

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier premièrement dieu ALLAH qui a attribuer la courage et la force pour terminer ce travail.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à M^{elle} TIR Chafia d'avoir dirigé ce travail de recherche, ces suggestions, ces conseils et les suggestions qui nous ont permis l'élaboration de ce travail, qu'elle rassurée de nos remerciements les plus respectueux.

Nos s'incérons sont remerciements s'adressent aux membres de jury qui ont bien voulu accepter de lire et juger ce travail:

- ❖ Monsieur CHERIEF Abdelkader, enseignant et chef département des sciences agronomiques à l'université de Mohamed Boudief-M'Sila, en qualité de président du jury.*
- ❖ Monsieur AMROUNE Abdelouahb, enseignant au département des sciences agronomiques à l'université de Mohamed Boudief-M'Sila, en qualité d'examineur.*

Nous adressons, également nos remerciement à tout les établissements (DSA, ANRH), pour leurs aides.

Et aussi, nous adressons nos vifs remerciements à tout les enseignants de département de sciences agronomique en particulier à Mr HADJKOUIDER B et Mr CHERIEF A, et surtout de spécialité de science de sol.

Sans oublier toutes les amis et les personnes qui ont aidés de près ou de loin à mener à bien ce travail.

MERCI ENFINNEMENT



DEDICACES

Je dédié ce modeste travail à:

*A mes chers parents, mess frères et sœurs,
mes amis et mes collègues d'étude.*

Messaouda MAIZA



DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à:

A mes chers parents pour leur soutien et encouragements

*A mes frères surtout mon frère MOHAMED DJASSEM et à mes
sœurs*

A mes amis et mes collègues d'étude.

RANIA BOUDJELLAL



DEDICACES

Je dédié ce modeste travail à:

*A mes **chers parents**, mess **frères** et **sœurs**,
mes **amis** et mes **collègues** d'étude.*

Messaouda MAIZA



DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à:

A mes chers parents pour leur soutien et encouragements

*A mes frères surtout mon frère MOHAMED DJASSEM et à mes
sœurs*

A mes amis et mes collègues d'étude.

RANIA BOUDJELLAL

Liste d'abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....01

Première partie: Recherche bibliographique.

I-1-Introduction.....03

I-2- Importance de l'eau en agriculture.....03

I-2-1- Le sol et les besoins en eau.....04

I-2-2- Les cultures et la carence en eau.....05

I-3- Critères généraux des eaux d'irrigation.....05

I-4-Provenance de l'eau d'irrigation.....06

I-5- L'irrigation dans le monde.....06

I-6- L'irrigation en Algérie.....07

I-7- Propriétés des eaux d'irrigation.....08

I-7-1- Les paramètres physiques.....08

I-7-1-1- La Température (T)08

I-7-1-2- La conductivité électrique (CE).....09

I-7-1-3- Le Potentiel d'Hydrogène (pH).....09

I-7-1-4-Matières en suspension (MES)09

I-7-1-5- Résidu sec.....09

I-7-2- Les paramètres chimiques.....09

I-7-2-1- Les anions.....09

A- Les chlorures (Cl⁻) et les sulfates (SO₄²⁻).....09

B- Les nitrates (NO³⁻) et les nitrites (NO²⁻).....10

C- Les bicarbonates (HCO³⁻) et les carbonates (CO³⁻)10

I-7-2-2- Les cations.....10

a- Le sodium (Na⁺).....10

b- Le potassium (K⁺).....11

c- Le calcium (Ca²⁺).....11

d- Le magnésium (Mg²⁺).....11

e- Les matières azotées.....12

I-8- La qualité de l'eau d'irrigation.....12

I-9- Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation12

I-10- Méthodes et normes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation13

I-10- 1- Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation.....13

I-10- 1-1- Tableau des Directives de la FAO13

I-10- 1-2- Diagramme de RIVERSIDE (1954)14

I-10- 1-3- Diagramme de Wilcox.....16

I-10- 1-4- Diagramme de Piper.....17

I-11- Le problème lié à la qualité des eaux d'irrigation.....18

I-11-1- La salinité des sols sous irrigation.....18

Table de matière

I-11-2- Toxicité.....	20
I-11-3- La perméabilité.....	20
I-12- Classification des eaux d'irrigation.....	20
I-12-1- Classification basée sur la salinité.....	20
I-12-2- Classification basée sur la conductivité électrique (CE)	21
I-12-3- Classification basée sur l'alcalinité.....	22
I-12-4- Classification des eaux d'irrigation selon la proportion relative du sodium, calcium et du magnésium.....	22
I-12-5- Classification de DURAND dans l'Afrique du Nord	22
I-12-6- Classification des eaux par les méthodes de Wilcox.....	23
I-13- Conclusion.....	23

Deuxième partie: Milieu physique et méthodes d'étude

Chapitre 1: Milieu physique

II-1- Présentation de la zone d'étude.....	24
II-1-1-1- Situation géographique de la région d'étude.....	24
II-1-2- Caractéristiques physiques de la région d'étude.....	25
II-1-2-1- Relief de la zone étudiée.....	26
II-1-2-2- Géologie de la région d'étude.....	26
II-1-2-3- Le sol de la zone d'étude	27
II-1-2-4- L'hydrogéologie et l'hydrographie.....	28
II-1-2-5- La végétation.....	29
II-1-3- Caractéristiques climatiques de la zone de M'Sila.....	29
II-1-3- 1- Température.....	30
II-1-3- 2- Précipitation.....	31
II-1-3- 3- Humidité relative.....	33
II-1-3- 4- Vent.....	33
II-1-3- 5- Evapotranspiration.....	33
II-1-3- 6- Bilan hydrique	34
II-1-4- Classification climatique de la région d'étude (commune de M'Sila).....	35
II-1-4-1- Le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1957).....	35
II-1-4-2- Climagramme d'EMBERGER.....	36
II-1-5- Milieu socio-économique.....	37
II-1-5-1- Répartition superficielle de la zone d'étude (M'Sila).....	38
II-1-5-2- Occupation du sol de la commune étudié (M'Sila).....	38
II-1- 6- Conclusion.....	38

Chapitre 2: Méthode d'étude

II-2-1- Choix de la région d'étude	39
II-2-2- Période de prélèvement et l'échantillonnage de l'eau de la commune de M'Sila.....	39
II-2-3- Méthode de prélèvement et de conservation des eaux à analyser de la commune de M'Sila.....	40

Table de matière

II-2-4- Méthodes d'analyse des paramètres physico-chimique des eaux des forages de la commune de M'Sila.....	41
II-2-4- 1- La température.....	41
II-2-4- 2- Conductivité électrique.....	41
II-2-4- 3- Potentiel hydrogène.....	42
II-2-4- 4- Dureté totale.....	42
II-2-4- 5- Début.....	42
II-2-4- 6- Résidu sec.....	42
II-2-4- 7- Alcalinité (TA, TAc).....	42
II-2-4- 8- Nitrate.....	42
II-2-4- 9- Nitrite.....	42
II-2-4- 10- Chlorure.....	43
II-2-4- 11- Sulfates.....	43
II-2-4- 12- Magnésium.....	43
II-2-4- 13- Calcium.....	43
II-2-4- 14- Potassium et Sodium.....	43
II-2-4- 15- Carbonates et Bicarbonate.....	43
II-2-4- 16- Matière en suspension.....	43
Troisième partie: résultats et discussion	
III-1-Introduction.....	44
III-2- Caractérisation physico-chimiques des eaux d'irrigation des forages analysées dans la zone M'Sila.....	44
III-2-1- La température.....	45
III-2-2- Le pH	46
III-2-3- La conductivité électrique	47
III-2-4- La dureté totale	48
III-2-5- Les résidus secs	49
III-2-6- Les matières en suspension.....	50
III-2-7- Le TA et le TAC.....	50
III-2-8- Les cations.....	51
III-2-8-1- Le calcium.....	51
III-2-8-2- Le magnésium.....	52
III-2-8-3- Le sodium.....	53
III-2-8-4- Le potassium.....	54
III-2-9- Les anions.....	55
III-2-9-1- Les chlorures.....	55
III-2-9-2- Les sulfates.....	55
III-2-9-3- Les nitrates et les nitrites.....	56
III-2-9-4- Les carbonates et les bicarbonates	57
III-3- Classifications des eaux d'irrigations de la zone d'étude (M'Sila).....	58

Table de matière

III-3-1- Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux d'irrigation de la zone de M'Sila selon la méthode de Riverside.....	58
III-3-2- Représentation graphique des faciès hydro-chimiques de nos eaux d'irrigation par l'utilisation du diagramme de Piper.....	60
III-3-3- Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux d'irrigation par le diagramme de Wilcox.....	61
III-3-4- Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux d'irrigation par le diagramme de Schoeller-Berkaloff	62
III-4- Conclusion.....	65
Conclusion générale.....	66
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste d'abréviations

ADCP :	Acoustic Doppler Current Profiler
AFNOR :	Agence Française de Normalisation
Ag cl₂ :	Nitrate d'argent
Alt :	Altitude
ANRH :	Agence Nationale Ressource Hydraulique
C :	Classe
°C :	Degré Celsius
Ca⁺² :	Calcium
CaCO₃ :	Carbonate
CaSO₄2H₂O :	Gypse
CE :	Conductivité Electrique
Cl⁻ :	Chlorure
CO₂ :	Dioxyde de carbone
CO₃⁻ :	Carbonate
Déc :	Décembre
DRE :	Direction de Ressources en Eau
DSA :	Direction de Services Agricole
ds/m :	Déci-siemens par mètre
E :	Est
EDTA :	Ethylène Diamine Tétra Acétique
ETP :	Evapotranspiration potentielle
F :	Forage
°F :	Degré français
FAO :	Food Agriculture Organisation
Fe :	Fer
Fév :	Février
h :	Heur
H⁺ :	Hydrogène
ha :	Hectare
HCO₃⁻ :	Bicarbonate
Jan :	Janvier
Jt :	Juillet
Jui :	Juin
K⁺ :	Potassium
Km :	Kilomètre
L :	Litre
Lat :	Latitude
Long :	Longitude
m :	Moyenne de température minimale
M :	Moyenne température Maximale
MADR :	Ministère Agriculture Développement Rural
Mar :	Mars

Liste d'abréviations

méq/l :	Milliéquivalent par litre
MES :	Matière En Suspension
Mg²⁺ :	Magnésium
mg/l :	Milligramme par litre
mm/m :	Millimètre par mètre
m/s :	Mètre par seconde
ms/cm :	Milli-siemens par centimètre
N :	Nord
Na⁺ :	Sodium
NH₄⁺ :	Ammonium
NO₂⁻ :	Nitrite
NO₃⁻ :	Nitrate
Nov :	Novembre
NPK :	(Azote, phosphore, potassium) engrais chimique
Oct :	Octobre
P :	Précipitation
pH :	Potentiel Hydrogène
PMH :	Petit et Moyenne Hydraulique
ppm :	Partie par million
Q₂ :	Coefficient pluviométrique d'Embergie
RFU :	Reserve facilement utilisable
S :	Station
SAR :	Sodium Adsorption Ratio
SAU :	Surface Agricole Utile
Sep :	Septembre
SO₄²⁺ :	Sulfate
T :	Température
TA :	Titre Alcalimétrique
TA c :	Titre Alcalimétrique complet
TDS :	Totale Dissolved Sels
USDA :	United States Department of Agriculture
WHO :	World Health Organisation
Z :	Zone
µmhos/cm :	Micro-mhos par centimètre
µs/cm :	Micro-siemens par centimètre

Liste des figures

Figure	Page
Figure 1: Diagramme de RIVERSIDE.....	16
Figure 2: Diagramme de WILCOX.....	18
Figure 3: Diagramme de PIPER.....	19
Figure 4: Mécanismes naturelle de salinisation des eaux de surface et souterrains.....	20
Figure 5: Situation géographique de la zone d'étude (M'Sila).....	25
Figure 6: Situation administrative de zone d'étude et ces limite géographique.....	26
Figure 7: La carte géologique de la zone d'étude.....	28
Figure 8: La carte pédologique de la zone d'étude (M'Sila).....	29
Figure 9: Variations des températures moyennes mensuelles; des moyennes, des maxima, et des minima en °C (2006-2016).....	32
Figure 10: Variations moyenne mensuelles et annuelles des précipitations (mm) (2006-2016).....	33
Figure 11: La carte pluviométrique de la région d'étude.....	33
Figure 12: Représentation graphique du bilan hydrologique de Thornthwaite à la station de M'Sila.....	36
Figure 13: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de M'Sila.....	37
Figure 14: Situation bioclimatique de la région M'Sila dans le climagramme d'Embergie.....	38
Figure 15: Localisation géographique des forages analysées et ces zones dans la commune de M'Sila.....	40
Figure 16: Variation des T en (°C) des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone d'étude (M'Sila) (Avril et Mai, 2018).....	47
Figure 17: Variation du pH des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).....	48
Figure 18: Variation de la conductivité électrique des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).....	49
Figure 19: Variation de la dureté des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).....	50
Figure 20: Variation des résidus secs des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone d'étude (M'Sila, Avril et Mai 2018).....	50
Figure 21: Variation des matières en suspension des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).....	51

Liste des figures

Figure 22: Présentation de TA et TAC des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).....	52
Figure 23: Variation des concentrations en calcium des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).....	53
Figure 24: Variation des concentrations en magnésium des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone d'étude (Avril et Mai, 2018).....	54
Figure 25: Variation des concentrations en sodium des eaux souterraines de la zone d'étude (Avril et Mai, 2018).....	55
Figure 26: Variation des concentrations en potassium des eaux souterrains des huit forages analysés de d'étude (Avril et Mai, 2018).....	55
Figure 27: Variation des concentrations en chlorure des eaux souterraines analysées de la zone M'Sila (Avril et Mai, 2018).....	56
Figure 28: Variation des concentrations en sulfates des eaux souterraines analysées de la zone M'Sila (Avril et Mai, 2018).....	57
Figure 29: Variation des concentrations en nitrates et en nitrites de nos eaux souterrains analysées (Avril et Mai, 2018).....	58
Figure 30: Variation des concentrations en carbonates et en bicarbonates des eaux souterraines analysées de la zone M'Sila (Avril et Mai, 2018).....	59
Figure 31: Classification des eaux d'irrigation des huit stations étudiées selon le diagramme de Riverside.....	60
Figure 32: Classification des eaux d'irrigation des quatre forages (F1, F2, F3, F4) de la région de M'Sila selon le diagramme de Piper.....	61
Figure 33: Classification des eaux d'irrigation des quatre forages (F5, F6, F7, F8) de la région de M'Sila selon le diagramme de Piper.....	62
Figure 34: Classification des eaux d'irrigation des huit stations étudiées selon le diagramme de Wilcox.....	63
Figure 35: Classification des eaux d'irrigation des quatre forages (F1, F2, F3, F4) étudiées selon le diagramme de Schoeller- Berkaloff.....	64
Figure 36: Classification des eaux d'irrigation des quatre forages (F5, F6, F7, F8) étudiées selon le diagramme de Schoeller- Berkaloff.....	65

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tableau 1: Capacité de rétention en eau pour différentes textures de sol selon leur contenu en matière organique.....	05
Tableau 2: Evolution des surfaces irriguées de 2000 à 2008 en Algérie.....	08
Tableau 3: Tolérance des cultures au sodium.....	12
Tableau 4: Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.....	13
Tableau 5: Les directives pour l'interprétation d'une eau d'irrigation selon la FAO, (1988).....	15
Tableau 6: Les classes issues du diagramme de RIVERSIDE.....	16
Tableau 7: Interprétation des classes du diagramme de RIVERSIDE.....	17
Tableau 8: Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale de sels, selon différent sources.....	22
Tableau 9: Caractéristiques de station météorologique de M'Sila (coordonnées, altitude et période d'observation).....	31
Tableau 10: Moyennes mensuelles de température moyenne de la commune de M'Sila, 2018.....	31
Tableau 11: Précipitations moyennes mensuelles et annuelle (mm) de la commune de M'Sila, 2006-2016.....	32
Tableau 12: Humidité moyenne en (%) de la zone étudiée.....	34
Tableau 13: Moyenne mensuelle et annuelles de vitesse du vent en m/s de la zone d'étude.....	34
Tableau 14: Moyenne mensuelle et annuelle de l'évapotranspiration en (mm).....	34
Tableau 15: Bilan hydrologique calculé à partir de la formule de Thornthwaite (M'Sila).....	35
Tableau 16: Valeurs du quotient pluviothermique de la commune de M'Sila.....	38
Tableau 17: Répartition superficielle de la zone d'étude (M'Sila).....	39
Tableau 18: Occupation du sol de la zone d'étude (2016).....	39
Tableau 19: Les coordonnées géographiques, la date, et les lieux des prélèvements des échantillons d'eaux à analysées (commune de M'Sila).....	41
Tableau 20: Les conditions de conservation et de prélèvement des eaux	42
Tableau 21: Résultats des analyses physiques des eaux d'irrigation des huit forages étudiés de la zone M'Sila.....	45
Tableau 22: Résultats des analyses chimiques des eaux d'irrigation des huit forages étudiés de la zone M'Sila.....	46
Tableau 23: Résultats des teneurs en sodium (Na%) et en conductivité (CE $\mu\text{s/cm}$) des eaux d'irrigation de la région d'étude (M'Sila)	62

Introduction générale

« Plutôt qu’être nécessaire à la vie, l’eau est la vie elle même », écrivait Saint-Exupéry dans « terre des hommes ». L’eau est présente à tous les niveaux de la société humaine, de l’écologie à l’industrie, en passant par l’agriculture et on ne lui connaît pas de substitut. En Algérie, l’eau est une ressource fondamentalement préoccupante du fait de sa rareté et du développement économique et social désordonné. Cela entraîne une suite de problèmes de gestion au sens large: perte, gaspillage, traitements aléatoires, dégradation et manque de protection de la ressource, qui s’ajoutent aux conditions naturelles défavorable (**SAKAA, 2013**).

L’agriculture irriguée constitue l’activité humaine qui consomme la part la plus importante de l’eau (70% des réserves en eaux) par rapport à 20% destinée à l’industrie et 10% potable (**BENZARI, 2008**).

De par le monde, les régions arides et semi-arides sont marquées par le déficit hydrique de façon quasi permanente; les précipitations irrégulières et males réparties dans le temps et l’espace, ce déficit hydrique associé à des évapotranspirations potentielle (ETP) extrêmes fait que le recours à l’irrigation des terres est inévitable (**RECHACHI, 2017**).

Aussi, l’eau d’irrigation, qu’elle provienne de rivières ou source ou qu’elle soit pompée dans la nappe, n’est jamais pure, elle contient des sels dissous qui suivant leur concentration, peuvent affecter les sols et les cultures. Il importe alors d’adapter les pratiques agricoles à l’eau dont on dispose, sachant que les comportements seront différents suivant la nature des sels en cause, la composition chimique d’une eau doit donc être examinée en fonction de son impact sur les terres et les plantes (**LANDREAU et MONITION, 1977**).

L’aptitude de l’eau à l’irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent, il est donc impératif d’étudier les paramètres qui définissent les caractéristiques des eaux destinées à l’irrigation (**ROUABHIA et DJABRI, 2010**).

M'Sila qui se situe à 248Km au Sud -Est de l’Algérie, est une zone aride et pastorale du centre de pays, où l’agriculture est une activité secondaire au cours d’aménagement et de développement.

Introduction générale

Comme toutes les zones arides et semi arides en Algérie, le recours à l'irrigation dans cette région est inévitable. Mais la question la plus importante à poser est la suivante :

Les eaux utilisées en irrigation sont-elles de qualité admissible ou pose-t-elles des problèmes pour le développement des cultures à installées ?

Le présent travail est un essai ou une contribution à la réponse à la question posée tout en limitant notre travail seulement à la commune de M'Sila et en traitant les plus importants paramètres physico- chimiques des eaux analysées dans cette région.

Pour mener à bien nos objectifs souhaités, le présent travail est organisé comme suit :

- La première partie s'est basée sur une recherche bibliographie sur l'eau d'irrigation. Nos informations ont été rassemblées d'ouvrages, d'articles et des rapports de certains organismes agricoles.
- La deuxième partie concerne l'étude du milieu physique de région étudiée (commune de M'Sila), ainsi que les étapes et méthodes de choix des zones de prélèvement, méthodes de prélèvement et conservation des échantillons d'eaux à analyser arrivant à la fin à la présentation des méthodes d'analyses suivis.
- La troisième partie est une présentation des résultats d'analyses effectuées (des échantillons d'eaux des forages choisis) avec quelques interprétations et discussion parfois.
- Enfin, nous avons présenté une conclusion récapitulative portant quelques propositions et suggestions pour les agriculteurs concernés par notre zone étudiée.

Première partie: Recherche bibliographique

I-1- Introduction

L'eau étant nécessaire au développement de toutes les formes de vie, animales ou végétales, pour cette raison qu'il faut veiller à la préservation de cette ressource vitale des points de vue qualitatifs et quantitatifs (SEDRATI, 2011) .

Les pays du pourtour méditerranées considérés comme semi-aride seront de plus en plus confrontés à des pénuries d'eau. Dans ces zones, le déficit hydrique climatique est très marquer et le recours à l'irrigation devient une nécessité vitale pour accroître et régulariser la production agricole (SEDRATI, 2011) .

Selon (SAIYOURI, 2012), il est important de savoir que l'agriculture est de loin le plus grand consommateur d'eau.

Pour cela, aux cours de cette étude, et dans notre chapitre nous allons présenter les caractéristiques et les différents propriétés des eaux d'irrigation; ainsi que, leur critères généraux, les normes de qualités distinguée a l' irrigation et les méthodes dévaluation de sa qualité.

I-2- Importance de l'eau en agriculture

L'agriculture est la plus consommatrice en eau douce comparativement aux autres secteurs avec 70 % de l'eau utilisable dans le monde.

Devenu rare, cet "or bleu" pourrait être l'une des principales causes de conflits entre les différents utilisateurs notamment pour le secteur de l'agriculture, qui constitue la source d'approvisionnement en produits alimentaires pour la population (CALZADILLA *et al*, 2010).

Dans les zones arides et semi-arides, il existe une assez grande compétition en eau douce entre l'agriculture et les autres secteurs (DE FRIATTURE et WICHELNS, 2010).

Cependant, sans une meilleure gestion de l'eau en agriculture, les objectifs actuels et à long terme pour le développement en agriculture et environnement durable ne peuvent être atteints.

A cet effet, il est impératif de mieux raisonner l'eau d'irrigation et trouver de nouvelles stratégies afin de pouvoir assurer d'une part, des économies d'eau et d'autre part, une production qualitative et quantitative des produits en engrais pour conserver la sécurité alimentaire (CHENAFI, 2017).

I-2-1- Le sol et les besoins en eau

Selon (EQUITERRE, 2009), le type de sol est un facteur important à considérer lors de la conception et de la gestion d'un système d'irrigation, un sable faiblement pourvu en matière organique retiendra à peine 5% de son poids en eau.

Par contre, un sol limoneux pourra en retenir près de 30%, cette quantité d'eau retenue influence directement les fréquences d'irrigation; par exemple, une argile aura assez d'eau en réserve en début de saison pour approvisionner une culture pendant un mois, alors qu'un sable grossier n'aura de réserve que pour quelque jour.

La matière organique joue un rôle déterminant dans la rétention d'eau, comme une éponge, elle retient l'eau des précipitations pour la restituer à la demande des besoins de la culture.

Comme le démontrent les données des tableaux 1, avec un bon taux de matière organique, le sol joue un rôle tampon en retenant l'eau des précipitations pour une utilisation subséquente par la plante.

Tableaux 01: Capacité de rétention en eau pour différentes textures de sol selon leur contenu en matière organique

Type de sol	Sol sans matière organique	Sol avec 4% à 6% de matière organique
	Millimètre d'eau retenu par mètre de profondeur de sol (mm/m) pour un sol à capacité au champ	Millimètre d'eau retenu par mètre de profondeur de sol (mm/m) pour un sol à capacité au champ
Sable	45	161
Sable loameux	70	147
Loam sableux	98	146
Loam	137	165
Loam limoneux	206	230
Loam argileux	253	294
Argile sableuse	218	270
Argile	202	252

Source: (GALLICHAND et BROCHE, 1983)

En règle générale, dans les sols sableux qui retiennent peu l'eau, une irrigation de 35 mm une fois par semaine est nécessaire, alors que dans les sols loameux, une irrigation de 50 mm une fois aux deux semaines est préférable; il faut toutefois nuancer ces besoins en fonction des cultures. (EQUITERRE, 2009).

I-2-2- Les cultures et la carence en eau

L'eau est un élément essentiel pour les plantes: elle constitue la plus grande partie de leur masse (en moyenne 60%) et c'est le milieu où s'effectuent toutes les réactions chimiques conduisant à la production de matière végétale (CHENAFI, 2017).

En fait, l'essentiel de l'eau transite dans le végétal et seule une faible quantité entre dans la constitution de la matière verte. Cette ressource, qui répond aux besoins fondamentaux du bien être est un élément à multiples enjeux, à savoir: économique, environnemental et agronomique; mais plus encore, l'eau agricole apparaît comme un des leviers majeurs de développement (CHENAFI, 2017).

Selon (EQUITERRE, 2009), plusieurs facteurs, en général reliés au développement racinaire, affectent le besoins en eau d'une culture :

-Le stade de développement de la culture: en début de saison de croissance, les racines sont peu développées et, par conséquent, il faut prévoir des fréquences d'irrigation plus rapprochées.

Les besoins en eau sont toutefois relativement faibles, car les jeunes plants ont peu de feuillage et par conséquent transpirent peu.

Au fur et à mesure que les plantes grandissent, la fréquence d'irrigation peut diminuer, mais la quantité d'eau doit augmenter.

Il faut toutefois limiter l'irrigation en début de croissance afin de permettre un développement racinaire en profondeur; des arrosages trop fréquents entraînent un développement racinaire superficiel et une faible résistance des plantes à la sécheresse.

-L'état du sol: lorsque le sol est compact ou que la nappe d'eau est trop haute, les racines ne peuvent pas bien se développer; le volume de sol qu'elles explorent est faible et la sensibilité à la sécheresse est alors plus importante.

-Le type de culture: les cultures ont une profondeur d'enracinement variable ce qui affecte leur besoin en irrigation.

I-3- Critères généraux des eaux d'irrigation

Par rapport à la qualité des eaux d'irrigation, les plantes ont été réparties en quatre groupes de sensibilité différente, allant des plantes très sensibles aux plantes très tolérantes.

Les plantes prises en compte dans ces groupes étant susceptibles de varier d'un paramètre à l'autre, la composition de chaque groupe ne peut pas être définie de façon stable, cette démarche est semblable à celle qui a été adoptée pour la fonction "potentialités biologique" (ANONYME, 2003).

D'après (YELLE, 2003), l'eau d'irrigation peut avoir un impact sur la salubrité ou l'innocuité des récoltes qui sont irriguées, surtout en situation d'irrigation par aspersion de légumes feuilles ou de légumes fruits, elle peut aussi avoir un impact sur la qualité et la santé de la récolte ou encore du sol.

I-4-Provenance de l'eau d'irrigation

De tout temps, les sociétés humaines ont déployé des trésors d'imagination pour détourner de multiples manières l'eau nécessaire à leur culture et irriguer leurs champs.

Certaines méthodes se contentent de mobiliser les eaux de crues des rivières ou les eaux de pluie, elles interviennent peu sur le cours des rivières et déplacent peu les eaux dans l'espace.

Au bord de certains grands fleuves africains par exemple, les paysans cultivent les terrains susceptibles d'être légèrement inondés par les eaux grossières du fleuve à la saison des pluies, qu'ils ensemencent juste avant la montée des eaux (BOUAROUDJ, 2012).

Très utilisée en Asie, mais également en Afrique, notamment pour la culture du riz, la construction de tout un réseau de petits canaux et de digues permet de récolter les eaux de crue des rivières, de les distribuer en contrôlant leur niveau dans chaque parcelle et de les y retenir.

En Inde et au Brésil, se développe également l'usage de petites retenues d'eau, dites collinaires, édifiées en amont des vallées.

Ces petits barrages en terre, de faible profondeur, récupèrent et stockent, pendant la saison des pluies, les eaux de ruissellement et les eaux de pluie, lesquelles peuvent ensuite être utilisées au profit des cultures (BOUAROUDJ, 2012).

Selon (OLLIER et POIREE, 1983), d'autres méthodes cependant consistent à pratiquer de véritables détournements d'eau, le recours aux puits, notamment, permet de prélever toute l'année l'eau de certaines nappes souterraines, en d'autant plus grandes quantités que l'on sait aujourd'hui forer jusqu'à de grandes profondeurs et pomper l'eau mécaniquement.

Une autre pratique consiste à détourner l'eau des rivières, et à la transporter par canaux, parfois très loin de son lieu de prélèvement, jusqu'à des régions moins bien dotées où elle manque. Enfin, une technique qui s'est beaucoup développée au cours du vingtième siècle est la construction, sur le cours des rivières, d'immenses barrages capables de stocker d'énormes réserves d'eau, de tels aménagements offrent un accès quasi permanent à l'eau, (OLLIER et POIREE, 1983).

