

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE RECHERCHESCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA



MEMOIRE
Présente
A la Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Nature et de la Vie
Pour obtenir le Diplôme de
Master Académique en Science du Sol et Environnement
Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie
Filière Science Agronomique

Thème

***Caractérisation physico-chimique des sols et des
Eaux d'irrigation de la Zone Kef Tiour
Wilaya de M'sila***

présentée par :
**MOHAMED SEGHIR SAMIA
YAHY HADDA**

Soutenue publiquement le September 2017

Devant le jury composé de :

Mr CHERIEF A	Président	MCA, université de M'sila
Melle TIR CH	promoteur	MAA, université de M'sila
Mr AMROUNE A	Examinatrice	MAA, université de M'sila
Mr CHERIF K	Invité	

Année universitaire 2016/2017

Remerciements

Nous remercions Dieu qui nous a guidés tout au long de ce chemin afin de réaliser ce modeste travail.

« Celui qui ne remercie pas les agents, ne remercie pas le Dieu »

Au terme de ce mémoire, on exprime notre reconnaissance aux personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Mlle TIRCH, notre promotrice, d'avoir accepté de diriger ce mémoire. Pour ces conseils, ces encouragements et pour la confiance qu'elle nous a témoignée aux cours de réalisation de ce travail.

Mr AMROUNE A, pour ses aides et ces conseils très précieux tout au long de réalisation de notre mémoire et d'avoir accepté de juger notre modeste travail.

Mr CHERJEF A, d'avoir accepté de présider le jury ainsi que pour son soutien moral.

Mr KAMEL CHERIF (propriétaire de la station expérimentale étudiée) qu'on remercie très vivement pour son aide et l'honneur qu'il nous a attribué d'avoir accepté d'assister au soutenance

Nous n'omettons pas tous ceux qui, durant notre cursus, nous ont éclairés dans les méandres; tous nos enseignants du département d'Agronomie de l'université de M'Sila.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tous ceux du corps administratif et techniciens de surtout de laboratoire du département d'Agronomie de l'université de M'Sila (Mr HOCINE, Mr RADOUANE, Mr YACINE, Mr HICHEM, Mme CHAHRA, Melle MERZAKA, Melle AMINA)

Sans oublier surtout Dr BENAHMED et Mr ABDEL FETTAH pour leurs soutiens, leurs aides.

Merci aussi à toute la promotion 2016-2017

Et nos amis(es).

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTES DES TABLEAUX

LISTES DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

Introduction générale.....	01
Première partie: Recherche bibliographique	
Chapitre 1: Les propriétés des sols	
1-1-1-Introduction.....	03
1-1-2-Les propriétés physiques d'un sol.....	03
1-1-2-1- La texture d'un sol.....	03
1-1-2-1-1- Définition de la texture d'un sol.....	03
1-1-2-1-2-Le triangle de texture:.....	04
1-1-2-1-3- Les propriétés des sols de différents types de texture.....	04
A-Propriétés des sols à texture sableuse.....	05
B-Propriétés des sols à texture argileuse.....	05
C- Propriétés des sols à texture limoneuse.....	06
1-1-2-1-4-L'importance de la texture sur les propriétés physiques du sol.....	06
1-1-2-2-La structure d'un sol.....	06
1-1-2-2-1-Définition de la structure du sol.....	06
1-1-2-2-2-Stabilité structurale	07
1-1-2-3-La porosité du sol.....	08
1-1-2-3-1-Définition de la porosité d'un sol.....	08
1-1-2-3-2-Types de porosité des sols.....	09
A-Porosité texturale	09
B-Porosité structurale	09
1-1-2-3-3-L'importance de la porosité.....	09
1-1-2-4-Perméabilité d'un sol	10
1-1-2-5-Circulation de l'eau dans les sols.....	10
A- Circulation de l'eau dans les sols saturés	10
B- Circulation de l'eau dans les sols non saturés.....	10
1-1-3-Les propriétés chimiques d'un sol.....	11
1-1-3-1-La capacité d' échange cationique.....	11
1-1-3-2-pH.....	12
1-1-3-3-Les sels.....	12
1-1-3-4-Le taux de sodium échangeable (ESP en %)(échange sodium pourcentage).....	13
1-1-3-5-Le taux de sodium adsorbable (SAR; Sodium adsorption ratio);.....	14
1-1-3-6- La matière organique (MO)	14
1-1-4-Les propriétés biologiques d'un sol.....	15
1-1-4-1-la faune de sol.....	16
A- Microfaune.....	16
B- Méso faune.....	16
C-Macrofaune.....	16

D-Mégafaune.....	16
1-1-3- Conclusion.....	17
Chapitre 2 : Les propriétés des eaux d'irrigation	
1-2-1-Introduction.....	18
1-2-2-Contraintes au développement de l'irrigation en Algérie.....	18
1-2-3-Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	19
1-2-4-L'irrigation avec des eaux de mauvaise qualité.....	20
1-2-5-Les propriétés des eaux d'irrigations.....	20
1-2-5-1-Propretés physiques des eaux d'irrigation.....	20
1-2-5-1-1- La température.....	20
1-2-5-1-2-LepH.....	21
1-2-5-1-3-La conductivité électrique	21
1-2-5-1-4-La dureté.....	21
1-2-5-1-5-La turbidité	21
1-2-5-1-6-Le débit	21
1-2-5-1-7-La densité.....	22
1-2-5-1-8-Résidu sec.....	22
1-2-5-1-9-Solides totaux dissous (TDS).....	22
1-2-5-1-10-L'oxygène dissous:	22
1-2-5-2-Propriétés chimiques	22
I-2-5-2-1-Les anions.....	23
A-Les chlorures.....	23
B-Les sulfates.....	23
C-Les nitrates.....	23
D-Les nitrites.....	23
E-Les Bicarbonates.....	24
I-2-5-2-2-Les cations	24
A-Le Calcium.....	24
B-Le Magnésium.....	24
C-Le sodium	24
D-Le Potassium.....	24
E-Matière en suspension (MES).....	24
1-2-6-Problèmes liées à la qualité des eaux d'irrigation.....	25
1-2-6-1-La salinité.....	25
1-2-6-2-Tolérance des cultures la salinité.....	25
1-2-6-3-Toxicité	25
1-2-6-4-Qualité de l'eau d'irrigation et problèmes de perméabilité des sols.....	26
1-2-6-5-Risques liés à la composition ionique des eaux d'irrigation.....	26
1-2-6-5-1-Risques liés au sodium	26
1-2-6-5-2-Risque liée aux bicarbonates.....	27
1-2-6-5-3-Risque liées aux chlorures.....	27

1-2-6-5-4-Risque liées au bore	27
1-2-6-5-5-Risque de colmatage des réseaux d'irrigation	27
1-2-7-Classification de l'eau d'irrigation	28
1-2-7-1-Classification de l'eau d'irrigation selon GREENE, 1948).....	28
1-2-7-2-Classification des eaux d'irrigation d'après DONEEN.....	28
1-2-7-3-Classification des eaux d'irrigation D'après WILCOX	29
1-2-7-4-Classification basée sur le SAR.....	29
1-2-7-5-Classification basée sur l'alcalinité	30
1-2-8-Evaluation pratique de la qualité des eaux d'irrigation.....	30
1-2-9-Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation selon la FAO.....	31
1-2-10-Conclusion.....	31
 Deuxième partie: Matériels et méthodes d'étude	
Chapitre 1: Etude du milieu physique.....	32
2-1-1-Introduction.....	32
2-1-2-Présentation de la zone étudiée.....	32
2-1-3- Relief de la zone d'étude.....	33
2-1-4-Géologie de région d'étude.....	33
2-1-5- Pédologie.....	35
2-1-6- Les activités de la région.....	36
2-1-7-Les ressources en eau dans la zone de Djebel Messaad.....	37
2-1-8- Climat de la zone étudiée	38
2-1-8-1- La température	38
2-1-8-2- Les précipitations.....	39
2-1-8-3- Le vent	40
2-1-8-4- Humidité	41
2-1-8-5-Evaporation	43
2-1-8-6- Synthèse climatique de la zone d'étude.....	43
A- Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls.....	43
B-Climagramme d'Emberger.....	46
2-1-9-Conclusion.....	46
Chapitre 2 : Méthodes d'étude	
2-2-1-Choix de la région d'étude.....	47
2-2-2-Période de prélèvement et échantillonnage du sol et d'eau d'irrigation	47

2-2-3-Les analyses au laboratoire.....	47
2-2-3-1-Le sol.....	47
A-Analyses des caractéristiques physico-chimiques.....	47
A-1-Le pH.....	47
A-2-La conductivité électrique.....	48
A-3-Lecalcaire totale (CaCO _{3t} %).....	48
A-4-Calcaire actif.....	48
A-5-Le carbone organique et la matière organique	48
A-6-L'analyse granulométrique du sol.....	49
A-7-La porosité totale.....	49
A-8-L'humidité résiduelle du sol.....	49
A-9-Le Phosphore assimilable (JORET-HEBERT 1955).....	50
A-10-La CEC.....	50
II-2-3-2-L'eau.....	50
A-Analyse des eaux d'irrigation.....	50
A-1-Mode de prélèvement de l'eau d'irrigation (à partir des forages)	51
A-2-Détermination des paramètres physico-chimiques.....	51
A-2-1-La température.....	51
A-2-2-Le potentiel hydrogène (pH).....	51
A-2-3-La conductivité électrique (CE).....	51
A-2-4-Le Résidu sec.....	51
A-2-5-Les Chlorures (Cl ⁻).....	51
A-2-6-Les Nitrates(NO ₃).....	51
A-2-7-Les Nitrites.....	51
A-2-8-Les Sulfates.....	52
A-2-9- Le Calcium (Ca ⁺⁺).....	52
A-2-10-Le Magnésium (Mg ⁺⁺).....	52
A-2-11-Dosage du sodium et du potassium.....	52
A-2-12-Les carbonates et les bicarbonates.....	52
A-2-13-L'Alcalinité (TA, TAC).....	53
A-2-14-Matière en suspension	53
Troisième partie : Résultats et discussions	
3-1-Introduction.....	54
3-2-Caractérisation des sol et des eaux d'irrigation de la zone de Kef Tiour.....	54
3-2-1-Caractérisation morpho-analytiques du sol.....	54
3-2-1-1-Caractéristiques morpho-analytiques de la station K1 de Kef Tiour.....	54
A-Environnement de la station K1.....	54
B-Description morphologique de la station K1 (Kef Tiour).....	54
3-2-1-2-Les caractéristiques morpho-analytiques de la station K2 de Kef Tiour...57	
A-Environnement de la station K2.....	57
B-Description morphologique du profil de la station K2 (Kef Tiour).....	58
3-2-2-Caractérisation physico-chimique des eaux d'irrigation	61

3-2-2-1-Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation des trois stations (K, S1 et S2)	61
A- La température.....	62
B- pH.....	63
C- La conductivité électrique.....	64
D-Résidu sec (RS).....	64
E-La dureté totale.....	65
F-Les matières en suspension (M.E.S).....	65
G-La salinité	66
H-Les Anions.....	66
➤ Les sulfates.....	66
➤ Nitrite et nitrate	67
➤ Les chlorures	68
➤ Bicarbonate.....	68
I- Les cations.....	69
➤ Le sodium.....	69
➤ Le magnésium.....	70
➤ Le calcium.....	70
3-2-2-2-Classification des eaux d'irrigation de la zone d'étude	72
3-2-2-2-1-Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux d'irrigation des stations de Kef Tiour.....	72
➤ Diagramme de Piper.....	72
➤ Diagramme de Schoeller-Berkaloff	72
➤ Diagramme de Richards.....	74
3-3-Conclusion	76
Référence bibliographiques	
Annexe	

Liste des abréviations

A: Argile.
ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydraulique.
B : Bore.
Ca⁺²: Calcium.
CaCO₃: Calcaire.
CAS: Coefficient d'absorption du sodium (SAR).
CaSO₄, 2H₂O: Gypse.
CE: Conductivité Electrique.
CEC: Capacité d'Echange Cationique.
C.F.D.M : La conservation des forets de Djebel Messaad.
C.M.D :Conservation de Djebel Messaad
Cl: Chlorure.
d: Diamètre
da: Densité apparent.
dr: Densité réelle.
dS/m: Décisiemence par mètre.
DCO: Demande chimique en oxygène.
DBO₅: La demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.
dH :Degré hydrotimétrique.
E.D.T.A: Acid éthylène diamine tetra-acetique.
°F :degre français.
FAO: Food Agricultural Organization.
Fe:Fer
H: Horizon (H1, H2, H3, H4, H5, H6)
H (%): Taux d'Humidité.
HCO₃⁻ : Bicarbonate.
ISO : Organisation internationale de normalisation.
K: Potassium.
K1 : (K1: deuxième station et K2: troisième station)
L: Limon.
Lf: Limon fin.
Lg: Limon grossier.
MAAARO : Ministère de l-Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales Totale matière.
MDT: Matières dissoutes totales
meq/l: Milli équivalent par litre.
MES : Matière en suspension.
Mg⁺²: Magnésium.
mmhos/cm: Milli mohos par centimètre.
Mn : Manganate.
MO: Matière Organique.
mS/cm: Millisiemens/centimètre
Na⁺: Sodium.
NaHCO₃ :Bicarbonate de sodium
NGL :Azote global
NH₄: Ammonium.
NO₂⁻ : Nitrite.
NO₃⁻ : Nitrate.
NT :Azote total.
NTU : Néphélométrie.
O₂ : Oxygène.
OMS: Organisation Mondiale de la Santé.
P: Précipitation (mm).
P₁ :Poids de sol réel.

P₂ : poids de sol après séchage.

P (%): Porosité.

pH: Potentiel d'Hydrogène.

PNDA: Plan notionnel de développement agricole..

PO₄: Phosphate.

P₂O₅: phosphore assimilable.

ppm : Partie par million.

Q2: Quotient pluviométrique.

RAS : Ration d'Absorption du Sodium.

Rs: Résidus secs.

S: Sable.

S: Station (S1: deuxième station et S2: troisième station).

SAR: Taux du sodium en solution.

S.E.E.E:Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement, Maroc.

S f: Sable fin.

S g: Sable grossier.

SO₄⁻²: Sulfate.

T (C°): Température.

TA:Titre alcalimétrique mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et en carbonates alcalins caustique.

TAC: Titre alcalimétrique complet correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates.

TDS : Solides totaux dissous

T. Max: Température maximale.

T. Min: Température minimale.

V (m/s): Vent.

V_s: Volume occupé par la matière solide.

V_t: Volume total.

Zn : Zinc

Liste des tableaux

Tableau 01: Rôles des matières organiques dans le sol	15
Tableau 02: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation.....	19
Tableau 03: Les normes de qualité des eaux d'irrigation.....	20
Tableau 04: Tolérance des cultures au sodium.....	27
Tableau 05: Classifications d'eau d'irrigation faisant intervenir le pourcent de sodium, le Bore, l'ion Cl, l'ion SO ₄ et la concentration.....	29
Tableau 06: Les cantons de Djebel Messaad et Boussaâda.....	33
Tableau 07: Répartition des zones agricoles dans la commune de Djebel Messaad en hectares: Saison agricole (2015/2016).....	36
Tableau 08: Elevages des animaux dans la commune de Djebel Messaad.....	36
Tableau 09: Elevage des poules.....	37
Tableau 10: Les ressources d'eaux de la zone de Djebel Messaad.....	37
Tableau 11: Les températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (°C).....	38
Tableau 12: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (1996-2016).....	39
Tableau 13: Vitesses moyennes mensuelles des vents en (m/s) de la région de Djelfa durant la période (1996-2016).....	40
Tableau 14: L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de Djelfa durant la période (1996-2016).....	41
Tableau 15: Evapotranspiration en (mm) de la région de Djelfa durant la période (1996-2016).....	42
Tableau 16: Le nombre moyen des jours de gelées et le neige par mois de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).	43
Tableau 17: Valeurs du quotient pluviothermique de la région d'étude.....	45
Tableau 18: Données analytiques du profil de la première station K1.....	56
Tableau 19: Données analytiques du profil de la deuxième station K2.....	60
Tableau 20: Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques de l'eau d'irrigation des trois stations K, S ₁ et S ₂ de Kef Tiour.....	62

Liste de figures

Figure 01: Diagramme de classification détaillée des textures le triangle de texture	04
Figure 02 : Classes de la stabilité structurale (VILAIN,)	07
Figure 03: Description du réseau poreux du sol selon la partition texturale et structurale	09
Figure 04 : Dispositif de mesure de la perméabilité du sol	10
Figure 05: Echange de cations entre les racines des plantes, la solution de sol et les sites d'échanges (potassium (K^+), magnésium (Mg^{2+}), calcium (Ca^{2+}), hydrogène (H^+), ammonium (NH_4^+), nitrate (NO_3^-))	12
Figure 06: Carte administrative du Sud de M'Sila avec présentation de zone d'étude	32
Figure 07: Carte géologique de la wilaya de M'sila avec présentation de zone d'étude	34
Figure 08 : Carte pédologique de la région d'étude	35
Figure 09: Courbes des températures mensuelles (maximales, minimales et moyenne) durant la période de 1975 /2016)	39
Figure 10: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (1996 2015)	40
Figure 11 : Variations des vitesses moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (1996-2016)	41
Figure 12 : L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de Boussaâda durant la période (1996-2016)	42
Figure 13 : Evapotranspiration de la station de Djelfa durant la période (1996-2016)	42
Figure 14 : Gelée et Neige de la station de Djelfa durant la période (2000;2016)	43
Figure 15 : Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude (1996-2016)	44
Figure 16: Climagramme D'EMBERGER avec une représentation de l'emplacement du climat de la zone d'étude durant les périodes qui s'étale entre 1996 et 2016)	45
Figure 17: Vue générale de la station K1 de Kef Tiour (Bousaada)	54
Figure 18: Photo montrant le profil et les horizons décrits pour la première station K1	55
Figure 19 : Vue générale de la station K2 (kef tiour)	58
Figure 20: Photo montrant le profil et les horizons décrits pour la deuxième station K2	59

(Kef Tiour)

Figure 21: Valeurs de température enregistrées au niveau des stations étudiées (K, S1 et S2).	63
Figure 22: pH des eaux d'irrigation des stations étudiées (K, S1 et S2)	63
Figure 23: Valeurs enregistrées de CE des eaux d'irrigation au niveau des stations étudiées (K, S1 et S2)	64
Figure 24: Valeurs de RS enregistrés dans stations étudiées (K, S1 et S2).	65
Figure 25: Valeurs de dureté totale (TH) mentionnées dans les stations étudiées (K, S1 et S2)	65
Figure 26: Valeurs de matière en suspension (M.E.S) des eaux d'irrigation des stations étudiées (K, S1 et S2)	66
Figure 27: Salinité des eaux d'irrigation des stations K, S1 et S2	66
Figure 28: Sulfates (SO_4^{2-}) des eaux d'irrigation enregistrés dans les stations K, S1 et S2	67
Figure 29: Valeurs enregistrées de nitrates et nitrites des eaux des stations K, S1 et S2	68
Figure 30 : Valeurs des chlorures des eaux d'irrigation des stations étudiées (K, S1 et S2)	68
Figure 31: Valeurs de HCO_3^- des eaux d'irrigation des stations K, S1 et S2	69
Figure 32 : Valeurs enregistrées de Na^+ des station (K, S1 et S2)	70
Figure 33: Valeurs de Mg^{++} des eaux d'irrigation des stations K, S1 et S2	70
Figure 34: Le Ca^{++} enregistré dans les eaux d'irrigation des stations étudiées K, S1 et S2	71
Figure 35: Classification des eaux d'irrigation des trois stations (K, S1 et S2) de kef Tiour selon diagramme de piper	72
Figure 36 : Classification des eaux d'irrigation des trois stations (K, S1et S2) de kef Tiour selon SCHOELLER et BERKALOFF	73
Figure 37: Classification des eaux d'irrigation des trois stations étudiées (K, S1 et S2) selon le Diagramme de Richards	74

LISTES DES ANNEXES

Annexe 01: Classification des sols d'après le pH et leurs spéculations agricoles (**GAUCHER, 1968**)

Annexe 02: Classification des teneuses en matière organique (MO) dans le sol.

Annexe 03: Normes d'interprétation de l'état de salinité d'un sol (**LAMBRT, 1975**) .

Annexe 4: Interprétation des différentes zones de diagramme de classification des eaux d'irrigation (**BOULAIN, 1972**).

Annexe 05 : Grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux.

Annexe 06 : Normes d'interprétation du phosphore assimilable **Calvet et Villemin, 1986**

INTRODUCTION GENERALE

Le sol est un capital qui peut être inépuisable par la bonne gestion et la maîtrise des facteurs qui peuvent influencer son comportement, sa genèse et sa productivité de point de vue agronomique car on considère qu'il est la source presque exclusive de l'eau et des sels minéraux indispensables pour les végétaux (**TIR, 2001**).

Dans les régions arides (dont 95% du territoire national fait partie), les sols, d'une manière générale posent d'énormes problèmes de mise en valeur (**HALITIM, 1988**).

Ils présentent souvent des accumulations calcaires ou gypseuses et sont, la plupart du temps, salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (**AUBERT, 1960**).

Notre zone d'étude « Kef Tiour » est une zone aride du centre du pays. Cette région réputée d'être une zone pastorale où l'agriculture était considérée comme une activité secondaire mais elle ne cesse d'être de plus en plus importante et intéressante. D'où les recherches doivent être plus accentuées dans le but de faciliter l'élaboration de projets d'aménagement agricole et d'augmenter la productivité de ses sols par unités de surface.

Le développement durable de l'agriculture en Algérie est synonyme d'une maîtrise des aspects économique, social et écologique de la distribution de l'eau agricole.

La nécessité de l'irrigation en Algérie est incontournable, sur laquelle s'accordent les chercheurs agronomes. Evidemment, l'irrégularité annuelle et interannuelle des précipitations a été maintes fois soulignée dans la littérature, ainsi la préservation et la conservation des superficies irriguées, voire leur extension, pose le problème de l'offre en l'eau d'irrigation.

En effet, le risque climatique en Algérie étant récurrent, l'effort doit porter sur des solutions techniques et socio-économiques adaptées à la gestion rationnelle de la demande en eau. Tout en prenant en considération que la pratique de l'irrigation même avec une eau faiblement salée, mais, dans la répétition des apports, sans lessivage et drainage, peut entraîner, par concentration sous l'effet de l'évaporation, une salinisation progressive du milieu (**CHERBUY, 1991**).

Notre étude vise la détermination et la connaissance des propriétés physico-chimiques des sols (facteurs édaphiques) et des eaux d'irrigation (des forages) de la zone de Kef Tiour Wilaya de M'Sila.

Pour ce faire, on a structurer notre travail comme suit:

- La première partie comporte une synthèse sur les sols et les eaux d'irrigation et leurs propriétés
- La deuxième partie, concerne la caractérisation du milieu physique et la méthodologie du travail et d'analyses
- La troisième partie; consacrée aux résultats et discussion
- Enfin on terminera par une conclusion générale qui reprendra les principaux résultats obtenus

Première partie: Recherche bibliographique

Chapitre 1: Les propriétés des sols

1-1-1-Introduction

La pédologie est la science qui étudie les caractères, l'évolution et la répartition des sols. Pour les pédologues, le sol est un corps organisé qui est à la fois le résultat et le siège des processus complexes. C'est une formation naturelle, qui abrite une multitude de microorganismes. Sol comme étant la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants (DEMOLON A, 1960).

Selon (HALITIM, 1988), la pédologie ou la science du sol considèrent le sol comme un milieu complexe dynamique et caractérisé d'individualité propre.

On peut définir un sol comme un composite granuleux multicouche, qui se développe sur une roche mère. Il est constitué de minéraux issus de la décomposition de la roche mère, et de matériaux organique issus de la décomposition des tissus et des organismes morts. Les deux processus de décomposition sont en interaction continue et réalisent un équilibre aboutissant à un sol d'épaisseur et de composition globale déterminées. Le résultat est influencé par la pluviométrie et par les vents, qui introduisent une contrainte mécanique sur l'équilibre global (CHAUDE et LECLE, 1999).

1-1-2-Les propriétés physiques d'un sol

1-1-2-1-La texture d'un sol

1-1-2-1-1- Définition de la texture d'un sol

Selon (HALITIM, 1988), On peut définir la texture comme un facteur déterminant de la fertilité des sols puisqu'elle influence les propriétés physiques (économie en eau et en air, structure, perméabilité, résistance à l'érosion ect ...) et chimiques (capacité des échanges) des sols.

La texture d'un sol est l'ensemble des propriétés qui découlent de la composition granulométrique du sol (teneur en pourcentage de sables grossiers et fins, de limons, d'argile, d'humus et de calcaire), elle est déterminée par l'analyse granulométrique (HALITIM, 1988).

D'après (HELLER et al, 1993; DELAUNOIS et al, 2009), la texture est le diamètre moyen des particules du sol, ou la composition granulométrique.

La granulométrie est la répartition de l'ensemble des particules du sol en classes de tailles allant des pierres et cailloux de diamètre supérieur à 2cm aux particules argileuses qui font moins de 2 microns (CHAUDE et LECLE, 1999).

La texture permet d'apprécier les propriétés d'un sol à partir de la proportion des différentes fractions granulométriques (REBBERGE, 1964; PREVOST, 2006).

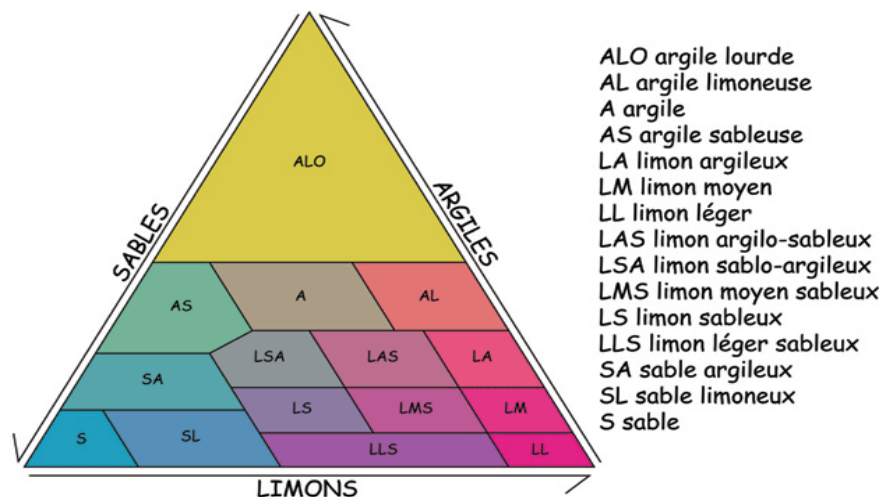


Figure 01: Diagramme de classification détaillée des textures (JAMAGNE, 1977).

