les sols étudiés, pour les 14 points de prélèvements (Figure 33) le Ca^{+2} varie entre une valeur maximale de (27,1 méq/100g) et une valeur minimale de (17,1 méq/100g).

La valeur maximale a été enregistrée dans le site d'étude S11 (Athmania), alors que la valeur minimale a été enregistrée dans le site S2 (Fidh Nafaa).

(Herpin et al., 2007) ont signalé que le Calcium apporté par les eaux d'irrigation, entraîne la libération des ions sodium du complexe absorbant du sol sous forme échangeable, ce qui facilite sa migration en profondeur ainsi que sa biodisponibilité.

Les concentrations élevées du calcium des sols irrigués dans cette étude sont d'accord avec celle de (Rana et al., 2010) ou la teneur en calcium des sols irrigué sont augmentée de 29.1%. Selon (Tarchouna et al., 2010) les valeurs moyennes du Ca^{+2} étaient plus élevées pour le sol irrigué que pour le sol référence.

2.4. Le Magnésium (Mg^{2+})

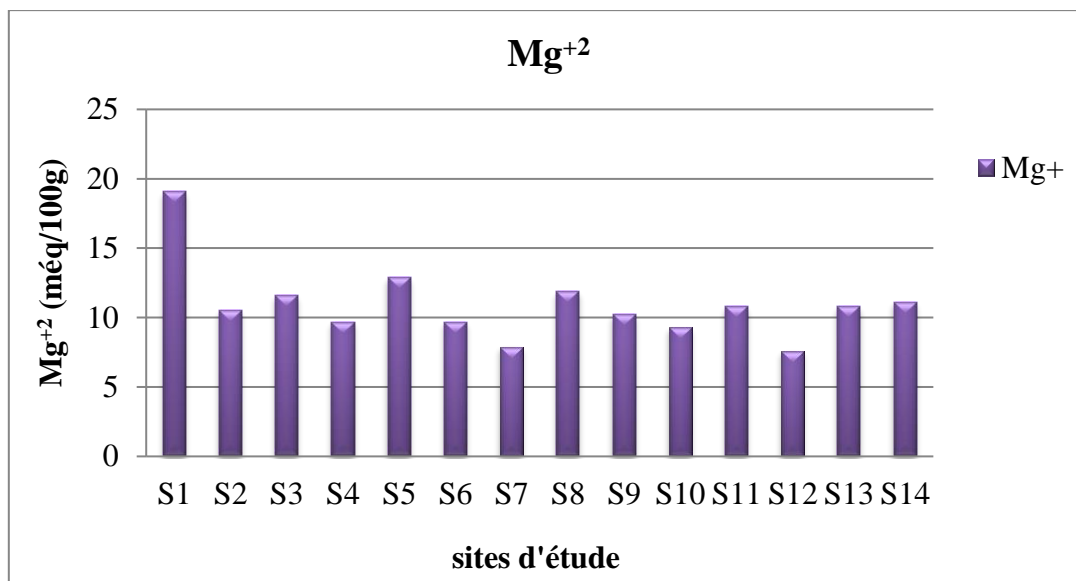


Figure 34: Variation spatiale du Magnésium (Mg^{+2} méq/100 g) dans les sols irriguer dans la région de Mila.

Selon la Figure qui présente la concentration du Magnésium (Mg^{+2}), pour les 14 points de prélèvements (Figure 34) le Magnésium varie entre une valeur maximale de (19,1 méq/100g) et une valeur minimale (7,6 méq/100g).

La valeur maximale a été enregistrée dans le site d'étude S1 (Bekhbakha), alors que la valeur minimale a été enregistrée dans le site S12 (Tamoula).

Les sols contenant des niveaux élevés de magnésium échangeables sont souvent confrontés à des problèmes d'infiltration. Le magnésium n'est pas aussi efficace que le calcium dans le maintien des taux d'infiltration, puisque de magnésium hydraté est plus grande que celui du calcium, de sorte qu'il améliore l'enflure et la dispersion, Il y a aussi des preuves que dans les sols riches en magnésium, les effets dommageables de sodium peuvent être augmenté (Abbott et Hasnip, 1997). Nos résultats sont d'accord avec celle de : (Rana et al., 2010) ou La teneur en Mg^{+2} des sols irrigués a augmenté de 29% et avec celle de (Tarchouna et al., 2010).