I-5- L'irrigation dans le monde

La consommation d'eau agricole est très variable d'un pays à l'autre, elle n'intéresse que 273 millions d'hectares dans le monde éparpillés très irrégulièrement sur tous les continents. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les pays qui irriguent le plus ne sont pas les pays au

climat aride ou semi-aride; dans ces régions, en effet, il ne peut y avoir de culture sans irrigation (MILOS, 1971).

Aussi, toutes les surfaces cultivées sont-elles irriguées; mais, comme il ne peut y avoir d'irrigation sans eau, les surfaces cultivées demeurent réduites en superficie, limitées par la faiblesse des ressources en eau, et localisées là où ces ressources sont disponibles, c'est le cas de pays comme l'Égypte par exemple où l'agriculture s'est développée sur les bords du Nil, ou de certains pays de l'Amérique latine comme le Mexique (MILOS, 1971).

À l'inverse, dans les régions qui reçoivent suffisamment d'eau de pluie, la superficie des terres cultivées peut être très importante, surtout si le relief le permet.

Bien que l'irrigation n'y soit pas indispensable, elle est néanmoins utilisée, et ce d'autant plus facilement que l'eau est disponible, afin de diversifier et d'améliorer les cultures, d'obtenir des récoltes multiples, ou encore d'augmenter les rendements. Même si elle n'est pas systématique, l'irrigation peut donc être conséquente; c'est ce qui se passe au Japon, en Chine, en Inde et au Pakistan (MILOS, 1971).

En conséquence, les pays qui irriguent le plus sont ceux situés dans le Sud-Ouest asiatique, lesquels rassemblent plus de 60 % des terres irriguées de la planète, et certains pays du pourtour méditerranéen, comme l'Italie ou la Grèce (BOUAROUJ, 2012).

I-6- L'irrigation en Algérie

Selon (KADI, 1997), l'Algérie compte 17 bassins-versants, les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables.

Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques.

Globalement, la superficie irriguée actuellement est de l'ordre de 420.000 ha dont 100.000 ha dans les régions sahariennes et ce, sur une superficie agricole utile de 8.666.715 ha soit près de 5% de la surface agricole utile (SAU) (MESSAHEL *et al*, 2003).

Selon (BENBLIDIA, 2011), l'irrigation gravitaire (tableau 02) reste encore très répandue dans les exploitations de PMH. Mais on constate que les modes d'irrigation « économes » se sont bien développés, en particulier le « goutte à goutte » dans les Hauts Plateaux et les régions sahariennes. L'introduction du mode d'irrigation dit du « goutte à goutte » a permis la création de nombreux petits bureaux d'études pour le calcul des plans de réseaux, et le développement de la fabrication de matériels et de canalisations en plastique souple.

D'importantes subventions pour la mise en place d'équipements de la micro-irrigation ont été octroyées dans le cadre d'un vaste programme d'économie de l'eau pour réduire la demande en eau d'irrigation et limiter les pertes.

Tableau 02 : Evolution des surfaces irriguées de 2000 à 2008 en Algérie.

Année	Superficie Irriguées Totale (ha)	Système d'irrigation (ha)		
		Gravitaire	Aspersion	Goutte à goutte
2000	350.000	275.000	70.000	5000
2001	617.427	458.421	102.978	560.28
2002	644.978	433.561	127.570	83.877
2003	722.320	485.019	138.301	99.000
2004	793.334	516.108	159.739	117.487
2005	825.206	524.503	153.006	147.697
2006	835.590	481.046	175.056	179.488
2007	907.955	557.327	183.182	166.784
2008	928.955	583.002	185.080	160.873

Source: Bilan 2000-2008 MADR in (BENBLIDIA, 2011).

I-7- Propriétés des eaux d'irrigation

D'après (OLLIER et POIREE, 1981), les paramètres de base de détermination des propriétés des eaux d'irrigation sont ceux physico chimiques.

la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement.

Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation (TIR, 2001).

Les qualités physiques et chimiques de l'eau sont à considérer en irrigation, toute les eaux n'étant pas favorables aux plants et à leur développement.

I-7-1- Les paramètres physiques

L'étude de ces paramètres est très importante dans la détermination de la qualité des eaux d'irrigation, ils s'agit de: la température, la conductivité électrique, le potentiel hydrogène, le débit, les résidus secs, la turbidité, et l'oxygène dissous.

I-7-1-1- La Température (T)

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol (DEBIECHE, 2002).

I-7-1-2- La conductivité électrique (CE)

C'est un paramètre physique très important, car il traduit le degré de minéralisation des eaux; il permet d'avoir rapidement l'ordre de la minéralisation globale de l'eau, son unité est le dS/m (Décimens par mètre) (**BERROUCH, 2011**).

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution (**DEBIECHE, 2002**).

I-7-1-3- Le Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution (H^+), il est représenté par une expression logarithmique, le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation, il devrait se situer entre 5,5 et 6,5, à ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale (**COUTURE a, 2006**).

I-7-1-4- Matières en suspension (MES)

C'est la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau. Les MES sont responsable d'ensablement et de baisse de pénétration de la lumière dans l'eau (**GOMELLE et GUERREE, 1978**).

La présence d'énormes quantités de matières en suspension (MES) entraîne leur sédimentation sur les planches, ayant pour effet le colmatage des sols empêchant ainsi la respiration normale des cultures (**DERWICH et al, 2010**).

I-7-1-5- Résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau (**RODIER et al, 1996**).

I-7-2- Les paramètres chimiques

Selon (**BAZA, 2006**), l'eau est un excellent solvant, donc facilement polluée, le processus de dissolution d'une substance est une destruction de sa cohésion interne.

Cette cohésion est due à des force inter atomiques (liaisons chimiques forts, covalentes, électrovalences ou ionique) et intermoléculaires (liaisons de cohésion entre molécules; du type liaison hydrogène et liaison de Van Der Waal).

I-7-2-1- Les anions**A- Les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-})**

L'origine d'élément chlorures est liée principalement à la dissolution des formations salifères et la présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses (**DEBIECHE, 2002**).

Lorsqu'ils sont présents dans l'eau d'irrigation, ces éléments contribuent à augmenter la concentration des sels solubles; des concentrations excessives de chlorures et de sulfates peuvent

causer la mort des plants; des concentrations de 250 à 400 ppm sont considérées comme indésirables pour l'irrigation des plantes sensibles aux sels.

Heureusement, les sels de chlorure et de sulfate sont rapidement solubles, ils peuvent donc être lessivés dans les sols qui se drainent bien (NANCY, 1997).

B- Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-)

Les nitrates et les nitrites sont des origines agricoles (épandage d'engrais ou élevage du bétail) après lessivage des terres agricoles, ils proviennent aussi de la minéralisation de l'azote organique et l'oxydation de l'ammonium (CHAPMAN et KIMSTACH, 1996).

Les nitrates NO_3^- , représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble, sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques.

Les nitrites NO_2^- ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée de l'azote et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique (DEBIECHE, 2002).

C- Les bicarbonates (HCO_3^-) et les carbonates (CO_3^{2-})

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 diminuer le SAR.

On considère que l'eau d'irrigation est inadéquate pour l'irrigation lorsque la concentration résiduelle de NaHCO_3 est supérieure à 2,5 meq/l.

Par contre, si la concentration est en dessous de 1,25 meq/l, l'eau est probablement sécuritaire (NANCY, 1997).

La présence de CO_2 et des ions carbonatés dépend fortement du pH de l'eau, les ions (CO_3^{2-}) ne sont présent en concentration mesurable que dans les eaux dont de pH est supérieur à 8; d'autre part la présence des HCO_3^- est liée à la nature lithologique des terrains traversés (BAZA, 2006).

I-7-2-2- Les cations

a- Le sodium (Na^+)

COUTURE (a) en 2006, a prouvé que le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation; cet élément est originaire de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Selon (NANCY, 1997), l'analyse de la concentration du sodium dans l'eau d'irrigation ne peut être faite seule, en effet, l'influence du sodium dépend des concentrations en calcium et en magnésium. Aussi, plutôt que de parler de concentration en sodium, nous parlons plutôt d'une valeur qui tient compte des effets mutuels du sodium, du calcium et du magnésium; il s'agit du ratio d'adsorption du sodium par le sol, le SAR (Sodium adsorption ratio).

Selon (ABDELHAFIDI, 2005; BENARFA, 2005), 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 le tissu foliaire supérieure à 0.25-0.50% (sur la base du poids sec) est souvent en arboriculture d'une toxicité par le sodium.

Tableau 03: 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: Extrait à partir des directives australiennes de qualité de l'eau pour les eaux fraîches et marines (ANZEC, 2005).

b- Le potassium (K^+)

Le potassium est assez abondant sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux, il provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) (DEBIECHE, 2002).

c- Le calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles; soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (DEBIECHE, 2002).

d- Le magnésium (Mg^{2+})

Les origines des magnésium sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) (DEBIECHE, 2002).

e- Les matières azotées

L'azote est présent sous trois formes chimiques (nitrates, nitrite et l'ammonium), l'ammonium (NH_4^+) est la forme d'azote la plus toxique; sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels dans les Oueds qui donnent des concentrations élevées , soit par réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites (**DEBIECHE, 2002**).

L'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation et sa quantification est primordiale pour les rejets liquides dans le milieu naturel (**DERONZIER et al, 2001**).

I-8- La qualité de l'eau d'irrigation

D'après (**HISCOCK et al, 1991**), la qualité chimique naturelle des eaux dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi que des conditions physico-chimiques caractéristiques du milieu, et par fois d'activités humaines (agricole, industrielle).

La qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais également par son usage; ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture.

D'après (**COUTURE b, 2006**), les cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation sont:

1. **Salinité**: contenu total en sels solubles.
2. **Sodium**: proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
3. **Alcalinité et dureté**: concentration d'anions carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+})
4. **Concentration en éléments qui peuvent être toxiques**
5. **pH** de l'eau d'irrigation.

I-9- Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Selon (**MAYNARD et HOCHMUTH, 1997**), une eau conforme à l'irrigation est celle dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes suivant :

Tableaux 04: Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

	Sévérités		
	Aucune	Légère	Elevée
Conductivité (ms/cm)	<0.75	0.75-3.0	>3
Matières dissoutes totale(mg/litre)	<700	700-2000	>2000
SAR (sodium absorption ratio)	<3	3-9>	>9
Alcalinité ou dureté (équivalent en CaCO ₃)	80-120	/	>200
pH (risque de colmatage)	<7	7-8	>8
Fe mg/l (risque de colmatage)	<0.2	0.2-1.5	>1.5

Source: (MAYNARD et HOCHMUTH, 1997).

Les normes ont pour objectif de :

- ✓ Protéger le public et les ouvriers agricoles ;
- ✓ Protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- ✓ Protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- ✓ Protéger le matériel d'irrigation ;
- ✓ Maintenir des rendements acceptables (MAYNARD et HOCHMUTH, 1997).

I-10- Méthodes et normes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

I-10- 1- Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

I-10- 1-1- Tableau des Directives de la FAO

La FAO, et suite aux travaux de **AYERS et WESTCOT; (1988)**, a mis des directives permettent d'évaluer la qualité de l'eau d'irrigation.

Elles constituent une première étape pour détecter les restrictions dues à une eau d'irrigation, elles mettent l'accent sur l'influence, à long terme, de la qualité de l'eau d'irrigation sur la dégradation des sols et la production des cultures.

Le tableau 05 est un instrument de gestion, comme beaucoup d'outils de ce type en agriculture. Il constitue, selon la FAO, une première étape dans la détermination des limites de qualité d'une ressource en eau en agriculture (**BRADAÏ, 2017**).

Tableau 05: Les directives pour l'interprétation d'une eau d'irrigation selon la FAO, (1988).

Nature du problème	Unité	Restriction pour l'irrigation		
		Aucune	Légère à modérée	Forte
Salinité : <i>influe sur l'eau disponible pour la plante.</i>				
CEi	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450 - 2000	>2000
Infiltration : <i>influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utiliser à la fois CEi et SAR.</i>				
SAR = 0 - 3 et CEi =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
SAR = 3 - 6 et CEi =	dS/m	> 1.2	1.3 - 0.3	< 0.3
SAR = 6 - 12 et CEi =	dS/m	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
SAR = 12 - 20 et CEi =	dS/m	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
SAR = 20 - 40 et CEi =	dS/m	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité de certains ions : <i>affectent les cultures sensibles.</i>				
Sodium (Na) :				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	> 3	> 9
Chlore (Cl) :				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Eléments traces	Concentration maximale d'éléments à l'état traces recommandés pour les eaux d'irrigation.			
Effets divers : <i>Affecte les cultures sensibles</i>				
Azote (NO3-N)*	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO3) pour aspersion sur frondaison	méq/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Zone normale : 6.5 - 8.4		

Source: (AYERS et WESTCOT, 1988)

I-10- 1-2- Diagramme de RIVERSIDE (1954)

Les classes des eaux d'irrigation (C1S1,...C5S4) correspondent, dans le diagramme de Riverside (Figure 01) au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C). Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité; en revanche, la classe C5S4 (coin haut à droite) est la plus mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum (BRADAÏ, 2017).

Le diagramme de Riverside, les classes du diagramme de Riverside et l'interprétation de chaque classe, sont résumés et présentés respectivement dans figure 01 et tableaux 05 et 06.

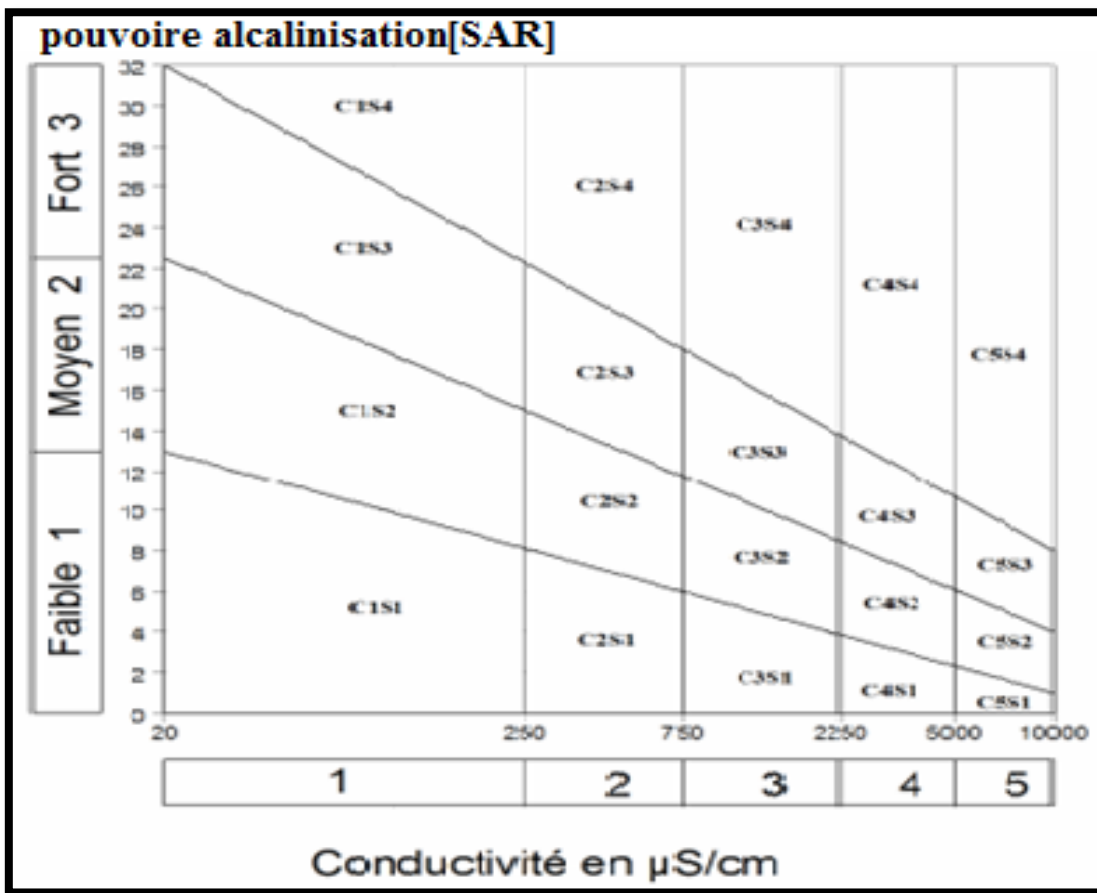


Figure 01: Diagramme de RIVERSIDE (RICHARDS, 1954).

Tableau 06: Les classes issues du diagramme de RIVERSIDE

	Classes CE ($\mu\text{S/cm}$)				
	C1 0 - 250	C2 250 - 750	C3 750-2250	C4 2250 - 5000	C5 5000 - 10000
S1 0 - 10	C1S1	C2S1	C3S1	C4S1	C5S1
S2 10 - 18	C1S2	C2S2	C3S2	C4S2	C5S2
S3 18 - 26	C1S3	C2S3	C3S3	C4S3	C5S3
S4 > 26	C1S4	C2S4	C3S4	C4S4	C5S4

Source: (CLEMANT et GALAND, 1979).

Tableau 07: Interprétation des classes du diagramme de RIVERSIDE

Interprétation des Classes	
	Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.
	Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles
	Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
	Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.
	Eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.
	Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.
	Eau déconseillée pour l'irrigation.

Source: (CLEMANT et GALAND, 1979; DURAND, 1982).

I-10- 1-3- Diagramme de Wilcox

Les concentrations élevées de sodium contenu dans une eau limitent souvent son utilisation en irrigation, il est absorbé dans des sites d'échange de cations dans le sol et cause la dispersion des agrégats (MINHAS et al, 2007).

Ainsi, les pores se trouvent scellés et, en conséquence, la perméabilité du sol est réduite, en particulier pour les sols argileux qui deviennent anaérobique, sodique ou compactés (MARLET et JOB, 2006).

La classification de WILCOX, (1948), est fondée sur la conductivité électrique (CE en µS/cm) en abscisse et la teneur en sodium dans l'eau qui est exprimée en pourcentage en ordonnées :

$$Na(\%) = \left[\frac{Na+K}{(Ca+Mg+Na+K)} \right] * 100$$

A l'issue de la classification de Wilcox, cinq classes pourront être attribuées à une eau d'irrigation; excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise (voire figure2).

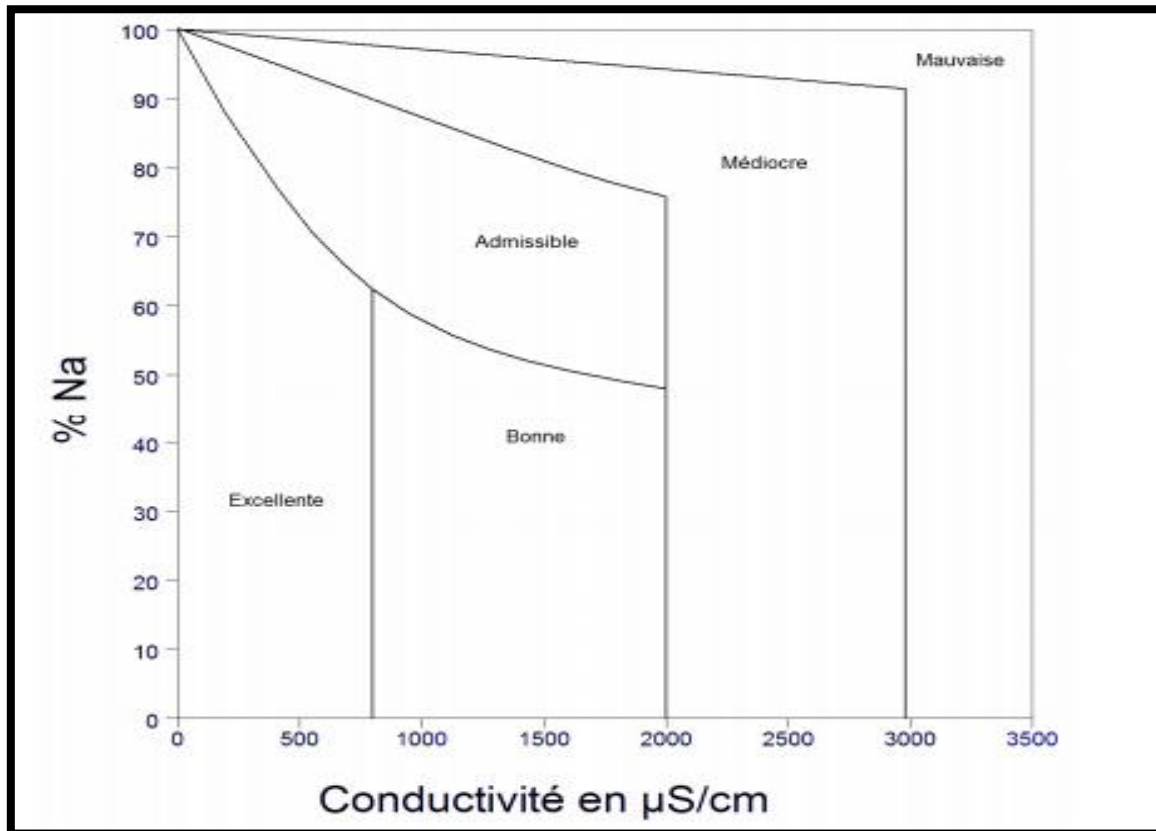


Figure02: Diagramme de WILCOX (BRADAÏ, 2017).

I-10- 1-4- Diagramme de Piper

Selon (GONZALEZ-BARRIOS, 1994), les diagrammes de Piper sont couramment utilisées dans les représentations graphiques d'analyses des solutions; ils fournissent une information riche et pratique sur la description qualitative des eaux; permettent de visualiser les teneurs relatives en cations et anions exprimées en pourcentage, et aident à déterminer le faciès géochimique de l'eau en fonction des subdivisions dans chaque triangle.

Le losange contribue à différencier quatre grands groupes de faciès d'eau :

- * Le groupe à faciès chloruré et/ou sulfaté calcique et/ou magnésien
- * Le groupe chloruré et/ou sulfaté sodico-potassique
- * Le groupe bicarbonaté et/ou carbonaté calcique et/ou magnésien
- * Le groupe bicarbonaté et/ou carbonaté sodico-potassique.

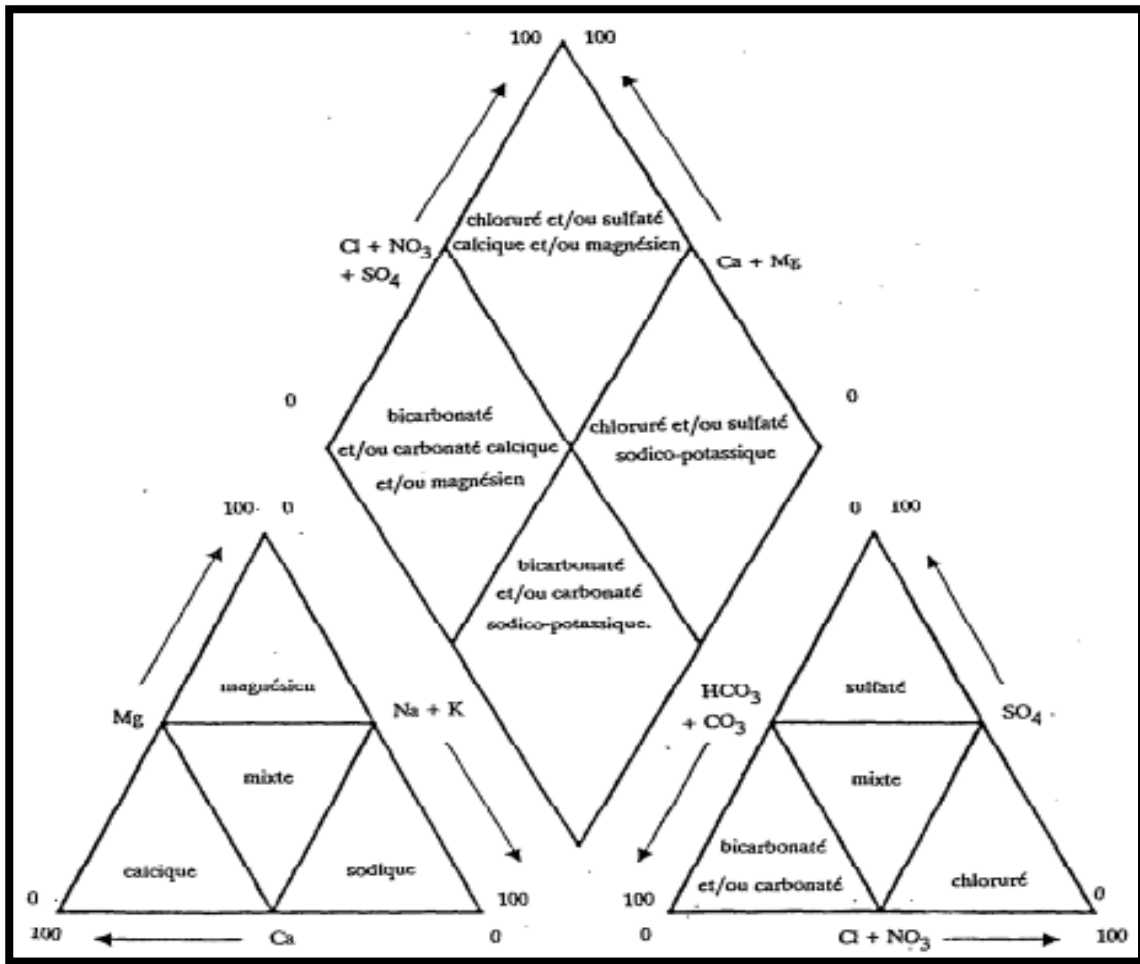


Figure03: Diagramme de PIPER (GONZALEZ-BARRIOS, 1994).

I-11- Le problème lié à la qualité des eaux d'irrigation

I-11-1- La salinité des sols sous irrigation

Selon (ELSASS, 2005), l'irrigation est également un facteur majeur de la salinisation des sols , et en conséquence des nappes dans les climats arides et semi aride, d'autres activités produisent des flux riches en chlorures (eaux usées, exhaures, miniers, drainage des routes soumises au salage hivernale.....etc.

La salinité est un critère important, car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plants flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration (DURAND, 1982; AYERS et WESTCOT, 1988; HARIVANDI, 1999).

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 (HARIVANDI, 1999).

La salinité d'une eau d'irrigation peut se mesurer de deux façons, soit par le total des sels dissous dans l'eau (TDS) exprimées en g/L ou, plus couramment, par la Conductivité Electrique (CE) qui est exprimée en déci-siemens/mètre (dS/m). La classification des eaux d'irrigation proposée par l'United States Département of Agriculture (USDA) (HARINANDI, 1999).

L'irrigation a permis la mise en valeur des terres arables en zones arides et semi-arides, c'est ainsi que de puis une cinquantaine d'années, de grands périmètres ont été construits en Algérie pour combler le déficit en eaux des cultures.

Cependant, les pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation, en Algérie, plus de 20% des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité (DOAOUI et HARTANI, 2007).

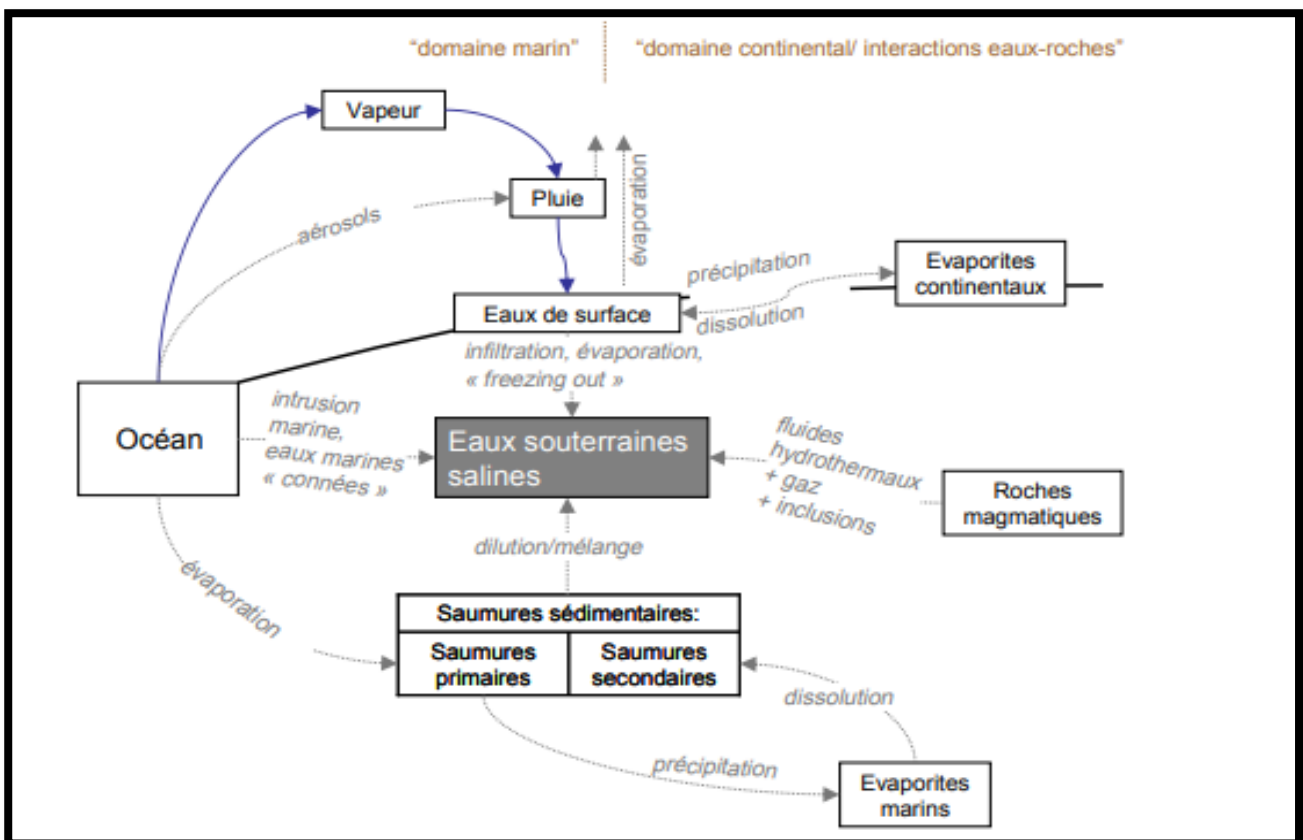


Figure 04: Mécanismes naturelle de salinisation des eaux de surface et souterrains (KLOPPMANN et al, 2011).