1-1-2-1-2- Le triangle de texture:

Le triangle de référence est le triangle rectangle ou le triangle équilatéral cette représentation s'appuie sur le fait quasi, dans un triangle équilatéral, ou même un point, des parallèles aux cotés, la somme des distance interceptés sur les coté est égale au côté du triangle. On procède de la manière suivante:

*Chaque côté du triangle est divisé en 100 parties égale un coté du triangle attribué à l'argile, un autre aux limons et le troisième aux sables, la somme de leurs pourcentage respectifs est égale à 100.

*L'intérieur du triangle est divisé en cases, chacune d'elles représentant un type granulométrique de sol caractérisé par les proportions d'un ou deux éléments dominants (voir figure 01).

*L'emplacement du point représentatif d'un sol dans le triangle ne donne qu'une indication simple (HALITIM, 1988).

1-1-2-1-3- Les propriétés des sols de différents types de texture :

D'après (HALITIM, 1988), la discussion des propriétés physiques et chimiques des fractions granulométriques isolés sont à la compréhension du rôle principal des particules

d'un certain diamètre, mais elles ne constituent qu'une discussion théorique, car les sols naturels ne se composent que très rarement d'une seule fraction granulométriques.

A- Propriétés des sols à texture sableuse

Les propriétés des sols à texture sableuse sont essentiellement déterminées par les propriétés des sables, fraction granulométrique prépondérante. Ils peuvent être subdivisés en deux catégories :

- Terres sableuse: l'élément prépondérant est les sables grossiers.
- Terres sablonneuses : la fraction prépondérant est sable fin.

Tous les sols à texture sableuse se distinguent par leur faible cohésion. La teneur en argile qui ne dépasse pas 15% est très petite pour qu'elle puisse produire influence notable sur la cohésion.

Sol à texture sableuse se travaillent donc facilement. Ils sont dits terre légères. La capacité de rétention en eau des sols sableux est réduite, mais la part de l'eau assimilable par les plantes est relativement grande en comparaison aux terre riche en argiles. La vitesse d'infiltration pour les sables grossiers est grande (**HALITIM, 1988**).

B-Propriétés des sols à texture argileuse

Ces sols se caractérisent par une cohésion d'autant plus forte que la teneur en argile est élevée. A cause de la cohésion considérable ils sont tenaces et collants a l'état mouillé et dur l'état sec. Ils se laissent donc difficilement travailler et le temps de travail est très limite. Ces terres sont dites lourdes (**HALITIM, 1988**).

En général les sols à texture argileuse possèdent des propriétés diamétralement opposées aux propriétés des terres légères.

Leurs état physique est très défavorable tandis qu'ils sont des sols riche et fertiles du point de vue chimique (**HALITIM, 1988**).

Ajoutant aussi les propriétés suivantes :

- Les pores ont des dimensions réduites. Par la suite la perméabilité à l'eau et l'air est limitée.
- La minéralisation de la matière organique est entravée. En la quantité élevée en eau, mais l'eau se retient si fortement qu'une grande partie de l'eau se trouve à l'état inassimilable pour les plantes.
- Ces sols s'échauffent lentement et restent mouillés long temps après une période pluvieuse. Quand ils dessèchent ils sont très durs (**HALITIM, 1988**).

En générale ces sols sont riches en éléments nutritifs et leur pouvoir d'adsorption est très élevé. Mais cette règle n'est pas toujours valable (les sols tropicaux).

C- Propriétés des sols à texture limoneuse

Les réserves de ces sols en éléments nutritifs sont très grandes, mais ce rôle favorable des limons dans les sols est composé par les propriétés physiques défavorables. Dans ces sols la qualité d'agrégats, les particules intermédiaires (limons) ne sont pas douées de propriétés colloïdales, elles ne jouent donc aucun rôle utile à ce point de vue. Mais elles sont suffisamment fines pour permettre un colmatage des pores grossiers et une diminution considérable de l'aération et de la perméabilité (HALITIM, 1988).

La structure des terres limoneuses est donc rarement satisfaisante surtout si le sol est pauvre en matière organique.

Ces sols à texture limoneuse ou silteuse dit battants, à cause de leur faible cohésion et de leur perméabilité réduite ils sont extrêmement susceptibles à l'érosion par l'eau de ruissèlement (HALITIM, 1988).

1-1-2-1-4-L'importance de la texture sur les propriétés physiques du sol

Si des sables fins et des limons fins accompagnent les sables grossiers, les vides sont colmatés : le sol se tasse facilement sous l'effet de la pluie; le sol devient battant et imperméable à l'eau.

Si s'ajoutent aux sables grossiers de l'argile et de l'humus, ces colloïdes permettent la formation d'agrégats : la circulation de l'air et de l'eau est facilitée, et de l'eau est retenue sur les agrégats pour les plantes ; on dit que le **sol a une structure fragmentaire**.

D'après (HELLER *et al*, 1993), la texture du sol joue son rôle dans sa compacité, dans sa porosité, qui préside à la plus ou moins grande facilité de pénétration des racines et à la circulation de l'air et de l'eau.

1-1-2-2-La structure d'un sol

La structure du sol constitue un facteur déterminant de fonctionnement des sols, de sa capacité à supporter la vie et à affecter la qualité de l'environnement, particulièrement à travers la séquestration du carbone et l'amélioration de la qualité de l'eau (BRONICK *et al*, 2005).

Elle a une contribution vitale dans la production durable d'aliments et le bien-être de l'ensemble de la société. De fait, elle peut être considérée comme un concept qualitatif ou un indice de qualité, faisant référence à une propriété intégrative du sol (AMEZTEKA, 1999).

1-1-2-2-1-Définition de la structure du sol

La structure peut être simplement définie, comme étant la manière dont sont disposées les particules du sol les unes par rapport aux autres (HENIN, 1990; MUSY *et al*, 1991).

La structure du sol est l'hétérogénéité spatiale des différents constituants ou propriétés du sol (DEXTER, 1988).

D'autres définitions font intervenir en plus de la disposition spatiale, la nature et l'intensité des liaisons établies entre les particules constitutives du sol (MANICHON, 1982; STENGEL, 1990).

1-1-2-2-2-Stabilité structurale

D'après (PREVOST, 2006), la stabilité structurale est très importante dans un sol et elle peut être maintenue grâce à certaines actions:

- De protection contre les agents de dégradation (supprimer l'excès d'eau par le drainage du sol, éviter le travail du sol en période humide, ne pas laisser le sol nu trop longtemps);
- D'amélioration de la structure (apporter du calcium ou de matière organique pour favoriser une bonne formation du complexe argilo-humique, travailler le sol correctement: labour, puis façons superficielles, adopter une rotation introduisant des prairies de graminées qui couvrent le sol en permanence et dont le système racinaire permet une bonne division du sol).

La stabilité structurale désigne la résistance de la structure vis-à-vis des agents de dégradation. La formation d'agrégat solide et résistant à la dégradation par l'eau assure une bonne stabilité structurale au sol.

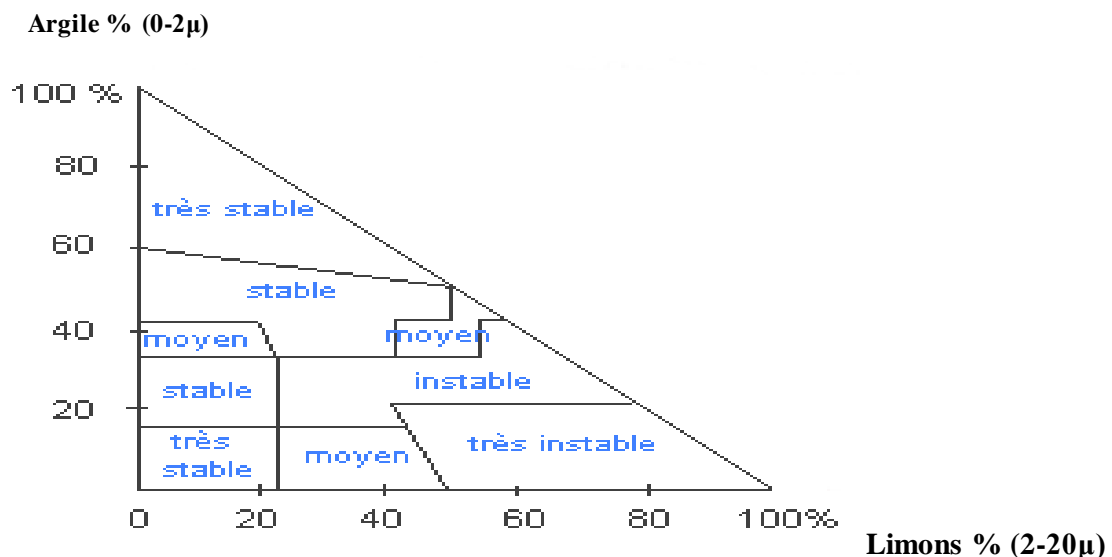


Figure 02 : Classes de la stabilité structurale (VILAIN, 1978)

Ainsi, la stabilité structurale dépend :

- De la texture du sol; les sols à teneur élevée en limons sont plus sensibles aux processus de dégradation par l'eau responsables de la battance. Mais il est difficile de modifier la texture

d'un sol. Les apports de sable ou d'argile demeurent irréalisables en raison des masses considérables qu'il faudrait apporter au sol pour atteindre même un résultat modéré ;

- De la nature des cations adsorbés sur le complexe argilo-humique; tous les cations n'ont pas le même pouvoir flocculant des argiles. La présence d'ions calcium (par apport important de chaux) et magnésium sur le complexe argilo-humique améliore la stabilité structurale des sols riches en limons fins, contrairement à celle d'ions potassium et sodium qui ont une action dispersante des argiles

-De la matière organique; les produits transitoires issus de la décomposition de la matière organique enfouie enrobent les agrégats terreux assurant ainsi leur stabilité structurale. L'humus a également un effet stabilisateur quoique moins intense mais plus durable.

1-1-2-3-La porosité du sol

1-1-2-3-1-Définition de la porosité d'un sol

La porosité du sol se définit comme étant l'ensemble des espaces lacunaires créés lors de la structuration du sol (STENGEL, 1990; MUSY *et al*, 1991).

Ces espaces vont influencer la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et la capacité de ce dernier à la stocker. La porosité agit aussi sur le développement des racines des plantes ainsi que sur la circulation des organismes du sol (LAMANDE, 2003).

D'après (HILLEL, 1984; PREVOST, 2006), la porosité est définie comme le rapport du volume de l'espace poral V_p au volume V_t du sol en place ou volume apparent. Le volume V_p se détermine par différence entre le volume du sol en place et le volume des constituants solides V_s . D'où la formule de la porosité:

$$\text{Porosité} = \frac{V_p}{V_t} = \frac{V_t - V_s}{V_t} = \frac{1 - V_s}{V_t}$$

On l'exprime en général en %: $\text{porosité \%} = \frac{V_p}{V_t} \times 100$

La porosité du sol se mesure à partir des densités du sol:

-La densité réelle (d_r), qui représente la masse volumique des éléments solides du sol (de l'ordre de $2,6 \text{ g/cm}^3$);

-La densité apparente (d_a), correspond à la masse volumique du sol en place ; elle est variable selon la nature et l'état structural du sol ; elle peut varier de $0,8$ à 2 g/cm^3 (mais sa valeur moyenne est de $1,3 \text{ g/cm}^3$).

De ce fait, la porosité (en %) est égale à: $P_{(\%)} = \frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100$

La porosité totale comprend : la macroporosité espace rempli d'air correspondant aux pores de diamètre supérieur à 10 μm et la microporosité espace rempli d'eau.

Les pores ont les **deux origines texturale et structurale**.

1-1-2-3-2-Types de porosité des sols

A-Porosité texturale

La porosité texturale est directement liée à la texture du sol. Elle résulte de l'assemblage des particules élémentaires.

Elle n'est pas modifiable, contrairement à la porosité structurale.

B-Porosité structurale

La porosité structurale dépend de la structure du sol. Elle résulte de l'association des agrégats entre eux. Elle est modifiable par les interventions sur le sol.

La porosité structurale permet à l'eau et à l'air de diffuser dans le sol. Plus la porosité structurale est élevée plus le transfert de l'eau, et donc la conductivité hydraulique, sont facilités.

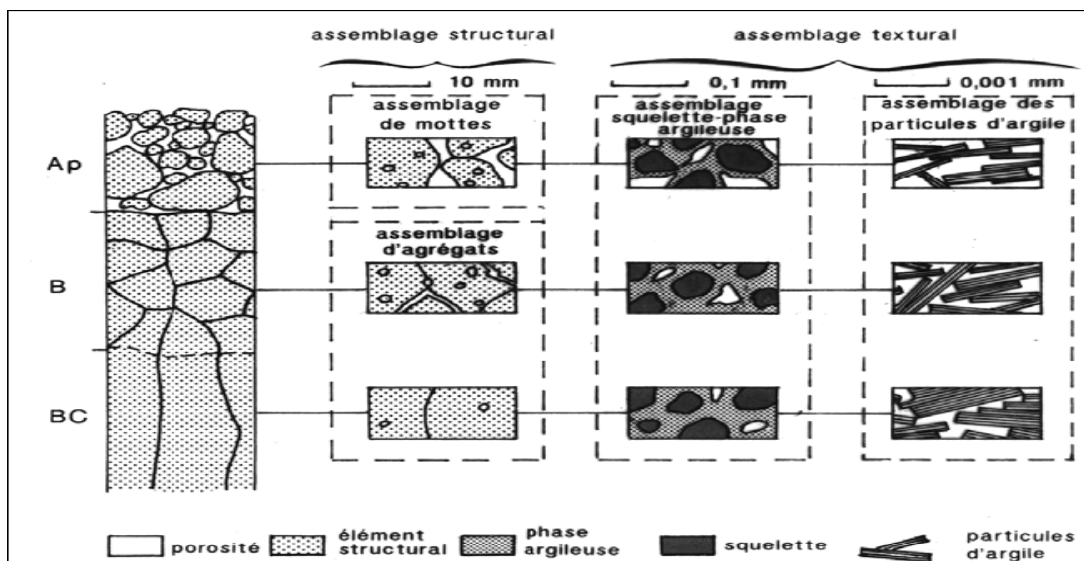


Figure 03: Description du réseau poreux du sol selon la partition texturale et structurale (BRUAND et TESSIER, 1996).

1-1-2-3-3-L'importance de la porosité

La porosité texturale joue un rôle essentiel dans la rétention de l'eau du sol et des échanges avec les racines des plantes (HENIN, 1990; CHOSSAT, 2005).

Selon (RAMADE, 2003), le rôle de la porosité d'un sol est essentielle aussi bien pour assurer le développement des plants supérieures que celui de la microflore et de la faune édaphique.

1-1-2-4-Perméabilité d'un sol

La perméabilité du sol dépendant de la texture et la structure du sol. Un sol est perméable s'il a une texture grossière (sableuse) et une structure fragmentaire (PREVOST, 2006).

La perméabilité d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau de gravité en cm par seconde (ou par heure, si la vitesse est lente) : coefficient k .

Le coefficient k est calculé par le débit Q obtenu à l'aide du dispositif de filtration sur colonne, indique par (la loi de Darcy) : $Q = k (H+H' / H) S$. (DUCHAUFOR, 2001).

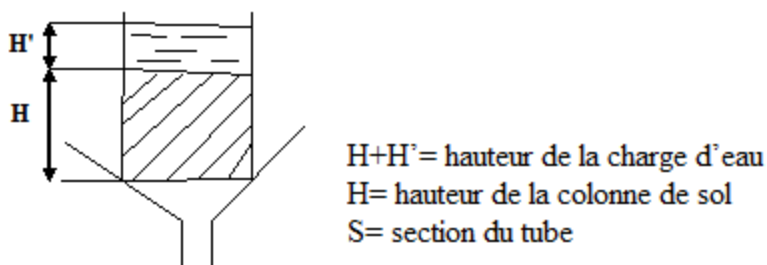


Figure 04 : Dispositif de mesure de la perméabilité du sol (DUCHAUFOR, 2001).

1-1-2-5-Circulation de l'eau dans les sols

Les gradients présentés par les différentes forces agissant sur l'eau dans les sols déterminant la caractéristiques de ses flux au sien de la couverture pédologique, tant en direction qu'en débit.

A- Circulation de l'eau dans les sols saturés

Dans ce cas, l'eau se déplacé verticalement, sauf si elle est réorientée par un obstacle, L'eau percole à travers le sol ; le drainage correspond au même mécanisme, mais sous-entend que l'on s'intéresse davantage à l'évacuation de l'eau en excès dans un sol (DUCHAUFOR, 2001).

B- Circulation de l'eau dans les sols non saturés

Lorsque la teneur en eau de la terre est inférieur à la capacité de rétention, l'effet de la gravité sur le déplacement d'eau devient faible, voire négligeable, et ceux-ci sont principalement réglés par les gradients du potentiel matriciel qui devient prédominant dans les sols. Il y a donc, a priori, sans aucune priorité à la direction verticale (DUCHAUFOR, 2001).

1-1-3-Les propriétés chimiques d'un sol

1-1-3-1-La capacité d' échange cationique

La capacité d'échange cationique (CEC ou T pour capacité totale) d'un sol est la quantité de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe adsorbant à un pH donné.

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

Les cations qui sont le plus souvent mentionnés dans un rapport d'analyse de sol sont les suivants: le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}) et le calcium (Ca^{2+}). Certains rapports indiquent aussi l'hydrogène (H^+) et le sodium (Na^+). Les cations sont des ions d'éléments nutritifs chargés positivement.

Les cations sont retenus sur des sites chargés négativement que l'on retrouve à la surface de particules de matière organique et d'argile (figure 5). La matière organique possède plus de sites d'échanges que les particules d'argile. Ces sites sont des sources importantes de tous les cations assimilables par les végétaux. Les cations ne sont pas retenus fortement à ces surfaces. En fait, ces surfaces réalimentent constamment la solution de sol en cations à mesure que ces derniers sont prélevés par les plantes.

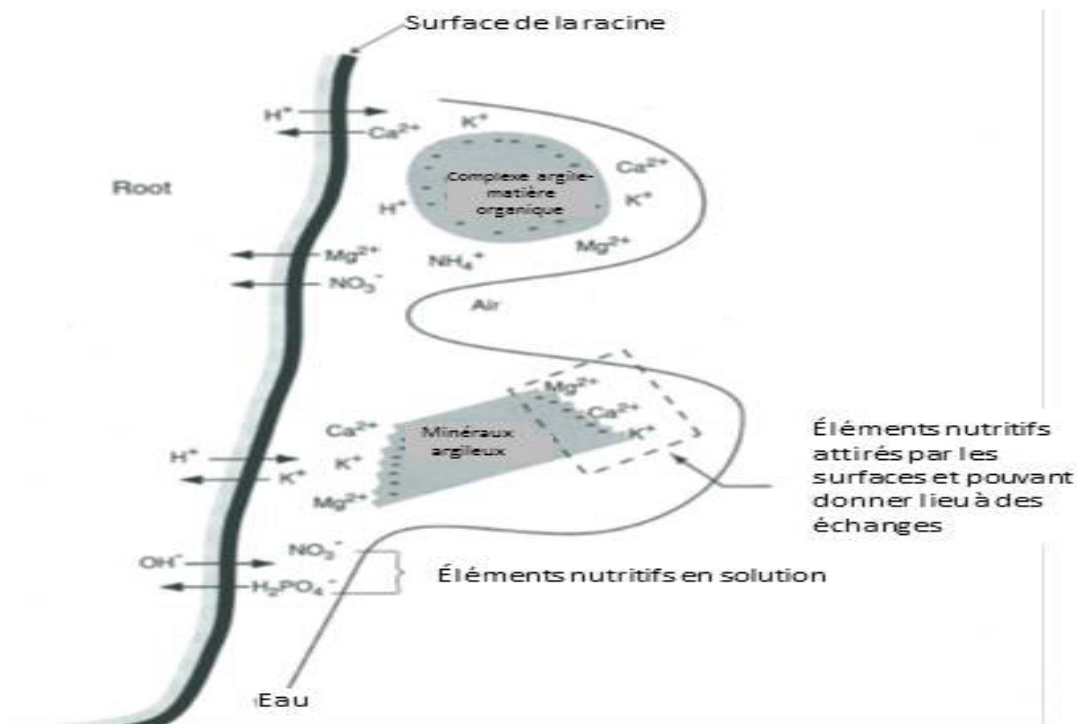


Figure 05: Echange de cations entre les racines des plantes, la solution de sol et les sites d'échanges (potassium (K^+), magnésium (Mg^{2+}), calcium (Ca^{2+}), hydrogène (H^+), ammonium (NH_4^+), nitrate (NO_3^-)) *MAAARO 2006 in (KESSEL,2015).*

1-1-3-2-pH

Le pH exprime la réaction acide, neutre ou basique d'un corps selon qu'il renferme beaucoup ou peu d'ions H^+ libres en solution. Au niveau du sol, le pH est variable et il influe sur les propriétés du sol. Ces variations sont cependant limitées car si, en chimie, le pH varie de 0 à 14 (7 étant la neutralité), le pH des sols a pour extrêmes 4,5 à 5 pour les sols plus acides et 8 pour les terres très basiques (**PREVOST, 2006**).

Selon (**CHAUDE et LECLE, 1999**), le pH est fortement influencé par la roche mère et la composition de la litière joue aussi un rôle en particulier à travers son rapport C/N.

1-1-3-3-Les sels

Les sels solubles sont tous les sels plus solubles à l'eau que le gypse. Leur concentration globale est généralement exprimée par la conductivité électrique qui représente en réalité la conductivité électrolytique (**HALITIM, 1988**).

Les plus fréquents dans les régions arides et semi- arides sont surtout les chlorures et les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (**SERVANT, 1978 ; HALITIM, 1988**).

Les sels les plus fréquents sont ceux à base de sodium, gypse et calcaire qui exercent les effets suivants sur les sols :

***Le Sodium**, en excès dans le complexe absorbant du sol, peut dégrader la structure. Ces sols à structure diffuse sont souvent dénommés sols à alcali ou sodique (**AUBERT, 1983**).

***Le gypse**, il est généralement admis qu'en petites quantités, le gypse a un effet favorable sur les propriétés fonctionnelles des sols et la croissance des plantes. En sols très argileux et très dispersés, le gypse améliore l'infiltration, diminue l'érosion et augmente la floculation (**VENTURA et al, 2001**).

En sols sodiques, le gypse améliore la structure en déplaçant les ions Na^+ du complexe absorbant et les remplacer par les ions Ca^{+2} , il s'agit de la désalinisation du sol (**ZAHOW et AMERHEIN, 1992; BATRA et al, 1997**).

En sols acides, le gypse change les propriétés de ces sols en déplaçant les ions Al et diminuant la toxicité par cet élément (**SUMNER, 1993 ; FARINA al, 2000**).

***Calcaire**, le constituant essentiel de calcaire est le carbonate de calcium, cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique (**DEOS HORTA, 1979; DJILI et DAOUD,1999; DJILI,2000**).

Le calcaire fournit le calcium qui provoque la floculation des colloïdes minéraux et organique du sol, action nécessaire à l'établissement d'un état structural, et permet au sol de créer les réserves, en éléments nutritif (**ELIARD, 1979**).

1-1-3-4-Le taux de sodium échangeable (ESP en %)(échange sodium pourcentage) :

Selon (**RICHARDS, 1954 in MADANI ; 2008**), il s'agit du pourcentage de sodium échangeable sur le complexe d'échange est exprimé par la formule qui suit:

$$\text{ESP} = (\text{Na} / \text{CEC}) 100$$

Na^+ : exprimé en meq/100 g de sol

CEC : exprimé en meq/ 100g de sol

La norme retenue par l'**USSS (1954)** pour le taux de sodium échangeable est de 15 % de la capacité d'échange cationique (CEC).

Selon la **FAO (1984)** la limite de classe pour le taux de sodium échangeable est donnée comme suit :

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

1-1-3-5-Le taux de sodium adsorbable (SAR; Sodium adsorption ratio);

Selon (**RICHARDS, 1954**) in **MADANI, 2008** c'est le taux de sodium adsorbable par rapport aux autres cations (Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺). La relation entre les trois cations est proposée par le laboratoire de Riverside, et s'exprime comme suit :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}}{2}}} \quad -\text{Na}^+, \text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++} \text{ exprimés en meq/l de la Solution dosée.}$$

D'après (**CHERBUY, 1991**), le SAR est un critère utilisé pour prévoir l'évolution de la composition du complexe d'échange et on peut distinguer deux cas :

- * Si le SAR > 10, il y a sodisation
- * SAR < 10, il y pas enrichissement du complexe d'échange en sodium

Le SAR donne une indication sur le risque d'alcalinisation par le Na⁺ du milieu

Le SAR constitue un critère d'appréciation de la qualité des eaux d'irrigation car il définit leur pouvoir alcalinisant (**RIEU et al, 1992**).

1-1-3-6- La matière organique (MO)

Selon (**HALITIM, 1988**), la matière organique est une substance qui n'a pas une composition chimique bien définie, elle comprend en proportions variables selon les situations écologiques les éléments suivants :

- Des débris organique pour ou non décomposés
- Des matières humifères ou en voie d'humification à des stades divers d'évolution

En matière agricole, il convient de faire la distinction entre la matière organique fraîche et celle humifiée. C'est cette dernière qui joue un rôle important dans la fertilité des sols par l'évolution biochimique qu'elle y subit et par les propriétés physico-chimiques qui en découlent (HUBER *et al*, 2011).

La matière organique du sol joue trois rôles essentiels:

- Energétique, comme source de carbone;
- Physique, comme élément majeur de la structure du sol;
- Nutritionnel, pour l'alimentation des plantes. Ces trois rôles dépendent des types de composés organiques, de leur quantité et de leur transformation.