2.5. Le Sodium (Na^+)

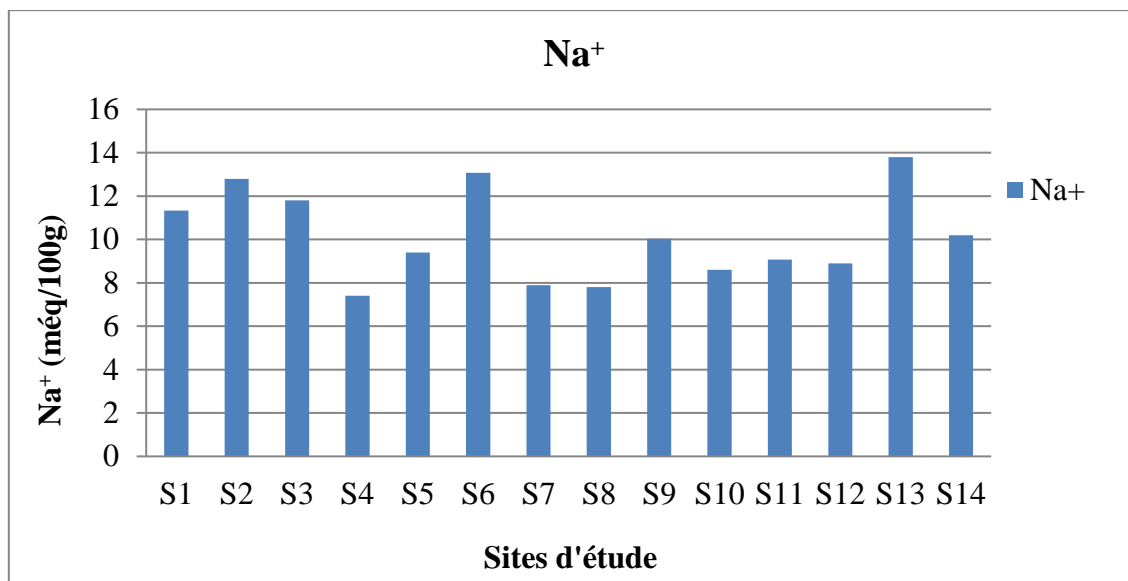


Figure 35: Variation spatiale du sodium (Na^+ méq/100 g) dans les sols irriguer dans la région de Mila.

Concernant la courbe qui indique les concentrations de Na^+ dans les sols irrigués, on remarque que les résultats de Na^+ varie entre une valeur maximale de (13,80 méq/100g) et une valeur minimale de (7,40 méq/100g),

La valeur maximale a été enregistrée dans le site d'étude S13 (Ouled Tag), alors que la valeur minimale a été enregistrée dans le site S4 (Lantia).

Les teneurs élevés en sodium des sols irrigués, étudié dans la région de Mila, sont similaire à ceux indiqués dans les études menues par (Morugán-Coronado et al., 2011), et par (El-nahhal et al., 2013).

Par rapport aux conditions initiales du sol, à la fin de l'expérience après 16 mois d'irrigation, on note une augmentation des concentrations de sodium échangeables (de 2,4 à 5,9 mmol/ kg) (Leal et al., 2009).

2.6. Le Potassium (K^+)

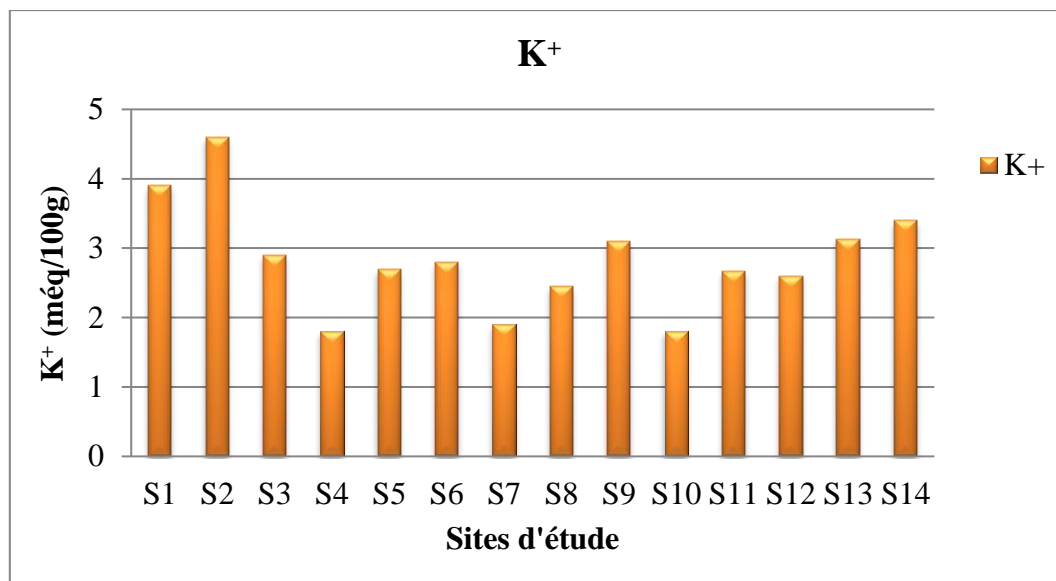


Figure 36: Variation spatiale du potassium dans les sols irriguer dans la région de Mila.

Les concentrations du potassium sont indiqué dans la figure, ou on remarque que la concentration de k^+ plus élève est (4,6 még/100g) et la concentration de k^+ la plus faible est (1,8 még/100g) (Figure 36).

La valeur maximale a été enregistrée dans le site d'étude S2 (FidhNafaa), alors que la valeur minimale a été enregistrée dans le site S10 (El Charra).

L'irrigation augmente le potassium des sols irrigué, nos résultats sont d'accord avec celle de : (Heidarpour et al., 2007) ou la quantité de K^+ dans les première et deuxième couches de sol irriguées était significativement supérieure; Dans le travail de (Brindha et Elango, 2014) District de Nalgonda, Andhra Pradesh, Inde ; le taux de potassium des sols cultivé été élevé par 2 még/100g.