I-11-2- Toxicité

Selon (ABDELHAFIDI, 2005), 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, le chlorure, le sodium et le bore constituent les principaux ions, les problèmes de toxicité peuvent survenir même lorsque ces ions présentent une faible concentration.

La toxicité peut ainsi se produire en irrigation par aspersion à partir d'une absorption directe par les feuilles des ions toxiques.

I-11-3- La perméabilité

Certains constituants peuvent réduire la perméabilité du sol et la plante ne reçoit plus, alors la quantité d'eau dont elle a besoin pour sa croissance.

Cette effet péjorant est évaluée en comparant, la teneur en Na à celle de Ca+Mg; les carbonates et les bicarbonates affectant la perméabilité du sol et il convient de les prendre en considération (LANDREAU et MONITION, 1977).

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en sodium se traduit généralement par une accumulation du sodium dans le sol, le sodium en excès entraîne une baisse de la perméabilité conduisant à une asphyxie des plantes (SEDRATI, 2011).

I-12- Classification des eaux d'irrigation

Plusieurs classifications existent pour les eaux destinées à l'irrigation, qui sont basées essentiellement sur la salinité exprimée par le TDS (ex : classification Russe), la conductivité électrique (CE), et le Sodium échangeable exprimé par le ratio (SAR).

La classification la plus utilisée est celle du laboratoire américain de salinité (USDA) développée par Richards en 1954, basée sur la combinaison du SAR avec la conductivité électrique sous forme d'un diagramme de classes (SEDRATI, 2011).

I-12-1- Classification basée sur la salinité

Le risque de salinité peut être apprécié en se basant sur la teneur totale en sels, exprimée en mg/l ou d'après la conductivité électrique (CE) en ms/cm, il existe à cet égard plusieurs classifications (BERKANI et BENARFA, 2005).

Tableau 08: Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale de sels, selon différents sources

	Classe de salinité				
	C1	C2	C3	C4	C5
Us salinity laboratory de riverside (1954) CE(DS/m)	0.1 à 0.25	0.25	0.75	>2.25 à 2.5	/
Thom and Peterson (1954) CE (do/m)	<0.25	0.25 à 0.75	0.75 à 2.25	2.25 à 4.0	4.0 à 6.0
Carte(1969)CE (DS/m)	<0.4	0.4 à 0.75	0.2 à 2.25	3.0 à 4.0	/
Ayers and Westcot (1976) CE (DS/m)	<0.75	0.75 à 1.2	1.5 à 2.25	2.25 à 2.5	/

Sources: (ANONYME, 1978).

- ✓ **C1** : satisfaisante pour toutes les cultures exceptées les cultures très sensibles.
- ✓ **C2** :généralement satisfaisante bien que quelques cultures sensibles seront affectées.
- ✓ **C3** : satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conductions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats.
- ✓ **C4** : normalement non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées les lessivages et les drainages sont impératifs.

I-12-2- Classification basée sur la conductivité électrique (CE) :

CE 25C° < 250 µmhos /cm → eaux non salines.

250 < CE 25C° < 570 µmhos /cm → eaux à salinité moyenne .

570 < CE 25C° < 2250 µmhos /cm → eaux à fort salinité .

2250 < CE 25C° < 5000 µmhos /cm → eaux à très fort salinité.

5000 < CE 25C° < 20 000 µmhos /cm → salinité excessive.

En 25C°, les eaux à CE dépassent 20 000 µmhos /cm sont inaptes pour l'irrigation, en effet, la qualité d'une eau d'irrigation ne peut être établie qu'en fonction du sol irrigué et la culture à pratiquer (DURAND, 1970; BERKANI et BENARFA, 2005).

I-12-3- Classification basée sur l'alcalinité

D'après (**RODIER et al, 2005**), 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).

I-12-4- Classification des eaux d'irrigation selon la proportion relative du sodium, calcium et du magnésium

D'après (**RIEU, 1981**), les ions sodium étant plus hydratés que les ions calcium, ils prennent plus de place, colmatent les pores et finissent par diminuer la perméabilité du sol.

Ce risque peut être apprécié par le coefficient d'absorption du sodium (SAR) défini comme : $SAR = Na / [(Ca+Mg)/2]^{1/2}$; Na⁺, Ca²⁺, Mg⁺⁺ en meq/100g; où les concentrations sont exprimées en milliéquivalents par litre (meq/l).

A l'aide du SAR, on divise les eaux d'irrigation en quatre classes, la classification est basée principalement sur les effets du sodium sur les conditions physiques du sol :

- Classe S1 SAR de 10 et moins → eaux faiblement sodique .
- Classe S2 SAR de 10.1 à 18 → eaux moyennement sodique.
- Classe S3 SAR de 18.1 à 26 → eaux fortement sodique .
- Classe S4 SAR au-dessus de 26.1 → eaux très fortement sodique (**BERKANI et BENARF, 2005**).

I-12-5- Classification de DURAND dans l'Afrique du Nord

DURAND (1984), a proposé une classification pour l'Afrique du Nord; basée sur la limite supérieure tolérée de conductivité électrique de l'eau d'irrigation exprimée en $\mu\text{mhos/cm}$ pour trois groupes de la végétation et cinq groupes de sol, en supposant que les conditions d'irrigation et de drainage sont bonnes.

BERKANI et BENARAF, (2005), ont signalé que cette classification se fonde non seulement sur la teneur en sel de l'eau d'irrigation, mais également sur d'autres facteurs qui conditions les possibilités d'utilisation; tel que le sol et les cultures. Il existe une autre classification; c'est celle proposé par Salinity Laboratory des Etats-Unis.

I-12-6- Classification des eaux par les méthodes de Wilcox

(**SEDRA TI en 2011**), juge que la classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définie cinq classes : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule dite pourcentage de Na^+ , elle s'écrit: $\text{Na}\% = (\text{Na} / \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{k}) * 100$.

I-13- Conclusion

Les pénuries d'eau de bonne qualité et les pressions exercées par la demande croissante en eau d'irrigation nécessitent une gestion rationnelle dans les périmètres irrigués; ces pénuries se sont aggravées suite aux changements climatiques et les sécheresses météoriques qui touches différentes régions du monde en particulier les zones semi-arides et arides. L'utilisation croissante d'eau de mauvaise qualité favorise les accumulations de sels dans les zones racinaires et les transformations des propriétés physiques des sols. La gestion des eaux d'irrigations dans ces périmètres nécessite des ressources en eaux mobilisables et de bonne qualité (**TABET, 1999; MARLET, 2004**) .

La dégradation de la qualité des sols à l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité de ce système d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise en valeur agricole sous irrigation dans les zones semi-arides et arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols (**BELAID, 2010**).

Selon (**NANCY, 1997**), il faut notamment surveiller les changements environnementaux comme les travaux d'excavation et de drainage.

Deuxième partie: Milieu physique et méthodes d'étude

Chapitre 1: Milieu physique

II-1-1- Présentation de la zone d'étude

II-1-1-1- Situation géographique de la région d'étude

La zone d'étude est localisée dans la wilaya de M'Sila. Celle dernière est à 248Km au Sud Est d'Algérie, elle est organisée administrativement en 15 Daïras regroupant 47 Communes.

La région qui a fait objet pour notre étude est celle de la commune de M'Sila (chef lieu de wilaya de M'Sila)), couvre une superficie de 252Km², surnommée capitale du Hodna et occupe une position de carrefour d'échanges entre le Nord et le Sud du pays.

Elle est relié le Nord et le Sud par la RN°45 et l'Est et l'Ouest par la RN°40. Ses limites géographiques (figure 5) sont:

- * Au Nord: la commune d'El Euch.
- * Au l'Est: la commune de Metarfa
- * Au l'Ouest: la commune d'Ouled Mansour.
- * Au Sud: la commune d'Ouled Madhi (ANRH, 2005).

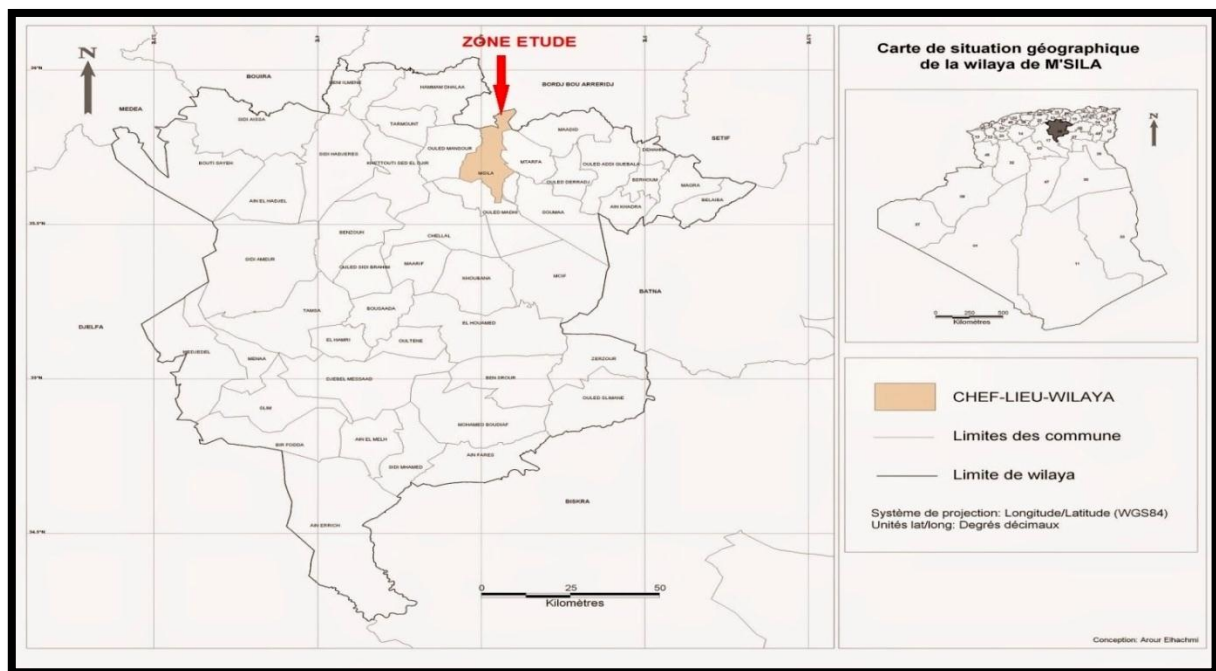


Figure 05: Situation géographique de la zone d'étude (M'Sila) (DSA, 2017).

La région qui a fait objet pour notre étude est celle de la commune de M'Sila (chef lieu de wilaya de M'Sila), couvre une superficie de 252Km², surnommée capitale du Hodna et occupe une position de carrefour d'échanges entre le Nord et le Sud du pays.

Elle est relié le Nord et le Sud par la RN°45 et l'Est et l'Ouest par la RN°40. Ses limites géographiques (figure 5) sont:

- * Au Nord: la commune d'El Euch.
- * Au l'Est: la commune de Metarfa
- * Au l'Ouest: la commune d'Ouled Mansour.
- * Au Sud: la commune d'Ouled Madhi (ANRH, 2005).

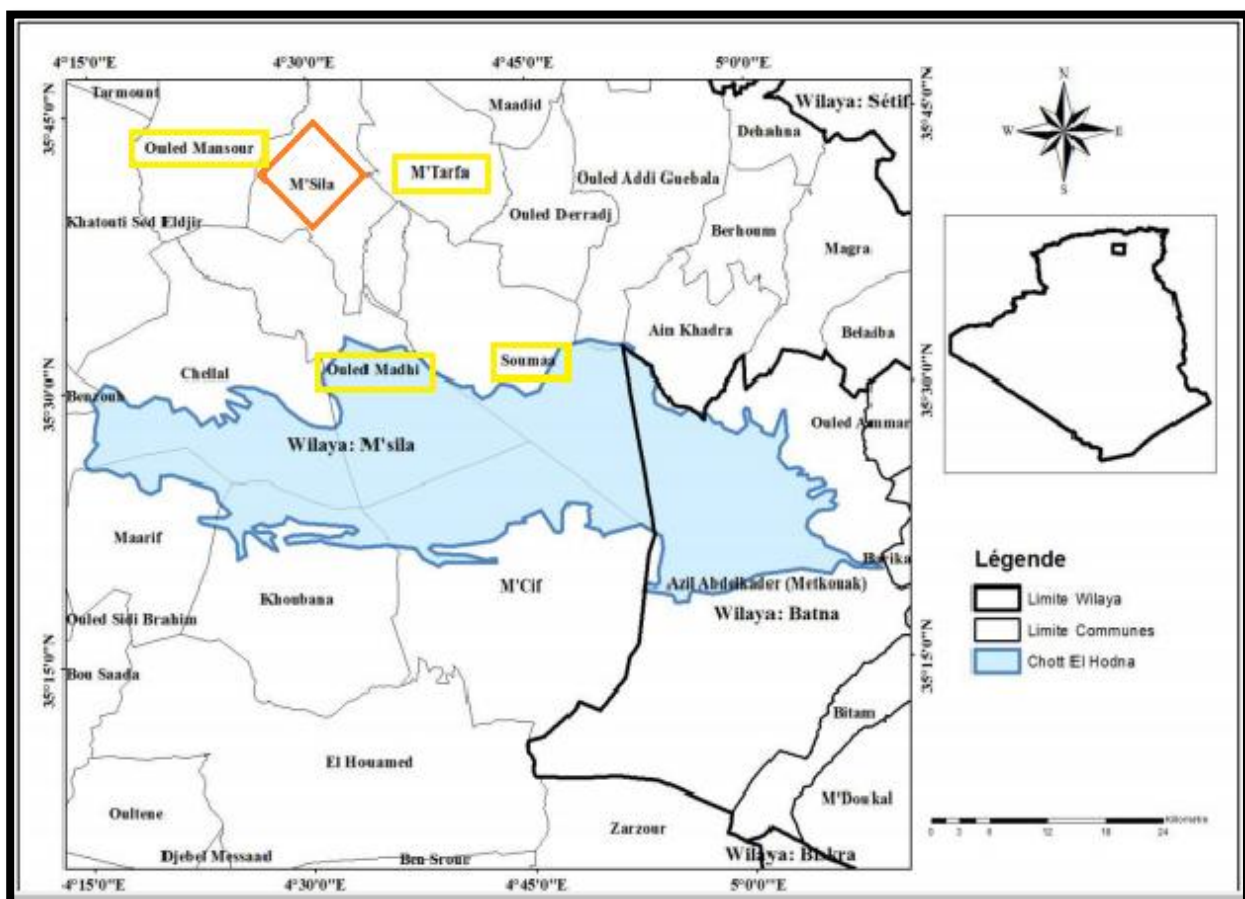


Figure 06: Situation administrative de zone d'étude et ces limites géographiques (HCDS, 2010 modifié in ZEDAM, 2015).

II-1-2- Caractéristiques physiques de la région d'étude

Dans cette caractérisation nous allons évoquer les paramètres suivants: le relief, la géologie, le sol, la pente, l'hydrogéologie et l'hydrographie et enfin la végétation.

II-1-2-1- Relief de la zone étudiée

La structure physique de la commune de M'Sila se caractérise par des régions naturelles bien distinctes (HADBAOUI, 2013).

En raison de la végétation clairsemée, les formes structurales sont bien mises en évidence l'érosion profitant du contraste lithographiques, dégage les bancs les plus durs et creuse les tendres, mettant ainsi en valeurs des formes classiques de relief: cuestras, monoclinaux.....etc

Les points hauts des djebels modelés dans les roches dures (calcaire dolimitiques) se présentent sous formes de crêtes (djebels Meharga au sud, monts du Hodna des nord).

La couverture pédologique se réduit d'avantage en descendant des djebels avec une disparition de la végétation forestière et une faible densité de Juniperus phoenicea (genévrier), le sol se localise alors dans les diaclases ou à l'amont direct des blocs.

L'action érosive est fonction des types des roches trois cas de figure se présentent au niveau des reliefs du Hodna:

a- Les marnes (roches tendres)

Le paysage des bad-lands est observé au Nord de Hodna (marnes du Miocène).

b- Les marno-calcaires

Ces types de roches ont donné un modèle de collines, l'érosion a été intense dans les marnes du fait de l'absence du couvert végétal forestier.

c- Alternance de roches dures et tendres

L'alternance des grés et argiles Jurassico-crétacé, est un système d'érosions qui a réalisé un aplanissement des reliefs avec des alignements rocheux et des niveaux encroûtés du quaternaire ancien, il s'agit de glacis de dénudation; la surface du sol est recouverte par un voile discontinu de sables grossiers, graviers et quartz provient de la destruction des grés.

Les sols se développent sur les argiles ou sur les traces des grés plus faibles (sols régosolosiques, sierozems), on note localement des alluvionnements récents sur les quels se développent un sol peu évolué d'apport alluvial (MIMOUNE, 1995).

II-1-2-2- Géologie de la région d'étude

L'analyse de la carte géologique, feuille N° 168 de M'Sila (figure 07), échelle 1/500000eme indique que la ville de M'Sila repose sur des terrains sédimentaires caractérisés par des formations quaternaires essentiellement constituées d'alluvions récentes et anciennes.

Ces dernies étant des limons à couleurs grise, riche en matière sableuse, ainsi, le sous sol est naturellement perméable et ajo une source de contamination des eaux souterraines (ANRH, 2005).

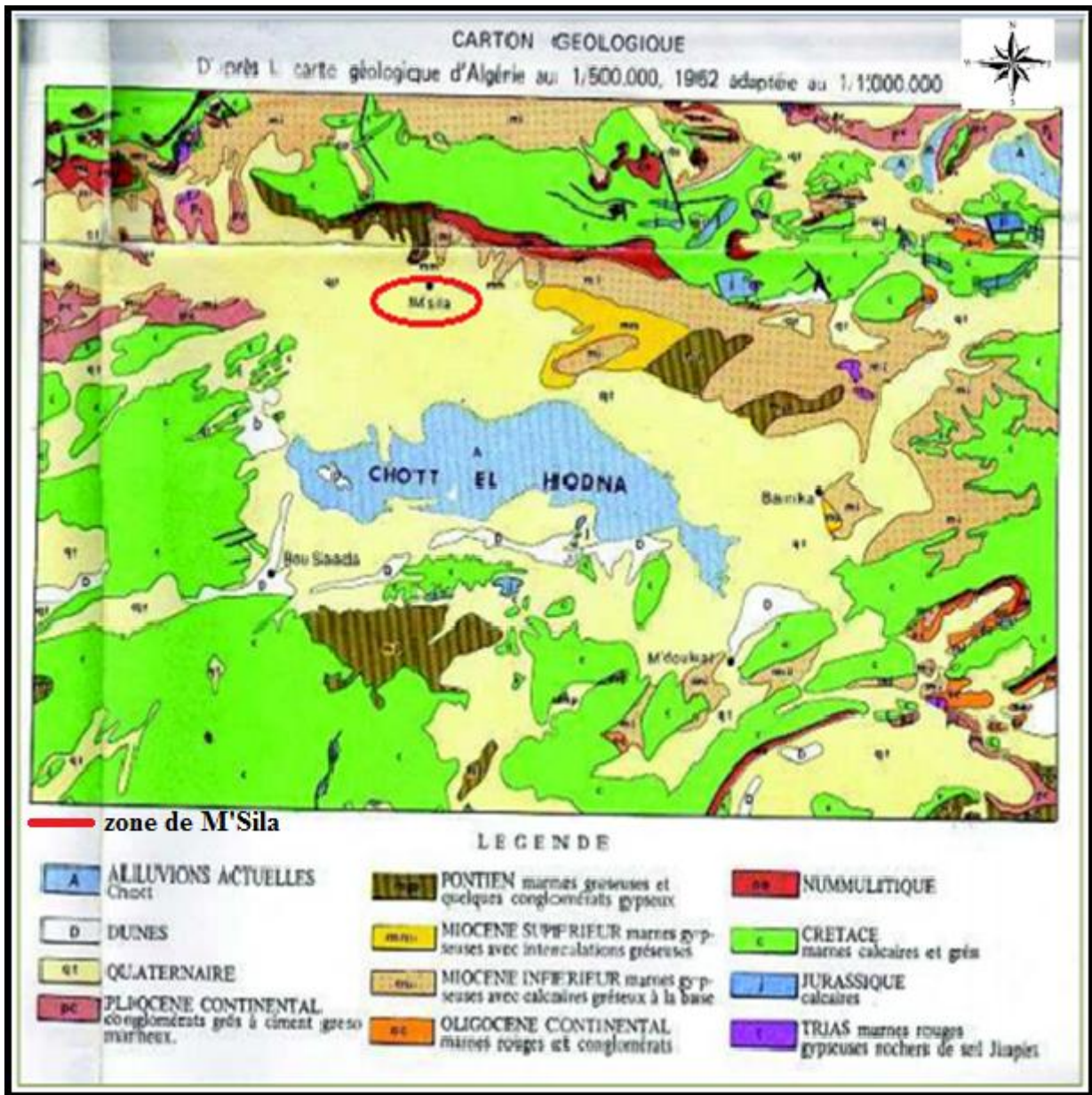


Figure 07: Carte géologique de la zone d'étude (HOUEOU et al, 1975).

II-1-2-3- Le sol de la zone d'étude

Selon la carte pédologique, réalisée par T.G BOYADGIEV (figure 8); expert pédologique de la F.A.O au 1/800000^e, la ville de M'Sila est une zone steppique de dépôts alluviaux récent avec des passages plats et une altitude de 400 à 500 m, les sols sont surtout peu évolués, d'apport alluvial en différents degrés affectés par des sels (HADBAOUI, 2013).

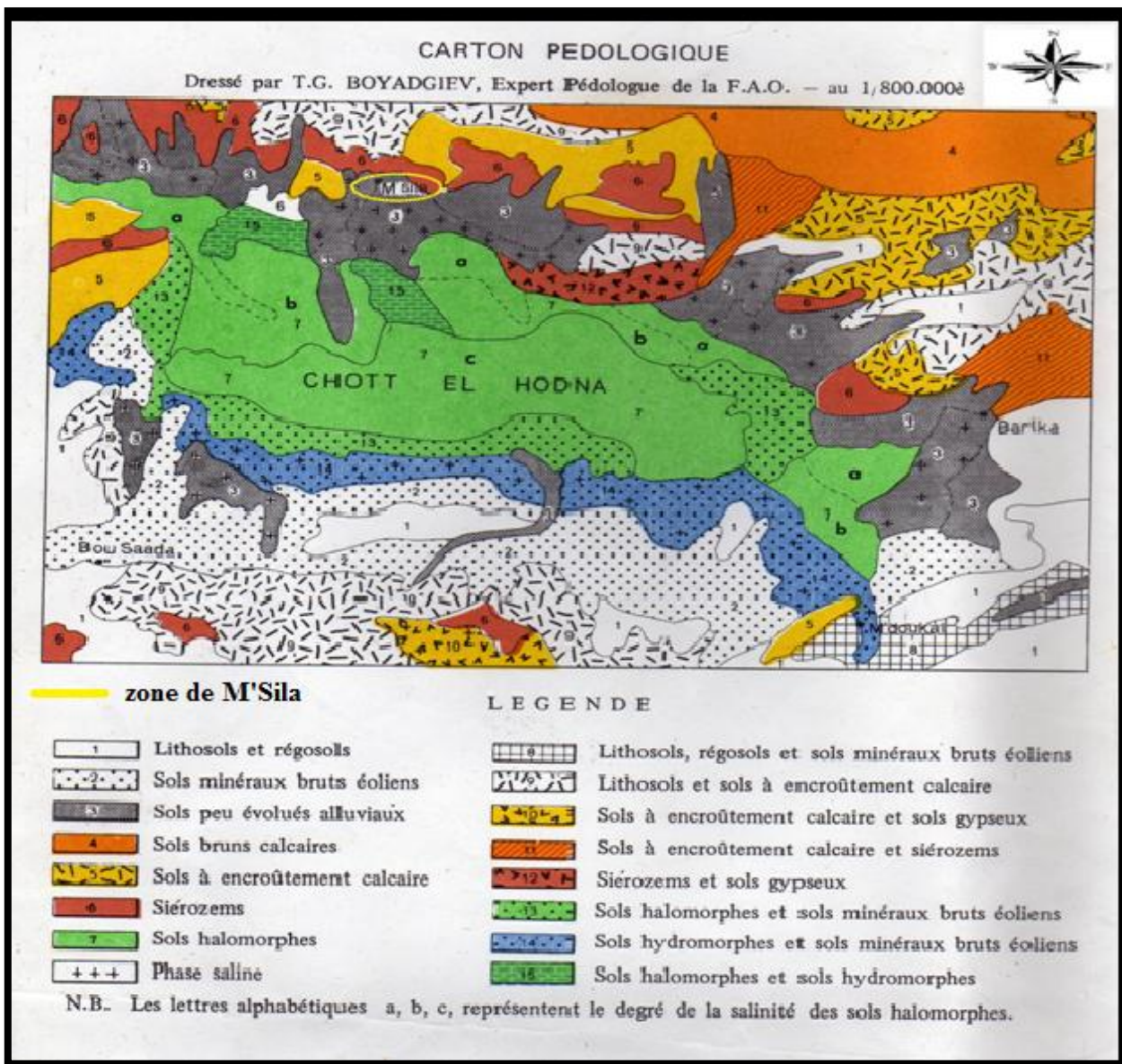


Figure 08: La carte pédologique de la zone d'étude (M'Sila) (HOUEROU et al, 1975).

II-1-2-4- L'hydrogéologie et l'hydrographie

*Selon les informations recueillies au niveau de la direction hydraulique de wilaya de M'Sila, les forages destinés à l'alimentation en eau potable de la ville sont localisés autour .

-Aquifères du moi-plio-quaternaire, qui se divisent en deux (02) par les caractéristiques hydrauliques des deux (02) nappes continues; la première se montre en charge (nappe captive), l'autre en surface libre.

La nappe est constituée par des formations alluvionnaires hétérogènes du quaternaire.

Aussi, elle est très vulnérable à la pollution vue la faible profondeur de la surface et de perméabilité élevée (ANRH, 2005).

*Le réseau hydrographique est très dense et présente dans le bassin versant du Chott répertoire comme c'est montrer par l'ANRH sous le N°05. La majorité des Oueds sont à écoulement Perrins.

Dans notre zone d'étude, le réseau hydrographique présente quatre principaux Oueds à savoir:

- Oued K'Sob a écoulement contenue; milieu récepteur des différents rejets de la zone d'étude.
- Oued Lougmane.
- Oued Mouilha.
- Oued Kerma (ANRH, 2005).

II-1-2-5- La végétation

La végétation naturelle des parcours de M'Sila est caractérisée par une couverture basse et clairsemée, plus ou moins dégradée, composée de petits plants en touffes plus ou moins dispersées d'inégale valeur tant par la composition floristique que par la densité.

Les faciès les plus dominants sont principalement des faciès à: *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba alba*, ainsi que des steppes à plantes psammophiles, elles sont généralement des steppes à *Aristida pungens* ou *Aristida compestris* voire même de *Thymelaea microphylla* (HCDS, 2010).

Les formations à Alfa (*Stipa tenacissima*), on les retrouve en effet dans les bioclimats semi arides à hiver frais et froid, et dans l'étage aride supérieur à hiver froid, ces steppes colonisent tous les substrats géologiques de 400 à 1 800 m d'altitude (AIDOUUD et NEDJRAOUI, 1992).

Les formations à armoise blanche (*Artemisia herba alba*) qui recouvrent 20 millions d'hectares et sont situées dans les étages arides supérieur et moyen à hiver frais et froid avec des précipitations variant de 100 à 300 mm. ce type de steppe s'étale sur les zones d'épandage dans les dépressions. (NEDJRAOUI, 2001).

Pour les associations végétales qui se développent aux pieds des touffes ou des buissons dans les fonds des dépressions, elles sont perpétuellement agressées par la céréaliculture aléatoire (HCDS, 2010).