Tableau 01: Rôles des matières organiques dans le sol

Rôle	Action	Bénéfice
Physique = cohésion	Structure, porosité	<ul style="list-style-type: none"> – Pénétration de l'eau – Stockage de l'eau – Limitation de l'hydromorphie – Limitation du ruissellement – Limitation de l'érosion – Limitation du tassement /compactage – Réchauffement
	Rétention en eau	– Meilleure alimentation hydrique
Biologique = énergisant	Stimulation de l'activité biologique (vers de terre, biomasse microbienne)	<ul style="list-style-type: none"> – Dégradation, minéralisation, réorganisation, humification – Aération – Croissance des racines
Chimique = nutritif	Dégradation, minéralisation	– Fournitures d'éléments minéraux (N, P, K, oligo-éléments...)
	CEC	– Stockage et disponibilité des éléments minéraux
	Complexation ETM	– Limitation des toxicités (Cu par exemple)
	Rétention des micropolluants organiques et des pesticides	– Qualité de l'eau

Source: Laboratoire CELESTA, gestion MOS, in (HUBER *et al*, 2011).

1-1-4-Les propriétés biologiques d'un sol

L'existence des sols nécessite la présence d'une activité biologique qui constitue un facteur majeur de leur évaluation et influe sur nombre de leurs propriétés des sols interagissent également sur les conditions de l'activité biologique qui s'y développe. Un équilibre s'instaure alors, pour les conditions énergétiques données (température, précipitation, gravité), entre les conditions des sols, qu'ils soient minéraux ou organique (biotope), et les organismes vivants qu'on y trouve (biocénose).

Ces organismes vivants, nombre et très divers, trouvent dans les sols une grande diversité de biotopes permettant leur développement, adaptés à leur tailles et leur besoins (CALVET, 2013)..

1-1-4-1-la faune de sol

La « Pédofaune » comprend un grand nombre d'organismes aux caractéristiques morphologique très variée. Tous ces organismes vivent dans l'espace poral du sol, ou leur localisation dans les pores dépend de leur taille (CALVET, 2013).

A- Microfaune (taille <0,2 mm), ces organismes sont présents en très nombre dans le sol. Ce sont principalement des protozoaires (amibes nues, thécamoebiens, ciliés, flagellés) et des nématodes. Ils vivent dans l'eau contenue dans les pores suffisamment grands pour les abriter.

B- Méso faune (0,2 à 4 mm), Elle comprend des microarthropodes : acariens, collemboles, diploures, protoures, petits myriapodes. A cela s'ajoutant des nématodes de grande taille et des enchytréides.

C-Macrofaune (4 à 80 mm), elle est aussi constituée d'une très grande variété d'organismes tels que des vers, des insectes, des myriapodes, des mollusques et des araignées. Les vers de terre représentent probablement la catégorie la plus important, tant par leur biomasse que par leur rôle dans les processus de transport et de biotransformatique se déroulant dans le sol. de nombreuses espèces possédant des caractéristiques physiologiques très variées ont été inventoriées, décrites et réparties en trois groupes écologique :

- Les espèces épigées : sont localisées près de la surface du sol,
- Les espèces endogées : vivent en profondeur
- Les espèces anéciques: se déplace dans tout le profil du sol (BOUCHE, 1972 ; LAVELLE, 1988).

D-Mégafaune (taille >80 mm), ce sont des animaux de grande taille (vertébrés, reptiles, amphibiens) qui utilisant le sol comme habitat.

1-1-3- Conclusion

Le sol est un système complexe, composé des phases liquide, solide et gazeuse en interface avec l'atmosphère, la lithosphère et l'hydrosphère. Un sol est défini par sa texture (proportion relative des différents constituants minéraux et organique, tels que sable, limon, argile, complexe argilo-humique, microflore et microfaune) et sa structure qui représente l'organisation spatiale de ces différents constituants (**RIVIERE, 1998**).

Les sols ont des propriétés chimiques et physiques critiques dont dépend leur capacité de fournir les éléments minéraux, l'eau et les autres facteurs nécessaires à une production végétale optimale. La décomposition des roches et des minéraux apporte les éléments minéraux aux sols. En plus des nutriments minéraux, les sols contiennent de la matière organique et des espaces libres occupés par de l'eau et des gaz proportions variables (**BRUAND et al, 2003**).

Chapitre2 : Les propriétés des eaux d'irrigation

1-2-1-Introduction

En Algérie, le problème de l'eau a commencé à se poser avec acuité durant cette dernière décennie qui est caractérisée par une sécheresse persistante provoquant la diminution des ressources en eau. Sur le plan pluviométrique, celui-ci se caractérise par l'insuffisance des précipitations et leur irrégularité dans l'espace et dans le temps (interannuelle et saisonnière). Les ressources en eau deviennent de plus en plus limitées, leur utilisations délicates et les besoins, autrefois essentiellement agricole (irrigation) se diversifient et s'accroissent rapidement (LOCIF SEIAD, 2003).

L'eau d'irrigation doit être considérée selon sa nature, sa quantité et sa qualité. Pour sa nature, la ressource peut être souterraine exploitée à partir de puits ou de forages, ou bien une source d'eau superficielle à partir des barrages, d'un écoulement ou un captage de source. A ce propos, l'agriculteur doit s'assurer de sa disponibilité au moment voulu pour irriguer, car la connaissance de la quantité d'eau disponible en période de pointe permet de déterminer la superficie à irriguer; et en qualité (bonne, médiocre ou mauvaise) pour savoir le niveau de traitement et de filtration nécessaires à son utilisation (KESSIRA, 2013).

1-2-2-Contraintes au développement de l'irrigation en Algérie

En Algérie, le développement de l'irrigation a été freiné par de nombreuses contraintes, si l'on considère que seul 45% du potentiel irrigable est actuellement irrigué. La principale raison de la stagnation constatée reste cependant l'orientation donnée par l'état jusqu'au début des années 80 à des secteurs considérés plus prioritaires que l'agriculture, tels l'industrie, l'énergie, etc.

En 1980, les infrastructures d'irrigation existantes n'étaient plus en mesure de fournir de l'eau d'irrigation avec une garantie acceptable pour les raisons suivantes :

- La construction des barrages se faisait à un rythme très lent.
- Les ressources en eau disponibles étaient attribuées, en priorités, aux eaux potables et industrielles.
- Le manque d'entretien et des déficiences de l'exploitation des infrastructures diminuaient l'efficacité des réseaux, qui ont parfois dû abandonnés.
- L'absence de système d'assainissement et de drainage, jointe au manque de lessivage des sols, ont conduit à des graves problèmes de salinisation (LOCIF SEIAD, 2003).

1-2-3-Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Une eau valable pour l'irrigation est toute eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites inscrites dans le tableau des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (voir tableaux 02 et 03).

Tableau 02: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

Paramètres	Valeurs limites
Température (°C)	35
pH	6.5 à 8.4
Conductivité électrique (ms/cm)	12
Fe (mg/l)	5
Mn (mg/l)	0.2
Salinité totale en mg/l	7680
Bore en mg/l	3
Azote nitrique (N-NO ₃ ⁻) en mg/l	30
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻) en mg/l	518
Sulfates (SO ₄ ⁻²) en mg/l	250
Aluminium en mg/l	5
Plumb en mg/l	5
Zinc (Zn) en mg/l	2

Source: (SEEE, 2007).

Tableau 03: Les normes de qualité des eaux d'irrigation

Type de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Élevée
-Conductivité (dS/m)	<0,75	0,75-3,0	>3
-Matières dissoutes totales (mg/litre)	<700	700-2000	>2000
RAS (Ration d'Absorption du Sodium)	<3	3-9	>9
Alcalinité ou dureté (équivalent en CaCO ₃)	80-120		>200
pH (risque de colmatage)	<7,0	7-8	>8,0
Fe mg/l (risque de colmatage)	<0,2	0,2-1,5	>1,5
Manganèse mg/l (risque de colmatage)	<0,1	0,1-1,5	>1,5

Source : (MAYNARD et HOCHMUTH, 1997).

1-2-4-L'irrigation avec des eaux de mauvaise qualité

L'irrigation des terres agricoles ne se fait pas toujours avec des eaux respectant les normes de qualité requises. Ces eaux de qualité physico-chimique médiocre peuvent provenir de plusieurs sources :

- Les eaux des nappes phréatiques ayant des teneurs élevées en sels.
- Les eaux de drainage chargées en sels et en nutriments.
- Les eaux usées brutes, domestiques ou industrielles ou les eaux usées mal traitées.

La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation devient de plus en plus une pratique courante notamment dans les pays semi-arides et arides tels que l'Égypte, Israël et la Tunisie. Cependant, cette réutilisation soulève différents problèmes d'ordre agronomique, environnemental et sanitaire.

Sachant aussi que les eaux usées épurées sont riches en éléments majeurs azote, phosphore, et potassium (**KEDDAL et YAON'DRI, 2007**).

1-2-5-Les propriétés des eaux d'irrigations

1-2-5-1-Propriétés physiques des eaux d'irrigation

De manière générale, l'eau possède un certain nombre de propriétés dues à la relation covalente d'une part et, d'autre part, à la liaison hydrogène existante entre les molécules d'eau (**ANDRE et CHRISTOPHE , 2004**).

Les teneurs en sédiments et en substances solubles de l'eau d'irrigation dépendent de son origine. Alors que les cours d'eau contiennent toujours des éléments en suspension et, en quantité limitée, des substances en solution, les plans d'eau permettent la sédimentation des particules fines mais offrent fréquemment des conditions favorables à la prolifération de micro-organismes. Les particules minérales, à l'exception des colloïdes d'argile dispersée, sont retenues facilement par contraste de densité ou filtration (filtre à sable et filtre à tamis). La petite taille des micro-organismes rend la filtration inopérante si bien qu'elle doit être accompagnée d'un traitement chimique. L'eau souterraine ne contient en général que peu d'éléments minéraux et organiques en suspension, mais peut présenter des concentrations en fer ou en calcium élevées (**MARC et al, 2007**).

C'est ainsi qu'on peut résumer les propriétés physiques des eaux d'irrigation comme suit :

1-2-5-1-1-La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH...etc (**RODIER, 2005**).

Pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (GHAZALI et ZAID, 2013).

1-2-5-1-2-Le pH

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7 et 100 fois plus grande que celle à pH 8. Plus la concentration en ion hydrogène est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation.

Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale (COUTURE, 2006).

1-2-5-1-3-La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (RODIER, 2005).

Elle s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (GAUJOUR, 1995)

La conductivité électrique est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation (MENS et DEROUANE, 2000).

1-2-5-1-4-La dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelques fois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium (RODIER ET al, 2009).

1-2-5-1-5-La turbidité

C'est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute (LANTEIGNE, 2003).

Les mesures de turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle de l'épuration des eaux brutes (RODIER, 2005).

La turbidité se mesure en unité néphélogétrie (NTU) (LANTEIGNE, 2003).

Il est recommandé d'effectuer la mesure de la turbidité aussi rapidement que possible après prélèvement; sinon l'échantillon doit être conservé à l'obscurité pour une durée maximale de 24 h, toute conservation prolongée peut provoquer des modifications irréversibles de la turbidité (GHAZALI et ZAID, 2013).

1-2-5-1-6-La densité

La masse spécifique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Par définition, celle de l'eau pure à 4°C est de 1g/ml. La densité d'un corps est égale au rapport de sa masse spécifique à celle de l'eau pure mesurée dans les mêmes conditions (**RODIER et al, 1996; MOHAND, 2001**).

1-2-5-1-7-Résidu sec

D'après (**RODIER et al, 1996**), la détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension; la mesure après filtration correspond aux matières dissoutes.

Ces valeurs peuvent être recoupées à partir de la conductivité et permettent d'apprécier la minéralisation de l'eau (**COMTE, 1995**).

1-2-5-1-8-Solides totaux dissous (TDS)

Les TDS rendent compte de la quantité de substance minérale dans l'eau. La concentration des TDS dans l'eau varie considérablement dans différentes régions géologiques à cause de la différence de solubilité des minéraux (**OMS, 2006**).

1-2-5-1-9-L'oxygène dissous:

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau (**RODIER, 1984**). Il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique.

L'oxygène dissous (O₂) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques (**HCEFLCD, 2007**).

L'eau saturée d'air à 20°C et sous la pression normale contient 9,1 mg/l d'oxygène.

On devra rechercher la cause de toute variation du taux; celle-ci pouvant être fonction de la présence de végétaux, des matières organiques oxydables; des germes et des organismes aérobies, ainsi que de la perturbation des échanges atmosphériques (**COMTE, 1995**).

1-2-5-2-Propriétés chimiques

L'eau est un excellent solvant. En effet, l'eau est le liquide qui dissout le plus grand nombre de substances. Ceci explique le fait que l'eau soit un milieu favorable au développement de la vie puisque l'on y trouve un grand nombre d'éléments primaires qui lui sont nécessaires (**ANDRE et CHRISTOPHE, 2004**).

1-2-5-2-1-Les anions

A-Les chlorures

Les chlorures sont très répandus dans la nature sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂). La présence de l'ion chlorure (Cl⁻) dans l'eau peut avoir diverses origines, telles que le passage à travers des terrains salés et l'exploitation des puits de pétrole (**PETTYJOHN, 1971**).

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (**RODIER, 2005**).

B-Les sulfates

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg /l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé (**RODIER et al, 2009**).

Le sulfate qui se dissout dans l'eau provient de certains minéraux en particulier du gypse, où apparaît à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux (**KEMMER, 1984**).

C-Les nitrates

Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles. Les nitrates constituent la composante principale de l'azote inorganique (**N_{inorganique}**) ou minéral, lui-même inclus majoritairement dans l'azote global (**NGL**) ou azote total (**NT**) avec une autre composante, l'azote organique (**N_{organique}**) (**RODIER et al, 2009**).

D-Les nitrites

Suivant l'origine des eaux, la teneur en nitrites est assez variable. La méthode à la sulfanilamide a une sensibilité de l'ordre de quelques microgrammes par litre. Sous l'action des phénomènes biologiques, l'équilibre entre l'ammoniaque, les nitrites et les nitrates peut évoluer rapidement. Il sera nécessaire d'en tenir compte pour l'interprétation des résultats et de prendre toutes précautions utiles pour la pureté des réactifs et la propreté de la verrerie. Il convient donc de procéder au dosage des nitrites le plus tôt possible après le prélèvement en le conservant à 4 °C (**RODIER et al, 2009**).

E-Les Bicarbonates

L'ion Bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO₂ à partir des minéraux contenant des carbonates (**RODIER, 2005**).

1-2-5-2-2-Les cations

A-Le Calcium

Le Calcium, est un élément qui varie comme le Magnésium et leur concentration dans l'eau dépend aussi du substrat géologique traversé (**BOUCHELAGHEM et al, 2004**).

B-Le Magnésium

Éléments indispensables à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, leurs origines sont naturelles (dissolution des roches magnésites, basaltes, argiles) ou industrielle. La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau (**KEMMER, 1984**).

C-Le sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément est origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation (**COUTURE, 2006**).

Le sodium est un métal alcalin. Son origine peut être :

- Naturelle (mer, terrain salé....) ;
- Humaine (10 à 15 g NaCl dans les urines/jour) ;
- Industrielle (potasse, industrie pétrolière) (**RODIER, 2005**).

D-Le Potassium

Le potassium est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature (**KEMMER, 1984**).

E-Matière en suspension (MES)

Directement liée à la turbidité, la DCO et la DBO₅, cette mesure évalue la teneur et la composition minérale et organique de matières en suspension dans l'eau. Des teneurs élevées peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer la teneur en oxygène dissous et par là-même limiter le développement de la vie aquatique (**COMTE, 1995**).

D'une façon générale, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions et d'adsorption, aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les microorganismes (COMTE, 1995).

1-2-6-Problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation

1-2-6-1-La salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{+2}), de magnésium (Mg^{+2}), de sodium (Na^+), de potassium (K^+), les chlorures (Cl), les sulfates (SO_4^{-2}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm). L'ancien nom de cette unité est le mmho/cm. Un mmho/cm est l'équivalent de 1 mS/cm qui est l'équivalent de 1 desiemens par mètre (dS/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel (COUTURE, 2006).

Les problèmes de salinité sont liés à la teneur en sels dissous de l'eau d'irrigation, mais il y a lieu de distinguer la concentration de l'eau et son effet direct et rapide sur la plante et la salinité qui va se développer plus lentement au niveau des racines, par accumulation. Dans ce dernier cas, la maîtrise de la salinification peut être assurée par un lessivage des terres à partir d'une eau de meilleure qualité, l'efficacité du remède étant fonction de la qualité de l'eau utilisée dans cette opération et du type de drainage pratiqué (LANDREAU et MONITION, 1977).

1-2-6-2-Tolérance des cultures à la salinité

Les sols salés influent sur le développement des cultures, entraînant une baisse des rendements. La salinité provoque une augmentation de la pression osmotique des solutions du sol empêchant l'absorption racinaire. En effet, les plantes absorbant l'eau par osmose, cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de leur sève et de solution du sol (ABDELHAFIDI, 2005).

1-2-6-3-Toxicité

Les problèmes de toxicité surviennent lorsque certaine constitution du sol ou de l'eau sont assimilés par les plantes et s'accumulent pour atteindre des concentrations préjudiciables aux

récoltes et aux rendements, la brûlure des feuilles constitue en général le premier symptôme. La toxicité peut ainsi se produire en irrigation par aspersion à partir d'une absorption directe par les feuilles des ions toxiques (ABDELHAFIDI, 2005).

1-2-6-4-Qualité de l'eau d'irrigation et problèmes de perméabilité des sols

Habituellement, l'effet sur la perméabilité est lié à une pauvreté en Ca et Mg ou à un excès de Na. Des problèmes de perméabilité peuvent se poser avec des eaux très pures, peu concentrées pour CE inférieure à 0,5 mmho/cm. De telles eaux sont corrosives et entraînent les sels solubles de la surface du sol. Les matériaux carbonates sont décomposés, dispersés et créent des obstacles à la circulation de l'eau. L'application de gypse constitue en ce cas un palliatif souvent efficace.

Les problèmes de perméabilité dus à une carence en Ca ou à un excès de Na peuvent être évalués par un concept relativement nouveau, le "SAR ajusté", d'abord défini à partir du taux d'adsorption du sodium et du résidu sodo-carbonaté (LANDREAU et MONITION, 1997).

1-2-6-5-Risques liés à la composition ionique des eaux d'irrigation

1-2-6-5-1-Risques liés au sodium

La toxicité due au sodium n'est pas aussi facilement identifiable que celle relative au chlore, mais certains cas ont permis de mettre en évidence très clairement des concentrations excessives de sodium dans l'eau (Na^+ ou SAR élevé).

Les symptômes caractéristiques sont la brûlure foliaire, et la nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles. Une teneur en sodium dans la tissu foliaire supérieure à 0.25-0.50% (sur la base du poids sec) est souvent en arboriculture d'une toxicité par le sodium (ABDELHAFIDI, 2005; BERKANI et BENARFA., 2005).

Tableau 04: Tolérance des cultures au sodium

Tolérance	SAR de l'eau d'irrigation	Récolte
Très sensible	2 à 8	Fruits, noix, citron, avocat
Sensible	8 à 18	Haricot
Résistance modérée	18 à 46	Trèfle, avoine, riz
Résistant	46 à 102	Blé, orge, tomates, betteraves

Source : (ANZECC, 2005).

1-2-6-5-2-Risque liée aux bicarbonates

L'abondance des ions bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau d'irrigation mérite aussi d'être évaluée. Dans le cas où l'eau d'irrigation contient un taux élevé de bicarbonates, on constate une tendance à la précipitation du calcium et du magnésium ce qui fait augmenter le SAR.

On considère que l'eau d'irrigation est inadéquate pour l'irrigation lorsque la concentration résiduelle de NaHCO_3 est supérieure à 1,5 méq/L. Par contre, si la concentration est en dessous de 1,25 méq / L, l'eau est probablement sécuritaire (NANCY, 1997).

1-2-6-5-3-Risque liées aux chlorures

Lorsqu'ils sont présents dans l'eau d'irrigation, ces éléments contribuent à augmenter la concentration des sels solubles. Des concentrations excessives de chlorures peuvent causer des brûlures sur le bout des feuilles de quelques plantes tels que le gazon et voire même entraîner leur mort.

Des concentrations de 250 à 400 ppm sont considérées comme indésirables pour l'irrigation des plantes sensibles aux sels. Heureusement, les sels de chlorure sont rapidement solubles. Ils peuvent donc être lessivés dans les sols qui se drainent bien (NANCY, 1997).

1-2-6-5-4-Risque liées au bore

Le bore (B) est un élément mineur essentiel à la croissance de la plante mais il n'est requis qu'en minime quantité. Le bore est soluble dans l'eau et on le retrouve dans plusieurs sources d'eau utilisées pour l'irrigation. Lorsque sa concentration dans l'eau excède 1 à 2 ppm, le bore peut être toxique pour quelques plantes telque le gazon. Le bore a tendance à s'accumuler dans le sol en formant des complexes chimiques qui sont difficiles à lessiver (NANCY, 1997).

1-2-6-5-5-Risque de colmatage des réseaux d'irrigation

Le colmatage d'un réseau d'irrigation est le bouchage d'eaux de précipitation des sels minéraux de l'eau d'irrigation, ce bouchage n'apparaît pas brutalement mais au cours des campagnes d'irrigation. Ces précipités sont dans la plupart du temps du au carbonate de calcium.

D'après (CHOSSAT, 2005), la mise à l'air libre des eaux riches en gaz carbonique et en calcium provoque au niveau des sorties des distributeurs le dégazage du CO_2 et le dépôt localisé de CaCO_2 (c'est le même phénomène qui se produit dans les sources dites

pétrifiantes). On trouve également des précipités de fer sous forme ferrique (de couleur brune rouge) et plus rarement des précipités de sulfates.

1-2-7-Classification de l'eau d'irrigation

1-2-7-1-Classification de l'eau d'irrigation selon GREENE, 1948 in MONITION, 1969.

Cette classification est basée sur la concentration et le pourcent de sodium défini par

$$\text{Na}\% = \frac{(\text{Na} + \text{K})}{(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K})} * 100$$

A cet effet, il suffit de tracer sur le diagramme la ligne brisée correspondant à l'échantillon, de prolonger la ligne dH (degré hydrotimétrique) Na jusqu'à son interaction avec un échelle alcalimétrique placée entre Na et Cl et telle que l'axe Na se trouve entre l'échelle dH et l'échelle GREENE. Les cercles repères figurés correspondent aux courbes limites de GREENE (MONITION, 1969).

1-2-7-2-Classification des eaux d'irrigation d'après DONEEN in MONITION, 1969.

Plus récemment, les services agronomiques américains ont établi des classifications d'eau d'irrigation faisant intervenir le pourcent de sodium, le Bore, l'ion Cl, l'ion SO₄ et la concentration (voir tableau 05), il s'agit de trois classes:

Classe 1: excellent à bon, convient à la plupart des végétaux et dans la plupart des cas.

Classe 2: bon à nuisible, nocif pour certains végétaux sous certaines conditions de sols et climat.

Classe 3: nuisible, ne convient pas dans n'importe quel cas :

Tableau05:Classifications d'eau d'irrigation faisant intervenir le pourcent de sodium, le Bore, l'ion Cl, l'ion SO₄ et la concentration.

Classe	Per cent Na $\frac{rNa * 100}{Na + rCa + rMg + rK}$	Bore en mg/l	Chlorure en m.eq/l	Sulfate en m.eq
1	< 30 à 60 %	0,5 en général des plantes peuvent supporter 1- 1,5 mg/l	< 2.5 à 5	< 4 à 10
2	30 à 75 %	0,5 à 2 mg/l Peut supporter 3,35 mg/	2 à 16	4 à 20
3	>70 à 75 %	> 2 mg/l	> 6 à 16	> 12 à 20

Source:(MONITION, 1969).

1-2-7-3-Classification des eaux d'irrigation D'après WILCOX

En agriculture, les deux facteurs importants dans la qualité de l'eau d'irrigation à savoir le sodium qui réduit la perméabilité des terrains et provoque un durcissement du sol(échanges avec Ca-Mg du sol) et la concentration exprimée en conductivité en micromhos ou en mg/lontétéconjuguéssurundiagrammetirédesthéoriesdeWILCOX(MONITION, 1969).

$$\% Na^+ = \frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + K^+} \times 100, \text{ où tous les éléments sont exprimés en méq / l}$$

1-2-7-4-Classification basée sur le SAR

$$\text{SAR} = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}} \quad (\text{en m.eq/l})$$

Classe 1: SAR inférieur 10 pour les eaux peu salées et à 2,5 pour les eaux salées. Eaux peu alcalisantes ne pouvant amener plus de 12% de sodium pour le complexe adsorbant des sols.

Classe 2: SAR compris entre 10 et 18 pour les eaux peu salées entre 2,5 et 7 pour les eaux très salées.

Eaux moyennement alcalisantes pouvant amener jusqu'à 20% de sodium sur le complexe adsorbant des sols (on considère qu'un sol est alcalisé quand il y a plus de 15% de sodium sur son complexe adsorbant.

Classe 3: SAR compris entre 18 et 26 pour les eaux peu salées 7 et 11 pour les eaux très salées. Eaux fortement alcalisantes, pouvant amener jusqu'à 27% de sodium sur le complexe adsorbant des sols.

Classe 4: SAR supérieur à 26 pour les eaux peu salées, à 11 pour les eaux très salées. Eaux très fortement alcalisantes pouvant amener plus de 27% de sodium sur le complexe adsorbant des sols (**MONITION, 1969**).

1-2-7-5-Classification basée sur l'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bicarbonates, de carbonates et d'hydroxydes. La détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux pH 8.3 et 4.3, le volume d'eau analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC) (**RODIER et al, 2009**).

1-2-8-Evaluation pratique de la qualité des eaux d'irrigation

Un comité de consultants de l'Université de Californie ont élaborer des orientations pour interpréter la qualité de l'eau d'irrigation en fonction des conséquences énumérées précédemment (toxicité, salinité).

Ces recommandations présentent une certaine souplesse et tentent d'évaluer le risque à long terme sur la production agricole.