2.7. SAR « Sodium Adsorption Ration »

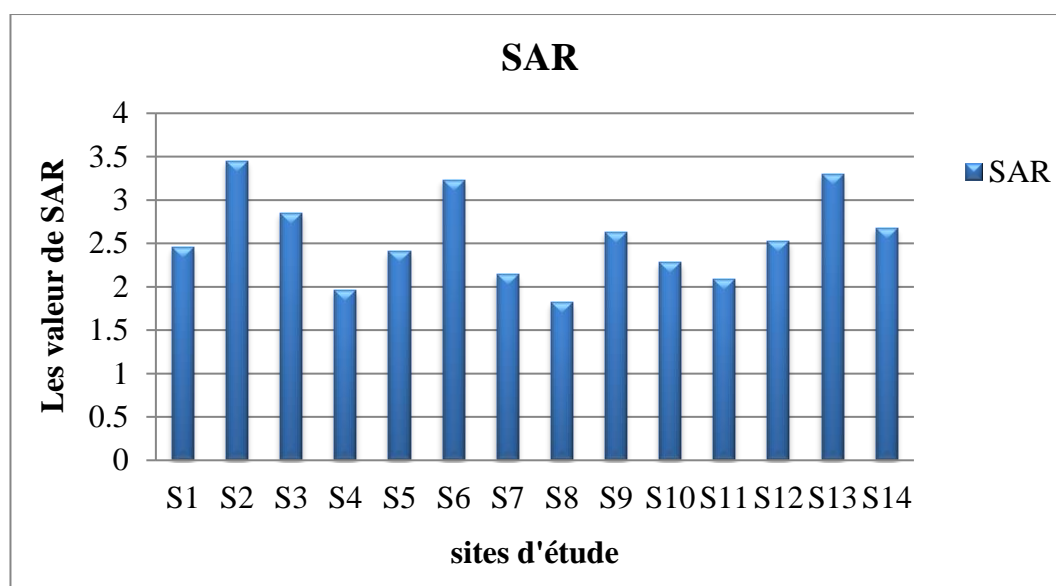


Figure 37: Variation spatiale du SAR (mégq/100 g) dans les sols irriguer dans la région de Mila.

Selon l'histogramme de la figure les résultats obtenus montrent que les valeurs de SAR varient entre une valeur maximale de 3,45 noté dans le site S2 (FidhNafaa) et une valeur minimale de 1,82 dans le site S8 (Ain Khechba).

Tableau 9: Classification des sols selon le SAR (Sevant et al 1966 in BENZHI 1994)

SAR	Degré d'alcalinisation
$SAR \leq 4$	Basse d'alcalinisation
$4 < SAR \leq 8$	Faible d'alcalinisation
$8 < SAR \leq 12$	Alcalinisation moyenne
$12 < SAR \leq 18$	Alcalinisation forte
> 18	Alcalinisation très forte

D'après le tableau (09) nous concluons que tous les sols sont de basse alcalinisation car le $SAR \leq 4$.

Il existe une association étroite entre la composition et la concentration des sels dans le sol et la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation. Les eaux contenant plus de sodium que de calcium et de magnésium sont susceptibles de causer la sodicité du sol (Couture, 2006).

Les sols contenant des quantités excessives de sodium échangeable (Na^+) par rapport au calcium (Ca^{+2}) et au magnésium (Mg^{+2}) sont appelés des sols sodiques ou alcalins, ces derniers

se caractérisent par une dispersion des particules de sol qui réduit la perméabilité du sol à l'eau et à l'air, Les sols sodiques affectent indirectement la croissance et la productivité des plantes en dégradant la qualité du sol (Peacock et Christensen, 2000).

L'alcalinité du sol pourrait réduire la disponibilité de certains nutriments pour les cultures (phosphore, potassium). Le sol argilo-limoneux a une fertilité et une capacité de rétention d'eau élevées et une faible aération. La rétention d'eau dans le sol pourrait être utilisée pour une meilleure estimation de la capacité en eau disponible et, par conséquent, de l'efficacité de l'irrigation (dose, fréquence) (Bouksila et al., 2013).

L'amélioration du sol sodique nécessite l'utilisation d'amendements chimiques et / ou organiques pour remplacer le sodium échangeable et maintenir la perméabilité pendant le lessivage (FAO, 2003).

Un SAR et un pH élevé entraînant le sol vers une voie alcaline et sodique la solution du sol se concentre progressivement sous l'effet de l'évaporation et entraîne une série de précipitations de sels qui débute généralement par la calcite (CaCO_3), jusqu'à un stade avancé de formation de carbonates ou bicarbonates de sodium (Na_2CO_3 et NaHCO_3). Parallèlement et en lien avec l'augmentation du SAR dans la solution du sol, le complexe d'échange se sature en sodium au détriment des autres cations échangeables (Ca, Mg, K) (Sou Dakouré et al., 2013).

3. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques des sols irrigués

Sur une série de 7 paramètres et 14 sites les principales corrélations qui résument les relations entre ces variables sont présentées dans le tableau (10).

Tableau 10: Corrélations entre les paramètres physico-chimiques des sols irrigués dans la région de Mila.

	pH	CE	Na	K	Ca	Mg	SAR
pH	1						
CE	0,35	1					
Na	-0,21	0,20	1				
K	-0,29	0,36	0,71	1			
Ca	-0,06	-0,14	0,21	-0,02	1		
Mg	-0,02	0,32	0,25	0,49	0,34	1	
SAR	-0,20	0,20	0,93	0,67	-0,11	-0,02	1

On note seulement trois fortes corrélations

Le Na est corrélé positivement avec le K ($r=0,71$), et avec le SAR ($r=0,93$).

Le K est corrélé positivement avec le SAR ($r=0,67$).

Donc on remarque que le sodium est le principe élément qui manipule la salinité des sols.

Conclusion

Générale



Conclusion générale

Notre travail expérimental a été basé sur la détermination de l'acidité, la salinité et le SAR des sols irrigués au niveau des 14 stations dans la région de la wilaya de Mila pour la couche superficielle (de profondeur 0-30 cm).

Les résultats obtenus montrent que tous les sites d'étude sont caractérisés par une texture à prédominance argilo-limoneuse.