II-1-3- Caractéristiques climatiques de la zone de M'Sila

Dans les zones arides les facteurs climatiques, jouent un rôle prépondérant dans la disponibilité des ressources (SEDRATI, 2011).

La caractérisation du climat de la commune étudiée est basée sur des données issues de la station météorologique de M'Sila, cette dernière est localisée au Nord de notre zone d'étude.

Dans cette partie d'étude nous avons mis le point sur les paramètres suivants :

La température;

Les précipitations;

L'humidité;

Le vent

Et l'évapotranspiration réelle.

Tableau 09: Caractéristiques de station météorologique de M'Sila (coordonnées, altitude et période d'observation)

Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Période d'observation
Latitude	Longitude	441	2006-2016
35°40'N	4°30'E		

Source: Station météorologique de M'Sila, 2018.

II-1-3- 1- Température

(RAMADE, 2003), signale que la température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère.

En milieu sec, la température devient un facteur aggravant car, elle augmente la vitesse de l'évapotranspiration (OZENDA, 1991).

Tableau 10: Moyennes mensuelles de température moyenne de la commune de M'Sila, 2018.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Jui	Jt	Aout
M	38,3	33,6	24,7	16,6	19,8	21,7	27,7	32,3	36,8	40,9	43,7	41,3
m	14,25	8,327	3,118	-0,49	-1,55	-1,85	0,555	4,6	9,009	14,22	19,41	19,77
Tm	26,27	20,96	13,909	8,055	9,125	9,925	14,125	18,45	22,9	27,56	31,55	31,43

Source: Station météorologique de M'Sila, 2018.

On a:

- * **M**: moyennes mensuelle des températures maximales.
- * **m**: moyenne mensuelle des températures minimales.
- * **Tm**: températures moyennes mensuelles et annuelles (M+m)/2.

D'après la station météorologique de M'Sila (2018) (voir tableau 10 et figure 09), on déduit que :

La température moyenne mensuelle la plus basse est celle du mois de Février (-1,85°C), la température moyenne maximale est de l'ordre de 43,7 °C (Juillet).

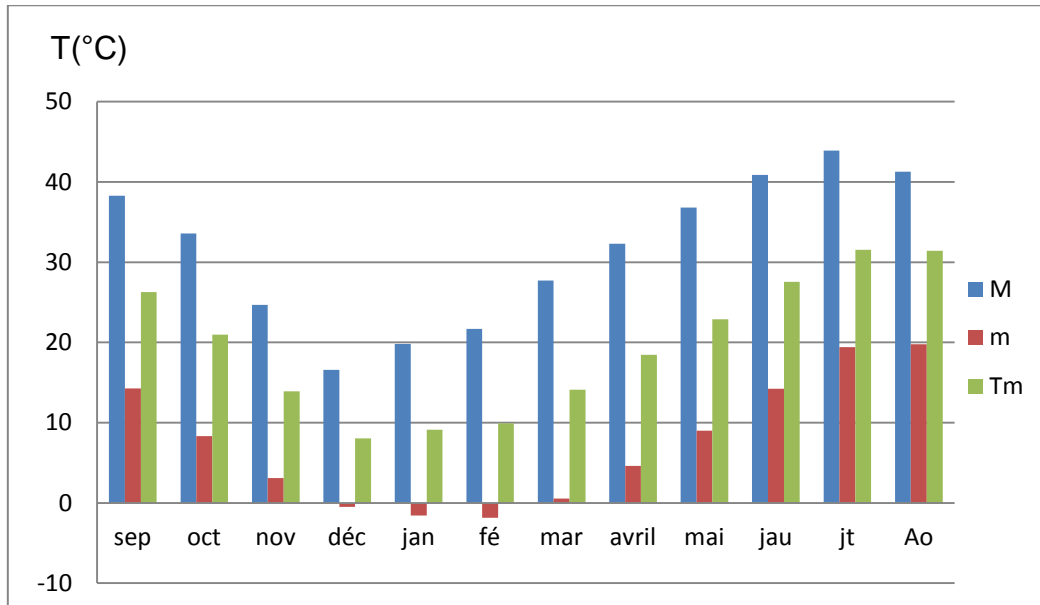


Figure 09: Variations des températures moyennes mensuelles des moyennes, des maxima, et des minima en °C (2006-2016).

II-1-3-2- Précipitation

(RAMADE, 2003), explique que la précipitation est un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres.

Tableau 11: Précipitations moyennes mensuelles et annuelle (mm) de la commune de M'Sila, 2006-2016.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avrl	Mai	J	Jt	Aout	Total
P(mm)	21,27	23,5	15,1	16,11	12,9	16	14	30,44	16,55	9	6,889	5,5	187,263

Source: Station météorologique de M'Sila 2017.

Après l'analyse des données du tableau 11, on peut dire que la région est caractérisée par une pluviométrie faible et irrégulière. Le mois le plus pluvieux est Avril (30,44mm), tandis que celui le moins pluvieux Aout (5.5mm). Et la moyenne annuelle des pluviométries est de 187,263 mm.

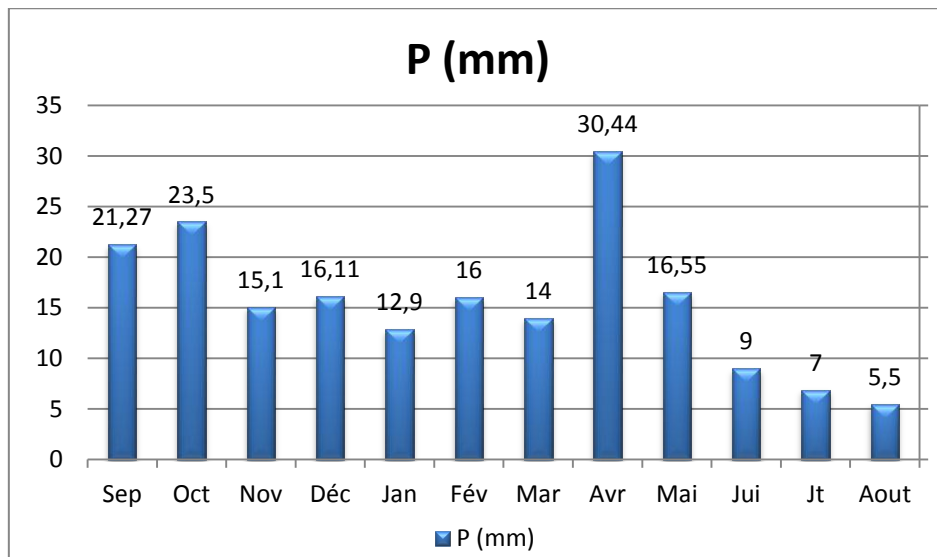


Figure 10: Variations moyenne mensuelles et annuelles des précipitations (mm) (2006-2016).

On ajoute aussi que la zone de M'Sila est située entre isohyète 500mm au niveau septentrionaux (monts de Hodna) et 150mm au niveau du Chott, et c'est une zone aride selon la carte pluviométrique (figure 11) (LAKROUN, 1999).

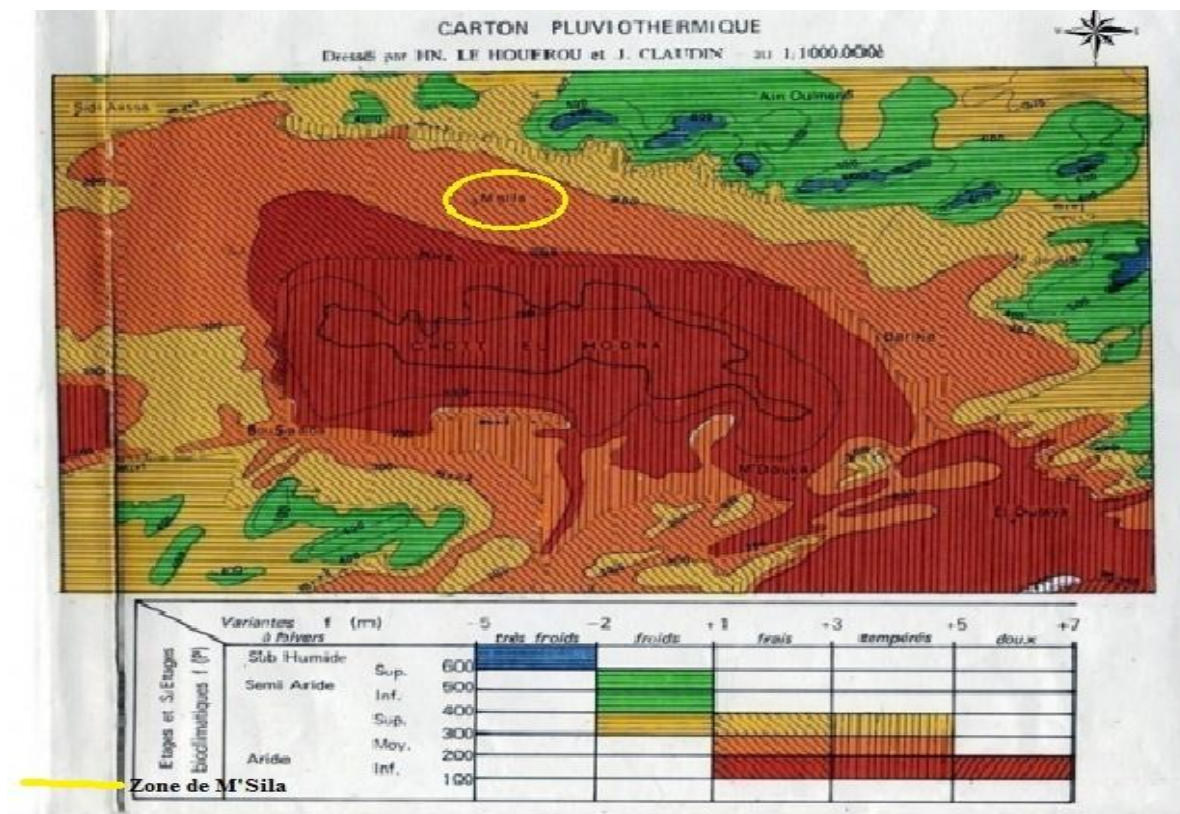


Figure 11: Carte pluviométrique de la région d'étude (HOUEROU et al, 1975).

II-1-3- 3- Humidité relative

Selon (RAMADE, 2003), c'est le rapport entre la teneur en vapeur d'eau de l'air et la masse théorique de vapeur d'eau que peut renfermer l'atmosphère à saturation compte tenu de la température et de la pression barométrique existante.

Tableau 12: Humidité moyenne en (%) de la zone étudiée

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Jui	Jt	Aout
Humidité (%)	49.45	58.27	70.45	75.82	74.73	69.64	62.55	57.18	47.09	39.09	31.45	35.09

Source: Station météorologique de M'Sila, 2018.

A travers les données du tableau 12, on remarque que l'humidité relative varie entre 31.06% au mois de Juillet et 75.82 % au mois de Décembre.

II-1-3- 4- Vent

Il constitue en certains biotopes un facteur écologique limitant. Sous l'influence de vents violents, la végétation est limitée dans son développement (RAMADE, 2003).

Tableau 13: Moyenne mensuelle et annuelles de vitesse du vent en m/s de la zone d'étude

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Jui	Jt	Aout	Moy
Vitesse de vent (m/s)	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4.41

Source: Station météorologique de M'Sila (2018).

La vitesse du vent varie entre 4 m/s et 5 m/s, et sa moyenne annuelle est égale de 4.41 m/s durant la période de 10 ans.

II-1-3-5- Evapotranspiration

L'évapotranspiration est définie comme étant la valeur maximale possible de l'évaporation dans des conditions climatiques données. Elle résulte de deux phénomènes l'un physique: l'évaporation, l'autre biologique: la transpiration, pour l'estimation de ce paramètre, nous avons utilisé la formule de Thornthwaite (BRADAÏ, 2017)

Tableau 14: Moyenne mensuelle et annuelle de l'évapotranspiration en (mm)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Jui	Jt	Aout
ETP(mm)	24.90	11.28	3.33	0.76	0.63	0.92	2.71	7.93	18.53	36.85	56.90	51.78

Source: Station météorologique de M'Sila (2018).

Les données de ce tableau indiquent que l'évapotranspiration varie entre 0.63 mm au mois de Janvier et 56.90 mm a la mois de juillet (tableau 14).

II-1-3-6- Bilan hydrique

Selon (SEDRATI, 2011), le bilan hydrique permet de cerner plus précisément la notion de sécheresse. La sécheresse peut être reconnue de façon très approximative, (suivre et vérifier l'état de réserve en eau du sol et de besoins de cultures et des apportes par précipitations ou par irrigation), lorsque les précipitations et les réserves d'eau capitalisées dans le sol ne compensent pas la capacité évaporatoire du sol et les besoins de la végétation qui représente l'évapotranspiration potentielle.

Le bilan étant le résultat d'une balance entre les apports ou entrées et les dépenses ou sorties, ce bilan est élaboré sur la base de la formule suivante: **P = ETR + R + I**

Avec :

P: précipitation moyenne annuelle en mm, **ETR:** évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm. **R:** ruissellement moyen annuel en mm, **I:** infiltration moyenne annuelle en mm.

Tableau 15: Bilan hydrologique calculé à partir de la formule de Thornthwaite (M'Sila).

Mois	P	ETP	P-ETP	RFU	ETR	I+R
Jan	12,9	12,3	0.6	50	12,3	0.6
Fév	16	14.32	1.68	50	14.32	1.68
Mar	14	36.28	-22.28	27.72	14	0
Av	30.44	92.68	62.68	0	30.44	0
Mai	16.55	117.03	-100.48	0	16.55	0
Jui	9	172.35	-163.35	0	9	0
Jt	6.889	232.42	-225.53	0	6.889	0
Aout	5.5	217.45	-211.95	0	5.5	0
Sep	21.27	132.73	-111.46	0	21.27	0
Oct	23.5	77.96	-54.46	0	23.5	0
Nov	51.1	25.84	-10.74	0	15.1	0
Dec	16.11	9.25	6.86	50	9.25	6.86

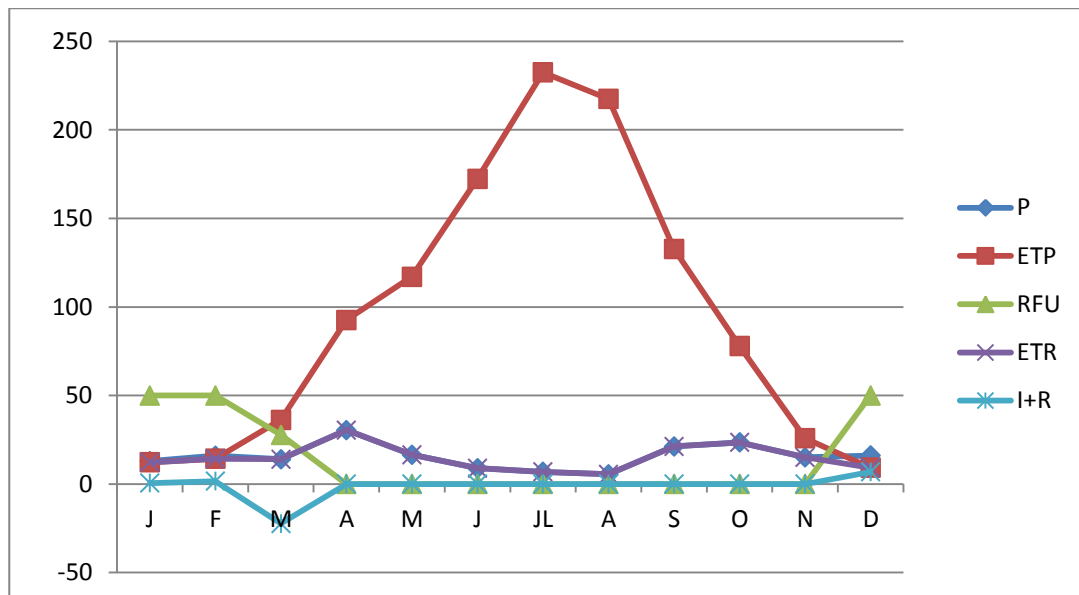


Figure 12: Représentation graphique du bilan hydrologique de Thornthwaite de la station de M'Sila.

Après le calcul (tableau 15 et annexe7), et selon la représentation graphique du bilan hydrique (figure 12), on remarque qu'il y a une réserve facilement utilisable (RFU) d'eau dans le sol consommé par les plantes, qui débute du le mois de Novembre jus qu'au mois d'Avril. Durant cette période il n'y a pas de déficit d'eau, par ce que les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration.

Par contre, durant l'autre période (de Avril à Novembre), il n'ya pas de réserve (RFU) en eau dans le sol, il ya un déficit ($P < ETP$), l'utilisation de l'irrigation est obligatoire durant cette période.

II-1-4- Classification climatique de la région d'étude (commune de M'Sila)

Il y'a deux méthodes principale utilisé pour cette classification climatique régionale dans le monde, l'un est le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN, l'autre est le climagramme d'EMBERGER

II-1-4-1- Le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1957)

Le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN permet de déterminer les périodes sèches et humides d'une région donnée.

Ce diagramme est obtenu en portant en abscisse les mois de l'année et en ordonnées les températures d'un côté et les précipitations de l'autre, tout en considérant l'échelle des précipitations comme étant le double de celle des températures (DAJOZ, 2006).

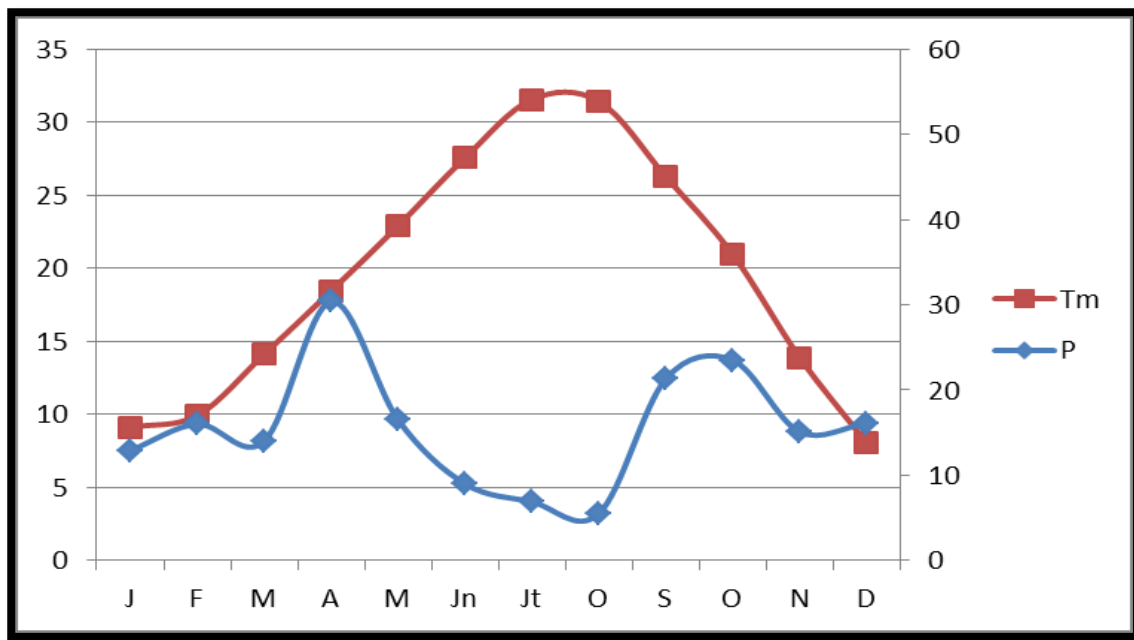


Figure 13: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS de la région de M'Sila.

Le diagramme Ombrothermique de la région d'étude établi à partir du système de BAGNOULS et GAUSSEN (1957) montre que la saison sèche s'étale presque sur toute l'année, elle débute du mois de Janvier jusqu'à fin de Novembre.

II-1-4-2- Climagramme d'EMBERGER

D'après (SEDRATI, 2011), cette méthode permet de classification de la région en fonction de son étage bioclimatique, elle a été élaboré par Emberger et permet de classer les stations de méditerranée au sein de cinq (05) étages bioclimatiques: humide, sub-humide, semi-aride, aride et saharien.

On porte en abscisse la moyenne des minima du mois le plus froid et en ordonnées le quotient pluviométrique (Q2) d'Emberger, la formule utilisée dans ce cas est celle de STEWART (1969).

D'après le climagramme d'Embergie la région de M'Sila on trouve que la zone d'étude appartient a l'étage bioclimatique aride à hiver froid (figure 14 et tableau 16).

Avec: $Q_2 = 3.43 P / M \cdot m$

Q₂: Coefficient pluviométrique d'Emberger.

P: Précipitations moyennes annuelles en (mm).

M: Températures moyennes des maxima du mois le plus chaud.

m: Température(s) moyennes des minima du mois le plus froid.

Tableau 16: Valeurs du quotient pluviothermique de la commune de M'Sila

Données	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q2
Station	187.263	43.7	-1.85	14.101
Etage bioclimatique	Aride à hiver froid			

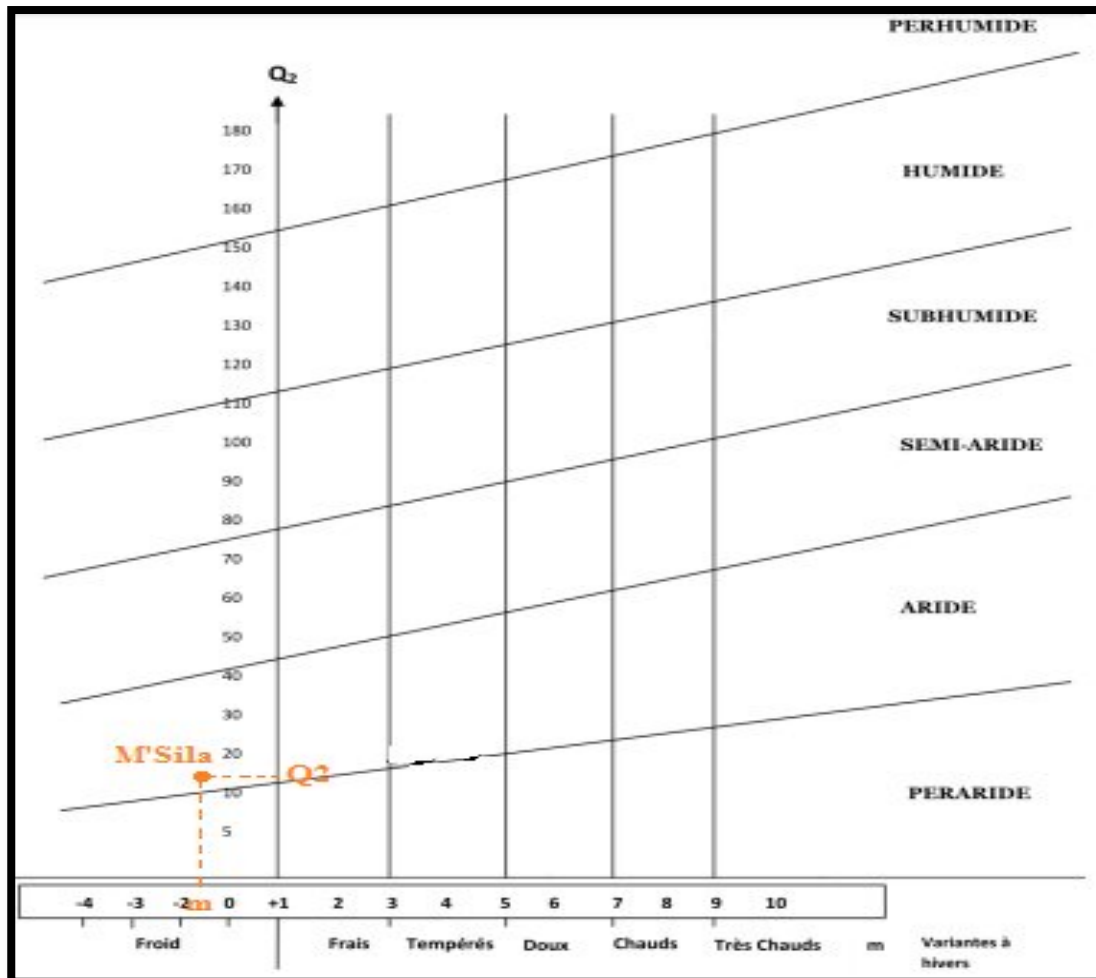


Figure 14: Situation bioclimatique de la région M'Sila dans le climagramme d'Embergie.

II-1-5- Milieu socio-économique

D'après (ANONYME, 2007), le milieu naturelle a subit la forte pression exercée par les activité humaines, qui perturbent son équilibre et qui ont conduit à l'état actuelle de dégradation des parcours, deux principaux facteurs sont responsables de cette situation: les condition naturelles défavorables et le surpâturage.

II-1-5-1- Répartition superficielle de la zone d'étude (M'Sila)

252 Km² est la superficie totale la commune de M'Sila, elle est occupée par une superficie agricole utile de 8622 (ha), et par une superficie irriguée qui s'étende sur 14171 (ha), dans cette commune le nombre de forages agricole est 219 unité, et il n'ya pas de puits pastoraux.

Tableau 17: Répartition superficielle de la zone d'étude (M'Sila).

Superficie agricole utile	8622 (ha)
Superficie irrigues	14171 (ha)
Les forêts	1197 (ha)
Nombre d'exploitants	740
Nombre de forages agricoles	219
Nombre de puits pastoraux	0

Source: (DSA et DRE, 2016)

II-1-5-2- Occupation du sol de la commune étudié (M'Sila)

La commune de M'Sila présente une superficie de 1665 (ha) occupée par les céréales, 75 (ha) par des cultures maraichères, 299 (ha) par l'olivier et 110 (ha) par les cultures fourragères.

Tableau 18: Occupation du sol de la zone d'étude (2016)

Speculation	Superficie en rapport (ha)
Olive	229 (ha)
Maraichage	75 (ha)
Céréales	1665 (ha)
Fourrages	110 (ha)
Les arbres fruitier	970 (ha)

Source: DSA, 2016.

II-1- 6- Conclusion

D'après (HADBAOUI, 2013), le climat de la région de M'Sila est un climat de type continental. il est caractérisé par un été sec, très chaud et un hiver très froid; de moyenne annuelle des précipitations est 187,263 mm, qui est classé dans l'étage bioclimatique aride à hiver froide .

Le sol de cette région steppique est une sol alluviaux peu évoluée affecté par des sels, a une géologie des terrains sédimentaires caractérisés par des formations quaternaires, qui contient réseau hydrographie très dense à écoulement perin.

La végétation de cette zone est d'une structure dégradée, caractérisée par une couverture basse et clairsemée (HCDS, 2010).

Chapitre 2: Méthode d'étude

II-2-1- Choix de la région d'étude

Suit au manque des données en ce qui concerne la qualité des eaux de la commune de M'Sila et en particulier celles utilisées en irrigation nous avons jugé utile d'essayer de contribuer à la connaissance des principales propriétés physico-chimique des eaux souterraines destinés à l'irrigation dans cette région.

Alors, on a choisis huit (08) zones de cette région (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8), pour faire nos échantillons à partir des forages (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8).

II-2-2- Période de prélèvement et l'échantillonnage de l'eau de la commune de M'Sila

Dans le but d'une caractérisation de la qualité des eaux d'irrigation dans la zone d'étude, nous avons réalisé deux campagnes (périodes) d'échantillonnage après la sortie du choix des endroits exactes.

La première période e prélèvement a été réalisée le 24/04/2018, durant laquelle on n'a pu prélever que deux (02) échantillons d'eau des forages (F1, F2) dans les stations (Z1 et Z2) a le reste a été prélevé le 13/05/2018.

La localisation des forages analysés parait clairement à la figure 15 qui suit et pour plus de détails on a organisé le tableau 19:

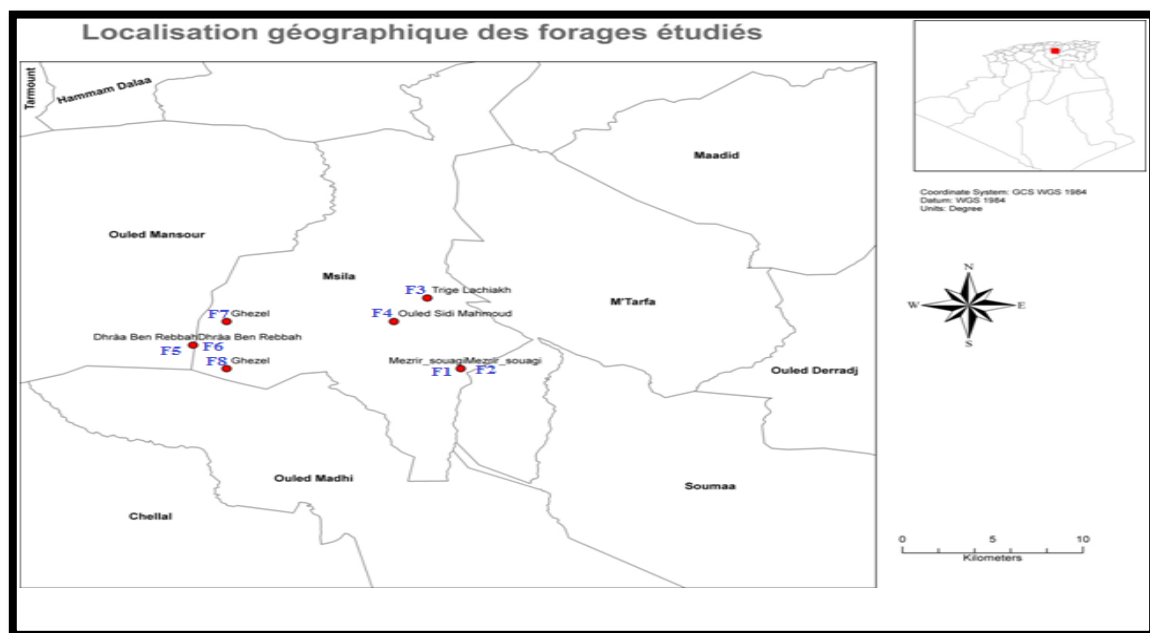


Figure 15: Localisation géographique des forages analysés et ces zones dans la commune de M'Sila.