Elles devraient être rajustées en fonction des expériences acquises sur les sols, les espèces cultivées et les méthodes d'irrigation. Les limites d'utilisation doivent être considérées à 10 ou 20% près étant donné les nombreuses variables qui entrent en jeu dans la production végétale (**LANDREAU et MONITION, 1997**).

1-2-9-Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation selon la FAO

Les directives pour l'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation mettent l'accent sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau d'irrigation sur la production des cultures, les conditions du sol et les techniques culturales. Normalement, on n'a jamais constaté de problèmes de sol ou de culture pour les valeurs jugées ne présentant aucune restriction pour l'irrigation.

Quand le degré de restriction est dans l'intervalle léger à modéré, une attention graduelle doit être accordée à la sélection des cultures et des techniques culturales alternatives si on veut réaliser de bons rendements.

Si la valeur de l'eau utilisée est égale ou supérieure au niveau de restriction sévère, l'utilisateur doit attendre à des problèmes de sol ou de cultures ; et même élevé de compétence est essentiel pour réaliser une production acceptable. Il est aussi recommandé qu'avant de commencer à utiliser une telle eau dans un grand projet, le conduire une série d'études pilotes pour déterminer les aspects économique et les techniques culturales qui doivent être mises au point.

Ces directives constituent une première étape pour détecter les restrictions dues à une eau d'irrigation, mais ceci n'est pas suffisant et des méthodes pour réduire les effets de cette eau sont nécessaires (**ELGABALYM, 1970**).

1-2-10-Conclusion

L'irrigation est pratiquée depuis l'antiquité pour stimuler voire doper la production agricole notamment dans les zones arides et semi-arides. Elle a dans ce sens une valeur inestimable, puisque elle crée la vie et la richesse.

L'irrigation permet la culture des terres incultes, que l'extrême sécheresse a voué à la stérilité de nos jours, l'accroissement des besoins alimentaires renforce le recours à l'irrigation, reconnue comme un facteur avéré d'intensification de la production agricole, de plus en plus nécessaire, y compris dans les pays humides.

En suivant ce long itinéraire, on se rend compte qu'elle est passée de la sécurité alimentaire et de la valeur ajoutée. C'est pourquoi, les frais d'installations et d'équipement d'une part et les frais d'autres parts doivent intervenir pour une large mesure dans le choix de la technique d'irrigation (**ZELLA et al, 2006**).

Deuxième partie: Matériels et méthodes d'étude

Chapitre 1: Etude du milieu physique

2-1-1-Introduction

La zone de Boussaâda se trouve dans une région désertique très peu étudiée particulièrement du point de vue pédologique et hydrologique.

Boussaâda est une commune de la wilaya de M'Sila, située à 69 km au Sud-Ouest de M'Sila et à 241 km au Sud-Est d'Alger

2-1-2-Présentation de la zone étudiée

Notre zone d'étude (Kef Tiour) appartient à la commune de Djebel Messaad située au Sud-Ouest du chef-lieu de la Wilaya de M'Sila, à une distance de 100 Km. Elle présente le dernier rempart entre le Nord et le désert, sujet d'influence désertique.

- C'est une entité naturelle d'un seul tenant.
- Sujet des pressions diverse surtout humain.
- Sujet de visite incessante (estivale et hivernale) de la population des communes environnantes.
- Site d'activités scientifiques diverses.

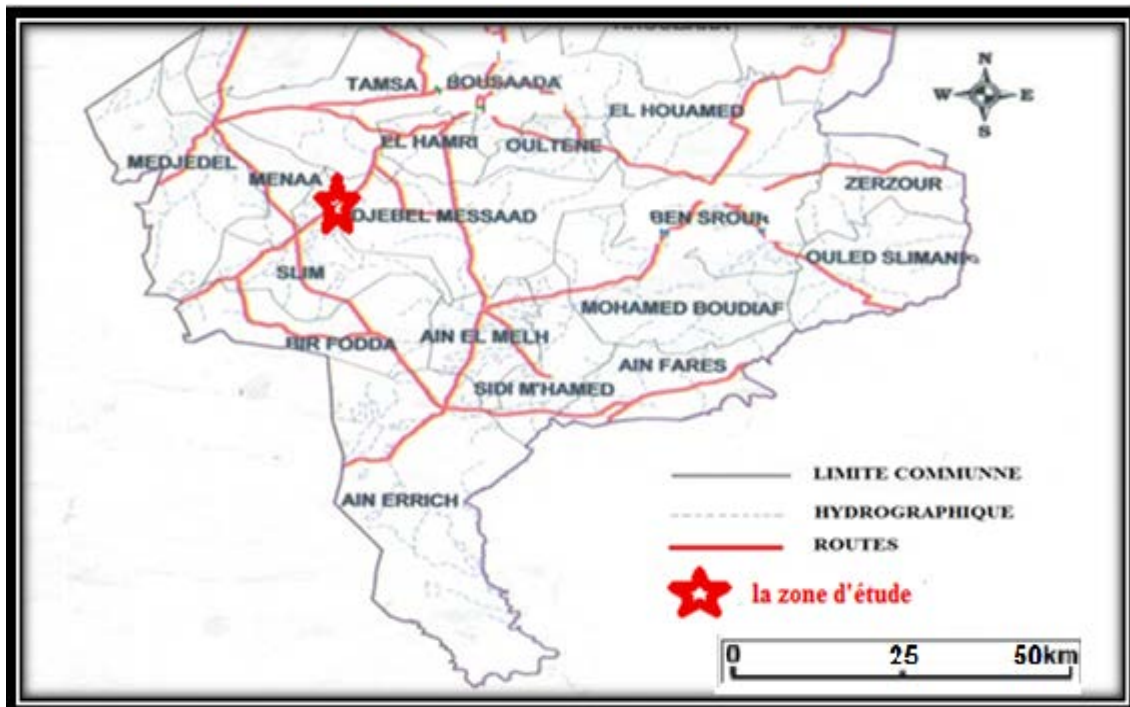


Figure 06: Carte administrative du Sud de M'Sila avec présentation de zone d'étude

D'après la circonscription de la forêt de Djebel Messaad (C.F.D.M), Djebel Messaad s'étend sur une superficie d'environ 34000 Ha, elle rattachée aux circonscriptions forestières de Djebel Messaad et Boussaâda et chevauche 03 dairates(ain el melh ; ben srour et djebel Messaad) 06 communes(el hamel ; tamssa ; slim,...ect)

La forêt est divisée actuellement en 12 cantons limités généralement par de grandes lignes de crête qui caractérisent son relief, ces cantons sont représentés dans le tableau 06

Tableau 06: Les cantons de Djebel Messaad et Boussaâda

Circonscription	Canton	Superficie (Ha)
Djebel Messaad	Fernane	5193
	Djebel Fernane	1035,66
	Draa Chehima	2182
	Bouferdjoune	2159
	Tsigna	3210
	Okfiane	2312
	Masmoudi	6430
	El Hamel	3227,8000
Boussaâda	El-Allig	1635,2500
	Maaleg	1679,3600
	Bounouara	535
	Triba	3895,2000

Source : (C.F.M,2011).

2-1-3- Relief de la zone d'étude

Située sur le versant Nord des monts d'Ouled Nail sur l'atlas saharien, ce paramètre du milieu physique qui joue un rôle déterminant quant à la nature de travaux d'aménagement à entreprendre (C.F.D.M., 2010).

L'altitude est généralement moyenne entre les deux valeurs minimales (800 m) et maximales (1667m)

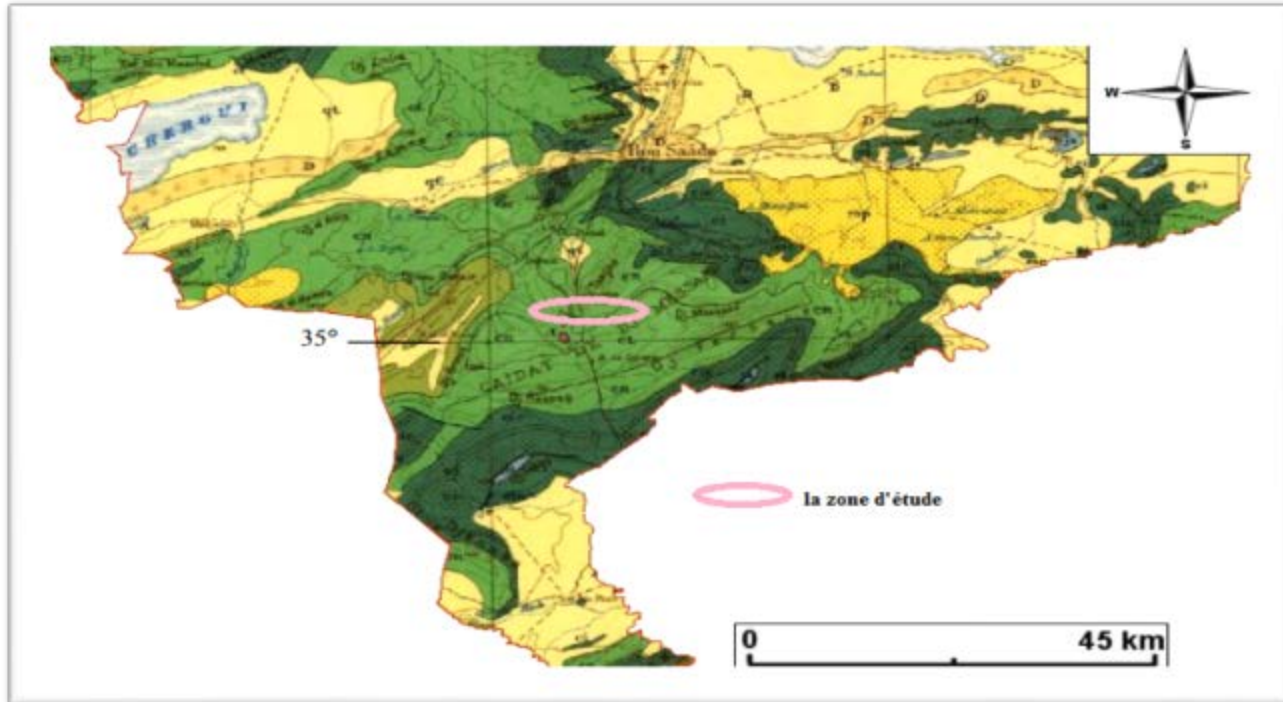
D'après la circonscription de la forêt de Djebel Messaad (C.F.D.M, 2010), la pente est généralement caractérisé par :

- ✓ Pentes moyennes occupent le bas versant
- ✓ Pentes fortes supérieures à 25% occupent les zones sommitales

2-1-4-Géologie de la région d'étude

Au niveau de Djebel Messaad on peut distinguer les unités lithologiques suivantes :

- Au Nord : synclinal de calcaires subrécifaux et calcaires lithographiques (calcaires et marnes).
- Au Sud : anticlinal et préclinial (grés, marne argileuse, dolomies, gypses)
- A l'Est : tertiaire continentale (sable et argile rouge)
- A l'Ouest : dépôts continentaux du quaternaire (limon et argile)



oa	Aquitaniens continentaux (pouvant inclure localement la base du Burdigalien)
oc	Oligocène continental (pouvant inclure localement l'Eocène sup ^r continental)
o	Oligocène marin incluant localement l'Eocène supérieur)
em	Eocène moyen marin
ec	ec Eocène moyen et inférieur continental
ei	Eocène inférieur marin
es	es Crétacé supérieur marin
csc	csc Crétacé supérieur continental
esm	esm Crétacé supérieur marin non subdivisé
cm	cm Crétacé moyen (marin ou lagunaire)
et	et Turonien
en	en Cénomaniens
c	c Crétacé marin non subdivisé
ci	Crétacé inférieur (Vraconien à Berriasien)
ci	ci faciès marins normaux
cir	cir " récifaux ou subrécifaux
cic	cic " continentaux ou lagunaires

Figure 07: Carte géologique de la wilaya de M'sila avec présentation de zone (A.N.R.H , 2005).

Selon la figure 07 la géologie de cette zone d'étude est : (cn) crétacé moyen cénomaniens

Cénomaniens, ce sont des formations situées au Sud de Boussaâda composées par une alternance de marnes argileuses, et dolomies–microcristallines et de bancs de gypse d'épaisseur variable. Au Nord de Boussaâda, les faciès de partie supérieure du cénomaniens sont différents. Ce sont des formations à nette prédominance carbonatée, dans lesquelles les horizons gypseux sont réduits.

2-1-5- Pédologie

Selon la conservation des forêts de Djebel Messaad(CFDM), les sols de la forêt de Djebel Messaad appartiennent à trois types de sols :

- Sols minéraux bruts d'érosion
- Sols calcimorphes (bruns de steppe, rendzine, rendzine dégradé, bruns calcaire)
- Sols évoluées à mull (brun à mull calcique)



Figure 08 : Carte pédologique de la région d'étude (A.N.R.H, 2005)

Selon la carte pédologique le sol de notre zone d'étude est : sol alluvial.

2-1-6- Les activités de la région

La région de DjbelMessaad se caractérise par les activités suivantes :

- L'élevage traditionnel Cheptel :(Ovin, Caprin, Bovin) plus de 50.000 têtes
- L'agriculture
- L'artisanat

Tableau07: Répartition des zones agricoles dans la commune de Djebel Messaaaden hectares:
Saison agricole (2015/2016)

	Commune djebel Mssaad	
Zone exploitée (H)	6250	
Grains	3523	273
Alimentation	622	622
Légumes	215	215
Pomme de terre	03	03
Les arbres fruitiers	75	75
Olive	326.5	260
Superficie irriguée (H)	1448	1448

Source : (C .F.M.D) (M'SILA), 2010

La zone se caractérise aussi par l'élevage des moutons, chèvres, des vaches et des poules (voir tableaux 08 et 09)

Tableau08: Elevages des animaux dans la commune de Djebel Messaad

	Commune djebel Mssaad
Moutons	40354
Chèvres	5110
Vaches	178

Source : (C.F .M.D) (M'SILA), 2010

La zone caractérisée par la production animale comme l'élevage des poules (voir tableaux 09)

Tableau09: Elevage des poules

	Commune djebel Mssaad
Nombre des poulaillers	28
Capacité d'élevage	96000

Source : (C.F.M.D), 2010

2-1-7-Les ressources en eau dans la zone de Djebel Messaad

La zone de Djebel Messaad se caractérise par les ressources hydrauliques suivantes: Forages profonds, Forages traditionnels, Barrages d'eau, Forages pastoraux, Puits, Etangs d'eau, Barrages (voir tableau 10).

Tableau10: Les ressources d'eaux de la zone de Djebel Messaad

Les resLPsources hydrauliques	2013	2014	2015	2016	2017
Forages profonds	230	234	248	250	260
Forages traditionnels	98	101	101	101	102
Barrages d'eau	0	0	0	0	0
Forages pastoraux	12	12	122	12	12
Puits	2	2	2	2	2
Etangs d'eau	0	0	0	0	0
Barrages	1	1	1	1	1

Source : (C.F .M.D), 2010

2-1-8- Climat de la zone étudiée

Le climat constitue un facteur essentiel qui règle l'existence et la répartition des êtres vivants sur terre (BENSALEM *et al*, 2008).

Durant la période de développement, les températures sont en corrélation très étroite avec le développement morphologique de la plante (LAMAIRE et SALETTE, 1982)

Suit à l'absence de station météorologique dans la zone étudiée, nous utiliserons les données climatiques de la station de Djelfa (tout en suivant la méthode d'extrapolation de ces données par rapport à la zone d'étude qui a une altitude de 993 m)

2-1-8-1- La température

Selon (DREUX, 1980in C), à côté de la pluviométrie, la connaissance des données sur la température est très importante lors d'une étude climatique, à savoir agronomique aussi.

Durant la période de développement, les températures sont en corrélation très étroite avec le développement morphologique des plantes prélèvement (LAMAIRE et SALETTE, 1982)

Les températures moyennes minimales et maximales (2000-2016) sont représentées dans le tableau 11 et la figure 09.

Tableau 11: Les températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (°C).

	JAN	Fev	Ma	Av	My	jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
T (°) mini	1,01	1,68	3,98	6,53	10,85	15,07	18,54	17,73	14,76	10,51	4,42	1,46
T (°) max	9,92	11,02	15,39	19,19	23,94	30,18	34,47	33,53	27,28	22,13	22,98	17,06
T (°) moy	4,89	5,83	9,8	20,76	17,96	23,57	27,67	41,39	32,92	16,43	8,83	9,29

Source : Station météorologique de Djelfa, 2016.

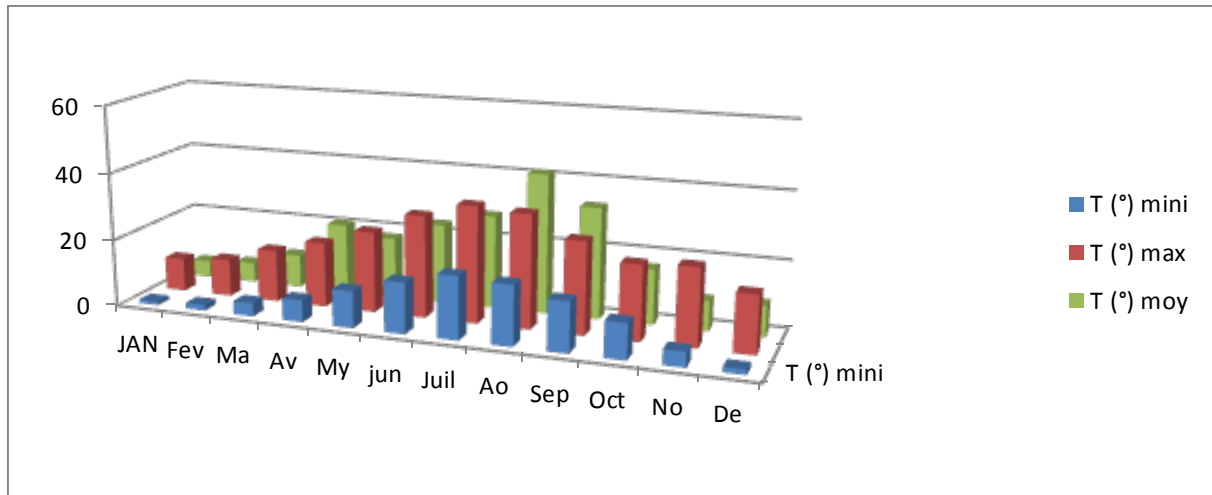


Figure 09: Courbes des températures mensuelles (maximales, minimales et moyenne) durant la période de (2000 /2016) .

A travers les données énoncées dans le tableau 10, on remarque que les hivers sont froids avec des minimas de 0,9°C en Janvier et 1,7°C en Décembre. Les étés sont chauds avec des maximas de 29,8°C en mois d'Aout.

2-1-8-2- Les précipitations

Selon (HIRECHE, 2007), les précipitations caractérisent la balance climatique d'une région; par leur intensité, fréquence et irrégularité, les pluies ont une influence énorme sur le modèle de la région.

Les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies (DUBIEF, 1953).

On désigne sous le terme général de pluviométrie la quantité totale de précipitation reçue par unité de surface et unité de temps. Elle constitue un facteur écologique d'importance fondamentale et la répartition des écosystèmes (RAMADE, 2003).

Le tableau 12 et la figure 10 résument les moyennes mensuelles des précipitations enregistrées durant la période qui s'étale entre 2000 et 2016.

Tableau 12: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

	JAN	Fev	Ma	Av	My	jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
précipitation m/m	22,08	24,69	24,14	25,87	23,82	16,52	9,97	21,47	35,69	28,49	37,4	25,1

Source : station météorologique de Djelfa, 2016.

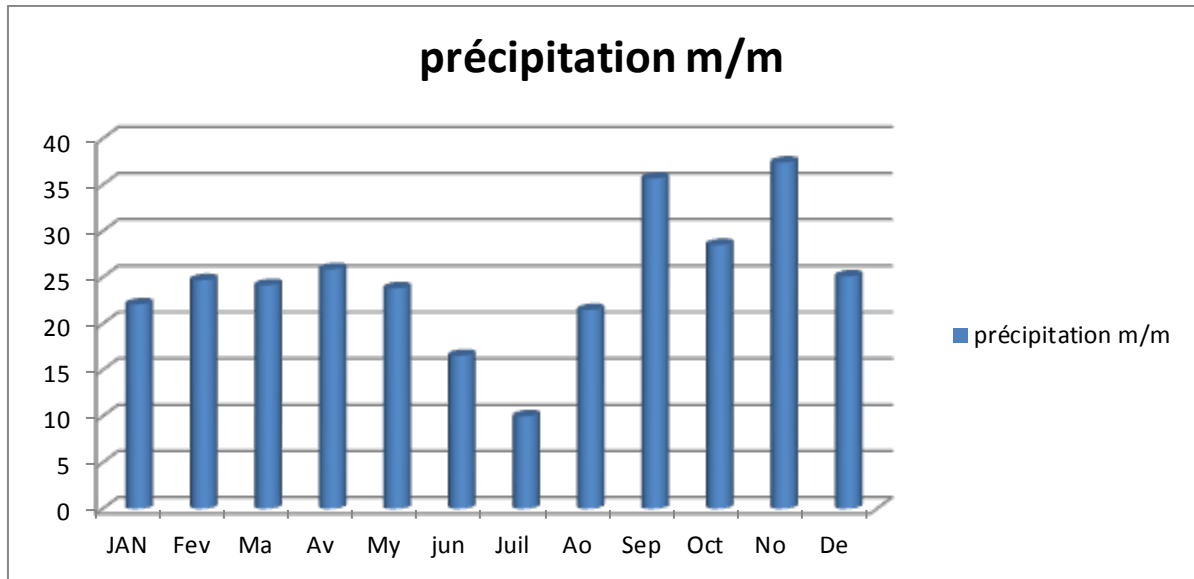


Figure 10: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

D'après la **figure 10**, nous remarquons que la quantité pluviométrique est répartie d'une manière relativement hétérogène pour les périodes pluvieuses. Les précipitations mensuelles dans le mois du Novembre représentent une forte valeur (37.4 mm) c'est le mois le plus pluvieux, Alors que le mois le plus sec est le mois de Juillet qui représente une basse valeur (9.97mm).

2-1-8-3- Le vent

Le vent est un agent de dispersion des animaux et des végétaux, qui exerce une action modification indirecte sur la température et l'humidité (**DAJOZ, 2006**).

D'après (**DUBIEF, 1953**), le vent est un phénomène continu au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce aux particules sableuse qu'il transporte.

Tableau 13: Vitesses moyennes mensuelles des vents en (m/s) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

	JAN	Fev	Ma	Av	My	jun	Juil	A
Moy.vit.vent m/s	4,86	5,38	3,86	5,48	4,97	4,74	4,43	

Source : Station météorologique de Djelfa, 2016

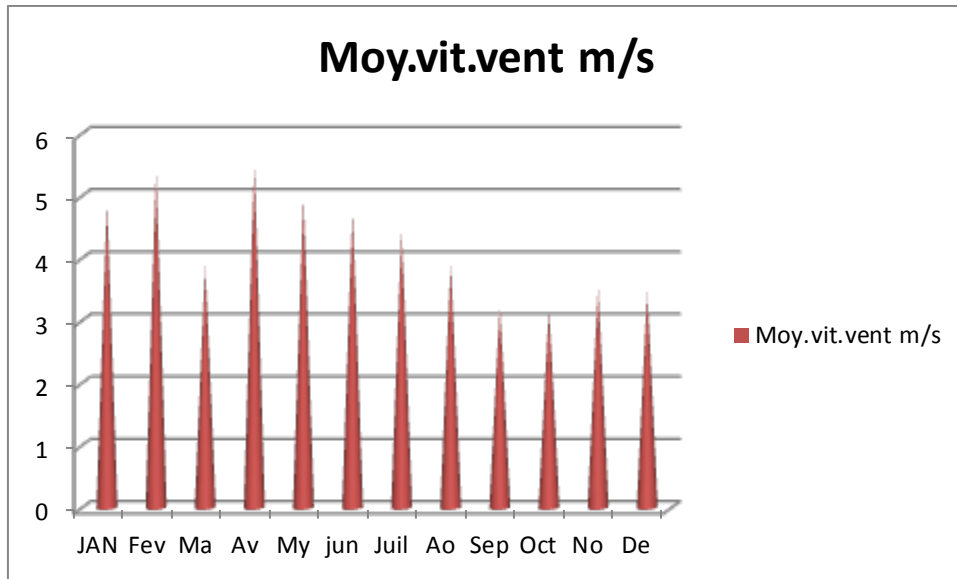


Figure 11 : Variations des vitesses moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

A partir du **tableau13** qui représente la vitesse du vent, on constate que la valeur maximale du vent est de 5,48 m/s enregistrée en Avril et 5,35 m/s en Février alors que sa vitesse minimale est de l'ordre de 2,22 m/s au mois de Septembre.

2-1-8-4- Humidité

L'humidité relative est définie comme le rapport entre la quantité de vapeur d'eau qu'un volume contient à une température donnée (humidité absolue) et la quantité maximale de vapeur d'eau que ce même volume peut contenir à la même température (humidité à saturation). L'humidité relative est exprimée en pourcentage (**LAFFONT, 2015**)

L'humidité est un paramètre essentiel pour les calculs des besoins en eau d'une culture.

Tableau 14 : L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

	JAN	Fev	Ma	Av	My	jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Humidité (%)	72,79	71,36	63,24	56,71	49,92	39,09	32,84	37,2	51,84	61,38	74,25	79,15

Source : station météorologique de Djelfa, 2016.