Les sols étudiés sont généralement tous caractérisés par un $\text{pH} > 8$ donc la plupart des sols sont de caractère très alcaline.

La conductivité électrique des sols irrigués est limitée à un intervalle de 1,22(ds/m) $< \text{CE} < 4,23$ (ds/m) et d'après l'échelle de salinité nous pouvons classer sols étudiée trois catégories : des sols peu salés (S4 ; S7), des sols salés (S11;S6), des sols très salés (S9 ;S14 ;S13 ;S1 ;S3 ;S10 ;S12 ;S2 ;S8 ;S5). Donc la majorité des sols étudiés sont très salé.

D'autre coté d'après la classification des sols selon le SAR nous concluons que tous les sols sont de basse alcalinisation car le $\text{SAR} \leq 4$. Donc les sols ne sont pas exposés au risque de sodisation.

Le phénomène de salinisation agit négativement sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et se traduit de la même manière sur les rendements des plantes.

La gestion des terres salinisées exige une combinaison de pratiques agronomiques spécifiques avec une étude préalable des caractéristiques du sol, de la qualité de l'eau et des conditions locales, incluant le climat, et les cultures.

Références

Bibliographiques



A

- **Abbott, C., Hasnip, N. (1997).** The safe use of marginal quality water in agriculture: A guide for the water resource planner. Department for International Development, 92
- **Abdeljaouad, G., Arslan, A., Ghaiba, A., Kadouri, F. (2003).** Effects of saline irrigation water management and salt tomato varieties on sustainable production of tomato in syria. Proceeding of an international workshop : sustainable strategies for irrigation, P33-45
- **Abrol, (1988).** salt-affected soils and their mangement.FAO soils. Bulletin 39, Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, Italy.
- **AFNOR (1996).** Qualité des sols environnement. Association française de normalisation (AFNOR), Paris.
- **Alhands, M., Allick, S., Overman, A., Leseman, W., Vidak, W. (1995).** Municipal water reuse at Tallahassee, Florida. Trans. ASAE. 38 (2), 411–418.
- **ANDI (Agence Nationale de Développement de l'Investissement), (2013).** La spectaculaire chute de Tamdaprès Ahmed Rachedi. Rapport technique.4p ue des Maladies Respiratoires 35, A234–A235.
- **ANIREF (Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière), (2011).** Les zones industrielles et le développement local. Séminaire régional de Bejaia.
- **Anonyme, (2011).** Journée mondiale de l'alimentation .Prix des denrées alimentaire de la crise à la stabilité. Ministère de l'agriculture, 50P.
- **Aouata I, (2015).**étude et développement de l'irrigation souterraine en algerie, memoire de master, école nationale supérieure d'hydraulique -arbaoui abdallah-, jan –, p1.
- **AUBERT, (1978).** Méthode d'analyse des sols. C.R.D.P., Marseille, 546p.
- **Ayers W, (1985).** Water quality for agriculture .FAO, irrigation and drainage paper 29.174p. Rome, Italy.

B

- **Badraoui., Merzouk. (1994).** Changes of soil qualities under irrigation: the effect of salt accumulation on water retention by Verti sols. In CIHEAM ed, farm water management techniques, Rabat, Morocco.
- **Badraoui, M., Soudi, B., Lahlou, M., Kabbassi, M., Aniba, K. (1998a).** Évaluation de la salinité des sols dans le périmètre irrigué des Doukkala: Suivi et diagnostic dans les zones vulnérables. In Soudi B. ed., Etude de l'impact de l'intensification de la mise en valeur agricole sur la qualité des sols et des eaux: proposition de pratiques rationnelles. Projet d'initiatives propres, AGCD-UCL-IAV.

- **Badraoui, M., Soudi, B., Merzouk, A., Farhat, A., M'hamdi, A. (1998b).** Changes of soil qualities under irrigation in the Bahira region of Morocco: Salinization. *Advances in GeoEcology* 31.
- **Baize, (1988).** Guide des analyses courantes en pédologie, choix, expression, présentation, interprétation. INRA. Paris, 172 p.
- **Benzahi, (1994).** Contribution à l'étude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué sous palmeraie. Mém. Ing. INFS/AS, Ouargla, 111p. BOLT H.M. et al. (1978), *International Archive on Occupational Environmental Health*, 60 (3), 141-4.
- **Belakhdar, D., Ghodbane, C. (2019).** Analyse des performances d'irrigation par la technique de goutte à goutte (Doctoral dissertation). Univ- Mohamed El Bachir El Ibrahim, Bordj Bouariridj.
- **Brindha, K., Elango. (2014).** Spatial Analysis of Soil Fertility in a Part of Nalgonda District, Andhra Pradesh, India. *Earth Science India* 7(1):36–48.
- **Bouksila, F., Bahri, A., Berndtsson, R., Persson, R., Rozema, J., Van der Zee, S. (2013).** Assessment of soil salinization risks under irrigation with brackish water in semiarid Tunisia. *Environ Exp Bot* .92 :176–185.
- **Boulaine, (1978).** Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'état de l'Université d'Alger.
- **Boulbair, N.E., Soufane, A. (2011).** Evaluation du risque de contamination par les métaux lourds dans l'eau, les sédiments et les poissons du barrage de béni Haroun de la wilaya de Mila. Mémoire de fin d'études.
- **Boivin, P. (1999).** salinité et irrigation : quelques questions posées à la recherche par le couple infernal. Compte rendu : la solution du sol en relation avec l'alimentation des plantes.
- **Bop, H., Tim, M. (2016).** Tn 84 comprendre les sols affectés par le sel, documentation de les notes techniques de ECHO. Consulté le 8 février 12 :05am.
- **Bouteyre, G, Loyer, J.Y. (1992).** sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes. In l'aridité : une contrainte au développement. P69-80.
- **Brouwer, C. (1990).** Gestion des eaux en irrigation : Méthodes d'irrigation. Manuelle de formation 5: 2-5.