Tableau 19: Les coordonnées géographiques, la date, et les lieux des prélèvements des échantillons d'eaux à analysées (commune de M'Sila).

Les échantillons	Date de prélèvement	Lieu ou zone de prélèvement (Z)	Les coordonnées géographique
Forage (F1)	24/04/2018	(Z1) Mezrir (Souagi)	35°39'33"N / 4°34'18.9"E Elévation(446m)/ précision (2metres)
Forage (F2)	24/04/2018	(Z2) Mezrir (Souagi)	35°39'13.6"N/ 4°34'26.0"E Elévation(442m)/ précision (6metres)
Forage (F3)	13/05/2018	(Z3) Trige Lachiakh	35°42'20.1"N/ 4°33'24.3"E Elévation(472m)/ précision (6metres)
Forage (F4)	13/05/2018	(Z4) Ouled Sidi Mahmoud	35°41'43.2"N/ 4°32'44.0"E Elévation(432m)/ précision (7metres)
Forage (F5)	13/05/2018	(Z5) Dhràa Ben Rebbah	35°40'57.7"N/ 4°26'28.1"E Elévation(460m)/ précision (6metres)
Forage (F6)	13/05/2018	(Z6) Dhràa Ben Rebbah	3°40'56.9"N/ 4°26'40.9"E Elévation(457m)/ précision (7metres)
Forage (F7)	13/05/2018	(Z7) Ghezel	35°41'06.2"N/ 4°27'07.9"E Elévation(473m)/ précision (7metres)
Forage (F8)	13/05/2018	(Z8) Ghezel	35°39'10.8"N/ 4°27'39.5"E Elévation(456m)/ précision (7metres)

II-2-3- Méthode de prélèvement et de conservation des eaux à analyser de la commune de M'Sila.

L'échantillon doit être homogène, représentatif, et obtenu sans modifier les caractéristique physico-chimiques de l'eau; un prélèvement correct est indispensable à l'obtention de résultat analytique significatif, il est aussi important de connaitre le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'arrive au laboratoire (**RODIER et al, 1996**).

C'est pour cela qu'on a fait de notre mieux à respecter le normes proposer par (**RODIER et al, 1996**).

Les échantillons prélever sont mis dans des bouteilles en plastique rincées une fois à l'eau distillée puis trois fois à l'eau à analyser. Elle sont couvertes par des sachées noire (contre la lumière) et conservés à 4°C pendant le transport tout en respectant toujours les conditions motionnées dans le tableau 20 proposé par (**RODIER et al, 1996**) .

Tableau 20: Les conditions de conservation et de prélèvement des eaux

Paramètre a analyses	Temperature de conservation(°C)	Effectue la mesure avant
pH	4	6 Jours
CE	4	24 h
Résidu sec	4	7 Jours
Dureté totale	4	1 Mois
Matière en suspension	4	48 h
Calcium	4	plusieurs Mois
Sodium	4	plusieurs Mois
Magnésium	4	plusieurs Mois
Nitrate	4	24 h
Nitrite	4	24 h
Chlorure	-	1mois
Sulfate	4	1mois
Potassium	4	plusieurs Mois
Carbonate et Bicarbonates	4	quelques Jours

Source: RODIER et al, 1996.

II-2-4- Méthodes d'analyse des paramètres physico-chimique des eaux des forages de la commune de M'Sila.

Les paramètres analysées dans nos eaux sont: la température, le pH, la conductivité électrique et le débit. Ainsi que Nitrate, Nitrite, TA, TAc, Dureté, Chlorure, Résidu sec, Calcium, Sulfate, Sodium, Potassium, Magnésium, Matière en suspension, Carbonate et Bicarbonate.

II-2-4-1- La température (T)

La température joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz (BOUAROUJ, 2012).

Elle de l'eau a été mesurée à l'aide d'un thermomètre sur terrain et aux laboratoire.

II-2-4- 2- Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, et exprime en µS/cm (RODIER et al, 1996).

Elle a été mesurée sur le terrain et au laboratoire à l'aide d'un conductivi-mètre.

II-2-4- 3- Potentiel hydrogène (pH)

Le pH permet de déterminer l'acidité d'une eau (BOUAROUDJ, 2012).

Il a été mesuré directement sur terrain et au laboratoire à l'aide d'un pH-mètre équipé d'une électrode verre-calomel, préalablement étalonné par des étalons à pH 7 et 4.

II-2-4-4- Dureté totale

Mesurée par le dosage volumétrique avec l' EDTA en présence de l'indicateur coloré de ériochrome noir, ce réactif titrant complexant à la propriété de se combiner avec les ions calcium puis magnésium , le métal se substitue alors au atomes d'hydrogène de groupe carboxyle COOH et lie par une liaison de coordinance avec les atomes d'azote.

II-2-4-5- Débit

Pour calculer le débit de nos eaux de forage, on à utiliser la méthode classique qui consiste à ramener une bouteille de volume connu et calculer le temps de son remplissage.

Donc: le débit = volume d'eau / temps de remplissage (HAMMIA, 2012).

II-2-4-6- Résidu sec (Rs)

Une certain quantité d'eau à analyser est évaporée dans une capsule tarée, le résidu resté desséché est pesé, la méthode est homologuée par AFNOER, T90, 029 1970 (RODIER et al, 1996).

II-2-4-7- Alcalinité (TA, TAC)

La méthode de détermination de titre alcalimétrique complète de l'eau est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau à analyser par un acide forte dilué (Hcl) ,en présence de méthyle orange comme un indicateur coloré (RODIER et al, 1996).

II-2-4-8- Nitrate (NO₃)

Le dosage des nitrates impose que la mesure soit réalisée dans les plus courts délais après le prélèvement car le NO₃⁻ peut rapidement être réduit, les mesures de l'absorbance en VIS à 415 nm ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre (cuve en quartz) (BOUAROUDJ, 2012).

II-2-4-9- Nitrite (NO₂⁻)

En présence de N-éthylène-amine et le sulfanilamide, les nitrites coloré en rose, les mesures de l'absorbance en VIS à 415 nm ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre.

II-2-4-10- Chlorure (Cl⁻)

Nous avons suivi la méthode volumétrique de MOHR, où les chlorures sont totalement précipités par nitrate d'argent (AgCl₂). La fin de la titration est marquée par l'indicateur chromate de potassium (K₂CrO₄) qui forme un précipité rouge (Ag₂CrO₄) avec l'argent en excès (BOUAROUDJ, 2012).

II-2-4-11- Sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfates de baryum par le chlorure de baryum, en présence de quelques gouttes d'acide HCl (Méthode turbidimétrique) (BOUAROUDJ, 2012).

II-2-4-12- Magnésium (Mg²⁺)

Dans notre travail, le Mg²⁺ dosé par la méthode de complexométrie, d'abord la dureté égale Ca+Mg, puis Mg²⁺ est obtenue par différence.

II-2-4-13- Calcium (Ca²⁺)

A la présence de murexide, le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'EDTA.

L'EDTA réagit tout d'abord avec les ions des calciums libres, puis les ions combinés avec qui varie de couleur rouge à violet (RODIER *et al*, 1996).

II-2-4-14- Potassium (K⁺) et Sodium (Na⁺)

Les dosages ont été réalisés par spectrophotomètre d'émission atomique (photomètre à flamme), l'appareil donne directement l'absorption de ces deux éléments (BOUAROUDJ, 2012).

II-2-4-15- Carbonates et Bicarbonate

La détermination des carbonates et bicarbonates se fait suivant une méthode titrimétrique très répandue: un aliquote de l'eau est titré avec un acide sulfurique (H₂SO₄ ou HCl) à faible concentration (0.1N), en présence successivement de phénolphthaléine (indicateurs des carbonates) et du méthyle orange (indicateur des bicarbonates) (BOUAROUDJ, 2012).

II-2-4-16- Matière en suspension

Les matières en suspension sont déterminées selon la norme AFNOR T90-105, après filtration d'une prise d'essai sur des filtres de verres préalablement séchés et pesés, ces filtres sont par la suite placés à l'étuve à 105°C pendant 2 heures et sont repesés.

La matière en suspension est la différence de poids des filtres après et avant filtration, rapportée au volume filtré (EL HACHEMI, 2012).

Troisième partie: Résultats et discussions

III-1- Introduction

La qualité des eaux est un facteur et résultat au même temps, le premier rôle apparaît quand les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau déterminent la vulnérabilité des écosystèmes aux effets destructeurs (AHONON, 2011).

Il est donc impératif en agriculture d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de puits ainsi que ceux des forages et de la comparer aux normes d'évaluation qualitative de l'eau pour l'irrigation (ELASSLOUJ *et al*, 2006).

Et c'est l'objectif principal de ce chapitre.

III-2- Caractérisation physico-chimiques des eaux d'irrigation des forages analysées dans la zone M'Sila.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux des huit (08) forages analysées sont mentionnés aux tableaux; 21 (paramètres physiques) et 22 (paramètres chimiques).

Tableau 21: Résultats des analyses physiques des eaux d'irrigation des huit forages étudiés de la zone M'Sila.

Forage Paramètres	Forage 1	Forage 2	Forage 3	Forage 4	Forage 5	Forage 6	Forage 7	Forage 8
T (°C)	21.1	22.2	22.8	22.6	23.7	21.6	23.8	22.7
pH	7.84	7.86	7.1	7.4	7.2	7.3	7.3	7.3
CE (µs/cm)	3110	1750	2640	1444	2930	3610	2770	2400
Dureté (°F)	136.5	82.5	43	32.5	33.5	74	33.5	44
Résidu Sec (mg/l)	2.4	1.3	1.65	0.4	1.6	2.75	1.8	1.45

Tableau 22: Résultats des analyses chimiques des eaux d'irrigation des huit forages étudiés de la zone M'Sila.

Forage Paramètre	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8
TA	0	0	0	0	0	0	0	0
TAC (°F)	16	15	18	13.5	16.5	12.5	17	13

Cations	Ca ⁺	(mg/l)	104	51	60	24	12	73	16	37	
		(meq/l)	5.2	2.55	3	1.2	0.6	0.65	0.8	1.85	
	Mg ⁺	(mg/l)	211.25	142.5	32.5	51.25	68.75	93.75	63.75	63.75	
		(meq/l)	17.60	10.375	2.71	4.27	5.73	7.81	5.31	5.31	
	Na ⁺	(mg/l)	11.77	2.33	6.22	0.11	20.11	9.55	14.55	20.11	
		(meq/l)	0.51	0.10	0.27	0.004	0.87	0.42	0.63	0.87	
	K ⁺	(mg/l)	1.14	1.85	0.42	0.42	1.14	3.28	3.28	0.42	
		(meq/l)	0.029	0.047	0.01	0.01	0.029	0.084	0.084	0.01	
Anions	Cl ⁻	(mg/l)	78.1	35.5	42.6	21.3	56.8	92.3	42.6	35.5	
		(meq/l)	2.2	1	1.2	0.6	1.6	2.6	1.2	1	
	SO ₄ ⁻	(mg/l)	988.84	1779.91	1631.58	1499.72	1928.24	2076.56	2175.45	2183.69	
		(meq/l)	20.60	37.08	33.99	31.24	40.17	43.26	45.32	45.49	
	NO ₃ ⁻	(mg/l)	10.57	8.28	6.98	3.69	1.09	3.74	0.86	5.68	
		(meq/l)	0.17	0.11	0.113	0.06	0.017	0.06	0.013	0.09	
	NO ₂ ⁻	(mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	
		(meq/l)									
	CO ₃ ⁻²	(mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	
		(meq/l)									
	HCO ₃ ⁻	(mg/l)	96	89.9	112	115.2	121.6	115.2	124.8	118.4	
		(meq/l)	1.57	1.47	1.84	1.89	1.99	1.88	2.05	1.94	
	MES (mg/l)			0.13	0.05	0.06	0.04	0.06	0.13	0.3	0.1
	SAR			0.19	0.024	0.18	0.004	0.67	0.27	0.48	0.58

III-2-1- La température

La température est un facteur abiotique important, sa mesure est nécessaire, étant donné le rôle qu'elle joue dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH. Elle agit également comme facteur physiologique sur le métabolisme et la croissance de la plupart des organismes vivant dans l'eau, notamment ceux microscopiques (**WHO, 1987**).

Les températures de nos eaux analysées varient entre 21.1°C et 23.8°C (voir tableau 21 et figure 16).

D'après la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux (Annexe 03), les valeurs des températures enregistrées indiquent que les eaux des forages analysés sont:

- De bonne qualité pour les forages F1 et F6;
- De moyenne qualité pour les autres forages.

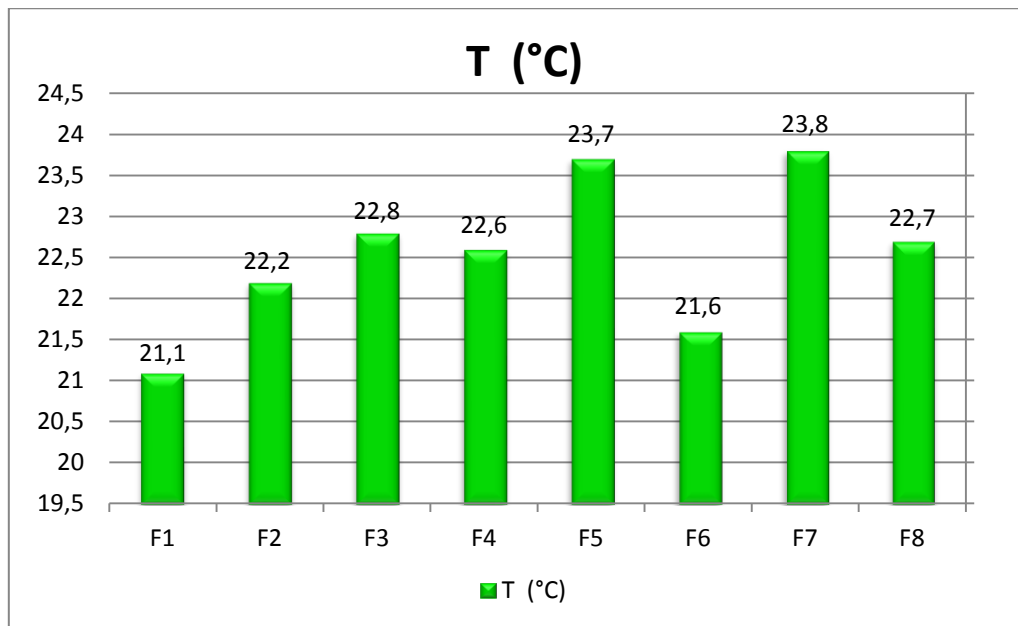


Figure 16: Variation des T en (°C) des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone d'étude (M'Sila) (Avril et Mai, 2018).

III-2-2- Le pH

Le pH est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau, sa mesure donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité de ces eaux (ELHACHEMI, 2012).

Les valeurs de pH enregistrées dans l'eau analysée de la zone M'Sila (tableau 21 et figure 17) sont comprises entre 7.1 comme valeur minimale et 7.86 comme valeur maximale.

Ces valeurs et selon les normes proposé par (RODIER, 2009), montrent que nos eaux présentent une basse alcalinité.

Cette basse alcalinité peut résulter de la nature géologique de la zone étudiée, ce qui est conforme avec les travaux de (DUSSARTE, 1966).

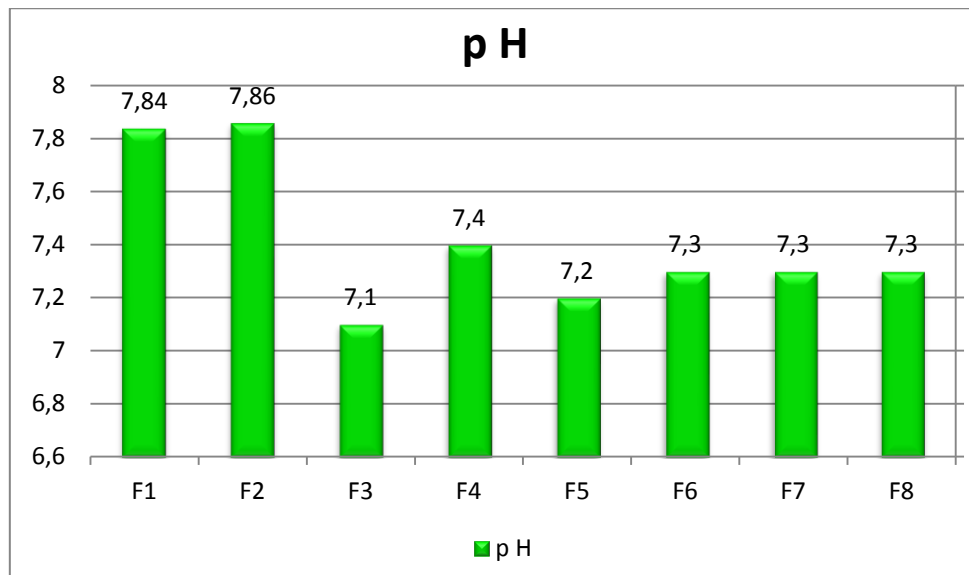


Figure 17: Variation du pH des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).

III-2-3-La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est un indicateur direct de sa salinité, c'est un facteur vital qui permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (SHILTON *et al*, 2005).

Les résultats mentionnés dans le tableau 21 et la figure 18 indiquent que la conductivité électrique des eaux d'irrigation de la zone de M'Sila présentent des valeurs qui varient entre 1444 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 3610 $\mu\text{s}/\text{cm}$, respectivement pour les forages F4 et F6.

En se référant à la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux (Annexe 03), on peut classer nos eaux analysées comme suit:

- Eau de moyenne qualité pour le forage F4;
- Eau de mauvaise qualité pour les forages F2, F3, F5, F7 et F8;
- Eau de très mauvaise qualité pour les forages F1 et F6.

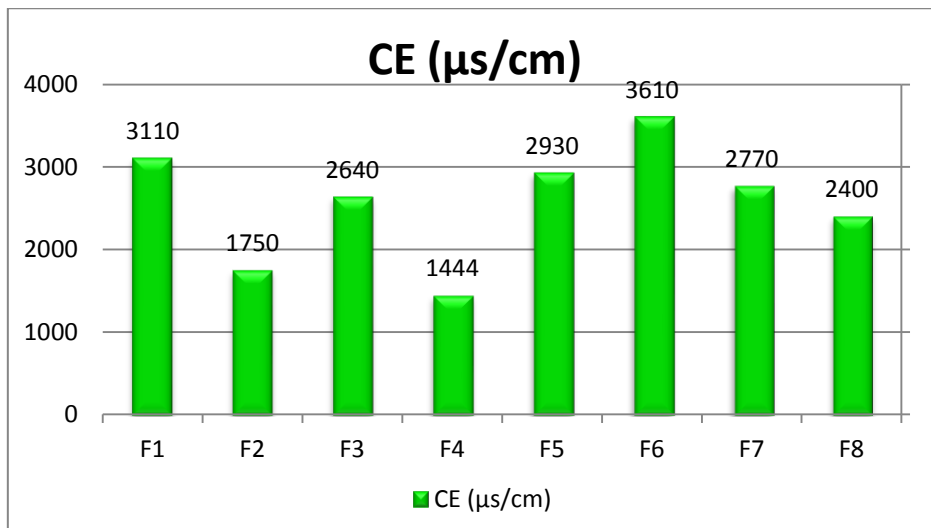


Figure 18: Variation de la conductivité électrique des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).

A la base de la classification de l'USDA (Annexe 06) de la conductivité électrique (CE exprimée en déci-siemens/mètre (dS/m)), on peut classer nos eaux analysés comme suit:

- Eaux de risque de salinité élevé pour les forages F2 et F4;
- Eaux de risque de salinité très élevé pour les forages F1, F3, F5, F6, F7 et F8.

Généralement, en peu dire que les eaux étudiées de la région de M'Sila est d'une mauvaise à très mauvaise qualité pour l'irrigation, lorsque qu'il cette propriété de salinité affect négativement sur les sols et les cultures.

III-2-4- La dureté totale

La dureté totale résulte principalement du contact des eaux souterraines avec des formations rocheuses, elle est exprimée en °F (degré français) et indique la teneur total des sels de calcium (Ca^{+2}) et de magnésium (Mg^{+2}) qui se trouve dans l'eau.

Les résultats de la dureté des eaux des forages analysés de la région de M'Sila indiquent qu'elles a des valeurs différentes comprises entre 32.5°F et 136.5°F.

On peut classer nos eaux en fonction des valeurs de dureté trouvées (selon l'annexe 05) en:

- Eaux dure pour les forages F3, F4, F5, F7 et F8;
- Eau très dure pour les forages F1, F2 et F6.

Selon les valeurs de dureté enregistrées, on peut juger que peut être ces eaux dus aux contacts avec les formations carbonatées.

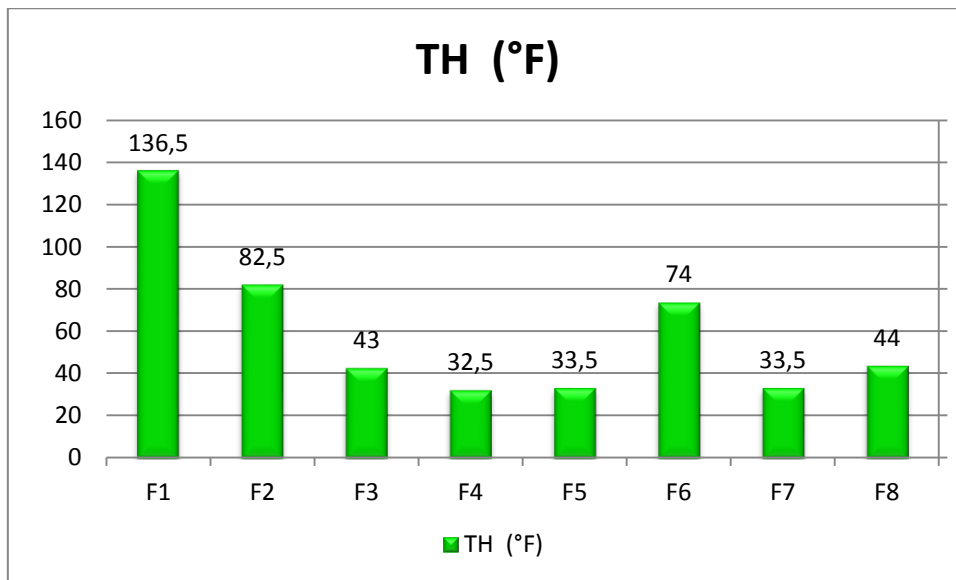


Figure 19: Variation de la dureté des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).

III-2-5- Les résidus secs

Les résultats des résidus secs des eaux analysées enregistrent des valeurs faibles.

Elles sont comprises entre une valeur minimale de 0.4 mg/l en forage 4, et une maximale de 2.75 mg/l dans les forages 6.

D'après la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau, ces résultats sont inférieurs à la norme proposée ($R_s < 500$), ce qui nous mène à juger que nos eaux sont faiblement minéralisées.

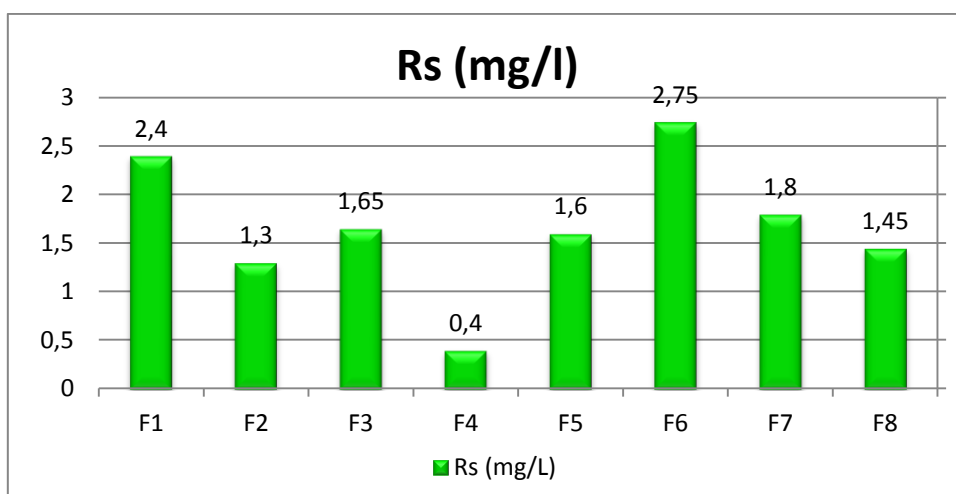


Figure 20: Variation des résidus secs des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone d'étude (M'Sila, Avril et Mai 2018).

III-2-6- Les matières en suspension

L'analyse des matières en suspension dans les échantillons des eaux analysée (tableau 22 et figure 21) a donné des valeurs comprises entre 0.04 mg/l comme valeur la plus faible (forage 4) et 0.13 mg/l comme valeur plus élevée (forages 1 et 6).

En se référant aux normes proposées de la qualité d'eau (< 30 mg/l, selon la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau), nos résultats signalent des valeurs inférieures; donc elles présentent une bonne qualité qui ne cause aucun problème pour l'irrigation.

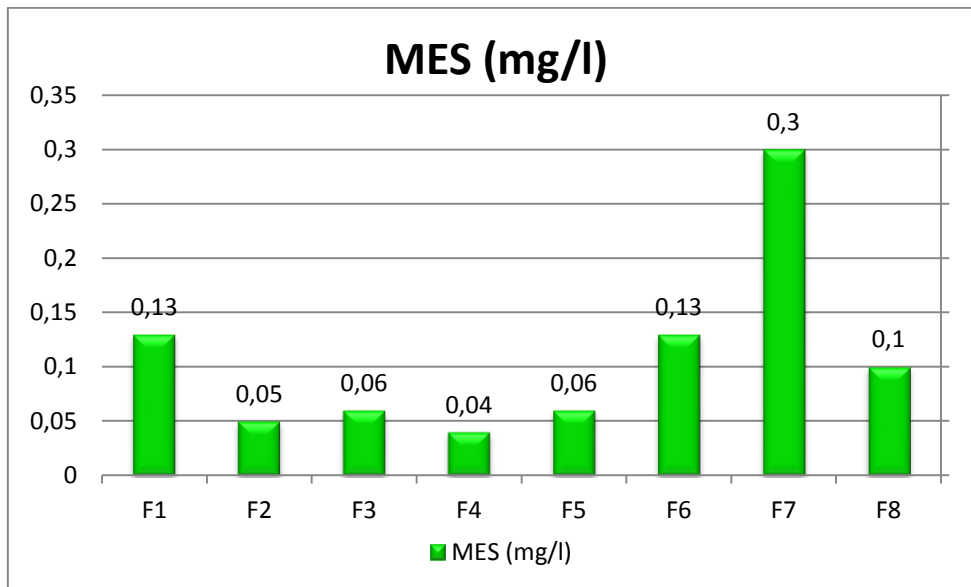


Figure 21: Variation des matières en suspension des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).

III-2-7- Le TA et le TAC

Ces deux valeurs permettent de déterminer l'alcalinité d'une eau qui correspond à la présence des concentrations des bicarbonates, carbonates et hydroxydes.

Les concentrations en TA dans notre eau est nul; par contre, le titre alcalimétrique complet (TAC) présente des valeurs des concentrations différents pour chaque échantillon. Ces valeurs sont comprises entre 12.5°F dans le forage 3, et 18°F dans le forage 6 (figure 22).