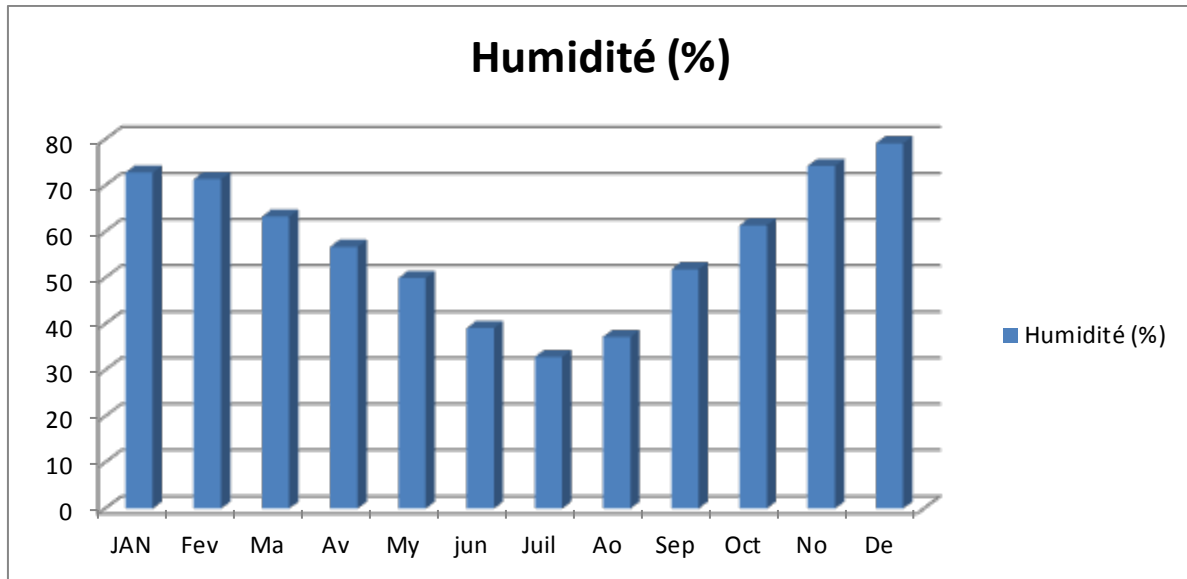


Figure 12 : L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de Boussaâda durant la période (2000-2016).

Les valeurs signalées au **tableau** ci-dessus indiquent que le mois de Décembre est le plus humide avec un pourcentage de 79,15 % par contre le taux d'humidité le plus faible est noté au cours du mois de Juillet avec 32,84%

2-1-8-5-Evaporation

Tableau 15: Evapotranspiration en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

	JAN	Fev	Ma	Av	My	jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Evaporation (m/m)	44,98	55,82	90,38	115,57	144,88	198,82	240,69	224,18	150,12	101,73	55,37	38,11

Source : station météorologique de Djelfa, 2016.

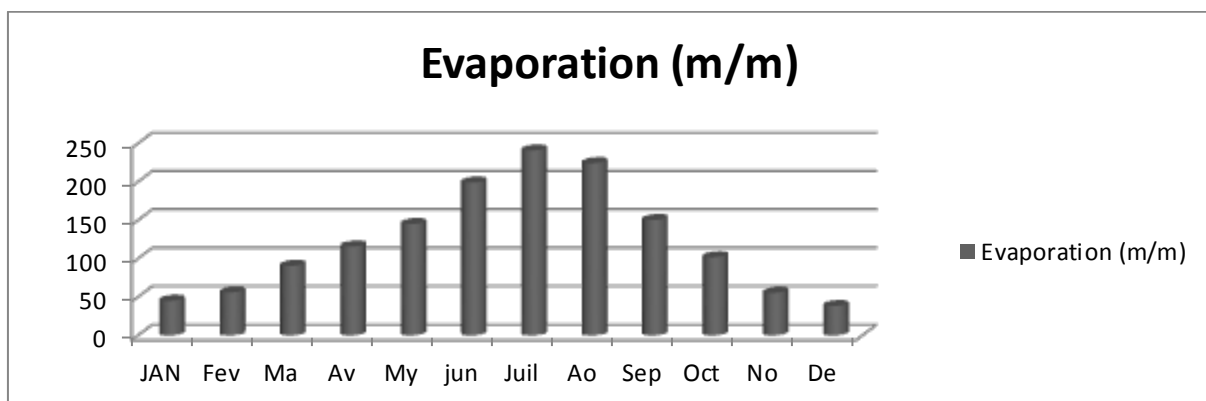


Figure 13 : Evaporation de la station de Djelfa durant la période (2000-2016)

Pendant les années d'observations (2000-2016), le maximum de l'évaporation a été enregistré au mois de **Juillet** avec 240,90 mm, alors que le minimum a été mesuré au mois de **Décembre** avec 38,11mm.

2-1-8-6- Gelées et Neige :

La topographie influence la fréquence et l'intensité des gelées (Stewart1969-1985) celles-ci sont beaucoup plus observées dans les bas fonds que sur les sommets du versant en raison de la forte ventilation qui permet le renouvellement permanent de la couche d'air en contact avec le sol.

Les gelées affectent la culture en période de floraison .il serait donc nécessaire d'éviter que la période de floraison coïncide avec le mois pendant lesquels les gelées sont importante.

Tableau 16: Le nombre moyens des jours de gelées et le neige par mois de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

	JAN	Fev	Ma	Av	My	Jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Nj de Gelée	15,27	10,18	3,91	0,91	0	0	0	0	0	0,09	4,45	10,18
Nj de Neige	2,09	2,09	1,18	0,27	0	0	0	0	0	0	0,18	1,64

Source : station météorologique de Djelfa, 2016.

Dans la zone d'étude, il gèle en moyenne 11 jours par l'année .les gelées se manifestent des le mois de novembre jusqu'un mois de Mars.

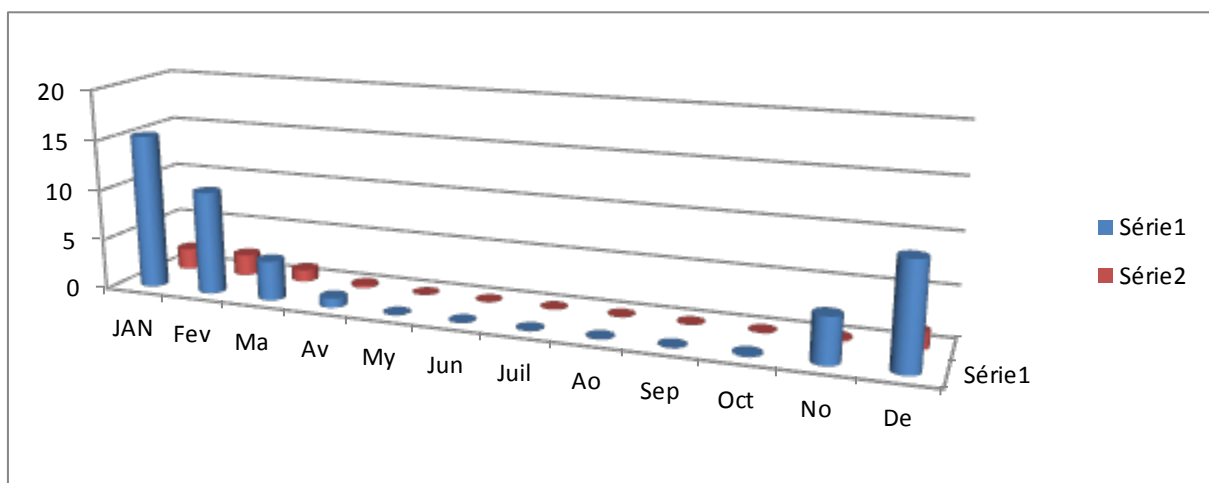


Figure 14 : Gelée et Neige de la station de Djelfa durant la période (2000-2016)

2-1-8-6- Synthèse climatique de la zone d'étude

A- Diagramme Ombrothèrmique de Gausсен et Bagnouls

Le diagramme ombrothèrmique de Gausсен et Bagnouls permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la pluviosité est double de la température.

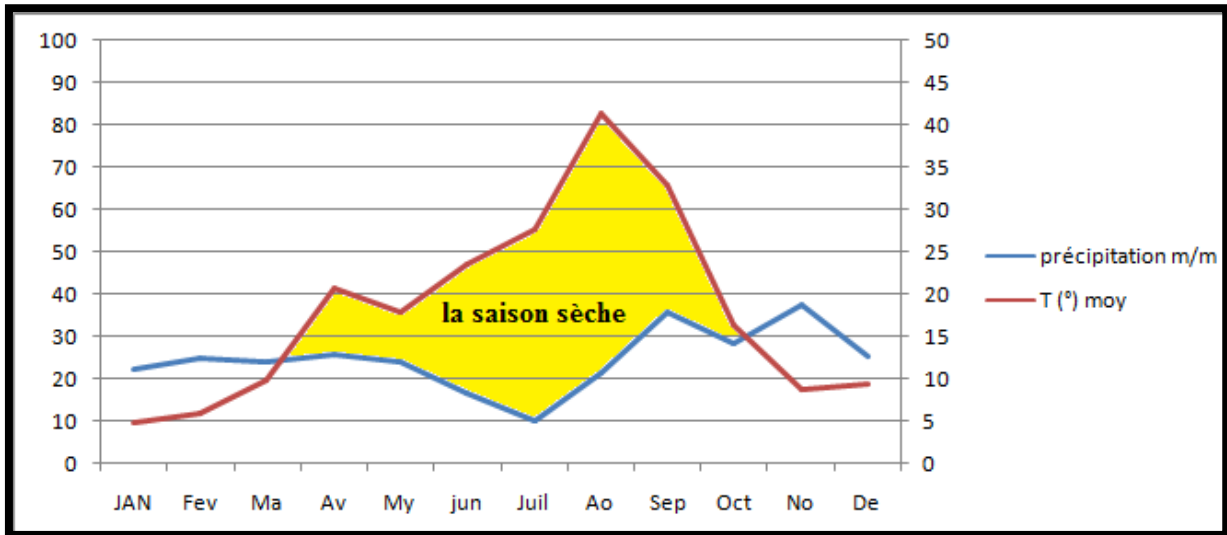


Figure 15: Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude (2000-2016).

D'après la **figure 15**, on remarque que la saison sèche s'étend du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai ; M'Sila indiquant l'impossibilité d'y pratiquer l'agriculture pluviale, donc la production agricole dépend normalement entièrement de l'irrigation durant l'année agricole.

B- Climagramme d'Emberger

EMBERGER a défini pour le bassin méditerranéen un quotient pluviométrique qui

tient compte à la fois de la température et de la pluviométrie qui se calcule comme Suit :

$$Q_2 = 3,43 \frac{P}{M - m}$$

Q: Le quotient pluviométrique

P : Précipitations moyennes annuelles en mm.

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en Kelvin ($^{\circ}\text{C} + 273$).

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en Kelvin.

Tableau 17: Valeurs du quotient pluviothermique de la région d'étude.

Données	P (mm)	m (°C)	M (°C)	M-m (°C)	Q2
Station (Djelfa)	295,24	1,01	34,47	33,46	30.26

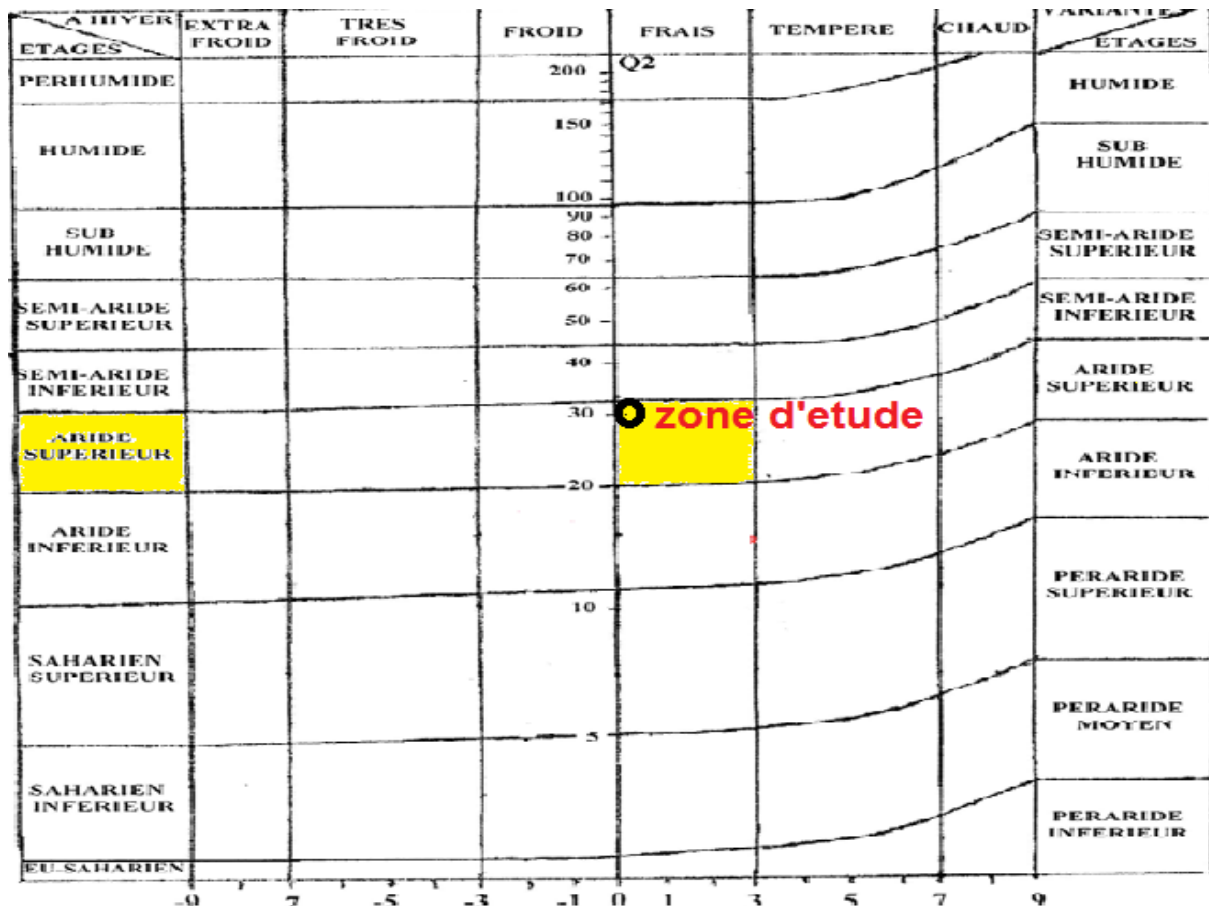


Figure 16: Climagramme D'EMBERGER avec une représentation de l'emplacement du climat de la zone d'étude durant la période qui s'étale entre 2000 et 2016

L'étage bioclimatique dans la région d'étude (Djelfa), aride supérieur sur le diagramme D'EMBERGER.

Suite à la représentation de la valeur de $Q_2=30,26$ sur le Climagramme, nous constatons que notre zone (Kef Tiour) qui est située pas loin de Djelfa, appartient à l'étage bioclimatique aride supérieur.

2-1-9-Conclusion

Au terme de ce chapitre nous pouvons dire que la zone d'étude se caractérise par:

- Une formation géologique de type (cn) crétacé moyen cénomanien
- De point de vue pédologique, notre sol est alluvial.
- Des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 295,24 mm/an Et des températures moyennes de 14.73⁰C.
- un manque de précipitations qui a entraîné l'approvisionnement en cultures de cultures agricoles pendant la saison sèche
- La station de la zone d'étude se situe dans la zone climatique aride supérieur.

Chapitre 2: Méthode d'étude

2-2-1-Choix de la région d'étude

La réalisation de ce travail s'inscrit dans le but de la détermination des propriétés physico-chimiques des sols et des eaux d'irrigation de la zone choisie, visant une connaissance de leur potentialités agricoles et une identification des contraintes auxquelles se trouve confrontée le secteur agricole dans cette zone. Sachant que celle dernière n'a jamais bénéficiée d'études scientifiques dans notre domaine (agricole).

2-2-2-Période de prélèvement et échantillonnage du sol et d'eau d'irrigation

Nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage au début de mois d'Avril 2017, au niveau de la région de Kef Tiour; que ce soit pour les échantillons des sols (S1 et S2 (à partir des profils)) et ceux des eaux d'irrigation à partir des 3 forages (K, S1, S2).

2-2-3-Les analyses au laboratoire

Les analyses ont été effectuées (que ce soit pour les échantillons des sols ou des eaux) au laboratoire de pédologie, département des sciences Agronomiques, faculté des sciences à l'Université de M'Sila.

2-2-3-1-Le sol

Les échantillons du sol ont été broyés, tamisés à 2 mm et conservés dans des sachets en plastique (sauf ceux destinés à la détermination de la densité pour calculer la porosité totale de chacun des échantillons prélevés).

A-Analyses des caractéristiques physico-chimiques

A-1-Le pH

Le pH (eau) est déterminé dans une suspension de terre fine et d'eau distillée. Le rapport sol/liquide est égal à 1/2.5. La lecture se fait à l'aide d'un pH-mètre (pH-mètre étalonné à l'aide d'une solution tampon de pH connu; pH = 7).

Le pH (KCl) est mesuré de la même manière que le pH (eau) mais la lecture est faite après une nuit de contact entre la terre et la solution.

A-2-La conductivité électrique

La méthode de mesure consiste à mélanger l'échantillon de sol avec une quantité d'eau suffisante pour obtenir de fortes dilutions. Le rapport sol/eau est en général de 1/5 ou 2/5. Ce rapport est le même quel que soit la texture de l'échantillon (WADE,1998).

A-3-Lecalcaire totale (CaCO_{3t} %)

Il est le plus souvent, la valeur de calcaire déterminé par "Calcimètre de Bernard". Le principe de dosage est fondé sur la réaction caractéristique suivante :



C'est la mesure de CO₂ dégagé suite à l'action d'un excès d'acide Chlorhydrique sur un point connu de l'échantillon.

Le volume de CO₂ dégagé est proportionnel à la quantité de carbonate de calcium existante dans l'échantillon analysé :

$$\text{Taux de CaCO}_{3t} (\%) = \frac{P'.V}{P.V} \times 100$$

P : Poids de prise d'essai de l'échantillon.

P' : Poids de CaCO₃.

V : Volume de CO₂ dégagé par l'échantillon.

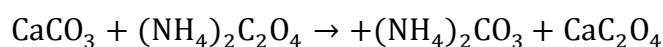
v : Volume de CO₂ dégagé par CaCO₃.

A-4-Calcaire actif

Le calcaire actif est une partie de calcaire total qui se trouve dans le sol à des dimensions très fines.

Pour doser le calcaire actif, on a exploité la propriété de calcaire à se combiner aux oxalates pour précipiter sous forme d'oxalate de calcium.

Alors le principe de dosage se résume comme suit :



L'oxalate précipité est déterminé par l'infiltration et l'oxalate en excès est dosé par manganimétrie.

A-5-Le carbone organique et la matière organique

Le carbone organique est déterminé par la méthode de (WALKLEY et BLACK), le résultat obtenu est multiplié par 1,72 pour arriver au pourcentage de MO.

La mesure est basée sur la transformation du carbone en gaz carbonique sous l'action d'une quantité connue d'un oxydant puissant; le bichromate de potassium en milieu acide (acide sulfurique)

On admet que l'oxygène consommé est proportionnel au C que l'on veut doser.

Le bichromate en excès est titré par un réducteur (sulfate de fer et d'ammonium).

A-6-L'analyse granulométrique du sol

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détermination de la texture des sols. Dans notre cas on a suivila méthode internationale à la pipette de Robinson,qui permet de connaître la répartition des particules minérales inférieures à (2mm), selon des classes de grosseurs, il s'agit de connaître ou de déduire la répartition des particulesminéralesd'un échantillon selon les différentes fractions granulométriques (**BAIZE, 1988**).

Selon cette méthode, la destruction de la matière organique et le ciment de calcaire est faite respectivementpar l'eau oxygénée (H₂O₂) et le (HCl), la dispersion des particules (colloïdes) est réalisée par addition de l'hexa-méta-phosphate de sodium.

Le prélèvement des argiles et deslimonsfins a été effectué par la pipette de Robinson; tandis que les sables (grossiers et fins) ont été récupérés par tamisageet enfin les limons grossiers par différences par rapport à 100%.

La composition granulométrique est exprimée en pour cent (%). Cette analyse sert à déterminer la texture du sol par l'utilisation du triangle texturalet dans notre cas on a utilisé celui de Jamagne.

A-7-La porosité totale

La porosité totale d'un sol s'exprime en pourcentage par la formule:

P

$$(\%) = (1 - (d_a/d_r)) \times 100.$$

Le prélèvement volumique (V) est effectué avec un cylindre métallique (volume connu =250 cm³) directement enfoncé dans le sol puis retiré rempli de terre. L'échantillon est recueilli, séché et pesé (P sec)et le résultat à servir de calculer la densitéapparent.

En ce qui concerne le calcul de la densitéréelle , on a utilisé la méthodede pycnomètre.

A-8-L'humidité résiduelle du sol

C'est la teneur en eau de l'échantillon; l'humidité d'un échantillon est déterminée par différence de poids. Une prise d'essai (P1) est prélevée et passée à l'étuve à 105°C pendant 24h.

Après 24h l'eau contenue dans l'échantillon s'évapore, l'échantillon est pesé de à nouveau, après l'avoir laissé refroidir au dessiccateur, on aura le poids (P2), l'humidité du sol est égale à:

$$H \% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

En prenant en considération que l'utilisationde capsule en verre à couvercles rodés permet d'éviter une ré-humectation au cours du transport de l'étuve à la balance.

A-9-Le Phosphore assimilable (JORET-HEBERT 1955)

Le dosage du phosphore assimilable est basé sur la formation et la réduction d'un complexe de l'acide phosphorique et de l'acide molybdique. Dans la solution d'oxalate d'ammonium contenant un phosphate, l'addition d'un réactif sulfo-molybdique et d'une solution d'acide ascorbique provoque par chauffage le développement d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en ortho-phosphates(LAMBERT, 1975).

A-10-La CEC

Les méthodes utilisées pour la détermination de la CEC varient selon le type de sol; dans notre cas (sols des zones arides et semi-arides) on a suivi la méthode d'extraction par:

-Acétate de sodium à 1N pour l'extraction de Ca, K et Mg

-Lavage à éthanol

-Déplacement du sodium par une solution d'acétate d'ammonium (1N) puis déterminer la CEC.

Et enfin le Na^+ : est dosée par spectrophotométrie à flamme.

2-2-3-2-L'eau

A-Analyse des eaux d'irrigation

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif, et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Un prélèvement correct est indispensable à l'obtention de résultats analytiques significatifs, il est tout aussi important de connaître le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'arrivée au laboratoire(RODIER, 1984; RODIER *et al*, 1996).

A-1-Mode de prélèvement de l'eau d'irrigation (à partir des forages)

Les échantillons ont été prélevés dans des flacons en plastique de 250 ml, ces derniers sont rincés avec l'eau de forage, puis remplis jusqu'au bord et fermés directement sans laisser de bulles d'air, puis conservés dans une glacière à 4°C et 6°C.

A-2-Détermination des paramètres physico-chimiques

A-2-1-La température

Une température élevée des eaux cause une diminution de la solubilité des gaz (oxygène). C'est ainsi par exemple que l'augmentation de la température favorise l'autoépuration et accroît la vitesse de sédimentation.

D'après (RODIER et al, 1996), la mesure de la température s'effectue sur terrain et au laboratoire. C'est ce qui a été fait dans notre cas, par l'utilisation d'un multi-paramètre muni d'un thermomètre.

A-2-2-Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène (H^+) de la solution, il est mesuré à l'aide d'un pH mètre.

A-2-3-La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par Mètre (S/m) : $1\text{ S/m} = 104\ \mu\text{S/cm} = 103\text{S/m}$.

La conductivité électrique des eaux d'irrigation analysées est mesurée à l'aide d'un conductimètre.

A-2-4-Le Résidu sec

La méthode de détermination de RS est homologuée par AFNOR, T90, 029 1970; une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée, le résidu desséché est ensuite pesé (RODIER et al, 1996).

A-2-5-Les Chlorures (Cl^-)

Les ions chlorures réagissent avec les ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble précipitant quantitativement (LADJEL, 2009). Et c'est la méthode utilisée, il s'agit d'une titration avec une solution de Nitrate d'Argent

A-2-6-Les Nitrates (NO_3^-)

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du para-nitro-salicylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm (ISO 7890/3, 1994).

A-2-7-Les Nitrites

Les nitrites (NO_2^-) sont dosés suivant la méthode colorimétrique.

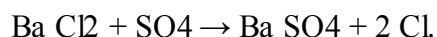
Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N-1-Naphtyl-éthylène-diamine dichloride donne une coloration rose mesurée à 543 nm (ISO 6777, 1994).

A-2-8-Les Sulfates

La concentration en ions sulfate des eaux naturelles est variable, leur présence résulte de la légère dissolution des sulfates de calcium, des roches gypseuses, de l'oxydation des sulfures

dans les roches (pyrites), des matières organiques d'origine animale (**BELOUADAH et KHERMOUCHE, 2003**).

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de $BaCl_2$ (RODIER, 1996):



A-2-9- Le Calcium (Ca^{++})

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A à pH compris entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence de murexide. L'E.D.T.A Réagit tout d'abord avec les ions des calciums libres, puis avec les ions calciums combiné avec d'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur violet (**RODIER et al, 1996**).

A-2-10- Le Magnésium (Mg^{++})

Le magnésium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A., ce dosage se fait en présence de noir eriochrome. L'E.D.T.A. réagit tout d'abord avec les ions du magnésium libre, puis avec les ions magnésium combiné avec d'indicateur qui vire alors de la couleur violet à la couleur bleue (**RODIER et al, 1996**).

A-2-11- Dosage du sodium et du potassium

La photométrie de la flamme (JENWAY) est un des procédés les plus rapides et sensibles d'analyse du sodium et du potassium sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

Les résultats sont donnés directement en mg/l (**ISO 9964/3,1990**).

A-2-12- Les carbonates et les bicarbonates

Les carbonates n'existant qu'à des pH > 8,3 et les bicarbonates si le pH est compris entre 4,4 et 8,3 (**RODIER et al, 2009**).

Au cours d'un dosage cimérique doublé d'une mesure de pH, à quel moment ces ions sont encore présents ou non dans l'échantillon.

A-2-13- L'Alcalinité (TA, TAC)

La détermination de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide en présence d'un indicateur coloré.

On distingue deux types d'alcalinité:

TA: titre alcalimétrique qui représente la teneur en bases fortes contenues dans l'eau (OH^- , CO_3^{2-})

TAC: titre alcalimétrique complet qui représente la teneur en bases fortes et en bases faibles (OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^-) (RODIER, 1984).

A-2-14-Matière en suspension

L'eau à analyser est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle (RODIER *et al*, 2009).

Troisième partie: Résultats et discussion

3-1-Introduction

La caractérisation morphologique et analytique des sols, et la détermination de la qualité d'eau d'irrigation sont deux étapes considérées comme les plus importantes pour toute étude hydrologique et pédologique, qui viennent avant toute interprétation et proposition d'un projet d'aménagement; et c'est la méthode qu'on a essayé de suivre lors de cette troisième partie de notre étude.