- **Cairncross, (1986).** Coalfield, South Africa: a framework for coal seam stratigraphy, occurrence and distribution, Thesis (Ph. D.)--University of the Witwatersrand, Johannesburg, 1986.
- **Chebbani, R., Behlouli, A., Douaoui, A. (1999).**Etat de la dégradation des sols dans le bas Cheliff. Actes du séminaire sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. Chlef, 69-78.
- **Cheverry, C., Bourrie, G. (1998).** La salinisation des sols. In :*Sol : interface fragile* ; Nathan (Editor). INRA, 222 pp.
- **Chnnouf, K., Mokhtari, F., Tliba, O.B., ZINE, A. (2022).** Caractérisation de la salinité des sols de la région d'Oued Souf par plusieurs extraits aqueux, mémoire de fin d'étude, université Echahid Hamma Lakhdar-El Oued, 6-7p consulté le 7 fév à 13 :20 pm.
- **Cnaid, (1992)** L'irrigation en Algérie. 100P
- **Corwin., Lesch. (2003).** Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles and guidelines. *Agronomy Journal* 95, pp 455-471.
- **Corwin., Lesch. (2005).** Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 46, pp 11-43.
- **Couture, I. (2006).** Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. In *Colloque sur l'irrigation, L'eau, Source de Qualité et de Rendement*, 13p.

D

- **DAOUD, Y., Halitim, A. (1994).** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresses* 5, 3, 151 – 160.
- **Dekhil, Saad. (1991).** L'eau et Le Développement de L'irrigation En Algérie. *MEDIT W* 1-2/91.
- **Dellal., Halitim, A. (1992).** Activités microbiologiques en conditions salines: cas de quelques sols salés de la région de Relizane (Algérie). *Cahiers Agricultures*.
- **Demelon, (1966).** Dynamique du sol, Dunod, Paris, 1966, 520 p
- **Derodour, (1981).** Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le comportement des sols au compactage. Thèse Magister INA, Alger.
- **Djili, (2000).** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie : Création d'une banque de données informatises et l'utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la vectorisation des données pédologique. Thèse doc. INA. Alger. 384p.
- **Djili, K., Daoud, Y., Touaf, L. (2000).** La salinisation et la sodisation des sols d'Algérie. Congrès scientifique sur l'apport de la recherche scientifique et des nouvelles technologies dans le développement et la mise en valeur des régions arides et semi-aride climat. 2-3 octobre. El-Oued, 9 p.

- **Djili, K., Daoud, Y., Gaouar, A., Beldjoudi, Z. (2003).** La salinisation secondaire des sols au Sahara, conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sècheresses* 14,4,241-246.
- **Douaik, (2005).** Evaluation of the space-time variability of soil salinity: By statistical, geostatistical, and bayesian maximum entropy methods. Doctor (Ph.D.) thesis, Université Itgent, 211 p.
- **Douaoui, (2004).** Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chéiff (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. *EGS*, Vol. 11, N°4, 2004, 379-392.
- **Doumergues., Mangenot. (1970).** Ecologie microbienne du sol Paris, Masson, 1970, 769 p.
- **Duchaufour, P.H. (1983).** Pédologie. Pédogénèse et classification T1. Ed Masson. pp. 467-483.
- **Durand, J.H. (1983).** Etude géologique, hydrologique et pédologique des croutes en Algérie. S.E.S, Alger 209p
- **Duthil, (1971).** Eléments d'écologie et d'agronomie. Tome I : connaissance du milieu, Paris, Baillièrre et fils.
- **Duthil, (1973).** Elément d'écologie et d'agronomie. Tome II. Exploitation et amélioration du milieu. Ed.J.B. Baillièrre

E

- **El-nahhal, Y., Tubail, K., Safi, M., Safi, J. (2013).** Effect of treated waste water irrigation on plant growth and soil properties in Gaza Strip, Palestine. *American Journal of Plant Sciences*, 4(09), 1736–1743.

F

- **Farhat, (1995).** Effets de l'irrigation par pivot sur la qualité des sols dans la Bahira: situation actuelle et perspectives de développement. Thèse de 3ème cycle, IAV Hassan II, Département Sci. Sol, Rabat, Maroc.
- **F.A.O, (1984).** Mise en valeur et amélioration des terres; Traitements physiques, chimiques et organiques, amendements chimiques et organique.
- **FAO, (2005).** World reference base for soil resources. World Soils Resources Reports. Food and Agricultural Organization, Rome, Italy. 98p.
- **FAO, (2006).** World Reference Base for Soil Ressources 2006: A framework for international classification, correlation and communication. Rome, 128 p.
- **FAO, (2006).** Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégies de réhabilitation. Organisée et coordonnée par Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage, du 6 février au 6 Mars 2006. 12p.

- **Flowers, T.J., Flowers, A., Yeoa, R., Cuartero, J., Bolarin, C. (2004).** Saltmed: a summary of the project. Proceeding of an international work shop: sustainable strategies for irrigation, 9-18.
- **Gaham, H. (2016).** contribution à la détermination d'indicateurs pertinents de diagnostic de la dégradation physique des sols de la plaine de Bas Cheliff soumis à la salinité et la sodicité, mémoire de fin d'étude d'université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem consulté le 6 mars à 19 :35 pm.