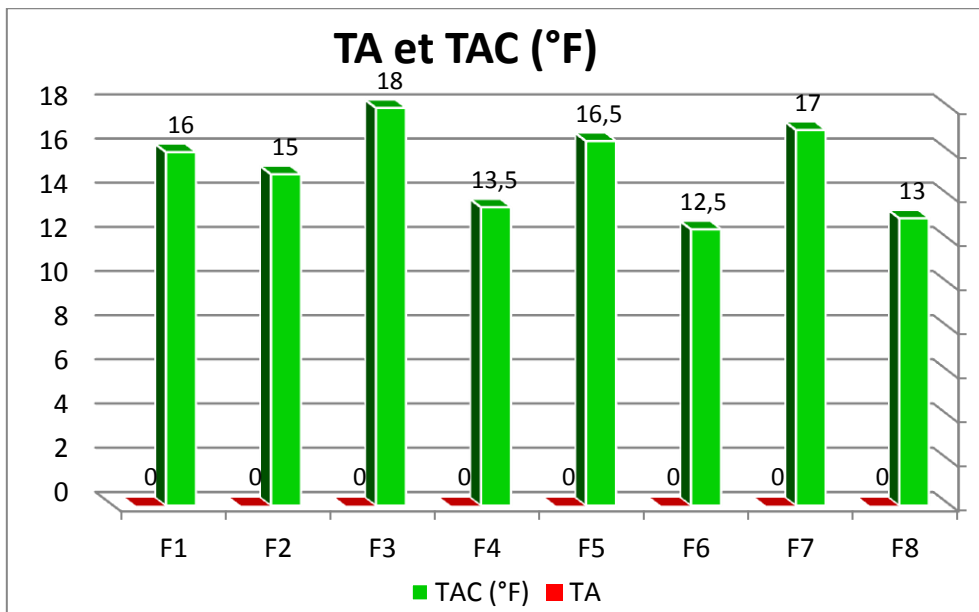


Figure 22: Présentation de TA et TAC des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).

III-2-8- Les cations

III-2-8-1- Le calcium

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles: soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4) (DEBIECHE, 2002).

Les concentrations du calcium dans les échantillons analysés de la zone de M'Sila est très variable, avec la valeur la plus élevée de 104 mg/l dans le forage 1 et la valeur minimale de 12 mg/l pour le forage 5.

Ces valeurs enregistrées dans nos eaux analysées (voir tableau 22 et figure 23) indiquent qu'elles ne posent aucun problème lors de leur utilisation en irrigation selon la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau.

Ces concentrations de calcium sont peut être liées la dissolution des formations gypseuses carbonatés dans la zones d'étude.

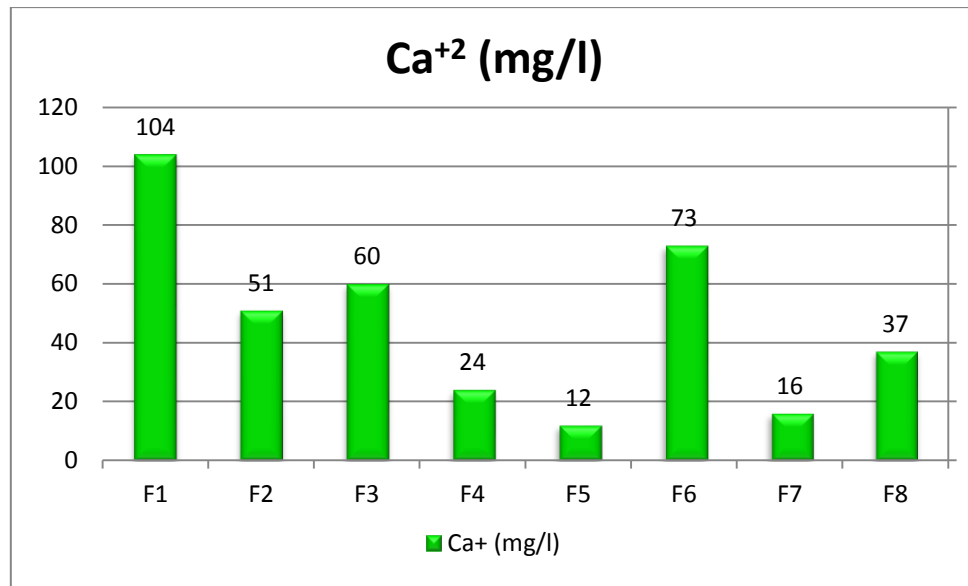


Figure 23: Variation des concentrations en calcium des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone de M'Sila (Avril et Mai, 2018).

III-2-8-2- Le magnésium

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) (DEBIECHE, 2002).

Les concentrations observées des Mg⁺ dans nos eaux analysées donnent des valeurs très différentes, elles sont comprises entre 32.5 mg/l pour le forage F1, et 211.25 mg/l pour le forage F4.

En se référant à la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux (Annexe 03), on peut classer nos eaux analysés comme suit:

- Eau de très bonne qualité pour le forage F3;
- Eaux de bonne qualité pour les forages F4, F5, F7 et F8;
- Eau de moyenne qualité pour le forage F6;
- Eaux de mauvaise qualité pour les forages F1 et F2, qui représente un problème de qualité pour l'irrigation.

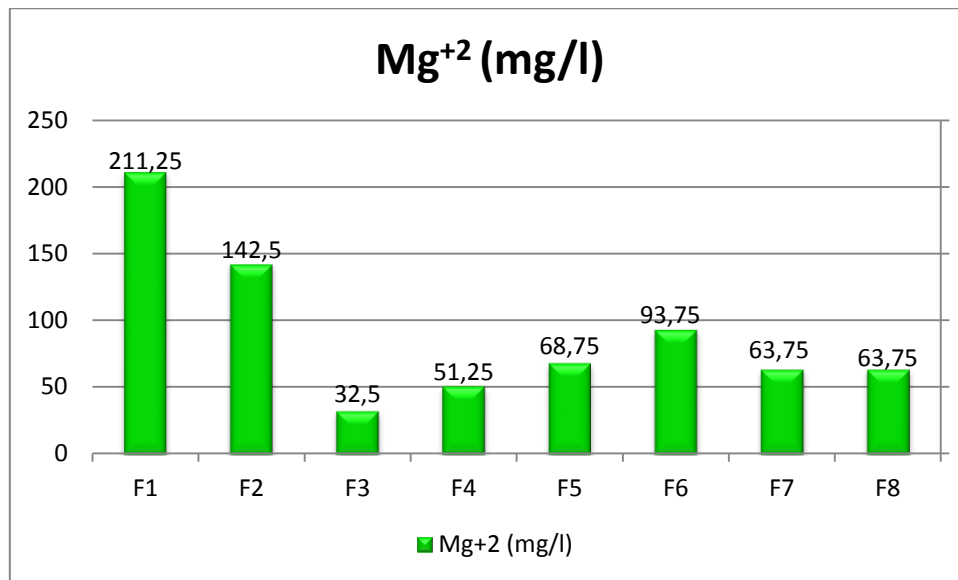


Figure 24: Variation des concentrations en magnésium des eaux souterraines des huit forages analysés de la zone d'étude (Avril et Mai, 2018).

III-2-8-3- Le sodium

Le sodium agit au niveau de la défloculation du sol argileux, ce qui entraîne une diminution de la macroporosité (ce qui entraîne une diminution de la circulation de l'air) et du taux d'infiltration de l'eau (BRADAÏ, 2017).

Son origine et sa présence est liée principalement à la dissolution des formations salifères (DEBIECHE, 2002).

La plus faible teneur en sodium est enregistrée au niveau du forage 4 avec une valeur de 0.11mg/l, la valeur le plus élevée est de 20.11mg/l dans les forages 5 et 8. Avec ces chiffres inférieur à 70 mg/l nos eaux n'exercent aucun risque de toxicité, et leurs concentrations n'impliquent aucun problème (selon les normes des qualités de l'eau d'irrigation (AMROUNE, 2013)).

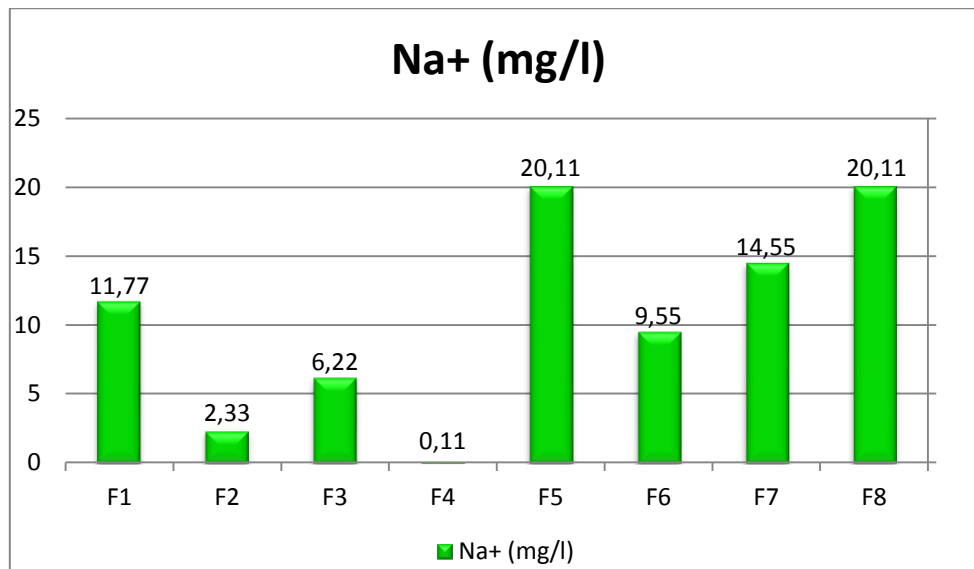


Figure 25: Variation des concentrations en sodium des eaux souterraines de la zone d'étude (Avril et Mai, 2018).

III-2-8-4- Le potassium

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) (DEBIECHE, 2002).

Les valeurs du potassium enregistrées lors des analyses de nos échantillons présentent des concentrations proches et faibles, qui sont comprises entre 0.42 mg/l et 3.28 mg/l.

Ces valeurs indiquent qu'il n'y a aucun problème pour ces eaux (eaux de bonne qualité), ce qui nous amène à penser qu'il existe une faible altération des formations silicatées dans la zone d'étude.

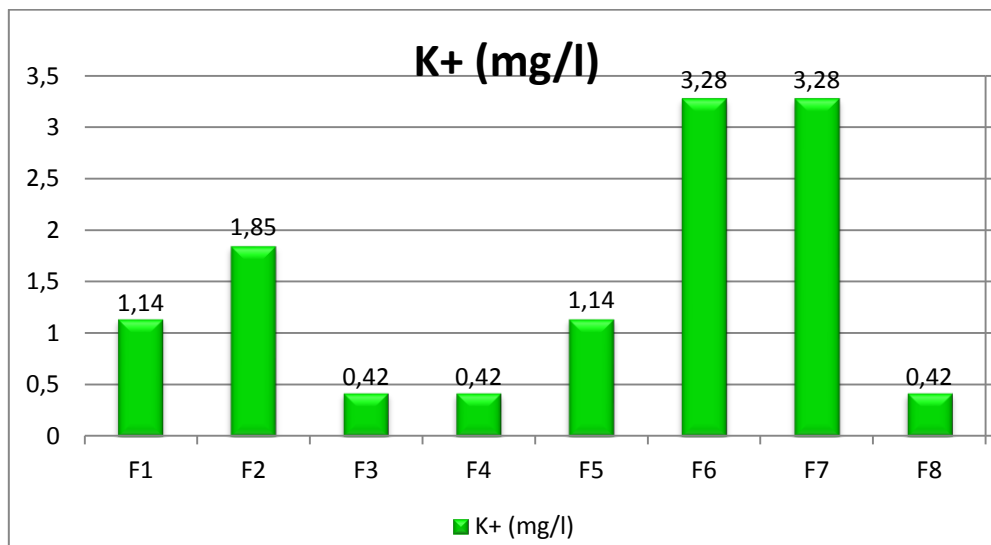


Figure 26: Variation des concentrations en potassium des eaux souterraines des huit forages analysés de d'étude (Avril et Mai, 2018).

II-2-9- Les anions

II-2-9-1- Les chlorures

L'ion chlorure est généralement considéré comme traceur car il ne précipite qu'à de fortes valeurs de salinité, il est considéré comme un traceur stable et l'élément chimique le plus conservatif des évaporites (**BARBIERO et VALLES, 1992**).

Dans notre cas, les eaux analysées présentent des valeurs différentes pour chacun des forages, mais elles restent de concentrations inférieures aux normes limitées (inférieures à 150mg/l).

Ces valeurs (figure 27) sont comprises entre 21.3 mg/l (forages 4) et 92.3mg/l (forages 6); ces eaux sont considérées de très bonne qualité (selon la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau).

Ces concentrations des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé par l'évaporate, ce qui est en relation avec la nature géologique de la région d'étude (**AMROUNE, 2013**).

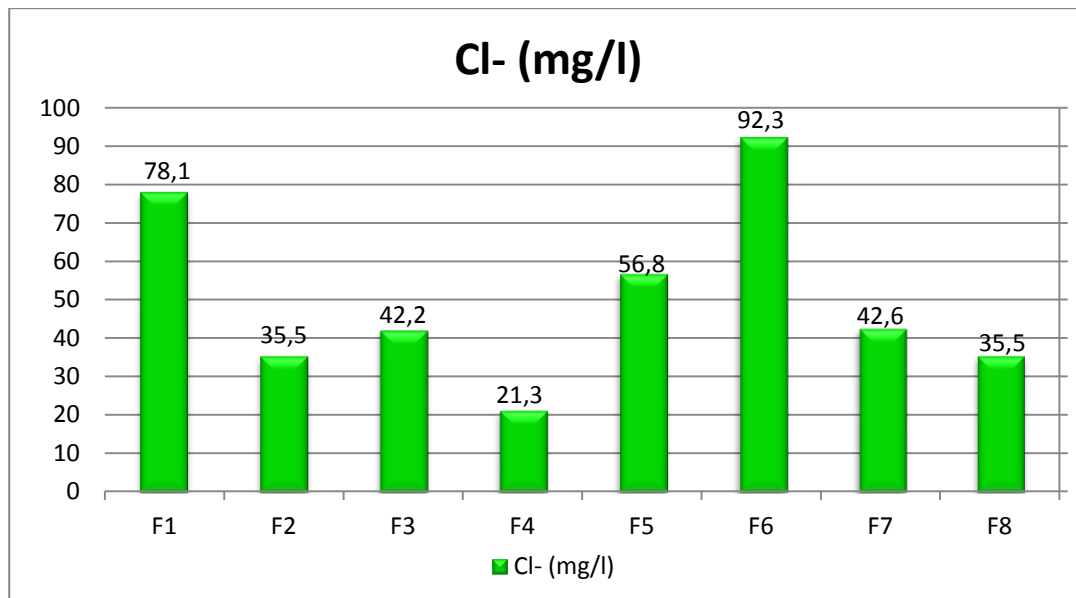


Figure 27: Variation des concentrations en chlorure des eaux souterraines analysées de la zone M'Sila (Avril et Mai, 2018).

II-2-9-2- Les sulfates

La présence des ions sulfate dans l'eau d'irrigation est liée en premier lieu à la dissolution des formations gypseuses (**DEBIECHE, 2002**).

Les résultats de l'analyse chimique de nos échantillons indiquent des concentrations des sulfates très élevées; elles sont comprises entre 988.84 mg/l (forage 1), et 2183,69 mg/l (forage 8).

Ces concentrations sont supérieures à la norme proposée (> 400 mg/l, selon la grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité d'eau), permettant de juger que ces eaux présentent une mauvaise qualité.

Comme explication, on peut dire que nos eaux étaient en contact avec des formations gypseuses de la zone d'étude.

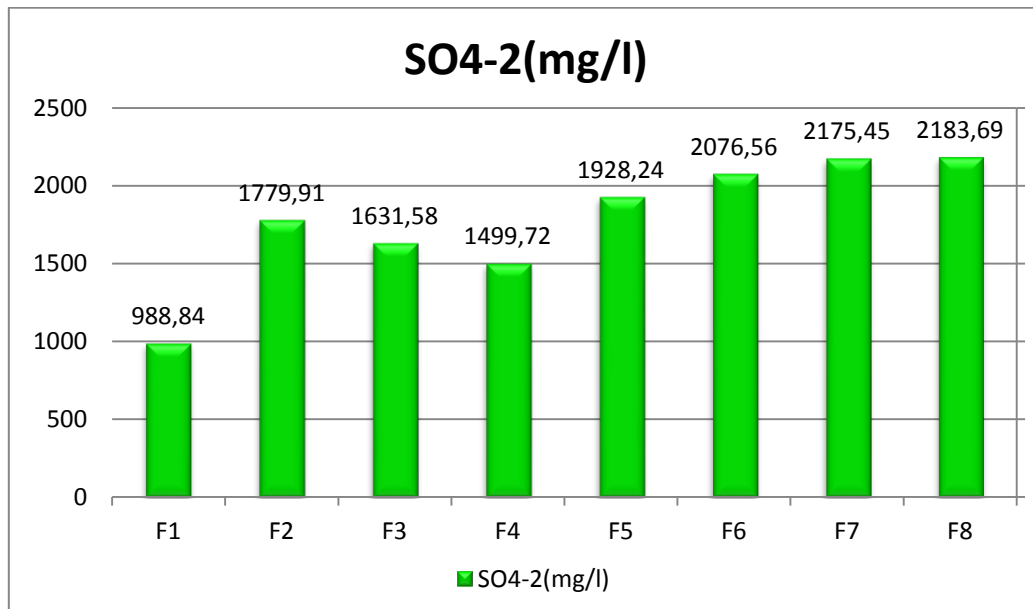


Figure 28: Variation des concentrations en sulfates des eaux souterraines analysées de la zone M'Sila (Avril et Mai, 2018).

II-2-9-3- Les nitrates et les nitrites

Les nitrates sont présents dans les eaux souterraines par l'utilisation intensive des engrais chimiques (**DEBIECHE, 2002**).

Les nitrites sont également assez largement présents dans les eaux, mais à des niveaux bien moindres que les nitrates (**BENGOUMI et al, 2004**).

Les résultats de nos analyses montrent que les concentrations des nitrites sont nulles dans la quasi-totalité des échantillons analysés. De ce fait, on peut dire que ces eaux présentent une très bonne qualité (valeurs < 0.1 mg/l).

Alors que, les nitrates (figure 29) marquent des valeurs qui sont d'ordre de 10.57 (mg/l), 8.28 (mg/l), 6.98 (mg/l), 3.69 (mg/l), 1.09 (mg/l), 3.74 (mg/l), 0.86 (mg/l), 5.68 (mg/l) respectivement pour les forages (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Ces valeurs nous amènent à juger que nos eaux analysées sont :

- De très bonne qualité pour les forages 4, 5, 6, 7;
- De bonne qualité pour les forages 1, 2, 3, 8.

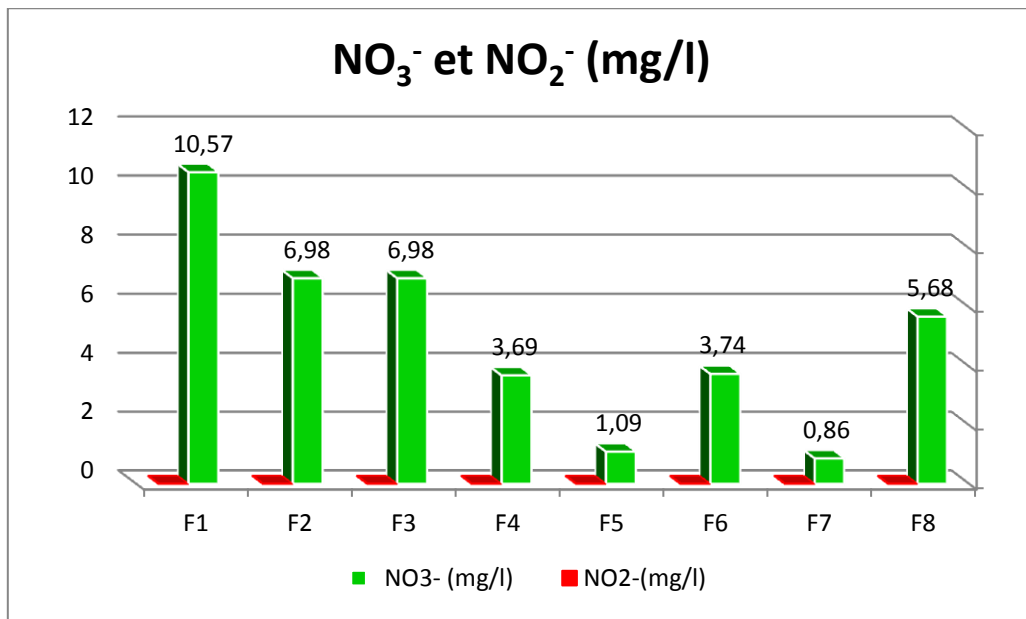


Figure 29: Variation des concentrations en nitrates et en nitrites de nos eaux souterraines analysées (Avril et Mai, 2018).

II-2-9-4- Les carbonates et les bicarbonates

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique (**DEBIECHE, 2002**).

Les résultats mentionnés au tableau 22 et à la figure 30 montrent que pour nos eaux analysées, on remarque une l'absence des carbonates dans tous nos échantillons.

Par contre pour les ions bicarbonates, on trouve des grandes valeurs proches, qui varié entre 89.6 mg/l pour forage F2 et 124.8 mg/l pour forage F7.

Ces résultats des concentrations en bicarbonates peut être qui produits par la présences des formations carbonates et la présence de calcaires dans la régions étudié (la nature géologique de cette zone).

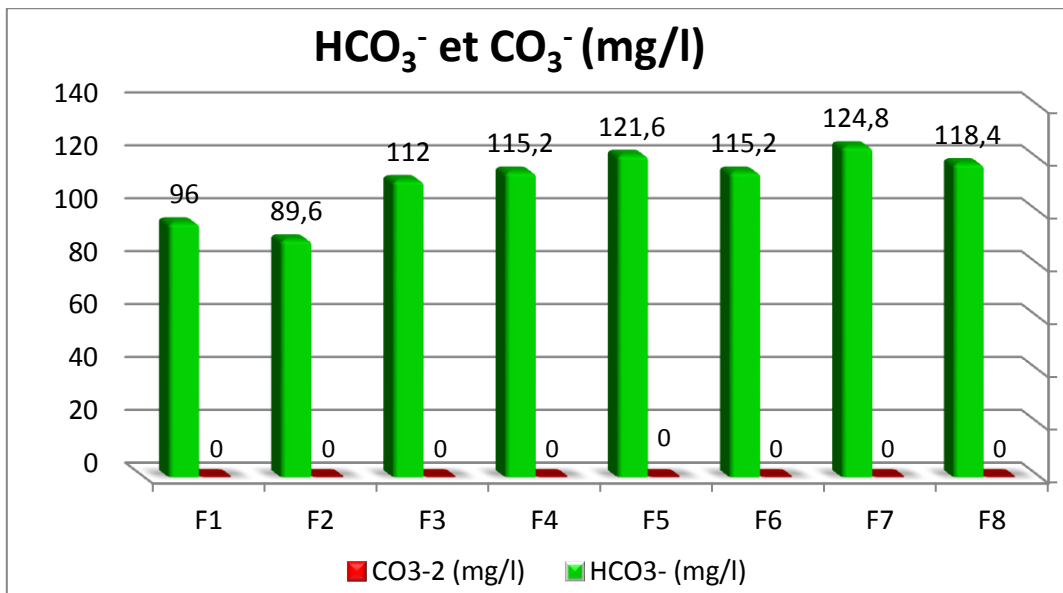


Figure 30: Variation des concentrations en carbonates et en bicarbonates des eaux souterraines analysées de la zone M'Sila (Avril et Mai, 2018).

III-3- Classifications des eaux d'irrigations de la zone d'étude (M'Sila)

En ce qui concerne la qualité des eaux et en particulier celles utilisées en irrigation, plusieurs classifications ont été adaptées. Dans notre présent travail nous utiliseront quatre (04) entre elles; il s'agit de :

- Classification selon la méthode de Riverside.
- Classification basée sur le diagramme Piper
- Classification basée sur le diagramme de Wilcox
- Classification par l'utilisation du diagramme de Schoeller- Berkaloff

III-3-1- Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux d'irrigation de la zone de M'Sila selon la méthode de Riverside.

L'aptitude d'une eau à l'irrigation est souvent évaluée en s'intéressant aux risques de salinité et de sodicité que cette dernière peut engendrer sur le sol, la conductivité électrique (CE) et le SAR sont les principaux critères à prendre en considération pour évaluer ces risques; pour faciliter l'interprétation de la qualité des eaux à l'irrigation, on utilise des diagrammes dont le plus commode est celui de Richards (**RICHARDS, 1954**).

La projection des résultats d'analyse de nos eaux des forages sur le diagramme de Riverside (1954) (CE et la valeur de SAR), montre que les eaux analysées sont situées dans les classes suivantes (figure 31):

- **C3S1** pour les eaux des forages F2 et F4. Elle reflète une eau de qualité moyenne et à utiliser avec précaution (nécessité de drainage avec des doses de lessivage et /au apport de gypse).
- **C4S1** pour les eaux des forages F1, F3, F5, F6, F7 et F8; eaux de qualité médiocre à mauvaise (à utiliser avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/au apport de gypse).

Tel que: **C3**: risque élevé de salinité. **C4**: risque très élevé de salinité. **S1**: risque faible alcalinité.

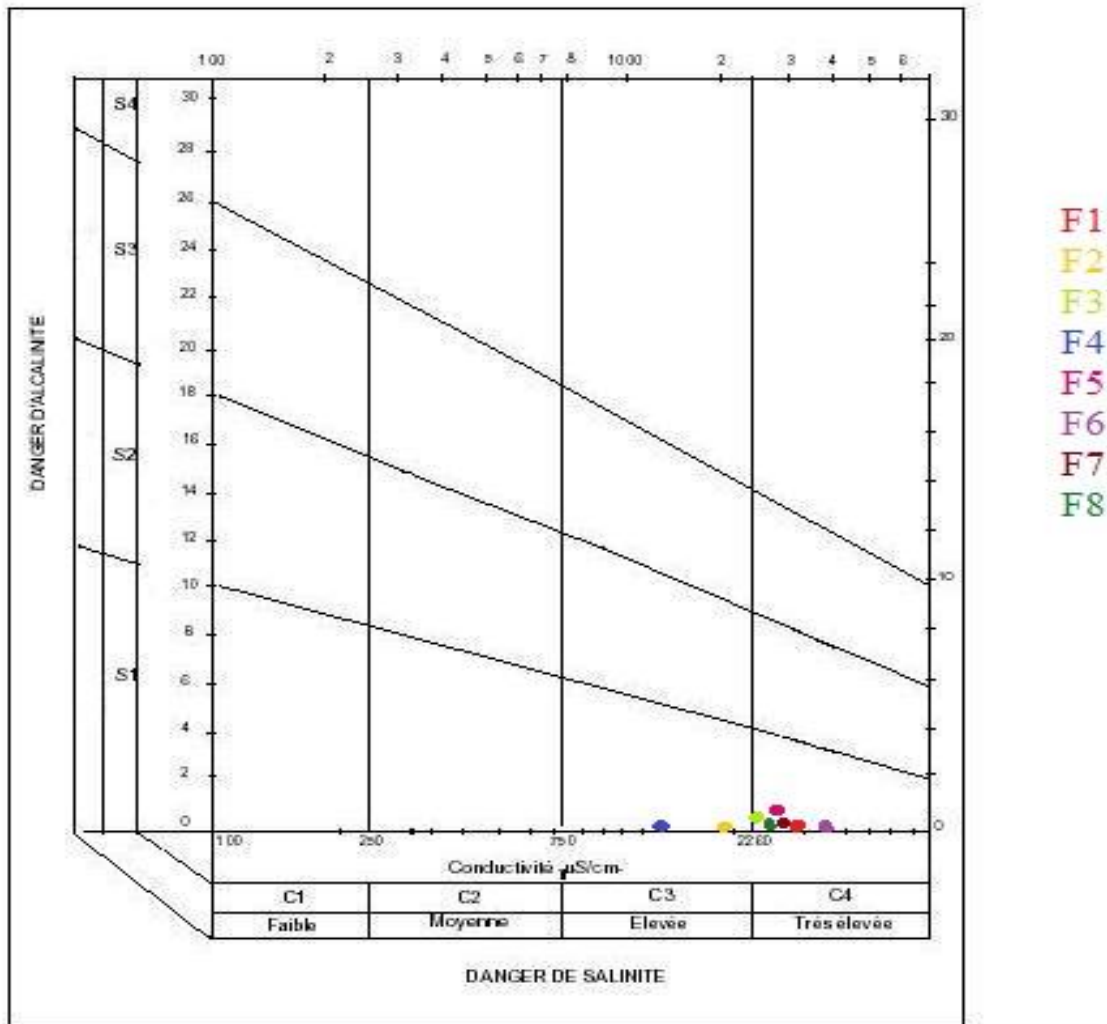


Figure 31: Classification des eaux d'irrigation des huit stations étudiées selon le diagramme de Riverside.

III-3-2- Représentation graphique des faciès hydro-chimiques de nos eaux d'irrigation par l'utilisation du diagramme de Piper

Pour bien identifier les faciès chimiques et donner des indications sur les aspects qualitatifs des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats de l'analyse révèle un outil incontournable.

Pour atteindre cet objectif, les données hydro-chimiques recueillies des analyses des eaux de la zone de M'Sila sont projetées sur le diagramme de Piper.

Ce diagramme a la particularité de représenter plusieurs échantillons sur le même plan, il est composé de deux triangles, permettent de déterminer les faciès cationiques et le faciès anioniques. Le faciès global est obtenu par l'intersection sur un losange synthétisant le faciès chimique d'échantillonnage considéré (BRADAÏ, 2017).