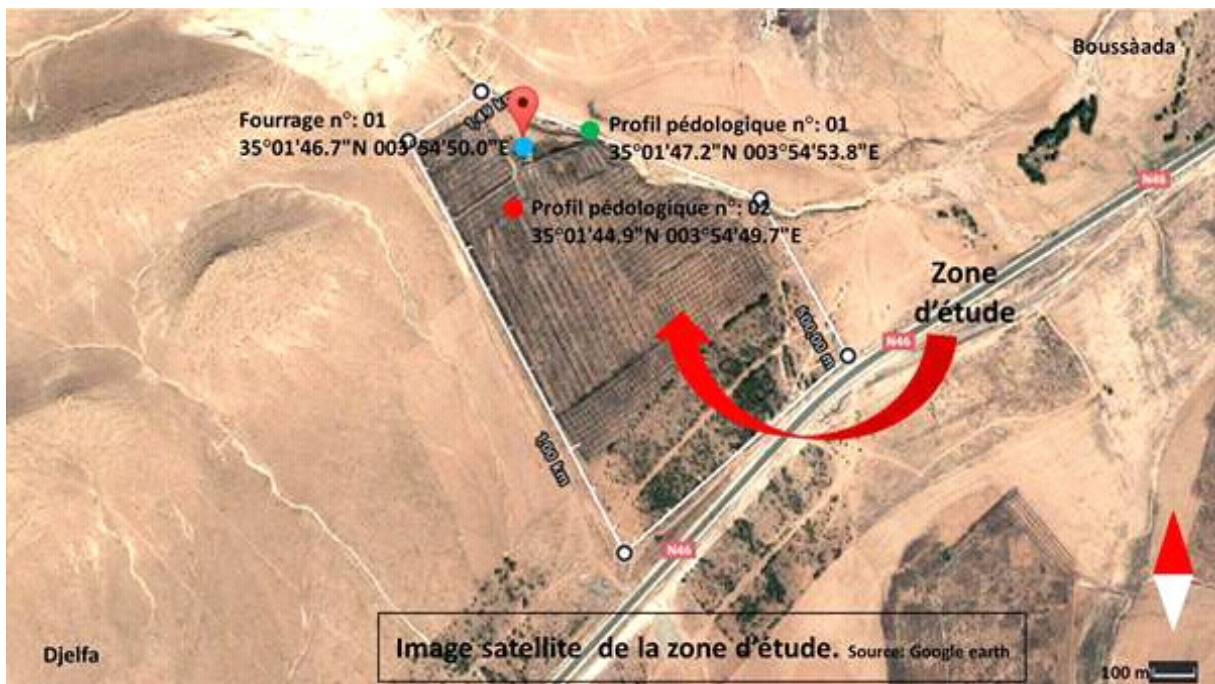


Figure 16 :image satellite de la zone d'étude , source Google earth.

3-2- Caractérisation des sol et des eaux d'irrigation de la zone de Kef Tiour

3-2-1- Caractérisation morpho-analytiques du sol

3-2-1-1- Caractéristiques morpho-analytiques de la station K1 de Kef Tiour

A- Environnement de la station K1

La première station étudiée (**K1 (Kef Tiour)**), présente une altitude de 993 m et les coordonnées suivantes: - Nord: 35° 01' 47,2''

- Est : 003° 54' 53,8''

La description, ainsi que le prélèvement des échantillons ont été réalisés le 08 Avril 2017.



Figure16:Vue générale de la station K1 de Kef Tiour (Bousaada).

B-Description morphologique de la station K1 (Kef Tiour)

Notre profil se compose de six horizons, a une profondeur de 1m il s'agit de

K1H1 (0-10cm): la couleur à l'état humide est marron jaunâtre(yellowishbrown: 10YR6/5), la texture est sablo- limoneuse avec une très forte effervescence à l' HCl.

K1H2 (10-40 cm): la couleur à l'état humide est marron jaunâtre terne (dullyellowishbrown: 10YR5/4), la textureest sablo-limoneuse, très forte effervescence à l' HCl, avec une compaction de 3.25.

K1H3 (40-70 cm): la couleur à l'état humide est marron(brown: 10YR4/6), la texture estsablo-limoneuse, une forte effervescence à l' HCl, avec une compaction de 2.

K1H4 (70-79 cm): la couleur à l'état humide est marron jaunâtre (yellowishbrown: 10YR5/8), la texture est limono-sableuse, effervescence moyenne à forte à l' HCl, avec une compaction de 2.25.

K1H5 (79-85 cm): la couleur à l'état humide est marron foncé (darkbrown: 10YR3/3), une texture sablo-limoneuse, une forte effervescence à l' HCl, avec une compaction de 2.5.

K1H6 (85-100 cm): la couleur à l'état humide est marron jaunâtre (yellowishbrown: 10YR5/6), la texture est sablo-limoneuse,uneforte effervescence à l' HCl, avec une compaction de 2.75.



Figure 17: Photo montrant le profil et les horizons décrits pour la première station K1.

Remarque: les différences morphologiques entre les horizons du profil n'apparaissent pas clairement sur la photo (on les y repérer par des tests de terrain (auscultation) de sensation (dureté, compaction...))

Tableau 17: Données analytiques du profil de la première station K1

Station et horizons Paramètres analysés		Première station K1						
		K1H1	K1H2	K1H3	K1H4	K1H5	K1H6	
Granulométrie	A (%)	3.8	6.2	6	6	7.2	8	
	L (%)	L _f	10	4.92	9.54	10.88	6	11.5
		L _g	35.91	36.32	29.59	41.85	35.08	28.49
	S (%)	S _f	41.92	37.05	35.35	32.70	33.16	36.36
S _g		8.37	15.51	19.52	8.57	18.56	15.65	
pH	pH _(eau)	8.76	8.63	7.99	8.11	8.2	8.16	
	pH _(KCl)	7.84	7.73	7.70	7.83	7.76	7.83	
CE (ms/cm (mmhos/cm))		0.203	0.232	1.284	1.174	0.780	0.699	
Humidité (H %)		5.81	10.82	12.54	11.13	17.04	9.74	
Porosité totale (P _t %)		59.38	34.39	27.66	65.93	48.62	38.43	
CaCO ₃ (total) (%)		25.24	18.86	17.82	33.91	17.57	25.51	
CaCO ₃ actif (%)		8.55	10.1	15.75	13.95	10.1	4.75	

P₂O₅ assimilable (ppm)	750	783.33	616.66	433.33	383.33	266.66
MO (%)	17.01	17.84	17.15	17.01	17.47	17.60
CEC (meq/100g)	45.66	52.39	52.99	40.57	44.03	44.23
Azote (%)	35.02	42.02	35.02	28.01	21.01	42.02

Letableau 17 montre les résultats suivants:

En utilisant le triangle texturale de JAMAGNE, on déduit qu'à l'exception du 6^{ém} horizon (K1H6) qui présente une texture sableuse, les horizons restants (K1H1, K1H2, K1H3, K1H4 et K1H5) ont une texture limono-sableuse (confirmant les résultats trouvés par les tests de toucher sur terrain). Au niveau des 6horizons du profil étudié, on remarque la dominance du sable fin par rapport au sable grossier et ceci peut être expliquée par l'effet de l'érosion éolienne (vue l'emplacement de la zone d'étude).

En se référant aux recherches effectuées par (HALITIM, 1988), notre sol présente une faible cohésion (puisqu'il est à tendance d'être sableux) et une capacité de rétention en eau réduite.

D'après (VILAIN, 1978), notre sol est sensible aux processus (phénomènes) de dégradation en particulier par l'eau car il est moyennement stable dans les horizons (K1H1, K1H2, K1H3, K1H5 et K1H6) et très instable dans l'horizon K1H4.

En se basant sur les recherches de (KATCHINSKI, 1954) et avecdes pourcentages de59.38, 65.93, 48.62et 38.43 respectivement pour K1H1, K1H4, K1H5, K1H6, ces derniers présentent une porosité totale insatisfaisante alors qu'elle est faible au niveau des horizons K1H2 et K1H3.

Selon (GAUCHER, 1968), le pH est très alcalin dans les horizonsH1 et H2 (pH>8.5) (donc désaturés) et alcalin pour H3, H4, H5 et H6 (7.75<pH<8.5) (alors faiblement désaturés).

La CE des horizons H5 et H6 présente des valeurs comprises entre 0,5 à 1 mmhos/cm indiquant une salinité très élevée, alors que les valeurs trouvées au niveau de H1 et H2 sont moyennement faible (leur CE est comprise entre 0,2 et 0,3 mmhos/cm) et on trouve une forte salinité dans les horizons H3 et H4(Annexe 01).

Tout au long des horizons de K1, le taux de la MO est très bon ce qui donne au sol l'appréciation très riche en matière organique (DEJON et al, 1998 in TIR, 2001).

A travers tous les horizons de notre station d'étude (K1) et avec des valeurs comprises entre 5% à 25%, le sol est modérément calcaire (selon les normes proposées par GEPPE in BAIZE, 1988)

Le calcaire actif est présent avec une valeur maximale dans l'horizon K1H3 (15.75%) et une valeur minimale dans l'horizon K1H6 (4.75%).

D'après (CALVIET et VILLEMIN, 1986), notre sol est excessivement riche en phosphore assimilable (marquant des valeurs comprises entre 266.66 ppm et 783.33 ppm).

Le sol de K1 possède une CEC très élevée (entre de 40.57 à 52.99 (meq/100g)); confirmant les résultats des recherches indiquant que la capacité d'échange cationique d'un sol dépend généralement de la teneur en matière organique.

3-2-1-2-Les caractéristiques morpho-analytiques de la station K2 de Kef Tiour

A-Environnement de la station K2

La deuxième station étudiée (**K2 (Kef Tiour)**), présente l'altitude de 993 m et les coordonnées suivantes: - Nord: 35° 01' 44,9''

- Est : 003° 54' 49,7''

La description, ainsi que le prélèvement des échantillons ont été réalisés le 08 Avril 2017.



Figure 18 :Vue générale de la station K2 (keftiour).

B-Description morphologique du profil de la station K2 (Kef Tiour)

Notre profil se compose de six horizons, il s'agit de :

K2H1 (0-04cm): la couleur à l'état humide est orange jauneterne (dully yellowish orange: 10YR6/4), la texture est sableuse, très forte effervescence à l' HCl, avec une compaction de 2.5.

K2H2 (04-30 cm): la couleur à l'état humide est orange jauneterne (dullyellowish orange: 10YR6/4), la texture est sableuse, très forte effervescence à l' HCl, avec une compaction de 1.75.

K2H3 (30-45 cm): la couleur à l'état humide est marron jaunâtre (yellowishbrown: 10YR5/6), une texture sableuse, forte effervescence à l' HCl, avec une compaction de 1.

K2H4 (45-54 cm): la couleur à l'état humide est marron (brown: 10YR4/4), une texture sableuse, effervescence moyenne à l' HCl, avec une compaction de 1.75.

K2H5 (54-70 cm): la couleur à l'état humide est marron jaunâtre terne (dullyellowishbrown: 10YR5/3), la texture est sableuse, forte effervescence à l' HCl, avec une compaction de 1.75.

K2H6 (70-90 cm): la couleur à l'état humide est marron jaunâtre terne (dullyellowishbrown: 10YR4/3), une texture sablo-limoneuse ou limono-sableuse avec une forte effervescence à l' HCl.



Figure 19: Photo montrant le profil et les horizons décrits pour la deuxième station K2 (Kef Tiour).

Tableau 18:Données analytiques du profil de la deuxième station K2

Station et horizons Paramètres analysés		Première station K2						
		K2H1	K2H2	K2H3	K2H4	K2H5	K2H6	
Granulométrie	A (%)	5.8	6.6	4.4	4.8	12.6	7.4	
	L (%)	L_f	2.8	5.8	7.4	7.2	7.6	15
		L_g	30.34	24.55	24.11	32.7	16.36	24.83
	S (%)	S_f	49.93	51.21	39.65	26.89	29.60	48.92
		S_g	11.13	11.84	24.44	28.41	33.84	3.85
pH	pH_(eau)	8.52	8.76	8.98	8.56	8.59	8.72	
	pH_(KCl)	7.72	7.82	7.81	7.83	7.78	7.69	
CE (ms/cm)		0.156	0.0918	0.137	0.312	0.283	0.272	
Humidité (H %)		3.54	8	3.99	4.49	19.60	5.46	
Porosité totale (P_t %)		50.43	42.48	54.50	37.65	37.65	37.65	
CaCO₃ (total) (%)		18.15	19.02	22.8	21.22	22.11	17.52	
CaCO₃ actif (%)		2.95	4.6	5.1	6.1	5.25	6.25	
P₂O₅ assimilable (ppm)		833.33	816.66	816.66	466.66	400	350	
MO (%)		14.21	16	16.32	16.28	16.22	16.46	
CEC (meq/100g)		29.57	27.94	23.66	24.88	29.98	37.52	
Azote (%)		63.03	49.02	42.02	56.03	42.02	28.01	

Les résultats mentionnés au **tableau 18** montrent que :

Le sol de la deuxième station d'étude présente une texture sableuse au niveau de K1H1, K1H2, K1H3, K1H4 et K1H5 alors qu'elle est limono-sableuse pour K1H6. Avec toujours une dominance de sable fin par rapport au grossier.

En se basant sur les travaux de (**VILAIN,1978**), les six (6) horizons de K2 présentent une stabilité structurale moyenne et malgré ça ils peuvent être susceptibles aux phénomènes de dégradation par l'eau.

D'après les normes proposées par (**KATCHINSKI, 1954**), la porosité totale est faible pour les horizons H4, H5 et H6 (une valeur de 37, 65 pour les 3 horizons), satisfaisante pour H1 et H3 et insatisfaisante pour le deuxième horizon.

Selon (GAUCHER, 1968), le pH est très alcalin ($\text{pH} > 8.5$) tout au long des horizons de la station K2 avec une valeur maximale de 8.98 dans l'horizon (K2H3) et une valeur minimale de 8.52 en (K1H1). Ce sol est désaturé pour les horizons H1, H2, H4 et H5 et fortement désaturé pour H3 et H6.

La CE de l'horizons H2 est 0,091 mmhos/cm indiquant une salinité très faible, alors que H1 et H3 indiquent une faible salinité en fin H4, H5 et H6 sont moyennement faible avec une CE qui varie entre 0,2 et 0,3 mmhos/cm.

Tout au long des horizons de K2, le taux de la MO est très bon ce qui donne au sol l'appréciation très riche en matière organique (L'ITA, 1977).

Pour nos échantillons analysés, les teneurs enregistrées du calcaire totale sont comprises entre 5% et 25% tout au long des horizons de K2; donc le sol dans ces horizons est modérément calcaire (en se référant aux études de GEPPE in BAIZE, 1988).

Le calcaire actif est présent avec une valeur maximale dans l'horizon K2H1 (20.46%) et une valeur minimale dans l'horizon K2H6 (19.8%).

D'après (CALVIET et VILLEMIN, 1986), nos horizon du profil K2 sont excessivement riches en phosphore assimilable, marquant des valeurs comprises entre 833.33 ppm et 350 ppm.

Notre sol possède une CEC très élevée (avec des valeurs entre de 37.52 à 23.66 (meq/100g)) ce qui peut être expliquée par la richesse du sol par la matière organique.

3-2-2- Caractérisation physico-chimique des eaux d'irrigation

3-2-2-1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation des trois stations (K, S1 et S2)

Les résultats des analyses physico-chimiques des trois stations étudiées sont résumés dans le tableau ci-dessous (tableau 19) :

Tableau19:Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques de l'eau d'irrigation des trois stations K , S₁ et S₂ de Kef Tiour.

Paramètres		Résultats					
		K		S1		S2	
T (°C)		23		18		19	
Ph		7.4		7		8.2	
CE (µs/cm)		1160		1400		930	
Cations et Anions		mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l
Les Cations	Mg ⁺⁺	20.8	1.733	24	2	16	1.33
	Na ⁺	6.9	0.3	9.8	0.42	7.3	0.31
	K ⁺	4	0.1	4	0.1	3	0.07
	Ca ⁺⁺	232	11.6	312	15.6	240	12
	∑Cations	263.7	13.7	349.8	18.12	266.3	13.71
Les Anions	Cl ⁻	207.32	5.84	205.9	5.8	190.28	5.36
	SO ₄ ⁻²	48.5	1.010	38	0.79	31.5	0.65
	NO ₃ ⁻	3.616	0.058	3.044	0.049	2.4675	0.042
	NO ₂ ⁻	0.101	0.0021	0.102	0.0022	0.107	0.0023
	HCO ₃ ⁻	250	4.09	265	4.34	255	4.18
	CO ₃ ⁻²	80	2.66	95	3.83	87	2.9
	∑ Anions	589.53	13.66	607.04	14.81	566.35	13.13
SAR		0.11		0.14		0.12	
Salinité (mg/l)		590		700		650	
Matière en suspension		1205		780		3565	
Dureté totale (F°)		144.65		178		126.65	
Résidu sec (mg/l)		710		950		650	

A- La température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment).

Les valeurs de la température mesurées pendant la période de prélèvement dans les trois stations sont représentées dans la **figure 20**. Il s'agit d'une valeur minimale de 18°C enregistrée dans la 2^{ème} station (S2), suivit de 19°C dans la 3^{ème} station arrivant la valeur maximale de 23°C pour S1.

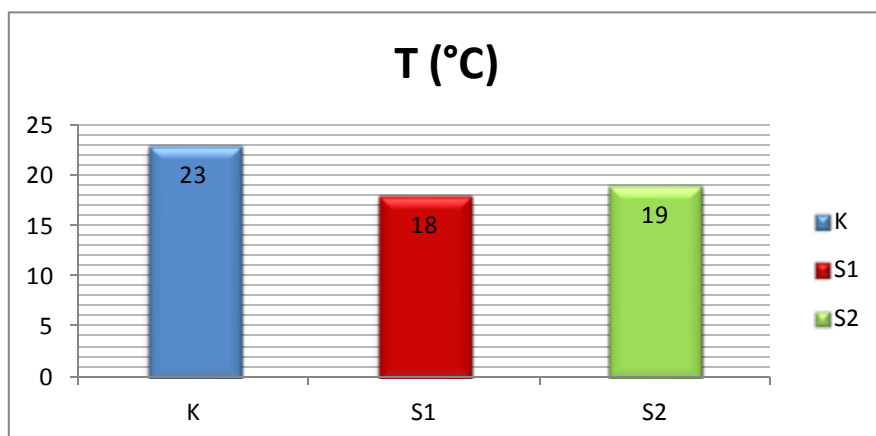


Figure20: Valeurs de température enregistrées au niveau des station étudiées (K, S1 et S2).

B- pH

D'après les directives de qualité des eaux d'irrigation, les résultats trouvés (**tableau 19 et figure 21**) témoignent une légère alcalinité des eaux d'irrigation des deux stations K et S2 avec respectivement des valeurs de 7.4, 8.2 et un pH neutre dans la deuxième station S1.

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (**DUSSART, 1966; BERMOND et VUICHARD, 1973**).

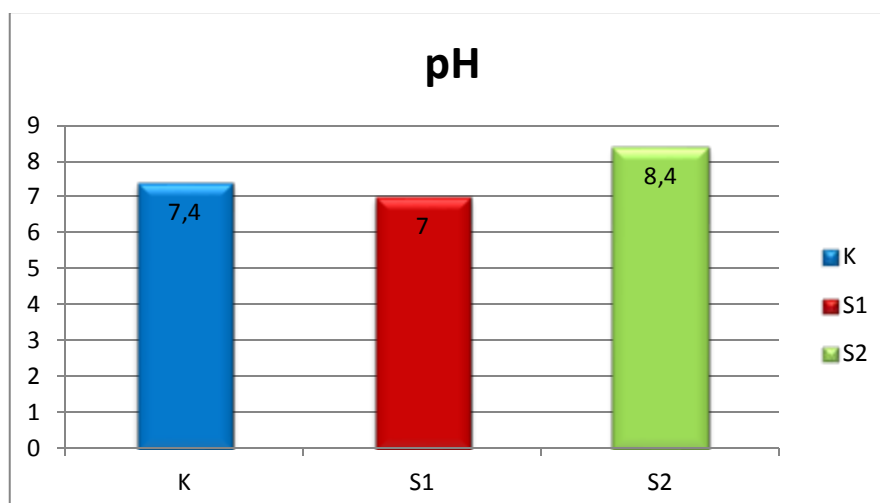


Figure21: pH des eaux d'irrigation des station étudiées (K, S1 et S2).

C- La conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement.

Les valeurs enregistrées dans les trois stations durant la période d'étude sont de l'ordre de 1160 $\mu\text{S}/\text{m}$; 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement pour K, S1 et S2(**figure 22**).

En basant sur les normes proposées par la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux, nos eaux des trois échantillons sont d'une moyenne qualité(**Annexe 05**).

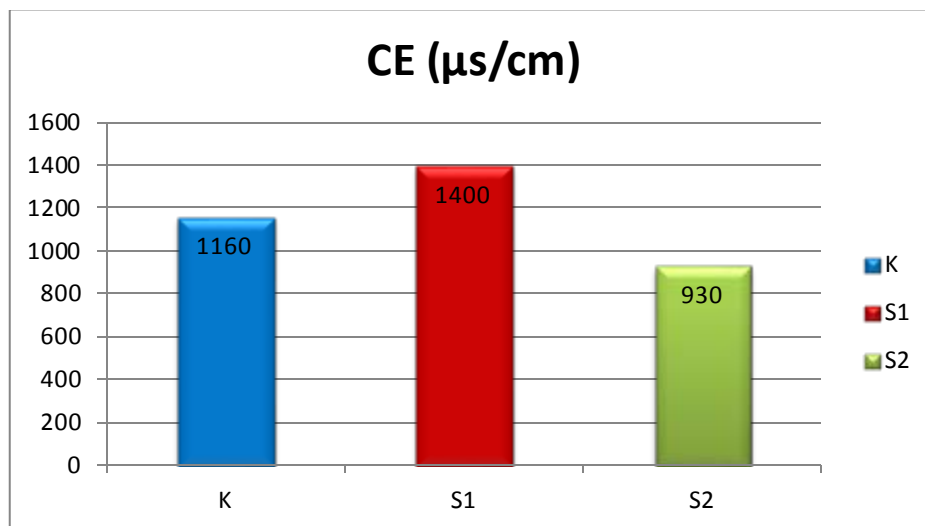


Figure 22: Valeurs enregistrées de CE des eaux d'irrigation au niveau des stations étudiées (K, S1 et S2).

D-Résidu sec (RS)

Les résultats présentés dans la **figure 23** montrent que les résidus secs marquent les valeurs de 710 mg/l dans la station K, 950 mg/l pour la station S1 et 650 mg/l pour la station S2. Ce qui nous mène à juger que les eaux des trois stations sont moyennement minéralisées (les trois valeurs sont comprises entre 500 et 1500 mg/l; voir norme de Grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux).

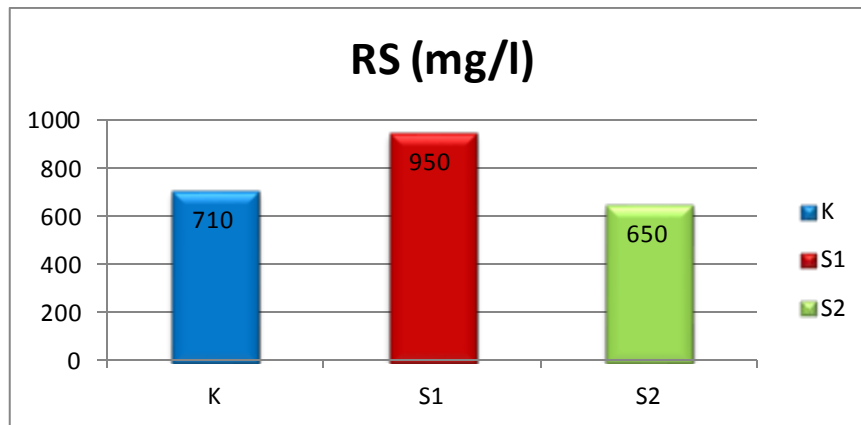


Figure23: Valeurs de RS enregistrés dans stations étudiées (K, S1 et S2).

E-La dureté totale

La dureté totale d'une eau indique globalement sa teneur en ions alcalino-terreux ; en particulier les ions calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}) ; qui résultent principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations rocheuses calcaires et dolomitiques.

Les valeurs de la dureté totale calculée pour les eaux des trois points de prélèvements varient entre 178°F (S1) et 126.65°F (S2) (**figure24**). On signale que les trois stations ont une eau très dure (la dureté > 54°F) .

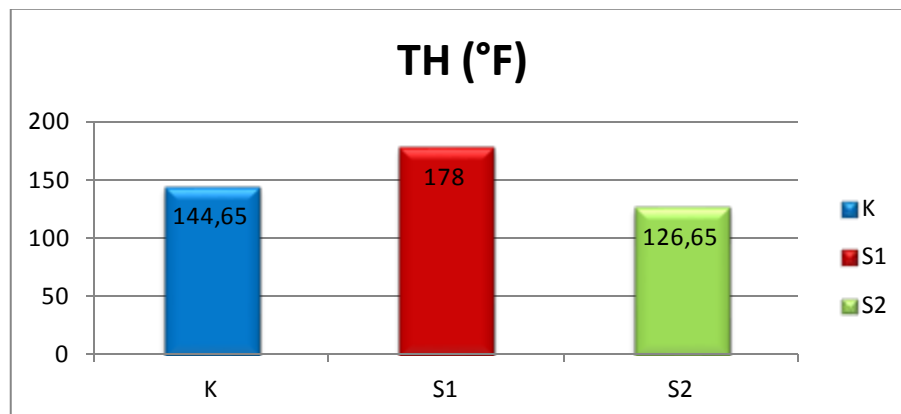


Figure24: Valeurs de dureté totale (TH) mentionnées dans les stations étudiées (K, S1 et S2).

F-Les matières en suspension (M.E.S)

La valeur maximale de matière en suspension (M.E.S) est enregistré dans la troisième station S2 (3565 mg/l) tandis qu'un minimum dans la première station K (1205 mg/l) (**figure25**). On signale que les trois stations ont une eau de très mauvaise qualité (M.E.S > 70 mg/l).