G

- **Gallali, (1980).** Transfert sels-matière organique en zones arides méditerranéennes. Thèse de Doctorat es-sciences, université de Nancy-I, 202p
- **Gaouar, A., Douadi, A., Benboualli E. (1999).** Evaluation de la dégradation des sols des périmètres de h'madena (bas Cheliff). Actes du séminaire sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. Chlef, 58-68.
- **Gning, (2015).** Etude et modélisation hydrogéologique des interactions eaux de surface-eaux souterraines dans un contexte d'agriculture irriguée dans le Delta du Fleuve Sénégal. Thèse de doctorat, université Cheikh Anta Diop Dakar. Consulté le 4 février 2024 à 13 :52 PM.
- **Godard, A., Tabeaud, M. (2002).** « Les climats, mécanismes et répartition » p .76, édi. Cursus, Armand Colin, Paris
- **Gregory, B. (2005).** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizes en milieu salin et sodique. Thèse de doctorat en science forestières 190p.
- **Gupta, R.K., Abrol, I.P. (1990).** Salt-affected soil: Their reclamation and management for crop production. Advances in Soil Science Volume 11 Soil degradation ed. Lal, R., Stewart, B.A. Springer-Verlag, New York.

H

- **Hafouf, I. (2022).** étude de l'endommagement des sols salés soumis à des sollicitations d'humidification séchage (température-humidité). Thèse de doctorat, université de Batna2 –Mostefa Ben Boulaid, p49. Consulté le 3 février 2024 à 10 :30 AM.
- **Haining, Coll. (1969).** Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Edition Masson et Cie.
- **Halitim, Salim, Tessir. (1998).** Influence des cations échangeables (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) et la concentration saline sur le comportement physique (rétention en eau, conductivité hydraulique de la montmorillonite agronomie. 4 (5), pp 451 – 459.
- **Halitim, A. (1988).** Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, p384.
- **Hamdi, (1999).** Saline irrigation and management for sustainable use in : Advanced short course on saline irrigation proceeding, Agadir, p152-227.

- **Hammia, I. (2012).** Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies d'oued Righ. Mém. Ing. Agro, Université de Ouargla, p18
- **Hasan., Hebah, I., Anwar, M., Battikhi., Mostafa, M., Qrunfleh. (2015).** Impacts of Treated Wastewater Reuse on Some Soil Properties and Production of Gladiolus Communis. Jordan Journal of Agricultural Sciences, 11(4):1103–1118.
- **Heidarpour, M.B., Mostafazadeh-Fard, J., Abedi Koupai, R., Malekian. (2007).** The Effects of Treated Wastewater on Soil Chemical Properties Using Subsurface and Surface Irrigation Methods. Agricultural Water Management. 90(1–2):87–94.
- **Herpin, U., Gloaguen, T.V., Fonseca, A.F., Montes, C.R., Mendonça, F.C., Piveli, R.P., Breulmann, G., Forti, M.C., Melfi A.J. (2007),** Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation- A pilot field study in Brazil. Agricultural Water Management. 89, 105 – 115.
- **Hogg., Henry. (1984).** Comparison of 1:1 and 1:2 suspensions and extracts with the saturation extract in estimating salinity in Saskatchewan soils. Canadian Journal of Soil Science, vol. 64, pp 699-704.
- **Houle, G., Morel, L., Reynolds, C.E., Siegel, J. (2001).** The effect of salinity on different developmental stage of an endemic annual plant. American journal of botany P 88, 1, 62-67.

I

- **IPTRID, (2006).** Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation, 12p.

J

- **Job., Loyer J.Y., Ailoul, M. (1987).** Utilisation de la conductivité électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols. Cahiers ORSTOM, ser. Pédol., vol. XXIII, no 2, pp 123-131.

K

- **Katerji., Van Hoorn, J.W., Hamady, A., Bouzid, N., El Sayed, S. (1991).** Influence du niveau de salinité du sol sur l'état hydrique, la croissance et le rendement de la fève. European Mediterranean conference on the use of saline water in irrigation. Abstracts of MAI/Bari.

- **Katerji, (1995).** Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline, approches empirique et mécanistes. Académie d'agriculture de France, 81,2.73-86.
- **Kay, M. (1983).** Sprinkler Irrigation: Equipment and Practice. Batsford London.
- **Khatir, (2002).** A combined boundary integral and vortex method for the numerical study of three-dimensional fluid flow systems
- **Khan, S.Q., Cao, Y.M., Zheng, Y.Z., Huang, Y.G., Zhu. (2008).** Health Risks of Heavy Metals in Contaminated Soils and Food Crops Irrigated with Wastewater in Beijing, China. Environmental Pollution, 152(3).686–92.

L

- **Larson., Pierce. (1991).** Conservation and enhancement of soil quality. In evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand, Inter. Board for Soil Research and Management, 1991, IBSRAM Proceedings No 12(2).
- **Lasram, M., Hamdy, A., Lacirignola, C. (2001).** Use and management of marginal water quality for irrigation in the mediterranean: major issues.in. Non conventional water resource; reuse and management .IAM, BARI, P17.
- **Leal, R.M.P., Herpin, U., Fonseca, A.F.d., Firme, L.P., Montes, C.R., Melfi, A.J. (2009).** Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. Agricultural Water Management. 96, 307
- **Legros, (2007).** Les grands sols du Monde. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- **Legros, (2009).** La salinisation des terres dans le monde, (p257-269).Montpellier, consulté le 4 février 2024 à 13 :52 PM.