Le report des résultats de nos échantillons sur le diagramme de Piper (figures 32, 33) indique que l'eau d'irrigation de la région de M'Sila appartient à la famille de faciès chlorures et sulfatée calcique et magnésienne (hyper chlorurée calcique).

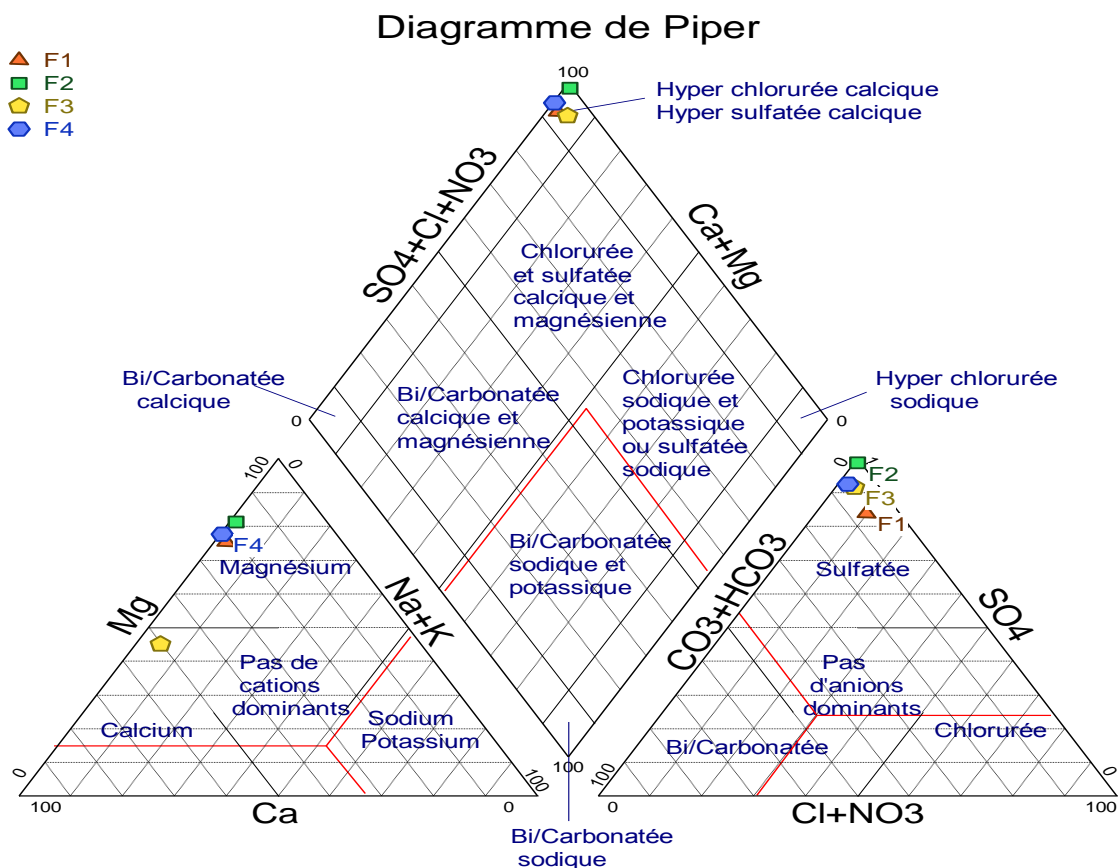


Figure 32: Classification des eaux d'irrigation des quatre forages (F1, F2, F3, F4) de la région de M'Sila selon le diagramme de Piper.

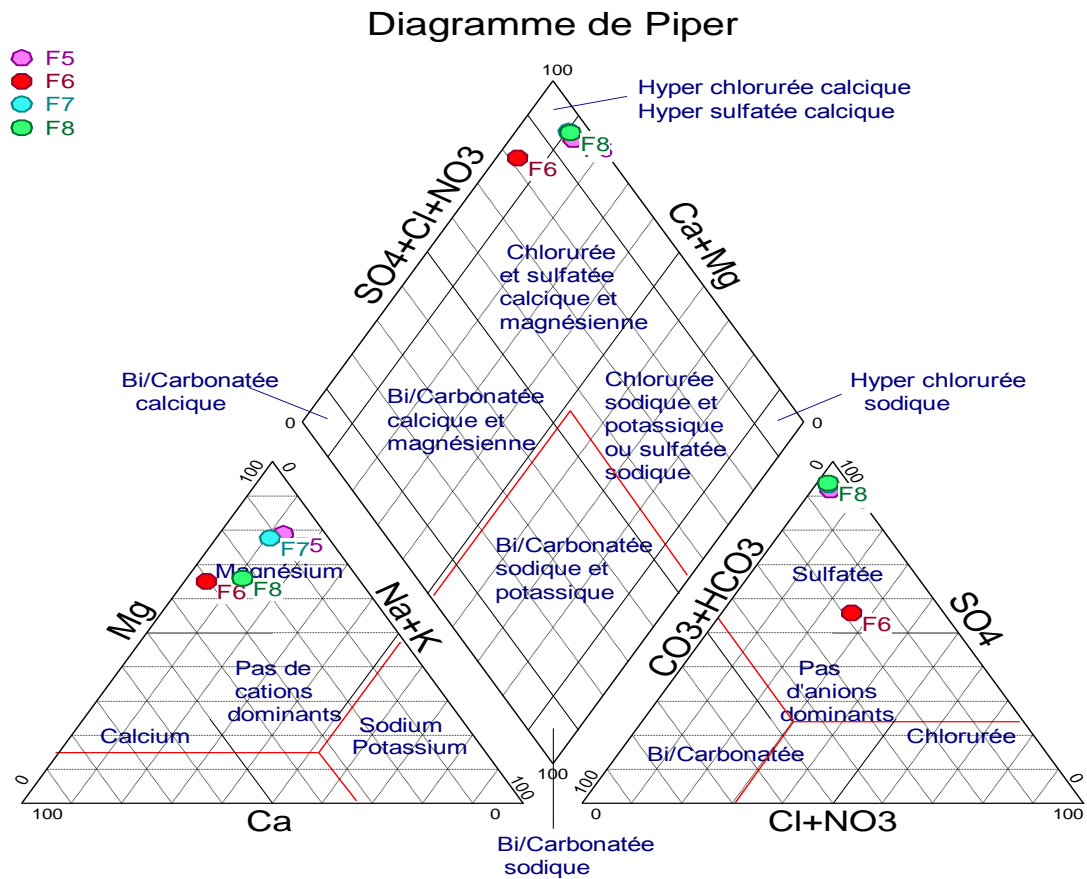


Figure 33: Classification des eaux d'irrigation des quatre forages (F5, F6, F7, F8) de la région de M'Sila selon le diagramme de Piper.

III-3-3- Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux d'irrigation par le diagramme de Wilcox

Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule du pourcentage de Na^+ , elle s'écrit comme suit :

$$\% \text{Na} = (\text{Na} / \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{k}) * 100$$

La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définie cinq classes: excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise (SEDRATI, 2011).

Tableau 23: Résultats des teneurs en sodium (Na%) et en conductivité (CE $\mu\text{s}/\text{cm}$) des eaux d'irrigation de la région d'étude (M'Sila).

station	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	3110	1750	2640	1444	2930	3610	2770	2400
Na %	17.35	52.19	62.63	86.15	26.21	12.59	19.40	34.19

Selon le diagramme de Wilcox, et après la projection des valeurs de Na(%) et de CE, les eaux des forages étudiées prennent les classes :

- Eau de bonne qualité pour forage F2;
- Eau de qualité admissible pour forage F4;
- Eau de qualité médiocre pour forages F3, F5, F7, F8;
- Eau de mauvaise qualité pour forages F1 et F6.

En peu dire que les eaux des forages F1 et F6 représentent des problèmes de qualité pour l'irrigation, et une restriction d'irrigation sur les sols et les plantes.

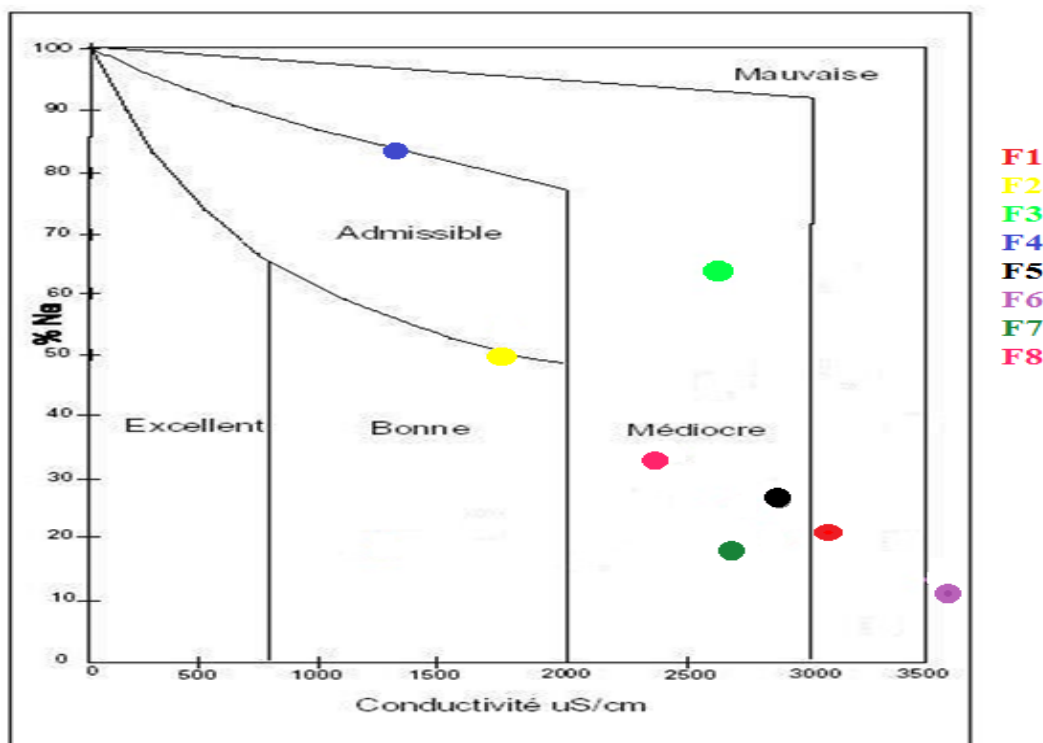


Figure 34: Classification des eaux d'irrigation des huit stations étudiées selon le diagramme de Wilcox.

III-3-4- Représentation graphique des faciès hydro-chimiques des eaux d'irrigation par le 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^{-} et HCO_3^{-}), les points reportés sont ensuite reliés par 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 les faciès de l'eau concernée (AZRI et DJEMIAT, 2016).

Le faciès chimique des cations présente une dominance de manganèse sur le calcium, sodium et potassium, dans tous nos échantillons analysés, (sauf pour le forage F3 où on trouve la dominance du calcium sur les autres cations). En générale, on donne la relation suivante: $Mg^{+} > Ca^{+} > Na^{+} \text{ et } K^{+}$.

Le faciès chimique des anions présente une dominance des sulfates sur tous les autres anions dans tous nos échantillons. On présente la dominance des anions comme suit: $SO_4^{-} > Cl^{-} > HCO_3^{-}$ et $CO_3^{-} > NO_3^{-}$ et NO_2^{-} .

Ces résultats paraissent conformes avec les résultats de la courbe brisée de Piper (figures 35, 36).

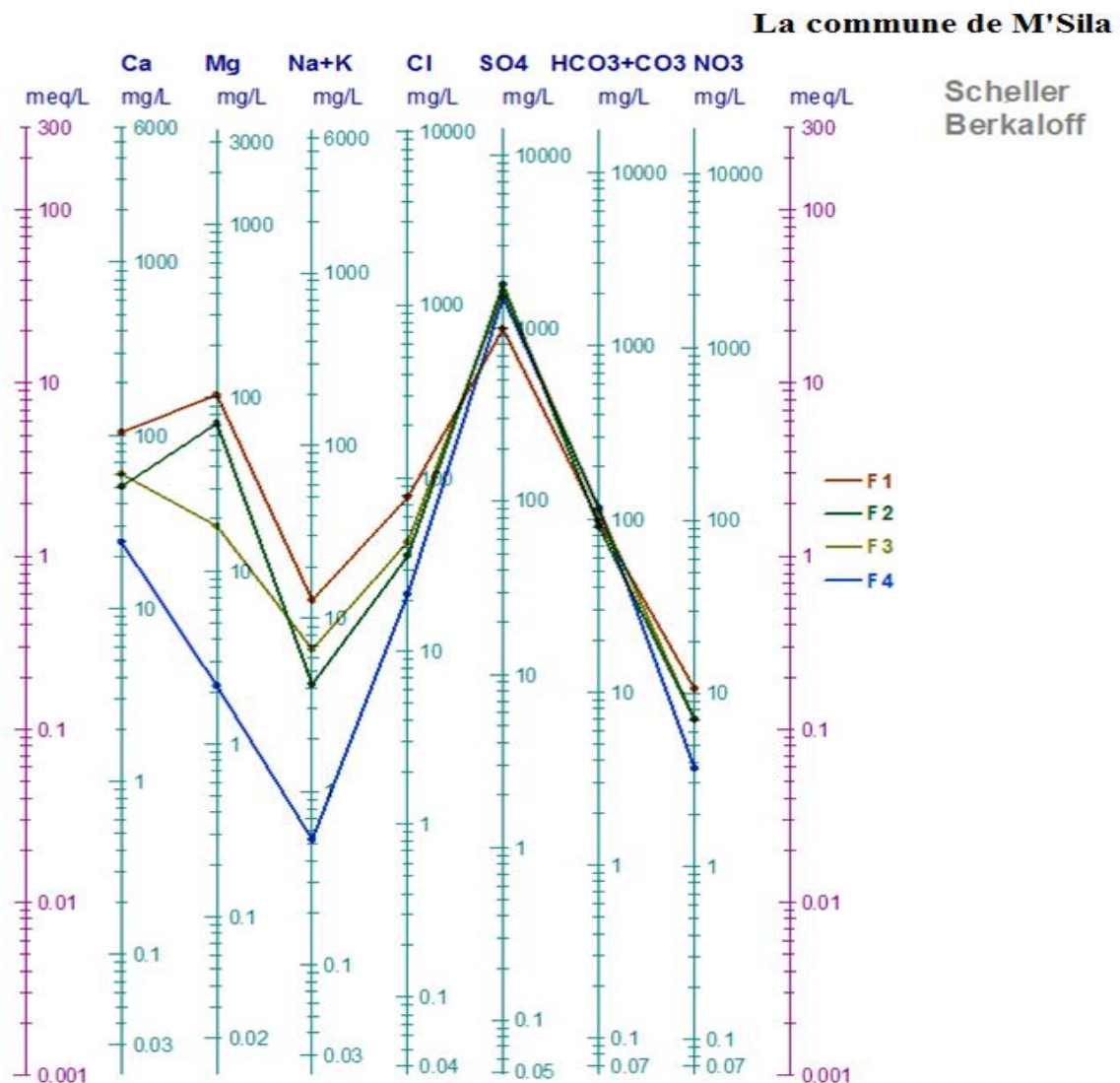


Figure 35: Classification des eaux d'irrigation des quatre forages (F1, F2, F3, F4) étudiées selon le diagramme de Schoeller- Berkaloff.

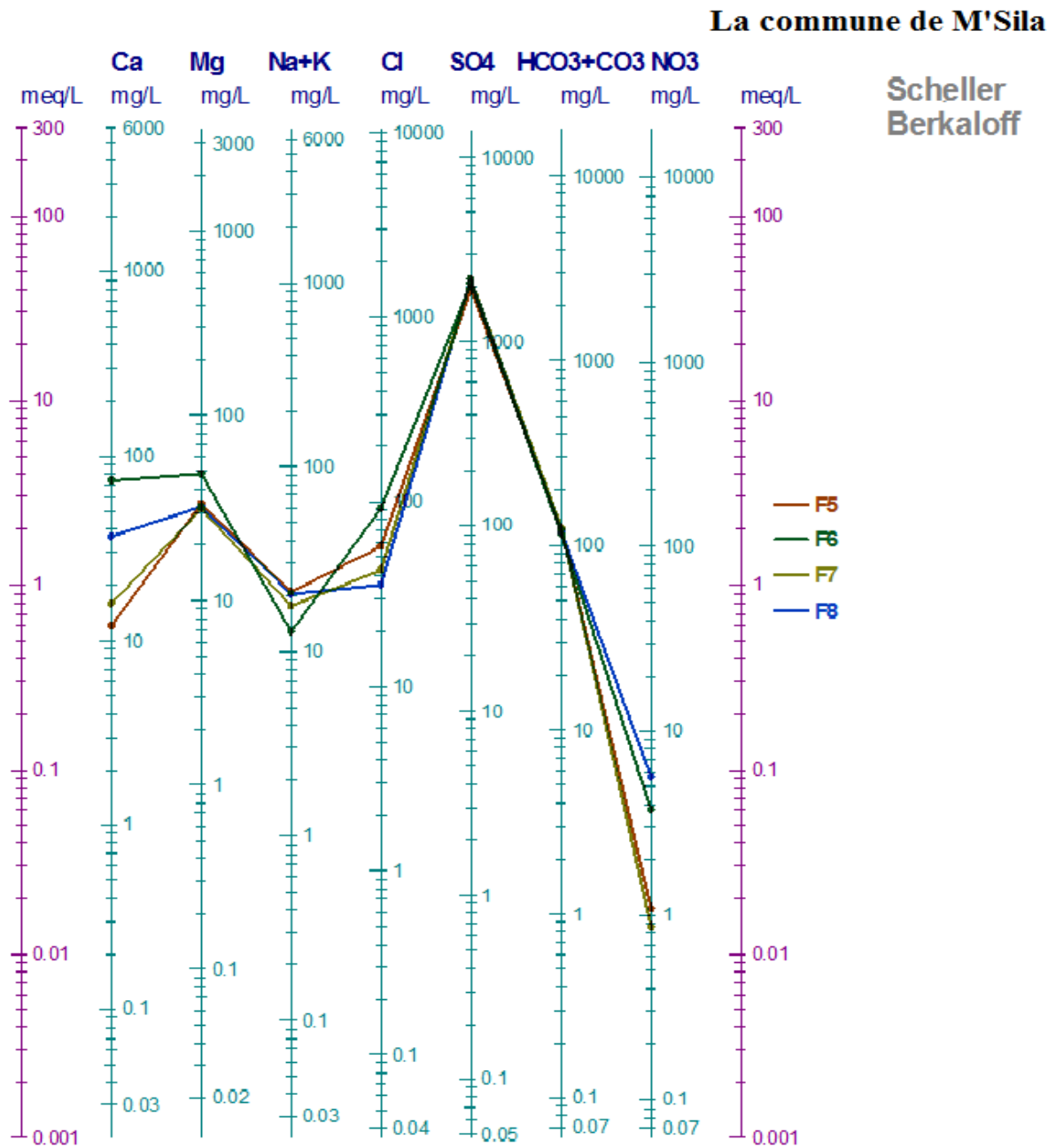


Figure 36: Classification des eaux d'irrigation des quatre forages (F5, F6, F7, F8) étudiées selon le diagramme de Schoeller- Berkaloff

III-4- Conclusion

Les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des eaux d'irrigation obtenus des huit stations de la zone de M'Sila donne les caractéristiques suivants:

- Un pH compris entre 7.1 et 7.86, indiquant un caractère alcalin des eaux des forages de cette région.
- Un faible risque d'alcalinité car le SAR des eaux analysées des huit stations est inférieur à 4.
- La CE a donné de grandes valeurs, ce qui indique un risque élevé à très élevé de salinité.
- Un taux des sulfates supérieur aux normes proposées vis-à-vis de la qualité de l'eau ($\text{SO}_4^- > 400$), indiquant une mauvaise qualité d'eau pour l'irrigation.
- Selon le diagramme de Schoeller- Berkaloff, le faciès chimique des ces eaux indique que le sulfate SO_4^- c'est l'ion le plus dominant sur les autres anions dans tout les échantillons, et le cation le plus dominant c'est le manganèse Mg^+ . Ces résultats traduisent la classification de ces eaux dans la famille de chlorures et sulfatée calcique et magnésienne dans le diagramme de Piper.
- Les eaux de cette région appartiennent à la classe C3S1 et C4S1; en générale, ce sont des eaux fortement salin pouvant convenir à l'irrigation de certains espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

Conclusion générale

A la lumière de cette étude menée dans huit zones de la même région (commune de M'Sila dans la Wilaya de M'Sila), et qui vise l'objectif de contribuer à la connaissance des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation de cette région nous avons pu tirer les constatations suivantes:

- Notre zone d'étude se caractérise par un climat de type continental, caractérisé par un été sec, très chaud et un hiver très froid. La période sèche s'étale presque tout au long de l'année, se qui classe notre zone dans la l'étage bioclimatique aride à hiver chaud.
- Le sol de cette région steppique est alluvial peu évoluée affecté par des sels.
- De point de vue géologique, notre zone présente des terrains sédimentaires caractérisés par des formations quaternaires.
- Elle contient un réseau hydrographique très dense mais perin.
- Sa végétations est d'une structure dégradée, caractérisée par une couverture basse et clairsemée.
- Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux des forages de la commune étudiée sont résumés comme suit:

*Le pH est de basse alcalinité au niveau des huit forages analysés, ce qui ne présente aucun problème sur la qualité des eaux destinées à l'irrigation.

*La conductivité électrique (CE) marque une forte valeurs indiquant des risques élevés à très élevés de salinité, qui permet a jugée que ces eaux posent un grand problème de qualité (qualité mauvaise) pour l'utilisation en irrigation.

*Les valeurs de SAR des huit échantillons analysés indiquent un risque bas d'alcalinité.

*Un taux du sulfates supérieur aux normes proposés de la qualité de l'eau; ce sont des eaux de mauvaise qualité pour l' irrigation.

*Les teneurs des cations ne représentent aucun problèmes de qualité, sauf le manganèse pour les forages F1 et F2 qui donnent une mauvaise qualité et qui pose des problèmes pour l'irrigation.

*Selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff, le faciès chimique des nos eaux analysées indique que le sulfate SO_4^- c'est l'ion le plus dominant sur les autres anions dans tout les échantillons, et le cation le plus dominant est le manganèse Mg^+ . Ces résultats traduisent

Conclusion générale

la classification de ces eaux dans la famille de chlorures et sulfatée calcique et magnésienne dans le diagramme de Piper.

*Les eaux de cette région appartiennent à la classe C3S1 et C4S1; en générale, ce sont des eaux fortement salin pouvant convenir à l'irrigation de certains espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

Comme récapitulation, à la fin de cette étude en peu dire que:

Malgré que nos eaux analysées présentent certains propriétés recherchées, tels que la pH considéré comme acceptable de point de vue adaptation de la majorité des sols et des cultures, et les concentrations de certains cations et anions; elles présentent aussi des propriétés qui peuvent influencer négativement si elles ne sont pas corrigées, tels que le taux élevé de salinité.

Comme suggestion, on propose aux agriculteurs des zones étudiées l'installation des réseaux de drainage pour évacuer l'eau salins en dehors des sols cultivées; il est recommandé aussi d'appliquer un bon lessivage du sol, ayant pour but de diminuer le taux élevé de sels.

Finalement, cette recherche mérite d'être poursuivie pour mieux caractériser et essayer d'améliorer les propriétés des eaux d'irrigation de la région étudiées ainsi que la caractérisation des propriétés des sols de ces régions pour qu'il y un bonne développement des plantes installées de point de vue qualitatif et quantitatif.

Annexe

Annexe 01:

Les données climatiques de la région M'Sila 2006-2016

Bilan pluviométrique 2006-2016 Précipitation en mm

Lat: 35° - 40'

Long: 04° - 30'

Alti: 441 m

NT = Néant

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
2006	26	50	1	14	26	3	29	5	20	NT	29	22	225
2007	5	12	17	80	26	6	NT	4	23	10	5	NT	188
2008	5	5	6	NT	16	6	2	3	35	57	10	26	171
2009	31	17	5	34	2	8	1	3	23	4	6	19	153
2010	7	32	21	21	3	3	2	6	4	11	8	3	121
2011	3	8	8	21	13	40	2	5	19	26	12	11	168
2012	NT	2	31	21	4	1	1	4	59	27	9	9	168
2013	15	10	21	27	14	NT	5	7	6	38	29	28	200
2014	20	7	19	NT	50	11	6	2	13	2	27	13	170
2015	12	25	13	6	6	3	NT	16	27	51	NT	NT	159
2016	5	8	12	50	22	NT	14	NT	5	9	16	14	155

Source: station météorologique de M'Sila.

Températures Moyennes Mensuelles 2006-2016 en degrés Celsius

Lat: 35° - 40'

Long: 04° - 30'

Alti: 441 m

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2006	7,1	8,3	14,0	19,7	24,8	29,0	31,7	30,7	24,4	22,5	14,6	9,6	19,7
2007	8,9	11,6	12,1	16,7	21,8	29,0	31,7	31,3	25,1	20,1	11,6	8,9	19,1
2008	9,1	11,6	13,1	18,4	22,6	27,5	32,7	31,8	25,6	18,7	11,5	7,4	19,2
2009	8,5	8,2	12,6	13,1	23,2	28,9	31,9	31,6	25,2	19,9	13,8	10,5	19,0
2010	9,7	11,2	14,1	17,9	20,2	27,6	32,6	31,6	25,8	19,1	13,2	9,2	19,4
2011	9,1	9,3	13,0	19,0	22,3	27,1	32,0	31,8	27,7	19,4	13,8	9,5	19,5
2012	8,0	6,6	13,7	16,3	24,1	31,3	33,9	33,7	26,6	20,8	14,5	9,2	19,9
2013	8,8	8,0	14,0	18,4	21,0	26,9	32,0	34,0	30,0	26,7	23,9	12,9	21,4
2014	9,6	11,5	12,8	19,7	23,2	27,6	31,8	32,5	28,1	22,1	15,4	9,1	20,3
2015	8,2	8,5	13,9	20,3	25,2	27,9	32,8	31,4	25,9	19,5	13,6	8,8	19,7
2016	10,0	11,4	13,0	19,2	22,9	28,7	32,0	30,8	25,9	21,8	13,5	9,0	19,9

Source: station météorologique de M'Sila.

Annexe

Bilan Températures MAX absolu durant 2006-2016 en degrés Celsius

Lat : 35° - 40'

Long: 04° - 30'

Alti : 441 m

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Plus élevée
2006	16,4	17,8	28,9	32,8	39,7	44,2	43,8	42,1	36,4	36,3	30,8	19,5	44,2
2007	22,6	22,3	27,7	28,8	36,9	44,1	42,2	42,2	36,8	34,7	21,4	20,8	44,1
2008	19,2	23,4	30,5	34,4	36,2	40,7	45,7	45,0	39,5	29,3	21,4	17,0	45,7
2009	18,3	18,0	25,4	28,7	37,0	39,8	45,2	43,4	40,8	32,7	27,0	22,8	45,2
2010	20,0	28,7	28,2	30,2	34,0	42,6	45,3	42,7	36,7	35,0	23,3	22,1	45,3
2011	20,3	20,4	25,6	33,0	36,1	41,3	43,6	44,6	41,0	30,9	22,6	18,8	44,6
2012	18,4	21,5	26,1	31,7	36,4	43,3	46,2	44,8	38,5	36,0	28,1	19,3	46,2
2013	21,3	19,6	26,8	34,1	27,4	34,1	38,0	36,1	33,0	29,6	18,9	14,2	38,0
2014	18,8	25,4	23,6	33,3	36,6	39,4	43,3	44,3	41,4	37,2	26,1	18,5	44,3
2015	20,0	17,7	29,4	34,4	41,3	40,2	44,2	45,3	39,4	34,3	24,2	20,4	45,3
2016	22,4	23,7	32,7	32,4	43,2	40,3	43,2	43,4	37,4	34,0	27,4	22,0	43,4

Source: station météorologique de M'Sila.

Bilan Températures MINI absolu durant 2008-2016 en degrés Celsius

Lat : 35° - 40'

Long: 04° - 30'

Alti : 441 m

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Plus base
2008	-2,0	-1,5	-0,9	4,0	8,4	13,2	18,7	20,5	12,2	8,2	2,0	-0,8	-2,0
2009	0,0	-2,0	0,5	2,2	7,0	15,2	22,0	18,8	13,0	6,8	2,4	0,5	-2,0
2010	-2,2	-2,8	1,5	6,8	6,8	15,3	19,9	21,6	12,3	4,1	2,0	-4,1	-4,1
2011	-3,4	-1,9	0,7	7,0	9,4	13,5	18,3	19,8	16,4	8,4	5,4	-0,3	-3,4
2012	-2,9	-5,0	2,2	4,0	8,8	18,9	17,9	20,8	14,4	4,6	2,4	-1,2	-5,0
2013	-1,2	-3,2	-1,7	3,6	13,5	18,2	23,5	21,9	20,4	17,7	7,9	3,3	-3,2
2014	0,1	-1,8	1,0	5,3	8,6	13,8	19,7	19,9	15,8	7,6	5,7	-0,6	-1,8
2015	-1,0	-1,5	1,6	4,6	8,8	15,6	20,8	18,6	13,9	8,9	1,7	0,4	-1,5
2016	-0,3	-0,4	0,4	4,2	5,7	12,8	13,6	18,7	12,8	8,5	2,5	0,2	-0,4

Source: station météorologique de M'Sila.