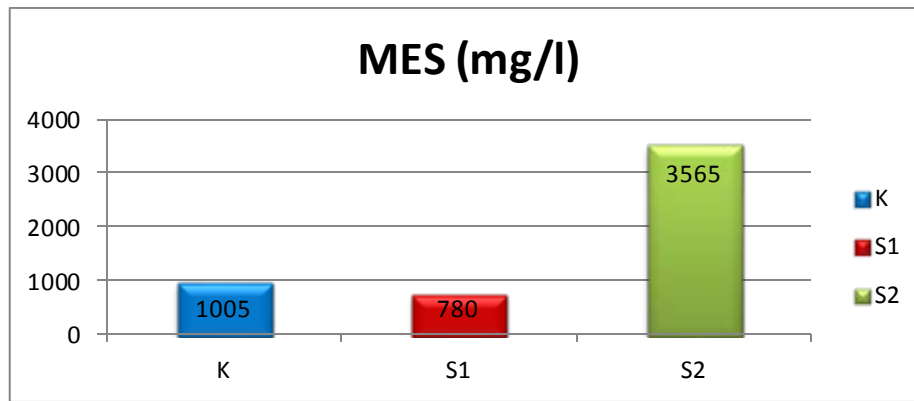


Figure25: Valeurs de matière en suspension (M.E.S) des eaux d'irrigation des stations étudiées (K, S1 et S2).

G-La salinité

Les valeurs de la salinité mesurées dans l'ensemble des stations sont représentées dans la (figure 26). Ces valeurs paraissent proches l'une de l'autre dans les trois stations, il s'agit de 590mg/l, 700mg/l et 650mg/l respectivement pour K, S1 et S2.

Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, engendrant une augmentation de pression osmotique, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par plante.

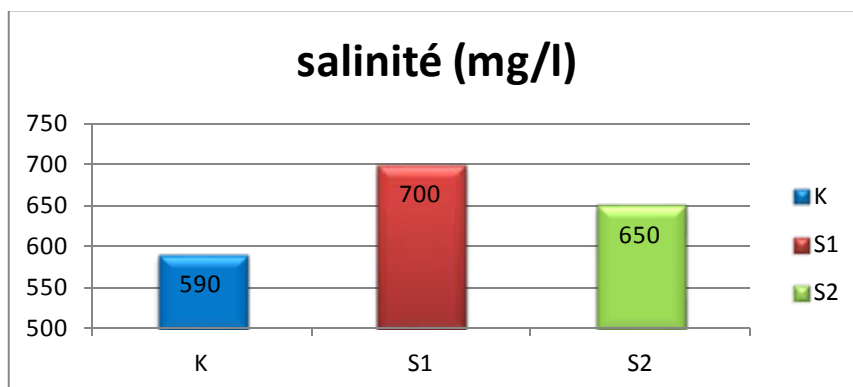


Figure26: Salinité des eaux d'irrigation des stations K, S1 et S2.

H-Les Anions

➤ Les sulfates

D'après les résultats des échantillons analysés (figure27), les teneurs enregistrées restent inférieures à la guide (VG= 200mg/l) de la grille standard multi usage d'appréciation globale

de la qualité des eaux (**Annexe05**) et la valeur la plus faible (31.5mg/l) est marquée dans la station S2.

Les sulfates peuvent provenir de la dissolution du gypse dans les terrains gypseux ou de lessivage des terrains contenant "pyrites" dont les sulfures entraînés s'oxydent en sulfate à l'air(**ABDELHAFIDI, 2005**).

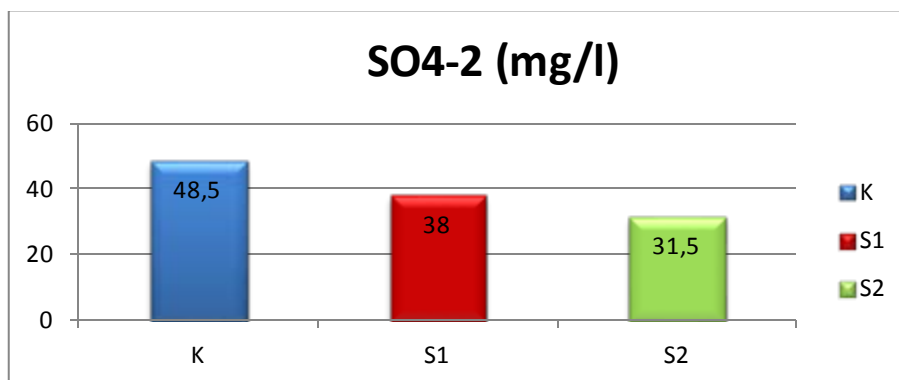


Figure27:Sulfates (SO_4^{-2})des eaux d'irrigation enregistrés dans les stationsK, S1 et S2.

➤ Nitrite et nitrate

Une présence des nitrites dans l'eau d'une nappe est signe de pollution, suite à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Les nitrites sont formés par dégradation de la matière azotée mais ils sont généralement transformés en nitrates dans les sources d'eau (**LEPELTIER, 2005**).

La présence de nitrates peut résulter de l'épandage excessif d'engrais ou de la lixiviation des eaux usées ou d'autres déchets organiques vers les eaux de surface et les eaux souterraines (**OMS, 2004**).

D'après la **figure28**, on remarque que les valeurs de nitrate (NO_3^-) sont d'ordre 3.616 mg/l,3.044mg/l et 2.46 mg/l respectivement pour K, S1et S2. Ces valeurs sont inférieure à 5 c'est-à-dire que nos eaux sont de très bonne qualité (selon les normes de Grill standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux).

Pour les nitrites (NO_2^-), on a trouvé 0.101 mg/l en K, 0.102 mg/l en S1 et 0.107 mg/l , expliquant une eau de bonne qualité pour les trois stations (selon les normes de grill standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux).

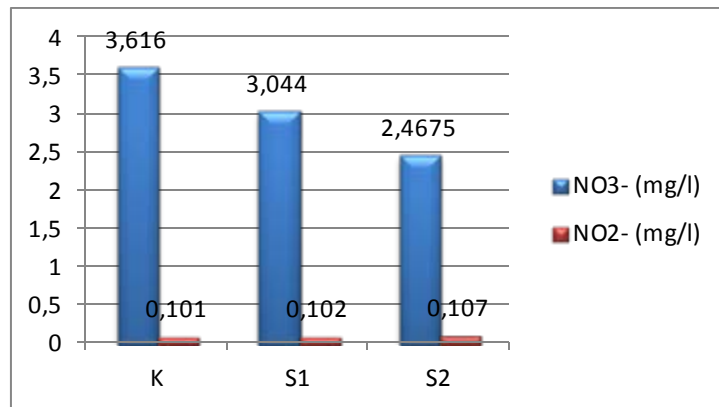


Figure28: Valeurs enregistrées de nitrates et nitrites des eaux des stations K, S1 et S2.

➤ **Les chlorures**

Les teneurs en chlorures sont de l'ordre de 207.32 mg/l pour K, 205.9 mg/l dans S1 et 190.28 mg/l (S2), au niveau des stations d'étude.

Cet élément présente un risque potentiel léger à modéré pour l'irrigation des cultures dans le cas où l'arrosage se fait par gravité.

Dans le cas d'irrigation par aspersion, le problème devient sérieux pour les forages d'eau qui ont des concentrations supérieures à 100 mg/l; ce qui est le cas pour nos trois stations d'étude (K, S1 et S2).

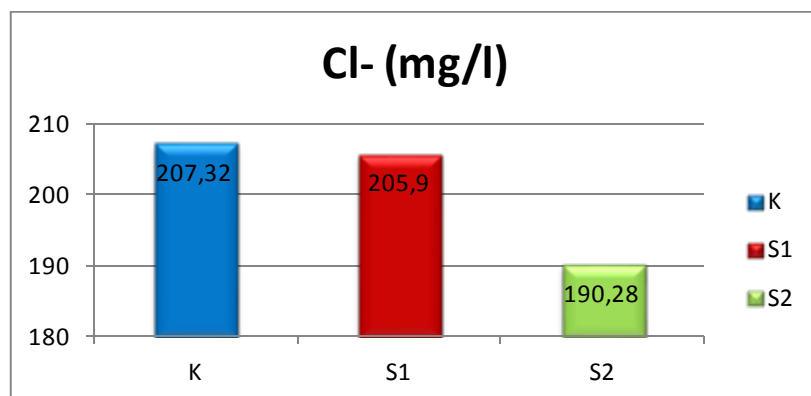


Figure29 : Valeurs des chlorures des eaux d'irrigation des stations étudiées (K, S1 et S2).

➤ **Bicarbonate**

La présence des bicarbonates (HCO_3^-) est liée à la nature lithologique et au titre alcalimétrique complet (TAC) des terrains traversés (HABBAI ET AL, 2006).

L'ion bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO_2 à partir des minéraux contenant des carbonates (RODIER, 2005).

Les teneurs en bicarbonates des eaux dans les trois stations varient entre 250 mg/l dans la station K et de 265 mg/l dans la station S1.

Les bicarbonates dans les eaux d'irrigation représentent un risque léger à modéré (90-500 mg/l) pour les cultures si les agricultures utilisent la technique d'irrigation par aspersion, et c'est le cas pour l'ensemble de nos échantillons analysés.

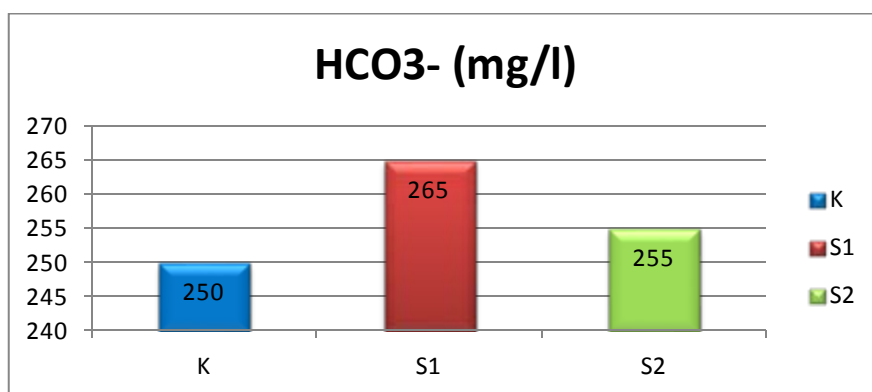


Figure30: Valeurs de HCO_3^- des eaux d'irrigation des stations K, S1 et S2.

I- Les cations

➤ Le sodium

Selon les résultats des analyses des eaux d'irrigation effectuées durant la période d'étude, les teneurs en sodium varient de 0.3 meq/l dans les deux stations K et S1, augmente à 0.4 meq/l dans la station S2 (**Figure 31**).

Nos eaux analysées affichent des valeurs de 6.9 mg/l, 9.8 mg/l et 7.3 mg/l respectivement pour la première, deuxième et la troisième station, avec ces chiffres nos eaux n'ont n'exercent aucun risque de toxicité (inférieurs à 70 mg/l) (AMROUNE, 2013).

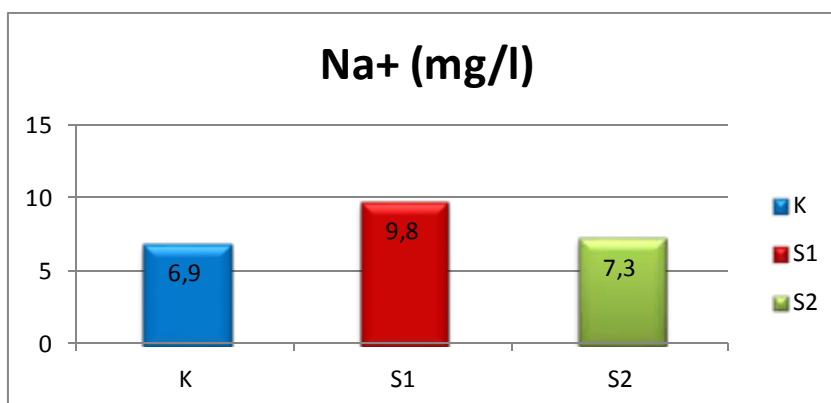


Figure31 : Valeurs enregistrées de Na⁺ des station (K, S1 et S2).

➤ **Le magnésium**

Les échantillons analysés marquent des valeurs de 20.8 mg/l, 24 mg/l et 16 mg/l respectivement pour K, S1 et S2 (tableau 19 et figure 32).

Ces valeurs donnent l'appréciation d'eaux d'une très bonne qualité pour les trois stations (selon les normes proposés par grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux).

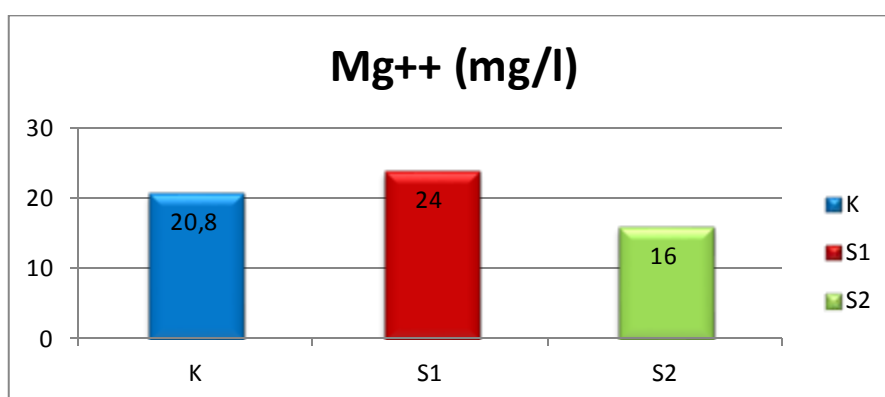


Figure32: Valeurs de Mg⁺⁺ des eaux d'irrigation des stations K, S1 et S2.

➤ **Le calcium**

Selon les normes proposés par grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux les valeurs trouvée de (Ca⁺⁺) dans les trois échantillons (232mg/l, 312 mg/l et 240 mg/l respectivement pour K, S1 et S2) prouvent que les eaux de K et S2 présentent une moyenne qualité tandis que l'eau de S1 présente une mauvaise qualité.

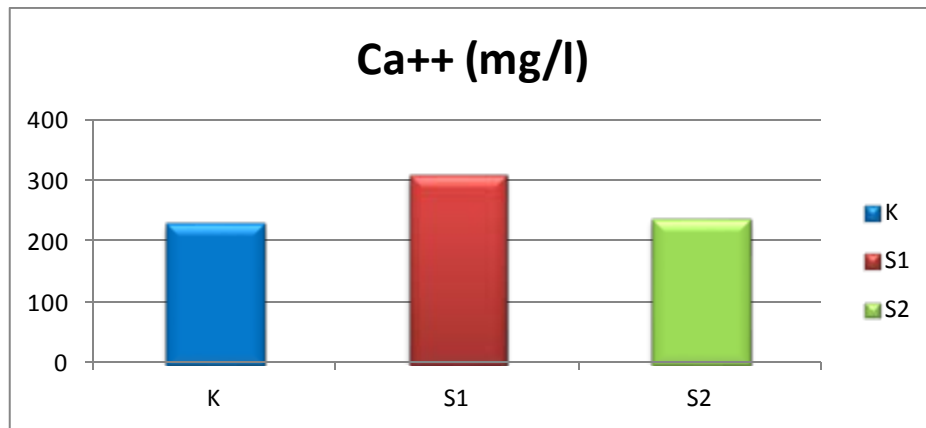


Figure33:Le Ca⁺⁺ enregistré dans les eaux d'irrigation des stations étudiées K, S1 et S2.

3-2-2-2-Classification des eaux d'irrigation de la zone d'étude

3-2-2-2-1-Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux d'irrigation des stations de Kef Tiour

➤ Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est une des façons les plus classiques et les plus utilisées pour déterminer la composition chimique en élément majeurs d'une eau. Il permet la représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques, dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions.

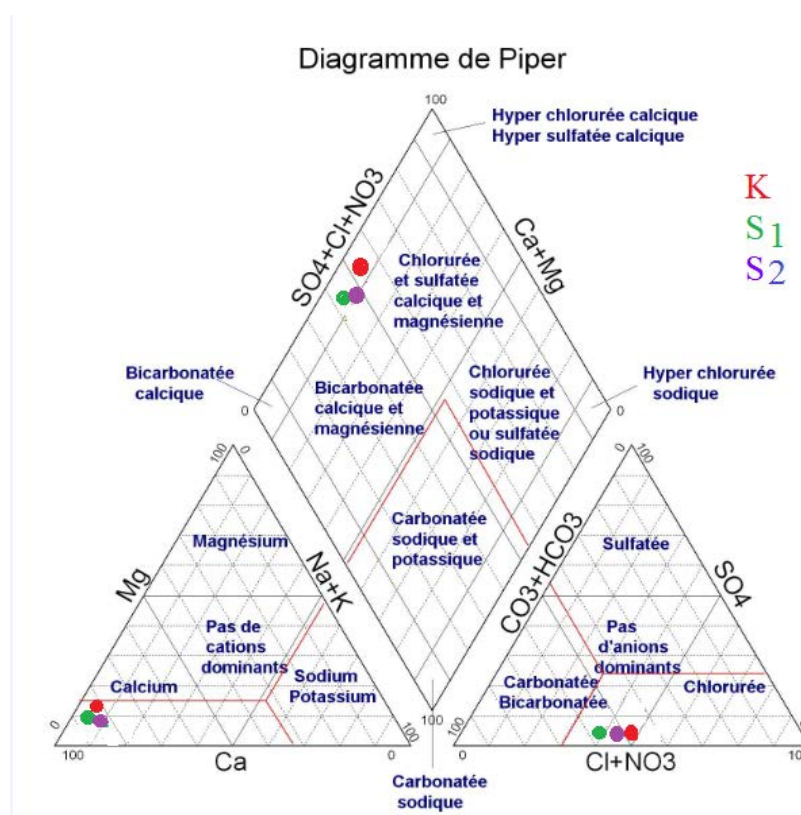


Figure 34: Classification des eaux d'irrigation des trois stations (K, S1 et S2) de Kef Tiour selon le diagramme de piper.

Le faciès chimique, selon le diagramme de PIPER est chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne pour K et bicarbonatée calcique et magnésienne pour S1 et S2.

➤ Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Ce diagramme comporte une échelle logarithmique sur laquelle on porte les teneurs des principaux ions en (mg/l) sur l'axe des abscisses. On porte de gauche à droite, à intervalle régulier (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^-), les points reportés sont ensuite reliés par

Troisième Partie : Résultats et discussions

une ligne brisée qui facilite la comparaison des résultats de l'analyse de l'eau d'un ensemble d'échantillons. Les points obtenus sont reliés par des droites et l'allure du graphique permet de visualiser le faciès de l'eau concernée .

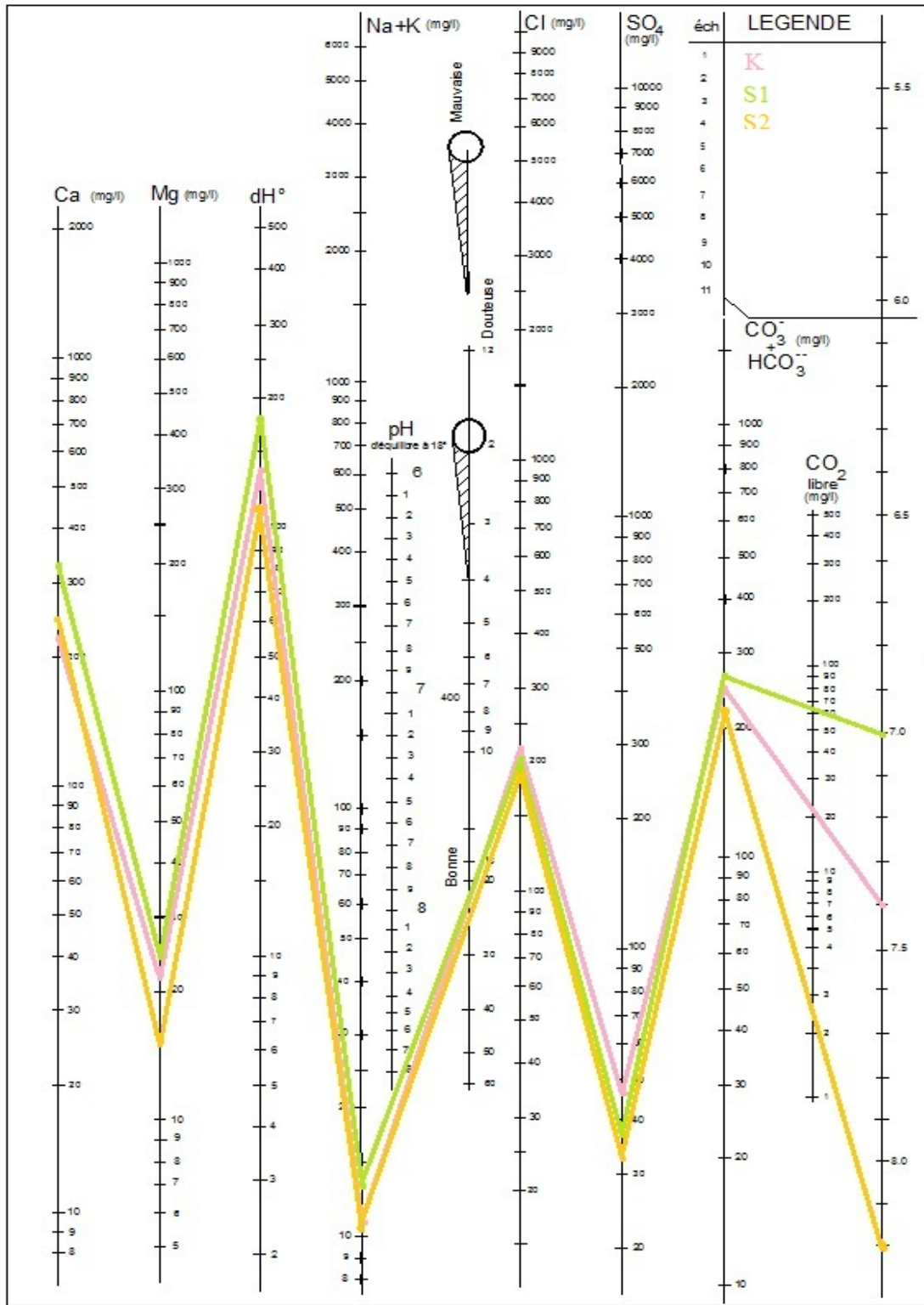


Figure 35 : Classification des eaux d'irrigation des trois stations (K, S1 et S2) de kefTiour selon SCHOELLER et BERKALOFF.

Troisième Partie : Résultats et discussions

Pour la répartition des anions caractérisée on peut dire qu'elle se marque par une dominance des bicarbonates et carbonates sur les chlorures et sulfates, nitrates et nitrites dans les trois stations.

Pour les cations, ils sont eux marqués par une dominance de calcium sur le sodium-potassium et magnésium dans les trois station.

L'eau des trois station est bicarbonatée calcique.

➤ Diagramme de Richards

C'est une des méthodes la plus couramment employées pour évaluer le potentiel de risque par détermination de coefficient d'absorption de sodium (SAR) (AGGOUNI *et al*, 2012).

Le SAR utilisée en combinaisons avec la conductivité électrique (CE) de l'eau

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

Ou tous les éléments sont exprimés en (meq)

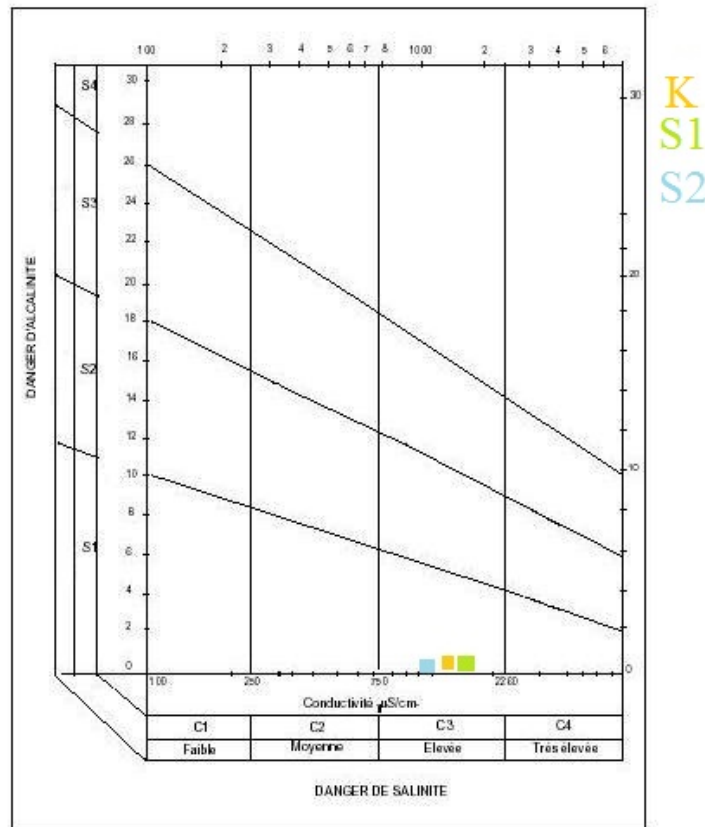


Figure36:Classification des eaux d'irrigation des trois stations étudiées (K, S1 et S2) selon le Diagramme de Richards.

Troisième Partie : Résultats et discussions

Après avoir reporté tous les points d'eau des différentes stations sur le diagramme de Richards (**figure 36**), selon la conductivité électrique et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence la classe suivante : C3S1.

Donc les eaux d'irrigation de nos stations d'études sont convenant à l'irrigation car :

C3 : risque élevé salinité

S1 : risque faible alcalinité

3-3-Conclusion

Les résultats d'analyses des propriétés physico-chimiques des sols et des eaux d'irrigation de la zone de KefTiour situées dans la ville de Djebel Messaad indiquent que :

La texture est limoneuse-sableuse dans la première stations et sableuse dans la deuxième.

Le pH présente des valeurs inférieure à 9 c'est-à-dire pH alcalin dans les deux stations.

La CEC des deux stations est très élevée.