M

- **Marlet, S., Job, J. (2006).** Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin Jean-Robert (ed.), Vidal Alain (ed.).Traité d'irrigation. Paris : Lavoisier Tec et Doc, 02p.
- **Martinez, C., Claudia, P. (2012).** . Réhabilitation des sols polluent par les éléments traces métalliques grâce aux bactéries du sol associées à la rhizosphère de miscanthus x giganteus. Thèse de doctorat de l'université de Lorraine. P128.
- **Masoudi, A. (2012).** Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région saharienne : cas des oasis des Ziban. Thèse de doctorat, université Mohamed Khider- Biskra faculté de sciences et de la technologie, P30-31 consulté le 6 février 2024 à 15 :52 PM.
- **Mathieu., Ruellan. (1980).** Evolution morphologique des sols irrigués en région méditerranéenne semi-aride. Cahier ORSTOM, Série pédologie, 13, 3-25.

- **Mathieu., Pieltaine. (2003).** Analyse chimique des sols, méthodes choisies. Ed. Tec & Doc, Lavoisier. 388p.
- **Messahel, M., Benhafid, M. S., Hocine, M. O. (2005).** Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie. In Production scientifique-Publications. of the 2nd WASAMED Workshop on Irrigation Systems Performance (61-78).
- **Mohammad, M.J., Mazahreh, N., (2003).** Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. Commun Soil Sci Plant Anal. 34, 1281–1294.
- **Morugán-Coronado, A., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Mataix-Beneyto, J. (2011).** Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil. Soil and Tillage Research, 112(1), 18-26.
- **Mouassa, S., Chaab, S., Moulla, A. S., Zaagane, M., Brahmia, N. (2017).** Chemical characterization and assessment of surface waters' suitability for irrigation in the mid-Seybouse wadi plain (North-Eastern Algeria). Management of Environmental Quality: An International Journal, 29(1), 109-130.
- **Mustapha, O. (2011).** Synthèse par dépôt chimique en phase vapeur catalytique (C-CVD) de nanostructures de carbone et leurs applications en catalyse et pour des matériaux composites, institut National Polytechnique de Toulouse. Consulté le 6 févr. A 21 :11 Am.

N

- **Nan, Z., Zhao, C., Li, J., Chen, F., Sun, W. (2000).** Relations between soil properties and selected heavy metal concentrations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in contaminated soils. Water Air and Soil Pollution, 133(1-4), 205-213.
- **NASERI, M.Y. (2001).** Characterization of salt-affected soils for modilling sustainable land management in semiraid environment. A case study in the Gorgane region, northeast Iran. ITC dissertation 52, international institue for aerospace survey and earth sciences, EPE, France, P 800.
- **Nommene, H. (2011).** Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de Kalàcat Landelous en Tunisie ; cas d'une parcelle de courage, mémoire de fin d'étude, faculté des lettres, arts et des humanités Mnouba- master de recherche environnement, aménagement et risque 2011, p 10 Consulté le 5 février 2024 à 22 :30 PM.

O

- **Oustani, (2006).** Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions Sahariennes (Cas de Ouargla). Thèse Magister, Université Ouargla. 187p.

P

- **Pansu., Gautheyrou. (2003).** Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Ed. Springer, Berlin, 993 p.
- **Papadopoulos, I. (1995).** Waste water management for agriculture protection in the Near East Region. Technical Bulletin, FAO, Regional Office for the Near East, Cairo, Egypt
- **Peacock, W., Christensen, Lp. (2000).** Interpretation of Soil and Water Analysis. Producing the crops, 115-120.
- **Peguy, Ch.P. (1989).** « Jeux et enjeux du climat » p 28. Pratique de la géographie MASSON édi. P.252.

R

- **Ramade, François. (2008).** Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité, Edition Dunod, Paris, P1152.
- **Ramdani, A. (2022).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux utilisée en irrigation et leur impact sur le sol Cas de la ferme BOURIACHI (bouchegouf Nord Est Algerien).Mémoire de Master. Univ- 8 Mai 1945 Guelma.
- **Rana, L., Dhankhar, R., Chhikara, S. (2010).** Soil characteristics affected by long term application of sewage wastewater. International Journal of Environmental Research, 4(3), 513-518.
- **Rengasamy, P. (2002).** Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview. Aust. J. exp. Agric 42, 351-361p.
- **Richards, (1954).** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook 60, Washington, USA, p. 160.
- **Rhoades, (1993).** Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. Advances in Agronomy, 49, pp 201-251.
- **Rhoades., Chanduvi, F., Lesch, S. (1999).** Soil salinity assessment - Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. In: FAO irrigation and drainage paper no. 57, FAO Rome (Italy), Land and Water Development Div.
- **Robert, (1996).** Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Ed. Masson, Paris, 244p
- **Rouhana, H. (2007).** Relation entre les nappes et la salinité dans les sols gypseux de la région d'Ain Ben Noui, Biskra, mémoire pour obtenir di diplôme de magister en agronomie. Consulté le 30 janvier à 21 :26 pm.
- **Rohdes, J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M. (1992).** The use of saline water for crop production.FAO. Irrigation and drainage paper 48.Rome Italy.