Bilan Vitesse de Vent Moyenne mensuelle en (m/s) durant 2006-2016

Lat : 35° - 40'

Long: 04° - 30'

Alti : 441 m

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	MOY
2006	4	4	5	5	4	6	3	4	3	4	4	3	4
2007	3	5	5	5	5	5	4	4	3	4	4	5	4
2008	3	4	5	6	5	5	4	3	4	2	3	3	4
2009	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4
2010	4	4	4	4	5	4	3	3	4	3	4	3	4
2011	3	5	4	4	5	4	5	3	4	3	4	4	4
2012	4	5	5	6	4	4	5	5	4	5	4	4	5
2013	5	5	7	5	6	5	4	4	4	4	5	3	5
2014	4	4	5	5	5	5	4	4	3	3	4	5	4
2015	5	6	6	4	5	4	4	4	5	4	4	2	4
2016	3	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4	4

Source: station météorologique de M'Sila.

Humidité – Moyenne mensuelles 2006-2016 en (%)

Lat : 35° - 40'

Long: 04° - 30'

Alti : 441 m

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2006	76	80	71	51	51	34	38	40	54	51	71	82	58
2007	75	71	69	71	55	46	33	37	59	67	75	76	61
2008	73	63	63	48	49	44	37	41	55	78	80	88	60
2009	86	79	69	72	43	38	30	40	63	60	66	77	60
2010	76	73	65	64	53	42	33	37	46	62	72	65	57
2011	70	68	65	61	54	47	36	35	48	61	76	77	58
2012	79	67	56	71	42	33	25	25	39	57	76	76	54
2013	74	67	57	51	49	39	32	34	48	50	67	81	54
2014	77	64	61	44	43	41	28	31	43	45	64	76	51
2015	71	73	59	46	39	36	28	36	47	62	63	67	52
2016	65	61	53	50	40	30	26	30	42	48	65	69	48

Source: station météorologique de M'Sila.

Evapotranspiration potentielle (ETP) Mensuelles en mm 2006-2016**Lat : 35° - 40'****Long: 04° - 30'****Alti : 441 m**

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
2006	0,29	0,48	3,16	10,13	23,75	39,45	53,54	45,50	19,17	13,88	3,02	0,77
2007	0,76	1,71	2,36	6,83	17,45	42,56	57,14	51,79	23,07	10,85	1,73	0,75
2008	0,78	1,64	2,92	9,01	19,11	35,46	62,19	53,71	24,09	8,44	1,62	0,40
2009	0,67	0,59	2,71	3,24	21,35	42,33	58,53	53,60	23,51	10,61	3,01	1,27
2010	0,94	1,44	3,62	8,15	13,27	35,58	61,22	52,32	24,47	8,91	2,46	0,78
2011	0,71	0,75	2,65	9,44	17,50	32,66	56,52	52,25	29,82	8,98	2,68	0,80
2012	0,37	0,19	2,65	4,99	20,29	48,36	64,08	59,25	23,98	9,97	2,67	0,58
2013	0,34	0,23	2,06	5,76	10,22	24,62	46,36	54,22	30,87	19,22	11,50	1,27
2014	0,67	1,20	2,07	9,23	17,68	31,55	51,44	52,17	28,52	12,06	3,20	0,55
2015	0,47	0,52	3,09	11,18	25,02	34,81	59,82	48,97	23,28	8,73	2,40	0,58
2016	0,89	1,33	2,46	9,26	18,24	37,99	55,01	45,82	23,16	12,46	2,33	0,62

Source: station météorologique de M'Sila.

Annexe 02:**Informations sur les forages et les exploitations (aux terrain)**

Forages et ces coordonnées	Caractéristique physique de forage	Année d'inscription	Zone de forage	Le nom de L'exploitant	Surface et système d'irrigation	Type de cultures
Forage 01 35°39'33"N 4°34'18.9"E Alt: (446m)	-PH: 7,84 -CE: 3,11ms/cm -Débit: 8L/s	-Mars 2014	-Mezrir (souagi)	-Dorra Hocine	-Goutte à goutte -aspersion	-leusèrne -les arbres fruitées -cultures maraîchères
Forage 02 35°39'13.6"N 4°34'26.0"E Alt: (442m)	-PH:7,86 -CE: 1750µs/cm -Débit:10L/10s	- depuis 2012	-Mezrir (souagi)	-Ouali Mohamed	-aspersion -gravité	-les céréales -cultures maraîchères
Forage 03 35°42'20.1"N 4°33'24.3"E Alt: (472m)	-PH: 7,1 -CE: 2,64ms/cm -Débit: 7L/s	- depuis 2015	-Trige Lachiakh	-Nourdinne	-aspersion -gravité	- les arbres fruitées
Forage 04 35°41'43.2"N 4°32'44.0"E Alt: (432m)	-PH: 7,4 -CE:1444 µs/cm -Débit: 7,5L/s	-depuis 2017	-Ouled Sidi Mahmoud	/	-aspersion -gravité	- les arbres fruitées -cultures maraîchères
Forage 05 35°40'57.7"N 4°26'28.1"E Alt: (460m)	-PH:7,2 -CE:2,93ms/cm -Débit:10L/s	- depuis2001	-Dhràa Ben Rebbah	-Boubàaya Abdelmadjid	-gravité	- les arbres fruitées (abricotée)
Forage 06 3°40'56.9"N 4°26'40.9"E Alt: (457m)	-PH:7,3 -CE:3,61 ms/cm -Débit:10L/10s	- depuis 1998	-Dhràa Ben Rebbah	-Boubàaya	-aspersion -gravité	- les arbres fruitées -cultures maraîchères
Forage 07 35°41'06.2"N 4°27'07.9"E Alt: (473m)	-PH:7,3 -CE:2,77ms/cm -Débit: 10L/27,39s	- depuis 2004	-Ghezal	- Smaili Benlâmri	-Goutte à goutte -aspersion	-les céréales cultures
Forage 08 35°39'10.8"N 4°27'39.5"E Alt: (456m)	-PH:7,3 -CE: 2,40ms/cm -Débit: 10L/25,80s	-depuis 1983	-Ghezal	-Wekaf abdelwahab	-aspersion -gravité	- les arbres fruitées -les céréales cultures

Remarque: les coordonnées géographiques des forages prendre par le GPS.

Annexe 03:**Grille standard multi usage d'appréciation globale de la qualité des eaux**

Classe Paramètre	Très bonne 1A	Bonne 1B	Moyenne 2	Mauvaise 3	Très mauvaise HC
CE à 20°C (µS/cm)	≤ 400	400-750	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	500-1000	1500-2500	2500-3500	–
O₂dissous (mg/l)	< 7	5-7	3-5	< 3	–
SO₄⁻²(mg/l)	≤ 200	–	200-300	300-400	>400
Cl⁻(mg/l)	≤ 150	–	150-300	300-400	>400
Mg⁺²(mg/l)	≤ 50	50-75	75-100	100-400	–
Ca⁺²(mg/l)	≤ 160	160-230	230-300	300-500	–
NH₄⁺(mg/l)	≤ 0.1	0.1-0.5	0.5- 2	2-8	>8
NO₃(mg/l)	≤ 5	5-25	25-50	50-80	>80
NO₂(mg/l)	≤ 0.1	0.1-0.3	0.3-1	1-2	>2
Oxydabilité (mg/l)	≤ 3	3-5	5-8	–	–

Source: (AGOUN et SAFER, 2007).

Annexe 04:**Classification des eaux**

Classe de risque salin (conductivité électrique)				
Classe		Type de risque		Degré de risque
Classe 01 (C1)		Risque faible		CE < 250
Classe 02 (C2)		Risque moyen		250 < CE < 750
Classe 03 (C3)		Risque élevé		750 < CE < 2250
Classe 04 (C4)		Risque très élevé		CE > 2250
Classe de risque alcalin (SAR)				
Classe 01 (S1)		Risque faible		SRA < 10
Classe 02 (S2)		Risque moyen		10 < SAR < 18
Classe 03 (S3)		Risque élevé		18 < SAR < 26
Classe 04 (S4)		Risque très élevé		SAR > 26
Interprétation des différentes zones de diagramme de classification des eaux				
Degré	Qualité	Classe	Interprétation	
01	Excellente	C1-S1	Eau utilisable dans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.	
02	Bonne	C2-S2	En générale, eau peuvent être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyenne ment tolérantes au sel, sur sol ayant une bonne perméabilité.	
03	Admissible	C3-S1	En générale, eau convenant à l'irrigation de culture tolérante au sel, sur des bien drainés l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plants trop sensibles au sodium et aux sols a faible perméabilité.	
04	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En générale, eau fortement pouvant convenir à l'irrigation de certains espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.	
05	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions, sols très perméables, gon lessivage, Plantes tolérantes bien le sel.	

Annexe 5:

Classification des eau d'irrigation selon la dureté

TH (°F)	0à7	7à22	22à23	23à54	>54
Dureté	Moins douce	Modérant douce	Assez douce	Douce	Très douce

Annexe 6:

Classification des eaux d'irrigation selon (CE) exprimé (dS/m) proposée par (USDA)

Nomination	Classe	Interpretations
Classe 1 (C1)	< 0,25 dS/m	Risque faible
Classe 2 (C2)	0,25 dS/m à 0,75 dS/m	Risque moyen
Classe 3 (C3)	0,75 S/m à 2,25 dS/m	Risque élevé
Classe 4 (C4)	2,250 dS/m à 5 dS/m	Risque très élevé
Classe 5 (C5)	>5 dS/m	Non utilisable en irrigation

(HARIVANDI, 1999)

Annexe 7:

Bilan hydrologique calculé à partir de la formule de Thornthwaite de la commune de M'Sila.

Mois	P	ETP	P-ETP	RFU	ETR	I+R
Jan	12,9	12,3	0.6	50	12,3	0.6
Fév	16	14.32	1.68	50	14.32	1.68
Mar	14	36.28	-22.28	27.72	14	-22.28
Av	30.44	92.68	62.68	0	30.44	0
Mai	16.55	117.03	-100.48	0	16.55	0
Jui	9	172.35	-163.35	0	9	0
Jt	6.889	232.42	-225.53	0	6.889	0
Aout	5.5	217.45	-211.95	0	5.5	0
Sep	21.27	132.73	-111.46	0	21.27	0
Oct	23.5	77.96	-54.46	0	23.5	0
Nov	51.1	25.84	-10.74	0	15.1	0
Dec	16.11	9.25	6.86	50	9.25	6.86

Références bibliographiques

- ✚ **ABDELHAFIDI N; 2005** - Contribution a l'étude qualitative des ressources hydriques souterrains en zone semi aride(cas de synclinal) Nord Djelfa. Mémoire d'ingénieur, Univ Djelfa, 77p.
- ✚ **AFNOR; 1997** - Agence française de Normalisation, « Qualité de l'eau. Tome 1: Terminologie, échantillonnage et évaluation des méthodes », 3^{ème} édition. Paris, France.
- ✚ **AGOUN H et SAFER A; 2007** - Etude de l'état de l'environnement d'Oued K'sob de la région de Bordj Bou Arreridj (qualité de l'eau-flore et faune). Mémoire ingénieur, Univ de M'Sila, 79p.
- ✚ **AHONON A; 2011** -Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface sans les zones montagneuses du Sud-ouest du Togo: cas du Canton de Lavie, Mémoire de Master international en environnement eau et santé, Univ de Lome, 42 p.
- ✚ **AIDOU D et NEDJRAOUI D; 1992**- The steppes of alfa (*Stipa tenacissima* L) and their utilisation by sheeps, In Plant animal interactions in Mediterrean-type ecosystems, MEDECOS VI, Grèce, pp 62-67.
- ✚ **AMROUNE A; 2013** – Cours d'irrigation, qualité des eaux d'irrigation, Mém. Sci. Agro, Univ de M'Sila, pp 21-45.
- ✚ **ANONYME; 1978** - Classification de l'eau d'irrigation basé sur la contribution du sels, selon déférente sources, pp 24-25.
- ✚ **ANONYME; 2003**- MEDD et Agences de l'eau, Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ Eau), Grilles d'évaluation, version 2, 21 mars 2003, pp 98-101.
- ✚ **ANONYME; 2007** - Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût .Centre collaborant de l'OMS, Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, 52p.
- ✚ **A.N.R.H; 2005** - L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya de M'Sila : étude d'actualisation du système d'épuration de la ville de M'Sila, phase III, EPE-spa-NEE. Alger, pp 18-22.
- ✚ **ANZEC C; 2005** - l'extrait a partir des directive australiennes de qualité de l'eau pour fraiche et marin, 32p.
- ✚ **AYERS R-S et WESTCOT D-W; 1988** - La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, 29 Rév. 1, 165p.
- ✚ **AZRI N et DJEMIET S, 2016** - Contribution a la connaissance des propriétés des sols et des eaux d'irrigation dans la zone d'Elghil- Maàdid- wilaya de M'Sila. Mémoire de master, Univ Mohamed Boudiaf, M'Sila, 44p.

Références bibliographiques

- ✚ **BARBIERO L et VALLES V; 1992** - Aspects géochimiques de l'alcalinisation des sols dans la vallée du Dallo1 Bosso (République du Niger), Cah, Orstom, sér. Pédol, vol. XXVII, no 2, 143p.
- ✚ **BARKANI I et BENARFA N; 2005** - Contribution a l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zone semi aride, cas de la région de Deldoul (plain de Ouled touba), wilaya Djelfa. Mémoire d'ingénieur, Univ Djelfa, 92p.
- ✚ **BAZA Y; 2006** - Contribution a l'étude de la qualité des eaux d'irrigation des zone semi aride, cas de la région d'Ain Elbel, Mémoire d'ingénieur, Univ Djelfa, 92p.
- ✚ **BELAID; 2010**- Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phyto-absorption des éléments métalliques, pp 5-6.
- ✚ **BENBLIDIA M; 2011** - L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique, étude nationale, Algérie; version finale, plan bleu, Centre d'activités Régionales. PNUE/PAM, pp 12-14.
- ✚ **BENGOUMI M, TRAOURE A, BOUCHRITI N, BENGOUMI D, ELHARAÏKI A; 2004** – Qualité de l'eau en avicole, revue trimestrielle d'information scientifique et technique-volume 3-N°1, pp 5-29.
- ✚ **BERROUCH H; 2011** - Etude de la qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre de Saâda (Région du Haouz), Mémoire licence, Univ Cadi Ayyad, Marrakech, 26p.
- ✚ **BOUAROUDJ S; 2012** - Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation. Magistère en Écologie, Univ Mentouri Constantine, Algérie, pp 3-29.
- ✚ **BRADAÏ H; 2017** - Evolution de la qualité géochimique des eaux souterraines utilisées dans l'irrigation et leur impact sur la dégradation des sols de la plaine du Bas –Chélif. Thèse de doctorat, Univ Hassiba Benbouali de Chlef, pp 18-86.
- ✚ **CAZADILLA A, REHDANZ K et TOL R-S-J; 2010** - The economic impact of more sustainable water use in agriculture: a computable general equilibrium analysis. J. Hydro, p 384.
- ✚ **CHAPMAN D et KIMSTACH V; 1996**- Selection of water quality variables, water quality assessment; a guide to the use of biota, sediments and water in environments monitoring, Chapman edition, 2eme, Ed E et FN Spon, London, pp 253-290.
- ✚ **CHENAFI A; 2017** - Gestion de la contrainte de l'irrigation en goutte à goutte avec la double gaine enterrée sur un verger de pommier de type Gala. Thèse de doctorat, Univ Mohamed Kheider Biskra, pp 1-6.
- ✚ **CLEMENT R et GALAND A; 1979** - Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression, Ed. Eyrolles 1979, 227p.

Références bibliographiques

- ✚ **COUTURE I; 2006 (a)** - Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie-Est AGRI-VISION 2003-2004, 8p.
- ✚ **COUTURE I; 2006 (b)** - Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation Colloque sur l'irrigation l'eau, source de qualité et de rendement 10 février 2006, Hôtel Mortagne, Boucherville, pp 2-5.
- ✚ **DAJOZ R; (2006)** - Précis d'écologie, Ed. Dunod. Paris, 621p.
- ✚ **DUSSARTE B-H; 1966** - A l'imonologie- l'étude des continentales Gauthier-Villars, Ed. Paris, 678 p.
- ✚ **DEBIECHE T-H; 2002** - Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de doctorat, Univ de Franche Comté, pp 43-50.
- ✚ **DE FRAITURE C et WICHELNS D; 2010** - Satisfying future water demands for agriculture, Water Manage, 97p.
- ✚ **DERONZIER G, SCHETRITE S, RACAULT Y, CANLER J-P, HEDUIT A, et DUCHENE P; 2001**- Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petits collectivités, document technique FNDAE n° 25, 79p.
- ✚ **DERWICH E, BENAABIDATE L, ZIAN A, SADKI O, BELGHITY D; 2010**- Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du nappe de Haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes, Larhyss/Journal, n°08, 24p.
- ✚ **DOUAOUI A et HARTANI T; 2007**- Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Actes de l'atelier régional SIRMA. Tunis, pp 3-4.
- ✚ **D. S. A; 2018** - Direction de service agricole, donnes statistiques de commune de M'Sila 2016.
- ✚ **DURAND J-H; 1982** - Les sols irrigables: étude pédologique, 399p.
- ✚ **DURAND J-H; 1984** - Les sols irrigables: étude pédologique, Ed, S.E.S. Algérie, 189p.
- ✚ **DURAND J-H; 1970**- Les sols irrigables, étude pédologique, Ed presse universitaire de France. Paris, pp 158-160.
- ✚ **EL ASSLOUJ J, KHOLTEI S, EL AMRANI-PAAZA N et HILALI A; 2006** - Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées (Chaouia, Maroc), Rev. Science de l'eau, 115p.
- ✚ **EL HACHEMI O; 2012** - Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique(Oasis de Figuig): performances épuratoires et aspect phytoplanctonique. Thèse de doctorat, Univ Mohammed Premier Oujda, pp 31-32.

Références bibliographiques

- ✚ **ELSASS P; 2005-** Etude géographique des longues salées du bassin potassique, synthèse des travaux 2002-2005, rapport BRGM/RP-54275-FR, 35p.
- ✚ **F. A. O; (1988)** - Salt-affected soils and their management, Bulletin N°. 39, FAO, Rome.
- ✚ **GOMELLE C et GUERRE H; 1978-** Le traitement des eaux publiques industrielles et privées, Ed Eyrolles. Paris, 67p.
- ✚ **GONZALEZ-BARRIOS J-L; 1994** - Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride mexicaine: Exemple dans la "Comarca Lagunera", Ed, l'ORSTOM, Paris. TDM 117, 271p.
- ✚ **HADBAOUI I; 2013** - Les parcours steppiques dans la région de M'Sila: quelle gestion pour quel devenir?, Mémoire magistère, Univ Kasdi Merbah Ouargla, pp 8-35.
- ✚ **HAMMIA I; 2012** - Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies de Oued Righ, Mémoire d'ingénieur, Univ Kasdi Merbah Ouargla, pp1-44.
- ✚ **HARIVANDI A; 1999** - Interpreting turfgrass irrigation water test result, water journal of California, publication 8009, Univ of California, division of agriculture and natural resources, 9p.
- ✚ **H.C.D.S; 2010** - Haut Commissariat au Développement de la Steppe, Les potentialités agropastorales de la steppe algérienne: Requêtes cartographiques, analyse et interprétation de l'information géographique. H.C.D.S. et B.N.E.D.E.R. Djelfa, 80p .
- ✚ **HISCOCK K-M, LLOYD J-W et LERNER D-N; 1991** - Review of natural and artificial de nitrification of groundwater, Wat. Res, pp 9, 25.
- ✚ **KADI A; 1997** - La gestion de l'eau en Algérie, journal-des Sciences Hydrologiques, April 1997, 191p.
- ✚ **KLOPPMANN W, BOURHANE A, et ASFIRANE F; 2011** - Méthodologie de diagnostic de la salinité des masses d'eau, emploi des outils géochimiques, isotopiques et géophysiques, BRGM/RP-600026-FR,16p.
- ✚ **LAKROUN A; (1999)-** Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du Hodna (cas de M'Sila). Thèse ingénieur-Agro, INA, Alger, 55p.
- ✚ **LANDREAU A et MONITION L; 1977** - nouvelle évaluation de qualité de l'eau pour l'irrigation, 77 SGN 628 HYD, p3.
- ✚ **LE HOUEROU H-N, CLAUDIN J, HAYWOOD M et DONADIEU P; 1975** - étude des ressources expérimentation et démonstration agricole dans la région du Hodna Algérie , étude phytoécologique du Hodna, volume1, PNUD,FAO, Rome, 154p, carte.
- ✚ **MARLET S; 2004-** Evolution des systèmes d'irrigation et gestion de la salinité des terres irriguées. Acte du séminaire « Modernisation de l'Agriculture Irriguée », Rabat, du 19 au 23 avril 2004, 212p.

Références bibliographiques

- ✚ **MARLET S et JOB J-O; 2006** - Processus et gestion de la salinité des sols, In Tiercelin, J,R, Traité d'irrigation, seconde édition, Tec et Doc Lavoisier, pp 797-822.
- ✚ **MAYNARD D-N et HOCHMUTH G-J; 1997** - Knot's Handbook for Vegetable growers, 582p.
- ✚ **MESSAHELL M; BENHAFID M-S et CHERIF M; 2003** - Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie, 52p.
- ✚ **MESSAIDI D et ABDELLY C; 2004** - Physiologie de la tolérance au sel d'une halophyte de recouvrement. Revue des régions arides, tome 1. pp 192-199.
- ✚ **MILOS H; 1971** - L'eau et l'environnement. Bull, FAO, Rome, pp 32-38.
- ✚ **MIMOUNE S; 1995** – Gestion des sols sales et désertification dans une cuvette endoréique d'Algérie (Sud du Chott Hodna). Thèse de doctorat, Univ D'Aix Marseille I, 41p.
- ✚ **MINHAS P-S, DUBEY S-K, et SHARMA D-R; 2007** - Effects of soil and paddy-wheat crops irrigated with waters containing residual alkalinity, Soil Use Manage (23), pp 254–261.
- ✚ **NANCY M; 1997** - La qualité de l'eau d'irrigation: elle facteur à ne pas négligée, pp 33-34.
- ✚ **NEDJRAOUI D; 2001**- Le profil fourrager en Algérie, 36p.
- ✚ **OLLIER Ch et POIREE M; 1981** - Irrigation : les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages, 55p.
- ✚ **OLLIER Ch et POIREE M; 1983** - les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages, Ed. Eyrolles. Paris, 455p.
- ✚ **OZENDA P; (1977)** - Flore du Sahara. Paris, CNRS, 622p.
- ✚ **RAMADE F; (2003)** - Elément de l'écologie, 3^{ème} édition, Dunod. Paris, pp 688-690.
- ✚ **RECHACHI Z; 2017** - Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la salinisation des sols en régions arides et semi arides. cas de la région du Ziban. Thèse de doctorat, Université Mohamed Kheider Biskra, 2p.
- ✚ **RICHARDS L-A; 1954** - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60,USDA, Washington D.C, 160p.
- ✚ **RIEU M; 1981**- Sodium adsorption ratio et estimation de l'alcalinisation des eaux, maison OSTROM, vol XVIII n°2, pp 123-128.
- ✚ **RODIER J, BAZIN C, BROUTIN J-P, CHAMBON P et RODI L; 1996** - Analyse de l'eau; Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer, 8^{ème} édition, Dunod. Paris, 1383p.
- ✚ **RODIER J, BAZIN C, BROUTIN J-P, CHAMBON P, CHAMPSAUR H et RODI L; 2005**- L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eau résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimique, microbiologie, biologie, interprétation des résultats, Ed. Dunod. Paris, pp13-84.

Références bibliographiques

- ✚ **RODIER J; 2009** - L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9ème édition. Paris, Dunod, pp 30-1475.
- ✚ **ROUABHIA A.E.K. et DJABRI L; 2010** - L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma Labiod. Larhyss Journal, n° 8, pp 5 -67.
- ✚ **SAIYOURI N; 2012-** Méthode d'irrigation en milieu aride (projet d'eau 2012), pp 4-7.
- ✚ **SEDRATI N; 2011** - Origine et caractéristiques physique-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-Sud Est Algérien. Thèse de doctorat, Univ Badji Mokhtar –Annaba, pp 1-138.
- ✚ **SHILTON A, WALMSLEY N, PEARSON H, PATERSON C, CURTIS T, CRAGGS R, DAVIES-COLLEY R et MARA D; 2005**-Pond Treatment Technology, IWA Publishing, London, Seattle, 479p
- ✚ **SHUVAL H-I, AVNER A, FATTAL B, ELYAHU R et YAKUPIEL P; 1986** - Wastewater characteristics and treatment for irrigation in wastewater irrigation in developing countries: health effects and technological solution, U.N.P.P, Project Management Report, 6, The World Bank, Washington, DC, USA, 136p.
- ✚ **S.M.M; 2017** - Station Météorologique Wilaya de M'Sila, données climatiques de la période 2006-2016 station de M'Sila.
- ✚ **TABET D-H; 1999-** Intérêt d'une approche spatiale par suivi de la salinité des sols dans les systèmes irrigués. Cas de la subdivision de Panjab (Pakistan). Thèse Doctorat ENGREF, Montpellier, 435p
- ✚ **TIR C; 2001-** Dynamique saisonnière des nappes phréatique dans la station expérimentale de Sidi Mehdi-Touggourt, mémoire ingénieur, Univ de Batna,70p.
- ✚ **WILCOX L-V; 1948** - The quality of water for agricultural use, Édit, US Department of Agriculture, Technical Bulletin, vol. 962, Washington (USA), 40p.
- ✚ **WHO (World Health Organization); 1987** - Factors affecting treatment in ponds In Wastewater Stabilization pond: Principles of Planning and Practice, FMRO Technical Publication, Alexandria, 10p.
- ✚ **YELLE P-É; 2003** - Propre et salée; qualité de l'eau d'irrigation. Agri-vision 2003. MAPAQ St Rémi, 10p.
- ✚ **ZEDAM A; 2015** - Etude de la flore endémique de la zone humide de Chott El Hodna, inventaire, préservation. Thèse doctorat, Univ Farhat Abbas-Sétif1, pp 45-50.

ملخص:

تتجلى دراستنا هذه في أخذ عينات من آبار للمياه الجوفية من مختلف محطات لبلدية مسيلة، كما تهدف هذه الدراسة التي أجريت خلال شهري افريل و ماي 2018 إلى المساهمة في معرفة الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لمياه السقي لهذه المنطقة.

أظهرت نتائج التحليل الفيزيوكيميائي لمياه هذه الآبار أنها ذات خاصية مالحة تتراوح بين (1444µs/cm و 3610 µs/cm)، و ذلك راجع إلى احتوائها على نسبة عالية من الأيونات التي تزيد من ملوحتها مثل (الكبريت- SO_4 ، الكلور- Cl ، الكربونات، HCO_3^-).

و بهذا الصدد نقترح على المزارعين تثبيت شبكة صرف المياه من أجل إخلاء التربة المزروعة من المياه المالحة بهدف التقليل من نسبة الأملاح، كما يجب عليهم تجنب الاستعمال المفرط لهذه المياه التي تشكل خطرا على التربة والزرع .

الكلمات المفتاحية: الخصائص الفيزيائية و الكيميائية، نوعية المياه، مياه السقي، المسيلة.

Résumé:

Notre étude percer sur la prélèvement des échantillons des eaux souterrains a partir des forages des déférents zones dans cette commune; cette étude qui réalisé durant les moins avril et mai 2018, sur l'objectif de contribuée à la connaissance des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation de cette région.

Les résultats des analyse physico-chimiques montrent que ces eaux de forages caractérisé par un particularité salin, qui est comprise entre (1444 µs/cm, et 3610 µs/cm); celui apurer à haut pourcentage des anions qui est constituée, qui est augmenter leur salinisation comme: (le sulfate SO_4^- , le chlorure Cl^- et les bicarbonates HCO_3^-).

désormais, on peut propose l'installation de réseaux de drainage pour évacuer l'eau salin en dehors des sols cultivés pour le but de diminuer le taux de sels, autant il faut les exploitants à éviteras l'utilisation rigueur dans la gestion d'irrigation qui est façonner un risque pour le sol et les cultures.

Mots clé: caractéristiques physico-chimique, qualité de l'eau, eau d'irrigation, M'Sila.

Summary:

Our study manifested in taking samples from wells ground water from various stations municipality, as this study that execute during month of April at May 2018, to contribute in the knowledge physical and chemical properties of irrigation water in this area.

Show the results physical-chemical analysis, water the wells it with a property salty ranging from (1444µs/cm and 3610 µs/cm); and this check out to contain anions like (sulfur SO_4^- , chlorine Cl^- , and bicarbonate HCO_3^-).

In this regard, we propose installation drainage system for evacuate salty water throw out of cultivate soil, for objective diminish salty rate, you mast to peasantry avoid in disseminate use and aver to this water that represent risk to the soil and plants.

Keywords: physical and chemical characteristics, water quality, water of irrigation, M'Sila.