Le sol est modérément calcaire dans les deux stations.

Le taux de matière organique est bon pour les deux stations.

Le sol de deux stations est riche en phosphore assimilable.

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau d'irrigation révèlent que :

La température de l'eau est déterminée par l'influence du climat régionale.

Le pH des échantillons des eaux analysées indique un caractère alcalin dans les deux stations (K, S2) et un caractère neutre dans la station S1. Selon les directives de FAO (1976), ces eaux ne présentent pas de problème de point de vue pH.

Les valeurs de la conductivité électrique dans les stations étudiées K, S1 et S2 traduisent une moyenne salinité.

Les concentrations des sulfates et des nitrates dans les trois échantillons d'eau analysées sont optimales selon la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux, c'est-à-dire qu'on aura aucun problème de toxicités par ces éléments.

Pour le SAR, les trois stations ont marqués une valeur inférieure à 10; alors le risque alcalin est faible.

Selon le diagramme de Richards, les eaux des trois stations appartiennent aux classes C3S1; en générale, cette eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes au sel et sur sol ayant une bonne perméabilité.

Conclusion générale

Ce travail a été mené dans la zone de Kef Tiour, dans le but de la connaissance des principales propriétés physico-chimiques de leurs sols et eaux d'irrigation.

Pour la caractérisation des sols on a trouvé que:

A l'exception du 6^{ém} horizon (K1H6) qui présente une texture sableuse, les horizons restants (K1H1, K1H2, K1H3, K1H4 et K1H5) de la première station ont une texture limono-sableuse, tandis que le sol de la deuxième station d'étude présente une texture sableuse au niveau de K1H1, K1H2, K1H3, K1H4 et K1H5 alors qu'elle est limono-sableuse pour K1H6.

Pour les sols des deux stations, le pH présente des valeurs supérieures à 8, indiquent leur alcalinité.

On se référant aux résultats fournis par la CE; la salinité est élevée dans la première station et faible dans la deuxième.

Les sols des deux stations sont modérément calcaires.

Les sols des deux stations sont riches en matière organique.

La CEC est élevée au niveau de tous les horizons des deux stations. Ceci est confirmé par leurs richesses en matière organique.

En ce qui concerne les échantillons des eaux d'irrigation, on a tiré les remarques suivantes:

Un pH alcalin au niveau des deux stations K et S2, cette légère alcalinité ne pose pas de problème de point de vue qualité des eaux destinées à l'irrigation et pH neutre au niveau de S1.

Une forte salinité (K, S1 et S2) et les valeurs de conductivité électrique reportées sur le diagramme de RICHARDS indiquent que nos eaux sont jugées convenant à l'irrigation.

Pour le SAR, les trois stations marquent des valeurs inférieurs à 10; faible risque d'alcalinité.

Ces résultats confirment l'abondance du faciès chimique de nos eaux des trois stations étudiées K, S1 et S2 est de type chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne pour K et bicarbonatée calcique et magnésienne pour S1 et S2.

A la fin et comme récapitulation on peut dire que :

Malgré que les sols des trois stations présentent certaines propriétés recherchées tels le pH considéré comme acceptable de point de vue adaptation de la majorité des cultures, la richesse

en matière organique qui peut offrir les éléments nutritifs majeurs recherchée pour la nutrition des végétaux ainsi que les micro-organismes édaphiques (qui participent dans la structuration des sols et la dégradation de la matière organique) et le bon drainage naturel, ils présentes des caractéristiques qui peuvent influencer négativement si elles ne sont pas corrigées; tels que la texture sableuse, le risque de battance, la très grande richesse en calcaire total.

Comme suggestion, on peut proposer:

L'apport et l'ajout de l'argile et le contrôle de l'utilisation de l'irrigation (doses, durés....) et peut être installation des réseaux de drainage pour évacuer l'eau saline en dehors de la parcelle cultivée.

References bibliographiques

- ❖ **ABDELHAFIDI N., 2005.** Contribution à l'étude qualitative des ressources hydriques souterraines en zone semi-aride (cas de synclinal nord de Djelfa). Mémoire d'ingénieur, université Djelfa, 77p.
- ❖ **AGGOUNI A, DEBECHE A et DEMDOUM F., 2012.** Etude de la qualité des eaux de surface dans la région septentrionale du bassin du Houdna. Cas du barrage du K'sob, M'Sila-Algérie. Mém. Ing., Dép. Agro., Univ., M'Sila, 87p.
- ❖ **AMROUNE., 2013.**Cours d'irrigation, qualité de l'eau d'irrigation. Mém. Sci. Agro., Univ., M'Sila.
- ❖ **AMEZKETA E., 1999.**Soil aggregate stability, 151P.
- ❖ **ANDRE M, CHRISTOPHE H., 2004.**Hydrologie 1. Une science de la nature, première Ed. 314p.
- ❖ **A.N.R.H., 2005.** Etude pédologique du Hodna (wilaya de M'sila). Rapport année 2004-2005, Alger, 41p.
- ❖ **AUBERT G., 1983:** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés sous-salés sodiques. Cash. ORSTOM. ser. ped. Vol xxx n°1, pp 73-78.
- ❖ **BAIZE DENIS., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie, Ed. INRRA paris. 172p.
- ❖ **BATRA L., KUMAR A., MANNA M.C., CHABRA R., 1997:** Microbiological and chemical amelioration of alkaline soil by growing Karnal grass and gypsum application. Experimental Agriculture. 33.4, pp: 389- 397.
- ❖ **BENSALEM A., 2008.**Vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques dans les oasis de la région de Tafilalet-Maroc. p147.
- ❖ **BELOUADAH et KHERMOUCHE, 2003.** Analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau potable du bassin versant du hodna, Mem. Ing, Dép. Chimie, Univ. M'Sila, 80 p.
- ❖ **BERKANI I et BENARFA N., 2005.** Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zones semi-aride, cas de la région de DELDOUL (plain de Ouledtolba) wilaya de Djelfa. Mémoire d'ingénieur, université Djelfa. 92 p.
- ❖ **BERMOND et VUICHARD., 1973.** Paramètre de la qualité des eaux, documentation française, Paris.
- ❖ **BOUCHELACHEM S ET BENZARA S ET MERADI W, ET REZKALLAH S., 2014.** Etude comparative de la qualité chimique et microbiologique des eaux de l'oued El kebir (Région d'El Tarf), 71-74pp.
- ❖ **BOUCHE A., 1972.** Interacton in soil, 671p.
- ❖ **BRONICK C.J., LAL R., 2005.** Soil structure and management: a review. Geoderma, 124(1-2): P3-22.
- ❖ **BROUAND A., TESSIER D., 2000.** Water retention properties of the clay in soils developed on clayey sediments: significance of parent material and soil history. European journal of soil science, 51, pp. 679-688.
- ❖ **BROUAND A., DUVAL O., CUISIN I., 2003.** Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO: Une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture et sa densité apparente. Etude et Gestion des sols, 11, pp. 323-334.
- ❖ **CALVIET G et VILLEMIN P., 1986.** Interprétation des analyses des terres, Ed. SCPA. 25p.
- ❖ **CALVET R., 2013.** Le sol. 678p.
- ❖ **CHERBUY B., 1991:** Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne, 170p.
- ❖ **CHOSSAT P., 2005.** Souvenirs en forme de dictionnaire amoureux. 43p.
- ❖ **CHAUDE J et LECLE. RC., 1999-** Ecophysiologie végétale. 283 p.

References bibliographiques

- ❖ **C.F.M., 2011.** Conservation des forêts de la wilaya de M'sila.
- ❖ **C.F.D.M., 2010.** Circonscription de la forêt de Djebel Messaad.
- ❖ **COMTE D., 1995.** La qualité de l'eau d'irrigation, 12p.
- ❖ **COUTURE I., 2006.** L'eau source de qualité et de rendement, Ed. CRAAQ, 12p.
- ❖ **DEXTRE A., 1988.** Soil structure/soilbiotaintrelationships. 641p.
- ❖ **DELAUNOIS A., FERRIE Y., BOUCHE M., COLIN C et RIONDE C., 2008-** Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols, Chambred'agriculture. INRA, 37 p.
- ❖ **DELAUNOIS A., FERRIE Y., BOUCHE M., COLIN C et RIONDE C., 2009-** Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols, Chambre d'agriculture. INRA. 37 p.
- ❖ **DEMOLON A., 1960.** Principes d'agronomie. Tome I: Dynamique du sol. 5ème édit. DUNOD. Paris, 520 p.
- ❖ **DJILI K et DAOUD Y., 1999:** Distribution latérale et verticale de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie compte rendu du séminaire national sur la salinisation des terres agricoles. CRSTRA. Chélif. Le 01 02 juin, n° 99, pp : 25- 44.
- ❖ **DJILI K., 2000:** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse doctorat. INA, Alger, 243 p.
- ❖ **DUSSART B-H., 1966.** A l'immunologie- l'étude des eaux continentales Gauthier-Villars, Ed, Paris, 678p.
- ❖ **ELGABALYM M., 1970.** Problèmes d'échantillonnage, d'analyse et de cartographie des sols salins. La salinité, Sémin. Baghdad(1970), Bull. Irrig. Drain. FAO, Rome. P34-44.
- ❖ **FAO, 1984.** Prognosis of salinity and alkanity. FAO soils Bulletin 31, 268 p.
- ❖ **FARINA M.P.W., CHNNON P ET THIBAND G.K., 2000:** A comparison of strategies for ameliorating sub soil acidity II, long term soil effects. Soil. Sci. Soc. Am. J n° 64, pp: 625- 658.
- ❖ **DAJOZ R., 2006.** Précis d'écologie. Ed. Bordas. Paris, 503p.
- ❖ **DUBIEF J., 1953.** Le vent et les déplacement du sable au sahara. Ed. Inst. Rech. Sah. Alger. pp 26-103p.
- ❖ **DUCHAUFOR Ph., 2001.** Introduction à la science du sol, végétation et environnement. 6ème édit. Dunod, Paris, 331 p.
- ❖ **GAUCHER G., 1968.** Traité de pédologie agricole, le sol et ses caractéristiques agronomiques. Ed. Dunod, Paris. 579 p.
- ❖ **GAUCHER G., BENBADJI N., METDE G et LOIZEL R., 1968.** Description et aspects des sols en régions semi arides au sud de sebdou (Oranie- Algérie), n°20. Bull. Inst.Sci.Rabat, P77-86.
- ❖ **GAUJOUR D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. 2ème Ed Lavoisier. P49.
- ❖ **GIRARD M., SCHVARTZ C et JABIOL B., 2011.** Etude des sols. 404p.
- ❖ **GHAZALI D, ZAID A., 2013.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknes –Maroc), Larhyss Journal 12, P25-36.
- ❖ **HALITIM A., 1988-** Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. O. P. U, Alger. 384 p.
- ❖ **HCEFLCD., 2007.** Etude diagnostique de la zone humide AL Massirafajja, cercle d'EL Brouj et cercle de Settat (Maroc), 242p.
- ❖ **HELLER R., ESNAULT R et TANCE C., 1993-** Physiologie végétale. 5^e Ed. MASSON M, Paris. 294 p.
- ❖ **HENIN S., 1990-** Sol- agronomie-environnement, Ed, ORSTOM, Paris, 189p
- ❖ **HILLEL D., 1984.** L'eau et le sol. Principes et processus physique. Ed. Louvain-la-Neuve, 288 p.

References bibliographiques

- ❖ **HIRECHE A., 2007.** Evaluation de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes, 315-320p.
- ❖ **HUBER R., 2011.** Origins : Speculations on the cosmos, Earth and mankind
- ❖ **ISO., 1990.** Qualité de l'eau. Dosage du sodium et du potassium. Méthode par spectromètre d'émission à flamme. NA 1653, ISO 9964-3. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4 p.
- ❖ **ISO., 1994.** Qualité de l'eau. Dosage des nitrates. Méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique. NA 1656, ISO 7890-3, Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4 p.
- ❖ **ISO., 1994.** Qualité de l'eau. Dosage des nitrites. Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire. NA 1657, ISO 6777. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4 p.
- ❖ **ITA, 1977.** Laboratoire du sol. Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol. 3 Ed. I.T.A. Mostaganem. 105p.
- ❖ **JAMAGNE M., 1976.** Bases et techniques d'une cartographie des sols, vol: 18, n° Horssérie. Ed. INRA. Paris, 142 p.
- ❖ **KEDDAL H et YAO N'DRI J., 2008.** impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, 13-29pp.
- ❖ **KESSEL J., 2015.** OR6-001 - S100A12 as pro-inflammatory Art., 2p.
- ❖ **KESSIRA M., 2013.** Conception d'un projet d'irrigation, 1-17pp.
- ❖ **KEMMER F., 1984.** Manuelle de l'eau. Ed Lavoisier technique et documentation. P95-96-112.
- ❖ **LADJEL S., 2006.** Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation. Les cahiers techniques du stage. T7. Centre de formation en métiers de l'eau, TiziOuzou, 101p.
- ❖ **LADJEL S., 2009.** Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation. Les cahiers techniques du stage T7. Centre de formation en métiers de l'eau, TiziOuzou, 101 p.
- ❖ **LAFFONT C., 2015.** L'air et l'humidité, guide du propriétaire-problème et solutions, p23.
- ❖ **LAMANDE M., 2003-** Effets de l'interaction des pratiques culturales et des communautés lombriciennes sur la structure du sol et son fonctionnement hydrique. Thèse de Doctorat., E. N. S. A. R, Rennes. 109 p.
- ❖ **LAMAIRE A.SALETTE D., 1982.** Les sécheresses passées et à venir : quels impacts et quelles adaptations pour les systèmes fourragers, 164-180p.
- ❖ **LAMBERT J., 1975.** Analyse du sol, El-Harrach, Alger. 110p.
- ❖ **LANDREAU A, MONITION L., 1977.** Nouvelle évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation. B.P. 6009-45018 Orléans Cédeux. 20-45pp.
- ❖ **LANTEIGNE J., 2003.** Encyclopédie de l'agora.
- ❖ **LAFELLE P., 1987.** Interactions, hiérarchies et régulation dans le sol : à la recherche d'une nouvelle approche conceptuelle. Revue d'écologie et de biologie du sol, 24 :219-229.
- ❖ **LEPELTIER S., 2005.** Un bon état écologique des eaux. Lavoisier. Paris. Vol 785 p10.
- ❖ **LOUCIF SEIAD N., 2003.** Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur agricole en Algérie, H.T.E, n° 125, 94-100pp.
- ❖ **MDANI D., 2008.** Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone déficit hydrique. 119p.
- ❖ **MANICHON H., 1982.** Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique – thèse Doct. Ing. Sc. Agronomique INA-PG, 214 pp. + Ann.
- ❖ **MARC SOUTTER, ANDRE MERMOUD ET ANDRE MUSY., 2007.** Ingénierie des eaux et du sol processus et aménagements : Lausanne. Romandes. 294p.
- ❖ **MENS ET DEROUANE., 2000.** État des nappes de l'eau souterraine de Wallonie.

References bibliographiques

- ❖ **MAYNARD D.N. et HOCHMUTH G.J., 1997.** Knott's Handbook for Vegetable growers. 582p. (http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_htm), 4p.
- ❖ **MOHAND S., 2001.** cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux. Ed. O.P.U. Alger. 156p.
- ❖ **MONITION L., 1969.** Donnés sur l'utilisation des eaux selon leurs qualités chimique, 1-20pp.
- ❖ **MUSY A., SOUTTER M., 1991.** Physique du sol. Ed. Presses polytechniques et universitaires Romandes. Lausanne, 331p.
- ❖ **NANCY M., 1997.** La qualité de l'eau d'irrigation: un facteur à ne pas négliger, 33-34p.
- ❖ **OMS, 2004.** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème édition, Vol. 1. Directives. Ed. Organisation mondiale de la sante, Genève, 110 p.
- ❖ **OMS., 2004.** Liens entre l'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé faits et chiffres - Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'adduction publique de huit.
- ❖ **OMS., 2006.** La guerre de l'eau - The water conflict.
- ❖ **PETTYJOHN W.A., 1971.** Water pollution by oil-field brines and related industrial wastes in Ohio. j. sci., 71 : 257.
- ❖ **PREVOST G., 2006.** La Pierre sculptée, 640p.
- ❖ **RAMADE F., 2003:** élément d'écologie. 3ème édition. Dunod, 690 p.
- ❖ **REBBERGE W., 1964-** Etude géo pédologique-partie générale-géologie, méthodologie. SIGALES, 123 p.
- ❖ **REMINI B., 1997.** L'évaporation des lacs de barrages dans les régions aride et semi-arides : exemples algeriens ,82-89p.
- ❖ **RIEU M., TOUMA J., GUEYR., 1992:** Sodium – calcium exchange on Brazilian soils: modeling the variation of selectivity coefficients. Soils . sci. Ann. J, pp: 1294-1300.
- ❖ **RIVIERE. JL., 1998.** Evaluation du risque écologique des sol pollués. Lavoisier Tec and Co, paris, FRA.
- ❖ **RODIER J., 2005.** L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} Ed: Dunod. Paris. 1381p.
- ❖ **RODIER J, LEUBE B, MERLET N et coll., 2009.** l'analyse de l'eau : eaux naturelles, eau résiduaires, eau de mer, DUNOD, 9ème .Paris, 1526p.
- ❖ **RODIER J, BAZIN C, BROUTIN J-P, CHOMOBON P et RODIL., 1996.** L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eau résiduaires, eau de mer, Dunod, 8ème. Paris, 13-84p.
- ❖ **RODIER J., 1984.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris. P722.
- ❖ **SEEE., 2007.** Normes de qualité (eaux destinées à l'irrigation), 2p.
- ❖ **SERVANT. JM., 1970.** Etude expérimentale des condition salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques, science du sol 85-105 pp.

- ❖ **STENGEL P., 1990-** Caractérisation de l'état structural du sol. Objectifs et méthodes. IN Actes du colloque « *La structure du sol et son évolution.* Ed. INRA Laon, 15-36 p.
- ❖ **SUMNERM E., 1993:** Gypsum and acid soils: the world science. Advances in Agronomy. 51, p: 1-32.
- ❖ **TIR C., 2001-** Dynamique saisonnière des nappes phréatiques dans la station expérimentale de SEDI MEHDI-TOUGGOURT. Mémoire d'ingénieur, université de BATNA, 63p.
- ❖ **U.S.S.L., 1954.** United salinity laboratory, diagnostic and improvement of saline and alkali soil. USDA hand book. N°60, 160 p.
- ❖ **VENTURA F., DARREL N. et LOOROPEZA L., 2001:** Soil erosion of an indurate volcanic from the semi arid area of the Mexico. Nat. soil. Erosion. Res. Lab. Col 47. n° 3, pp : 330- 335 .

References bibliographiques

- ❖ **VILAIN M., 1987.** La production végétale, vol.1.les composantes de la production. Ed. GB BILLIER, paris 416p.
- ❖ **WADE. MA., 1998.** Cartographier de la salinité dans la zone de Ngnith (Delta de fleuve Sénégal) Utilisation de la conductivité électromagnétique EM.38, Rapport de stage, I.ST DAKAR, p21.
- ❖ **YAO N'DRI Y et KEDDAL H., 2008.** impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, 13-29pp.
- ❖ **ZAHOWM.FetAMERHEINC., 1992: reclamation** of saline soil using synthetic polymers and gypsum soil .science.soiety of America journal.56.4, pp: 1257- 1260.
- ❖ **ZELLA L et SMADHI D., 2006.** L'eau : la gouvernance et l'éthique, Ed Office des publications universitaires. P131.

Annexe 01: Classification des sols d'après le pH et leurs spéculations agricoles (**GAUCHER, 1968**)

Designation des sols	pH	Cultures on speculation agricoles
Sols extrêmement acides	de 3 à 4,5	Marécage landes ou forêts, d'espèces acidiphiles
Sols très fortement acides	de 4,5 à 5	Lands, prairies
Sols très acides	de 5 à 5,5	Prairies, cultures d'espèces acidophiles (croissance difficile des légumineuses)
Sols acides	de 5,5 à 6	Prairies et cultures
Sols faiblement acides	de 6 à 6,75	Toutes cultures sauf légumineuses calcicoles
Sols neutres	de 6,75 à 7,75	Toutes cultures
Sols alcalins	de 7,75 à 8,5	Toutes cultures sauf espèce calcifuges
Sols très alcalins	au-dessus	Difficultés ou échec des cultures européennes usuelles

Annexe 02: Classification des teneurs en matière organique (MO) dans le sol.

MO (%)	Sol
< 1%	Taux très faible; sol très pauvre en MO.
1,2%	Taux faible; sol pauvre en MO.
2,4%	Bonne; sol riche en MO.
>4%	Très bonne; sol très riche en MO.

(DEJON *et al*, 1998 in Tir 2001).

Annexe 03: Normes d'interprétation de l'état de salinité d'un sol (**LAMBRT, 1975**).

Résultats CE (mmhos/cm en 25 C°)	<1	0.2	0.5	0.5-1	1>
Interprétations	Très faible	Faible à moyenne	Moyenne à élevée	Très élevée	Très forte salinité

Annexe 4: Interprétation des différentes zones de diagramme de classification des eaux d'irrigation (**BOULAIN, 1972**).

Degré	Qualité	Classe	
-------	---------	--------	--

1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En générale, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sol ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C3-S1	En générale, eau convenant à l'irrigation de culture tolérante au sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plants trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En générale eau fortement salée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant bien le sel.

Source : VALIRON F, 1983

Annexe05 : Grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux.

Classes Paramètre	Très bonne 1A	Bonne 1B	Moyenne 2	Mauvaise 3	Très mauvaise HC
Conductivité à 20°C(µs/cm)	≤ 400	400-1500	750-1500	1500-3000	-
Température (°C)	<20	20-22	22-25	25-30	-
pH	6.5-8.5	6.6-8.5	6-9	5.5-9.5	-
MES (mg/l)	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30-70	-
Résidu sec (mg/l)	≤ 500	500-1500	1500-2500	2500-3500	-
O ₂ dissous (mg/l)	>7	5-7	3-5	<3	-
Oxydabilité (mg/l)	≤ 3	3-5	5-8	-	-
SO ⁻² ₄ (mg/l)	≤ 200	-	200-300	300-400	>400
Cl (mg/l)	≤ 150	-	150-300	300-400	>
Mg ⁺² (mg/l)	≤ 50	50-75	75-100	100-400	-
Ca ⁺² (mg/l)	≤ 160	160-230	230-300	300-500	-
NH ⁺ ₄ (mg/l)	≤ 0.1	0.1-0.5	0.5-2	2-8	>8
NO ₃ (mg/l)	≤ 5	5-25	25-50	50-80	>80
NO ₂ (mg/l)	≤ 0.1	0.1-0.3	0.3-1	1-2	>2

Agoun et safer .

Annexe 06 :Normes d'interprétation du phosphore assimilable **Calvet et Villemin, 1986**

Taus de phosphore assimilable en ppm	< 30 ppm	30-50 ppm	50-100 ppm	100-200 ppm
	Très faible	pauvre	Moyennement pauvre	Riche

الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لتربة ومياه الري منطقة كاف الطيور ولاية المسيلة

أجريت الدراسة بمنطقة كاف الطيور بالجنوب الغربي لولاية المسيلة في شهر أفريل 2017 والتي تهدف الى تحديد خصائص التربة ومياه الري للمحطتين K1، K2

أظهرت النتائج ان تربة المنطقة تتميز بدرجة الحموضة الملائمة للعديد من المحاصيل الزراعية إضافة إلى توفرها على نسبة كبيرة من المادة العضوية التي يمكن ان توفر الغذاء للنباتات والكائنات المجهرية في التربة. كما بينت وجود عدة خصائص يمكن أن تؤثر سلبا مثل البنية الرملية إضافة الى توفرها على كمية كبيرة من الكلس. ويمكن تصحيح هذه المشكلة بإضافة الطين لتحسين نوعية التربة.

كما بينت النتائج ان خصائص مياه الري مقبولة عموما ولا تشكل خطورة كبيرة على غالبية النباتات الا اننا ننصح بتركيب شبكات التصفية من أجل صرف المياه المالحة خارج المناطق المزروعة إضافة الى التحكم في استخدام الري عن طريق ضبط الوقت و الكمية....

كلمات رئيسية: خصائص التربة, ماء الري, كاف الطيور, المسيلة.

Résumé:

Caractérisation physico-chimique des sols et des eaux d'irrigation de la zone de Kf Tiour, Wilaya de M'Sila

Cette étude a pour objectif la caractérisation des sols et des eaux d'irrigation de la zone de Kef Tiour (W-M'SILA).

Les résultats ont montrés que :

Les sols des deux stations présentent certaines propriétés recherchées tels le pH considéré comme acceptable de point de vue adaptation de la majorité des cultures, la richesse en matière organique qui peut offrir les éléments nutritifs majeurs recherchée pour la nutrition des végétaux ainsi que les micro-organismes édaphiques. Ils présentent aussi des caractéristiques qui peuvent influencer négativement; tels que la texture sableuse, le risque de battance, la très grande richesse en calcaire total.

Les propriétés des eaux d'irrigation sont globalement acceptables et ne présentent pas de risques pour le majorité des cultures

Comme suggestion, on peut proposer l'apport et l'ajout de l'argile et le contrôle de l'utilisation de l'irrigation (doses, durés....) et peut être installation des réseaux de drainage pour évacuer l'eau saline en dehors de la parcelle cultivée.

Mots clés: caractérisation, sols, eaux d'irrigation, Kef Tiour, M'sila.

Summary

Physico-chemical characarterisation of soil and irrigation water of the area of Kef Tiour (w M'Sila)

The purpose of this study is to characterize the soils and irrigation waters of the Kef Tiour area (M'SILA).

The results showed that :

The soils of our two stations have certain desired properties, such as the pH considered to be acceptable from the viewpoint of adaptation of the majority of crops, the organic richness that can provide the major nutrients sought for plant nutrition as well as microorganisms edaphic. They have also characteristics that can negatively influence; such as the sandy texture, the risk of battance, the very high total limestone content.

As a suggestion, it is possible to propose the addition of clay and the control of the use of irrigation (doses, durations..) and can be installed drainage networks to evacuate saline water in outside the cultivated plot.

Key words: characterization, soil, irrigation waters, Kef Tiour, M'sila.