- **Ruellan, A., Blanchart, É., Brauman, A., Grimaldi, M., Grünberger, O., Barbiero, L., Chaplot, V., Olivier, M., Bernoux, M. (2008).** Les sols, des milieux vivants très fragiles, les dossiers thématiques de l'IRD. 21 pages

S

- **Saadoune, F.Z. (2016).** Effets de l'amendement en gypse et en DS sur les caractéristiques physico-chimiques et hydriques d'un sol salé d'EL Hmadena Relizane, mémoire de fin d'étude, université de Mostaganem, faculté de sciences et de la vie, p23-24 consulté le 5 février 2024 à 20 :52 PM.
- **Saghir, J., Schiffler, M., Woldu, M. (2000).** Urban water and sanitation in the Middle East and North Africa Region: The way forward. World Bank, Middle East and North Africa Region, Infrastructure Development Group.24p.
- **Schipper, L. A., Williamson, J. C., Kettles, H. A., Speir, T. W. (1996).** Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. *Journal of Environmental Quality*. 25(5), 1073-1077.
- **Schleiff, (1979).** Salt contents in the rhizosphère and in soil solution outside the rizosphère under controlled irrigation. In soils in mediterranean type climates and their yield potential. Proceeding IPI.Spain, 93-98.
- **Schneider, (2010).** Estimation des paramètres hydrodynamiques des sols à partir d'une modélisation inverse de données d'infiltration et de résistivité électrique. Thèse de doctorat, université Paris-Sud 11, 145 p.
- **Scott., Dani. (2004).** Frequency Domain Analysis for Extending Time Domain Reflectometry: Water Content Measurement in Highly Saline Soils. *Soil Science Society American Journal*, vol. 68, pp 1568-1577.
- **Seddiki, H., Chaalal, M., Stambouli, I. (2013).** Mila la wilaya. Spectaculaire chute de Tamda près Ahmed Rachedi. Rapport technique.Ed, Albayazin.101p.
- **Skhiri, A. (2019).** Amélioration de la productivité de l'eau dans les périmètres irrigués par aspersion. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes.
- **Servant, (1971).** Le profil salin des sols, méthodes d'études et signification. Application aux sols halomorphes du midi de la France. *Ann. Agro.* 24.3, 392 p.
- **Sigala, (1988).** Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural (*Options Méditerranéennes*).
- **Snoussi, (1998).** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Thèse doctorat, INA EL-Harrach, Alger 152.
- **Snoussi, S. A. (2000).** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées (Doctoral dissertation, INA).

- **Soltner, (1982).**Minérale des plantes cultivées. Etude et gestion des sols, pp289- 298. phytotechnie générale. Les bases de la production végétale. Tome 2. Le climat Météorologie-Pédologie-Bioclimatologie, ed. Sainte Gemmes sur Loire -Angers, Collection Sciences et Techniques Agricoles
- **Soltner, (1989).** Les bases de la production végétale. Le sol. Ed. Angers, 468 p.
- **Sonmez ,Buyuktas, B., Okturen, F., Citak, S. (2008).** Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. Geoderma, vol. 144, pp 361–369.
- **Sou, M. Y., Mermoud, A., Yacouba, H., Boivin, P. (2013).** Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. Geoderma, 200, 31-39.
- **Sougueh, C. (2021).** La salinisation des sols, un défi majeur pour la sécurité alimentaire mondial, article, institut de recherche pour développement (IRD), consulté le 2 févr. à 10 :34 Am.
- **Soukehal, B., Cherrad, S. (2011).** Les ressources en eau dans la wilaya de Mila mobilisation, consommation et comportement de ménages. Science et technologie D -N°34
- **Szablocs, I. (1989).** Salt-affectedSoils. CRC PressInc. Florida. 274p.

T

- **Tabet, (1999).** Intérêt d'une approche spatiale par suivi de la salinité des sols dans les systèmes irrigués. Cas de la subdivision de Panjab (Pakistan). Thèse Doctorat ENGREF, Montpellier, 435p.
- **Tamazouzt, (2013).** Relation entre la conductivité électrique de l'extrait de pate saturée et la conductivité électrique des différents extraits dilués (1/1, 1/2,5, 1/5/, 1/10) des sols du Bas- Chélif « station de Hmadna ». Master 2 Académique, Université de Saad Dahlab, Blida, 36 p.
- **Tarchouna, L. G., Merdy, P., Raynaud, M., Pfeifer, H. R., Lucas, Y. (2010).**Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physico-chemical properties. Applied Geochemistry, 25(11), 1703-1710.
- **Tedeschi, A., Dell'Aquila, R. (2005).** Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. Agricultural Water Management, 77(1-3), 308-322.
- **Tunc, T., Sahin U. (2015).** The Changes in the Physical and Hydraulic Properties of a Loamy Soil under Irrigation with Simpler-Reclaimed Wastewaters. Agricultural Water Management. 158:213–224.

U

- **Umali, (1993).** Induced salinity. A Growing Problem for Development and the Environment. World Bank Technical Paper N 215, Washington, 79p.

W

- **Wicke, B., Smeets, E., Dornburg, V., Vashev, B., Gaiser, T., Turkenburg, W., Faaij, A. (2011).** The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. Energy Environ, P 2669-2681.

Y

- **Yankovitch, (1968)-in MARIH, R. (1991).** Répartition saisonnière et spatiale de la salinité au niveau de la station I.N.R.A de HAMADENA (RELIZANE).Mémoire, ing agro, INES Tiaret.
- **Yazdi., Khorsandi. (2002).** Estimation of Saturated Paste Electrical Conductivity of Soils from 1:2 Soil/Water Ratio Electrical Conductivity in Yazd Province, Iran. Proceedings of the Fourth International Iran & Russia Conference, pp 534-540.

Z

- **Zemmeli, F., Selmi, G. (2016).** Article de la salinisation du sol,